

Aplicações em design para compósitos de resina PU vegetal e fibras vegetais.

Applications of vegetable PU resin and vegetable fibers based composites for design

Marcelo Hsu de Oliveira, bacharel, USP.

marcelo.hsu.oliveira@alumni.usp.br

Cyntia Santos Malaguti, doutora, USP.

cyntiamalaguti@usp.br

Tomás Queiroz Ferreira Barata, doutor, USP.

barata@usp.br

Arthur Hunold Lara, doutor, USP.

arthurlara@usp.br

Resumo

O artigo apresenta uma investigação de desenvolvimento de materiais compósitos a partir do emprego de diferentes fibras vegetais, na sua maioria, residuais associadas à resina poliuretana a base de óleo de mamona, intencionando a valorização de resíduos como matéria prima, reinserindo-os no ciclo produtivo como alternativa à materiais compósitos tradicionais, que têm efeitos negativos sobre a saúde humana e meio ambiente. Foram feitas chapas do material, posteriormente submetidas a processos de manufatura subtrativa, com variações visando diferentes aplicações possíveis. Os resultados demonstram a viabilidade de criação de protótipos de produtos usando estes compósitos, assim como evidenciam futuras melhorias possíveis nos processos e materiais.

Palavras-chave: Materiais compósitos; Madeira de poda urbana; Resíduos

Abstract

The article presents an investigation into the development of composite materials using various plant fibers, mostly residual, combined with castor oil-based polyurethane resin, aiming to valorize waste as raw material, reintegrating it into the production cycle as an alternative to traditional composite materials, which have negative effects on human health and the environment. Sheets of the material were produced, subsequently subjected to subtractive manufacturing processes, in different variations targeting different applications. The results demonstrate the feasibility of creating prototypes of products using these composites, as well as highlighting potential future improvements in processes and material.

Keywords: Composite materials; Urban pruning wood; Waste materials

1. Introdução

Compósitos são materiais muito empregados em objetos de usos dos mais cotidianos, como assentos de ônibus, lixeiras e guaritas, aos mais complexos, como barcos, aeronaves e foguetes, por sua alta força específica e longo tempo de vida. São formados por dois ou mais materiais que não se misturam, mas que, agindo em conjunto, têm propriedades não encontradas neles separadamente [1]: a matriz, um material contínuo, envolve o reforço, geralmente fibras, as maiores responsáveis pela resistência aos esforços no compósito. As matrizes poliméricas são as mais comuns, em sua maioria, de origem sintética, podem ser termoplásticas ou termofixas. Polímeros termoplásticos se tornam viscosos quando aquecidos, e podem ser moldados diversas vezes, já os termofixos endurecem por ligações químicas de forma irreversível após a cura, esta característica, por um lado, facilita seu manuseio, já que independe de altas temperaturas e de ferramentas adequadas para tal, por outro lado, é um dos principais fatores que impedem sua reciclagem, especialmente quando misturado a cargas ou reforços [2]. Além disso, a junção de tais fibras e resinas sintéticas muitas vezes tem efeitos nocivos para a saúde assim como para o meio ambiente. Painéis particulados de madeira, por exemplo, são compósitos de fibras curtas de madeira e resinas, as mais comuns, de ureia-formaldeído e fenol-formaldeído, que emitem gases tóxicos, irritando o aparelho respiratório e pele, são também carcinogênicas e têm potencial de contaminação do solo e águas quando descartadas inadequadamente [3], [4].

Na busca de alternativas a materiais compósitos, verificou-se que a resina poliuretana – PU - a base de óleo de mamona tem sido utilizada como matriz polimérica termofixa com bons resultados em nosso país. Do ponto de vista técnico, uma das vantagens desta resina é ter características biodegradáveis e usar matéria prima de origem renovável, diferentemente do poliuretano obtido a partir do petróleo, além disso, tem alto poder de impermeabilização e resistência a raios ultravioleta [5]. Para o reforço foram encontrados diversos fatores positivos para o uso de fibras naturais como, segundo Silva, [6, p. 22]: “fonte abundante e de rápida renovação, baixo custo, baixa densidade, altas propriedades específicas, são menos abrasivas se comparadas às fibras de vidro, não-tóxicas e biodegradáveis”, há também, segundo a autora, uma afinidade química entre elas e a resina PU, portanto, procurou-se usar fibras vegetais naturais, em duas categorias distintas: (1) serragem proveniente do aproveitamento do material lenhoso da poda e supressão de árvores urbanas; e (2) fibras naturais longas, de diferentes origens.

No primeiro caso, o planejamento e o manejo da arborização urbana é de suma importância para a manutenção do nível de serviços ambientais que as árvores podem fornecer, contribuindo com a resiliência ambiental e qualidade de vida nas cidades [7]. Em São Paulo, a prefeitura estima recolher até 4 mil toneladas de resíduos de poda de árvores por mês, com um volume anual de 50 mil toneladas, e a grande maioria deste material acaba por ser descartado como resíduo comum, transportado para aterros sanitários [8]. Dessa forma, estudos de alternativas sistêmicas para aproveitamento destes resíduos se fazem necessários e neste contexto atua o Poda Lab, grupo de pesquisa e extensão da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo e de Design da Universidade de São Paulo, FAUUSP, com produção e disseminação de conhecimento acerca de soluções tangíveis para o uso destes resíduos como recursos [9]. De forma análoga trabalha a Serraria Ecológica de Guarulhos – S.E.G., inserida na Secretaria Municipal do Meio Ambiente do município: há mais de uma década usa resíduos do manejo de árvores urbanas para qualificar os espaços públicos através da fabricação de mobiliário, decks, sarrafos, fôrmas etc. Ainda assim, mesmo que se aproveite a madeira de poda, a maior parte deste resíduo é composto por galhos e ramos das partes mais externas das copas, de menor diâmetro e de difícil aproveitamento [10]. De acordo com Souza [8], em 2020, mais de 1900 podas foram realizadas

e 80% desse resíduo destinou-se à compostagem, no caso da S.E.G. (Figura 1). As fibras usadas no trabalho são provenientes das atividades do grupo de pesquisa, em forma de pó e serragem, um resíduo gerado pelo aproveitamento de outro, a madeira de poda.



Figura 1a e 1b: a- Madeira de poda urbana na S.E.G. ; b- montes de serragem sendo compostados na S.E.G.
Fonte: elaborado pelos autores.

No segundo caso, o uso de fibras vegetais longas foi incitado através do contato com uma pesquisa de doutorado com mesmo orientador, assim como através de leitura de bibliografia, indicando os compósitos reforçados com fibras longas como mais resistentes do que aqueles que empregam fibras curtas ou partículas, caso da serragem [6]. O uso destas fibras também pode ser uma via de valorização de resíduos, no caso, de produção agroindustrial, sem que se usem recursos adicionais para a produção de matéria prima, reinserindo estes materiais no ciclo produtivo, como é o caso do Piñatex®, alternativa ao couro feito com as fibras das folhas residuais do cultivo de abacaxi [11] ou o Sugarcrete®, alternativa à tijolos cerâmicos, composto por bagaço de cana de açúcar e ligantes minerais [12].

2. Procedimentos Metodológicos

A abordagem adotada no processo de experimentação aqui descrito foi a da prototipagem antecipada, rudimentar, simples e barata, para permitir a exploração de muitas ideias paralela e sequencialmente, em sintonia com as propostas de Ingold [13] e Brown [14]. Segundo Ingold, é preciso romper com o modelo hilemórfico de criação, modelo este, no qual: "A forma passou a ser vista como imposta por um agente com um projeto específico em mente, enquanto a matéria, assim apresentada como pacífica e inerte, tornou-se aquilo sobre o que era imposta" [13, p.301]. Ao invés disso ele defende um caminho que ele chama de textilidade do fazer, onde a regra é seguir os materiais.

Seguir esses materiais é entrar num mundo, por assim dizer, em fervura constante. No lugar de compará-lo a um grande museu ou loja de departamentos nos quais os objetos encontram-se dispostos de acordo com seus atributos ou origem, seria melhor imaginar o mundo como uma grande cozinha, bem abastecida com ingredientes de todo tipo. Na cozinha, as coisas são misturadas em combinações variadas, gerando nesse processo novos materiais que serão por sua vez misturados a outros ingredientes num processo de transformação sem fim. Para cozinhar, devemos abrir recipientes e retirar seus conteúdos. Temos que destampar coisas. Em face das proclividades anárquicas de seus materiais, o cozinheiro ou cozinheira tem que se esforçar para manter alguma aparência de controle sobre o que se passa" [15, p.35]

Brown [14], por sua vez, no contexto da abordagem do *Design Thinking*, recomenda que a prototipagem seja feita não no fim de um processo de projeto, mas bem antes, como parte do processo de experimentação, visualização e materialização preliminar de uma ideia ainda em discussão. Numa fase anterior, no contexto de uma pesquisa de iniciação científica, experimentou-se criar compósitos sem variar matriz e reforço: (1) a já mencionada PU de mamona, obtida junto à empresa Imperveg® Poliuretano Vegetal, localizada em Aguaí, através de doação da fabricante, (2) serragem da espécie arbórea conhecida como Tipuana (*Tipuana*

tipu), uma das mais comuns na arborização viária da cidade de São Paulo [7] e da Cidade Universitária Armando de Salles Oliveira – CUASO, portanto, maior fonte de madeira nas atividades do grupo, e de serragem, por consequência. Assim, neste primeiro momento, foram variados diversos parâmetros, sendo os mais relevantes: tamanho e origem das fibras, a depender da abertura de peneiras e tipo de processo a qual a peça de madeira original foi submetida; proporções de resina relativa a fibra; formas de moldagem. O quadro 1 relaciona as principais conclusões feitas com base nas experimentações desta fase.

Quadro 1: Variações na formação de compósitos de Tipuana e PU de mamona	
Parâmetro	Conclusão
Método de prensagem	Compósitos moldados em fôrmas abertas expandem sem restrição por conta da cura da resina e se tornam mais frágeis e quebradiços. Assim, fôrmas com contramolde têm resultados melhores, pois comprimem mais o compósito.
Material da fôrma	Fôrmas executadas em materiais que não resistem à compressão como poliuretano expandido, silicone e plásticos pouco densos resultam em menor consolidação do material do que moldes em madeira e derivados, o que se deve à capacidade de comprimirem o compósito se deformando menos.
Tamanho e origem das fibras	Fibras menores comprimem melhor e resultam em compósito mais coeso e homogêneo quando comparadas às maiores, mas têm menor resistência à flexão e tração. Fibras de processos iniciais de aproveitamento da madeira como corte com motosserra e desengrosso têm pedaços de casca e fibras do alburno, o que altera a cor e diminui a resistência do material.
Proporção de resina/ fibras	Fibras menores demandam maior uso de resina como adesivo quando comparadas às fibras maiores. Quanto maior a proporção de resina, maior a resistência, impermeabilidade, compressibilidade e densidade do compósito, também é mais fácil a sua moldagem.

Fonte: Autores

2.1. Compósitos com fibras curtas de madeira

Os experimentos seguintes partiram de duas premissas: (1) o uso de fibras de diferentes espécies de árvore, (2) o uso da menor quantidade possível de resina como matriz. Observando-se a grande variedade de espécies de árvores na CUASO e nas atividades do Poda Lab, abriu-se o leque de espécies usadas, cada amostra com cor e textura únicas e que devem ser destacadas nos compósitos, valorizando os resíduos, são eles, portanto, a maior parte em massa do material, e não a resina. As atividades aqui descritas utilizaram, então, resíduos da madeira de *Acrocarpo* (*Acrocarpus fraxinifolius*) e Tipuana (*Tipuana tipu*) e, quando não foi possível acompanhar as atividades do grupo de forma a separar os resíduos por espécie, resíduos mistos de diferentes espécies, que inclui as anteriores, assim como Jambolão (*Syzygium cumini*), Sibipiruna (*Caesalpinia peltophorodes*) e Eucalipto (*Eucalyptus sp*). Foi preparada a resina, composição AGT 1315, ela é bicomponente, sendo A o pré-polímero e B, o polioli a base de óleo de mamona, sua proporção é de 1:1,2, em massa, ou 1:1,5, em volume [16]. Misturada às fibras, a quantidade de resina proporcional à fibra, assim como o tamanho das últimas variou conforme as características resultantes almejadas. A mistura foi feita com as mãos, usando luvas, o material foi distribuído no molde, e depois, foi colocado o contramolde, que transfere a carga da prensa, onde o material permanece por 24 horas até a desmoldagem. Moldes usinados em aço ou alumínio demandam mais tempo e recursos financeiros para sua manufatura [17], [3], [6], além de engessar as possibilidades de geometria, já que cada variação de objeto moldado demanda a fabricação de um novo molde, em contrapartida, têm maior precisão, tempo de uso e escalabilidade, estas são questões que não figuram como preocupações desta pesquisa, eminentemente experimental. Foi decidido, portanto, limitar os experimentos à moldagem do

compósito em chapas, submetidas a processos de marcenaria, como corte e usinagem, com ferramentas tradicionais e de fabricação digital, disponíveis na Seção Técnica de Modelos, Ensaios e Experimentações Construtivas – STMEEC - da FAUUSP.

2.2. Compósitos com fibras longas de origem vegetal

Paralelamente e como um contraponto aos compósitos de fibras de madeira, diversas fibras vegetais longas foram testadas como reforço, sendo elas: a juta, com uso em compósitos verificado em bibliografia, comprada em lojas de tecidos e material de construção, como tecido e estopa, respectivamente; a fibra da palha de coqueiro, composta por camadas ortogonais entre si, se assemelhando a um tecido *in natura*, coletada em espécimes da CUASO; e a fibra da cana de açúcar, uma investigação de como se dá a preparação de fibras naturais para uso em compósitos, assim como do uso de resíduos agrícolas como matéria prima do bagaço, coletada em feiras livres. É difícil criar compósitos com fibras naturais com desempenho próximo aos compósitos de fibras sintéticas, em especial por conta da hidrofília das fibras naturais, prejudicial à interface com a matriz e, portanto, à resistência do material. No entanto, é possível favorecer esta adesão mecânica submetendo as fibras a processos químicos, como a mercerização, tratamento alcalino que as modifica, despidendo-as de elementos como hemicelulose e lignina, revelando a superfície rugosa da celulose [18], [6]. De forma similar, nos processos tradicionais de produção artesanal de papel as fibras naturais são preparadas por decomposição controlada, ao longo de um longo período de tempo, ou por cozimento em soluções alcalinas, em um processo mais rápido, após o tratamento, restam apenas as fibras celulósicas, prontas para o processo de formação do papel, em que as fibras se entrelaçam de forma aleatória, capturadas em tela quando suspensas em água [19], [20], [21]. Esse método de produção de papel foi aplicado às fibras de bagaço de cana, que foram lavadas, cortadas em seções de aproximadamente 3 cm, cozidas por 3 horas em solução alcalina de 20% de massa de CaCO_3 relativa à massa de fibra (100g para 500 g), posteriormente as fibras foram maceradas e formadas como papel. Os métodos de manufatura de compósitos reforçados com fibras longas são variados em complexidade e custos, assim, o escolhido foi o de laminação manual, mais rudimentar, usado em reparos automotivos, por exemplo. As fibras foram laminadas em poucas camadas, pincelando a resina, com controle apenas visual de quantidade aplicada até umedecer a fibra, usando moldes variados, de forma a manter a translucidez do material em troca da maior rigidez e resistência que pode ser alcançada com laminação de sucessivas camadas de fibras sobrepostas.

3. Aplicações e Resultados

3.1.1. Tampa e vedação da “caixinha Toco”

Usando partículas menores de serragem, pensou-se em usinar uma geometria não planar com melhor acabamento do que é possível usando fibras maiores, para isso foi feita uma primeira amostra, posteriormente furada, cortada e lixada como investigação do material, e a partir disso, foi moldada uma chapa com alterações em dimensões e composição. Foi intencionado um diálogo com uma peça em madeira criada pelo Poda Lab, a partir de galhos de Acrocarpo, para ser montada e acabada por alunos calouros dos cursos da FAUUSP em uma oficina prática, denominada “Caixinha Toco”. Trata-se de uma peça cilíndrica, em que se faz um corte transversal e uma das seções, escavada com broca, é o corpo da caixa, e a outra, menor e presa a anterior por um pivô metálico, é a tampa [22], uma das caixinhas foi descartada durante os preparativos da oficina, pois tinha rachado e a tampa original foi perdida. Foram preparadas

duas composições: a primeira, para preencher a rachadura da madeira, tem 2/3 de resina para 1/3 de pó de madeira (peneira de 1mm); a segunda, moldada em uma fôrma de madeira compensada de medida interna de 14x14x2 cm na prensa manual, usa a mesma fibra, com proporção de 100% de resina com relação à fibra, 160g das duas. A chapa foi usinada facilmente, conformando uma tampa, desenhada como encaixe exato, através do escaneamento da peça original, e tem boa resistência apesar do tamanho da fibra, o que provavelmente se deve à grande proporção de resina.



Figuras 2a e 2b: a- Compósito desenformado; b- Usinagem da peça c- Saleiro em madeira e compósito de acrocarpo. Fonte: elaborado pelos autores

3.1.2. Banqueta

Explorando o potencial uso do compósito de resíduo de poda para mobiliário e componentes construtivos, foi feita uma fôrma em madeira compensada, com medidas internas de 47x67x10cm, e usada uma prensa hidráulica, usada para colar madeira na STMEEC, não foi encontrado durante a pesquisa um trabalho de referência ou um manual de uso da máquina, de forma que a pressão aplicada não foi controlada. A referência tomada foi a espessura desejada do compósito, calculada com base em chapas anteriores e aferida com a medição da distância entre paredes laterais e tampa da fôrma durante a prensagem. A serragem usada é proveniente do corte de motosserra, na STMEEC, de toras de mais de uma espécie, pois até o momento não há uma separação deste material. A primeira chapa tem 1468 g de serragem, com 440,4 g de resina, 30% com relação à fibra, e tem uma variação considerável de espessura por conta do contramolde. A partir disso, ele foi reforçado e a segunda chapa foi moldada, usando mais resina: são 1500 g de serragem e 600 g de PU, 40%. Após testes de corte e perceber uma baixa compressão, o contramolde foi novamente reforçado e a quantidade de material foi dobrada, mantendo as proporções: 3000 g de serragem, e 1200 g de resina, o material foi mais comprimido na prensa, de forma que as duas chapas têm espessura igual de 1,5 cm.



Figura 3a, 3b, 3c e 3d: a- Fôrma final; b- Chapa 1; c- Chapa 2; d- Comparação de espessura das chapas. Fonte: elaborado pelos autores.

Em um primeiro momento, foi desenvolvido um desenho de mobiliário paramétrico em estrutura *waffle*, em que peças encaixadas ortogonalmente se estruturam, de forma que a contornar a fragilidade do material, como visto na “*Graas, Finish Your Self*”, cadeira infantil em papelão do designer David Graas [23]. A quantidade limitada de resina impossibilitou seguir com o projeto, pois demanda o corte de muitas peças. Foi usado um desenho de mobiliário *Open Source* então, com apenas três peças, apenas encaixadas, que seriam um teste de resistência do material [24]. As peças foram usinadas na última chapa e durante a montagem quebraram no encaixe, como substituição, foi usada a madeira compensada, sobre a qual o assento em compósito foi encaixado.



Figura 4a, 4b e 4c: a- Chapa de compósito sendo usinada em router CNC; b- Banqueta com assento em compósito; c- Detalhe do assento em compósito. Fonte: elaborado pelos autores.

3.2. Luminárias com cúpula em compósito vegetal de fibras longas

Os efeitos de passagem de luz e flexibilidade da folha de compósito encorajaram seu desdobramento como aplicação em luminárias, para isso foi projetada uma geometria paramétrica usando os softwares *Rhinoceros* e *Grasshopper*, de modo que pudesse ser ajustada rapidamente durante as etapas de prototipação, seccionada no software *Slicer for Fusion 360* gerando peças, posteriormente cortadas a laser em MDF, encaixadas como estrutura interna da luminária. A geometria se provou como uma tentativa de impor uma forma ao material: fibras tecidas ou mantas não se adequam a superfícies curvas, pois demandam uma laminação feita em retalhos, dessa forma, para o tecido de juta e bagaço, foi usado um cilindro como molde, e para a estopa de juta, o molde original. A luminária é composta pela cúpula em três variações de fibra (figura 5), e uma mesma base: um disco em compósito de madeira de poda, de 10 cm de diâmetro, no qual é fixada uma haste de cobre com uma fita LED endereçável, na ponta da haste se apoia um disco em MDF, sustentando a cúpula internamente.



Figura 5a, 5b e 5c: a- Luminária de fibra de juta; b- tecido de juta; c- fibra de bagaço de cana de açúcar
Fonte: elaborado pelos autores.

4. Discussões

No caso da luminária, em que a forma foi definida antes de maiores experimentações com as fibras, houve um avanço momentâneo, que em seguida dá lugar a retrocessos e entraves, descobertos de uma só vez. Ao passo que quando se prototipa em paralelo ao projeto, sem intervalos ou adiamento do fazer, estas questões ocorrem com menos frequência e são mais fáceis e rapidamente contornadas. Este desenvolvimento paralelo é mais fácil quando não há dependência deste ou daquele processo, seja de fabricação digital ou analógica, no contexto desta pesquisa e outras, feitas na STMEEC, há uma maior dependência dos processos de fabricação digital, por conta da maior facilidade de aprendizagem e maior escala de produção, quando comparados aos processos tradicionais de marcenaria. Estas ferramentas digitais, em grande parte, tem um custo proibitivo para uso doméstico ou hobbista, mas sua adoção se configura como um grande potencial para o uso da madeira de poda, de forma que é possível projetar para as especificidades de cada peça, há além disso, o caráter em rede e colaborativo dos centros de fabricação digital, sendo a cidade de São Paulo abrigo da iniciativa Fab Lab Livre SP, uma rede pública de 13 destes centros, uma via potencial de estruturar um sistema descentralizado de valorização destes recursos, sem que seja preciso habilidades ou experiências específicas, e que se projete em rede, mas se fabrique localmente.

5. Conclusão

Constatou-se que ao passo que a variedade das possibilidades de aplicação do material é um ponto forte da pesquisa, a falta de aprofundamento na caracterização do mesmo foi uma fraqueza da investigação, fazem-se necessárias melhorias como: (1) uma estratégia para separação e catalogação dos resíduos de poda urbana gerados nas atividades do grupo de pesquisa, (2) uma exploração controlada dos parâmetros de criação destes materiais, como pressão aplicada na moldagem ou tamanho da fibra, e validada com testes, como de resistência, através de parcerias com outros laboratórios, (3) um estudo de caso de iniciativas de aproveitamento de madeira de poda, tendo em mente que a maior parte não é aproveitada por suas dimensões pequenas, mas potencialmente se adequariam ao uso como compósitos, (4) um estudo de outras fibras residuais, suas cadeias produtivas e qual a viabilidade do seu uso como reforço. Além disso, o uso das fibras longas para construção de luminárias limitou a exploração das mesmas à translucidez e difusão de luz, mas a associação delas às fibras curtas de madeira, almejando maior resistência, é um horizonte futuro da pesquisa, assim como a investigação de alternativas à resina PU de mamona, dando preferência às de origem completamente renovável e biodegradável. Concluindo, foi possível atingir resultados que confirmam a hipótese original, de que é possível desenvolver e aplicar estes materiais para soluções tangíveis de design de produto, como também foi possível tirar conclusões acerca de explorações e melhorias futuras do material e os seus processos produtivos.

Referências

- [1] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (2015). D3878-15, Standard Terminology for Composite Materials, 2015.
- [2] YANG, Yongxiang et al. **Recycling of composite materials**. Chemical Engineering and Processing: Process Intensification, [s. l.], v. 51, Delft Skyline Debate, p. 53–68, 2012.
- [3] MARTINS, Romulo Henrique Batista. **Painel OSB sanduíche com núcleo ondulado de biomassa florestal residual**. 2021. Universidade de São Paulo, [s. l.], 2021. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/74/74133/tde-26102021-122453/>. Acesso em: 10 mar. 2024.
- [4] PROTZEK, Giuliana R; MAGALHÃES, Washington L E. **Análise das propriedades físicas do compósito de serragem e poliuretano derivado de óleo de mamona**. ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 15, [s. l.], 2016.
- [5] CANGEMI, José Marcelo. **Biodegradação de poliuretano derivado do óleo de mamona**. 2006. Doutorado em Química Analítica - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/75/75132/tde-26042007-091940/>. Acesso em: 10 mar. 2024.
- [6] SILVA, Rosana Vilarim Da. **Compósito de resina poliuretano derivada de óleo de mamona e fibras vegetais**. 2003. Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/88/88131/tde-29082003-105440/>. Acesso em: 8 mar. 2024.
- [7] BUCKERIDGE, Marcos. **Árvores urbanas em São Paulo: planejamento, economia e água**. Estudos Avançados, [s. l.], v. 29, p. 85–101, 2015.
- [8] SOUZA, Caroline Almeida. **Resíduo de poda de arvores urbanas: como reaproveitar?** São Paulo, SP: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, 2022. (IPT Publicação 3046).
- [9] PODA LAB / FAU USP. Madeira de poda: matéria-prima para cidades sustentáveis, c2022. Página inicial. Disponível em: <https://sites.usp.br/podalab/>. Acesso em: 14 de maio de 2024.
- [10] MEIRA, Ana Maria De. **Gestão de resíduos da arborização urbana**. 2010. Doutorado em Recursos Florestais - Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11150/tde-19042010-103157/>. Acesso em: 10 mar. 2024.
- [11] ANANAS ANAM. **The Manufacturing Process of Piñatex**. Disponível em: <https://www.ananas-anam.com/about-us/>. Acesso em: 13 mai. 24.

- [12] UNIVERSITY OF EAST LONDON. **About Sugarcrete®**. Disponível em: <https://uel.ac.uk/sugarcrete> . Acesso em: 11 mar. 2024.
- [13] INGOLD, Tim. **Estar vivo: Ensaio sobre movimento, conhecimento e descrição**. Editora Vozes Limitada, 2015.
- [14] BROWN, Tim. **Design thinking: uma metodologia poderosa para decretar o fim das velhas ideias**. Elsevier, 2010.
- [15] INGOLD, Tim. Trazendo as coisas de volta à vida: emaranhados criativos num mundo de materiais. **Horizontes Antropológicos**, v. 18, p. 25–44, 2012
- [16] IMPERVEG® POLIURETANO VEGETAL. **Ficha técnica**. Disponível em: <https://imperveg.com.br/ficha-tecnica/>. Acesso em: 11 mar. 2024.
- [17] CORRÊA, Glaucinei Rodrigues; BRAGA, Juliana Cardoso; CASTRO, Maria Luiza Almeida Cunha de. Tecnologia Ligno: inovação em materiais e processos para as MPes moveleiras por meio do design. **Pensamentos em Design**, [s. l.], v. 2, n. 1, p. 7–21, 2022.
- [18] ALBINANTE, Sandra Regina; PACHECO, Élen Beatriz Acordi Vasques; VISCONTE, Leila Lea Yuan. **Revisão dos tratamentos químicos da fibra natural para mistura com poliolefinas**. Química Nova, [s. l.], v. 36, p. 114–122, 2013.
- [19] BUSS, Diva Elena; MENDONÇA, Mary Enice Ramalho de. Papel artesanal: veículo criativo na arte e na sociedade. [s. l.], 1991. Disponível em: <https://repositorio.usp.br/item/000734545>. Acesso em: 11 mar. 2024.
- [20] HIEBERT, Helen. **Papermaking with Garden Plants & Common Weeds**. [S. l.]: Storey Publishing, LLC, 2006.
- [21] HUNTER, Dard. **Papermaking: The History and Technique of an Ancient Craft**. [S. l.]: Courier Corporation, 1978.
- [22] SCHUTZER, Tiago Souto. **Da poda à roda: experimentos didáticos com madeira urbana**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo - Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 2022. Disponível em: https://bdta.abcd.usp.br/directbitstream/c176613f-7ea3-4d67-bad6-56aab636fda4/TFG_2022_1_Tiago_Schutzer.pdf.
- [23] FRANCO, A.; SALES, R. B. C.; MOHALLEM, N. D. S. **Design para mobiliário ecoeficiente utilizando papelão ondulado**. Anais...11º P&D Design, Gramado, RS, Outubro, 2014.
- [24] HELLO_NOVA. **CNC Chess Stools**. [S. l.], [s. d.]. Disponível em: <https://www.instructables.com/CNC-Chess-stools/>. Acesso em: 11 mar. 2024.