

VALORIZAÇÃO DE MADEIRA DE MANEJO DE ÁRVORES URBANAS: abordagens e perspectivas para o design – uma revisão sistemática

VALORIZATION OF WOOD FROM URBAN TREE MANAGEMENT: approaches and perspectives for design – a systematic review

SOUZA, Caio Dutra Profirio de; Mestre; Universidade de São Paulo

caiodutra@usp.br

SOUSA, Cyntia Santos Malaguti de; Doutora; Universidade de São Paulo

cyntiamalaguti@usp.br

Resumo

O artigo investiga as oportunidades de valorização da madeira proveniente do manejo de arborização urbana por meio de uma revisão sistemática da literatura. A análise abrange 21 estudos que indicam diversas possibilidades de aproveitamento em cascata desse material, incluindo usos na sua forma mais valiosa, como madeira sólida, para a produção de elementos construtivos, mobiliário, utensílios, brinquedos e artesanato. As atividades de design podem favorecer o desenvolvimento dessas soluções. O estudo também discute os potenciais benefícios ambientais, sociais e econômicos da valorização da madeira urbana, assim como os desafios que precisam ser superados para garantir a utilização consistente desses recursos.

Palavras-chave: madeira urbana; resíduos de madeira; design.

Abstract

The article investigates the opportunities for valorizing wood from urban tree management through a systematic literature review. The analysis covers 21 studies that indicate various possibilities for cascading uses of this material, including applications in its most valuable form, as solid wood, to produce construction elements, furniture, utilitarian items, toys and handicrafts. Design activities can favor the development of these solutions. The study also discusses the potential environmental, social and economic benefits of valorizing urban wood, as well as the challenges that need to be overcome to ensure the consistent use of these resources.

Keywords: urban wood; wood waste; design.

1 Introdução

Diante do acelerado processo de expansão das cidades e do aumento na ocorrência e severidade de eventos climáticos extremos, como tempestades volumosas (LIU et al., 2023) e ondas de calor recordes (ROSENZWEIG et al., 2023), fica evidente a necessidade de ampliar e gerir adequadamente a arborização urbana – conceito que engloba toda a vegetação lenhosa que circunda ou se encontra em regiões metropolitanas (MILLER; HAUR; WERNER, 2015).

As árvores contribuem para a resistência, resiliência, adaptação e recuperação desses espaços intensamente construídos ao promoverem a circulação do ar e o equilíbrio da temperatura, além de regularem a umidade e a radiação solar. Elas também reduzem a poluição atmosférica e sonora, aumentam a permeabilidade do solo, protegem a fauna e proporcionam áreas sombreadas para descanso e contemplação (NOWAK; GREENFIELD, 2018).

Entretanto, à medida que a cobertura arbórea das cidades se expande, cresce a necessidade de sua manutenção, que inclui podas e supressões por motivos estéticos, funcionais, fitossanitários ou para minimizar conflitos entre as árvores e os equipamentos urbanos. Essas atividades geram um grande volume de resíduos, como folhas, flores, frutos, sementes, ramos, galhos e troncos, provenientes de diversas espécies (MEIRA, 2010).

Sem uma gestão adequada, tais resíduos passam a representar um problema em virtude do alto volume de geração e dos custos de transporte e disposição, sendo muitas vezes destinados aos aterros ou lixões, quando não descartados em áreas irregulares. A valorização desse material residual poderia reduzir os custos de gerenciamento e/ou gerar renda para a sociedade (KAMPELMANN, 2021).

Para compreender como as possibilidades de valorização desses resíduos têm sido investigadas pela comunidade científica, Correia et al. (2022) realizaram buscas avançadas nas bases de dados Scopus e Web of Science (WoS) para identificar trabalhos publicados entre os anos de 1991 e 2020. A pesquisa resultou em um total de 607 estudos retidos para análises quantitativas.

Das análises, destacaram-se as seguintes informações: houve um aumento no interesse pelo tema no recorte temporal estabelecido, com 2 ou mais estudos publicados anualmente a partir dos anos 2000, sendo o pico em 2020, com 84 estudos identificados; autores vinculados a instituições espanholas foram os que mais publicaram sobre o assunto; 28 periódicos nucleares de publicação foram mapeados e são relacionados em algum grau com produção de energia e combustíveis, agricultura, gestão de resíduos, qualidade ambiental, compostagem e silvicultura; bioenergia e energia renovável são os principais temas motores das publicações, sendo biomassa, carvão vegetal, poda, metais pesados, composto e compostagem temas transversais.

Os autores salientam que, apesar do grande número de tópicos abordados nas pesquisas sobre resíduos de poda urbana, os aspectos socioeconômicos relacionados ao aproveitamento ou não desses resíduos ainda são pouco explorados. Além disso, nota-se a insipiência de estudos que tratem de rotas para a sua valorização além da conversão energética e da compostagem.

Considerando-se as informações acima e o caráter generalista da pesquisa de Correia et al. (2022), que aborda a valorização do conjunto heterogêneo de resíduos das atividades de

manutenção de árvores urbanas, sem focar em possibilidades de uso distintas para cada material – seja do ponto de vista do segmento arbóreo de onde provém ou da espécie arbórea a que pertence –, este artigo questiona quais seriam as oportunidades específicas de valorização da madeira de poda e supressão. Esse questionamento é relevante, pois até 30% desses resíduos são galhos e troncos que poderiam ser usados prioritariamente em sua forma mais valiosa, como madeira sólida e/ou serrada, em produtos com valor de mercado (MEIRA, 2010).

Por meio de uma revisão sistemática da literatura, os objetivos desta pesquisa foram: (i) identificar bibliografia específica sobre valorização de madeira de manejo arbóreo urbano e os seus enfoques, de modo complementar aos resultados obtidos pelo estudo generalista sobre valorização de resíduos de poda urbana de Correia et al. (2022); (ii) sistematizar as possibilidades de valorização de madeira identificadas, benefícios potenciais e dificuldades associadas; e (iii) elucidar as oportunidades para o envolvimento do campo do design com o tema.

2 Procedimentos metodológicos

Trata-se de estudo de caráter exploratório-descritivo que seguiu o método de revisão sistemática da literatura, um tipo de levantamento bibliográfico que se desenvolve em etapas planejadas e seguindo critérios pré-definidos (“Protocolo de Pesquisa”) (OBREGON, 2017), de modo a acessar, sintetizar e relacionar conhecimento gerado sobre determinado assunto.

A primeira etapa da revisão foi a formulação da seguinte questão norteadora: *quais são as abordagens de pesquisa sobre valorização de madeira de manejo de arborização urbana na literatura científica atual e as perspectivas para a exploração do tema no âmbito do design?*

Três bases de dados de relevância para diferentes áreas do conhecimento foram escolhidas (Scopus, WoS e Scielo) e parâmetros de busca e seleção de estudos para análise foram definidos em um Protocolo de Pesquisa (Tabela 1).

Tabela 1 – Protocolo de pesquisa

	Critérios simultâneos para inclusão	Critérios simultâneos para exclusão
Escopo	Pesquisas que abordem modelos, processos e/ou potenciais de valorização de madeira de manejo de arborização urbana	Pesquisas que abordem resíduos de manejo de arborização urbana sem foco na madeira e na valorização do material em usos potenciais
Tipo de documento	Artigos de periódicos	Artigos de anais de congresso, capítulos de livro
Acesso	Trabalhos acessíveis gratuitamente pelo portal de periódicos da Capes ou portal das editoras	Publicações duplicadas, de acesso restrito ou cuja obtenção envolva o pagamento direto por parte dos autores da pesquisa
Idioma	Português, inglês, espanhol e francês	Outros idiomas
Ano	Trabalhos publicados entre 2018 e 2024	Trabalhos publicados antes de 2018

Fonte: os autores

Para serem incluídos na revisão, os documentos deveriam ser artigos publicados em periódicos no intervalo de 2018 a 2024 (considerando-se a vigência de 2024 durante a realização deste estudo) e disponíveis gratuitamente por meio do portal de periódicos da Capes ou das editoras. Além disso, deveriam ser escritos em português, inglês, espanhol ou francês (idiomas dominados pelos autores) e focados em modelos, processos e/ou potenciais de valorização de madeira de manejo de arborização urbana.

A partir de uma exploração não-sistemática inicial, foram definidas duas associações de palavras-chave promissoras para levantamento nas bases de dados, a saber:

- (i) “urban AND (forest* OR tree OR wood) AND waste”; e
- (ii) “urban AND wood AND design”

Por meio da primeira associação, buscou-se mapear o assunto de modo abrangente, visando a alcançar diferentes especialidades; a segunda associação direcionava os resultados, potencialmente, ao campo das disciplinas projetuais, usando-se o termo “design”.

As associações de palavras-chave foram pesquisadas nos campos de busca “título (*title*)”, “resumo (*abstract*)” e “palavras-chave (*keywords*)” das três plataformas, delimitando-se ano, idioma e tipo de documento, conforme Protocolo de Pesquisa. Os resultados obtidos foram exportados no formato .bibtex para o gerenciador de referências Mendeley.

Três filtragens consecutivas foram aplicadas à biblioteca de referências consolidadas no Mendeley, de modo a excluir progressivamente os documentos que não se enquadravam nos critérios detalhados no Protocolo de Pesquisa. No primeiro filtro, foram identificadas as referências duplicadas; logo após, realizou-se a leitura dos títulos e resumos de todos os artigos, eliminando os que não apresentavam adesão aos objetivos da pesquisa. A terceira e última filtragem foi a leitura completa dos artigos que passaram pelo segundo filtro, permanecendo apenas os que apresentavam todos os critérios simultâneos para inclusão na revisão (Figura 1).

Figura 1 - Processo de filtragem dos artigos para revisão



Fonte: os autores

3 Resultados e discussões

A primeira combinação de palavras-chave resultou em 709 artigos na Scopus, 471 na WoS e 20 na Scielo, totalizando 1200 artigos. Já a segunda combinação resultou em 131 artigos na Scopus, 147 na WoS e 2 na Scielo, totalizando 280 artigos. Ao somar os resultados das três bases de dados, as buscas com ambas as combinações de palavras-chave retornaram um total de 1480 trabalhos, conforme sintetizado na Tabela 2.

Tabela 2 – Resultados das pesquisas nas bases de dados

	Associação 1	Associação 2	Total
Scopus	709	131	840
WoS	471	147	618
Scielo	20	2	22
	1200	280	1480

Fonte: os autores

As 1480 referências foram consolidadas no Mendeley e os estudos duplicados excluídos, resultando em 783 artigos. Após a leitura dos títulos e resumos, somente 30 mostravam aderência ao tema deste estudo, sendo que desses, 2 foram excluídos, pois não foi possível acessá-los na íntegra pelos critérios estabelecidos no item “Acesso” do Protocolo de Pesquisa. Foi feita a leitura completa dos 28 estudos restantes e 7 foram descartados por não focarem na madeira de manejo de árvores urbanas e/ou na valorização do material em usos potenciais, conforme estabelecido no item “Escopo” do Protocolo de Pesquisa. Sendo assim, apenas 21 artigos foram incluídos nesta revisão (Tabela 3).

Tabela 3 – Filtragem dos resultados obtidos nas bases de dados

Total inicial	Total pós-filtro 1 (duplicatas)	Total pós-filtro 2 (leitura parcial)	Total pós-filtro 3 (leitura integral)
1480	783	30	21

Fonte: os autores

A biblioteca final de referências desta revisão é apresentada na Tabela 4, atribuindo-se um número-chave para a posterior identificação de cada uma (ordem alfabética).

Tabela 4 – Biblioteca de referências revisadas

Nº	Referência	País	Área
1	ALLI, H. et al. Utilising the urban tree waste as alternative for furniture lumber: a case study in Kuala Lumpur . Alam Cipta, v. 14, n. 2, p. 1-12, 2021.	Malásia	Ciências Ambientais; Ciências Sociais
2	ANDRADE, C. R. et al. The potential of wood-based urban waste to generate bioenergy and increase the energetic sustainability . Clean Technologies and Environmental Policy, 2024.	África do Sul; Brasil; EUA	Ciências Ambientais; Economia, Econometria e Finanças; Negócios, Administração e Contabilidade
3	BISPO, L. F. P. et al. Valorizing urban forestry waste through the manufacture of toys . Waste Management, v. 126, p. 351-359, 2021.	Brasil	Ciências ambientais

4	CIVITARESE, V. et al. A comparison of the qualitative characteristics of pellets made from different types of raw materials. <i>Forests</i> , v. 14, n. 10, 2023.	Itália; Polônia	Ciências Agrárias e Biológicas
5	CRUZ-ESTRADA, R. H. et al. Potential use of waste from tree pruning and recovered plastic to obtain a building material: Case study of Merida, Mexico. <i>Waste Management & Research</i> , v. 38, n. 11, p. 1222-1230, 2020.	México	Ciências ambientais
6	DICKINSON, S.; DIMOND, K.; LI, S. Green waste to green architecture: optimizing urban tree systems for renewable construction material supply chains. <i>Socio-Ecological Practice Research</i> , v. 5, n. 3, p. 263-273, 2023.	EUA	Ciências Ambientais; Ciências Sociais
7	FERLA, G. et al. Urban greenery management and energy planning: A GIS-based evaluation of pruning by-products for energy application for the city of Milan. <i>Renewable Energy</i> , v. 160, p. 185-195, 2020.	Itália	Energia
8	FERRANDEZ-VILLENA, M. et al. Evaluation of fruit and vegetable containers made from Mulberry wood (<i>Morus Alba L.</i>) waste. <i>Applied Sciences (Switzerland)</i> , v. 9, n. 9, 2019.	Espanha	Engenharia; Engenharia Química; Ciências da Computação; Ciências dos Materiais; Física e Astronomia
9	GROHMANN, D. et al. Street trees' management perspectives: Reuse of <i>Tilia sp.</i>'s pruning waste for insulation purposes. <i>Urban Forestry and Urban Greening</i> , v. 38, p. 177-182, 2019.	Itália	Ciências Ambientais; Ciências Agrícolas e Biológicas
10	KLINGENBERG, D. et al. Drying wastes from urban forestry as an option for their recovery and use in furniture and small wooden objects. <i>Environment, Development and Sustainability</i> , 2021.	Brasil	Ciências Ambientais; Ciências Sociais; Economia, Econometria e Finanças
11	KLOSTER, D. P. et al. Tree crew perspectives on wood product recovery from utility vegetation management. <i>Arboriculture and Urban Forestry</i> , v. 46, n. 3, p. 197-209, 2020.	EUA	Ciências Ambientais; Ciências Agrícolas e Biológicas
12	LAN, K.; ZHANG, B.; YAO, Y. Circular utilization of urban tree waste contributes to the mitigation of climate change and eutrophication. <i>One Earth</i> , v. 5, n. 8, p. 944-957, 2022.	EUA	Ciências Ambientais; Ciências da Terra e Planetárias
13	MARREIRO, H. M. P. et al. Briquetting process optimization of poultry litter and urban wood waste. <i>Renewable Energy</i> , v. 222, p. 119955, 2024.	Brasil	Energia
14	MEIRA, A. M. et al. Insights into the reuse of urban forestry wood waste for charcoal production. <i>Clean Technologies and Environmental Policy</i> , v. 23, n. 10, p. 2777-2787, 2021.	Brasil	Ciências ambientais
15	MEIRA, A. M. et al. Integrated municipal management of waste from tree pruning and removal. <i>Urban Forestry and Urban Greening</i> , v. 94, 2024.	Brasil	Ciências Ambientais; Ciências Agrícolas e Biológicas
16	NOWAK, D. J.; GREENFIELD, E. J.; ASH, R. M. Annual biomass loss and potential value of urban tree waste in the United States. <i>Urban Forestry and Urban Greening</i> , v. 46, 2019.	EUA	Ciências Ambientais; Ciências Agrícolas e Biológicas

17	PITTI, A. R.; ESPINOZA, O.; SMITH, R. The case for urban and reclaimed wood in the circular economy. <i>Bioresources</i> , v. 15, n. 3, p. 5226-5245, 2020.	EUA	Ciências Ambientais; Engenharia Química
18	SÁNCHEZ, D. M.; TSUKAMOTO, Y.; LOBO, N. G. Pavilions revealing the possibility of urban forestry as commons: Case studies on “fire foodies club” and “urban foresters club” at UABB. <i>AIJ Journal of Technology and Design</i> , v. 26, n. 64, p. 1230-1235, 2020.	Japão	Engenharia
19	SCHMITT-HARSH, M. L.; WISEMAN, E. Household perceptions and practices of recycling tree debris from residential properties. <i>Sustainability (Switzerland)</i> , v. 12, n. 16, 2020.	EUA	Ciências ambientais; Ciências Sociais; Energia; Engenharia; Ciências da Computação
20	SOUSA, C. S. M. et al. Urban forests management: Design-driven technological routes for wood waste valuing. <i>Agathon</i> , v. 13, p. 291-300, 2023.	Brasil	Ciências sociais
21	THOMAS, R. E.; ESPINOZA, O. A specialized data crawler for urban wood information. <i>Forest Products Journal</i> , v. 73, n. 4, p. 350-356, 2023.	EUA	Ciências Agrárias e Biológicas; Ciências dos Materiais

Fonte: os autores

A tabela de referências revela que os artigos incluídos nesta revisão foram publicados em uma variedade de periódicos, sendo os mais recorrentes *Urban Forestry and Urban Greening* (n = 3) e *Clean Technologies and Environmental Policy* (n = 2). O primeiro é um dos principais veículos de divulgação científica dedicados à gestão, planejamento e conservação da vegetação urbana e o segundo é orientado a estudos sobre processos, estratégias e políticas para tecnologias de baixo impacto ambiental. Ambos estão alinhados às principais áreas de conhecimento atribuídas aos artigos - Ciências Ambientais (n = 14) e Ciências Agrárias e Biológicas (n = 6) -, sendo que diversos estudos foram catalogados em mais de uma área - dentre elas Ciências Sociais (n = 5), Engenharia (n = 3) e Energia (n = 3) -, sugerindo um interesse multidisciplinar pelo tema e as suas aplicações para diferentes setores da sociedade.

O principal ano de publicação no recorte temporal estabelecido foi 2020 (n = 6), mesmo ano identificado com o pico de produções sobre resíduos de manejo de árvores urbanas no estudo mais amplo realizado por Correia et. al (2022). Por outro lado, 2022 foi o ano com menos publicações (n = 1), o que pode ser atribuído a diversos fatores, como impactos da pandemia de COVID-19, que afetaram a produção acadêmica em diversos setores, ou à maturação e/ou consolidação de resultados de pesquisas em andamento nesse ano e que viriam a ser publicadas em 2023, quando houve um aumento no número de artigos sobre o assunto (n = 4).

Entre os autores mais prolíficos, destacam-se A. F. Dias Júnior (n = 5), A. M. Nolasco (n = 4) e D. Klingenberg (n = 3), que contribuíram para múltiplos estudos e são vinculados a Universidades brasileiras, país com o segundo maior número de afiliações atribuídas às publicações (n = 7), atrás apenas dos EUA (n = 8).

Nos EUA, iniciativas de valorização de madeira de manejo de árvores urbanas ganharam impulso a partir dos anos 2000, quando uma infestação de besouros *Agilus planipennis* levou à supressão em massa de árvores e gerou um grande volume de resíduos lenhosos (KAMPELMANN,

2021). A partir de então, o país se tornou uma referência no assunto. Por meio de um fomento inicial do Serviço Florestal dos EUA, em 2014, foi criada uma Rede de Madeira Urbana (*Urban Wood Network*), organização guarda-chuva que promove e relaciona iniciativas que trabalham com madeira extraída em aglomerações urbanas.

Em relação ao Brasil, o número de publicações identificadas nesta revisão reflete o crescente interesse de pesquisadores nacionais em promover e articular conhecimento sobre o assunto, como observado no seminário internacional “Valorização de resíduos da arborização urbana: potencial para pesquisas e projetos de urbanismo, arquitetura e design” organizado pelo Núcleo de Pesquisa em Tecnologia da Arquitetura, do Urbanismo e do Design (Nutau) da Universidade de São Paulo, em 2020. O evento obteve 642 inscritos provenientes de 222 cidades do Brasil. Esse público vinculava-se a 190 universidades brasileiras, a 35 órgãos do setor público e ainda a algumas Organizações Não Governamentais (ONGs) (NUTAU USP, 2020).

Isso posto, após as observações quantitativas depreendidas da biblioteca de referências foram realizadas análises de conteúdo dos artigos, de modo a extrair as seguintes informações, alinhadas aos objetivos desta pesquisa: (i) enfoques de estudo; (ii) oportunidades de valorização da madeira mencionadas pelos autores; (iii) benefícios potenciais e (iv) dificuldades associadas. Essas informações são discutidas a seguir.

3.1 Enfoques adotados na valorização de madeira urbana

Após leituras, os objetivos de cada um dos 21 artigos retidos para esta revisão foram sintetizados e tabulados (Tabela 5). A partir deles, 7 categorias conceituais gerais foram estabelecidas, de modo a facilitar a compreensão dos principais enfoques de pesquisa. Vários artigos foram catalogados em mais de uma categoria. As categorias foram: Projetos e/ou produtos; Caracterização técnica; Potencial energético; Gestão e manejo; Percepções de atores; Mercado e/ou economia; e Ferramentas.

Tabela 5 – Objetivos e enfoques das referências revisadas

Nº	Objetivos	Enfoques
1	Identificar propriedades técnicas de espécies arbóreas da cidade de Kuala Lumpur (Malásia) e o potencial de uso da madeira de manejo em produtos	Caracterização técnica; Projetos e/ou produtos
2	Investigar propriedades tecnológicas e químicas de resíduos de madeira urbana e propor rotas ambientais alternativas para sua introdução no setor de energia elétrica	Caracterização técnica; Potencial energético
3	Caracterizar tecnicamente a madeira de três espécies de árvores urbanas comuns no Brasil e o potencial para a fabricação de brinquedos	Caracterização técnica; Projetos e/ou produtos; Percepções de atores
4	Apresentar experimentos com pellets produzidos com diferentes materiais lignocelulósicos, incluindo resíduos de poda urbana, para geração de energia	Potencial energético; Caracterização técnica
5	Relatar a prototipagem de uma chapa corrugada de resíduos de madeira urbana e plástico gerados em Mérida (México) para uso em telhados de baixo custo	Caracterização técnica; Projetos e/ou produtos

6	Discutir oportunidades de uso de madeira urbana em elementos estruturais para construção com o auxílio de ferramentas digitais	Projetos e/ou produtos
7	Apresentar um método baseado em GIS para explorar os prós e contras do uso de energia da madeira urbana na cidade de Milão	Ferramentas; Potencial energético
8	Analisar tecnicamente a madeira de manejo de amoreiras da arborização de Alicante (Espanha) e a sua aplicação em embalagens particuladas para transportar frutas e legumes	Caracterização técnica; Projetos e/ou produtos
9	Avaliar a adequação do uso de resíduos de poda de <i>Tilia sp.</i> da cidade de Perugia (Portugal) como material de isolamento térmico para edifícios	Caracterização técnica; Projetos e/ou produtos
10	Investigar a secagem e a contração da madeira de espécies selecionadas da arborização de Piracicaba (São Paulo) e as possibilidades de aplicação em produtos	Caracterização técnica; Projetos e/ou produtos
11	Avaliar as percepções e experiências das equipes de manejo arbóreo em Connecticut (EUA) sobre um programa piloto de recuperação de madeira urbana	Gestão e manejo; Percepções de atores
12	Analisar as implicações ambientais de diferentes cenários de gerenciamento e utilização de resíduos de árvores urbanas dos EUA	Gestão e manejo
13	Avaliar a sinergia dos resíduos de madeira de poda de árvores urbanas e de cama de aviário para a produção de briquetes	Potencial energético
14	Investigar o potencial energético da madeira urbana para uso em sistemas que necessitam de carvão vegetal	Potencial energético
15	Caracterizar o sistema de manejo da arborização de Piracicaba (São Paulo) e formas de recuperação dos resíduos de poda e supressão das árvores	Gestão e manejo
16	Avaliar os valores anuais de resíduos de árvores urbanas nos EUA e as potenciais economias ambientais e financeiras da utilização dos resíduos de manejo	Gestão e manejos; Mercado e/ou economia
17	Identificar as práticas de comercialização de produtos com madeira de manejo e de demolição nos EUA, oportunidades e barreiras para a expansão desse mercado	Projetos e/ou produtos; Mercado e/ou economia
18	Analisar dois projetos da Bienal de Arquitetura e Urbanismo de Shenzhen que usam resíduos arbóreos dos parques da cidade para energia, compostagem e oficinas de marcenaria	Projetos e/ou produtos
19	Identificar as práticas de remoção de árvores em propriedades residenciais de Harrisonburg (EUA) e as percepções dos residentes sobre os usos da madeira residual	Gestão e manejo; Percepções de atores
20	Apresentar parâmetros preliminares para valorizações de madeira urbana orientadas por design	Projetos e/ou produtos
21	Documentar o desenvolvimento de um mecanismo de busca e um banco de dados especializados em madeira urbana	Ferramentas

Fonte: os autores

A categoria mais atribuída aos artigos revisados foi “Projetos e/ou produtos” (n = 10), indicando um expressivo interesse na identificação de oportunidades para o uso da madeira

urbana em seu estado sólido, indo além do seu “Potencial energético” (categoria vinculada a somente 5 documentos) ou da produção de composto orgânico (enfoque não identificado em nenhum dos 21 textos analisados). Na revisão generalista sobre aproveitamento de resíduos de manejo arbóreo urbano de Correia et. al (2022), ao contrário, energia e compostagem apareceram como principais abordagens de investigação, praticamente não mencionando a fabricação de produtos sólidos. Essa condição corrobora com a observação apresentada na introdução deste artigo, de que cada material que compõe o conjunto de resíduos de manejo arbóreo deve ser investigado separadamente, já que apresentam oportunidades de valorização distintas.

A segunda categoria mais associada aos artigos avaliados, "Caracterização técnica" (n = 8), sugere que, para fabricar produtos com essa madeira, é necessário identificar e analisar suas propriedades físicas, químicas e mecânicas, já que se trata de um material ainda pouco documentado na literatura científica e que apresenta diferenças significativas em relação às madeiras convencionais disponíveis no mercado, devido às suas variadas condições de crescimento no contexto urbano (MEIRA, 2010). Essa percepção tem fundamento nos estudos de Bispo et al. (2021), Cruz-Estrada et al. (2020), Ferrandez-Villena et al. (2019), Grohmann et al. (2019) e Klingenberg et al. (2021), que analisam espécies selecionadas para então sugerir aplicações direcionadas.

Em seguida, os 6 estudos categorizados em “Gestão e manejo” enfatizam que o aproveitamento consistente desses resíduos requer o entendimento das suas condições de geração, incluindo volume gerado, sazonalidade, dispersão espacial, composição, logística de coleta, transporte e disposição, entre outros.

A categoria "Percepções de atores" foi identificada em apenas 3 estudos, indicando um enfoque ainda emergente sobre a visão de usuários e/ou profissionais envolvidos na cadeia de produção e valorização desse material, embora seja uma abordagem de especial interesse para o campo do design de produtos e serviços, já que a prática pressupõe interação e articulação com os demais elos da cadeia de valor. Já a categoria "Mercado e/ou economia", presente em apenas 2 artigos, reforça as conclusões de Correia et al. (2022) de que há uma carência de estudos sobre os aspectos socioeconômicos relacionados à utilização desses resíduos.

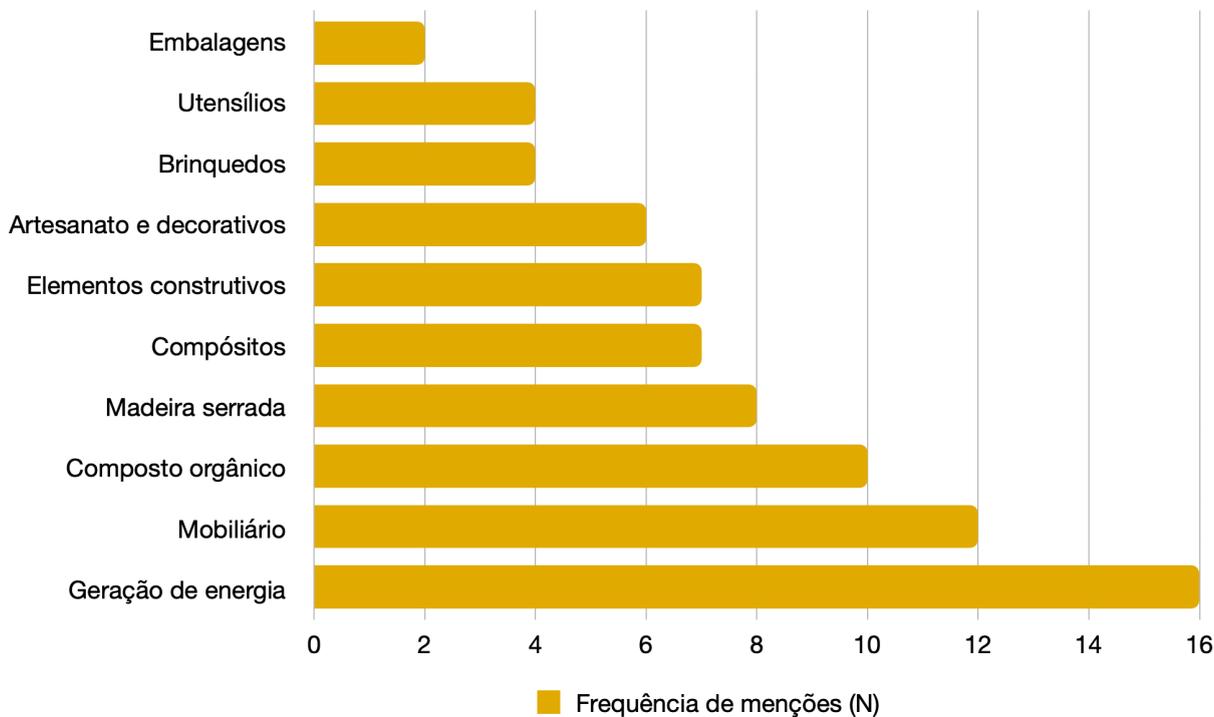
Por fim, apenas 2 estudos, de Ferla et al. (2020) e Thomas e Espinoza (2023), focam em “Ferramentas” para apoiar processos e promover informações para o aproveitamento de madeira urbana, podendo ser um caminho promissor para investigações futuras.

3.2 Oportunidades, benefícios e dificuldades na valorização de madeira urbana

Diversas possibilidades de valorização de madeira urbana foram mencionadas pelos autores dos artigos revisados. Elas foram consolidadas em 10 categorias gerais que facilitam a sua compreensão, a saber: (i) Geração de energia (abrangendo combustão direta, pellets, briquetes, lenha e carvão vegetal); (ii) Mobiliário (doméstico e urbano); (iii) Composto orgânico; (iv) Madeira serrada; (v) Compósitos (incluindo painéis particulados); (vi) Elementos construtivos (considerando vigas, pisos, dormentes, postes, estacas, portas e peças de escadas); (vii) Artesanato e objetos decorativos; (viii) Brinquedos (considerando jogos educativos); (ix) Utensílios (abrangendo artefatos domésticos, ferramentas, acessórios e instrumentos musicais); e (x) Embalagens.

A Figura 2 ilustra a frequência de menções de cada categoria.

Figura 2 - Frequência de menções às possibilidades de valorização de madeira urbana



Fonte: os autores

Os dados indicam que, embora o potencial energético da madeira urbana tenha sido um dos enfoques menos identificados nos artigos revisados, o seu uso para geração de energia foi a valorização mais mencionada ($n = 16$). De modo similar, apesar da produção de composto orgânico ($n = 10$) não ter sido foco de nenhum estudo, essa possibilidade aparece como a terceira mais citada. Isso sugere que essas ainda são as rotas mais lembradas, talvez por serem as formas de aproveitamento mais consolidadas para esse material, não exigindo processos de triagem mais acurados e permitindo assim, maior escalabilidade na resolução do problema.

Por outro lado, mobiliário ($n = 12$) aparece como a forma mais citada para a valorização da madeira em seu estado sólido, sendo que esse tipo de produto apresenta grande potencial de retorno financeiro devido ao seu valor de mercado (Figura 3).

Figura 3 - Cadeira de madeira da espécie *Leucaena leucocephala*, por C. Bartholomeu



Fonte: Barata et al., 2021.

Madeira serrada (n = 8) e materiais compósitos (n = 7) aparecem como rotas “intermediárias”, já que essas configurações podem ser destinadas à produção de móveis e elementos construtivos, além de embalagens de transporte (FERRANDEZ-VILLENA et al., 2019), sendo essa última a possibilidade de aproveitamento menos mencionada (n = 2), mas que se apresenta como caminho relevante, sobretudo se as embalagens forem fabricadas com as partículas resultantes da produção de outros itens.

Pequenos objetos de madeira, como artesanato e objetos decorativos (n = 6), brinquedos (n = 4) e utensílios (n = 4) (Figuras 4 e 5), embora menos mencionados pelos pesquisadores, são alternativas promissoras, pois galhos e troncos com menores diâmetros compõem parcela significativa dos resíduos de poda de arborização urbana (MEIRA, 2010; SOUSA et al., 2023).

Figura 4 - Projeto de brinquedo educativo sobre a fauna brasileira, por I. S. Braga e A. H. Matsuo.



Fonte: Barata et al., 2021.

Figura 5 - Fruteira de Pedro Petry com bordas irregulares



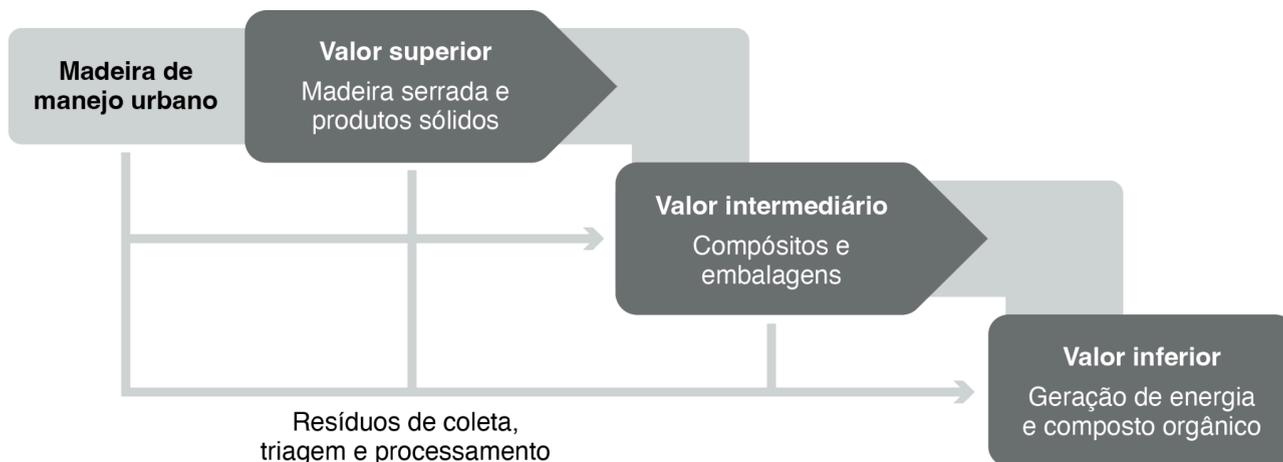
Fonte: Sousa, 2019.

Esse conjunto de possibilidades de valorização pode ser avaliado segundo o princípio de "uso em cascata" (KAMPELMANN, 2021), que propõe hierarquizar todas as formas de uso do material ao longo do seu ciclo de vida, classificando-as de acordo com o seu potencial de preservar ou agregar valor (funcional, simbólico e/ou econômico).

Além disso, no caso específico da madeira proveniente no manejo da arborização urbana, a aplicação de tal princípio oferece a vantagem adicional de fixar o carbono (CO₂), enquanto as soluções mais usuais de emprego do material na produção de composto orgânico ou geração de energia levam ao efeito contrário, ou seja, liberam CO₂ na atmosfera, contribuindo assim para o agravamento do efeito estufa.

No caso, as rotas mencionadas pelos autores revisados podem ser classificadas, da perspectiva do design, em três níveis de valor, ilustrados na Figura 6: (i) valor superior: madeira serrada e produtos sólidos; (ii) valor intermediário: compósitos e embalagens; (iii) valor inferior: geração de energia e composto orgânico.

Figura 6 - Uso em cascata de madeira urbana da perspectiva do design



Fonte: os autores

Independente da destinação, o aproveitamento da madeira urbana, em detrimento do simples descarte, pode contribuir com variados benefícios econômicos, ambientais e sociais, de acordo com os autores revisados.

No âmbito econômico, favorece a redução de custos decorrentes do descarte irregular, retorno financeiro por meio da venda de diferentes produtos fabricados com o material e a diversificação da atividade econômica local. Adicionalmente, pode resultar em economias com a produção de equipamentos públicos a partir dos resíduos.

Em termos ambientais, o aproveitamento contribui para a redução do volume excessivo de material destinado aos aterros sanitários, prolongando a vida útil desses espaços e amenizando as emissões de gases de efeito estufa, especialmente o metano. Além disso, como já mencionado, há a fixação de carbono em produtos sólidos acabados e duráveis produzidos com a madeira obtida localmente, o que também evita o transporte de madeira importada e os impactos dessa logística.

Socialmente, oficinas e cursos de qualificação com (e sobre) o material podem ajudar a produzir e compartilhar conhecimentos e tecnologias associadas, de modo a capacitar indivíduos para atuar na cadeia de valorização, estimulando o empreendedorismo e a geração de renda.

Além dos benefícios, é crucial destacar algumas dificuldades a serem superadas para garantir um aproveitamento efetivo do material em questão. Por exemplo, a documentação de árvores urbanas em várias escalas ao longo do tempo (inventário arbóreo) é essencial para quantificar os recursos potenciais que entram nos fluxos de resíduos, especialmente porque esse material provém de fontes dispersas e tem disponibilidade sazonal, a depender do contexto.

Outro desafio significativo é a heterogeneidade da madeira (diversidade de espécies, dimensões e formas), o que demanda a construção de um repositório de conhecimento específico sobre as suas propriedades físicas, químicas e mecânicas, de modo a garantir aplicações adequadas. A necessidade de equipamentos e habilidades especializadas – para manipular, transportar e processar esse material, garantindo formatos e dimensões que favorecem as melhores possibilidades de aproveitamento —, os custos relacionados e a falta de um mercado

maduro para comercialização dos produtos adicionam uma camada extra de complexidade à implementação de formas de emprego deste material com maior valor agregado.

Essas dificuldades podem ser reduzidas e os benefícios ampliados por meio da conscientização e da cooperação entre diversos setores da sociedade, incluindo governos, empresas e instituições de ensino. Assim, promover o desenvolvimento de pesquisas e incentivar o diálogo entre essas partes interessadas é fundamental para criar soluções consistentes para o aproveitamento da madeira urbana.

4 Conclusões

Resíduos madeireiros derivados do manejo de árvores urbanas são encontrados em abundância nas cidades e são comumente percebidos como um problema dispendioso. A maioria deles é despejada em aterros sanitários ou usada para produção de composto e conversão energética, destinações de baixo valor simbólico e mercadológico. Considerando-se ainda a baixa cobertura arbórea em grande parte das cidades e a necessidade de sua ampliação, diante do agravamento das mudanças climáticas, o problema tende a se exacerbar, em termos de custo, escala e complexidade de manejo, exigindo abordagens de gestão compatíveis, do ponto de vista econômico, social e ambiental.

A revisão sistemática da literatura apresentada neste artigo revela que há potencial para o desenvolvimento de rotas alternativas de valorização desses resíduos, preservando-os em seu estado mais valioso, como madeira sólida, em aplicações como móveis, brinquedos e utensílios diversos; ou ainda em elementos de valor intermediário, como compósitos e particulados. Essas formas de aproveitamento, além de reduzirem o volume de resíduos descartados, podem proporcionar benefícios econômicos e sociais, como a geração de emprego e renda e o retorno de recursos monetários indispensáveis para a ampliação e o gerenciamento da arborização urbana.

Nesse sentido, o campo do design pode desempenhar um papel de relevância. Do ponto de vista do desenvolvimento de produtos, os profissionais da área podem contribuir para maximizar as características únicas da madeira urbana, como grãos incomuns e rachaduras superficiais, conferindo aos objetos uma aparência única; também podem buscar soluções para a aplicação dos troncos e galhos de menor diâmetro que compõem volume significativo desses resíduos.

Da perspectiva gráfico-visual, designers podem promover o desenvolvimento de documentos, ferramentas e plataformas de fácil acesso e compreensão sobre a temática, possibilitando que as informações sejam encontradas e aplicadas rapidamente por diferentes atores, incluindo gestores e técnicos municipais, bem como por pesquisadores de diferentes áreas.

Em termos de serviços, as competências de design podem ajudar a projetar experiências educativas, exposições e eventos sobre o uso desse material, apoiar a criação de empreendimentos comerciais voltados ao tema e facilitar a colaboração entre as diversas partes interessadas, tirando proveito do pensamento estratégico e sistêmico dessa disciplina.

Por fim, pesquisas futuras em design podem ajudar a mapear tipos de produtos, modelos de negócio e nichos mercadológicos mais promissores para o aproveitamento da madeira urbana.

5 Referências

- ALLI, H.; HISHAMMUDDIN, U. A.; TAHIR, O. M.; TARAM, E. M.; SULAIMAN, R. **Utilising the urban tree waste as alternative for furniture lumber: a case study in Kuala Lumpur**. *Alam Cipta*, v. 14, n. 2, p. 1-12, 2021.
- ANDRADE, C. R.; CUPERTINO, G. F. M.; DA SILVA, Á. M.; BRITO, J. O.; MORAIS, W. W. C.; BALBONI, B. M.; SALONI, D.; DIAS JÚNIOR, A. F. **The potential of wood-based urban waste to generate bioenergy and increase the energetic sustainability**. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 2024.
- BARATA, T. Q. F., MALAGUTI DE SOUSA, C. S., DUTRA PROFIRIO DE SOUZA, C.; KLINGENBERG, D. **Management of waste from the pruning of urban greenery: Experiences in São Paulo, Brazil**, *Agathón*, v. 9, p. 232–243, 2021.
- BISPO, L. F. P.; NOLASCO, A. M.; DE SOUZA, E. C.; KLINGENBERG, D.; DAIS JUNIOR, A. F. **Valorizing urban forestry waste through the manufacture of toys**. *Waste Management*, v. 126, p. 351-359, 2021.
- CIVITARESE, V.; ACAMPORA, A.; SPERANDIO, G.; BASSOTTI, B.; LATTERINI, F.; PICCHIO, R. **A comparison of the qualitative characteristics of pellets made from different types of raw materials**. *Forests*, v. 14, n. 10, 2023.
- CORREIA, G. R. et al. **Produção científica sobre resíduos de poda urbana: uma análise cienciométrica**. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 15, n. 4, p. 1701-1714, 2022.
- CRUZ-ESTRADA, R. H.; GUILLEN-MALLETTE, J.; CUPUL-MANZANO, C. V.; BALAM-HERNANDEZ, J. I. **Potential use of waste from tree pruning and recovered plastic to obtain a building material: Case study of Merida, Mexico**. *Waste Management & Research*, v. 38, n. 11, p. 1222-1230, 2020.
- DICKINSON, S.; DIMOND, K.; LI, S. **Green waste to green architecture: optimizing urban tree systems for renewable construction material supply chains**. *Socio-Ecological Practice Research*, v. 5, n. 3, p. 263-273, 2023.
- FERLA, G.; CAPUTO, P.; COLANINNO, N.; MORELLO, E. **Urban greenery management and energy planning: A GIS-based evaluation of pruning by-products for energy application for the city of Milan**. *Renewable Energy*, v. 160, p. 185-195, 2020.
- FERRANDEZ-VILLENA, M.; FERRANDEZ-GARCIA, C. E.; GARCIA-ORTUÑO, T.; FERRANDEZ-GARCIA, A.; FERRANDEZ-GARCIA, M. T. **Evaluation of fruit and vegetable containers made from Mulberry wood (*Morus Alba L.*) waste**. *Applied Sciences (Switzerland)*, v. 9, n. 9, 2019.
- GROHMANN, D.; PETRUCCI, R.; TORRE, L.; MICHELI, M.; MENCONI, M. E. **Street trees' management perspectives: Reuse of *Tilia sp.*'s pruning waste for insulation purposes**. *Urban Forestry and Urban Greening*, v. 38, p. 177-182, 2019.
- KAMPELMANN, S. **Knock on wood: Business models for urban wood could overcome financing and governance challenges faced by nature-based solutions**. *Urban Forestry & Urban Greening*, v. 62, 2021.
- LAN, K.; ZHANG, B.; YAO, Y. **Circular utilization of urban tree waste contributes to the mitigation of climate change and eutrophication**. *One Earth*, v. 5, n. 8, p. 944-957, 2022.

- MARREIRO, H. M. P.; PERUCHI, R. S.; LOPES, R. M. B. P.; ROTELLA JÚNIOR, P. **Briquetting process optimization of poultry litter and urban wood waste.** *Renewable Energy*, v. 222, p. 119955, 2024.
- MEIRA, A. M.; NOLASCO, A. M.; KLINGENBERG, D.; SOUZA, E. C.; DIAS JÚNIOR, A. F. **Insights into the reuse of urban forestry wood waste for charcoal production.** *Clean Technologies and Environmental Policy*, v. 23, n. 10, p. 2777-2787, 2021.
- MEIRA, A. M.; NOLASCO, A. M.; SOUZA, E. C.; SOUZA, M. P.; PEREIRA, A. K. S.; UCELLA-FILHO, J. G. M.; DIAS JÚNIOR, A. F. **Integrated municipal management of waste from tree pruning and removal.** *Urban Forestry and Urban Greening*, v. 94, 2024.
- MILLER, R. W.; HAUR, R.; WERNER, L. **Urban forestry: Planning and managing urban greenspaces.** Long Grove: Waveland Press, 2015.
- NOWAK, D. J.; GREENFIELD, E. J. **U.S. urban forest statistics, values and projections.** *Journal of Forestry*, v. 116, n. 2, p. 164-177, 2018.
- OBREGON, R. F. A. (Org.). **Perspectivas de pesquisa em design: estudos com base na Revisão Sistemática de Literatura.** Erechim: Deviant, 2017.
- ROSENZWEIG, C. et al. **Increasing urban heatwaves under climate change.** *Environmental Research Letters*, v. 18, n. 3, p. 034020, 2023.
- SÁNCHEZ, D. M.; TSUKAMOTO, Y.; LOBO, N. G. **Pavilions revealing the possibility of urban forestry as commons: Case studies on “fire foodies club” and “urban foresters club” at UABB.** *AIJ Journal of Technology and Design*, v. 26, n. 64, p. 1230-1235, 2020.
- SCHMITT-HARSH, M. L.; WISEMAN, E. **Household perceptions and practices of recycling tree debris from residential properties.** *Sustainability (Switzerland)*, v. 12, n. 16, 2020.
- SOUSA, C. S. M. **Waste valuing from urban wood management through design. Ideas from the case of São Paulo,** *Agathón*, v. 6, p. 228–239, 2019.
- SOUSA, C. S. M.; BARATA, T. Q. F.; SOUZA, C. D. P.; MELO, F. G. **Urban forests management: Design-driven technological routes for wood waste valuing.** *Agathón*, v. 13, p. 291-300, 2023.
- THOMAS, R. E.; ESPINOZA, O. **A specialized data crawler for urban wood information.** *Forest Products Journal*, v. 73, n. 4, p. 350-356, 2023.
- NUTAU USP – Núcleo de Pesquisa em Tecnologia da Arquitetura, do Urbanismo e do Design da Universidade de São Paulo. **Anais do 13o Seminário Internacional Nutau 2020.** Disponível em: <<https://www.proceedings.blucher.com.br/article-list/nutau2020-350/list#event>>. Acesso em: 6 jul. 2024.