

## ARTICLE INFO

Received	27 March 2023
Revised	11 May 2023
Accepted	19 May 2023
Published	30 June 2023

**GESTIONE DELLE FORESTE URBANE**

Percorsi tecnologici design-driven per la valorizzazione dei rifiuti da potatura

**URBAN FORESTS MANAGEMENT**

Design-driven technological routes for wood waste valuing

Cyntia Santos Malaguti de Sousa, Tomás Queiroz Ferreira Barata, Caio Dutra Profirio de Souza, Felipe Gustavo de Melo

## ABSTRACT

La selvicoltura urbana è di fondamentale importanza per la qualità della vita e la resilienza delle città e merita risorse adeguate per la sua pianificazione, gestione e implementazione. L'obiettivo del contributo è analizzare e tracciare i percorsi tecnologici per i potenziali usi dei residui arborei urbani da potatura e abbattimento individuati attraverso attività di ricerca, didattica e terza missione dell'Università di San Paolo. Lo studio è strutturato per fasi con un'analisi della letteratura sul tema, l'identificazione e la classificazione delle specie arboree, l'apprendimento delle procedure di gestione degli alberi, l'implementazione di processi sperimentali proiettivi e produttivi, la conduzione di workshop finalizzati all'acquisizione di competenze su processi e risorse e al loro trasferimento tecnologico. I risultati dello studio restituiscono una mappatura dei percorsi tecnologici a supporto della transizione verso un modello di produzione più sostenibile per questo particolare capitale naturale urbano.

Urban forestry is fundamental to cities' quality of life and resilience and deserves an effort in planning, management and expansion. The article aims to analyse and systematise technological routes to indicate potential uses of urban tree residues, focusing on the research, teaching and extension activities of the University of São Paulo. The methodological procedures consist of: 1) review of related literature; 2) identification and classification of species; 3) analysis of tree management procedures; 4) implementation of experimental projective and productive processes and; 5) conducting capacity building and technology transfer workshops. The results present a mapping of the technological routes indicating a transition to a more sustainable production model for this urban natural capital.

## KEYWORDS

foreste urbane, gestione rifiuti, up-cycling del legno, design di prodotto, economia circolare

urban forest, waste management, wood up-cycling, product design, circular economy

**Cyntia Santos Malaguti de Sousa**, Designer and PhD, is a Full Professor at the Department of Technology, University of São Paulo (Brazil). She carries out research on sustainability, future studies and material culture. E-mail: [cyntiamalaguti@usp.br](mailto:cyntiamalaguti@usp.br)

**Tomás Queiroz Ferreira Barata**, Architect and PhD, is a Full Professor at the Department of Technology, University of São Paulo (Brazil). He carries out research on sustainability and product development – furniture, urban equipment, prefabricated construction systems in wood and materials from renewable sources. E-mail: [barata@usp.br](mailto:barata@usp.br)

**Caio Dutra Profirio de Souza**, Designer and PhD Candidate at the University of São Paulo (Brazil), holds a specialisation course in Material Culture and Consumption from the same Institution. His research focuses on the cultural and social aspects of design, systemic design, and design for sustainability. E-mail: [caiodutra@usp.br](mailto:caiodutra@usp.br)

**Felipe Gustavo de Melo**, Craftsman, Designer and M.Sc. Candidate at the University of São Paulo (Brazil), is a Researcher of urban wood waste from demolition, post-use disposal and tree pruning for furniture as much as small objects. E-mail: [felipe.gustavo.melo@gmail.com](mailto:felipe.gustavo.melo@gmail.com)



La selvicoltura urbana – un tema che riguarda tutta la vegetazione degli agglomerati costruiti o urbani, siano essi piccole comunità rurali o grandi città metropolitane (Miller, Haur and Werner, 2015) – svolge un ruolo fondamentale per la qualità della vita e la resilienza delle città, offrendo diversi benefici ambientali, di decoro e salute pubblica. In questo senso è imperativo che vengano previste adeguate risorse per la sua pianificazione e gestione, soprattutto in quelle metropoli con modesta densità di alberatura stradale come San Paolo in Brasile (11,7%), la più grande città dell'America Latina; il dato è sconcertante se assumiamo come riferimento Singapore che, con una densità di popolazione pari a 7.797/km<sup>2</sup> simile a quella di San Paolo (7.913/km<sup>2</sup>), presenta una densità di vegetazione di alberatura stradale pari al 29,3%<sup>1</sup>. Tuttavia è da rilevare che, aumentando la vegetazione urbana, crescono proporzionalmente le attività di manutenzione degli alberi e quindi anche gli oneri economici e le complessità gestionali, soprattutto per la disomogeneità degli spazi urbani e delle loro condizioni logistiche nonché per il maggior volume di rifiuti da potatura (Meira, 2010) la cui principale destinazione è la discarica.

In città come San Paolo il conferimento in discarica richiede spostamenti che vanno oltre i 50 km e comporta, per una quantità di circa 50.000 tonnellate/anno (Souza e Velasco, 2022) e un costo medio di 20 dollari statunitensi per tonnellata, una spesa annua di circa un milione di dollari. Pochi Comuni brasiliani hanno individuato per questi rifiuti una seconda vita come compost organico o per la produzione di energia (tramite bricchette e pellet). Entrambe le soluzioni non sono però esenti da criticità: la prima riduce il ciclo di vita dei rifiuti biologici da potatura non fornendo valore aggiunto in termini di economia circolare (Ellen MacArthur Foundation, 2021); la seconda, se appare in prima battuta più rispettosa dell'ambiente, concorre al rilascio di emissioni di gas serra nell'atmosfera tanto quanto lo smaltimento in discarica.

Sulla base di tali premesse, considerato che il Design ha come obiettivo la valorizzazione del capitale naturale, il contributo si propone di stimolare una riflessione sugli indirizzi tecnologici e le potenzialità di un utilizzo del legno proveniente dalle attività di potatura legate alla selvicoltura urbana nel contesto brasiliano. Tale riflessione appare fondata poiché la letteratura scientifica riferisce che circa il 30% dei suddetti rifiuti può fornire legno massello proveniente da specie che possiedono diversificate potenzialità d'uso (Meira, 2010). L'incentivo all'impiego di questa materia prima in prodotti e componenti a più alto valore aggiunto consentirebbe una riduzione dei costi di gestione a cui si è accennato e contribuirebbe alla qualificazione degli spazi urbani, favorendo inoltre la creazione di occupazione e reddito.

Consapevoli che il Design è, per sua stessa natura, una disciplina che mira a risolvere specifiche problematiche configurando scenari futuri desiderabili (Simon, 1996) attraverso un processo continuo di produzione e diffusione della conoscenza, dell'innovazione e del trasferimento tecnologico, gli Autori hanno avviato linee di ricerca sul tema già a partire dal 2017 (Souza, 2018; Malaguti de Sousa, 2019; Barata et alii, 2021), convinti che le competenze progettuali acquisite possono essere utili a ipotizzare e rendere visibili e tangibili nuove soluzioni, capaci di rispondere alle

esigenze dell'intera catena produttiva (dalla potatura allo smaltimento sino alle azioni strategiche di marketing), se supportate da una ricerca su basi scientifiche propria delle attività svolte in seno all'Università.

In quest'ottica, nell'ambito delle attività di ricerca scientifica in corso presso l'Università di San Paolo, il saggio mira a fornire un quadro preliminare degli indirizzi tecnologici design-driven per la valorizzazione dei rifiuti da potatura provenienti dalla gestione delle foreste urbane, attraverso: 1) lo stato dell'arte su studi e ricerche che hanno trattato il tema; 2) un'attività di ricerca desk e sul campo; 3) una riflessione sui risvolti formativi e sulle attività di terza missione. Nello specifico la prima parte del contributo illustra la metodologia utilizzata per l'acquisizione dei dati; la seconda presenta una rassegna della letteratura sul tema, evidenziando gli approcci adottati; la terza parte riassume i principali risultati, le interconnessioni con lo stato degli studi e fornisce un quadro utile a individuare gli indirizzi tecnologici e i potenziali usi per questa risorsa materiale; infine le conclusioni illustrano come e quanto le attività svolte possano contribuire a una transizione sostenibile del modello produttivo, i limiti e l'orizzonte di ricerca futura.

**Metodologia** | Sulla base dei tre pilastri fondativi delle Università (didattica, ricerca e terza missione), la metodologia adottata per lo studio individua nel Design e nella natura sistemica delle sue attività gli assi guida del processo di individuazione, sistemizzazione e analisi dei rifiuti da potatura provenienti dalla gestione degli alberi nella città di San Paolo in Brasile. Le criticità di questo filone di ricerca hanno ispirato l'individuazione di diverse opportunità di riutilizzo del legno di modesta pezzatura che costituisce una parte significativa del volume dei rifiuti da potatura, promuovendo la valorizzazione di questo capitale naturale in relazione alla sfida emergente dello sviluppo di città più sostenibili, resilienti e inclusive.

Le attività sviluppate durante lo studio hanno interessato la didattica, con il coinvolgimento di Corsi di Laurea, la ricerca, supportata da Enti finanziatori, associazioni scientifiche e Dottorati e la terza missione per risolvere criticità e problematiche di Enti pubblici. Sebbene ciascuna di queste attività sia stata svolta con strumenti e metodi specifici, comune è l'approccio culturale improntato al Circular Design, al Material-driven Design, al Systemic Design e al Design for Social Innovation. La Figura 1 riassume le attività, i progetti realizzati e le loro interrelazioni, nonché i partenariati multidisciplinari e inter istituzionali sottoscritti in ambito universitario e con Centri di ricerca del settore pubblico e privato.

Il punto di forza dello studio risiede, in primo luogo, nella conduzione di una ricerca scientifica capace di superare i limiti degli approcci teorici e concettuali, implementando modelli consolidati della transizione ecologica basati sulla prospezione dei loro potenziali usi e sull'osservazione di criticità e possibili opportunità nella progettazione del prodotto. In quest'ottica dopo aver revisionato la letteratura scientifica sul tema, si è proceduto a caratterizzare il materiale attraverso ricerche bibliografiche e attività sul campo, a determinare le proprietà fisiche e meccaniche delle essenze del legno e infine a sperimentare tecniche di lavorazione

tradizionale e tecnologie di fabbricazione digitale. Nell'ambito della didattica le attività hanno mirato a indagare processi proiettivi e produttivi sperimentali e di qualità estetica, sensoriale, espressiva e funzionale del materiale ligneo, al fine di soddisfare le potenziali esigenze della comunità universitaria di riferimento. Infine sono state pianificate e avviate attività di formazione e trasferimento di conoscenze per studenti dei Corsi di Architettura e Design, comunità ed Enti locali e artigiani.

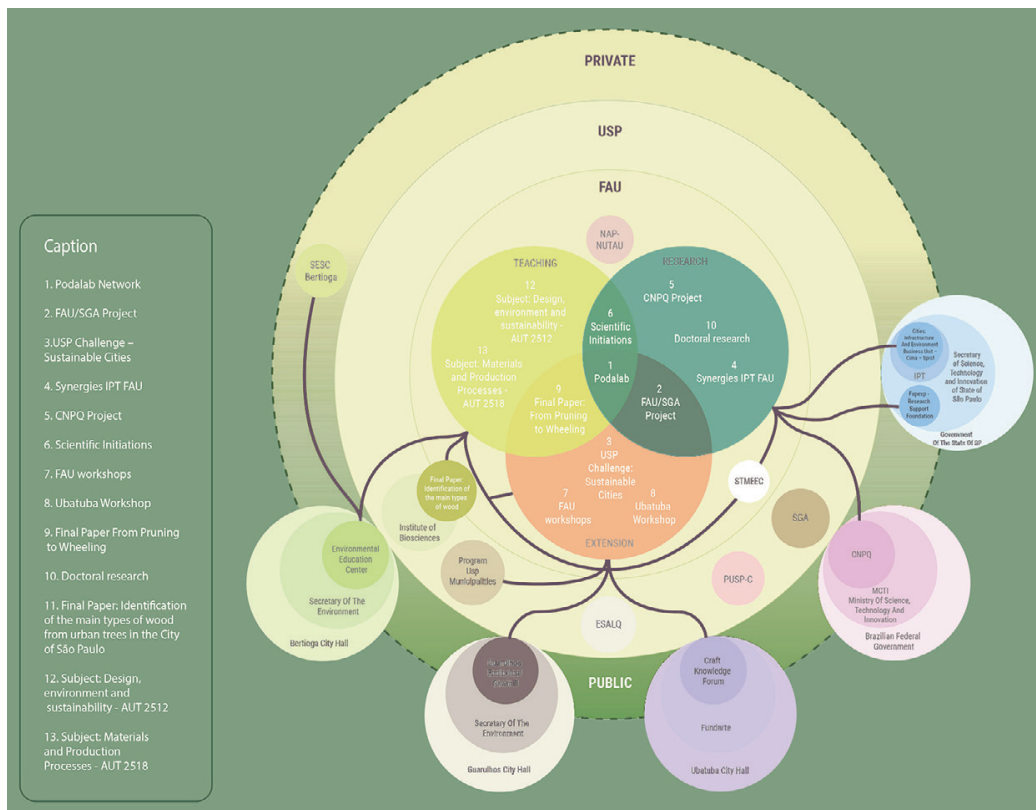
**Quadro teorico** | Come in Europa a seguito della Seconda Guerra Mondiale, anche in Brasile si sono configurati nuovi assetti economici e politici che hanno ridefinito il ruolo dello Stato e interi settori pubblici tra cui quello dell'Istruzione. L'Università è stata percepita non solo come luogo di formazione professionale e produttore di conoscenza, ma anche come Istituzione capace di interagire con la società e i suoi diversi attori attraverso una visione della realtà più sistemica.

Per l'individuazione di possibili indirizzi tecnologici finalizzati all'utilizzo del legno da potatura e abbattimento delle alberature urbane è stata considerata una Technology Road Mapping che individua le relazioni tra tecnologie, imprese e mercato (Probert, Farrukh and Phaal, 2003); questo metodo, messo a punto nel campo della gestione d'impresa, è oggi utilizzato dalla Pubblica Amministrazione poiché è uno strumento procedurale che aiuta nella costruzione graduale di percorsi tecnologici favorendo al contempo riflessioni, dibattiti e sperimentazioni e consolidando le conoscenze acquisite.

Nel processo di mappatura degli indirizzi tecnologici si è proceduto alla formazione di un bagaglio di conoscenze improntata al concetto di 'tecnologia sociale', intesa come un insieme di tecniche e metodologie trasformatrici sviluppate e/o applicate in sinergia con la popolazione, di facile utilizzo e utili all'inclusione sociale e al miglioramento delle condizioni di vita (Passoni, 2004). Un tale approccio è sembrato del tutto appropriato soprattutto in un contesto nel quale tecniche e processi associati ai tradizionali saperi della falegnameria – spesso svalutati dalla produzione industriale su larga scala – possono essere recuperati e migliorati, per aumentarne il valore, con alcuni adattamenti a uso di operatori e generare così reddito per le popolazioni più vulnerabili.

Questo approccio è anche in linea con i principi dell'Economia Circolare che mira a mettere in campo soluzioni sistemiche per salvaguardare e rigenerare i sistemi naturali ed eliminare così il concetto di 'rifiuto', mantenendo i materiali in cicli chiusi di utilizzo e riutilizzo con il maggior valore funzionale ed economico più a lungo possibile (Ellen MacArthur Foundation, 2021). Un tale approccio sistemico promosso dalla Economia Circolare è fondamentale anche per individuare nuove soluzioni di utilizzo dei rifiuti vegetali urbani, anche in relazione alla molteplicità degli attori della filiera produttiva, delle loro differenti competenze e dei diversi interessi in gioco che devono mirare a creare relazioni di valore (Kimbrell, 2011; Manzini, 2017) strutturando nuovi significati e opportunità in termini di modelli di prodotto e servizio.

In questo senso i processi, gli strumenti e il modo di pensare il Design (denominato Design Thinking), insieme a un approccio sistemico, possono contribuire in modo significativo alla gestione ar-



**Fig. 1 |** Gigamap relating university research, teaching, and extension activities with the urban tree waste valorisation theme (credit: F. G. Melo, 2023).

borea urbana, consentendo una migliore visualizzazione, descrizione e riconfigurazione del sistema attraverso tassonomie visive quali scenari, mappe, info grafiche e modelli iconografici (Jones, 2014), tutti strumenti che possono fornire una più chiara visione delle opportunità, aiutare con maggiore profitto nella gestione dei possibili conflitti e favorire il dialogo, la cooperazione e la condivisione delle informazioni (Sennett, 2013). In precedenti pubblicazioni (Malaguti de Sousa, 2019; Barata et alii, 2021) si è dimostrato come questi approcci abbiano caratterizzato esperienze di grande successo negli Stati Uniti (a titolo di esempio si citano Wood from the Hood e Baltimore Wood Project – Rethinking the Wood and the City), in Spagna (Sintala Design) e in Brasile (Pedro Petry e Madeira Urbana). Per il raggiungimento di tali obiettivi diviene strategico il ruolo del designer-ricercatore perché può da un lato guidare e connettere più stakeholder, dall'altro promuovere iniziative e relative azioni che possono essere replicate anche in altri contesti.

Il numero di casi studio emblematici, frutto di ricerca sperimentale riportati nella letteratura sul tema, è piuttosto esiguo, tuttavia vale la pena citare le ricerche condotte dal Tokyo Institute of Technology e dal Massachusetts Institute of Technology: la prima ha indagato la messa a punto di una metodologia per progettare la trasformazione dei rifiuti vegetali in beni collettivi urbani essenziali (Sánchez, Tsukamoto and Lobo, 2020); la seconda, attraverso strumenti digitali e metodologie computazionali, ha sviluppato un sistema che consente agli architetti di utilizzare le forcelle degli alberi come giunti di elementi portanti (Stauffer, 2022). Sebbene nel primo caso sia rintracciabile un approccio sistemico collegabile a esperienze didattiche tenute in Corsi universitari di Design ne-

gli Stati Uniti, nessuna delle due pubblicazioni dichiara l'integrazione tra ricerca, didattica e terza missione.

L'approccio adottato dialoga fortemente anche con il Material-driven Design. Secondo Karana et alii (2015) le attitudini funzionali non sono sufficienti a garantire il successo e l'uso diffuso di un 'nuovo' materiale nel mercato; è necessario progettare esperienze materiali significative per l'utente che vadano oltre la sua valutazione utilitaristica, quindi qualificare la materia non solo per quello che è, ma anche per quello che fa, esprime, suscita e fa fare.

Il legno da potatura e abbattimento dell'albero è ancora considerato uno scarto, sia dall'Amministrazione Pubblica che dagli attori di una potenziale catena di valorizzazione. In quest'ottica il suo successo come 'materia' dipende da una serie di fattori quali il cambiamento di percezione e di giudizio di valore, la capacità del progetto di creare ed esplicitare collegamenti con la materializzazione di una cultura della sostenibilità e infine la conoscenza tecnica. Ciò premesso, tramite un approccio Material-driven Design si è proceduto a: 1) studiare il materiale; 2) creare una visione esperienziale del legno; 3) individuare i campi di esperienza materica; 4) progettare il concept del materiale / prodotto e definire delle linee guida per la fase di pianificazione, realizzazione e valutazione dei risultati raggiunti.

**Risultati |** I risultati presentati sono organizzati in quattro sezioni. La prima presenta le indagini e i criteri per la classificazione dei residui provenienti dalla gestione della vegetazione arborea; la seconda descrive le attività di campo per la classificazione dei residui arborei e l'identificazione delle specie legnose, propedeutiche alla successiva si-

stemizzazione delle informazioni in specifiche schede tecniche; la terza caratterizza morfologicamente i residui arborei e individua i loro potenziali usi; l'ultima sezione illustra la sperimentazione del materiale in ambito accademico e aziendale, concentrandosi sullo sviluppo di nuovi prodotti e sulla valutazione di mercati potenziali.

**Il percorso dei rifiuti da potatura da gestione arborea urbana |** All'interno del Campus principale dell'Università di San Paolo è avvenuto il monitoraggio delle attività di potatura e smaltimento della vegetazione arborea, punto di partenza del processo basato sull'approccio metodologico del Material-driven Design (Fig. 2). Grazie al supporto dell'Amministrazione dell'Università è stato possibile conoscere le modalità di gestione locale dei rifiuti arborei e seguire parte del processo di potatura appaltato a una ditta esterna. La Figura 3 riporta alcune fasi, modalità e attrezzature impiegate che mostrano come: 1) le attività siano pianificate per aree geograficamente delimitate; 2) i rami di ciascun albero vengano tagliati in segmenti lunghi fino a 1 mt; 3) i rifiuti siano separati in loco in due grandi gruppi, rami sottili e foglie e rami di sezione maggiore; 4) il primo gruppo venga tritato e il secondo sia caricato in cassoni da 20 mc posizionati nelle vicinanze fino al completo riempimento. Il processo di gestione è riassunto nel diagramma di flusso della Figura 4.

**Classificazione del legno grezzo e identificazione delle specie |** Le alberature urbane sono di diverse specie, sia autoctone che esotiche e di dimensione differente. Tradizionalmente vengono privilegiate le specie ornamentali con maggiore velocità di crescita e capacità di ombreggiamento, trascurando nella maggior parte dei casi le proprietà fisico-meccaniche e estetiche del legno per una scarsa conoscenza tecnica del materiale giovane di diametro ridotto, per lo più rami provenienti da processi di potatura. Per colmare questa lacuna conoscitiva lo studio ha sistemizzato le informazioni acquisite da ricerche bibliografiche e corsi di formazione di Ingegneria Forestale e Anatomia Vegetale, integrandole con quelle delle ricerche sperimentali e sul campo.

Un accordo siglato dall'Università con la ditta appaltatrice ha consentito che una porzione di rifiuti vegetali da potatura, di diametro superiore a 8 cm – dimensione raccomandata da Meira (2010) per ottimizzare le potenzialità di riutilizzo del materiale – con un volume complessivo di 60 mc proveniente da 2.380 alberi, fosse stoccata senza alcun criterio selettivo in un cortile del Campus e messa a disposizione del team di ricerca: questo materiale ligneo dalle essenze varie, con diverse caratteristiche morfologiche e stati di salute differenti è stato l'oggetto principale del Laboratorio e della ricerca sperimentale svolta.

Come primo passo delle attività sul campo si è proceduto a separare il legno per specie, poiché le proprietà tra una specie e l'altra possono variare notevolmente. Con il supporto dell'Istituto di Bioscienze della USP è stato possibile identificare e separare (Fig. 5) circa 20 specie arboree, tra cui era presente la specie esotica 'Tipuana tipu'. Il secondo step dello studio si è basato sulla collazione dei dati relativi alle specie identificate e alla loro restituzione in schede tecniche (Fig. 6). Le informazioni sono state poi integrate dall'Istituto de



Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo che ha caratterizzato cinque specie ricorrenti nell'imboschimento urbano attraverso test di laboratorio oggetto di una recente pubblicazione (Souza and Velasco, 2022); il supporto dell'Istituto è risultato di notevole aiuto sia per facilitare l'identificazione delle specie, sia per mettere in luce le potenzialità di utilizzo del legno proveniente dai rami di potatura. Le caratteristiche delle essenze presenti in letteratura sono state quindi confrontate con quelle ottenute dai campioni attraverso le prove di laboratorio, confermando valori prestazionali e ipotesi per una seconda vita degli scarti da potatura.

### Caratterizzazione morfologica e potenziali usi

Con un approccio Design-driven sono stati poi esplorati i possibili impieghi della materia prima. Nel Laboratorio sono stati presi in considerazione gli elementi a sezione circolare, con diametro ridotto, da trasformare con attrezzature convenzionali di falegnameria e tecnologie digitali di fabbricazione sottrattiva attraverso: 1) la valutazione delle caratteristiche dei residui arborei in relazione alla loro eterogeneità e diversità di specie, dimensione e sezione; 2) l'individuazione della tipologia di attrezzature e la definizione delle procedure da impiegare prima e dopo la movimentazione degli scarti vegetali; 3) la raccolta di dati economici sui rendimenti lordi e netti dei processi di taglio e tornitura del legno grezzo; 4) la modellazione virtuale parametrica per lo sviluppo di elementi, componenti, prototipi e artefatti.

La fase di caratterizzazione dei residui arborei restituisce una varietà di scarti tra cui radici, cortecce, foglie, frutti, fiori, semi e materiale legnoso, quest'ultimo sotto forma di fusto, tronco e rami con diametri variabili. Meira (2010) li classifica in quattro categorie in funzione del diametro: da 0 a 8 cm, da 8,1 a 15 cm, da 15,1 a 25 cm e oltre 25 cm suggerendo anche gli usi più appropriati; in generale i pezzi di diametro maggiore, lavorati in assi e travetti, possono essere utilizzati nella produzione di mobili e componenti per l'edilizia, mentre quelli con diametro inferiore possono essere utilizzati per la realizzazione di piccoli oggetti. Nel processo di potatura e smaltimento (Fig. 7) è importante catalogare i pezzi grezzi e tagliarli alla massima lunghezza possibile, al fine di aumentare le possibilità di utilizzo e diminuire la quantità di fessurazioni. La tornitura, al pari del taglio a sega, è una lavorazione utile per la produzione di elementi con geometrie regolari; gli scarti di tali lavorazioni possono essere triturati e aggregati in materiali compositi.

Per i residui in fase di marcescenza o molto eterogenei i tradizionali usi come compost organico e produzione di energia appaiono la soluzione migliore; gli altri usi potenziali sono riportati nella Figura 8 insieme ai relativi possibili percorsi tecnologici, dalla prima fase di caratterizzazione delle tipologie di rifiuti alla definizione dei processi primari e secondari fino ai prodotti di nicchia, gli unici a possedere quelle caratteristiche del materiale che può soddisfare le esigenze espresse (dagli utenti durante il sondaggio nel Campus, dai part-

ner del progetto e da artigiani, designer e falegnami locali) per modelli e prototipi ma soprattutto per prodotti commerciali del tipo arredo urbano e per interni, giocattoli e giochi educativi, stoviglie, componenti per interni e decorazione.

### Applicazioni in attività accademiche e imprenditoriali

Lo studio sulle potenziali applicazioni di questa 'risorsa' urbana, reperibile nell'Università di San Paolo, si è basato su azioni di ricerca, di insegnamento nei corsi di Design e di terza missione. L'insieme delle attività ha rilevato limiti e potenzialità del materiale, combinando tecnologie di fabbricazione digitale e tecniche di lavorazione artigianale. Tra gli strumenti progettuali sono stati utilizzati software di modellazione virtuale parametrica e processi produttivi vari, tra cui la pressatura di pannelli incollati, la curvatura a vapore e / o meccanica (per elementi curvi e impiallacciati), la tornitura, il taglio laser e il pantografo CNC.

Nei Laboratori universitari è stato sviluppato il tema della realizzazione di piccoli oggetti, giochi e mobili in legno, con una triplice finalità: in primo luogo fornire al team un'esperienza 'pratica'; il ragionamento adduttivo, tipico del design, è stato così stimolato dalla sfida di progettare, 'percepire' e 'sentire' il materiale in relazione sia alla diversità morfologica che alla specie legnosa, confrontando le proprietà tecniche individuate con il 'il potenziale uso' dei vari pezzi disponibili. In secondo luogo per acquisire, durante i workshop, le potenziali richieste di utenti diversi e per sviluppare processi di progettazione collettiva affinché l'as-

semblaggio finale e la finitura degli oggetti creati potessero essere realizzati da qualsiasi tipo di utente con strumenti semplici e manuali. In terzo luogo per far vivere ai partecipanti al workshop un'esperienza di interazione con il materiale, valutando difficoltà e impressioni del target di utenti sull'oggetto costruito (Figg. 9, 10).

Rispetto a queste finalità sono stati ottenuti risultati rilevanti anche sul tema dalla società Dapoda – Design Living Lab<sup>2</sup>, creata da alcuni studenti vincitori del concorso internazionale No Waste Challenge lanciato nel 2021 dall'organizzazione What Design Can Do. Da allora la startup si è dedicata alla creazione di prodotti utili innovativi e alla conduzione di workshop sull'uso del legno da potatura per mobili compatti, multifunzionali e decorativi per piccole residenze urbane, esplorando diverse tipologie di giunti in legno per collegare elementi strutturali e valorizzando le diverse specie legnose (Fig. 11).

I Laboratori sono stati occasione per sperimentare anche altre potenzialità del materiale; in risposta agli obiettivi definiti dai docenti / ricercatori e seguendo le loro indicazioni, gruppi di studenti hanno utilizzato il legno da potatura e/o abbattimento per produrre degli oggetti, definendo il target di riferimento, la specifica esigenza o opportunità e la risposta progettuale. Così all'interno di Materiali e Processi Produttivi I sono state esplorate le caratteristiche estetiche e tecniche dei materiali e sono stati sviluppati 10 prototipi di giochi educativi (Fig. 12), mentre in Design, Ambiente e Sostenibilità sono stati realizzati arredi urbani per

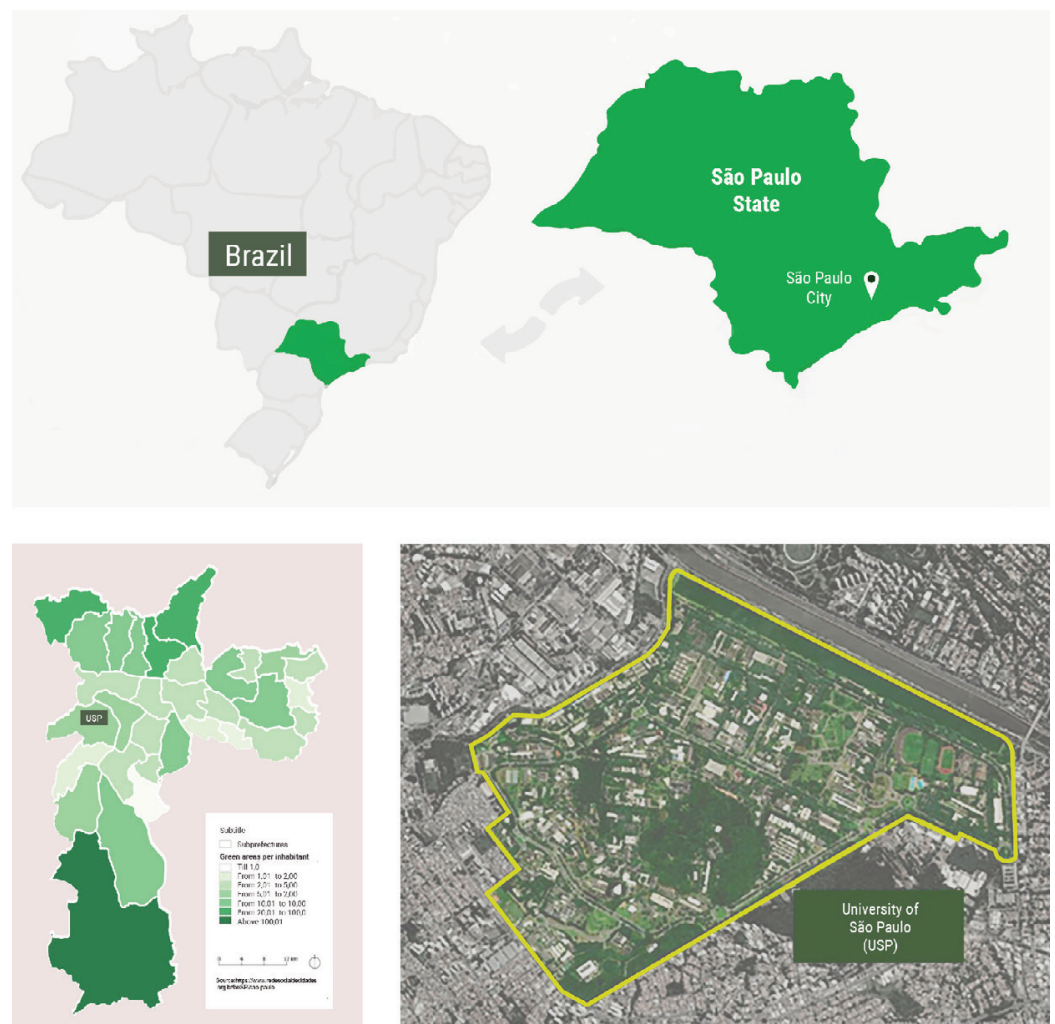


Fig. 2 | Location of Cidade Universitária Armando de Salles Oliveira, University of São Paulo Campus (credit: T. Q. F. Barata, 2023).





Tree Waste Management Flowchart in 2022  
University City Armando de Salles Oliveira - USP  
São Paulo / SP / BRASIL

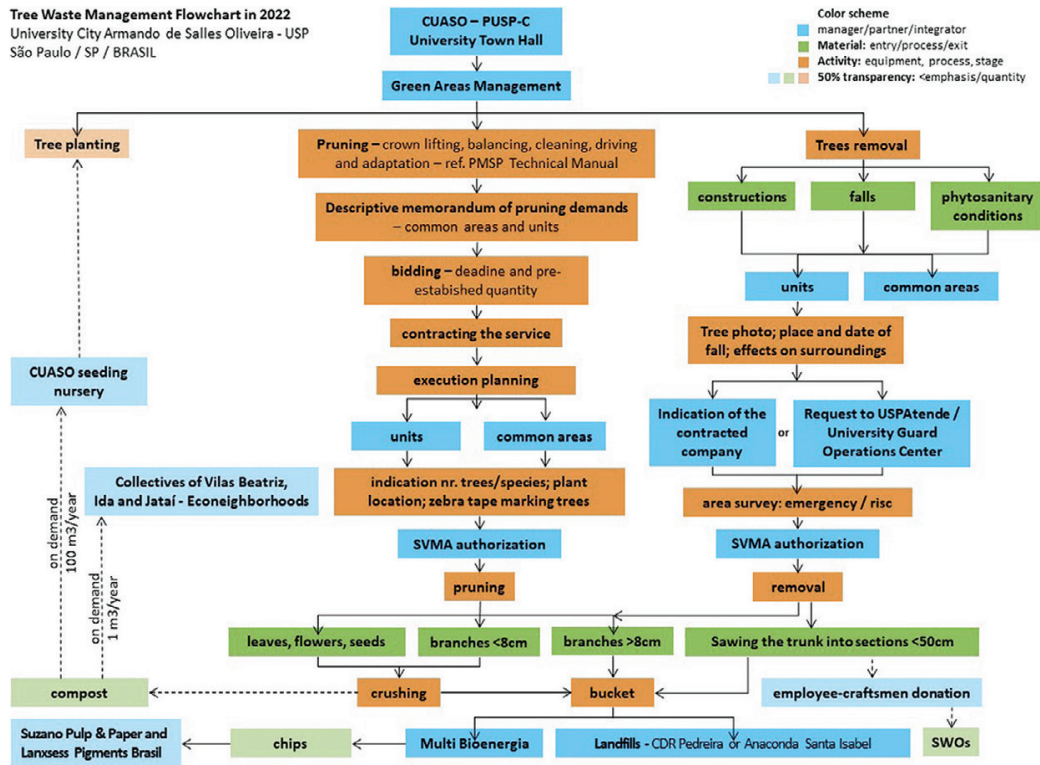


Fig. 3 | Stages of the tree pruning process at CUASO/USP, 2021 (credit: C. Malaguti de Sousa, 2021).

Fig. 4 | Flowchart of tree waste management in CUASO, 2022 (credit: C. Malaguti de Sousa, 2022).

Fig. 5 | Selection, separation and identification step of the 'Tipuana Tipu' species (credit: F. G. Melo, 2022).

la convivialità nelle aree verdi del Campus universitario, in risposta a una esplicita richiesta del Rettore (Fig. 13). Tutte le soluzioni proposte hanno previsto l'uso congiunto di specie legnose diverse e materiali quali cemento, alluminio e acciaio.

**Considerazioni finali** | Nell'ottica di supportare le politiche pubbliche e stimolare azioni integrate per un'imprenditorialità inclusiva, innovativa e sostenibile che valorizzi lo scarto derivante da potature e / o abbattimento di alberature in ambito urbano, l'Università pubblica in Brasile può giocare un ruolo importante attraverso i suoi pilastri della ricerca scientifica, dell'insegnamento e della terza missione. La proposizione di indirizzi tecnologici che valorizzino il riutilizzo di questo capitale naturale, disponibile in città in grandi volumi e varietà di specie, presuppone tuttavia azioni adeguate ai contesti locali.

Se l'analisi della filiera coinvolta nella gestione degli alberi è di tipo sistemico e l'approccio è fondato sui principi dell'economia circolare, la progettazione dei suddetti indirizzi tecnologici può favorire la scalabilità e la replicabilità di un modello operativo di gestione dei rifiuti forestali urbani. I risultati della sperimentazione descritta hanno infatti suscitato l'interesse di due Comuni dello Stato di San Paolo, Guarulhos e Bertioga, con i quali sono state attivate nuove collaborazioni (Fig. 1) aperte a Centri di ricerca come l'Istituto di Ricerca Tecnologica di San Paolo e ad Agenzie finanziarie nazionali, come il National Council for Scientific and Technological Research.

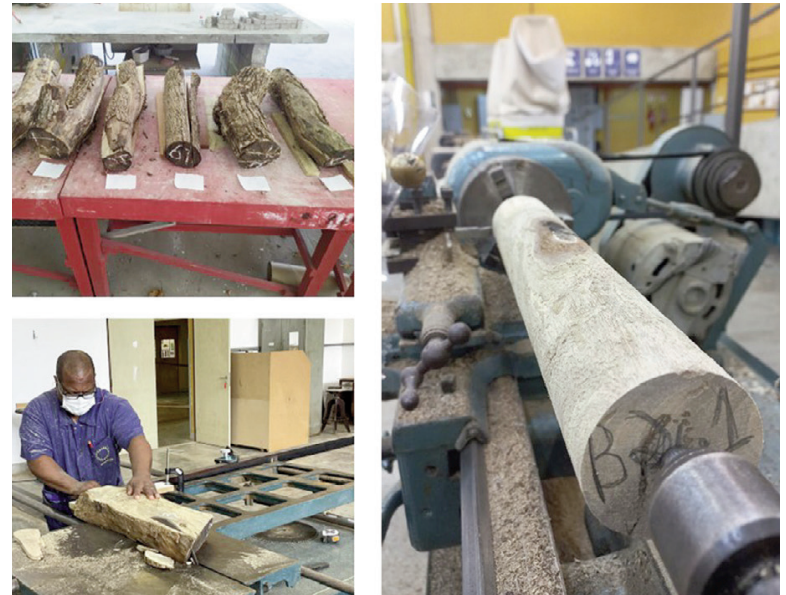
Considerando il Design una disciplina sociale applicata che guida l'innovazione, è possibile asserire che possa giocare un importante ruolo nella costruzione di scenari finalizzati alla transizione verso modelli di città resilienti improntati alla bioeconomia. Il caso studio della Città di San Paolo, e in particolare del Campus universitario, ha consentito di mettere a fuoco i principali aspetti che interessano la gestione della selvicoltura urbana (dal processo di potatura alla caratterizzazione della materia) e tracciare possibili percorsi tecnologici per il riuso del materiale dai più semplici ai più complessi. I risultati ottenuti rivelano che esiste un enorme potenziale da esplorare con approcci e principi costruttivi innovativi diversi in relazione alla scala di applicazione, alla tipologia dell'oggetto prodotto, alle tecniche e tecnologie da adottare. La diversità di artefatti e prodotti potenzialmente realizzabili può essere di interesse per nuove imprenditorialità di nicchia coinvolgendo diversi attori della società, aggiungendo valore, soddisfacendo le richieste locali e aprendo nuovi mercati.

Altri percorsi tecnologici, come la curvatura del legno e i materiali compositi, sono in corso di sviluppo così come è in corso lo studio per rendere accessibili le conoscenze acquisite e le schedature prodotte con applicazioni per smartphone, sulla scorta di PI@ntNet<sup>3</sup> e iNaturalist<sup>4</sup>. La complessità e l'importanza del tema trattato, che richiede un approccio multidimensionale, rendono necessari ulteriori approfondimenti; l'aggravarsi della crisi climatica (con innumerevoli effetti, tra cui un aumento significativo del numero degli alberi caduti) e la necessità di implementare la densità arborea delle città come una delle strategie per fronteggiare il cambiamento climatico stimolano a proseguire il presente studio nel quale l'Università può svolgere un ruolo attivo e da protagonista, avian-





**Fig. 6** | Consolidated data sheet of 'Tipuana tipu'; Hyperlinks to set of data sheets for 20 species (source: sites.usp.br/podalab, 2022).



**Fig. 7** | Raw parts cataloguing; Cutting operation to obtain perpendicularity between faces; Turning process (credit: F. G. Melo, 2022).

do ricerche e divulgandone i risultati, in continua interazione con la società.

Urban forestry is a concept that encompasses all woody vegetation surrounding or found in urban areas, from small rural communities to large metropolitan regions (Miller, Haur and Werner, 2015); it is fundamental to the quality of life and resilience of cities, providing several environmental, aesthetic and public health benefits. Therefore, investments must be made in its planning, management, and expansion, especially in metropolises with low levels of street tree coverage, such as São Paulo (Brazil), the largest Latin American city, with only 11.7%, while in Singapore, for instance, with a similar population density (São Paulo 7,913/km<sup>2</sup> and Singapore 7,797/km<sup>2</sup>), it is 29,3%<sup>1</sup>. With the increase in tree cover, on the contrary, the need for maintenance also increases, and the pruning and removal of urban trees become more complex and costly. First, this is due to the different configurations of urban spaces and their logistical conditions, in addition to the monthly expense they represent. These activities also generate a high volume of residues (Meira, 2010), whose principal destination is the landfill.

In cities such as São Paulo, this destination requires displacements that range to more than 50 km, which represents, considering that this waste reaches around 50,000 tons/year (Souza and Velasco, 2022), at the cost of, on average, USD 20 per ton, an annual expense of about one million dollars. Few Brazilian municipalities give other destinations for this waste, such as non-energy use (organic compost) or energy use (briquettes and pelletising). Although the last options are considered more environmentally friendly, they also contribute to greenhouse gas releases into the atmosphere, such as landfills.

Moreover, the routes mentioned reduce the life cycle of these biological residues, going against the principles and strategies for value creation intrinsic to the Circular Economy (Ellen MacArthur Foundation, 2021). Thus, with design as the guiding axis for the appreciation of this natural capital, the fundamental question this article aims to re-

flect upon is: what are the technological routes and potential uses of wood from pruning and suppression activities related to urban forestry in the context of Brazilian cities? Such questioning is relevant, as research indicates that up to 30% of these residues are solid wood sources of species with different potential uses (Meira, 2010). The incentive of using this raw material in developing products and components with higher added value enables a reduction in the operational and management costs previously mentioned, contributing to the qualification of urban spaces and promoting the generation of employment and income.

Realising that design is, by its very nature, an activity that starts from the problematisation of a given situation and aims at anticipating futures considered desirable (Simon, 1996) being, therefore, focused on innovation, the authors of this article have been addressing this topic since 2017 (Souza, 2018; Malaguti de Sousa, 2019; Barata et alii, 2021). Design competencies can become a guiding axis to help organise and make visible and tangible new solutions that meet the demands of the entire production chain (from pruning and tree removal activities to strategic and marketing actions) if applied to scientific research and within the scope of the role assigned to public Universities; in addition, it helps to promote a continuous process of production and dissemination of knowledge, innovation, and technology transfer.

As part of the results of ongoing scientific research at the University of São Paulo, this paper aims to provide a preliminary framework on design-driven technological routes for wood waste valuing in urban forest management, building the discussions on results obtained by: 1) review of the related literature; 2) field and experimental research; and 3) reflection on pedagogical and extension practices. It is structured as follows: the first section describes in more detail the methods above to obtain the data for this study; the second section presents an overview of the related literature review introducing the foundations for the adopted approaches; the third section summarises the main findings, perceived connections with the literature review and provides a framework for the technological routes and potential

uses for this source of the material; the conclusions highlight the extent to which the results of this research contribute to a transition towards sustainability in the production model, its limitations and the scope for future research.

**Methods** | Based on the three pillars of higher education, which are teaching, research and extension compiling the tripartite and priority actions of public Universities, the methodological procedures adopted in this work establish design and the systemic nature of its activities as guiding axes in the process of identification, systematisation and analysis of tree management waste in the city of São Paulo, Brazil. The problematisation of this research object inspired a search for different opportunities for the use of low-diameter raw wood, which comprises a significant part of the volume of such waste; this aims at promoting the valorisation of this natural capital, considering the existing challenges in the development of more sustainable, resilient and inclusive cities.

The developed activities cover the field of teaching, with undergraduate courses; research, with projects funded by financing agencies, with scientific initiations and doctoral research; and university extensions, with the dissemination of knowledge by means of open events and publications. Each of them involved specific materials and methods; however, they all started from common approaches in the field of design, which are: Circular Design, Material Driven Design, Systemic Design, and Design for Social Innovation. Figure 1 allows for a general view of the activities and projects carried out, their interrelations, multidisciplinary and inter-institutional partnerships established in the different fields of the University, research centres, and public and private sectors.

The main emphasis of these activities lies first and foremost in scientific research, beyond any theoretical and conceptual approach; a close link to the implementation of green transition models focused on exploring their potential uses and observing gaps and possible opportunities in product design. Thus, they unfolded into four strands: 1) review of related literature; 2) characterisation of the material through bibliographic and field research; 3) determination of their physical and

mechanical properties; 4) experimental research through conventional carpentry techniques and digital fabrication technologies.

In the context of teaching, the proposed activities fostered various explorations through projective and productive experimental processes and the aesthetic, sensory, expressive and functional qualities within the material they provide to

meet the potential demands of the university community. Finally, extension approaches covered the planning and execution of training and knowledge transfer activities for architecture and design students, local communities and artisans.

**Theoretical frame** | The context of the crisis resulting from the Second World War and the new eco-

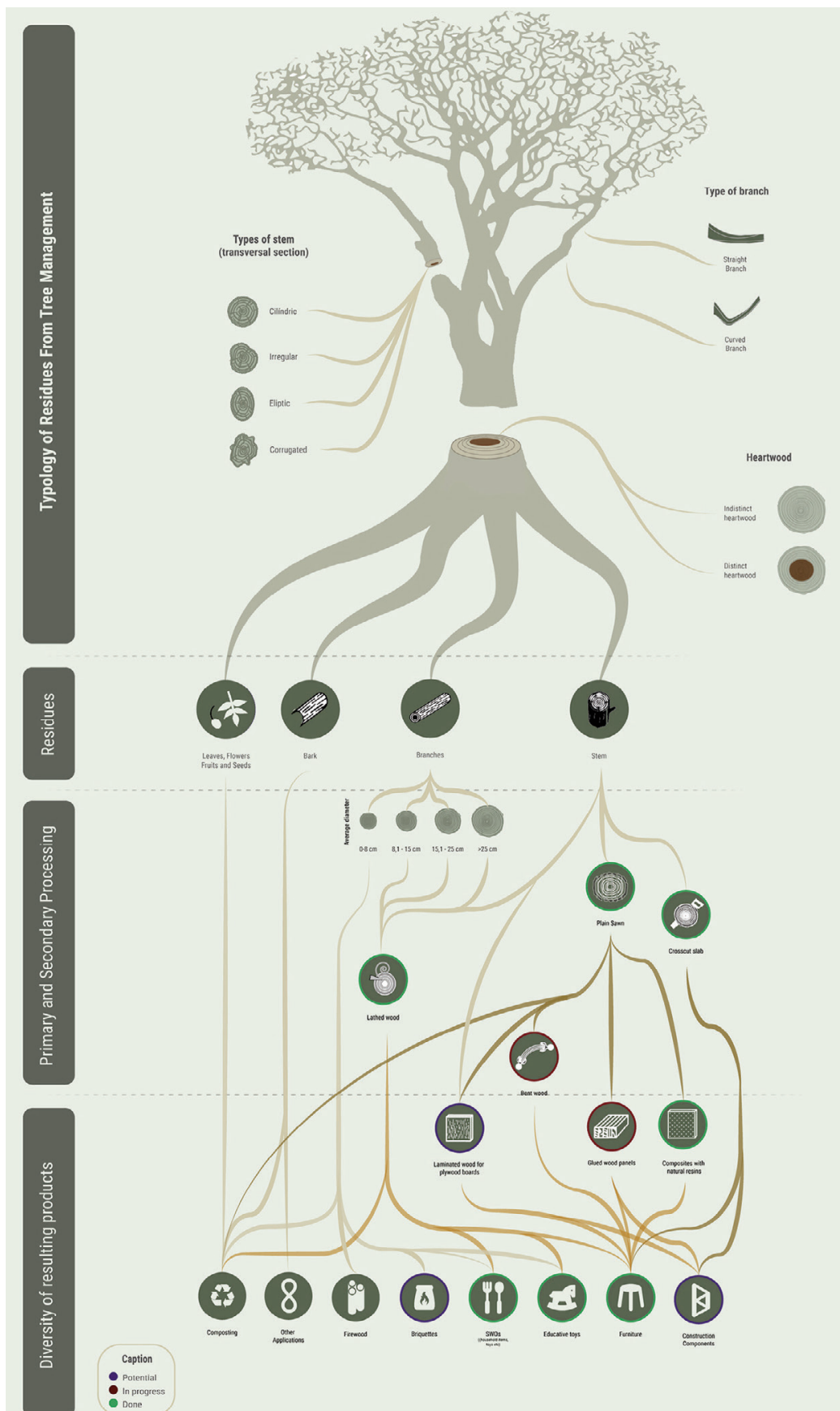
nomic and political contexts established in Europe at that time led to discussions on the appropriate model and role of the state, including the field of education. In Brazil, this situation had a similar effect. Universities began to be perceived not only as a place for professional training and as a producer of knowledge, but they also took on value for their interaction with society, in a two-way street where Universities would act not only in the dissemination of knowledge but also the learning process by approaching reality more systematically and interacting with other social actors.

In an attempt to point out possible 'technological routes' for the use of wood from pruning and suppression of urban trees, these routes were regarded as an initial constitutive part of a Technology Road Mapping, «[...] a visualisation of the linkage between technologies, business and market conditions» (Probert, Farrukh and Phaal, 2003, p. 3). This method originated in the field of business and is nowadays also used in formulating public policies. Using a procedural tool, the gradual construction of technological paths helps research teams optimise reflection, discussion and experimentation and solidify knowledge.

In the process of mapping the technological routes, the construction of knowledge was also sought out, based on the concept of 'social technology', here understood as «[...] a set of techniques and transforming methodologies developed and / or applied in interaction with the population and appropriated by them, which represent solutions for social inclusion and improvement of living conditions» (Passoni, 2004, p. 26). Such an approach seemed to be quite appropriate, especially in this context, where techniques and processes associated with traditional knowledge of carpentry – often devalued by large-scale industrial production – can be recovered and improved, with some adaptations, to increase value, for professional qualification and to promote income generation for vulnerable populations.

This approach is also in line with the principles of the Circular Economy, which aims for systemic solutions to restore and regenerate natural systems, keeping materials in closed cycles of use and reuse with as much functional and economic value and for as long as possible, thus eliminating the concept of 'waste' (Ellen MacArthur Foundation, 2021). The systemic approach promoted by the Circular Economy is essential to identify new solutions for the use of urban forestry waste, given the multiplicity of actors positioned at different points in the production chain and their different skills and interests, which need to converge, in order to create valuable relationships (Kimbell, 2011; Manzini, 2017) capable of structuring new meanings and opportunities (products, services, and models).

In this sense, the processes, tools, and the way of thinking of design (currently referred to as design thinking), together with systems thinking, can contribute significantly to integrating and organising the flow of urban forestry management by enabling a better visualisation, description, and reconfiguration of the system through visual taxonomies – scenarios, maps, infographic, and iconographic mod-



**Fig. 8** | Mapping of design-driven technology routes for afforestation management waste (credit: F. G. Melo, 2022).



els, among others (Jones, 2014). This allows better access to opportunities and possible conflicts, favouring dialogue, cooperation, and consolidation of information (Sennett, 2013).

In previous papers (Malaguti de Sousa, 2019; Barata et alii, 2021), the authors showed how these approaches favoured very successful experiences in the USA (for instance, Wood from the Hood and Baltimore Wood Project – Rethinking the Wood and the City), in Spain (Sintala Design) and Brazil (Pedro Petry and Madeira Urbana). From this angle, the designer-researcher can act as a strategist capable of promoting, guiding, and connecting multiple stakeholders, initiatives and related actions so that they may mutually strengthen each other and whose most promising solutions may eventually be replicated in different contexts.

Unfortunately, very few exemplary experiences were found – through the literature review – related to scientific design research on this article issue: it is worth mentioning one conducted by the Tokyo Institute of Technology and the other by the Massachusetts Institute of Technology. The first focused on providing a design methodology for «[...] transforming green waste into resources for reconstructing urban commons based on existing livelihoods» (Sánchez, Tsukamoto and Lobo, 2020, p. 1230); the second one, through digital and computational methods, developed an approach that enables architects to use discarded tree forks as load-bearing joints in their structures (Stauffer, 2022). Although the first case reveals both design thinking and systemic design approaches and other experiences connected teaching with extension in undergraduate design courses in the USA, none reported integrating research, teaching and extension, employing these approaches.

The approach adopted here also strongly engages with the Material Driven Design method. According to Karana et alii (2015, p. 37), functional aptitudes are not enough to ensure the success

and widespread use of ‘new’ material in the market; designing for material experiences becomes necessary: «The ‘material’ should also elicit meaningful user experiences in and beyond its utilitarian assessment. This requires qualifying the material not only for what it is, but also for what it does, what it expresses to us, what it elicits from us, and what it makes us do».

Wood from pruning and suppression is still considered a waste to be discarded by the general public and potential actors in a valorisation chain. Therefore, its success as a raw material depends on a change in perception, value judgement, and the ability, in the design process, to create explicit connections with the materialisation of a culture of sustainability and the support of technical knowledge. Given this, the proposed material-driven design method, with the steps of: 1) understanding the material; 2) creating materials experience vision; 3) manifesting materials experience patterns; and 4) designing material / product concepts, which offers an adequate approach structure, which works as a central guideline in the planning, course of activities and results achieved.

**Results** | The results presented are organised into four sections. Initially, the investigations and methods for defining diagnostics on the trajectory of the residues from the afforestation management. Afterwards, field activities were conducted to classify the arboreal residues and identify the species for later systematisation of the information in technical sheets. The third section deals with the morphological characterisation of the tree residues and their potential uses. The last section presents the initiatives for experimentation and application of the material in academic and entrepreneurial activities, focusing on developing new products and prospecting potential markets.

**The path of waste from urban forestry management** | Based on the methodological approach

of Material Driven Design, the starting point of the process was the monitoring of pruning and suppression activities, taking as the locus of investigation the main campus of the University of São Paulo, located at the city of São Paulo, Brazil (Fig. 2). Through interaction with the University City Hall, it was possible to understand how the local management of tree waste is carried out and to partially follow the pruning process corresponding to a contract made with an outsourced company.

Figure 3 illustrates some of these steps, equipment, procedures involved and waste organisation, verifying that: 1) operations are planned by geographically demarcated regions; 2) the branches of each tree are cut in segments up to 1 meter long; 3) the waste is separated on-site into two large groups – thin branches and leaves, larger diameter branches; 4) the first group is shredded, and the second is unloaded into 20 mc buckets, positioned nearby until they are filled. The handling process was summarised in the flowchart shown in Figure 4.

**Rough wood grading and species identifica-**

**tion** | Several species of different sizes are used in urban forestation, both native and exotic. Traditionally, the ornamental characteristics, growth speed and shading capacity, among other qualities, are privileged but, in most cases, the physical-mechanical and aesthetic properties of wood that tree individuals can provide are not prioritised. However, the technical knowledge about the effective properties of young low-diameter wood – mostly branches from pruning processes – is still limited and not widespread. To fill this knowledge gap, we sought to systematise the existing information through bibliographic research and training courses in the areas of forest engineering and plant anatomy and to expand it through the field and experimental research.

An agreement made with the University City Hall and the outsourced company allowed that a

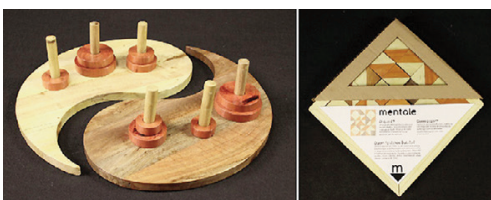
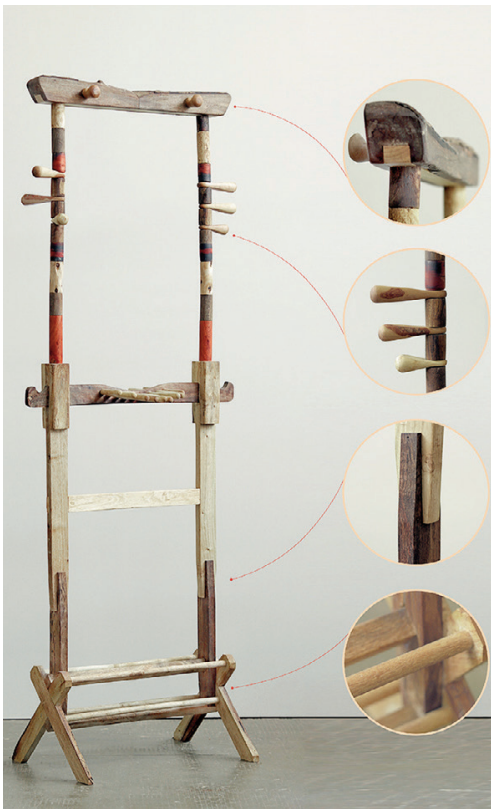


**Fig. 9** | Experimental creative workshops with artisans from Ubatuba/SP (credit: T. Q. F. Barata, 2021).

**Fig. 10** | Experimental creative workshops with FAU/USP students (credit: C. Malaguti de Sousa, 2021).







**Fig. 11** | Pindura coat and shoe rack, designed by Caio Dutra, Felipe de Melo, Gabriela Bertin and Tiago Schützer (credit: @dapoda.design, 2022).

**Fig. 12** | Educational games: New Hanoi, designed by Andressa Barbosa Oliveira, Bruno Henrique Agostinho da Silva, Bruno Souza and Davi Proite Galvani; Mentale, designed by Anatasha Allison Li, Ana Carolina Ishida and Julia da Costa Taveira Gomes (credit: R. Vasconcelos, 2022).

**Fig. 13** | Urban furniture: Arco, designed by Eric H. Oki, Gustavo E. S. Pinheiro, João Pedro de O. Sales and Rafael Antônio F. de Oliveira; Rutherford, designed by Camila Rosado, Eike Sato, Enzo Sato and Luiz Henrique Silva (credit: R. Vasconcelos, 2022).

portion of pruned waste, with a diameter greater than 8 cm – as recommended on the potential use of the material (Meira, 2010) – was deposited in an open-air courtyard at the University, with a total volume of approximately 60 mc. This batch of waste, consisting of branches of various tree species with different morphological characteristics and health states, corresponding to the pruning process of 2,380 trees, was piled by the outsourced company without any criterion of organisation. This volume of waste was the main object of the laboratory and experimental research carried out.

The first step was to separate it by species because wood properties can vary greatly. With the support of the Institute of Biosciences – USP, it was possible to identify and separate (Fig. 5) only about 20 tree species present, emphasising the exotic species ‘Tipuana tipu’. The second result of this research was the consolidation of data on the identified species in technical sheets, initially fed by bibliographic research (Fig. 6). Regarding the properties of the wood, even with gaps in various information, the study indicated interesting potential applications.

This information was complemented with the support of the São Paulo Technological Research Institute, which enabled the technological characterisation of five recurrent species in urban afforestation, carried out through laboratory tests, which resulted in a joint publication (Souza and Velasco, 2022). These new data were fundamental both to assist in identifying species after pruning activity and to indicate more accurately the potential use of wood from pruning branches. When data from the publication and test results came together, similar data were found from the samples, reinforcing the high prospects for the previously identified wood use.

**Morphological characterisation and potential uses** | Taking design as a guiding axis, we explore the possibility of using this raw material. The main challenges faced in processing, in the laboratory, low diameter round wood through transformation processes of the material with conventional carpentry equipment, combined with subtractive technologies of digital fabrication, were: 1) to identify the characteristics of the tree residue due to its heterogeneity and diversity of species, dimensions, and shapes; 2) to define the typology of the equipment and to systematise the processing procedures before and after tree handling; 3) to collect data on gross and net yields of the processes of sawing and turning the raw wood and; 4) to perform the parametric virtual modelling aiming at the development of components, parts, prototypes, and artefacts.

As for the characterisation of tree residues, they encompass roots, bark, leaves, fruits, flowers, seeds and woody material; the latter is divided into stem, trunk, and branches, which may vary in diameter. Meira (2010) classifies them into four diameter categories: 0 to 8 cm, 8.1 to 15 cm, 15.1 to 25 cm, and over 25 cm. The separations by diameter and by species can indicate more appropriate destinations. The pieces with a greater diameter, sawn into boards and rafters, can be used to produce furniture and construction components, while the smaller diameter pieces can be used to create Small Wooden Objects (SWOs). In the process of pruning and suppression (Fig. 7),

it is relevant to catalogue the raw pieces and cut them to the greatest possible length in order to increase the possibilities of use and decrease the amount of cracking. In addition to the conventional processes of wood sawing, the use of turning processes is also an alternative for the utilisation of irregular pieces. The low-diameter residues can be ground and aggregated into composite materials.

For the rotten or very heterogeneous residues, the best solution is the traditional methods of destination: organic compost and energy generation. Figure 8 synthesises the possible technological routes and potential uses identified – in the first stage, the characterisation of the waste typologies; then, the definition of primary and secondary processes; finally, product niches. These niches tried to connect the material characteristics with public demands identified during the investigation in the university campus and through interaction with other partners (such as models and prototypes, urban and interior furniture, educational toys and games), as well as demands of commercial products from local artisans, designers and carpenters (such as table and kitchenware, toys, interiors components and decoration). In the following item, we will present the application explorations so far.

**Applications in academic and entrepreneurial activities** | The exploration of applications of this urban wood source at Universities has taken place in various ways through research, university extension activities, and teaching in design courses. These exploratory studies sought to understand the limits and potentialities of the material, combining the resources of digital fabrication technologies with conventional carpentry techniques. In addition, as design resources, parametric virtual modelling software could test mixed production processes, including the pressing of glued wood panels, the machining of bent wood pieces (round and veneered) with steam and/or mechanically, the turning of raw wood, and the machining of components with laser cutting equipment and CNC milling machines.

With regard to university extension activities, workshops for the creation of small wooden objects, games and simple furniture were favoured, based on previously identified requests, which played a threefold role in the investigation process. First, to provide the team with a ‘hands-on’ experience. The abductive reasoning, typical of design, was thus stimulated by the challenge of designing, perceiving and feeling the material in its morphological diversity and the relationship of these characteristics with the variation of the species, comparing the identified technical properties with the behaviour of the several available pieces. A second role of the workshops was to bring together the potential demands of different audiences to collectively develop the design processes so that the final assembly and finishing of the created objects could take place by the target audience with simple, manual tools. Third, the workshops, by allowing participants to observe the experience of interacting with the material, also assessed the difficulties and impressions of the target audience on the constructed object (Fig. 9, 10).

Relevant results also came from the company Dapoda – Design Living Lab<sup>2</sup>, created by students

who were part of the winning group of the international No Waste Challenge, launched in 2021 by the organisation What Design Can Do. Since then, the startup has devoted itself to creating innovative utility products and conducting workshops on the use of pruned wood, such as compact, multifunctional and decorative furniture for small urban residences, exploring different wood joints to connect small parts of pruned tree branches and combining the rich diversity of urban wood species (Fig. 11).

Other possibilities were also experimented with in the educational field in practical activities. Based on the briefing proposed by the teacher-researchers, where pruning and / or suppressed wood was compulsory, the students in teams defined the target audience, the specific need or opportunity and the project response. In the discipline Materials and Production Processes I, the aesthetic and dynamic dimensions of materials were explored; 10 prototypes of educational games were developed (Fig. 12). In the discipline Design, Environment and Sustainability, the briefing was to create urban furniture for conviviality in green areas of the university campus, in response to a royal demand of the University Mayor (Fig. 13). In both situations, different wood species were combined, in addition to the specification of other materials, such as concrete, aluminium and steel.

**Final considerations** | From the perspective of formulating public policies and stimulating integrated actions aimed at inclusive, innovative, and sustainable entrepreneurship, focusing on the val-

orisation of urban tree waste, the role of the public University in Brazil is considered fundamental, especially in its pillars of scientific research, teaching, and university extension. The proposition of technological routes with better use of this natural capital, available in great diversity and volume in the cities, presupposes actions that are adequate to local contexts.

Having as methodological procedure the systemic analysis of the chain involved in its management and as a foundation the principles of circular economy, the design of such technological routes can favour scalability and replicability, inspiring different models of urban forestry waste management. In fact, the reported experience aroused the interest of other São Paulo state municipalities, such as Guarulhos and Bertioga, with whom new partnerships – counting on the support of other research centres such as São Paulo Technological Research Institute, and national financial agencies, such as the National Council for Scientific and Technological Research – are already in progress, as shown in Figure 1.

Considering design as an applied social science driving innovation, it can play an important role in building future scenarios that aim at transitioning to resilient city models supported by the bioeconomy. The diagnosis of the typical situation identified in the city of São Paulo, particularly in the university campus, highlighted the main aspects that characterise the management of urban forestry, the process of pruning or suppression and the flow of this material from its origin, and these aspects impact the identification and exploration of

technological routes. Given this diagnosis, the research mapped simpler and more complex paths.

The results reveal an enormous potential to be explored with different approaches, either from the point of view of scale, object typology and necessary technological support capacity, with the adoption of constructive principles and innovative inspiration concepts. The diversity of potentially viable artefacts and products may generate a new business niche, involving different players in society, adding value, meeting local demands, and opening new markets.

Other technological routes, such as wood bending and composites development, are in progress. New possibilities to make the acquired knowledge available, such as adapting the data sheets to cell phone applications like Pl@ntNet<sup>3</sup> and iNaturalist<sup>4</sup>, have also emerged. Finally, faced with a problem that certainly demands a multidimensional approach, the answers given so far are still preliminary. However, the worsening of the climate crisis on the one hand – which, among innumerable consequences, has significantly increased the number of fallen trees – and, on the other hand, the need to expand the tree coverage of cities as one of the strategies for coping with climate change, signal the urgency of continuing this type of investigation, with the University as an active protagonist in fulfilling its role in the production and dissemination of knowledge, in permanent interaction with society.

## Notes

1) For more information, see the webpage: [senseable.mit.edu/treepedia](https://senseable.mit.edu/treepedia) [Accessed 19 May 2023].

2) For more information, see the webpage: [dapodadesign.com/home](https://dapodadesign.com/home) [Accessed 19 May 2023].

3) For more information, see the webpage: [plantnet.org/en/](https://plantnet.org/en/) [Accessed 19 May 2023].

4) For more information, see the webpage: [inaturalist.org](https://inaturalist.org) [Accessed 19 May 2023].

## References

Barata, T. Q. F., Malaguti de Sousa, C. S., Dutra Profirio de Souza, C. and Klingenberg, D. (2021), “La gestione dei rifiuti da potatura di vegetazione urbana – Esperienze a San Paolo, Brasile | Management of waste from the pruning of urban greenery – Experiences in São Paulo, Brazil”, in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 9, pp. 232-243. [Online] Available at: [doi.org/10.19229/2464-9309/9232021](https://doi.org/10.19229/2464-9309/9232021) [Accessed 19 May 2023].

Ellen MacArthur Foundation (2021), *Universal circular economy policy goals – Enabling the transition to scale*. [Online] Available at: [ellenmacarthurfoundation.org/universal-policy-goals/overview#upg-paper](https://ellenmacarthurfoundation.org/universal-policy-goals/overview#upg-paper) [Accessed 19 May 2023].

Jones, P. (2014), “Systemic design principles for complex social systems”, in Metcalf, G. (ed.), *Social Systems and Design*, Translational Systems Sciences, vol. 1, Springer, Tokyo, pp. 91-128. [Online] Available at: [doi.org/10.1007/978-4-431-54478-4\\_4](https://doi.org/10.1007/978-4-431-54478-4_4) [Accessed 19 May 2023].

Karana, E., Barati, B., Rognoli, V. and Van Der Laan, A. Z. (2015), “Material Driven Design (MDD) – A method to design for material experiences”, in *International Journal of Design*, vol. 9, issue 2, pp. 35-54. [Online] Available at:

[ijdesign.org/index.php/IJDesign/article/viewFile/1965/687](https://ijdesign.org/index.php/IJDesign/article/viewFile/1965/687) [Accessed 19 May 2023].

Kimbell, L. (2011), “Designing for service as one way of designing services”, in *International Journal of Design*, vol. 5, issue 2, pp. 41-52. [Online] Available at: [ijdesign.org/index.php/IJDesign/article/view/938/345](https://ijdesign.org/index.php/IJDesign/article/view/938/345) [Accessed 19 May 2023].

Malaguti de Sousa, C. (2019), “Valutare gli scarti della gestione del verde urbano per il design – Idee dal caso di San Paolo | Waste valuing from urban wood management through design – Ideas from the case of São Paulo”, in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 6, pp. 228-239. [Online] Available at: [doi.org/10.19229/2464-9309/6222019](https://doi.org/10.19229/2464-9309/6222019) [Accessed 19 May 2023].

Manzini, E. (2017), *Design – Quando todos fazem design – Uma introdução ao design para a inovação social*, Unisinos, São Leopoldo.

Meira, A. M. (2010), *Gestão de resíduos da arborização urbana*, Doctoral Thesis, Escola Superior de Agricultura ‘Luiz de Queiroz’ – USP, Piracicaba. [Online] Available at: [teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11150/tde-19042010-103157/pt-br.php](https://teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11150/tde-19042010-103157/pt-br.php) [Accessed 19 May 2023].

Miller, R. W., Haur, R. and Werner, L. (2015), *Urban forestry – Planning and managing urban greenspaces*, Waveland Press, Long Grove, Illinois (US).

Passoni, I. (2004), *Caderno de debate – Tecnologia social no Brasil*, Instituto de Tecnologia Social, São Paulo. [Online] Available at: [irp.cdn-website.com/c8d521c7/files/uploaded/CADERNO%20DEBATE.pdf](https://irp.cdn-website.com/c8d521c7/files/uploaded/CADERNO%20DEBATE.pdf) [Accessed 19 May 2023].

Probert, D. R., Farrukh, C. and Phaal, R. (2003), “Technology roadmapping – Developing a practical approach for linking resources to strategic goals”, in *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B – Journal of Engineering Manufacture*, vol. 217, issue 9, pp. 1183-1195.

[Online] Available at: [doi.org/10.1243/095440503322420115](https://doi.org/10.1243/095440503322420115) [Accessed 19 May 2023].

Sánchez, D. M., Tsukamoto, Y. and Lobo, N. G. (2020), “Pavilions revealing the possibility of urban forestry as commons – Case studies on ‘Fire Foodies Club’ and ‘Urban Foresters Club’ at UABB”, in *AIJ Journal of Technology and Design*, vol. 26, issue 64, pp. 1230-1235. [Online] Available at: [researchgate.net/publication/346280075\\_Pavilions\\_revealing\\_the\\_possibility\\_of\\_Urban\\_Forestry\\_as\\_a\\_Commons\\_-\\_Case\\_studies\\_on\\_Fire\\_Foodies\\_Club\\_and\\_Urban\\_Foresters\\_Club\\_at\\_UABB-](https://researchgate.net/publication/346280075_Pavilions_revealing_the_possibility_of_Urban_Forestry_as_a_Commons_-_Case_studies_on_Fire_Foodies_Club_and_Urban_Foresters_Club_at_UABB-) [Accessed 19 May 2023].

Sennett, R. (2013), *Together – The Rituals, Pleasures and Politics of Cooperation*, Yale University Press, Yale.

Simon, H. A. (1996), *The Sciences of the Artificial*, MIT Press, Cambridge.

Sousa, C. S. M. (2018), “Design and waste upcycling from tree pruning and fallen trees at the USP Campus (University of São Paulo) – Potentialities”, in Leal Filho, W., Frankenberger, F., Iglecias, P. and Mülfarth, R. C. K. (eds), *Towards Green Campus Operations*, Springer International Publishing, Heidelberg, pp. 777-791. [Online] Available at: [doi.org/10.1007/978-3-319-76885-4\\_51](https://doi.org/10.1007/978-3-319-76885-4_51) [Accessed 19 May 2023].

Souza, C. A. and Velasco, G. D. N. (eds) (2022), *Resíduo de poda de árvores urbanas – Como reaproveitar?*, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, USP – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, São Paulo.

Stauffer, N. W. (2022), “Using nature’s structures in wooden buildings – A new approach enables architects to use discarded tree forks as load-bearing joints in their structures”, in *MIT News*, 09/03/2022. [Online] Available at: [news.mit.edu/2022/using-natures-structures-wooden-buildings-0309](https://news.mit.edu/2022/using-natures-structures-wooden-buildings-0309) [Accessed 19 May 2023].



Printed in June 2023  
by FOTOGRAF s.r.l.  
viale delle Alpi n. 59 | 90144 Palermo | Italy