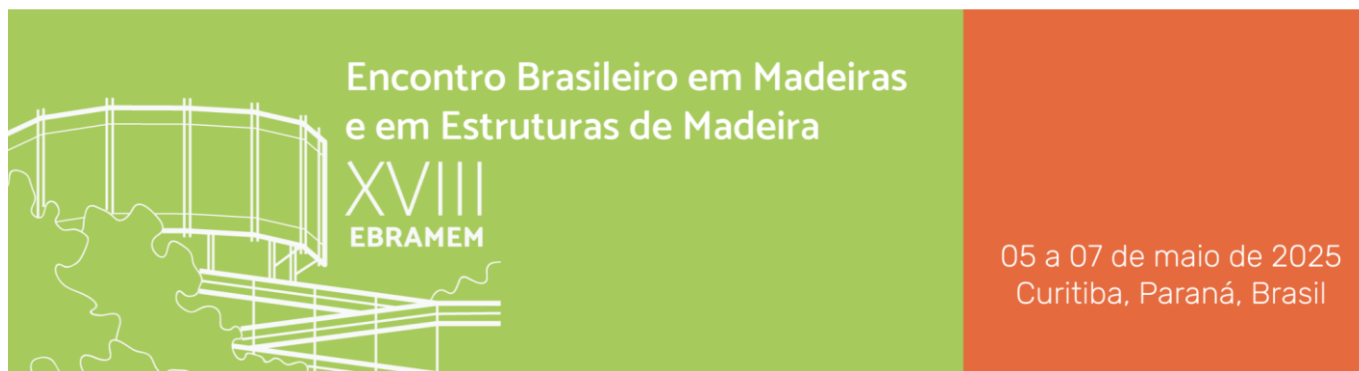




A QUANTIDADE DE RESÍDUOS EM UMA CONSTRUÇÃO DE MADEIRA ENGENHEIRADA: UM ESTUDO DE CASO EM SÃO JOSÉ DOS CAMPOS

Ângliston Tainã Camilotti^{1*}, Bruno Daminelli¹;

*Autor de contato: angliston.camilotti@usp.br

¹ Instituto de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Carlos/SP, Brasil

RESUMO

A construção civil é um dos setores mais importantes da economia mundial, empregando muitas pessoas, porém é o setor que mais agride o meio ambiente com a extração de matérias primas e a deposição de entulhos. Atualmente com a grande demanda de cada vez mais construções, a fim de suprir as necessidades de uma população cada vez maior, são necessários a discussão e o repensar sobre os modos tradicionais de construir. A inovação na construção civil já é assunto emergencial, que nos traz a reflexão sobre o emprego de materiais e tecnologias mais eficientes. Este trabalho visou levantar a quantidade de resíduos gerados em uma construção de madeira engenheirada de uma área de lazer anexa à uma casa, para posteriormente comparar com a estimativa de quantidade de resíduos que seriam gerados para a mesma construção em um sistema convencional de alvenaria. Concluiu-se que a construção analisada, em estrutura de madeira engenheirada, produziu muito menos resíduos que uma construção em estrutura de concreto armado.

Palavras-chave: Reaproveitamento de resíduos, reciclagem na construção civil, madeira engenheirada, gerenciamento de resíduos.

ABSTRACT

Civil construction is one of the most important sectors of the world economy, employing many people, and consequently it is the sector that most harms the environment with the extraction of raw materials and the disposal of rubble. Currently, with the great demand for more and more constructions, in order to meet the needs of an increasingly larger population, it is necessary to discuss and rethink traditional ways of building. Innovation in civil construction is already an emergency issue, which brings us to reflect on the use of more efficient materials and technologies. This work aimed to assess the amount of waste generated in an engineered wood construction of a leisure area attached to a house, to later compare it with the estimated amount of waste that would be generated for the same construction in a conventional masonry system. It was concluded that the construction analyzed, which is made of engineered wood structure, produced much less waste than a construction made of reinforced concrete structure.

Keywords: Reuse of waste, recycling in construction, engineered wood, waste management.

1. INTRODUÇÃO

A construção civil é um dos setores econômicos mais importantes do Brasil. Pode-se afirmar que cerca de 8% das pessoas empregadas no país trabalham na construção civil (CBIC, 2018). A geração de grandes volumes de resíduos de construção oriundos dos canteiros de obras, além dos materiais de demolição, são responsáveis por cerca de 20 a 30% do total dos resíduos gerados pelos países membros da União Europeia (Murakami *et al.*, 2002). No Brasil, estes resíduos, representam em torno de 50% em massa dos resíduos sólidos urbanos (Ângulo *et al.*, 2004). Segundo Ribeiro *et al.*, (2008), estima-se que a construção civil extraia algo entre 20 e 50% do total de recursos naturais consumidos pela sociedade.

A construção com madeira engenheirada (ME) envolve o uso de produtos de madeira processada e projetada especificamente para aplicações de construção. Esses produtos são fabricados a partir de madeira natural, mas passam por um processo de engenharia e modificação para melhorar suas propriedades de resistência, estabilidade e durabilidade. A construção com ME tem ganhado popularidade devido às suas vantagens sustentáveis e de desempenho (Shigue, 2018).

A reciclagem de resíduos de construção e demolição (RCD) no país, apesar de ser uma atividade recente, tem se desenvolvido mais significativamente nos últimos 5 anos. Existe pouca informação sistematizada sobre o estado da arte nacional do gerenciamento e reciclagem de RCD. Em 2002 foi homologada a resolução CONAMA 307, definindo que grandes geradores públicos e privados são obrigados a desenvolver e a implantar um plano de gestão de RCD, visando a sua reutilização, reciclagem ou outra destinação ambientalmente correta. O gerenciamento de resíduos sólidos é o conjunto de ações exercidas, direta ou indiretamente, nas etapas de coleta, transporte, tratamento, destinação e disposição final dos rejeitos de acordo com as diretrizes legais (Brasil, 2010).

Os resíduos madeireiros podem ser classificados, segundo a NBR 10.004:2004, como de classe II A, ou seja, resíduos não perigosos, não inertes, que podem ter propriedades de biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Características da construção em Madeira Engenheirada

A madeira sempre foi um material muito utilizado na construção civil desde os primórdios da civilização humana, e com o passar do tempo o seu uso foi sendo aprimorado, como podemos ver atualmente o emprego de madeiras engenheiradas (madeiras passadas sobre processo de industrialização) em uma crescente no setor da construção. Segundo Correia (2009), a madeira é um material estrutural muito durável e com apelo arquitetônico, oferecendo possibilidades ilimitadas de aplicações, além de possuir um equilíbrio ecológico bastante positivo. Uma industrialização de um determinado sistema construtivo, pode ser considerada como o ápice da racionalização na construção de uma edificação, proporcionando uma construção rápida e

econômica no canteiro de obras (ABDI, 2015) e a madeira engenheirada se enquadra nesta industrialização. A seguir é comentado brevemente cada tipo de industrialização da madeira.

O Wood Frame é um sistema de vedação autoportante e leve, sendo as paredes compostas por quadros classificados como: montantes, soleiras, vergas e contravergas (Shigue, 2018). O Sistema de Log Home é constituído de madeiras roliças ou até mesmo modeladas, que são montadas sobrepostas uma à outra, formando uma estrutura autoportante facilitada por meio de encaixes, não sendo necessária a utilização de vigas e pilares, necessitando apenas de um tratamento na madeira para inibir acesso de agentes agressivos provenientes de deterioração biológica (Shigue, 2018).

O *Oriented Strand Board* (OSB), é um painel fabricado a partir da consolidação de tiras de madeira orientadas através do uso de resinas e prensadas a quente. As tiras dos painéis de OSB são dispostas em três camadas perpendiculares para que a rigidez e a resistência mecânica aumentem (Bortoletto e Garcia, 2004). Segundo Cabral (2006), esses painéis são constituídos 100% de madeira de reflorestamento. Conforme Mendes (2001), podem ser utilizados para fins estruturais, tais como paredes, pisos, vigas e forros, por possuírem estabilidade dimensional e boa resistência mecânica.

Segundo Vilela; Mascia (2021), as placas chamadas de madeira lamelada cruzada, ou *Cross Laminated Timber* (CLT), são produzidas a partir da colagem de lamelas de madeira serrada em camadas ímpares, nas quais os elementos são colados em sentido ortogonal, ou seja, uma camada posicionada a 90° do sentido das fibras da camada adjacente. A característica dessa composição de camadas orientadas transversalmente permite a fabricação de painéis com grandes tamanhos, obtendo maior rigidez e capacidade de carga em relação ao seu peso, sendo utilizadas em paredes e lajes. (Persson *et al.*, 2021).

Conforme Shigue (2018), a madeira microlaminada, ou *Laminated Veneer Lumber* (LVL), é composta por elementos estruturais formados a partir de lâminas de madeira com espessura entre 2,5 e 3,2mm que são selecionadas e sobrepostas criteriosamente, fazendo com que as fibras sejam coladas paralelamente no sentido longitudinal da peça (APA, 2019). Por ser fabricado com lâminas com juntas lapidadas ou chanfradas, a LVL permite fabricar material com comprimentos superiores se comparado aos de madeira serrada convencional. São amplamente utilizadas para confecção de vigas.

A madeira do tipo laminada colada (MLC), também conhecida como Glulam, é composta por lâminas de madeira coladas para criar vigas e colunas resistentes. Isso permite seu uso em várias construções como uma viga simples, como por exemplo em uma estrutura residencial, ou até mesmo para telhados abobadados acima de 150 metros de comprimento (APA, 2019).

De acordo com Think Wood (2017), a madeira laminada pregada, ou *Nail Laminated Timber* (NLT), é um tipo de madeira engenheirada que consiste em várias peças de madeira serrada fixadas e pregadas juntas para formar um único componente estrutural de alta resistência. Segundo Cruz (2022), a NLT é uma excelente substituta da laje de concreto e de deck em

estrutura metálica, criando uma estética inovadora. Essa metodologia é comumente usada para construções de pisos, escadas, telhados, entre outros (Cruz, 2022).

Na madeira laminada serrada ou *Laminated Strand Lumber* (LSL), a sua fabricação é feita com lâminas de madeira com espessura entre 0,6 e 1,3mm e comprimento de até 300mm, que são unidos por um adesivo, de forma que as lâminas se posicionem paralelamente (APA, 2019).

Quando se trata da estrutura pilar e viga, o sistema de vedação pode ser composto por painéis encaixados na horizontal, tábuas ou pranchas de madeira (Pizzoni, 2017). Os tipos de elementos estruturais em madeira engenheirada que são encontrados no Brasil são: MLC, NLT, LSL e LVL, sendo para painel de fechamento, o OSB é a tecnologia mais utilizada (Lopes, 2021).

2.1.1 Histórico e exemplos de construções com madeira engenheirada (ME)

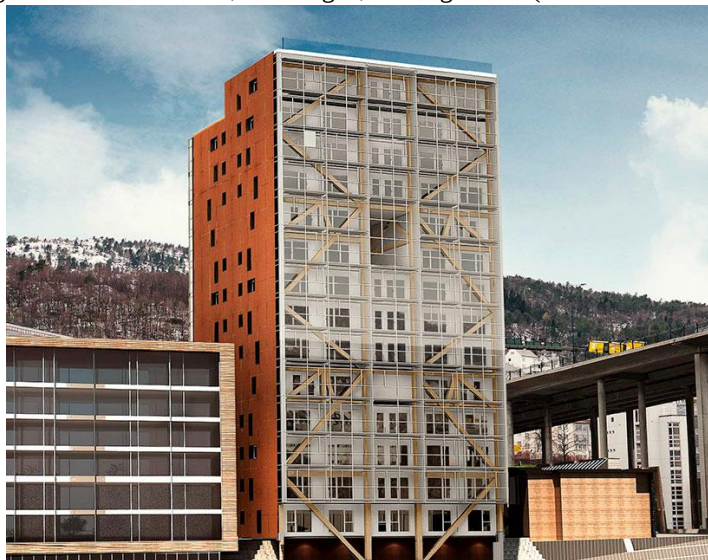
O desenvolvimento da madeira engenheirada remonta a vários séculos, mas sua popularidade e uso generalizado ocorreram principalmente no século 20. O crescente interesse pela madeira engenheirada foi impulsionado pela necessidade de encontrar soluções de construção mais sustentáveis e pela busca por materiais de construção eficazes e de alto desempenho (Shigue, 2018).

No século 19, segundo Cesar (1991), o sistema Hauff foi trazido pelo engenheiro austríaco Erwin Hauff, que após sua chegada ao Brasil começou a atuar no desenvolvimento e construção de estruturas treliçadas em madeira. Essa solução implantada em meados do século XIX permitiu a construção de vãos maiores do que eram até então realizados na época. Com a estrutura de madeira engenheirada foi possível construir obras de destaque conhecidas não somente no Brasil, mas internacionalmente, sendo elas o Hangar da antiga empresa Varig, localizada no aeroporto de Congonhas, na capital paulista, com vão livre de aproximadamente 70 metros, bem como arcos do tipo cimbria em ponte na estrada de Santos – Cubatão, de 78 metros.

De acordo com Bono (1996), a primeira empresa a trazer fabricação e tecnologia MLC foi a empresa Esmara Estruturas de Madeira, em meados de 1934 na cidade de Curitiba-PR, atuando na fabricação de vigas de MLC para estruturas de casas pré-fabricadas. Segundo Espíndola (2017), a tecnologia *wood frame* foi introduzida no Brasil desde o fim da década de 1970, embora seja difícil datar com exatidão quando surgiu a primeira construção. A empresa Madezatti afirma ter executado casas industrializadas em meados de 1967, sendo o marco de reconhecimento em toda América Latina como a maior empresa de pré-fabricados em meados de 1970 e 1980.

Exemplo notável com construção em sua totalidade de madeira engenheirada é o edifício Treet, em Bergen, Noruega, que é considerado o edifício de madeira mais alto do mundo. Pode-se observar na Figura 1 a seguir, na fachada lateral a madeira aplicada.

Figura 1 - Edifício Treet, em Bergen, Noruega 2015 (49 metros de altura)



Fonte: <https://cmPCMaderas.com/>

2.1.2 Facilidades e dificuldades da madeira engenheirada

Segundo IBÁ (2021), o setor florestal foi responsável por 9,55 milhões de hectares de áreas cultivadas destinadas às indústrias, com um crescimento de 17,5% entre 2019 e 2020, apesar da pandemia do COVID-19.

Entre os dois gêneros mais plantados no Brasil com fins madeireiros estão o *Eucalyptus* e *Pinus*, cuja área plantada corresponde respectivamente a 7,47 milhões e 1,70 milhões de hectares. Dentre os produtos obtidos dessas florestas estão: celulose, madeira serrada e roliça, óleos essenciais, breu, terebintina, dentre outros. O setor tem investido em alternativas para a bioeconomia, e, nesse contexto de inovação, surge no Brasil a madeira engenheirada como alternativa para construção civil (IBÁ, 2021).

Quando se trata de construções no Brasil, ainda permanece a lógica da construção convencional, pautada no uso predominante de concreto e alvenaria, fato esse demonstrado pelo levantamento realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2016), em que as construções brasileiras são majoritariamente de alvenaria (88%). Além disso, 62,6 milhões de unidades domiciliares, casas e apartamentos possuem estrutura feita de concreto armado e paredes de tijolos revestidas com argamassa cimentícia, que é o sistema construtivo que mais gera desperdícios de materiais, chegando a 8% (Oliveira, 2018; IBGE, 2016; IBÁ, 2021).

De acordo com Shigue (2018), a alta eficiência térmica das edificações em madeira reduz a demanda por sistemas de aquecimento e resfriamento, resultando também em menores custos operacionais. Além disso, uma vantagem relevante no isolamento térmico, especialmente em painéis de CLT e vigas de MLC, está associada ao ambiente hermético e à limitada área de superfície, fatores que auxiliam na contenção da propagação de incêndios (Dias, 2018).

Segundo Dias (2018), os sistemas construtivos que utilizam madeira engenheirada têm a facilidade da pré-fabricação, de forma que se evita o desperdício de materiais, levando a diminuição no tempo de execução da obra. Outra característica significativa está na usinagem das peças por meio de equipamentos mecânicos e controlados por software, o que também diminui o desperdício de materiais. Cabe salientar que, independente do clima, os painéis de CLT e MLC continuam a ser produzidos, o que não acontece com as construções à base de concreto e aço.

As oportunidades de negócio para o setor da construção em madeira estão ligadas às construções de edifícios, sendo predominante estruturas com até 10 andares. Para suportar essa demanda algumas empresas já trabalham com painéis de CLT de dimensões 0,5 x 6 x 18 metros (Bourscheid, 2015; Kniess, 2015; Terezo, 2015; CBCS, 2014; CTE, 2020). Segundo (Oliveira, 2018; Shigue, 2018), diversos autores atribuem à população um preconceito quanto ao uso de madeira para construções, sendo a madeira tida como material antiquado e inadequado para construção industriais e urbanas, sendo vista apenas para construções de chalés. Além disso, alguns técnicos da área da construção civil desconhecem as características de resistência, durabilidade, resistência ao fogo, isolamento térmico e acústico da madeira e da madeira engenheirada. Atualmente algumas dificuldades estão ligadas à obtenção de matéria-prima, apesar da longa data da existência de povoamento no país, o manejo na maior parte das áreas ainda é feito de forma amadora o que inviabiliza toras de primeira qualidade. (Oliveira, 2018; Shigue, 2018).

Conforme Brito (2014), as principais causas de manifestações patológicas na madeira estão relacionadas à ventilação inadequada, ausência de proteção superficial, falhas na concepção, falta de limpeza e manutenção, além da ação de agentes biológicos degradadores, como fungos, bactérias e insetos xilófagos, tanto terrestres quanto marinhos. De acordo com Ino (1997), para assegurar a durabilidade de uma estrutura, é fundamental compreender a cadeia produtiva da madeira empregada, levando em conta a relevância de cada etapa do processo, desde a derrubada e extração da árvore até o transporte, armazenamento, desdobro, secagem, usinagem, pré-fabricação e aplicação.

2.1.3 A grande geração de resíduos na construção civil convencional

A construção civil tradicional é reconhecida como uma das maiores produtoras de resíduos sólidos globalmente. No Brasil, estima-se que 8% da força de trabalho esteja empregada nesse setor (CBIC, 2018). Isso ocorre devido à natureza complexa e diversificada das atividades de construção, que envolvem o uso de uma ampla variedade de materiais e processos. Com a diversidade de materiais de construção civil encontra-se uma vasta gama de materiais, incluindo concreto, aço, madeira, tijolos, vidro, isolamento e revestimentos (Pinto, 1999).

Os resíduos são gerados nas construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, incluídos os resultantes da preparação e escavação de terrenos para obras civis (Brasil, 2010). Para citar exemplos dentro do termo genérico resíduo de construção e demolição são

listados: a) solos; b) rochas; c) concreto, armado ou não; d) argamassas à base de cimento e cal; e) metais; f) madeira; g) plásticos; h) materiais betuminosos; i) vidro; j) gesso – pasta e placa; k) tintas e adesivos; l) restos de embalagens; m) resíduos de cerâmica vermelha, como tijolos e telhas; n) cerâmica branca, especialmente a de revestimento; o) cimento – amianto; p) produtos de limpeza de terrenos; dentre outros, em proporções variáveis de acordo com a origem. (Pinto, 1999)

De acordo com Pinto (1999), no Brasil o índice de geração de RCD (resíduos de construção e demolição) foi em média de 0,50t por habitante/ano ou 150kg/m² construído, sendo isso representado por 54% a 70% de resíduos sólidos urbanos, sendo que metade desses resíduos são classe A, resíduos estes que são reutilizáveis ou recicláveis como agregados, conforme dados do CONAMA 307 (Brasil, 2002). Considerando a massa unitária do RCD classe A de 1.200kg/m³ e prevendo uma população no Brasil de 209.200.000 em 2018 segundo (IBGE, 2017) são produzidos no país cerca de 402.307 t de RCD por dia, sendo que, se não houver reutilização e reciclagem, cerca de 87.166.667 de m³ de RCD são gerados.

As perdas de materiais durante o processo de construção aumentam o impacto ambiental pois consistem em um consumo de materiais superior ao necessário à produção ou manutenção de uma edificação. (Souza *et al.*, 1999). Segundo o IPEA (2012), no Brasil os resíduos da Construção Civil (RCC) representam de 50% a 70% do total de resíduos sólidos urbanos. De acordo com o IBÁ (s.d.), estima-se que entre 40 e 70% dos recursos naturais existentes são consumidos pelo setor de construção civil para construções em alvenaria, além disso só no Brasil a construção gera cerca de 25% do total de resíduos das indústrias e 60% do lixo das cidades.

A deposição irregular de RCD é um fenômeno internacional e no Brasil tem importantes efeitos na qualidade ambiental urbana e nos custos das prefeituras (Pinto, 1999). O aquecimento global, também conhecido como efeito estufa, é o acúmulo de gases capazes de absorver radiação infravermelha na atmosfera. (UNEP, 1999b). A produção do CO₂ e o crescimento da sua concentração na atmosfera é produto principalmente da queima de combustíveis fósseis e vem crescendo de forma exponencial, aliada com a redução da área de florestas. São gerados cerca de 7 bilhões de toneladas de CO₂ por ano em todo o mundo (CDIAC, 2000).

Conforme Pinto (1999), foi estimado que nas grandes cidades brasileiras as atividades de canteiro de obras são responsáveis por aproximadamente 50% dos resíduos de construção e demolição. Segundo Lipsmeier e Gunther (2002), essa visão de minimização da geração de resíduos deve estar presente tanto em projetos de construção, demolição, reparação e modernização, sendo que o conhecimento sobre a construção permite determinar sua composição e, dessa forma, saber quais tipos de resíduos são gerados, classificando e fazendo a gestão destes. Conforme Mattos (2010), entre os principais problemas do gerenciamento estão a deficiência do planejamento e no seu controle e acompanhamento, que estão entre as principais causas da baixa produtividade do setor da construção, de suas elevadas perdas e da baixa qualidade de seus produtos, o que acaba trazendo consequências desastrosas para uma obra e, por extensão, para empresas que a executam.

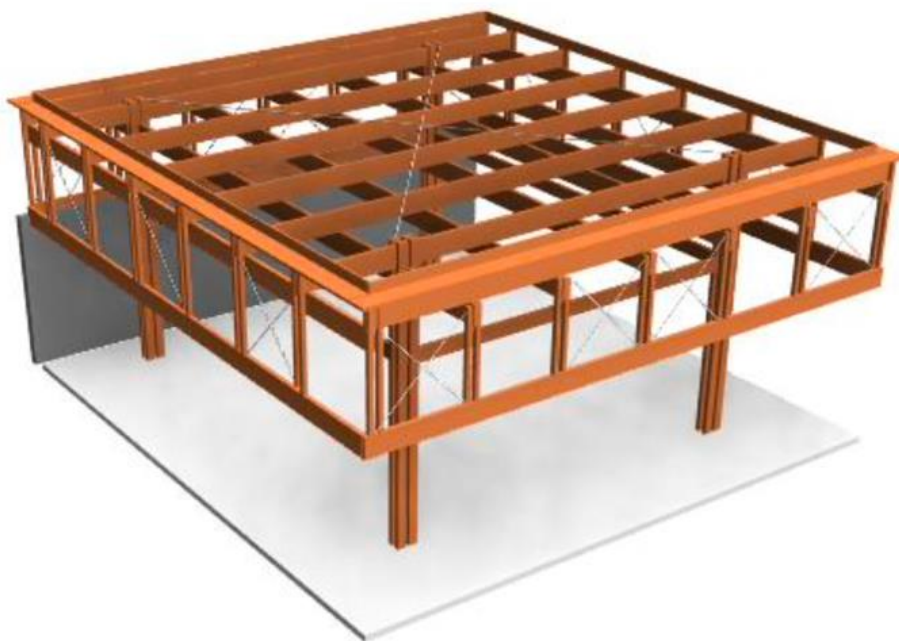
3. OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho foi mensurar a geração de resíduos em uma construção feita em madeira engenheirada, anexa à uma casa de alvenaria, em São José dos Campos/SP. Os objetivos específicos deste trabalho foram: acompanhar a execução obra, quantificar e classificar os resíduos gerados na obra em madeira e comparar com o que seria gerado em uma mesma construção em um sistema construtivo convencional de alvenaria.

4. METODOLOGIA

Inicialmente foi realizada uma pesquisa bibliográfica a respeito do gerenciamento de resíduos, das normativas (nacional e internacional) e um estudo acerca dos resíduos de madeira. Para a coleta de dados foi acompanhada uma construção de um anexo construído em madeira engenheirada em uma casa de alto padrão construída em alvenaria convencional em um condomínio fechado na cidade de São José dos Campos/SP. Foram contabilizadas todas as peças de madeira descartadas na montagem do anexo em madeira. As peças de madeira foram separadas por tamanhos similares e medidas, cada uma, para cálculo de volume de estrutura de madeira descartada.

Figura 2 – Maquete 3D da construção anexa



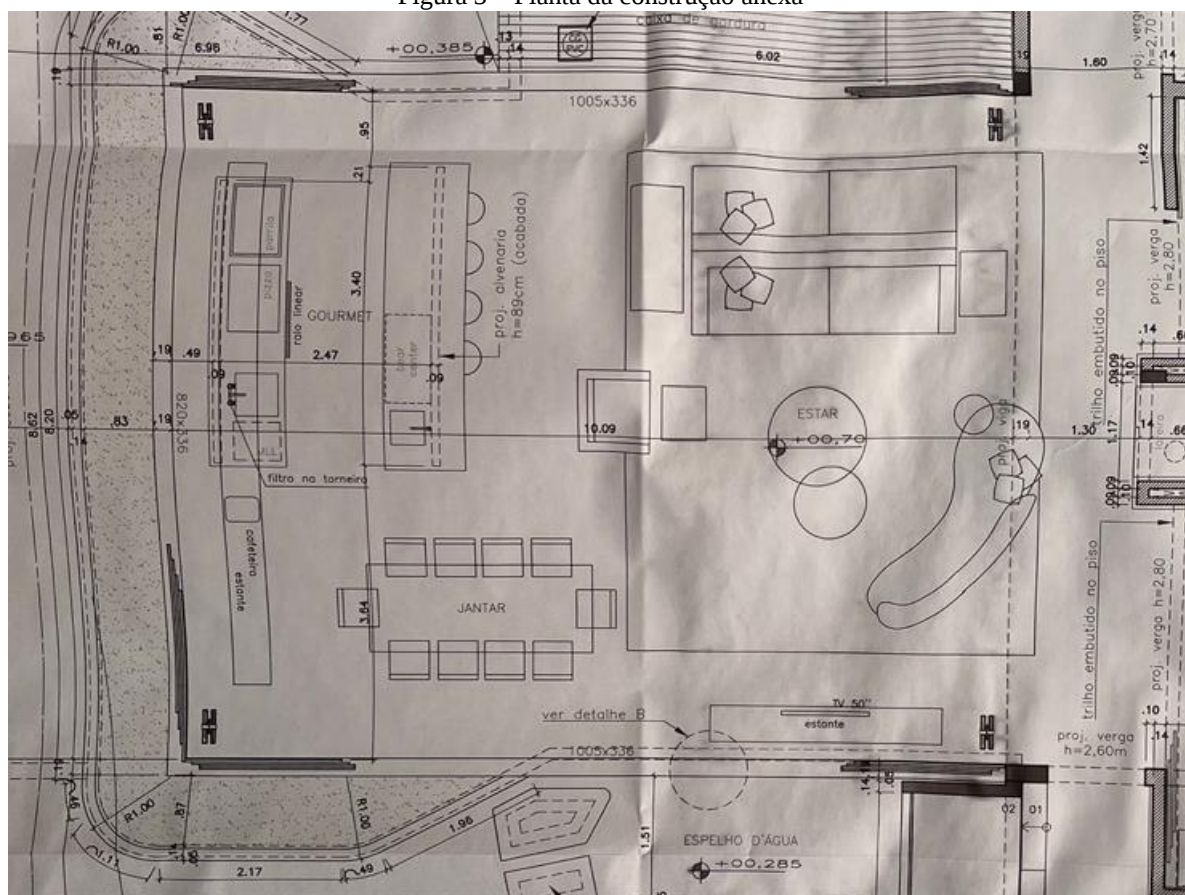
Fonte: Acervo particular BRA Rewood, 2023

O anexo em madeira, conforme Figura 2, é feito em MLC com madeira de eucalipto. Conta com uma área construída de 152 m^2 e uma estrutura de madeira de $9,80 \text{ m}^3$. Neste anexo será a área gourmet da casa.

5. RESULTADOS

A construção analisada faz parte de uma grande obra construída em alvenaria convencional, porém, a área de lazer da casa, onde será instalada uma área gourmet, foi projetada e construída em madeira engenheirada. Toda a área de lazer utiliza uma área construída de 152 metros quadrados, conforme a Figura 3 do layout. Toda a estrutura em MLC é fabricada pela BRA Rewood, localizada em Taboão da Serra/SP. Segundo a própria empresa, já é de conhecimento da fábrica que o aproveitamento de matéria prima é de 60%, sendo os 40% resíduos gerados na produção, tais como: retirada de nós da madeira, desgastes para cavilhas de encaixe e planeamento das peças.

Figura 3 – Planta da construção anexa



Fonte: Acervo particular Bra-Rewood, 2023

Na obra, foi acompanhada a montagem, realizada pela própria fabricante das estruturas, para o levantamento da quantidade de resíduos gerados, pois as peças saem da fábrica com uma folga superior no tamanho de cada peça. Desta forma, o montador faz o corte necessário para a instalação no local e para encaixes entre as peças.

Figura 4 – Peças geradas na montagem da estrutura



Fonte: Autores, 2023

Foram levantados todos os pedaços gerados na montagem, separados por semelhança de medidas, para a contabilização do volume. Na Figura 4 é possível observar os pedaços separados. Cada pedaço levantado foi contabilizado no Quadro 1, podendo-se observar que o total de resíduos gerados foi de $0,70\text{m}^3$, não totalizando um metro cúbico total.

Quadro 1 – Medidas de resíduos gerados

Medidas Geometria (m)			Quantidade	Volume unitário (m3)	Volume total (m3)
Largura	Comprimento	Altura			
0,15	0,2	0,1	18	0,003	0,054
0,1	0,2	0,1	6	0,002	0,012
0,1	0,2	0,05	12	0,001	0,012
0,1	0,2	0,03	3	0,0006	0,0018
0,15	0,2	0,035	1	0,00105	0,00105
0,1	0,12	0,04	2	0,00048	0,00096
0,1	0,38	0,07	4	0,00266	0,01064
0,1	0,45	0,04	4	0,0018	0,0072
0,15	0,45	0,08	2	0,0054	0,0108
0,1	0,4	0,03	2	0,0012	0,0024
0,2	0,38	0,03	3	0,00228	0,00684
0,18	0,5	0,15	2	0,0135	0,027
0,16	0,18	0,15	1	0,00432	0,00432
0,2	1,85	0,15	1	0,0555	0,0555
0,3	2	0,1	1	0,06	0,06
0,3	0,8	0,06	1	0,0144	0,0144
0,3	0,3	0,06	1	0,0054	0,0054
0,3	0,36	0,1	1	0,0108	0,0108
0,25	0,38	0,1	9	0,0095	0,0855

Medidas Geometria (m)			Quantidade	Volume unitário (m3)	Volume total (m3)
Largura	Comprimento	Altura			
0,2	0,3	0,06	1	0,0036	0,0036
0,15	0,2	0,03	3	0,0009	0,0027
0,1	0,3	0,06	3	0,0018	0,0054
0,1	0,3	0,08	3	0,0024	0,0072
0,1	0,38	0,05	2	0,0019	0,0038
0,2	0,46	0,16	2	0,01472	0,02944
0,2	0,3	0,1	6	0,006	0,036
0,1	0,4	0,08	9	0,0032	0,0288
0,2	0,4	0,1	10	0,008	0,08
0,1	0,3	0,08	4	0,0024	0,0096
0,13	0,2	0,1	2	0,0026	0,0052
0,1	0,2	0,08	29	0,0016	0,0464
0,08	0,1	0,06	12	0,00048	0,00576
0,1	0,1	0,07	9	0,0007	0,0063
0,1	0,15	0,07	5	0,00105	0,00525
0,16	0,25	0,1	6	0,004	0,024
0,1	0,18	0,03	20	0,00054	0,0108
0,1	0,4	0,06	1	0,0024	0,0024
0,1	0,2	0,1	1	0,002	0,002
0,1	0,15	0,08	1	0,0012	0,0012
0,09	0,1	0,05	1	0,00045	0,00045
0,17	0,2	0,1	1	0,0034	0,0034
Volume total					0,70231

Fonte: Autores.

Para quesito de comparação do levantamento de resíduos, considera-se que a construção anexa de madeira poderia ser feita em estrutura de concreto armado. Desta maneira, estima-se a quantidade de materiais conforme o Quadro 2 a seguir.

Quadro 2 – Estimativa de material para a estrutura

Material	Quantidade	Unidade
Armadura de aço	1996,8	KG
Tabuas caixaria	299,52	m2
Concreto	24,96	m3
Pregos caixaria	25	KG
Arame	15	KG

Fonte: Autores.

Já são conhecidos, atualmente, indicadores de perdas por material e sistemas construtivos, como já definido, por exemplo, inicialmente por Pinto (1989) e atualmente na pesquisa de Costa (2012). Sendo assim, para cálculos estimados das perdas para comparação, adotou-se: 5% para armadura de aço, 43% para madeiras, 2% para concreto, 100% para pregos e 20% para arames. No Quadro 3 é possível observar o cálculo estimado de perdas.

Conforme a Tabela 1, observa-se que a geração de resíduos foi menor que 1m³, enquanto observado na Tabela 3, a estimativa de produção de resíduos foi 4,5m³ para materiais

convencionais. Fica claro com esta comparação que uma estrutura de concreto armado, utilizada mais convencionalmente, gera maior quantidade de resíduos que o sistema construtivo industrializado de MLC.

Quadro 3 – Estimativa de perdas

Material	Quantidade (m3)	Perda (%)	Perdas (m3)
Armadura de aço	0,254	5	0,0127
Tabuas caixaria	8,98	43	3,8614
Concreto	24,96	2	0,4992
Pregos caixaria	0,125	100	0,125
Arame	0,075	20	0,015
Total	34,394	----->	4,5133

Fonte: Autores.

A construção anexa em madeira engenheirada conseguiu reduzir a geração de $3,81\text{m}^3$ de resíduos, considerando somente a estrutura dos pilares e da cobertura. Na comparação com estrutura de concreto foi considerada uma cobertura somente em laje, havendo ainda possibilidade do aumento de resíduos considerando ainda a inclusão de uma cobertura com telhas.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A grande quantidade de resíduos gerados na construção civil convencional não apenas contribui para problemas ambientais, como a degradação do solo e a poluição, mas também representa um desperdício significativo de recursos. No entanto, há esforços crescentes para promover práticas mais sustentáveis na construção, incluindo a redução, reutilização e reciclagem de resíduos, bem como o uso de materiais mais sustentáveis e a implementação de projetos de construção mais eficientes. Essas práticas visam minimizar o impacto ambiental da construção civil e torná-la mais responsável em termos de recursos. A utilização de madeira engenheirada na construção civil oferece diversas oportunidades para a redução significativa de resíduos quando comparada com a madeira maciça e outros materiais de construção convencionais. Isso ocorre devido às características específicas da madeira engenheirada e às práticas sustentáveis que podem ser empregadas em sua produção.

Por fim, conclui-se que a construção industrializada, como por exemplo a madeira engenheirada, estudada neste trabalho, pode gerar menos resíduo que construções convencionais. Observou-se que em uma simples construção anexa de uma casa, feita em MLC, conseguiu reduzir quase 4m^3 de resíduos. Desta forma, imagina-se o grande potencial de redução da geração de resíduos em toda uma casa.

7. AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Instituto de Arquitetura e Urbanismo da USP de São Carlos e a Capes pelo apoio à pesquisa desenvolvida. Agradecemos também a empresa Bra-Rewood que forneceu projetos e facilitou acesso na obra para a realização das análises.

REFERÊNCIAS

ABDI - AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL. **Manual da construção industrializada**. 2015. v. 1, p. 1-115.

ABRECON. Pesquisa Setorial 2020. São Paulo, 2020.

ABRECON. *Pesquisa Setorial 2017/2018*. São Paulo. 2018.

ÂNGULO, S. C. Produção de concretos com agregados reciclados. 1998. 86 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) - Departamento de Construção Civil, Universidade Estadual de Londrina, Londrina.

APA – THE ENGINEERED WOOD ASSOCIATION. **Structural composites lumber (SCL)**. 2019. Disponível em: <<https://www.apawood.org/structural-composite-lumber>>. Acesso em: 15 set. 2023. BONO, T. C. **Madeira Laminada Colada na Arquitetura: Sistematização de Obras executadas no Brasil**. Dissertação (mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1996.

BORTOLETTO Jr., G.; GARCIA, J.N. **Propriedades de resistência e rigidez à flexão estática de painéis OSB e compensados**. Revista Árvore, Viçosa, v. 28, n. 4, p. 563-570, 2004.

BOURSCHEID, C. B.; KNISS, D. D. C.; TEREZO, R. F. **Potencial da madeira laminada colada cruzada no Brasil**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA MADEIRA, 2., 2015, Belo Horizonte. **Anais [...]**. Belo Horizonte: SBCTEM, 2015.

BO XIA *et al.* **Perceived obstacles to multi-storey timber-frame construction: an Australian study**. Architectural Science Review, v 57:3, p. 169-176, 2014.

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Resolução Conama nº 307. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil**. 2002.

BRITO, L. D. **Patologia em estruturas de madeira: metodologia de inspeção e técnicas de reabilitação**. 2014. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas) - Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2014. Disponível em: http://www.set.eesc.usp.br/static/media/producao/2014DO_LeandroDussarratBrito.pdf

CABRAL, C. P.T. ET. AL. **Propriedades de chapas tipo osb, fabricadas com partículas acetiladas de madeira de *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus urophylla*, *Eucalyptus cloeziana* e *Pinus elliottii***. 2006. Monografia (Pós-graduação em Ciência Florestal). Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 2006.

CDIAC (Carbon Dioxide Information Analysis Center) **Trends online – A compendium of data on global change**. Disponível em: < www.cdiac.esd.ornl.gov/trends/trends.htm > Acessado em 20 de outubro de 2023.

CENTRO DE TECNOLOGIA DE EDIFICAÇÕES – CTE. **Madeira engenheirada:** você conhece essa nova tecnologia construtiva? 2020. Disponível em: <https://cte.com.br/blog/inovacao-tecnologia/madeira-engenheirada-voce-conhece-essa-nova-tecnologia-construtiva/>. Acesso em: 18 out. 2020.

CONSELHO BRASILEIRO DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL – CBCS. **Aspectos da Construção Sustentável no Brasil de Promoção de Políticas Públicas - Subsídios para a promoção da Construção Civil Sustentável.** 2014. Disponível em: <http://www.cbcs.org.br/website/aspectos-construcao-sustentavel/show.asp?ppgCode=DAE7FB57-D662-4F48-9CA6-1B3047C09318>. Acesso em: 7 out. 2020.

CORREIA, Emanuel André Soares. *Análise e Dimensionamento de Estruturas de Madeira.* 2009. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto - Portugal, 2009.

COSTA, Ricardo Vasconcelos Gomes da. *Taxa de geração de resíduos da construção civil em edificações na cidade de João Pessoa.* 2012. 68 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2012.

CRUZ. **Madeira Engenheirada: uma revisão bibliográfica.** Dissertação Universidade federal de Santa Catarina. Santa Catarina, 2022.

DIAS, A. **Dossiê da Madeira Laminada Colada Cruzada (CLT):** Produção e Desenvolvimento. Madeira e construção. 2018. Disponível em: <http://madeiraeconstrucao.com.br/dossie-da-madeira-laminada-colada-cruzada-clt-producao-e-desenvolvimento/>. Acesso em: 19 out. 2020.

ESPINDOLA, L. R. ***O wood frame na produção de habitação no Brasil.*** Tese (doutorado). Instituto de arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2017.

FRÜHWALD, Arno; WELLING, Johannes; SCHARAI-RAD, Mohammad. ***Comparison of wood products and major substitutes with respect to environmental and energy balances.*** Seminário Strategies for the Sound Use of Wood, Romênia, 2003.

GUSTAVSSON, L.; SATHRE, R. ***Variability in energy and carbon dioxide balances of wood and concrete building materials.*** Building and Environment, v.41, p. 940-951, 2006

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES (IBÁ). ***As árvores cultivadas e a madeira na construção civil.*** 2021. Disponível em: <https://www.iba.org/datafiles/e-mail-marketing/livre/info-madeira-construcao.pdf>. Acesso em: 07 out. 2023.

INO, A. Princípios básicos para garantir a durabilidade de uma construção em madeira. In: WORKSHOP DURABILIDADE DAS CONSTRUÇÕES, 1997. São Leopoldo, 1997. **Anais [...].** Rio Grande do Sul, 1997. p. 1-8.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – (IBGE). ***Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínuos - PNAD Contínua.*** 2016.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA (IPEA). **Diagnóstico dos Resíduos Sólidos da Construção Civil: Relatório de pesquisa.** 2012.

LIPSMEIER, K; GUNTHER, M. Institute for Waste Management and Contaminated Sites Treatment of Dresden University of Technology. Manual Europeu de Resíduos da Construção de Edifícios – Volume III – Anexos. Traduzidos por Said Jalali e Luís Pereira. Guimarães, Portugal: TecMinho/Universidade do Minho. 2002.

LOPES, S. C.; CARMO, M. E. R. do; SERRA, S. M. B. **Levantamento de soluções tecnológicas em madeira industrializada no Brasil.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GESTÃO E ECONOMIA DA CONSTRUÇÃO, 12., 2021, Maceió. Anais[...] Porto Alegre: ANTAC, 2021. p.1-8. Disponível em: <https://eventos.antac.org.br/index.php/sibragec/article/view/511>. Acesso em: 12 FEV. 2025.

MATTOS, A.D. Planejamento e controle de obras. São Paulo: PINI, 2010.

MENDES, Lourival Marin. ***Pinus spp. Na Produção de Painéis de Partículas Orientadas (OSB).*** 2001. 181 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2001.

MINISTRY OF FOREIGN AFFAIRS. The international promotion of wood **construction as a part of climate policy.** 2010. Disponível em: <<http://formin.finland.fi/public/download.aspx?ID=73389&GUID=%7B4A54694C-4244-4D67-8909-EDB5724153C6%7D>>. Acesso em: 13 set. 2023.

MURAKAMI, S. et. Al. Sustainable building and policy design. Tokyo: Institute of International Harmonization for Building and Housing, 2002.

OLIVEIRA, G. L. ***Cross Laminated Timber (CLT) no Brasil: processo construtivo e desempenho - Recomendações para o processo de projeto arquitetônico.*** 2018. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 2018.

PERSSON, P.; FLODÉN, O.; DANIELSSON, H.; PELOW, A.; ANDERSEN, L. V. ***Improved low-frequency performance of cross-laminated timber floor panels by informed material selection.*** Applied Acoustics, v. 179, p. 1-14, 2021.

PINTO, T. P. ***Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana.*** São Paulo. 189p. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. 1999.

PINTO, T.P. ***Perdas de materiais em processos construtivos tradicionais.*** São Carlos: Universidade Federal de São Carlos / Depto de Engenharia Civil, 1989

PIZZONI, C. P. ***Vedações verticais externas do sistema plataforma em madeira: medidas para manutenção.*** Orientador: Ângela do Valle. 2017. 169 p. Dissertação (Mestre em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017.

RIBEIRO, S. et al. Inventário dos resíduos da construção civil na região metropolitana de São Paulo. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE QUALIDADE AMBIENTAL, 6., 2008, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: ABES, 2008.

SHIGUE, E. K. ***Difusão da Construção em Madeira no Brasil: Agentes, ações e produtos.*** Dissertação (Mestrado – Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo) Instituto de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2018.

SOUZA, U. E. L; PALLARI; J. C.; AGOPYAN, V. ***O custo do desperdício de materiais nos canteiros de obras. Qualidade na construção.*** São Paulo: SINDUSCON, n°21 Ano III, 1999. P.64-67

TEREZO, F.T.; SZÜCS, C.; VALLE, A.; SAMPAIO, C. A. P.; STÜPP. ***Propriedades da madeira de paricá em diferentes idades para uso estrutural.*** II Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia da Madeira (CBCTEM), Belo Horizonte (MG) – 20-22 de setembro de 2015.

THINK WOOD. **Hail to the nail!** 2017. Disponível em: <<https://www.thinkwood.com/mass-timber/nlt>>. Acesso em: 15 set. 2023.

UNEP (United Nations Environment Programme) Climate Change – Information Sheets. Chatelaine, 1999b. 62p.

VILELA, R.; MASCIA, N. T. ***Avaliação de propriedades mecânicas da madeira de Pinus taeda provenientes de placas de cross laminated timber.*** Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 21, n. 4, p. 89-110, out./dez. 2021. ISSN 1678-8621 Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212021000400560> Acesso em: 10 jan. 2022.

WANG, Z.; GONG, M.; CHUI, Y. Mechanical properties of laminated strand lumber and hybrid cross laminated timber. ***Construction and Building Materials***, v. 101, p. 622-627, 2015.

YAMAMOTO, J. K. et al. Environmental impact reduction on the production of blended Portland Cement in Brazil. *Environmental Geosciences*, v.4 n°4, 1997. P.192-206