



**INSTITUTO LATINO-AMERICANO DE
TECNOLOGIA, INFRAESTRUTURA E
TERRITÓRIO (ILATIT)**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA CIVIL (PPG ECI)**

**FLUXO DE MADEIRA NA EXECUÇÃO DE CONSTRUÇÕES HABITACIONAIS EM
CONCRETO ARMADO MOLDADO NO LOCAL**

CÁSSIO GOMES DE OLIVEIRA

Foz do Iguaçu
2022



**INSTITUTO LATINO-AMERICANO DE
TECNOLOGIA, INFRAESTRUTURA E
TERRITÓRIO (ILATIT)**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA CIVIL (PPG ECI)**

**FLUXO DE MADEIRA NA EXECUÇÃO DE CONSTRUÇÕES HABITACIONAIS EM
CONCRETO ARMADO MOLDADO NO LOCAL**

CÁSSIO GOMES DE OLIVEIRA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal da Integração Latino-Americana, como requisito à obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Orientador(a): Prof.^a. Dra. Katia Regina Garcia Punhagui.

Foz do Iguaçu
2022

CÁSSIO GOMES DE OLIVEIRA

**FLUXO DE MADEIRA NA EXECUÇÃO DE CONSTRUÇÕES HABITACIONAIS EM
CONCRETO ARMADO MOLDADO NO LOCAL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal da Integração Latino-Americana, como requisito à obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

BANCA EXAMINADORA

Orientador: Prof.^aDra. Katia Regina Garcia Punhagui
UNILA

Prof.^a. Dra. Andrea Parisi Kern
UNISINOS

Prof. Dr. Sergio Cirelli Ângulo
USP

Prof. Dr. Cesar Winter de Mello
UNILA

Foz do Iguaçu, 06 de Setembro de 2022.

Catálogo elaborado pelo Setor de Tratamento da Informação
Catálogo de Publicação na Fonte. UNILA - BIBLIOTECA LATINO-AMERICANA - PTI

R882

Oliveira, Cássio Gomes de.

Fluxo de madeira na execução de construções habitacionais em concreto armado moldado no local / Cássio Gomes de Oliveira. - Foz do Iguaçu, 2022.

199 f.: il., color.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal da Integração Latino-Americana, Instituto Latino-Americano de Tecnologia, Infraestrutura e Território, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Foz do Iguaçu - PR, 2022.

Orientador: Prof^ª. Dra. Katia Regina Garcia Punhagui.

1. Madeira. 2. Concreto armado. 3. Habitações. 4. Geração de resíduos. 5. Fluxo material. 6. Construção Civil. I. Punhagui, Prof^ª. Dra. Katia Regina Garcia. II. Título.

CDU 691.11

AGRADECIMENTO

Com o fim deste ciclo acadêmico, gostaria de agradecer à minha orientadora Prof^ª. Dra. Katia Regina Garcia Punhagui, por todas as oportunidades de pesquisa confiadas a mim e por todo o apoio prestado para o desenvolvimento deste trabalho. Obrigado por me ajudar a ser um pesquisador, profissional e pessoa melhor.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) – código de financiamento 001, pela bolsa que financiou diretamente este trabalho e por possibilitar que tantas outras pesquisas sejam possíveis neste país.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ), pela bolsa n^o do processo 436997/2018-5.

Aos meus pais (Dorivan e Ezilene), irmã (Aline), e parceiro de vida (Adriel) por todo apoio financeiro e afetivo, me permitindo focar nos meus trabalhos acadêmicos, proporcionando tranquilidade e segurança nesse momento que exige tanta dedicação.

A todos os outros professores e colegas de mestrado, em especial a Prof^ª. Dra. Edna Possan, pelas orientações em trabalhos diversos, a Karine, Daiane, Sheila e Raquel, por serem excelentes colegas, compartilhando o aprendizado adquirido por cada um nesta etapa.

À Anna, Camila e Eduardo, por me auxiliarem nos primeiros passos para o desenvolvimento da minha pesquisa, compartilhando conhecimento sobre a madeira, ACV e tantos outros temas relevantes para o início da minha pesquisa.

À Lidiane e Fernanda, por sempre me auxiliarem na solução de dúvidas acadêmicas que surgiam ao longo do meu trabalho.

Aos empresários, arquitetos, engenheiros, mestres de obras, pedreiros e proprietários das obras dos estudos de casos desta pesquisa, por concederem o acesso a todas as informações necessárias para a consolidação dos estudos de casos presentes nesta dissertação.

Aos parceiros de pesquisa Luana, Erik e Emerson, por contribuírem tanto no desenvolvimento de pesquisas ao longo da minha jornada.

DIVULGAÇÃO DA PESQUISA

Alguns dos resultados diretos e indiretos desta dissertação foram:

Artigo para revistas científicas:

- Oliveira, C. G. MORAES, E. S.; ORLANDINI, L. C.; POSSAN, E.; PUNHAGUI, K. R. G: Caracterização do consumo de madeira para execução de sistema estrutura em concreto armado. **MIX Sustentável**, Florianópolis, v. 8, n. 4, p. 119 - 131. 2447-3073. 01 Set, 2022. DOI: <http://dx.doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2022.v8.n4.%p>

Artigo em congressos e eventos:

- Oliveira, C. G.; PINTO, E. F. P.; MORAES, E. S.; PUNHAGUI, K. R. G. Consumo de madeira para fins provisórios em obras habitacionais com estrutura de concreto armado feito in loco. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 19., 2022, Canela. Porto Alegre: **ANTAC, 2022.**

RESUMO

Mundialmente, a indústria da construção responde por 42% das 100 bilhões de toneladas de recursos consumidos anualmente, sendo a área de habitação correspondente a 92% deste fluxo em 2021. A madeira representa aproximadamente 10% (em toneladas) dos materiais consumidos pela construção de habitações e pode ser usada como base de sistemas construtivos industrializados ou de apoio à sistemas construtivos artesanais. No Brasil, a madeira é majoritariamente consumida em fins transitórios de apoio às construções em concreto armado moldado in loco – CAMIL – o que leva ao consumo de produtos de baixo valor agregado e curto ciclo de vida. Neste contexto, esta pesquisa objetiva analisar o fluxo dos produtos de madeira utilizados em fins temporários e permanentes em construções convencionais em CAMIL, com envoltória em alvenaria, de modo a quantificar os fluxos do biomaterial na fase de construção e identificar aplicações e as causas das variações dos indicadores de entrada, saída e incorporação em obra. Para tanto, a pesquisa contempla a caracterização das construções habitacionais no país e os aspectos do uso da madeira para sua execução por meio de uma revisão bibliográfica com análise qualitativa e quantitativa, a estimativa do fluxo dos produtos de madeira para fins temporários e permanentes em diferentes tipos construtivos habitacionais, a definição dos indicadores de entradas, saídas e incorporação dos produtos de madeira nas obras estudadas e a análise de aspectos do uso dos produtos de madeira para fins transitórios e permanentes nas edificações residenciais. Como resultados, observou-se que o principal tipo construtivo residencial no Brasil é o de casas, com o uso da madeira sólida em fins provisórios e permanentes, seguido dos prédios verticais de apartamentos, que usam esses produtos para fins apenas provisórios. Da literatura, identificou-se a escassez de informações sobre as proporções de cada produto de madeira utilizado nos canteiros, sendo possível apenas o uso das três classes de produtos para fins provisórios. Levando-se em consideração a importância do uso da madeira na construção, este trabalho busca contribuir para que o estudo deste material seja melhor explorado para que haja outras possibilidades de seu uso e reaproveitamento além do que já foi citado.

Palavras-chave: madeira; concreto armado; habitações; geração de resíduos; fluxo material; construção civil.

ABSTRACT

Worldwide, the construction industry accounts for 42% of the 100 billion tons of resources consumed annually, with the housing area corresponding to 92% of this flow in 2021. Wood represents approximately 10% (in tons) of the materials consumed by the construction of dwellings and can be used as a basis for industrialized building systems or to support artisanal building systems. In Brazil, wood is usually consumed for transitory purposes to support constructions in reinforced concrete cast in loco - CAMIL - which leads to the consumption of products with low added value and short life cycles. In this context, this research aims to analyze the flow of wood products used for temporary and permanent purposes in conventional constructions in CAMIL, with masonry envelope, to quantify the flows of biomaterial in the construction phase and identify applications and the causes of variations. of entry, exit and incorporation indicators in the work. Therefore, the research includes the characterization of housing constructions in the country and aspects of the use of wood for its execution through a bibliographic review with qualitative and quantitative analysis, the estimation of the flow of wood products for temporary and permanent purposes in different types of housing construction, the definition of indicators of inputs, outputs and incorporation of wood products in the works studied and the analysis of aspects of the use of wood products for transitory and permanent purposes in residential buildings. As a result, it was observed that the main residential construction type in Brazil is that of houses, with the use of solid wood for temporary and permanent purposes, followed by vertical apartment buildings, which use these products for temporary works only. From the literature, it was identified the scarcity of information on the proportions of each wood product used in the construction sites, is possible only with the use of the three classes of products for provisional purposes. Considering the importance of the use of wood in construction, this work seeks to contribute to the study of this material to be better explored so that there are other possibilities for its use and reuse in addition to what has already been mentioned.

Key words: wood; reinforced concrete; dwellings; waste generation; material flow; civil construction.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Estratégia para obtenção dos dados da literatura	26
Figura 2 – Exemplo de casa térrea não geminada (denominado C)	30
Figura 3 – Exemplo de casa térrea geminada (denominado C*)	31
Figura 4 – Exemplo de sobrado não geminado (denominado “S”)	32
Figura 5 – Exemplo de sobrado geminado (denominado S*)	33
Figura 6 – Exemplo de apartamento em edifício vertical (denominado AP)	34
Figura 7 – Sistemas correntes de alvenaria: a) alvenaria em blocos cerâmicos; b) alvenaria em blocos de concreto	41
Figura 8 – Elementos transitórios de uso corrente: a) fôrmas vigas de cobertura; b) caixaria de pilares com enrijecedores; c) fôrmas de laje; d) andaimes; e) sistema de escoras; f) carpintaria de baldrame e einrijecedores; g) tapumes OSB; h) locação de obra	49
Figura 9 – Painéis de madeira: a) chapas OSB; b) compensados plastificados; c) compensados resinados de cola branca	50
Figura 10 – Estratégia para obtenção dos dados primários e secundários	65
Figura 11 – Detalhamento da Revisão Sistemática	66
Figura 12 – Sistema de enrijecedores: a) ripas utilizadas como enrijecedores de vigas; b) sobras de recortes de madeira usadas como enrijecedores de vigas	101
Figura 13 – Madeira usada de modo provisório – permanente (18C): a) uso provisório dos caibros de cambará como escora; b) aplicação dos caibros de cambara, que inicialmente foram usados como escoras, em estrutura permanente de cobertura	102
Figura 14 – Compensados plastificados: a) aplicação em pilares robustos e de vãos livres de 9,6 metros; b) substituição de compensados plastificados por elementos de madeira serrada	105
Figura 15 – Uso de OSB: a) uso do material em tapume e depósito (20S); b) painéis usados na estrutura de depósito, área de vivência e tapumes (18C); c) uso exclusivo em tapumes (6S)	106
Figura 16 – Ausência ou substituição de elementos de madeira em canteiro: a) ausência de estruturas provisórias de canteiro e tapumes; b) muros nas extremidades do terreno; c) Telhas metálicas usadas como tapumes, cobertura de área de banheiro e uso de container	107

Figura 17 – Sistema de escoramento na obra 7C: a) escoras de eucalipto de 4,5 m; b) escoras ajustadas na altura	108
Figura 18 – Sistema de escora: a) vigas de madeira serrada utilizadas para escora de beirais (14C); b) barras metálicas usadas como escora de vigas e lajes em elementos metálicos (6S).....	109
Figura 19 – Práticas de diminuição da vida útil das toras: a) armazenamento do material em calcadas não protegidas (21C); escoras danificadas após o uso (12C)	111
Figura 20 – Madeira serrada na obra 12C: a) material sem desmoldante; b) peças quebradas e danificadas pela ação da umidade	113
Figura 21 – Perdas de madeira serrada: a) material armazenado em local descoberto (6S); madeira deteriorada após uso b); b) peças com extremidades irregulares (18C)...	115
Figura 22 – Resíduos de madeira: a) material misturado a outros resíduos sólidos (10S); b) material misturado ao solo (20S).....	116
Figura 23 – Painéis de madeira: a) resíduos de painéis plastificados de madeira; b) contato direto do material com solo, exposto a intempéries; c) material em estado avançado de deterioração após o uso devido a ação da umidade	117

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Distribuição do estoque das habitações brasileiras no tempo conforme o tipo de domicílio.....	29
Gráfico 2 – Distribuição do estoque de habitações brasileiras no tempo conforme os materiais de parede	35
Gráfico 3 – Distribuição do estoque de habitações brasileiras no tempo conforme os materiais de piso.....	37
Gráfico 4 – Distribuição do estoque de habitações brasileiras no tempo conforme os materiais de cobertura	39
Gráfico 5 – Principais materiais de parede e cobertura dos domicílios brasileiros	40
Gráfico 6 – Fluxo de produtos de madeira em metro cúbico (m ³) para o ano de 2020 (Brasil).....	43
Gráfico 7 – Fluxo dos produtos madeireiros em metros cúbicos (m ³) em 2020 (Brasil)..	46
Gráfico 8 – Atividades econômicas da indústria da madeira em 2019.....	47
Gráfico 9 – Casos estudados conforme o tipo e a área construída.....	89
Gráfico 10 – Fluxos de madeira nos diferentes casos em estudo.....	98
Gráfico 11 – Perfil do uso da madeira nas obras analisadas com estrutura de telhado em madeira.....	103
Gráfico 12 – Comparação do consumo de madeira serrada por grupos com telhas diferentes	104
Gráfico 13 – Comparação da intensidade do uso provisório de madeira em canteiros que usam e que não usam escoras de toras de Eucalipto	109
Gráfico 14 – Resumo dos fluxos de madeira da entrada a saídas dos estudos de casos (m ³ /m ²).....	119

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Detalhamento da <i>string</i> geral utilizado nas buscas	69
Quadro 2 – Filtros automáticos das bases de dados.....	70
Quadro 3 – Critérios de elegibilidade para leitura do texto completo	71
Quadro 4 – Avaliação crítica dos estudos	72
Quadro 5 – Protocolo de pesquisa - perguntas dos estudos de casos	74

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Peso das telhas de uso corrente na superfície da estrutura de telhado	38
Tabela 2 – Principais características físicas dos estudos de casos identificados na literatura	83
Tabela 3 – Consumo e geração de resíduos de madeira de uso provisório dos casos da literatura científica.....	84
Tabela 4 – Principais características do uso de madeira para fins permanente e transitórios identificados na literatura	86
Tabela 5 – Características de projeto das construções estudadas e aplicações da madeira	91
Tabela 6 – Descrições gerais de gestão e localização dos casos estudados	93
Tabela 7 – Indicadores dos fluxos de materiais de cada canteiro de obra	96
Tabela 8 – Produtos de madeira serrada identificados nos casos estudados	100

SUMÁRIO

BANCA EXAMINADORA	4
AGRADECIMENTO	6
DIVULGAÇÃO DA PESQUISA	7
ABSTRACT	9
LISTA DE ILUSTRAÇÕES	10
LISTA DE GRÁFICOS	12
LISTA DE QUADROS	13
LISTA DE TABELAS	13
SUMÁRIO	15
1 INTRODUÇÃO	17
1.1 OBJETIVO GERAL.....	20
1.3 MÉTODO GERAL DA PESQUISA.....	20
1.4 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO.....	21
1.5 REFERÊNCIAS (CAPÍTULO 1).....	22
2 A ALVENARIA COM ESTRUTURA EM CONCRETO ARMADO E O USO DA MADEIRA PARA SUA EXECUÇÃO	25
2.1 CONTEÚDO E OBJETIVO.....	25
2.2 MÉTODO.....	25
2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	29
2.3.1 Caracterização das Edificações Residenciais no Brasil.....	29
2.3.2 A Alvenaria com Estrutura em Concreto Armado.....	40
2.3.3 O Uso da Madeira para Construção em Alvenaria com Estrutura de Concreto Moldado no Local.....	42
2.3.3.1 Fluxos de produtos de madeira no Brasil.....	42
2.3.3.2 Produtos de madeira de uso corrente nas construções residenciais brasileiras.....	48
2.4 CONSIDERAÇÕES DO CAPÍTULO.....	52
2.5 REFERÊNCIAS (CAPÍTULO 2).....	54
3 FLUXO DE MADEIRA EM CONSTRUÇÕES HABITACIONAIS DE ALVENARIA COM ESTRUTURA EM CONCRETO ARMADO MOLDADO <i>IN LOCO</i>	64
3.1 CONTEÚDO E OBJETIVO.....	64
3.2 MÉTODO.....	64
3.2.1 Análise Baseada em Dados Secundários – Revisão Sistemática da Literatura.....	65
3.2.2 Análise Baseada em Dados Primários – Estudo de Casos Múltiplos.....	73
3.2.2.1 Caracterização dos casos.....	77
3.2.2.2 Fluxo material.....	78
3.2.2.3 Estatística descritiva dos fluxos.....	82
3.3 RESULTADOS.....	82
3.3.1 Dados Secundários (Metanálise).....	82
3.3.2 Dados Primários (Estudo de Casos).....	89
3.3.2.1 Descrição dos Casos.....	89
3.3.2.2 Entradas.....	99
Madeira serrada	100

Painéis de madeira	105
Toras de eucalipto	108
3.3.2.3 <i>Saídas</i>	110
Reuso	111
TORAS DE EUCALIPTO	111
MADEIRA SERRADA	112
Resíduos	114
MADEIRA SERRADA BRUTA	114
PAINÉIS DE MADEIRA	117
TORAS DE EUCALIPTO	117
Resumo dos fluxos materiais levantados nos casos	119
3.4 CONSIDERAÇÕES DO CAPÍTULO	120
3.5 REFERÊNCIAS (CAPÍTULO 3)	124
4 CONSIDERAÇÕES FINAIS DA PESQUISA	127
5 LIMITAÇÕES DA PESQUISA E FUTUROS TRABALHOS	129
6 APÊNDICES	131
APÊNDICE A – ARTIGOS E MOTIVOS DE INCLUSÃO/EXCLUSÃO NA METANÁLISE	131
REFERÊNCIAS (APÊNDICE A)	136
APÊNDICE B – ROTEIRO DE ENTREVISTA.....	144
APÊNDICE C – PROTOCOLO DE COLETA DE DADOS.....	149
APÊNDICE D – CARTA DE APRESENTAÇÃO DA PESQUISA.....	153
APÊNDICE E – MÉTODO PARA ELABORAÇÃO DO GRÁFICO 7	155
APÊNDICE F – PROJETOS TÉCNICOS DOS ESTUDOS DE CASOS (DADOS PRIMÁRIOS)	159

1 INTRODUÇÃO

Mundialmente a indústria da construção é a principal responsável pelo consumo de materiais pela humanidade, representando aproximadamente 41,7% dos 100,6 bilhões de toneladas de recursos demandados anualmente, em aplicações como habitações, escritórios, estradas e outras infraestruturas. Destes setores, a construção de habitações representa a maior parcela, consumindo 38,8 bilhões de toneladas (92,4%) de todo material usado pela indústria da construção em 2021, o que revela sua relevância nos estudos sobre uso de material para construção (CIRCLE ECONOMY, 2022a; CIRCLE ECONOMY, 2022b). Este setor é responsável pela maior parte dos fluxos de produtos de madeira, representando aproximadamente 10% (em toneladas) dos materiais para construção de residências (CIRCLE ECONOMY, 2022b).

O uso de materiais de construção representa o maior indicador em tonelada por dólar (USD) produzido, indicando um baixo valor agregado relativo às atividades de processamento de materiais para construção. A expectativa é de que essa relação continue sendo a maior de todas as observadas até 2060, apesar de um aumento da produção dos materiais da ordem de 2,3 vezes e de uma melhora nessa relação, quando comparado ao consumo visto em 2011 – de 3,4 para 2,4 toneladas/USD (OECD, 2019).

Sistemas construtivos industrializados fazem melhor uso do recurso material e possibilitam incorporação de maior valor agregado. Reduz a produção de resíduos em canteiro e aumenta produtividade (AUTTORI *et al.*, 2022). Enquanto países¹ com sistemas construtivos mais artesanais mantem o padrão de baixa produtividade, países² com sistemas mais complexos e industrializados possuem maior produtividade, com melhor uso dos recursos materiais (BARBOSA *et al.*, 2017).

No Brasil, a indústria da construção passou por uma queda em sua produtividade³ nas últimas décadas devido a: alta volatilidade na demanda, dificultando investimento em tecnologias e levando a opção por serviços mais intensivos em mão de obra (BARBOSA *et al.*, 2017); escassez de capital em relação a oferta de mão de obra o que resultou em excesso de relações de trabalho transitórias (BARBOSA *et al.*, 2017; MENEZES FILHO; CAMPOS; KOMATSU, 2015); falta de incentivos na redução dos custos

¹ Brasil e Malásia.

² Canadá, Austrália, Estados Unidos da América (EUA), Suécia, Dinamarca.

³ Relativamente baixa quando comparado a de países desenvolvidos como Estados Unidos da América, Canadá e Alemanha.

e tempo de projeto; intervenções governamentais; carga tributária que penaliza o uso de materiais mais eficientes; informalidade alta no setor; escassez de laboratórios para testar materiais (BARBOSA *et al.*, 2017); aumentos salariais que não superam a produtividade (MENEZES FILHO; CAMPOS; KOMATSU, 2015).

Alguns países, como China, Malásia, Bangladesh, Líbano e Brasil, possuem o sistema construtivo convencional composto por envoltório em blocos, como os de argila cozida ou de concreto e sistema estrutural em concreto armado, moldado *in loco* (BAKSHAN *et al.*, 2015; HAO *et al.* 2021; ISLAM *et al.*, 2019; KERN *et al.*, 2018; MAH *et al.*, 2016). Neste sistema, o consumo de produtos de madeira se restringe ao beneficiamento do recurso material, com reduzido valor agregado (madeira serrada e toras), sendo estes aplicados em uso provisório e com curto ciclo de vida (JAILON; POON; CHIANG, 2009, KERN *et al.*, 2018)

Outras regiões, como a América do Norte, Escandinávia, e Japão utilizam o biomaterial como base para a maior parte das residências unifamiliares, utilizando a tecnologia construtiva *Wood Frame*, com estruturas de envoltória em madeira (FAO, 2022) ou com o emergir das produções do *Cross Laminated Timber (CLT)* (LARASATIE *et al.*, 2020). Estes sistemas facilitam a modularidade e industrialização da construção, que pode minimizar a produção de resíduos em canteiro devido ao incentivar à redução da intensidade das atividades *in loco*, (HURMEKOSKI, 2017; WIMMERS, 2017) com melhor eficiência no uso o recurso, maior valor agregado (BRANDNER *et al.*, 2015).

O Brasil é o país de maior produtividade⁴ de florestas plantadas no mundo (IBÁ e IBRE/FGV 2020), favorecida pelo clima e investimentos em tecnologias agrícolas (HOELFICH, 2006; IBÁ, 2020). Mesmo assim, a indústria da construção no país consome⁵ poucos produtos de madeira por habitante quando comparado a países⁶ com menores produtividades⁷, que possuem predominância de sistemas construtivos a base de madeira (EUA, Canadá e Países Escandinavo) (IBÁ e POYRY, 2019).

A madeira, ainda que possa ser empregue como material de uso permanente em sistemas de paredes e assoalhos, é utilizada no sistema construtivo convencional nacional de prédios, em funções transitórias (formas, andaimes, estruturas

⁴ 30,1 a 36 m³/ha por ano (em 2018) consideradas as produções de Pinus e Eucalipto, respectivamente (IBÁ e POYRY, 2019).

⁵ A indústria da construção consumiu 0,041 m³ por pessoa em 2019 (Madeira serrada, compensada, laminada e OSB) (FAO, 2021a).

⁶ A indústria da construção consumiu 0,414 (EUA), 0,661 (Canadá), 0,581 (Noruega), 0,628 (Dinamarca), 0,704 (Suécia) m³ por pessoa em 2019 (Madeira serrada, compensada, laminada e OSB) (FAO, 2021a).

⁷ 2 a 14 m³/há ano (em 2018) (IBÁ e POYRY, 2019).

provisórias etc.) e se torna um problema, pois é convertido em resíduo em curto ciclo de vida (KERN *et al.* 2018) e de casas⁸, em funções permanentes (cobertura, forros e esquadrias) e provisórios (fôrmas e andaimes), com uso de produtos com baixo valor agregado. A melhor aplicação da madeira em fins de longo prazo com maior valor agregado poderia contribuir para diminuição do déficit habitacional, que em 2019 foi de 5,9 milhões de unidades (FJP, 2020).

Estudos internacionais estimam que 80 a 100% de todo o material madeireiro consumido de modo provisório por edificações residenciais em alvenaria com estrutura em concreto armado convertem-se em resíduos ao final da obra (LI *et al.*, 2013; BAKSHAN *et al.*, 2015), com o material não residual podendo ser reusado em outras canteiros em fins provisórios.

Estudos brasileiros com simulações de casos do tipo casa estimaram que o consumo de madeira de uso provisório variou de 0,03 a 0,19 m³/m² (KOBAYASHI, 2019)⁹, e de 0,04 a 0,07 m³/m² (MORAES; ROVARIS; PUNHAGUI, 2018)¹⁰. Outro estudo, através de estudos de casos estimou 0,02 a 0,11 m³/m² no consumo do material, com o menor indicador representando o único caso com repetição de *layout*, facilitando o reuso do material (MORAES e PUNHAGUI, 2021)¹¹.

Para edifícios verticais no Brasil, alguns autores estimaram consumo do material, que variou 0,056 a 0,098 m³/m², com 100% se transformando em resíduo ao final da obra (BORJA *et al.*, 2018) ou geração de resíduo de madeira de uso provisório, com indicadores variando de 0,002 a 0,050 m³/m² (KERN *et al.*, 2018) e 0,005 a 0,054 m³/m² (ÂNGULO *et al.*, 2015). As diferenças dos indicadores são explicadas por variações no número de pavimentos acima e abaixo do nível do solo, volume de concreto, comprimento de tapumes, reuso de jogos de fôrmas (KERN *et al.*, 2018) e falta de controle no armazenamento do material, uso de elementos de proteção provisórios das estruturas, substituição de elementos em concreto armado por elementos pré-fabricados, substituição de escoramento em madeira por metálicos (ÂNGULO *et al.*, 2015).

Ainda que se saiba da necessidade do uso da madeira para construção em alvenaria com estrutura em concreto moldado *in loco*, indicadores nacionais de referência

⁸ Estudo estima consumo de 48% em sistemas de cobertura, 28% em sistemas de formas e andaimes e 11% em sistemas de forros, esquadrias etc. (SOBRAL, 2002).

⁹ Levantamento de 30 projetos residências de até 2 pavimentos, com área construída que variava de 102 a 1490 m².

¹⁰ 50 plantas de residências térreas de interesse social de 21 a 110 m².

¹¹ 16 obras térreas que variam de 63,3 a 187,2 m².

de consumo do material por metro quadrado (m²) de construção residencial unifamiliar são inexistentes. Com isto, avaliar impactos ambientais do uso transitório da madeira para a manutenção e incremento do estoque habitacional em alvenaria com estrutura em concreto armado torna-se difícil e impreciso; mas relevante, uma vez que aproximadamente 95% das unidades habitacionais no país são construídas com este sistema construtivo (IBGE/PNAD, 2015). Isto demanda um volume considerável de madeira que em pouco tempo torna-se resíduo, fazendo com que recursos financeiros, humanos e materiais sejam empregados de forma ineficiente.

1.1 OBJETIVO GERAL

Analisar o fluxo dos produtos de madeira utilizados em fins temporários e permanentes em construções convencionais em concreto armado moldado in loco (CAMIL) com envoltória em alvenaria.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos desta pesquisa são:

- a) Caracterizar as construções residenciais no país, a técnica construtiva em alvenaria convencional com estrutura de concreto armado executada em canteiro de obra e os aspectos do uso da madeira para sua execução;
- b) Estimar o fluxo dos produtos de madeira (madeira serrada bruta, painéis de madeira e toras) para fins temporários e permanentes em diferentes tipos residenciais construídas em alvenaria convencional com estrutura de concreto armado moldada no local;
- c) Definir indicadores de fluxo de massa que representem o uso da madeira em obra;
- d) Analisar as causas das variações dos indicadores que representam o uso da madeira nos canteiros estudados de modo a identificar oportunidades para melhoramento na eficiência do uso do material biológico.

1.3 MÉTODO GERAL DA PESQUISA

O método geral contempla a combinação dos métodos apresentados em cada capítulo desta pesquisa. Inicialmente buscou-se entender como se caracteriza a

alvenaria convencional com estrutura em concreto armado no Brasil, identificando o uso da madeira para fins provisórios e permanentes na execução da mesma (Capítulo 2). A partir deste conhecimento diagnosticou-se o fluxo de madeira de baixo valor agregado (madeira serrada, toras e painéis de madeira) em obras residenciais e mistas, x entradas e saídas destes produtos dentro do canteiro de obra (Capítulo 3).

1.4 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A presente dissertação é dividida em 4 capítulos, organizados em formato de artigo, de modo que:

- O capítulo 1 introduz o tema da dissertação, descrevendo o objetivo geral e os objetivos específicos que serão perseguidos para obter-se os resultados esperados da pesquisa;
 - O capítulo 2 apresenta uma caracterização da construção em alvenaria com estrutura em concreto armado, identificando características do uso da madeira para execução deste sistema construtivo;
 - O capítulo 3 estima o fluxo de madeira de uso provisório e permanente com dados da literatura e de casos múltiplos, quantificando indicadores de consumo e de geração de resíduos deste material e discutindo causas das variações dos indicadores.
- O capítulo 4 apresenta uma conclusão da dissertação, de modo a apresentar um resumo das conclusões dos capítulos 2 e 3.

1.5 REFERÊNCIAS (CAPÍTULO 1)

ÂNGULO, Sérgio Cirelli; CARELLI, Élcio; QUATTRONE, Marco; JOHN, Vanderley M.; MOTTA, Rosângela; BOSCOV, Maria Eugênia; SILVA, Raphael Balduco; PANIGUEL, Ricardo L. Castro. Parte 2: Reúso e reciclagem de resíduos de construção em canteiro de obras. In: *Gestão ambiental de resíduos da construção civil: avanços institucionais e melhorias técnicas*. SindusCon-SP, São Paulo, p. 74 – 144, 2015.

ATTOURI, Emna; LAFHAJ, Zoubeir; DUCOULOMBIER, Laure; LINÉATTE, Bruno. The current use of industrialized construction techniques in France: benefits, limits and future expectations. *Cleaner Engineering and Technology*, [S.L.], v. 7, p. 100436, abr. 2022. Elsevier BV. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.clet.2022.100436>.

BAKSHAN, A.; SROUR, I.; CHEHAB, G.; EL-FADEL, M. A field-based methodology for estimating waste generation rates at various stages of construction projects. *Resources, Conservation and Recycling*, Ann Arbor, v. 100, p. 70-80, Jul. 2015. Elsevier BV. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2015.04.002>.

BARBOSA, Flipe; WOETZEL, Jonathan; MISCHKE, Jan; RIBEIRINHO, Maria Joao; MUKUND, Sridhar; PARSONS, Matthew; BERTRAM, Nick; BROWN, Stephanie. Reinventing construction: a route to higher productivity. 155 p. MCKinsey&Company. Feb. 2017. Disponível em: <https://www.mckinsey.com/business-functions/operations/our-insights/reinventing-construction-through-a-productivity-revolution>. Acesso em: 6 Jul. 2022.

BORJA, L. C.; CÉSAR, S.; CUNHA, R.; KIPERSTOK, A. A quantitative method for prediction of environmental aspects in construction sites of residential buildings. *Sustainability*, Basel, v. 10, n. 1870, 4 Jun. 2018. MDPI AG. DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/su10061870>.

BRANDNER, R.; FLATSCHER, G.; RINGHOFER, A.; SCHICKHOFER, G.; THIEL, A. Cross laminated timber (CLT): overview and development. *European Journal Of Wood And Wood Products*, [S.L.], v. 74, n. 3, p. 331-351, 19 jan. 2016. Springer Science and Business Media LLC. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s00107-015-0999-5>.

CIRCLE ECONOMY. Building a circular construction sector is hard, but it is happening. Disponível em: <https://www.circle-economy.com/resources/building-a-circular-construction-sector-is-hard-but-it-is-happening>. Acesso em: 2 Ago. 2022.

CIRCLE ECONOMY. The Circularity Gap Report 2022. 1-64 p, 2022. Amsterdam: Circle Economy. Disponível em: <https://www.circularity-gap.world>. Acesso em: 6 Jul. 2022.

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). *FAO Yearbook of Forest Products*. 436 p. n. 73. Roma, 2021a. DOI: <https://doi.org/10.4060/cb3795m>.

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). *Forest products in the global bioeconomy: enabling substitution by wood-based products and contributing to the Sustainable Development Goals*. Rome, FAO. DOI: <https://doi.org/10.4060/cb7274en>.

FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO (FJP). *Déficit habitacional no Brasil – 2016-2019 / Fundação João Pinheiro*. – Belo Horizonte: FJP, 2021. 169 p. Disponível em: http://novosite.fjp.mg.gov.br/wp-content/uploads/2020/12/04.03_Relatorio-Deficit-Habitacional-no-Brasil-2016-2019-v1.0_compressed.pdf. Acesso em: 6 Jul. 2021.

HAO, J.; CHEN, Z.; ZHANG, Z.; LOEHLEIN, G. Quantifying construction waste reduction through the application of prefabrication: a case study in Anhui, China. *Environmental Science Pollution Research*, Heidelberg, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-020-09026-2>.

HOEFLICH, V. A. Desenvolvimento florestal sustentável: requerimentos de uma sociedade [recurso eletrônico]/ Vitor Afonso Hoeflich. Dados eletrônicos. Colombo: Embrapa Florestal, 2006. Disponível em: Disponível em <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPF-2009-09/41570/1/doc138.pdf>. Acesso em: 6 Jul. 2022.

HURMEKOSKI, Elias. How can wood construction reduce environmental degradation?. European Forest Institute. 12 p, 2017. Disponível em: <https://efi.int/publications-bank/how-can-wood-construction-reduce-environmental-degradation>. Acesso em: 11 Jul. 2022.

Indústria Brasileira da Árvore (IBÁ) e PÖYRY Consultoria em Gestão e Negócios Ltda. RELATÓRIO 2019. Brasília: IBÁ, 2019. 80 p. Tradução de: Tracy Smith Miyake. Disponível em: <https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/iba-relatorioanual2019.pdf>. Acesso em: 6 Jul. 2022.

Industria Brasileira da Árvore (IBÁ), Instituto Brasileiro de Economia (IBRE)/Fundação Getulio Vargas (FGV). Relatório 2020. Brasília: IBÁ, 2020. 124 p. Tradução de: Tracy Smith Miyake. Disponível em: <https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/relatorio-iba-2020.pdf>. Acesso em: 6 Jul. 2022.

Instituto Brasileiro de Geografia Estatística (IBGE). Pesquisa nacional por amostra de domicílios (PNAD): síntese de indicadores 2015 / IBGE, Coordenação de Trabalho e Rendimento. - Rio de Janeiro : IBGE, 2016. 108p. ISBN 978-85-240-4398-7. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv98887.pdf>. Acesso em 6 Jul. 2022.

ISLAM, R.; NAZIFA, T. H.; YUNIARTO, A.; UDDIN, A.s.M. S.; SALMIATI, S.; SHAHID, S. An empirical study of construction and demolition waste generation and implication of recycling. *Waste Management*, Oxford, v. 95, p. 10-21, jul. 2019. Elsevier BV. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.05.049>.

JAILLON, L.; POON, C.s.; CHIANG, Y.H. Quantifying the waste reduction potential of using prefabrication in building construction in Hong Kong. *Waste Management*, Oxford, v. 29, n. 1, p. 309-320, jan. 2009. Elsevier BV. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2008.02.015>.

KERN, A. P.; AMOR, L. V.; ANGULO, S. C.; MONTELONGO, A. Factors influencing temporary wood waste generation in high-rise building construction. *Waste Management*, Oxford, v. 78, p. 446-455, Ago. 2018. Elsevier BV. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.05.057>.

KOBAYASHI JÚNIOR, Y. M. Estudo comparativo sobre o consumo de madeira na construção de edificações convencionais e de alvenaria estrutural. 2019. 46 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Tecnologias Limpas, Unicesumar, Maringá, Paraná, 2019. Disponível em: <http://rdu.unicesumar.edu.br/bitstream/123456789/5991/1/YUTAKA%20MARIO%20KOBAYASHI%20J%c3%9aNIOR.pdf>. Acesso em: 6 Jul. 2022.

LARASATIE, Pipiet; ALBEE, Raquel; MUSZYŃSKI, Lech; GUERRERO, Jose Erlin Martinez; HANSEN, Eric. GLOBAL CLT INDUSTRY SURVEY: the 2020 updates. In: WORLD

CONFERENCE ON TIMBER ENGINEERING, 2020, Santiago. Conference Paper. Santiago: Wcte, 2020. 8 p. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/347507727>. Acesso em: 11 jul. 2022.

LI, J.; DING, Z.; MI, X.; WANG, J. A model for estimating construction waste generation index for building project in China. *Resources, Conservation and Recycling*, Ann Arbor, v. 74, p. 20-26, Maio 2013. Elsevier BV. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2013.02.015>.

MAH, C. M.; FUJIWARA, T.; HO, C. S. Construction and demolition waste generation rates for high-rise buildings in Malaysia. *Waste Management & Research*, London, v. 34, n. 12, p. 1224-1230, 28 set. 2016. SAGE Publications. DOI: <https://doi.org/10.1177/0734242X16666944>.

MENEZES FILHO, Naercio; CAMPOS, Gabriela; KOMATSU, Bruno. A evolução da produtividade no Brasil. Brasil. São Paulo, CPP Policy Paper, n. 12, 2014. Disponível em: <https://www.insper.edu.br/pesquisa-e-conhecimento/centro-de-gestao-e-politicas-publicas/policy-papers/>. Acesso em: 6 Jul. 2022.

MORAES, E. S. de; ROVARIS, C.; PUNHAGUI, K. R. G Avaliação do consumo de madeira na produção de habitações no Brasil, com foco no uso da madeira - primeiros resultados . In: ENCONTRO BRASILEIRO em MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 16., 2018, Florianópolis. Anais eletrônicos do XVI EBRAMEM. São Carlos: Portal de Eventos Científicos da Escola de Engenharia de São Carlos da USP, 2018. p. 0-13. Disponível em: <http://soac.eesc.usp.br/index.php/ebramem/xviebramem/paper/view/1079/662>. Acesso em: 6 Jul. 2022.

MORAES, E. S. de; PUNHAGUI, K. R. G. Avaliação do consumo de madeira na produção de habitações em Foz do Iguaçu - PR. In: ENCONTRO BRASILEIRO em MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 17., 2021, Florianópolis. Anais eletrônicos do XVII EBRAMEM. São Carlos: Portal de Eventos Científicos da Escola de Engenharia de São Carlos da USP, 2021. p. 0-13. Disponível em: <http://soac.eesc.usp.br/index.php/ebramem/xviiebramem/paper/view/2333/1755>. Acesso em: 6 Jul. 2022.

ORGANIZATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT (OECD). *Global Material Resources Outlook to 2060: Economic Drivers and Environmental Consequences*, OECD Publishing, Paris, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1787/9789264307452-en>.

WIMMERS, Guido. Wood: a construction material for tall buildings. *Nature Reviews Materials*, [S.L.], v. 2, n. 12, p. 0-2, 11 jul. 2017. Springer Science and Business Media LLC. DOI: <http://dx.doi.org/10.1038/natrevmats.2017.51>.

2 A ALVENARIA COM ESTRUTURA EM CONCRETO ARMADO E O USO DA MADEIRA PARA SUA EXECUÇÃO

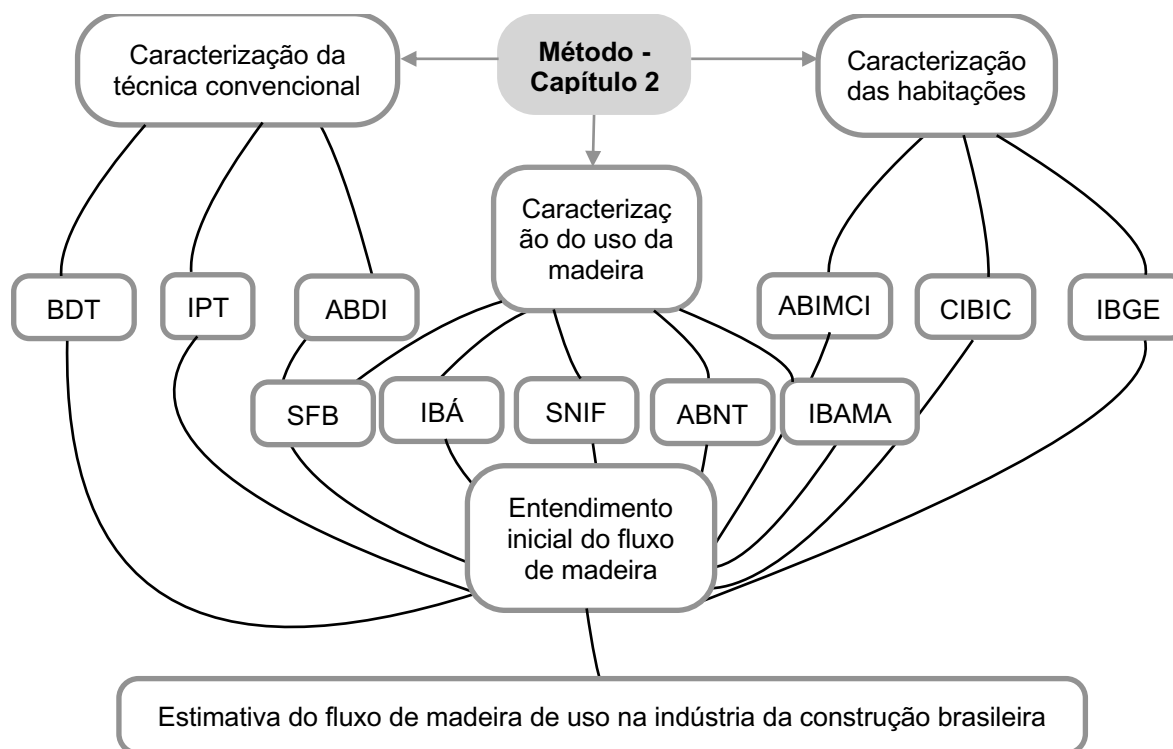
2.1 CONTEÚDO E OBJETIVO

Este capítulo tem por objetivo caracterizar as construções habitacionais no Brasil, a técnica construtiva em alvenaria convencional com estrutura em concreto armado moldado no local e os aspectos do uso da madeira para sua execução; de modo a facilitar o entendimento da forma de consumo (aplicação, dimensões, espécies e produtos) e subsidiar as informações iniciais para a elaboração do método para a quantificação dos fluxos de produtos de madeira em obra.

2.2 MÉTODO

O método é baseado em dados da literatura, conforme os seguintes passos: caracterização das construções residenciais; caracterização da técnica construtiva em alvenaria com estrutura em concreto armado moldada no local; caracterização do uso dos produtos de madeira (Figura 1).

Figura 1 – Estratégia para obtenção dos dados da literatura



Fonte: autor (2022).

Para caracterizar as edificações habitacionais no país, buscou-se em tabelas de dados, resultantes de Pesquisas Nacionais por Amostras a Domicílios (PNAD), informações referentes a características dos domicílios brasileiros, levantadas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), as quais encontram-se disponíveis em duas bases de dados do IBGE, a depender do ano. O Sistema IBGE de Recuperação Automática (IBGE/SIDRA, 2021a), que armazena os metadados referentes aos anos de 2016 a 2019 de PNAD contínua e o Banco Multidimensional de Estatística (IBGE/BME, 2017), que armazena dados da série histórica de 1981 a 2015 de PNAD. Essa junção dos dados de duas bases se faz necessária porque o PNAD, pesquisa anual encerrada em 2016 com a publicação de ano base de 2015, foi substituída pela PNAD contínua, que possui cobertura territorial mais abrangente e metodologia atualizada (IBGE, 2021).

Para obtenção das informações não contidas nas PNADs, buscou-se na biblioteca do IBGE dados do censo de 1960 (IBGE, 2021a), 1970 (IBGE, 2021b), 1980 (IBGE, 2021c) e 1991 (IBGE, 2021d), identificando-se agrupamentos domiciliares conforme o tipo de: moradia (casa, apartamento, outros); parede (alvenaria, taipas, madeira aparelhada, outros), piso (cerâmico, madeira apropriada, cimento, outros) e telhado (telha de barro cozido, laje de concreto, outros).

Para complementar a caracterização das habitações brasileiras construídas no sistema construtivo convencional¹², consultou-se o banco de dados da Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CIBIC), que fornece Indicadores Imobiliários Nacionais (IIN) referentes aos anos de 2016 – 2020 (CIBIC, 2021).

De modo aprofundar o entendimento dos elementos de piso no país e preencher, em partes, a lacuna temporal de informações do IBGE entre os anos de 1990 e 2016, buscou-se informações na Associação Brasileira da Indústria da Madeira Processada Mecanicamente (ABIMCI) em relatórios de estudos setoriais de pisos de madeira maciça, entre os anos de 2004 e 2019 (ABIMCI, 2021), complementando estes dados com informações do Instituto Brasileiro da Árvore (IBÁ), entre os anos de 2014 e 2019, referentes a pisos laminados (IBÁ, 2021).

Para analisar as características das habitações brasileiras construídas em alvenaria e concreto moldado *in loco*, buscou-se dados na Biblioteca Digital Brasileira de Teses e dissertações (BDTD) (BDTD, 2021). Os termos utilizados nas buscas foram: construção, residência/moradia/casa, madeira/ madeira provisório/ madeira transitório/madeira temporário; construção, alvenaria/madeira/concreto armado, história Brasil. Nestas buscas, não se definiu uma limitação temporal.

A partir da leitura dos resumos recuperados pelas buscas, foram selecionados estudos que abordavam e caracterizavam a construção convencional de habitações no país, com o respectivo uso da madeira, do concreto e da alvenaria no Brasil. Os trabalhos que se encaixavam no escopo da presente pesquisa foram selecionados e lidos na íntegra, sendo extraídas as informações pertinentes de dez pesquisas (teses e dissertações).

Para caracterizar o processo de execução da alvenaria convencional, obteve-se acesso às publicações do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), de modo a encontrar o código de práticas e ferramentas para execução do sistema construtivo convencional (IPT, 2009) e da Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI) que traz em seu manual de construções industrializadas um comparativo destas com construções convencionais (ABID, 2015).

Com o objetivo de compreender o uso da madeira para construções no Brasil, buscou-se informações de produção e consumo do material no IBÁ (2021), SNIF

¹² Sistemas independentes com estrutura em concreto armado e vedação em blocos cerâmicos, tijolos ou blocos de concreto, assentados com argamassa (ABID, 2015).

(2021), Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e do Recursos Naturais (IBAMA)¹³ e Serviço Florestal Brasileiro (SFB)¹⁴.

Pesquisaram-se informações das dimensões dos produtos de madeira em normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) (ABNT, 2002; ABNT, 2017), livro (ZENID, 2009), em relatórios da ABIMCI (2021) e em *home pages* de madeiras através da ferramenta de busca *google*.

E por fim, para quantificar os fluxos de produtos de madeira de uso na construção civil utilizou-se das informações obtidas através da performance dos passos supracitados, de modo a identificar os produtos de uso corrente e as aplicações. Dados quantitativos foram usados numa abordagem “*top-bottom*”, que consistiu na soma de todos os produtos de madeira produzidos no ano de 2020. Seguiu-se as considerações metodológicas delineadas no “Anuário FAO de produtos florestais 2019”, onde encontra-se a definição de cada produto madeireiro considerado no escopo deste fluxo (FAO, 2021b). Os quantitativos foram importados do “FAOSTAT”, uma base de metadados de oficiais e estimados com base no método estabelecido pela organização (FAO, 2021a).

Muitas considerações foram feitas para estimar-se um valor próximo ao real valor de consumo de madeira para a construção civil, chamado aqui de madeira de uso na “Indústria da construção”. Incluiu-se neste escopo a “Madeira roliça – folhosas” e “Madeira roliça – coníferas”, que apesar de incluir madeira serrada que pode ser usada para construção civil ou a indústria de móveis, também inclui dormentes e madeira para fabricação de folheados. Ademais, adicionou-se neste escopo “Outras madeiras roliças de uso industrial - folhosas”, toras sem cascas, a exemplo das escoras de eucalipto, mas também toras para fabricação de portes, cercas, estacas, lã de madeira, curtimento etc. (FAO, 2022a).

Os outros dois fluxos importantes de madeira foram para os combustíveis e a madeira para produção de celulose. Além de considera-se as quantidades no FAOSTAT, levou-se em conta os dados de exportação trazidos pelo IBÁ, que informa que 74,3% de toda madeira para celulose (ano base 2020) atendeu o mercado externo (exportação) (IBÁ, 2021).

Os nomes dos nos foram uma tradução dos nomes adotados pelo FAOSTAT, com a adição dos seguintes nos: serraria, consumo interno, produção nacional, diferença entre entradas de toras e saídas de produtos de serraria.

¹³ Consultado no homepage do IBAMA: <https://www.gov.br/ibama/pt-br>.

¹⁴ Disponível no homepage do SFB: <https://www.florestal.gov.br>.

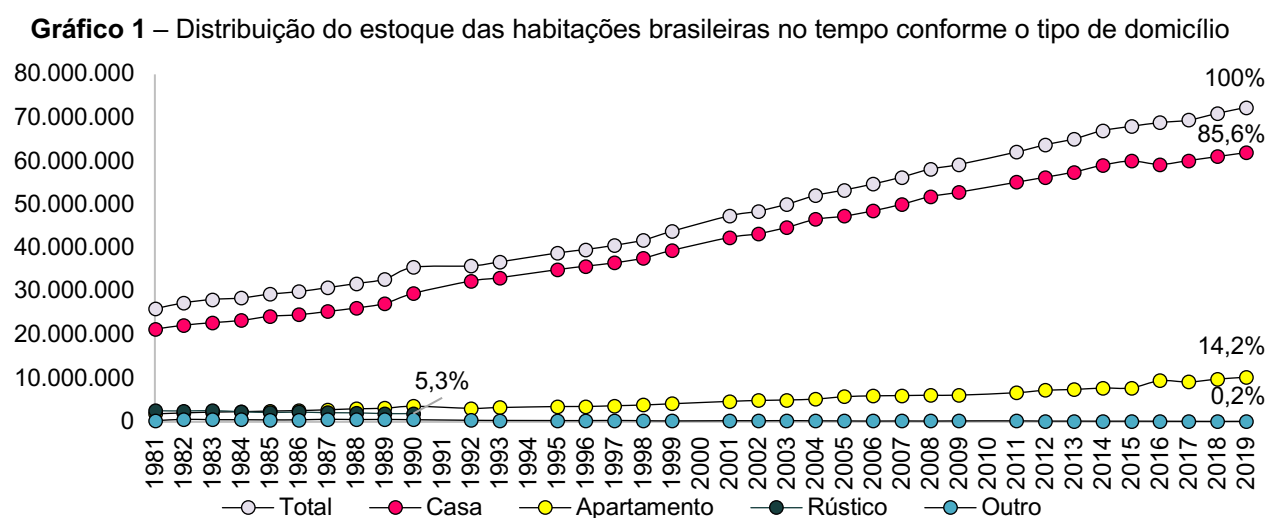
O nó serraria, que representa a transformação das madeiras em toras por produtos com origem em serraria, nomeadamente: madeira serrada (coníferas e folhosas); madeira compensada; painel de partículas; MDF/HDF; lâminas de madeira; resíduos de madeira; lascas e partículas de madeira; diferença entre entradas de toras e saídas de produtos de serraria.

A diferença entre entradas de toras e saídas de produtos de serraria refere-se especialmente a variações de densidades dos materiais, que são devidamente listadas no relatório “Anuário FAO de produtos florestais 2019” (FAO, 2021b). O nó produção nacional refere-se ao volume de toras extraídos no país no ano de 2020 e o nó consumo interno refere-se ao volume de toras consumidas pelas indústrias nacionais, que podem produzir produtos para consumo local ou com destino para exportação.

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

2.3.1 Caracterização das Edificações Residenciais no Brasil

De 1981 a 2019 o aumento do estoque habitacional do país passou de aproximadamente 26 para 72,4 milhões de unidades habitacionais (UH). Houve incremento mais expressivo da presença de domicílios do tipo “apartamento”, que passou de 7,1 para 14,2% do total no mesmo período (Gráfico 1).



Fonte: adaptado de PNAD (1981-2015) (IBGE/BME,2017) e SIDRA (2016-2019) (IBGE/SIDRA, 2021b).

A partir do ano de 1991 houve uma mudança metodológica no censo e consequentemente no PNAD, com a exclusão da categoria “Rústicos”, representado no gráfico acima pela cor verde. Isso se deve ao fato de que a categorização ocorria pela predominância de elementos não duráveis nas estruturas de paredes e cobertura dos domicílios (taipas, sapé, palha etc.), com o argumento de que não seria o indicador mais adequado para avaliar a durabilidade da edificação. Apesar disto, acredita-se na ampliação das moradias duráveis, tendência demonstrada pela análise dos censos das décadas de 1960 a 1990, saindo de 70,92% na década de para 94,53% do total de domicílios (ALVES, 2004).

Houve uma queda no percentual de domicílios do grupo “Casa”, que apesar da redução observada, de 89,5,4% em (1981) para 85,6% (2019), continua representando a grande maioria das habitações no país (GRÁFICO 1).

Os dois principais grupos, casas (85,6%) e apartamentos (14,2%), representaram 99,8% do total de moradias no ano de 2019 e são classificadas nesta pesquisa como: casas não geminadas (C), casas geminadas (C*), sobrados não geminadas (S), sobrados geminados (S*), e apartamentos (AP) de edifícios verticais.

A **C** é um domicílio térreo, unifamiliar, que não divide paredes da edificação principal com seus vizinhos (Figura 2).

Figura 2 – Exemplo de casa térrea não geminada (denominado C)



Fonte: autor (2022).

Este tipo de edificação pertence ao grupo de casas e pode estar em um condomínio, vila ou nenhum dos dois (IBGE, 2010).

Outro tipo de casa é a C*, que se trata de moradia térrea, unifamiliar e que compartilha uma ou mais paredes com seus vizinhos. Ainda, os agrupamentos geminados possuem duas unidades ou mais unidades habitacionais independentes (Figura 3).

Figura 3 – Exemplo de casa térrea geminada (denominado C*)



Fonte: autor (2022).

Os **S**, do grupo das casas, são moradias com até três pavimentos, unifamiliares, que não compartilham paredes com seus vizinhos (Figura 4).

Figura 4 – Exemplo de sobrado não geminado (denominado “S”)



Fonte: autor (2022).

E por fim, o último tipo de casa abordado por esta pesquisa foi o **S***, um domicílio com dois a três pavimentos, que compartilha uma ou mais paredes com seus vizinhos. Assim como a **C***, essa casa pode se agrupar em duas unidades (Figura 5), ou mais.

Figura 5 – Exemplo de sobrado geminado (denominado S*)



Fonte: autor (2022).

Representante do grupo dos apartamentos, tem-se os **AP**, localizados em edifícios verticais. Quando padrão, estes prédios possuem ao menos quatro pavimentos (ABNT, 2005), (Figura 7).

Figura 6 – Exemplo de apartamento em edifício vertical (denominado AP)



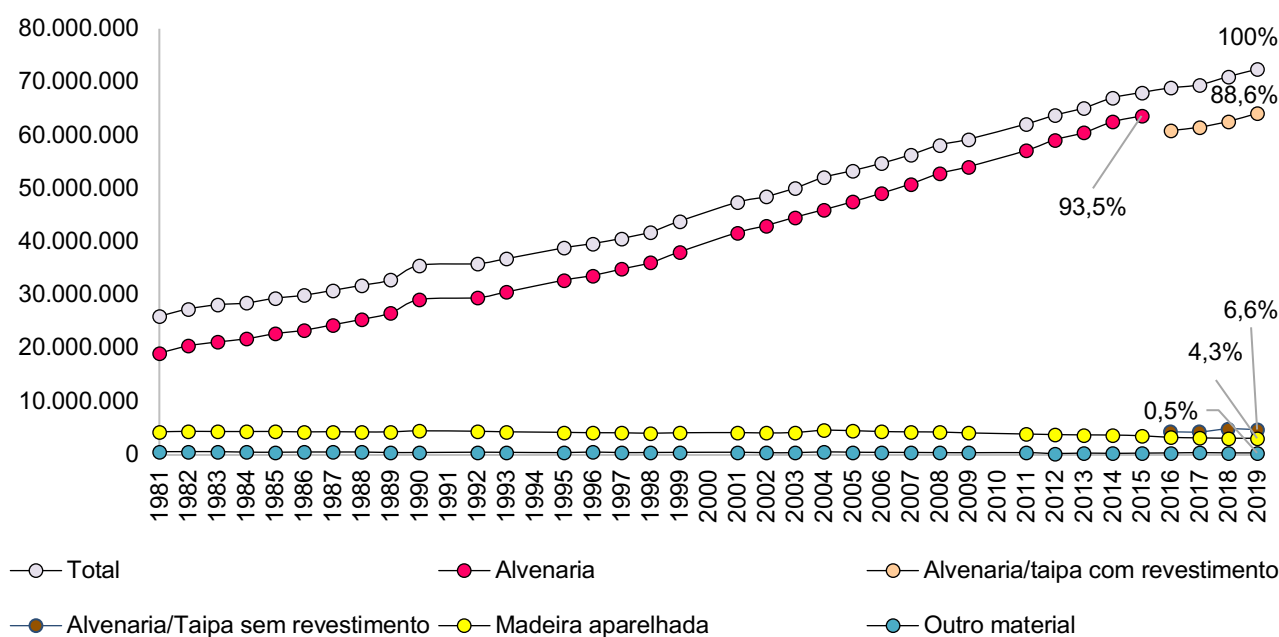
Fonte: autor (2022).

Essas edificações possuem ao menos duas unidades habitacionais (apartamentos), e podem ter uso parcial da edificação destinado a outros fins, como comércios e serviços (BME, 2021).

O IBGE também fornece agrupamento para os domicílios em relação ao

material predominante em seu sistema de paredes, piso ou cobertura. Existe uma tendência da predominância no uso da alvenaria como material de envoltório das edificações brasileiras, ampliada ao longo das últimas décadas, saindo de 73,5% (1981) para 93,5% do total de domicílios no ano de 2015 (Gráfico 2).

Gráfico 2 – Distribuição do estoque de habitações brasileiras no tempo conforme os **materiais de parede**



Fonte: adaptado de PNAD (1981-2015) (IBGE/BME, 2017), SIDRA (2016-2019) (IBGE/SIDRA, 2021c).

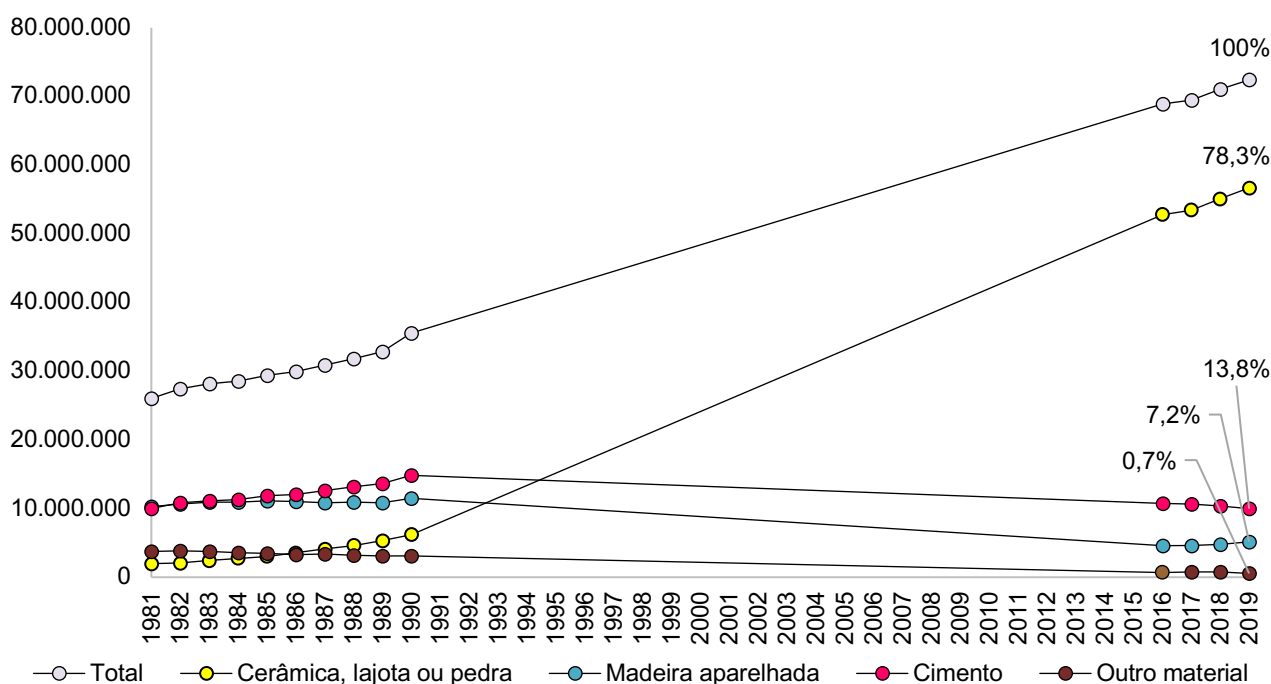
Observou-se no gráfico acima uma mudança na descrição dos dados fornecidos pela PNAD (BME, 1981-2015) quando comparado aos fornecidos pela PNAD contínua (SIDRA, 2016-2019). A primeira base de dados traz a “Alvenaria” (tijolo, adobe, pedra, concreto pré-moldado ou aparente) e a “Taipa sem revestimento” como alguns dos possíveis grupos de paredes, divididos conforme o material predominante (IBGE, 2015), ao passo que, a segunda separa os dois grupos em “Alvenaria/taipas com revestimento” e “Alvenaria/taipas sem revestimento” (IBGE, 2016). Essa mudança foi uma inovação do censo de 2010 e adotada na PNAD contínua, que avalia a presença de revestimento das paredes externas do imóvel como um importante indicador de bem-estar e saúde dos moradores (IBGE, 2010).

Ainda, é possível notar no gráfico acima uma substituição das paredes em madeira pelas paredes em alvenaria, com uma redução de aproximadamente 29,5% do número de habitações com paredes em madeira aparelhada quando comparado os anos de 1981 e 2019, que passaram de 4,4 para 3,1 milhões de domicílios com este envoltório.

Os últimos dados mostram que as habitações em madeira aparelhada, que já representaram 16,7% do estoque de moradias em 1981 passaram a representar apenas 4,3% do total do estoque de domicílios do país no ano de 2019.

O movimento de aumento do uso da alvenaria e diminuição de envoltórias em madeira, se deve, mas não se limita a: diminuição da disponibilidade de florestas nativas (especialmente na região sul do país); e aumento do poder aquisitivo da população e percepção dos produtos madeireiros como baratos e de baixa durabilidade (PUNHAGUI, 2014); falta de mão de obra especializada para trabalhar com o material na construção habitacional, mesmo em estados com grandes produção de madeira plantada como o Paraná e aumento do preço da madeira nativa (SILVA, 2010); dificuldade de obtenção de financiamento para aquisição de imóveis em madeira (DE ARAUJO *et al.*, 2018), apesar de incentivo estatal, como a introdução da técnica construtiva *Wood Frame* no Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV) por volta de 2010 a 2012 (ESPÍNOLA, 2017).

Acompanhando o movimento observado com as paredes das habitações nacionais, onde os grupos “Madeira aparelhada” e “Outros” foram substituídos por “Alvenaria”, observou-se também uma redução do uso de madeira para fins permanentes como material de piso nos domicílios, que passou de 39% (1981) para 7,2 % (2019) do estoque de domicílios do país, uma redução de aproximadamente metade do total de habitações com pisos com este material no período, saindo de 10,3 (1981) para 5,1 milhões de domicílios em (2019) (Gráfico 3).

Gráfico 3 – Distribuição do estoque de habitações brasileiras no tempo conforme os **materiais de piso**

Fonte: adaptado de PNAD (1981-2015) (IBGE/BME,2017), SIDRA (2016-2019) (IBGE/SIDRA, 2021d).

Essa substituição se deu, dentre outros motivos: pela maior adoção de pisos cerâmicos, que saiu de 7,6% para 78,3% no período base (Gráfico 3), devido a: serem vistos pelos consumidores brasileiros como um material funcional, estético, e relativamente barato, (CONSTANTINO; ROSA; CORRÊA, 2006); diminuição da disponibilidade da madeira nativa próximo as regiões consumidoras (sul-sudeste) e o aumento do preço do material nessa região, observados na década de 1970 e 1980 (CLARO, 1991). A tendência de aumento de preços para madeira nativa na região continua subindo com a escassez da local da madeira nativa (GATTO *et al.*, 2005)

A partir da década de 1990 observou-se um aumento no investimento em novas tecnologias de piso, como os engenheira dos e laminados, com consequente aumento da produção destes produtos, que saltou de aproximadamente 7 para 24 milhões de metros quadrados de piso de madeira consumido anualmente entre 1995 e 2004 (ABIMCI/ STCP, 2005).

De 2008 a 2018 houve uma redução na produção de pisos de madeira (excluindo-se os laminados) de 41,2% no período, saindo de 14,5 para 8,5 milhões de metros quadrados deste tipo de piso de madeira produzidos no país. Esse movimento pode ser explicado, dentre outras causas, pela preferência dos consumidores internos por pisos

cerâmicos e a crise imobiliária dos últimos 5 anos, com o encarecimento dos pisos de madeira (ABIMCI/CTCP, 2019).

De 2006 até o ano de 2013, a produção de pisos laminados no Brasil cresceu 116,8%, indo de 6,5 milhões em 2006 para 14,1 milhões de metros quadrados produzidos em 2013 (IBÁ, 2014). Em 2014, a redução do crédito imobiliário e um pessimismo dos agentes financeiros afetaram a indústria da construção civil, diminuindo também o consumo de pisos laminados (IBÁ, 2015), resultaram em uma retração na produção desde então, chegando a 11,1 milhões de m² produzidos em 2018 (IBÁ, 2019).

Existe uma escassez de informações quanto a madeira de uso para estruturas de telhados. Sobral *et al.* (2002) estimam que o estado que mais consome madeira nativa de origem amazônica (São Paulo) teve 42% do material usado em estruturas de telhado no ano de 2001 (especialmente vigas e caibros). Não se tem estimativas nacionais mais recentes.

O IBGE aponta vários materiais de cobertura (Telhas de barro cozido, zinco, palha etc.), sem, no entanto, identificar o material da estrutura de telhado (ex.: estrutura de madeira, estrutura metálica, autoportante etc.) (IBGE/BME,2017). Existem vários tipos de telhas, que podem ser ditas entre leves ou pesadas (Tabela 1).

Tabela 1 – Peso das telhas de uso corrente na superfície da estrutura de telhado

Classe	Material	Peso na superfície (kg/m ²)		Referência
		Mín.	Máx.	
Telhas pesadas	Cerâmica	45,9*	61,2*	(ABNT, 2019)
	Concreto	40,8	54,0	(AMATTELHAS, 2021)
Telhas leves	Metálica	2,6*	14,3*	(ABNT, 2019)
	Fibrocimento	14,3*	26,5*	(ABNT, 2019)

Nota: *Converteu-se kN em kg/m², adotando gravidade de 9,8 m/s²

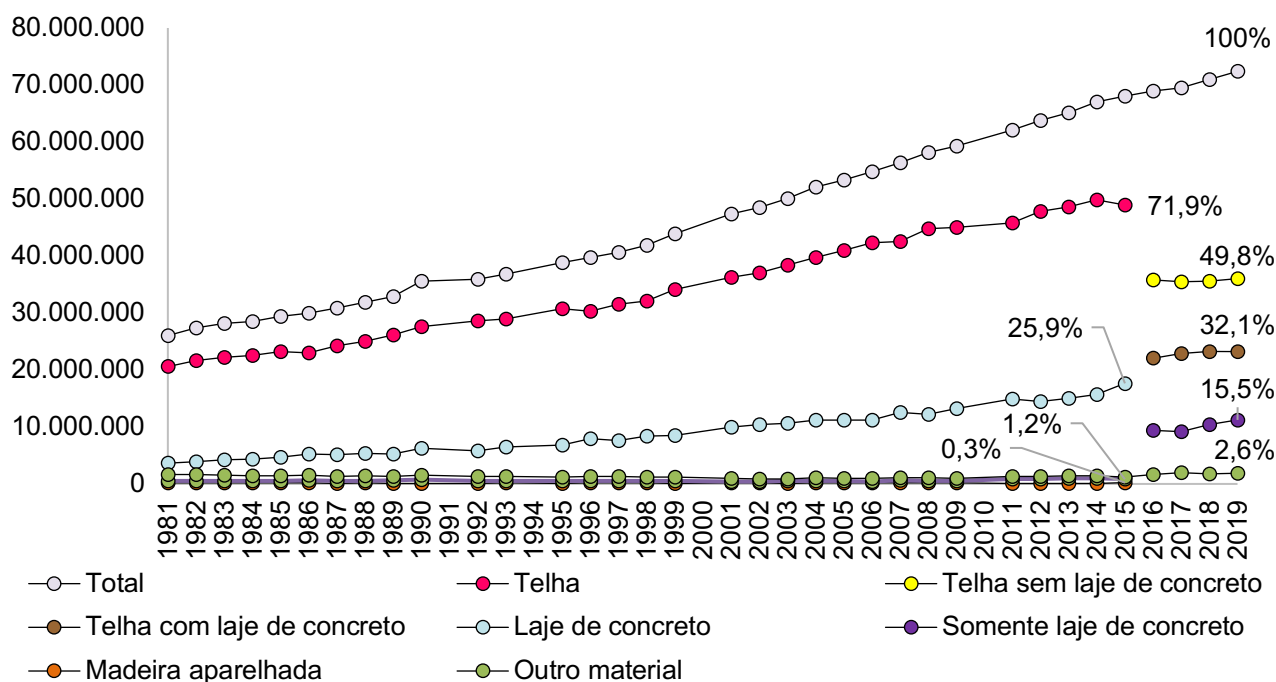
Fonte: autor (2022).

Silva *et al.* (2009) estimam por simulações, que estruturas de madeira para telhados com telhas mais pesadas (colonial, francesa), consomem mais madeira que telhas mais leves (cimento amianto). Isto acontece não só pelo peso das telhas, mas devido as telhas leves demandam menor inclinação de telhado e dispensam emprego de ripas e caibros, apoiando-se diretamente em terças, aceitando maiores vãos entre os pontos de apoio das telhas.

A cobertura, que pode ter como material predominante a telha de barro cozido, cimento-amianto, alumínio-madeira, plástico, acrílicos ou similares (IBGE, 2015),

sendo a telha de barro cozido o principal tipo de cobertura, correspondeu a 81,9% do total de habitações no país no ano de 2019 (Gráfico 4).

Gráfico 4 – Distribuição do estoque de habitações brasileiras no tempo conforme os **materiais de cobertura**



Fonte: adaptado de PNAD (1981-2015) (IBGE/BME,2017), SIDRA (2016-2019) (IBGE/SIDRA, 2020e).

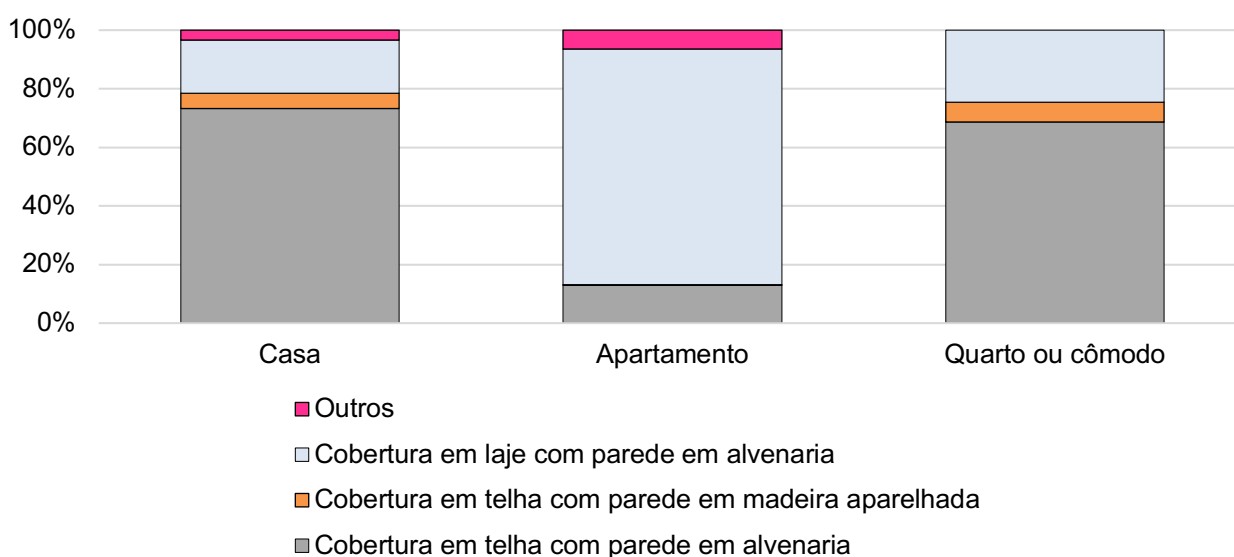
Do gráfico acima, é possível notar uma mudança das variáveis que representam os domicílios brasileiros conforme o material de cobertura entre os anos de 2015 e 2016. Isso porque o método seguido pela PNAD até a data de 2015 classificava como laje de concreto todos os apartamentos que possuíam laje, sem estudar a cobertura acima desta estrutura quando havia (IBGE, 2021). Na PNAD contínua (a partir de 2016), investiga-se, além do material de cobertura do edifício, se há laje ou não (IBGE, 2016).

Percebe-se um aumento da presença das construções com laje, que passou de 14% em 1981 para 47,6% do total de domicílios em 2019, movimento explicado pelo menos em partes, pelo aumento do número de domicílios do tipo apartamento (Gráfico 1) e pela disseminação da técnica construtiva em concreto armado, iniciada especialmente com empresas de origem alemã e dinamarquesas (1920 – 1940), com ampla difusão da técnica entre engenheiros e arquitetos nacionais (DE FREITAS, 2011), tornando hegemônica a presença desta tecnologia construtiva nas construções brasileiras (DOS SANTOS, 2008).

Das 68,4 milhões moradias reportadas pelo IBGE no ano de 2015

aproximadamente 88,3% eram casas, 11,5% apartamentos, e 0,2% quartos ou cômodos. A maior parte das casas, assim como cômodos ou quartos, eram feitas em alvenaria com cobertura em telha ou laje, com uma participação de 73,2 e 68,6% respectivamente. Em seguida, ainda nos grupos de casas, cômodos e quartos possuem paredes em alvenaria, com cobertura em laje, respectivamente 18,2 e 24,7% do total de unidades de cada grupo (Gráfico 5).

Gráfico 5 – Principais materiais de parede e cobertura dos domicílios brasileiros



Fonte: adaptado de PNAD (2015) (IBGE/BME, 2017).

Para apartamentos, constatou-se dois tipos predominantes no ano de 2015, aqueles com cobertura em laje e paredes em alvenaria, representando aproximadamente 80,5% do estoque de apartamentos, e aqueles com cobertura em telha com parede em alvenaria, representando 12,9% deste tipo de domicílio. Vale destacar que, no gráfico acima, o termo “Outros” foi utilizado para descrever todas as outras possíveis combinações de materiais para cobertura e parede.

2.3.2 A Alvenaria com Estrutura em Concreto Armado

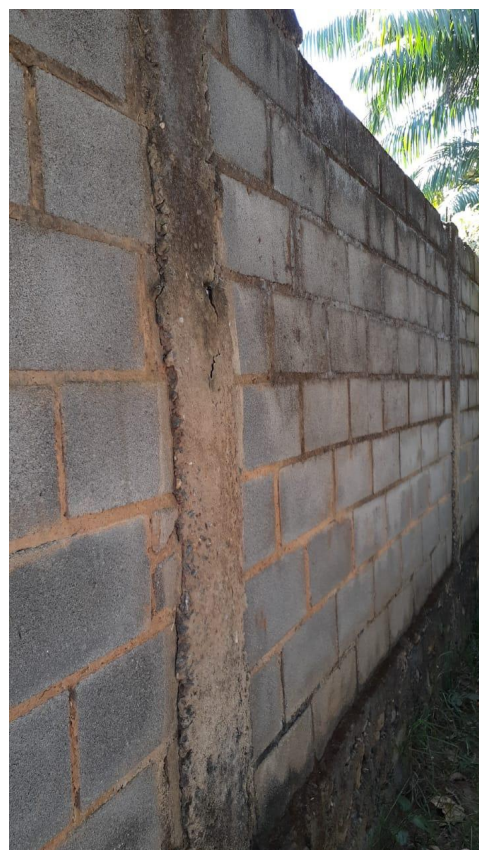
Com indícios resultantes da caracterização da habitação no Brasil e complementação de informação pela literatura; pode-se considerar que a tecnologia construtiva convencional no país é caracterizada pela utilização de estruturas em concreto armado e envoltório em alvenaria, principalmente constituída de tijolos ou blocos cerâmicos

(ABDI, 2015; CALDAS, 2017; LIMA *et al.*, 2021). Podendo ser feita também com outros tipos de materiais, como os blocos de concreto, (ABDI, 2015; EVANGELISTA *et al.* 2018) (Figura 7), adobe, pedra, concreto pré-moldado ou aparente (IBGE, 2015).

Figura 7 – Sistemas correntes de alvenaria: a) alvenaria em blocos cerâmicos; b) alvenaria em blocos de concreto



a)



b)

Fonte: autor (2022).

No sistema convencional, a mão de obra é intensiva, sendo demandada para instalação de sistemas temporários de escoramento, proteção coletiva e fôrmas de concretagem (com carpintaria ou metal), para atividades de elevação da alvenaria e produção de argamassa para revestimento, que são atividades realizadas no canteiro, resultando em maior perda e menor controle quando comparado a sistemas industrializados (ABDI, 2015; LACERDA, 2014). Há a predominância de um baixo nível de planejamento e altos custos (ABDI, 2015), com empreendimentos desenvolvidos por não expertos (CARVALHO *et al.*, 2020).

Existe uma cultura de retrabalho, devido à falta de compatibilização dos

projetos, que leva ao recorte dos sistemas de alvenaria recém-construídos para o embutimento de instalações elétricas e hidrossanitários (ABDI, 2015).

Consome-se especialmente produtos de origem não biológica (produtos metálicos, cerâmicos, agregados minerais, artefatos de concreto etc.), podendo corresponder a até 98% de todos os produtos consumidos (em valor monetário), enquanto a madeira, corresponde a algo próximo a 2% do consumo de material de construção (FIEMG, 2013).

Para edifícios altos localizados em Feira de Santana (Bahia), estimasse produtos de origem mineral (areia, brita, cimento, tijolos cerâmicos), podendo corresponder a valores entre os 97-98% do total de material consumido (em quilogramas), enquanto a madeira, correspondeu a valores de 2 a 3% quando considerado prédios verticais (BORJA *et al.*, 2018).

Apesar da parcela menor dos produtos de madeira quando considerados os demais elementos em edifícios de múltiplos pavimentos de concreto armado e alvenaria tradicional, a maior parte da madeira consumida neste sistema é a de uso transitório, com ciclo de vida curto (KERN *et al.*, 2018), que se estende pelo período em que atividades que demandam esse tipo de produto duram (ex.: moldagem e cura das estruturas de concreto armado).

Assim, as principais causas da geração de resíduos deste material em canteiro são: as atividades de concretagem, cortes e quebras resultantes do manuseio do material, e inadequado estoque do material após o uso (LU *et al.*, 2011).

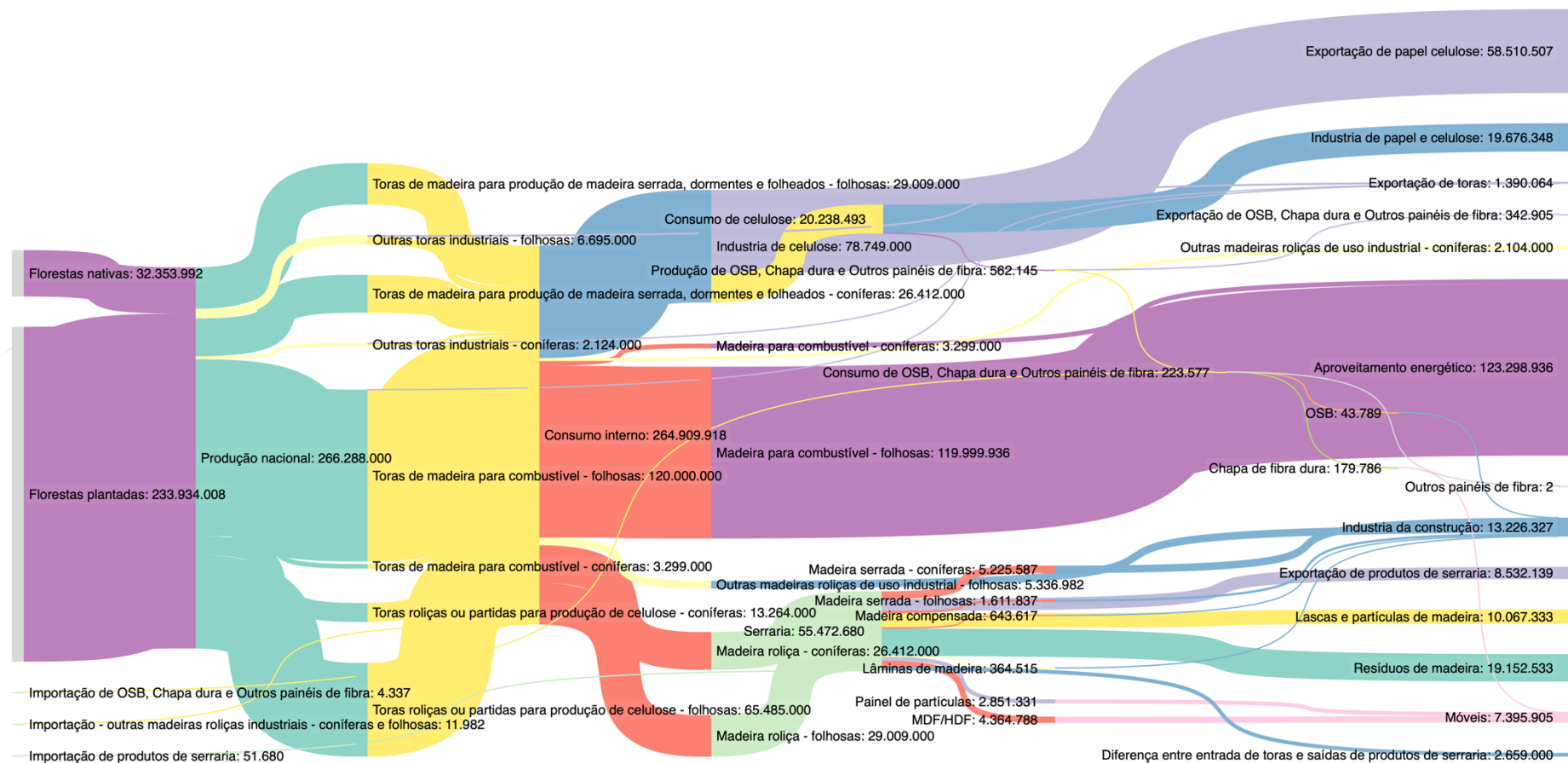
2.3.3 O Uso da Madeira para Construção em Alvenaria com Estrutura de Concreto Moldado no Local

2.3.3.1 Fluxos de produtos de madeira no Brasil

Dados da FAO dão conta de que 12,15% da madeira extraída no país foi de florestas nativas no ano de 2020, e 87,85% de florestas plantadas. As toras para produção de produtos madeireiros¹⁵ ficam em terceiro lugar (23,8%) no total de toras produzidas no país, atrás da madeira para combustível (46,6%) e para indústria de papel e celulose (29,6%) (Gráfico 6).

¹⁵ Toras de madeira para produção de madeira serrada e derivados, dormentes, cercas etc.

Gráfico 6 – Fluxo de produtos de madeira em metro cúbico (m3) para o ano de 2020 (Brasil)



Fonte: autor (2022); baseado em dados do Ibá (2021), FAO (2021a) e FAO (2021b).

Entretanto, os números em relação à extração de madeira nativa para fabricação de produtos madeireiros são provavelmente maiores que os reportados. Isso porque pouco se sabe sobre as reais quantidades de madeira nativa extraída, há fraudes no rastreamento e todas as características inerentes a madeira de origem ilegal, com estimativas de incremento dessa extração entre 34 e 95% do total extraído somente em 2008 (WESLLESY, 2014).

Em 2007, por meio do Sistema de Alerta de Desmatamento (SAD) o IMAZON começou a monitorar o desmatamento em áreas protegidas, iniciando pelo estado do Pará (IMAZON, 2007). Entre 2016 e 2019 houve um aumento da exploração da madeira na região, que foi de 33.510 para 60.707 hectares. Esse crescimento foi seguido de um aumento da exploração em áreas não autorizadas, que passou de 35 para 38% no período (CARDOSO; DALTON, 2020; DAMASCENO *et al.*, 2021).

Outro indicador da exploração ilegal de madeira vem dos alertas de desmatamento, com relatórios anuais de monitoramento iniciados em 2019 pela Map.Biomass, onde 96,7% de toda a área desmatada detectada aconteceu no cerrado e na Floresta Amazônica (DE AZEVEDO *et al.*, 2020). No ano de 2020, 98,9% da área desmatada detectada (1.370.645 hectares)¹⁶, apresentou algum tipo de irregularidade, que variou de alertas em áreas protegidas (reserva legal, área de preservação permanente) a ausência de autorização legal para exploração (DE AZEVEDO *et al.*, 2021).

Dados sobre a produção de produtos madeireiros de florestas plantadas são mais consolidados, justamente devido às características legais, que viabilizam sua quantificação. Das espécies, sabe-se que, em área plantada, as principais são Eucalipto, Pinus e outros (com destaque para os cedros), correspondendo a 76,3%, 18%, e 3,9% respectivamente, do total da área plantada no ano de 2019, que representou uma área de aproximadamente 10 milhões de hectares (SNIF, 2020).

A indústria da construção foi destino de aproximadamente 21,0% de todos os produtos madeireiros¹⁷ produzidos no ano de 2020. Dentre os principais produtos florestais madeireiros de uso na construção civil destacam-se: a madeira serrada (51,7%), outras madeiras roliças de uso industrial –

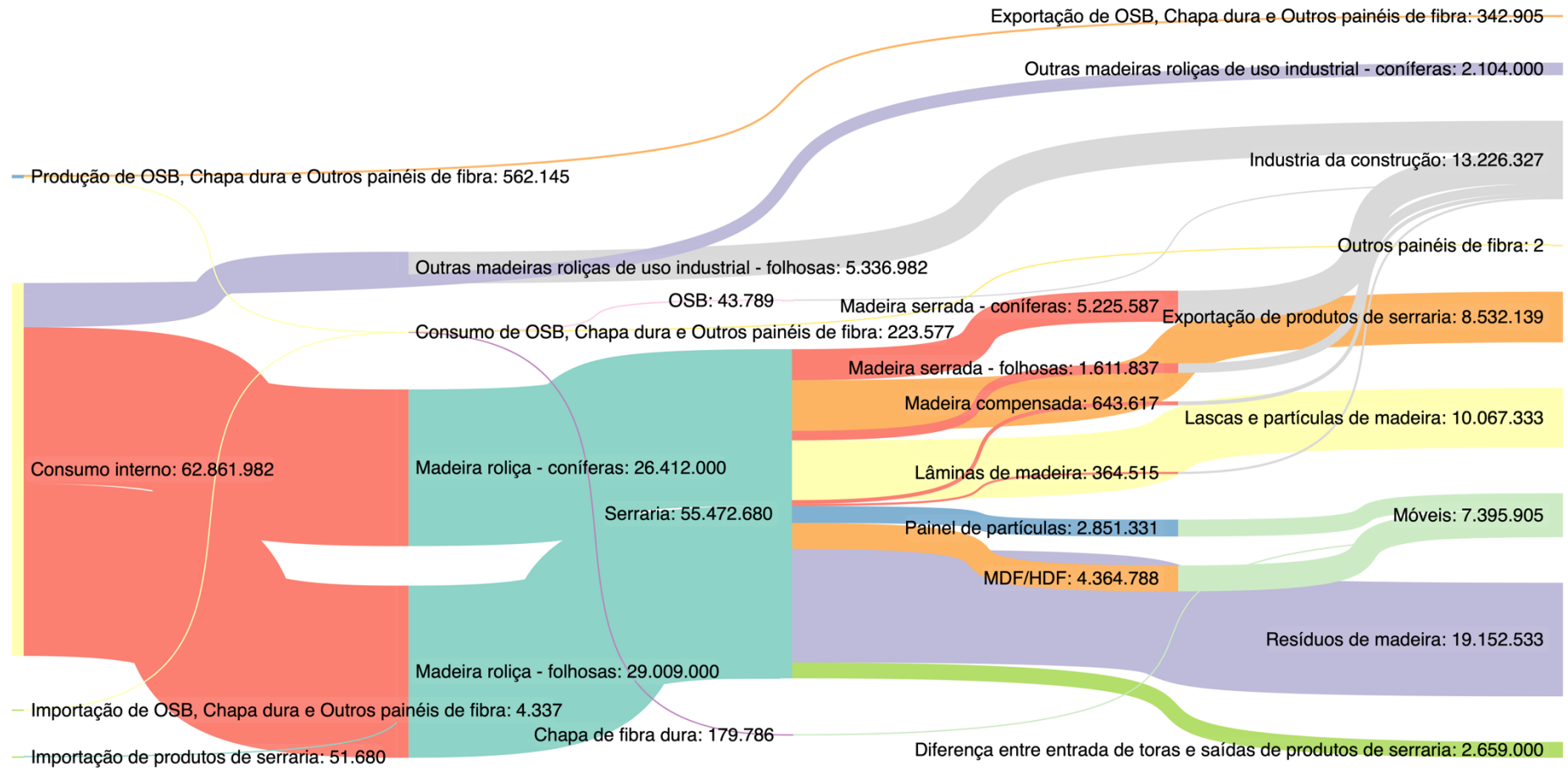
¹⁶ Não incluindo desmatamento em terras indígenas e Áreas de Preservação Ambiental (APA).

¹⁷ Exclui-se madeira para recuperação energética e produção de papel e celulose.

folhosas (40,3%)¹⁸, painéis de madeira compensada (4,9%), lâminas de madeira (2,8%) e painéis *OSB* (0,3%) (Gráfico 7).

¹⁸ Inclui toras de eucalipto (escoras).

Gráfico 7 – Fluxo dos produtos madeireiros em metros cúbicos (m3) em 2020 (Brasil)

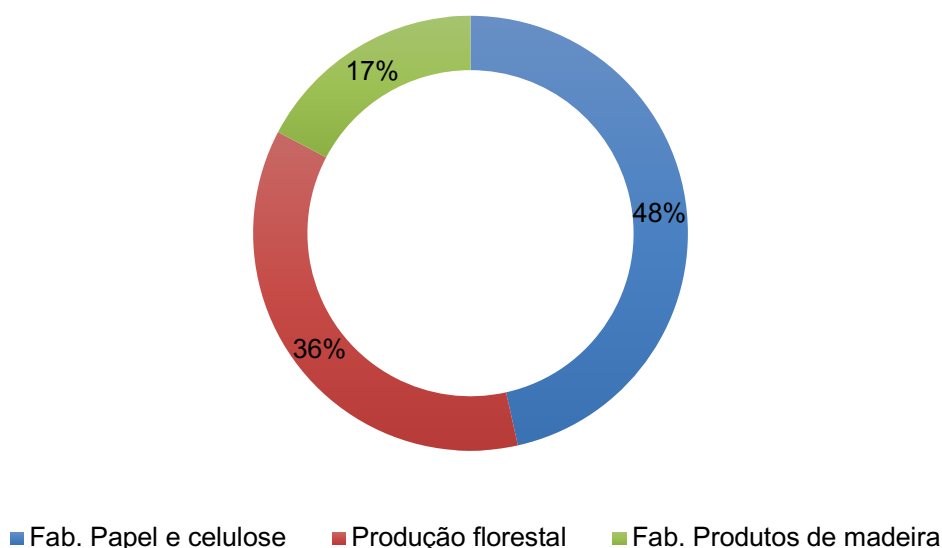


Fonte: autor (2022). Baseado em dados do Ibá (2021), FAO (2021a) e FAO (2021b).

Das atividades econômicas da IBÁ, a produção florestal (setor primário), no ano de 2019 correspondeu a 32,6% do valor adicionado e a fabricação de produtos de madeira (setor secundário) a 17,3%. Ainda, apenas 5% da produção do setor primário foi voltada a indústria da construção (madeira em toras e produtos de extração vegetal) ao passo que no setor secundário, esta indústria demandou 27% do total produzido no período (IBÁ, 2020).

Com isso, é possível verificar que a construção civil representa um baixo percentual da demanda do setor em termos de valor agregado, aproximadamente 6,3%¹⁹, sobretudo se comparado a outras atividades, como a indústria da celulose, papel e produtos de papel, que respondem por 46,5% das atividades econômicas (Gráfico 8).

Gráfico 8 – Atividades econômicas da indústria da madeira em 2019



Nota: o setor registrou receita de R\$97,4 bilhões em 2019

Fonte: IBÁ (2020).

Os produtos florestais utilizados na construção civil, muitas vezes são pouco processados, sendo por exemplo, utilizados na forma de toras (escoramento) ou serrados (FAO, 2020), de origem nativa ou plantada, ou ainda, aqueles produtos de painéis reconstituídos, que são originários das florestas

¹⁹ Soma de 5% das atividades econômicas de produção florestal (madeira em tora e produtos de extração vegetal) e 27% das atividades econômicas da fabricação de produtos de madeira (desdobramento de madeira, estruturas de madeira e produtos de carpintaria para construção) (IBÁ, 2020).

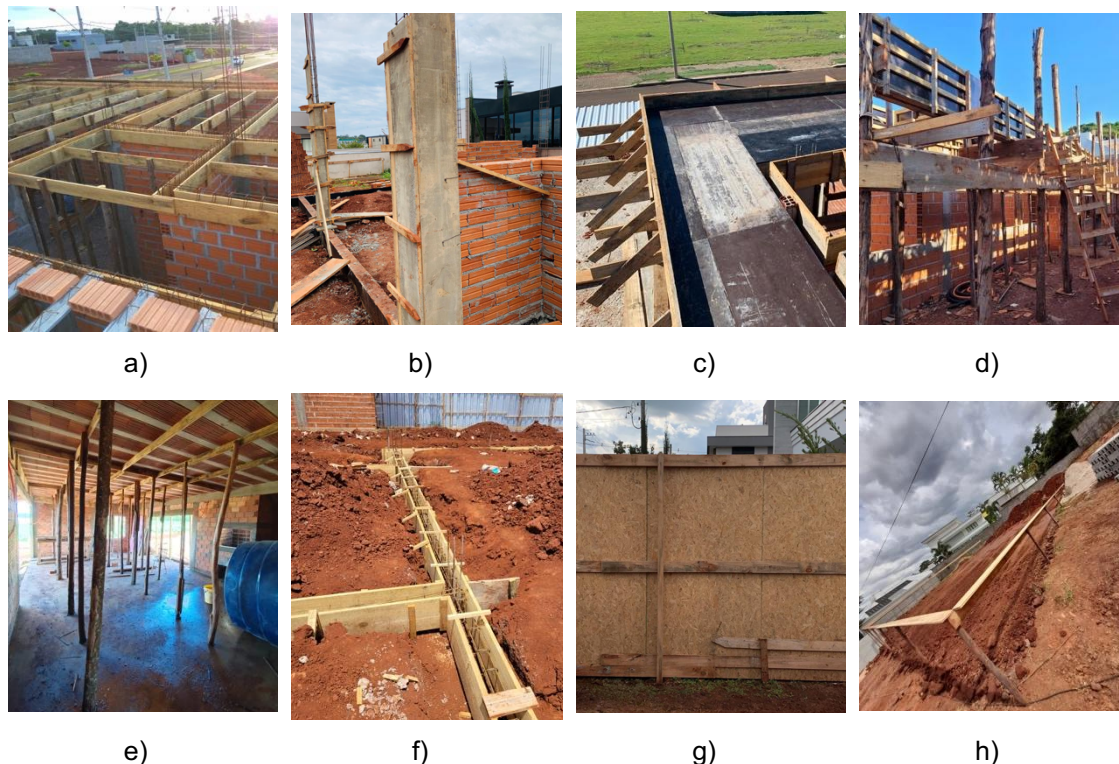
plantadas (SNIF, 2019b).

2.3.3.2 Produtos de madeira de uso corrente nas construções residenciais brasileiras

No sistema construtivo em alvenaria com estrutura em concreto armado moldado no local, parte da madeira é aplicada em fins permanentes (esquadrias, estruturas para cobertura, portas, pisos etc.) (LASSIO *et al.*, 2016), e parte é empregada para o uso transitório, auxiliando na execução de outros elementos da estrutura física da edificação, notadamente: sistemas de fôrmas e sistemas provisórios de proteção coletiva e instalações de canteiro (KERN *et al.*, 2018). Estes elementos de proteção coletiva bem como os elementos de uso provisório em canteiro, elencados pela NR18 estão devidamente descritos a seguir (BRASIL, 2018) (Tabela E-1).

Alguns dos principais elementos dos sistemas provisórios (sistema de formas, escoramento e proteção coletiva) que podem ser em madeira, como os enrijecedores e as peças utilizadas para locação da obra no canteiro estão devidamente ilustrados a seguir (Figura 8).

Figura 8 – Elementos transitórios de uso corrente: a) fôrmas vigas de cobertura; b) caixaria de pilares com enrijecedores; c) fôrmas de laje; d) andaimes; e) sistema de escoras; f) carpintaria de baldrame e enrijecedores; g) tapumes OSB; h) locação de obra



Fonte: autor (2022).

Assim, com o cruzamento das informações dos autores supracitados, das imagens acima e das devidas referências²⁰, é possível separar os produtos de madeira quanto a sua aplicação de uso provisório, conforme o diagrama abaixo (Quadro E-1).

Dos produtos de uso transitório na construção em concreto armado moldado *in loco* destacam-se: a madeira roliça, serrada e os painéis de madeira (ZENID, 2009).

A madeira roliça, geralmente utilizada para escoramento e andaimes, de origem nativa na região norte, e de espécies de eucalipto na região sul (ZENID, 2009), possuem dimensões diversas. Alguns revendedores (GM PORTAS E MADEIRAS, 2022; MADEIRAS JUNCHEM, 2022; RAMPA, 2022; TIMBERS, 2022) reportam diâmetros que variam de 7 a 12 cm (selecionados os extremos do intervalo), e os comprimentos que variam de 2 e 7 m.

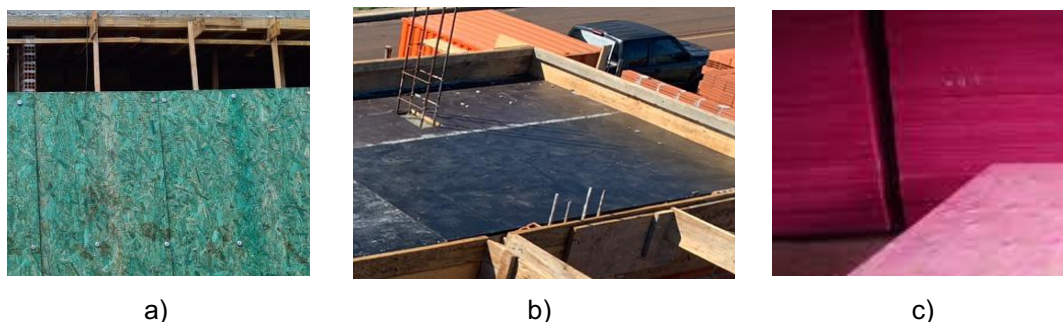
A madeira serrada, que pode ser padronizada quanto a espécie

²⁰ Citadas na fonte ao final do respectivo quadro.

e as dimensões, tem essa padronização proposta pela ABNT limitadas a madeira de exportação, padronização que não ocorre no mercado interno (ZENID, 2009). Algumas normas para padronização das dimensões das seções transversais das peças são a NBR 14807 (2002), referente à madeira serrada para uso geral e a NBR 12498 (2017), que informa sobre madeira serrada provenientes de coníferas de florestas plantadas (Tabela E-2).

Tem-se ainda os painéis de madeira, de uso provisório na construção civil, como os compensados laminados de cola branca, fenólico, resinados ou plastificados (estes resistentes à água), sendo utilizados como estrutura de formas (AMOR, 2017) e ainda os painéis de tiras orientadas de madeira, do inglês, *Oriented Strand Board (OSB)*, de uso na construção de estruturas temporárias como alojamento e tapumes (ZENID, 2009) (Figura 9).

Figura 9 – Painéis de madeira: a) chapas OSB; b) compensados plastificados; c) compensados resinados de cola branca



Fonte: autor (2022).

Os compensados apresentam dimensões que variam tanto na espessura, quanto na largura e comprimento. Sua espessura pode variar de 3 a 35 mm, com comprimento e largura variando de 2,10 m x 1,60 m, 2,75 m x 1,22 m e 2,20 m x 1,10 m, com esta última sendo a dimensão mais comum encontrada (ZENID, 2009).

A ABIMCI, criou, no ano de 2006 um guia com a classificação e indicações de número de vezes de reutilização possível de fôrmas de compensado plastificado para moldagem de estruturas de concreto, com números fornecidos por uma série de fabricantes do material na região sul e sudeste do país (Tabela E-3). O guia, ainda traz as dimensões destes painéis, que dependem, inclusive, da quantidade de lâminas, estando disponíveis em 6 espessuras nominais, e 3 variações comprimento/largura (Tabela E-4).

Dentre os resíduos descartados, não tratados, a madeira²¹ corresponde a uma das principais percentagens em quilogramas dos Resíduos Sólidos da Construção (RCD) gerado em cidades brasileiras, juntamente com material derivado de terra, gesso e materiais de construção misturados (tijolos, argamassas, madeira etc.) (ROSADO *et al*, 2019). Dados de Kochem, Dutra e Possan (2017) também corroboram com o afirmado acima sobre os dados de Resíduos da Construção Civil (RCC) de madeira. Este estudo sobre a unidade de disposição final de RCD de Cascavel - PR, estimou-se que pelo menos 5,61 % do material em peso foi do material.

Vale ressaltar que esses resíduos não devem ser aterrados, devido a produção do gás metano que é muitas vezes pior que o CO₂ para mudanças climáticas (ÂNGULO *et al.*, 2015). Outra possibilidade de destino é a doação deste para outras indústrias, como olarias, que usam a madeira como combustível para seus fornos (MOSSMANN, 2011). Quando os resíduos madeireiros de construção civil são utilizados para combustível, alguns cuidados merecem atenção, em especial para madeira tratada, que representou aproximadamente 2,5% dos 152 milhões de m³ de madeira plantada extraída em 2017, ou 3,2 milhões de metros cúbicos tratadas (SNIF, 2019), limitando assim as possibilidades de uso desta para combustível por exemplo

A resolução do Conselho Estadual do meio ambiente (CONSEMA) do estado do Rio Grande do Sul, de nº 370 normatiza o uso da madeira como combustível. Ela proíbe o uso de *Medium Density Fiberboard (MDF)* e *Medium Density Particleboard (MDP)* e assemelhados (placas, cavacos, serragem, pó de lixamento, compensado e outros derivados), em atividades alimentícias de contato direto com produtos alimentares. Esta resolução veta também o uso desses produtos para qualquer uso como combustível, caso contaminado com produtos halogenados ou PVC (RIO GRANDE DO SUL, 2017).

Resíduos de madeira como a madeira serrada, *MDP*, e Placas compensadas também podem ser reciclados e tornar material para fabricação de painéis em madeira, compondo até 25% da estrutura de um painel particulado de Pinus, sem tornar o elemento mecanicamente inviável, podendo representar

²¹ 0,42% em Atibaia, 4,66% em Limeira, 10 em Santa Barbara e 3,7% em Torrinha, (Cidades do estado de São Paulo).

até 50% do material de enchimento de um painel de MDP (AZAMBUJA *et al.*, 2018).

Esse reuso por outra indústria tem o potencial de gerar divisas para a empresa recicladora, uma prática conhecida como logística reversa. Oliveira Neto e Correia (2019), quantificaram um lucro de U\$ 0,02/kg obtido por uma empresa recicladora de RCD da cidade de São Paulo.

2.4 CONSIDERAÇÕES DO CAPÍTULO

O estoque habitacional brasileiro saiu de 68 milhões de unidades em 2015 para 72,4 milhões em 2019. Este estoque se caracterizou por: 88,6% de habitações do tipo casa; 14,2% de habitações do tipo apartamento; e 0,2% de habitações do tipo quartos ou cômodos (2019).

As casas, fazem uso disseminado de paredes em alvenaria (94,6%), com cobertura predominantemente em telha (75,8%) ou apenas em laje aparente (18,8%). As unidades com envoltórios em madeira aparelhada com cobertura em telhas ou paredes e coberturas em outros materiais²² compõe o restante do estoque de casas (5,4%) (2015). Os apartamentos são majoritariamente envoltos em alvenaria (93,5%) com presença de laje (80,5%) ou com telha (13%) na cobertura. Os apartamentos também podem ser envoltos e coberto com outros materiais (6,5%). E por fim, os quartos e cômodos são em maioria envoltos em alvenaria (93,2%), sendo cobertos em telha (68,6%) ou laje (24,7%), seguido por aqueles com paredes de madeira aparelhada e cobertura em telha (6,8%) (2015).

Apesar do único elemento estrutural do estoque estimado pelo IBGE ser a laje em concreto armado, com presença em 47,6% das coberturas dos domicílios brasileiros, a literatura aponta que a alvenaria é comumente combinada com estruturas em concreto armado moldado no local, compondo o típico sistema construtivo das habitações do país.

Neste sistema construtivo, a madeira pode ser usada para fins permanentes (pisos, estruturas de cobertura, esquadrias e outros) e provisórios (sistemas de fôrmas e de segurança coletiva, como escritórios, acomodações

²² Elementos como palha, madeira apropriada etc.

temporárias, tapumes, andaimes, escoras etc.). Para construções do tipo casa, ambos os usos citados acima são verificados. Já para construções verticais, é menos comum a adoção da madeira em fins permanente de grande intensidade, como em estruturas de sistemas de cobertura, pois 80,5% deste tipo de habitação é coberto em laje exposta de concreto armado.

Nota-se a diminuição do uso da madeira para fins duradouros, tanto nos sistemas de paredes quanto de piso, devido a mudanças culturais, com a difusão do uso de materiais cerâmicos e estruturas de concreto armado moldado no local. Por outro lado, o aumento do uso de elementos em concreto armado, como as lajes que estavam presente em aproximadamente 3,6 milhões de unidades habitacionais em 1981, saltando mais de 9 vezes, para quase 34,5 milhões das habitações em 2019, pode ser usado como uma forma de aferição indireta do aumento do uso de madeira para fins provisórios dentro deste período no Brasil.

Este material de uso provisório, que poderia ser mais bem aproveitado em destinos mais duradouros e com maior valor agregado, tem como destino comum pós-obra as indústrias de reciclagem, que aproveitam o seu potencial energético.

2.5 REFERÊNCIAS (CAPÍTULO 2)

Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial – ABDI. Manual da construção industrializada - conceitos e etapas: estrutura e vedação. Brasília: ABIDI, 2015, v. 1, p. 208. Disponível em: Acesso em: <https://www.abdi.com.br/>. Acesso em: 6 Jul. 2022.

ALVES, J. E. D. As características dos domicílios brasileiros entre 1960 e 2000 / José Eustáquio Diniz Alves. - Rio de Janeiro: Escola Nacional de Ciências Estatísticas, 2004. 40p. - (Textos para discussão). Escola Nacional de Ciências Estatísticas, ISSN 1677-7093; n. 10. ISBN 85-240-3709-1.

AMATTELHAS. Telhas de concreto. 2021. Disponível em: <https://www.amattelhas.com.br/telhas-de-concreto/>. Acesso em: 7 Jul. 2022.

AMOR, L. L. V. Modelo para estimar a geração de resíduos de madeira de uso provisório em obras de edifícios verticais. 2017. 101 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil _ UNISINOS. São Leopoldo, 2017. Disponível em: http://www.repositorio.jesuita.org.br/bitstream/handle/UNISINOS/6311/Luciano+Lopes+Vargas+Amor_.pdf;jsessionid=73B510C2ED6276919EB97E4B9079A76C?sequence=1. Acesso em: 7 Jul. 2022.

ÂNGULO, Sérgio Cirelli; CARELLI, Élcio; QUATTRONE, Marco; JOHN, Vanderley M.; MOTTA, Rosângela; BOSCOV, Maria Eugênia; SILVA, Raphael Balusco; PANIGUEL, Ricardo L. Castro. Parte 2: Reúso e reciclagem de resíduos de construção em canteiro de obras. In: Gestão ambiental de resíduos da construção civil: avanços institucionais e melhorias técnicas. SindusCon-SP, São Paulo, p. 74 – 144, 2015.

Associação Brasileira da Indústria da Madeira Processada Mecanicamente (ABIMCI). Publicações. [online], 2021. Disponível em: Disponível em: <https://abimci.com.br/publicacoes/>. Acesso em: 6 Jul. 2022.

Associação Brasileira da Indústria de Madeira Processada Mecanicamente (ABMICI). STCP Engenharia de Projetos Ltda. Estudo setorial 2004 – indústria de madeira processada mecanicamente. [online], 2005. Disponível em: <https://abimci.com.br/wp-content/uploads/2019/08/estudo-setorial-abimci-2004.pdf>. Acesso em: 6 Jul. 2022.

Associação Brasileira da Indústria de Madeira Processada Mecanicamente (ABMICI). STCP Engenharia de Projetos Ltda. Estudo setorial 2019 – ano base 2018. [online], 2019. Disponível em: <https://abimci.com.br/wp-content/uploads/2020/10/Estudo-Setorial-Abimci-2019-Versao-Portugues.pdf> Acesso em: 6 Jul. 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14807: Peças de madeira serrada - Dimensões. Rio de Janeiro: ABNT, 2002. 2 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12498: Madeira serrada de coníferas provenientes de reflorestamento, para uso geral - Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2017. 6 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6120: Ações para o cálculo de estruturas de edificações. Rio de Janeiro: ABNT, 2019. 60 p.

AZAMBUJA, Rafael da Rosa; CASTRO, Vinicius Gomes de; TRIANOSKI, Rosilani; IWAKIRI, Setsuo. Utilization of construction and demolition waste for particleboard production. *Journal of Building Engineering*, Amsterdam, v. 20, p. 488-492, nov. 2018. Elsevier BV. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2018.07.019>. Acesso em: 6 Jul. 2022.

BOGER, Ana Maria Gularte. Influência da área habitacional na mitigação de emissões de co2 no brasil. 171 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal da Integração Latino-Americana. Instituto Latino- Americano de Tecnologia, Infraestrutura e Território. Pós-Graduação em Engenharia Civil. Foz do Iguaçu-PR, 2022.

BORJA, L. C.; CÉSAR, S.; CUNHA, R.; KIPERSTOK, A. A quantitative method for prediction of environmental aspects in construction sites of residential buildings. *Sustainability*, Basel, v. 10, n. 1870, 4 Jun. 2018. MDPI AG. DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/su10061870>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/10/6/1870>. Acesso em: 6 Jul. 2022.

BR4SIL. [online], 2019a. Disponível em: <http://br4sil.com.br/index.php/produtos/chapas/madeirite-rosa>. Acesso em: 6 Jul. 2022.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. NR 18 – Condições e Meio Ambiente de Trabalho na Indústria da Construção. Brasília: Ministério do Trabalho e Emprego, 2018.

BRAZIL, Ministry of Agriculture, Livestock and Food Supply. Brazilian forest at a glance: 2019 / Ministry of Agriculture, Livestock and Food Supply. Brazilian Forest Services – Brasília: MAPA/SFB, 2019. 207 p. ISBN 978-85-7991-129-3. Disponível em: <https://www.florestal.gov.br/documentos/publicacoes/4262-brazilian-forests-at-a-glance-2019/file>. Acesso em: 6 Jul. 2022.

Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações (BDTD). Acesso e visibilidade às teses e dissertações brasileiras. [online], 2021. Disponível em: <https://bdttd.ibict.br/vufind/>. Acesso em: 6 Jul. 2022.

CALDAS, L. R.; LIRA, J. S. M. M.; MELO, P. C.; SPOSTO, R. M. Life cycle carbon emissions inventory of brick masonry and light steel framing houses in Brasilia: proposal of design guidelines for low-carbon social housing. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 17, n. 3, p. 71-85, jul. 2017. Fap. UNIFESP (SciELO). Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212017000300163>. Acesso em: 7 jul. 2022.

Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CIBIC). Indicadores Imobiliários Nacionais (IIN) – 2016. [online], 2017. Disponível em: http://www.cbicdados.com.br/media/anexos/pesquisa_nacional_2016.pdf.

Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CIBIC). Indicadores Imobiliários

Nacionais (IIN) – 2020. [online], 2021. Disponível em: http://www.cbicdados.com.br/media/anexos/Pesq._Mercado_Imobili%C3%A1rio_Nacional_4_trimestre_2020.pdf. Acesso em: 6 Jul. 2022.

Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CIBIC). Indicadores Imobiliários Nacionais (IIN) – mercado imobiliário. [online], 2021. Disponível em: <http://www.cbicdados.com.br/menu/mercado-imobiliario/indicadores-imobiliarios-nacionais>. Acesso em: 6 Jul. 2022.

CARDOSO, D.; DAMASCENO, C.; SOUZA JUNIOR, C. Sistema de Monitoramento da Exploração Madeireira (SIMEX). Estado do Pará 2018-2019. - Belém, PA: Imazon, 2021. Disponível em: https://imazon.org.br/wp-content/uploads/2021/05/Infografico_SIMEX_2018_2019-1.pdf. Acesso em: 6 Jul. 2022.

CARDOSO, Dalton; SOUZA JUNIOR, C. Sistema de Monitoramento da Exploração Madeireira (SIMEX): Estado do Pará 2017-2018. - Belém, PA: Imazon, 2020. Disponível em: https://imazon.org.br/wp-content/uploads/2020/04/Simex_Imazon_2017-2018.pdf. Acesso em: 6 ul. 2022.

CARVALHO, Jenner; ORTEGA, Javier; LOURENÇO, Paulo B.; RAMOS, Luís F.; ROMAN, Humberto. Safety analysis of modern heritage masonry buildings: box-buildings in Recife, Brazil. *Engineering Structures*, Oxford, v. 80, p. 222-240, Dez. 2014. Elsevier BV. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2014.09.004>. Acesso em: 7 jul. 2021.

CLARO, A. A produção de casas de madeira em Santa Catarina: volume 1. 1991. 461 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Estruturas Ambientais Urbanas, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012. Disponível em: <http://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/75813>. Acesso em: 6 jul. 2022.

CONSTANTINO, A. O.; ROSA, S. E. S; CORRÊA, A. R.; BARROSO, D. V. Panorama do setor de revestimentos cerâmicos: área industrial. BNDES. [online], 2006. Disponível em: https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/15465/1/Panorama%20do%20Setor%20de%20Revestimentos%20Cer%C3%A2micos_P_BD.pdf. Acesso em: 6 Jul. 2022.

DE ARAUJO, V.A.; VASCONCELOS, J. S.; MORALES, E. A. M.; SAVI, A. F.; HINDMAN, D. P.; O'BRIEN, M. J.; NEGRÃO, J. H. J. O.; CRISTOFORO, A. L.; LAHR, F. A. R.; CORTEZ-BARBOSA, J. Difficulties of wooden housing production sector in Brazil. *Wood Material Science & Engineering*, Abingdon, v. 15, n. 2, p. 87-96, 10 jun. 2018. Informa UK Limited. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1080/17480272.2018.1484513>.

DE AZEVEDO, T. R.; ROSA, M. R.; SHIMBO, J. Z.; MARTIN, Eduardo Velez; De OLIVEIRA, M. G. Annual deforestation report of Brazil 2019 – São Paulo, SP – MapBiomass, 2020 – 49 pages. Disponível em:

[report-2019-en-final5.pdf](#). Acesso em: 6 Jul. 2022.

DE AZEVEDO, T. R.; ROSA, M. R.; SHIMBO, J. Z.; De OLIVEIRA, M. G. Annual deforestation report 2020 – São Paulo, Brazil – MapBiomass, 2021– 93. Disponível em https://s3.amazonaws.com/alerta.mapbiomas.org/rad2020/RAD2021_-_MapBiomassAlerta_EN.pdf Acesso em: 6 Jul. 2022.

DE FREITAS, M. L. Modernidade concreta: as grandes construtoras e o concreto armado no Brasil, 1920 a 1940. 2011. 373 p. Tese (Doutorado em História e Fundamentos da Arquitetura e do Urbanismo) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/T.16.2011.tde-13012012-140118> Acesso em: 6 jul. 2022.

DOS SANTOS, R. E. A armação do concreto no brasil: história da difusão da tecnologia do concreto armado e da construção de sua hegemonia. 2008. 327 f. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Educação: “Conhecimento e Inclusão Social”, Faculdade de Educação, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/FAEC-84KQ4X/1/2000000140.pdf>. Acesso em: 6 jul. 2022.

ESPINDOLA, L. R. O wood frame na produção de habitação social no Brasil. 2017. 331 f. Tese (Doutorado em ciências) Instituto de Arquitetura e Urbanismo. Universidade de São Paulo, São Carlos, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/T.102.2017.tde-04092017-113504>. Acesso em: 6 jul. 2022.

EVANGELISTA, Patricia P.A.; KIPERSTOK, Asher; TORRES, Ednildo A.; GONÇALVES, J. P. Environmental performance analysis of residential buildings in Brazil using life cycle assessment (LCA). *Construction and Building Materials*, Oxford, v. 169, p. 748-761, abr. 2018. Elsevier BV. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.02.045>. Acesso em: 7 jul. 2022.

Federação das Indústrias do Estado de Minas Gerais - FIEMG. Contribuição econômica e social da cadeia produtiva da Construção no Estado de Minas Gerais. Fundação Getúlio Vargas (elaboração). Belo Horizonte: Fundação Getúlio Vargas: FIEMG, 2013. 57 p. il. Disponível em: <https://www.sinduscon-mg.org.br>. Acesso em 7 jul. 2022.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). Global forest resources assessment 2020: Brazil report. [online], 2020. Disponível em: <http://www.fao.org/3/ca9976en/ca9976en.pdf>. Acesso em: 6 Jul. 2022.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). FAO Yearbook of Forest Products. 436 p. n. 73. Roma, 2021a. DOI: <https://doi.org/10.4060/cb3795m>.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS

(FAO). Online data FAOSTAT. FAO, 2021b. Disponível em: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/FO>. Acesso em: 25 Jun.de 2022.

GATTO, Darci Alberto; SANTINI, Elio José; HASELEIN, Clovis Roberto; DURLO, Miguel Antão; CALEGARI, Leandro. Produção madeireira na região da Quarta Colônia de Imigração Italiana do Rio Grande do Sul. *Ciência Florestal*, [S.L.], v. 15, n. 2, p. 177-189, 30 jun. 2005. Universidade Federal de Santa Maria. DOI: <http://dx.doi.org/10.5902/198050981835>.

GM PORTAS E MADEIRAS. Gm portas e madeiras Godofredo Muller comércio e representação de madeiras. Palhoça, 2022. Disponível em: <https://www.gmmadeiras.com.br/produto/escora-de-eucalipto/>. Acesso em: 6 Jul. 2022.

HOEFLICH, V. A. Desenvolvimento florestal sustentável: requerimentos de uma sociedade. Colombo: Embrapa Florestas, 2006. Disponível em <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPF-2009-09/41570/1/doc138.pdf>. Acesso em: 6 Jul. 2022.

HU, D.; YOU, F.; ZHAO, Y.; YUAN, Y.; LIU, T.; CAO, A.; WANG, Z.; ZHANG, J. Input, stocks and output flows of urban residential building system in Beijing city, China from 1949 to 2008. *Resources, Conservation and Recycling*, Amsterdam, v. 54, n. 12, p. 1177-1188, out. 2010. Elsevier BV. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2010.03.011>. Acesso em: 23 jul. 2022.

Instituto Brasileiro de Geografia Estatística (IBGE). Pesquisa Nacional por Amostra a Domicílio (PNAD): manual de entrevista. [online], 2015. Disponível em: https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/instrumentos_de_coleta/doc5087.pdf. Acesso em: 6 Jul. 2022.

Instituto Brasileiro de Geografia Estatística (IBGE). Pesquisa Nacional por Amostra a Domicílio (PNAD): contínua. [online], 2020. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/educacao/17270-pnad-continua.html?edicao=24772&t=downloads..> Acesso em: 6 Jul. 2022.

Instituto Brasileiro de Geografia Estatística (IBGE). Pesquisa Nacional por Amostra a Domicílio (PNAD). [online], 2021. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9127-pesquisa-nacional-por-amostra-de-domicilios.html?=&t=o-que-e>. Acesso em: 6 Jul. 2022.

Instituto Brasileiro de Geografia Estatística (IBGE). Banco Multidimensional de Estatística (BME). [online], 2021. Disponível em: <https://www.bme.ibge.gov.br/index.jsp?url=https%3A%2F%2Fwww.bme.ibge.gov.br%2Fapp%2Findex.jsp>. Acesso em: 6 Jul. 2022.

Instituto Brasileiro de Geografia Estatística (IBGE). Manual do recenseador – censo 2010. [online], 2010. Disponível em: https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/instrumentos_de_coleta/doc2601.pdf. Acesso em: 6 Jul. 2022.

Instituto Brasileiro de Geografia Estatística (IBGE). Censo demográfico: 2010. [online], 2012. Disponível em:

https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/97/cd_2010_familias_domicilios_amostra.pdf. Acesso em: 6 Jul. 2022.

Instituto Brasileiro de Geografia Estatística (IBGE). Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNAD): continua. Seleção de variáveis dos indicadores sobre características dos domicílios – 2016 [online], 2016. Disponível em: https://ftp.ibge.gov.br/Trabalho_e_Rendimento/Pesquisa_Nacional_por_Amostra_de_Domicilios_continua/Anual/Caracteristicas_Gerais_dos_Domicilios_2016/Selecao_de_Variaveis.pdf. Acesso em: 6 Jul. 2022.

Instituto Brasileiro de Geografia Estatística (IBGE). Censo demográfico: 1960. [online], 2021a. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/biblioteca-catalogo.html?view=detalhes&id=768>. Acesso em: 6 Jul. 2022.

Instituto Brasileiro de Geografia Estatística (IBGE). Censo demográfico: 1970. [online], 2021b. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/biblioteca-catalogo.html?id=769&view=detalhes>. Acesso em: 6 Jul. 2022.

Instituto Brasileiro de Geografia Estatística (IBGE). Censo demográfico: 1980. [online], 2021c. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/bibliotecacatalogo?view=detalhes&id=772>. Acesso em: 6 Jul. 2022.

Instituto Brasileiro de Geografia Estatística (IBGE). Censo demográfico: 1991. [online], 2021d. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/biblioteca-catalogo?id=782&view=detalhes>. Acesso em: 6 Jul. 2022.

Instituto Brasileiro de Geografia Estatística (IBGE). Sistema IBGE de Recuperação Automática (SIDRA). Banco de tabelas estatística. [online], 2021a. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/home/pimpfbr/brasil>. Acesso em: 6 Jul. 2022.

Instituto Brasileiro de Geografia Estatística (IBGE). Sistema IBGE de Recuperação Automática (SIDRA). Pesquisa Nacional Por Amostra Domicilio - Anual (PNAD). Tabela 6820 - Domicílios e Moradores, por tipo de domicílio. [online], 2021b. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/Tabela/6820>. Acesso em: 6 Jul. 2022.

Instituto Brasileiro de Geografia Estatística (IBGE). Sistema IBGE de Recuperação Automática (SIDRA). Pesquisa Nacional Por Amostra Domicilio - Anual (PNAD). Tabela 6822 - Domicílios e Moradores, por material predominante nas paredes. [online], 2021c. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/Tabela/6822>. Acesso em: 6 Jul. 2022.

Instituto Brasileiro de Geografia Estatística (IBGE). Sistema IBGE de Recuperação Automática (SIDRA). Pesquisa Nacional Por Amostra Domicilio - Anual (PNAD). Tabela 6824 - Domicílios e Moradores, por material predominante no piso. [online], 2021d. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/Tabela/6824>. Acesso em: 6 Jul. 2022.

Instituto Brasileiro de Geografia Estatística (IBGE). Sistema IBGE de Recuperação Automática (SIDRA). Pesquisa Nacional Por Amostra Domicilio -

Anual (PNAD). Tabela 6823 - Domicílios e Moradores, por material predominante na cobertura (telhado). [online], 2021e. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/Tabela/6823>. Acesso em: 6 Jul. 2022.

Indústria Brasileira da Árvore (IBÁ) e PÖYRY Consultoria em Gestão e Negócios Ltda. Relatório ibá 2014. Brasília: Ibá, 2014. 100 p. Tradução de: Tracy Smith Miyake. Disponível em: <https://iba.org/datafiles/publicacoes/pdf/iba-2014-pt.pdf>. Acesso em: 6 Jul. 2022.

Indústria Brasileira da Árvore (IBÁ). Relatório Anual IBÁ 2021. Disponível em: <https://www.iba.org/publicacoes/relatorios>. Acesso em: 25 Jun. 2022.

Indústria Brasileira da Árvore (IBÁ) e PÖYRY Consultoria em Gestão e Negócios Ltda. Relatório anual 2019. Brasília: Ibá, 2019. 80 p. Tradução de: Tracy Smith Miyake. Disponível em: <https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/iba-relatorioanual2019.pdf>. Acesso em: 6 Jul. 2022.

Indústria Brasileira da Árvore (IBÁ), Instituto Brasileiro de Economia (IBRE), da Fundação Getulio Vargas (FGV). Relatório anual 2020. Brasília: Ibá, 2020. 124 p. Tradução de: Tracy Smith Miyake. Disponível em: <https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/relatorio-iba-2020.pdf>. Acesso em: 6 Jul. 2022.

Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA). Produção madeireira de espécie nativas brasileiras (2012 a 2017). Tiago Luz Farani; Gustavo Bediaga de Oliveira (Organizadores) – Brasília: Ibama, 2019. 376 p. ISBN 978-85-7300-391-8. Disponível em: <http://colmeia.ibama.gov.br/index.php/s/uDijLCmva7w7zZv>. Acesso em: 6 Jul. 2022.

Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia (IMAZON). Relatório de Atividades 2007. [online], 2008. Disponível em: <https://imazon.org.br/PDFimazon/Portugues/%20relatorio%20de%20atividades/relatorio-de-atividades-2007.pdf>. Acesso em: 6 Jul. 2022.

KERN, A. P.; AMOR, L. V.; ÂNGULO, S. C.; MONTELONGO, A. Factors influencing temporary wood waste generation in high-rise building construction. Waste Management, Oxford, v. 78, p. 446-455, Ago. 2018. Elsevier BV. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2018.05.057>. Acesso em: 7 Jun. 2022.

LACERDA, J. F. S. B. Avaliação da sustentabilidade na construção civil dos sistemas construtivos convencional e industrializado no Brasil. 2014. Dissertação de mestrado profissional em Produção – Instituto Tecnológico da Aeronáutica (ITA). São José dos Campos. Disponível em: http://www.fcmmpep.org.br/site/sites/default/files/dissertacoes/turma1/Juliana_DP-060_2014.pdf. Acesso em: 7 jul. 2022.

LASSIO, J. de; FRANÇA, J.; SANTO, K. E.; HADDAD, A. Case Study: Ica

methodology applied to materials management in a brazilian residential construction site. *Journal of Engineering*, London, v. 2016, p. 1-9, 2016. Hindawi Limited. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1155/2016/8513293>. Acesso em: 23 Jul. 2022.

LIMA, L.; TRINDADE, E.; ALENCAR, L.; ALENCAR, M.; SILVA, L. Sustainability in the construction industry: a systematic review of the literature. *Journal of Cleaner Production*, Oxford, v. 289, p. 125730, mar. 2021. Elsevier BV. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125730>. Acesso em: 7 jul. 2022.

MADEIRAS JUNCHEM. Madeiras junchem Ltda. Novo Hamburgo, 2022. Disponível em: <http://www.madeirasjuchem.com.br/produtos/detalhes/codigo/12>. Acesso em: 6 Jul. 2022.

MOSSMANN, A. S. Levantamento do gerenciamento do resíduo de madeira para confecção de fôrmas de estrutura de concreto armado. 2011. 102 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - UNISINOS. São Leopoldo, 2011. Disponível em: <http://www.repositorio.jesuita.org.br/handle/UNISINOS/4975?show=full>. Acesso em: 6 Jul. 2022.

OLIVEIRA NETO, G. C.; CORREIA, José M. F. Environmental and economic advantages of adopting reverse logistics for recycling construction and demolition waste: a case study of brazilian construction and recycling companies. *Waste Management & Research: The Journal for a Sustainable Circular Economy*, London, v. 37, n. 2, p. 176-185, 11 jan. 2019. SAGE Publications. Disponível em: <https://doi.org/10.1177/0734242X18816790>. Acesso em: 7 jul. 2022.

PUNHAGUI, K. R. G. Potencial de redução das emissões de CO2 e da energia incorporada na construção de moradias no Brasil mediante o incremento do uso de madeira. 2014. 289 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Construção Civil, Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.11606/T.3.2014.tde-29042015-164644>. Acesso em: 6 Jul. 2021.

RAMPA. Rampa. Porto Alegre, 2022. Disponível: <https://www.rampa.net.br/produto-escoras-de-eucalipto.php>. Acesso em: 6 Jul. 2021.

RIO GRANDE DO SUL. Resolução CONSEMA nº 370, de 21 de dezembro de 2017. Dispõe sobre o regramento para o uso de derivados de madeira, em especial MDF e MDP (Medium Density Fiberboard e Médium Density Particleboard), não contaminados, como combustível alternativo/principal. . Porto Alegre, RIO GRANDE DO SUL, 14 dez. 2017. Disponível em: <https://www.sema.rs.gov.br/upload/arquivos/201712/21112355-370-2017-regramento-uso-mdf-mdp-como-combustivel.pdf>. Acesso em: 6 Jul. 2022.

ROSADO, L. P.; VITALE, P.; PENTEADO, C. S. G.; ARENA, U. Life cycle

assessment of construction and demolition waste management in a large area of São Paulo State, Brazil. Waste Management, Oxford, v. 85, p. 477-489, Fev. 2019. Elsevier BV. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2019.01.011>. Acesso em: 30 Mar. 2022.

SILVA, R. D. Plantando casas: estudo da cadeia produtiva para implantação de habitação de interesse social em madeira de pinus spp no paraná – brasil. 2010. 198 f. (Doutorado em arquitetura e urbanismo) - Arquitetura, Urbanismo e Tecnologia. Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/T.18.2010.tde-05092013-143946>. Acesso em: 6 Jul. 2022.

SILVA, Guilherme Liziero Ruggio; SALES, Vanessa Sales; FIDENCIO, Jéssica; ESTEVÃO, Camila; MATOS, Gabriela de; Prado, Aline do; HILARIO, Diego. A modelagem matemática na construção de telhados com diferentes tipos de telhas. In: Anais da Semana de Ciência e Tecnologia/ Instituto Federal de Minas Gerais, Campus Ouro Preto. V- 1, (out., 2009).

Sistema Nacional de Informações Florestais (SNIF). Serviço Florestal Brasileiro. [online], 2019a. Disponível em: https://public.tableau.com/views/PF_Extracao_IBGE-PEVS_PFM-PFNM_SIDRABrasil_1990-2017_DB-DT_18-09-2019_IUFRO_PFM/Histria1?:embed=y&:display_count=no&:showVizHome=no&:toolbar=no. Acesso em: 6 Jul. 2022.

Sistema Nacional de Informações Florestais (SNIF). Serviço Florestal Brasileiro. [online], 2019b. Disponível em: <https://snif.florestal.gov.br/pt-br/conhecendo-sobre-florestas/169-bens-e-servicos-que-a-floresta-fornece>. Acesso em: 6 Jul. 2022.

Sistema Nacional de Informações Florestais (SNIF). Serviço Florestal Brasileiro. [online], 2020. Disponível em: https://public.tableau.com/app/profile/snif6927/viz/RF_FPlantada_IBGE-PEVS_SIDRA_Brasil_2013-2019_DB_Lanc-15-10-2020_Down-22-12-2020/Histria1. Acesso em: 6 Jul. 2022.

Sistema Nacional de Informações Florestais (SNIF). Serviço Florestal Brasileiro. [online], 2021. Disponível em: <https://snif.florestal.gov.br/pt-br/producao>. Acesso em: 6 Jul. 2022.

SOBRAL, Leonardo; VERÍSSIMO, Alberto; LIMA, Eirivelthom; AZEVEDO, Tasso; SMERALDI. Acertando o Alvo 2: consumo de madeira amazônica e certificação florestal no Estado de São Paulo. Belém: Imazon, 2002. 72p. ISBN: 85-86212-05-9. Disponível em: <https://www.imaflora.org>. Acesso em: 30 Mar. 2022.

THOMAZ, E.; MITIERI FILHO, C. V.; CLETO, F. R.; CARDOSO, F. R. R. Código de práticas nº 01: Alvenaria de vedação em blocos cerâmicos. São Paulo: IPT – 2009. (Publicação IPT: 3011). Disponível em: http://www.ipt.br/projeto/2-codigos_de_praticas_na_construcao_civil.htm. Acesso em: 6 Jul. 2022.

TIMBERS. Timbers comércio de materiais de construção. Porto Alegre, 2022. Disponível em: <https://www.timbers.com.br/escora-de-eucalipto>. Acesso em: 6 Jul. 2022.

WELLESLEY, L. Illegal logging and related. trade the response in Brazil. energy environ. Resource: A Chatham House Assessment. Royal Institute of International Affairs. London, 2014. Disponível em: <https://chathamhouse.soutron.net/Portal/Default/en-GB/RecordView/Index/187043>. Acesso em: 6 Jul. 2022.

3 FLUXO DE MADEIRA EM CONSTRUÇÕES HABITACIONAIS DE ALVENARIA COM ESTRUTURA EM CONCRETO ARMADO MOLDADO *IN LOCO*

3.1 CONTEÚDO E OBJETIVO

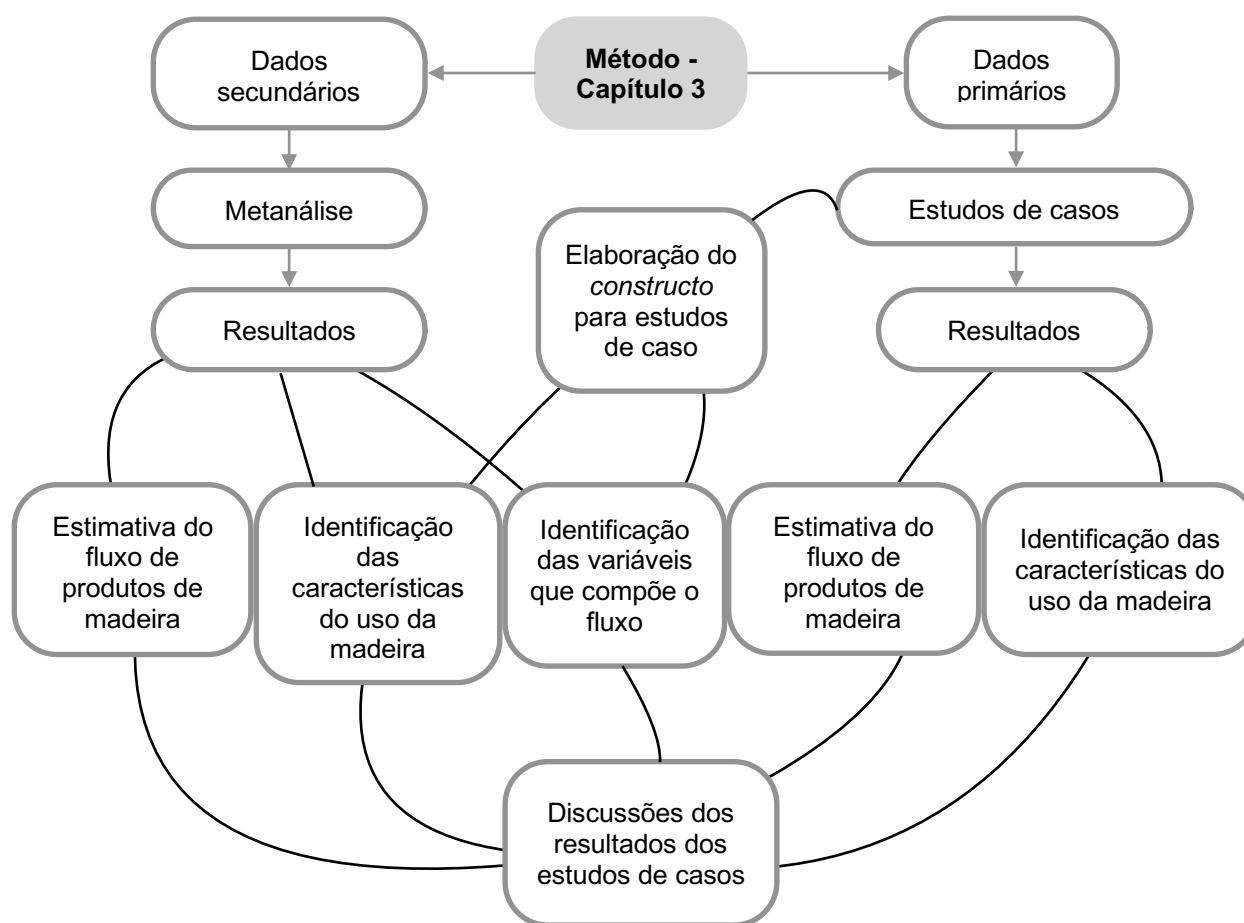
O objetivo deste capítulo foi estimar indicadores de consumo e geração de resíduos de produtos de madeira utilizados em obras de habitação em alvenaria (blocos cerâmicos e de concreto), com estrutura em concreto armado moldado *in loco* e identificar características do uso da madeira, como os tipos de produtos e suas respectivas aplicações; bem como, o fluxo de entrada e saída deste material na obra.

Os indicadores buscam definir o grau de eficiência no uso da madeira para a execução do sistema construtivo estudado, as taxas de geração de resíduos, o reuso em outras obras e a incorporação da madeira na mesma obra, diferenciando a parcela do material de uso permanente e a de uso provisório.

3.2 MÉTODO

Para alcançar o objetivo deste capítulo a pesquisa foi dividida em duas etapas: 1) baseada em dados secundários; 2) baseada em dados primários; como detalhado na sequência (Figura 10).

Figura 10 – Estratégia para obtenção dos dados primários e secundários



Fonte: autor (2022).

3.2.1 Análise Baseada em Dados Secundários – Revisão Sistemática da Literatura

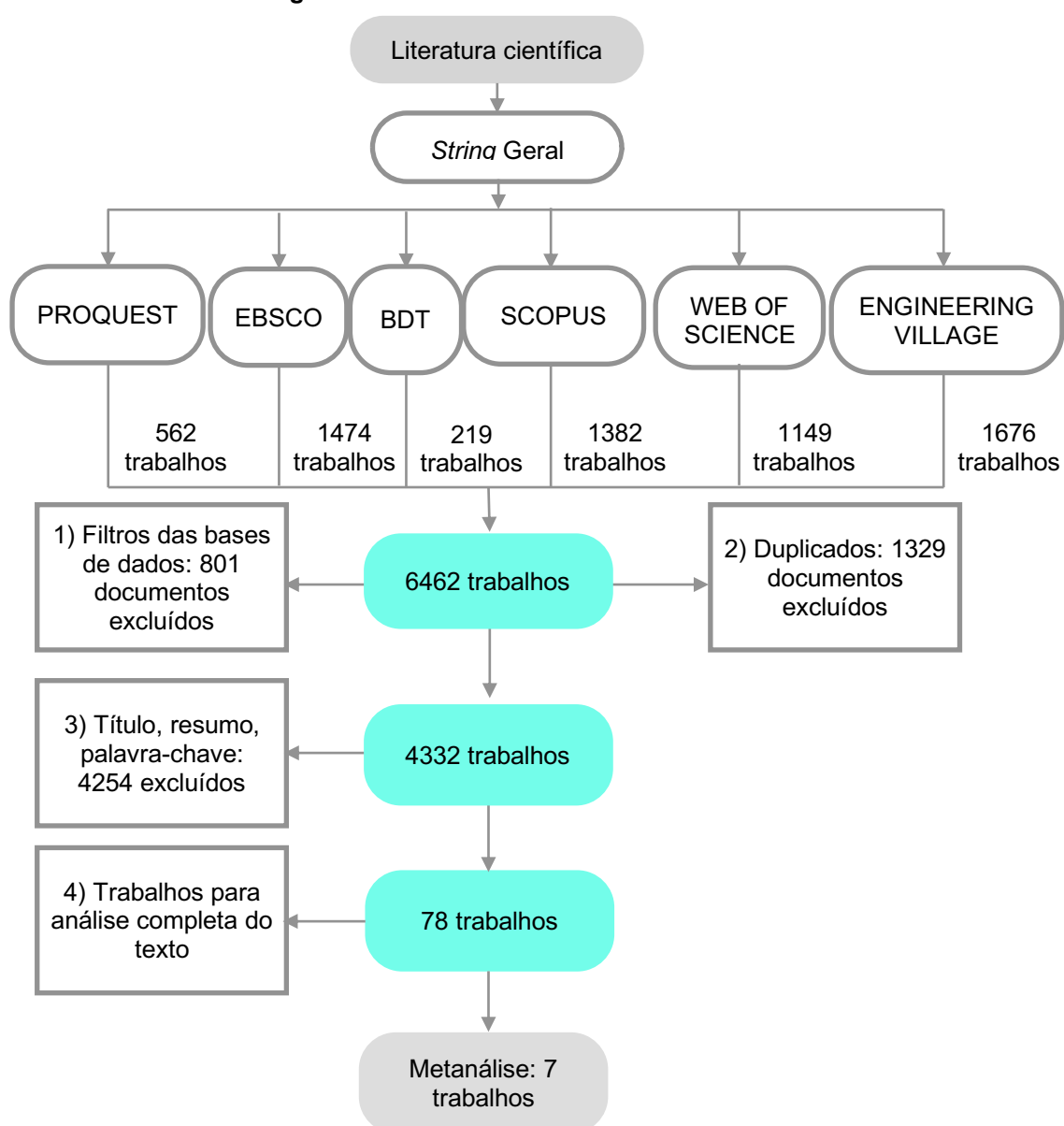
Escolheu-se a Revisão Sistemática (RS), pela abundância de trabalhos na literatura que tratam sobre o uso da madeira para fins provisórios em obras em alvenaria com estrutura em concreto armado moldado no local. Além disso, este tipo de pesquisa possui mecanismos de limitação de vieses, devido a existência de protocolo de buscas e a execução de modo pareado, fornecendo achados mais confiáveis (COCHRANE, 2021), que foram úteis como *constructo* para a elaboração dos instrumentos de coleta de dados e análise dos estudos de casos.

Para a elaboração da revisão sistemática tomou-se como base, o trabalho de Scanavinno *et al.* (2017), que fornece diretrizes para condução da revisão e com adaptações do *Reporting Standards for Systematic Evidence*

Syntheses (ROSES), de Haddway *et al.* (2017), que fornecem formulários com padrões para a elaboração de protocolos de RS, voltadas para a área de sustentabilidade e meio ambiente.

A revisão teve a colaboração do acadêmico de Engenharia Civil de Infraestrutura da UNILA, Erik Souto de Moraes, autor da pesquisa sobre avaliação de impactos ambientais do uso da madeira na produção de habitações no Brasil (MORAES, 2018), de modo a torná-la uma RS - pareada. O resumo do método empregado para a execução da RS encontra-se no detalhamento que é apresentado na sequência (Figura 11).

Figura 11 – Detalhamento da Revisão Sistemática



Fonte: autor (2022).

Para a busca dos artigos foram selecionadas as plataformas *Scopus*, *EBSCO*, *Web of Science*, *Proquest* e *Engineering Village*, contando com o acesso Portal de Periódicos²³ fornecido para alunos da universidade pública federal.

Para responder as perguntas já elencadas, a *string*²⁴ de pesquisa foi elaborada, sendo adaptada a depender da base em uso, pois há variações das estruturas da linguagem de pesquisa de cada base.

A estratégia de busca contou com cinco etapas, sendo elas: o estabelecimento da *string* geral, adaptada para cada base de dados; a aplicação de critérios de inclusão e exclusão; a eliminação de duplicidade; o uso de procedimentos de triagem dos estudos e estratégia de avaliação crítica.

Para criar-se a *string*, buscou-se termos que respondiam aos seguintes questionamentos: considerando o sistema construtivo em alvenaria com estrutura em concreto armado moldada no local, o emprego da madeira em fins temporários dentro de canteiro de obra e dados de estudos de casos, quais são os produtos de madeira de uso provisório e suas aplicações? Quais os de uso estrutural permanente? Quais os indicadores de consumo da madeira? Quais os indicadores de geração de resíduos deste material? Quais as características do uso do material neste sistema construtivo (origem, destino, taxas de reuso, taxas de incorporação, taxas de descarte, taxas de desperdício)?

Utilizou-se então a base de dados *Scopus*, inserindo a seguinte *string*: (“*construction*” “*waste*”) OR (“*construction*” “*residential buildings*”), sem utilizar nenhum tipo de filtro (limitação por país, tipo de documento, ano etc.)

Cinco artigos foram recuperados, contendo informações que respondiam as perguntas apontadas acima, sendo eles: Mah, Fujiwara e Ho (2016); Lu *et al.* (2011); Li *et al.* (2013); Borja *et al.* (2018); Kern *et al.* (2018). Estes artigos foram então inseridos na base de dados *Engineering Village*, que fornece uma ferramenta de verificar os termos controlados adotados para indexação de tais artigos.

Os termos controlados, palavras-chaves, e algumas palavras

²³ Acesso garantido pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) a instituições da rede da Comunidade Acadêmica Federada (Cafe).

²⁴ Cadeias de caracteres com linguagem computacional específica para a base de dado da busca, buscando por termos nos títulos, resumos e palavras-chaves quando possível.

dos títulos e resumos destes artigos, além de outras palavras que pudessem referir a estudos sobre as perguntas colocadas, foram combinadas, para obter-se todos os cinco artigos, limitando-se a *string* a um retorno máximo de 2000 artigos por base de dados (Quadro 1).

Quadro 1 – Detalhamento da *string* geral utilizado nas buscas

Busca por títulos, palavras chaves e resumos	Comando	String de busca
Variações das áreas de interesse do estudo em relação ao uso da madeira como material de construção	AND	("construction sector" OR "construction sites" OR "construction projects" OR "construction industry" OR "construction and demolition" OR "C&D" OR "CW" OR "construction waste")
Variações de métodos construtivos associados à madeira como material de uso temporário ou métodos de estudos que levantam quantitativos de consumo de e geração de resíduos de materiais	AND	("conventional" OR "concrete" OR "masonry" OR "prefabricat*" OR "tipolog*" OR "construction methods" OR "BOQ" OR "case stud*" OR "WGA" OR "MWR" OR "on-site" OR "in-situ" or "off-site ")
Objetivos dos resultados dos estudos que quantificam consumo e resíduos de materiais em obra	AND	("concrete form" OR "tempora*" OR "falsework" OR "formwork" OR "residues" OR "wood*" OR "plywood" OR "sawnwood" OR "timber" OR "landfill" OR "natural resources" OR "material wast*" OR (environment* PRE/3 (impacts OR performance OR problem OR pollution))
Problemas abordados pelo estudo	AND	("audit" OR "factors" OR "indicators" OR "management" OR "index" OR "stream" OR "kg/m ² " OR "m ³ /m ² " OR "compar" OR (wast* PRE/4 generat*) OR (consum* PRE/4 resources) OR (generat* PRE/4 (rates OR material) OR (quanti* PRE/5 wast*))
Termos indesejados na busca	NOT	("oil" OR "earthquake" OR "seismic" OR "strength" OR "stress" OR "pressure" OR "failure" OR "shear" OR "health" OR "mechanical" OR "asphalt" OR "scheduling", "robotics")

Fonte: autor (2022).

Os critérios de inclusão e exclusão de estudos foram adotados na fase inicial da busca, resultando na exclusão de 801 artigos (Figura 11). Para isso, utilizou-se filtros automáticos das bases de dados como tipo de publicação, áreas do conhecimento e língua (Quadro 2). Esses critérios foram definidos com base no objetivo da RS.

Quadro 2 – Filtros automáticos das bases de dados

Critério	Inclusão	Exclusão
Tipo de Publicação	Periódicos acadêmicos, procedimentos e trabalhos de conferências, dissertações e Teses	Qualquer outro tipo de publicação (livros, resumos, revisões, patentes, notas comentários etc.)
Língua	Inglês, português e espanhol	Quaisquer outras línguas
Cobertura temporal	Qualquer ano	-
Áreas do conhecimento	Construção Civil	Áreas não correlatas (Psicologia, alimentos etc.)

Fonte: Autor (2022).

Depois disto, a ferramenta *Mendeley*²⁵ foi utilizada para a exclusão dos artigos duplicados, totalizando 1329 artigos excluídos (Figura 11). Os arquivos identificados como duplicados foram então verificados manualmente 1 a 1, e estabelecido, após confirmação da sua duplicidade, a exclusão destes.

Com isto, utilizou-se um procedimento de triagem que consistiu na leitura dos resumos de 4103 artigos, seguindo um processo pareado com base em critérios de elegibilidade (Quadro 3).

²⁵ Ferramenta de gerenciamento de referências, sendo utilizada a versão 1.19.6 para *desktops*, encontrada no site: <https://www.mendeley.com/download-desktop-new/>.

Quadro 3 – Critérios de elegibilidade para leitura do texto completo

Temas	Orientações
Características do estudo	Os estudos devem fornecer dados primários, caracterizados como estudos de caso, eliminando assim aqueles estudos baseados somente em dados de outros trabalhos
Tipos construtivos	Os estudos devem abordar canteiros de obras de projetos de casas térreas ou sobrados, condomínios residenciais horizontais ou verticais que possuam estrutura em concreto armado e envoltória externa em blocos, cerâmicos ou de concreto. Não serão considerados estudos sobre obras que não sejam de habitação ou mistos (habitação + comércio/escritórios/serviços etc.)
Etapas da obra	Os estudos devem considerar madeira de uso provisório utilizada em pelo menos um outro elemento da superestrutura além daqueles relacionados a fundação
Uso da madeira	Os estudos devem quantificar a madeira, seja como material construtivo ou resíduos

Fonte: Autor (2022).

Nesta etapa, os pesquisadores compararam as inclusões que seguiram para leitura do texto completo, de modo a levantar e sanar possíveis divergências, diminuindo assim o viés de escolha. O autor da dissertação identificou 85 artigos e o pesquisador externo, 94, que julgaram respeitar os critérios de elegibilidade. Após discussões em grupo baseadas nos critérios de elegibilidade chegaram-se a um total de 79 artigos para leitura completa.

Posteriormente a seleção dos estudos que foram lidos na íntegra, além de verificar se os critérios de elegibilidade foram atendidos, os estudos passaram por uma avaliação crítica com base em critérios de qualidade, apresentados a seguir (Quadro 4).

Quadro 4 – Avaliação crítica dos estudos

Crítérios	Descrição
Fonte dos dados	Os dados devem ter pelo menos duas origens: entrevistas e análise da documentação/registros de obras. Estudos baseados somente em uma fonte de dado primário (ex.: análise das plantas, entrevista etc.) não serão considerados
Principais achados	As etapas construtivas consideradas devem estar claras, bem como pelo menos um produto de madeira para fins provisórios deve ser mencionado
Resultados	Os resultados devem ser quantitativos, trazendo porcentagem dos resíduos de produtos de madeira em relação aos demais resíduos ou a quantidade de consumo/resíduo por área construída. Aqueles estudos que não apresentem os resultados nesses formatos, porém que apresentem quantitativos de madeira e/ou área construída de modo a possibilitar o cálculo da porcentagem de resíduo de madeira, os indicadores de consumo/resíduo de madeira, (Kg/m^2) ou (m^3/m^2) serão considerados

Fonte: Autor (2022).

Todos os estudos excluídos nessa etapa da RS tiveram os motivos da exclusão descritos, de modo a demonstrar quais dos critérios (elegibilidade ou qualidade) não foram atendidos (Apêndice A).

Concluído os passos supracitados, seguiu-se para a síntese dos achados, por meio de uma metanálise híbrida (qualitativa e quantitativa), indicando, dentre outras informações que caracterizam o uso de madeira para fins provisórios em edifícios residenciais verticais e do tipo casa, construídos em alvenaria com estrutura em concreto armado, os indicadores de consumo (entradas) e geração de resíduos (saídas) de madeira para os estudos avaliados.

3.2.2 Análise Baseada em Dados Primários – Estudo de Casos Múltiplos

Esta análise surgiu da necessidade de se encontrar dados sobre o uso da madeira para construção em alvenaria convencional e estrutura em concreto armado moldada *in loco*, em especial de moradias do tipo casa que é principal tipo de domicílio do estoque brasileiro (IBGE, 2021).

Com os dados da metanálise, estabeleceu-se o Protocolo de Coleta de Dados (Apêndice C), que fornece procedimentos para coletar-se informações como características das edificações; fluxo de produtos de madeira de uso transitório; características do material e de seu uso em canteiro de obra.

A leitura dos trabalhos da revisão sistemática possibilitou identificar as unidades de medida de interesse (empresa, edificação e canteiro de obra), as variáveis de interesse (número de peças consumidas, área construída etc.) e as possíveis fontes de informações (Quadro 5).

Quadro 5 – Protocolo de pesquisa - perguntas dos estudos de casos

Área de Contexto	Unidade de Medida	Variáveis a serem respondidas pela pesquisa	Procedimento / Fonte de Informação
Caracterização da empresa	Empresa	Atuação da empresa, público-alvo, profissional responsável	Entrevista
Caracterização da edificação	Edificação	Casas: Área construída, número de pavimentos no subsolo, número de pavimentos, número de cômodos, tipo de cômodo (banheiro, sala, quarto etc.), número de unidades habitacionais (quando geminadas), material constituinte da parede interna e externa, material de telhado	Entrevista, Projeto arquitetônico
Estimativa do fluxo de material	Canteiro de obra	Variáveis necessárias para estimar o fluxo de madeira de uso permanente e provisório em obra (entradas e saídas): Número de peças, dimensões das peças, produto de madeira (madeira serrada, placas de compensado etc.) com o objetivo de determinar a densidade do material, porcentagem de madeira perdida antes do primeiro uso (deformidades que comprometam a estanqueidade e cortes para adaptação que dimensiona a sua função), porcentagem de reuso em outra obra, porcentagem de madeira incorporada neste canteiro de obra (cobertura, fundação etc.), porcentagem de madeira descartada (aterro, doação etc.)	Entrevistas, notas fiscais, informações sobre a obra, fotos
Identificação das características dos produtos e do uso destes na construção	Canteiro de obra	Determinação de variáveis que ajudem a identificar as características do fluxo do material em canteiro de obra: Produto de madeira usado e tipo de uso (tapume, escora, sistema de fôrmas, instalações provisórias, sistema de segurança, estrutura de telhado etc.), espécie da madeira (quando se trata de toras ou madeira serrada), qualidade inicial da peça (nova, usada, verde, seca), qualidade final da peça (própria para reuso, descarte), existência de depósito coberto para a madeira após o uso	Entrevista, notas fiscais, informações sobre a obra, observações <i>in loco</i> , fotos

Fonte: autor (2022).

A estrutura deste protocolo foi baseada no livro de Cauchick (2012), que aborda metodologias de pesquisa na área de engenharia da produção, com exemplos de procedimentos de elaboração de estudos de casos múltiplos.

O livro e o quadro citado permitiram a elaboração do roteiro de perguntas, que depois foi testado num procedimento de teste piloto, indicado pelo autor da obra e adaptado para a presente pesquisa (Apêndice B), discutido em detalhes mais adiante.

Na fase de seleção das empresas, buscou-se por aquelas que, realizassem obras residenciais ou mistas, com envoltórios externos em blocos cerâmicos ou de concreto e estrutura em concreto armado moldada *in loco*.

Inicialmente, teve-se como alvo as principais construtoras do país. Para isso, acessou-se o *site* da INTEC²⁶, que promove anualmente o *ranking* INTEC com as 100 maiores construtoras nacionais. Eles contam com *call center* que contacta construtoras de todo o país, as quais fornecem dados como metragem quadrada de área construída e tipo de edificação por exemplo (Construções industriais, residenciais etc.).

Após a identificação destas construtoras visitou-se seus *homepages* através da ferramenta de busca *google*²⁷. O contato deu-se inicialmente por um telefonema ao número disponibilizado nestas *homepages*, seguindo os passos estabelecidos no protocolo de coleta de dados, item 1 (APÊNDICE C).

Nesta fase, diversas foram as limitações encontradas para o desenvolvimento do relacionamento e prosperar da coleta, dentre eles: a pandemia da *COVID* - 19, que reduziu a disponibilidade dos responsáveis técnicos em escritório, dificultando o procedimento da comunicação; a negativa em participar, por já estar participando de outros grupos de pesquisas, vinculados a outras instituições; a falta de autorização dos superiores a compartilhar tais dados, devido a motivos como indisponibilidade de algum agente interno para organizá-los; o receio de compartilhamento dos dados, por considera-los sensíveis.

²⁶ Home page da INTEC: <https://www.intecbrasil.com.br/site/>.

²⁷ Identificou-se construtoras que possuíam obras residenciais ou mistas através da busca de suas *homepages* no site: <https://www.google.com/>.

As tentativas foram feitas no período de 06/2021 a 09/2021, com as 100 empresas, identificando o contato telefônico para conversa com os responsáveis pelos dados em 24 empresas, sendo todas infrutíferas ou desqualificadas para execução da pesquisa.

Partiu-se então para contatos dentro da *network* do pesquisador e dos professores do PPGECI – UNILA. O procedimento de contato foi o mesmo empregado para as empresas de grande porte. A seleção das companhias considerou o perfil de profissionais dentro da *network*, engenheiros/arquitetos/mestres-de-obras, autônomos, funcionários ou donos de sua própria empresa²⁸ (escritórios de arquitetura, engenharia civil, construtoras). A seleção dos participantes iniciou-se 10/2020 e ocorreu até 02/2022.

Após a seleção das empresas, elegeu-se os canteiros de interesse. Além de serem obras residenciais ou mistas, com envoltória em tijolos, blocos cerâmicos ou de concreto, e estrutura em concreto armado, as obras precisavam ter, preferencialmente, concretagem *in loco* dos elementos da estrutura e disponibilização de documentos como nota fiscais das peças de madeira ou anotações de compras deste material, além da possibilidade de entrevista com os responsáveis pelos trabalhos com madeira que tenham condições de responder a perguntas a respeito do fluxo deste material dentro do canteiro de obra (Apêndice C).

Escolheu-se, num primeiro momento como meio de coleta de dados um contato virtual, devido à pandemia da COVID-19. Este contato se deu por *Facebook*, *WhatsApp*, *Instagram*, *Messenger* e trocas de *e-mails* por facilitar a troca de informações e permitir registros dos contatos realizados. As mensagens trocadas tiveram como base o protocolo de coleta de dados (Apêndice – C) e o roteiro de entrevistas (Apêndice – B).

Posteriormente, tentou-se visitar parte das obras (aquelas não concluídas), tendo-se em mãos o protocolo e o roteiro de entrevistas, respondendo às perguntas ali discriminadas e verificando visualmente e registrando (fotos), sempre que pertinente fosse, as informações prestadas pelos entrevistados (ex.: existência de local protegido das intempéries para depósito de madeira, qualidade superficial dos materiais de madeira etc.).

²⁸ Empresas de comércio e serviços de porte máximo médio, caracterizadas por até 99 empregados, (SEBRAE, 2006).

Este procedimento teve que ser abortado, devido à pandemia da COVID 19 em vigor, e foi substituído por entrevistas completamente virtuais, com solicitação, aos entrevistados, de fotos, projetos (arquitetônico, estrutural), notas fiscais, anotações de compra, e as perguntas sobre estratégias de melhora no uso do material, constantes no protocolo e no roteiro de entrevista - questionário (Apêndice B).

As primeiras entrevistas completas ocorreram em três canteiros de obras de duas empresas diferentes, apresentadas nas tabelas 9, 10, 11 e 12. Após o aceite dos participantes, o contato se deu semanalmente, seguindo, nessa ordem, a coleta dos projetos, dos registros de quantidades de produtos de madeiras (notas fiscais, quantitativos) e a aplicação das perguntas (APÊNDICE B e C).

Como o contato foi virtual, as mensagens trocadas compuseram os registros dos dados brutos fornecidos. Estes foram salvos em arquivos de *PDF*, *Excel*, Imagens (Fotos das obras) e em nuvem (mensagens).

Com o objetivo de limitar o viés do pesquisador, o protocolo de entrevista foi consultado sempre que alguma dúvida surgia, com o intuito de confirmar se as variáveis necessárias para o estudo estavam sendo extraídas através dos dados fornecidos pelo contato.

Para produção do relatório de resultados, os dados brutos coletados foram tabulados através do software *Excel*, tendo em seu cabeçalho uma construção que representa as variáveis propostas pelo APÊNDICE C, dividido em três temas centrais: caracterização dos casos; fluxo do material; características do uso.

3.2.2.1 *Caracterização dos casos*

Os casos foram caracterizados quanto ao tipo construtivo a partir da análise de seus projetos arquitetônicos/estruturais, fornecidos pelos responsáveis pelas obras. Identificou-se: área construída; tipo de edificação (Sobrado, casa etc.); número de habitação por canteiro; número e tipos de cômodos de cada projeto, a fim de identificar-se o padrão construtivo (ABNT 2005); localização (cidade/estado); existência ou não de elementos especiais em

concreto armado moldado *in loco* (pergolado, beirais, escadas, laje maciça etc.), tipo de telhado (leves ou pesados, conforme o material da telha); comprimentos de paredes.

3.2.2.2 Fluxo material

O material consumido em obra, definido como “entradas”, foi obtido a partir da análise de: notas fiscais, planilhas de compras e entrevistas com fornecedores de materiais.

As notas fiscais e planilhas de compras apresentavam informações como: produtos (madeira serrada; escoras; painéis de madeira); espécies (Pinus, Cambará; Araucária); todas as dimensões (Comprimento X Largura X Altura) quando dado número de peças, apenas metro linear e seção transversal (Largura X Altura) ou volume do produto; número de escoras, altura e diâmetro.

Em muitos casos as escoras não possuíam notas fiscais pois eram fornecidas como parte do produto “lajes treliçadas”. O profissional informante do canteiro fornecia o número e a altura das escoras enquanto seu diâmetro foi estimado pelos donos do material (empresa de lajes treliçadas).

Cada indicador obtido para representar o seu respectivo fluxo foi calculado a partir da relação volume (m³) dividido por área construída (m²). A área construída bem como as demais informações arquitetônicas/estruturais pertinentes tiveram como fonte os projetos técnicos presentes no Apêndice F.

As entradas foram reportadas em volume de produto de madeira por área construída (Equação - 1), seguindo as equações 1), 2) e 3) para estimativa dos fluxos de produtos de madeira serrada, e painéis de madeira. Para estimativa das entradas de escoras seguiu-se as equações 1) e 4). A soma de todos os fluxos de entrada de madeira resultou no fluxo total de entradas de madeira (Equação - 5).

$$E_n = \frac{VE_n}{A_{construída}} \quad 1)$$

$$VE_n = n^o \times C \times L \times A \quad 2)$$

$$VE_n = C \times A \quad 3)$$

$$VE_n = \pi \times \left(\frac{D}{2}\right)^2 \times C \quad 4)$$

$$E_t = \sum_i^n E_n \quad 5)$$

Onde:

E_t : Entrada total de madeira (m^3/m^2);

E_n : Entrada de madeira para cada tipo de produto (n) (m^3/m^2);

n : Tipo de produto (madeira serrada bruta, toras ou painéis de madeira);

VE_n : Volume de cada tipo de produto que entrou no canteiro (m^3);

$A_{construída}$: Área construída;

n^o : número de peças de madeira;

C : Comprimento (m);

L : Largura (m);

A : Altura (m);

S : Seção transversal da peça de madeira (m^2);

D : Diâmetro das escoras (m).

O material novo incorporado estava indicado apenas nas planilhas de compra, e por este motivo, para aqueles casos em que foi fornecido somente nota fiscal, os profissionais responsáveis pelas informações indicaram quais e quantas peças de madeira foram incorporadas na estrutura de telhado, de modo que apenas madeira serrada foi incorporada nesta fase. O material que foi inicialmente utilizado de modo provisório e posteriormente foi incorporado também foi obtido através das declarações dos entrevistados. Assim, o cálculo do fluxo de madeira incorporada seguiu as equações 6), 7), 8) e 9).

$$I_n = \frac{VI_n}{A_{construída}} \quad 6)$$

$$VI_n = n^o \times C \times L \times A \quad 7)$$

$$VI_n = C \times S \quad 8)$$

$$I_t = \sum_i^n I_n \quad 9)$$

Onde:

I_n : Madeira incorporada por tipo de produto (n) (m^3/m^2);

VI_n : Volume de produto incorporado por tipo de produto (n) (m^3);

$A_{construída}$: Área construída;

C : Comprimento (m);

L : Largura (m);

A : Altura (m);

S : Seção transversal da peça de madeira (m^2);

I_t : Total de madeira incorporada (m^3/m^2).

As saídas foram dadas em fluxos de reuso, para aqueles materiais que terão como destino outros canteiros de obras e serão reusados de forma provisória e resíduos, para os materiais que serão destinados ao aproveitamento energético (combustível) ou descarte (decomposição).

As informações de reuso vieram das entrevistas, em que os responsáveis pelas informações informavam o destino do material após o uso. Em alguns casos (obras autogeridas), o profissional responsável intermediava o diálogo com o dono da obra, que eram quem de fato tomava decisão sobre o reuso (peças de madeira serrada).

Neste momento, era informado a quantidade de peças ou a porcentagem do material de uso provisório que seria reusado. Quando informado o número de peças reusadas, estimou-se o fluxo a partir das equações 10) e 11) para os produtos de madeira serrada e 10) e 12) para as toras. Quando informado a porcentagem, seguiu-se as equações 10) e 12). O fluxo do total de material reusado em outra obra foi obtido pelo somatório dos fluxos de cada produto (Equação - 14).

$$R_n = \frac{VR_n}{A_{construída}}$$

$$VR_n = n^o \times C \times L \times A$$

$$VR_n = \pi \times \left(\frac{D}{2}\right)^2 \times C$$

$$VR_n = VE_n \times P_n$$

$$R_t = \sum_i^n R_n$$

Onde:

R_t : Reuso total de madeira (m^3/m^2);

- R_n : Reuso de madeira para cada tipo de produto (n) (m^3/m^2);
 VR_n : Volume de cada tipo de produto que será reusado em outro canteiro (m^3);
 P : Porcentagem de produto de uso provisório que será reusado em outro canteiro (%).
 $A_{construída}$: Área construída;
 C : Comprimento (m);
 L : Largura (m);
 A : Altura (m);
 S : Seção transversal da peça de madeira (m^2);
 D : Diâmetro das escoras (m).

Os fluxos de resíduos foram estimados a partir de balanço de massas, conforme as equações 15) e 16)

$$G_n = E_n - I_n - R_n$$

$$G_t = E_t - I_t - R_t$$

Onde:

- G_n : Geração de resíduos de madeira para cada tipo de produto (n) (m^3/m^2).
 E_n : Entrada de madeira para cada tipo de produto (n) (m^3/m^2);
 I_n : Madeira incorporada por tipo de produto (n) (m^3/m^2);
 R_n : Reuso de madeira para cada tipo de produto (n) (m^3/m^2);
 G_t : Geração total de resíduos de madeira (m^3/m^2);
 E_t : Entrada total de madeira (m^3/m^2);
 I_t : Total de madeira incorporada (m^3/m^2);
 R_t : Reuso total de madeira (m^3/m^2).

E por fim, o fluxo de saídas de madeira, também chamado de fluxo total de madeira de uso provisório, foi obtido pela soma do total de madeira reusada em outro canteiro e o total de resíduos gerados, visto na equação que se segue:

$$MP = RT + WT$$

Onde:

- M_p : Total de madeira de uso exclusivamente provisório (m^3/m^2);

R_t : Reuso total de madeira (m^3/m^2);

G_t : Geração total de resíduos de madeira (m^3/m^2).

3.2.2.3 Estatística descritiva dos fluxos

Amostras que apresentavam dados com distribuição normal, sem a presença de *outliers* e com valores extremos fisicamente possíveis ($\bar{x}+2*\sigma \neq$ valor negativo) foram reportados pelas médias e desvio padrão. Já aqueles dados que não se enquadraram nas premissas descritas acima foram reportados por suas medianas e quartis, discutindo os valores extremos.

Para aferir-se a normalidade das amostras dos fluxos usou-se teste de Shapiro-Wilk, mais indicado para amostras pequenas (entre 4 e 30 indivíduos), com taxa de confiabilidade de 95% (MIOT, 2017).

3.3 RESULTADOS

Os resultados da metanálise (dados da literatura) e dos estudos de caso (dados de entrevistas e análises de material documentado) são apresentados separadamente. Vale ressaltar que, além dos dados encontrados na Revisão Sistemática, o estudo de Angulo *et al.* (2015) foi encontrado em pesquisas posteriores e incluído nesta metanálise, por entender que este atendia aos critérios estabelecidos na RS.

3.3.1 Dados Secundários (Metanálise)

As principais características dos estudos selecionados foram: 38 obras verticais de 4 a 34 andares, residenciais em sua maioria²⁹; 1 sobrado residencial de 2 andares; sistema estrutural em concreto armado moldado *in loco* com de envoltório em blocos cerâmicos e de concreto; área total construída de pelo menos 246 a 381.160,0 m² (Tabela 2)

²⁹ O estudo de Ângulo *et al.*, (2015) apresenta dados de 12 obras, sendo 10 residenciais e duas comerciais.

Tabela 2 – Principais características físicas dos estudos de casos identificados na literatura

Referência	Local	Casos (canteiro de obra)	Área construída	Estrutura ^a	Envoltório		Pavimentos				Comércio/ serviço/ coletivo N°
							Total	Subsolo	Garage m	Residência	
							N°	N°	N°	N°	
Lu <i>et al.</i> (2011)	Shenzen (China)	1	184.678,00	CA	✓	✓	27	1	-	27	-
Lachimpadi <i>et al.</i> (2012)	Klang Valley (Malásia)	2	128.797,02	CA	✓	✓	*	*	*	*	*
Li <i>et al.</i> (2013)	Shenzen (China)	1	76.117,70	CA	✓	✓	34	2	-	-	-
Mah, Fujiwara e Ho (2016)	Malásia	6	535.464,00	CA	✓	✓	*	*	*	*	*
Borja <i>et al.</i> (2018)	Feira de Santana (Brasil)	2	4.055,40	CA	✓	-	23 – 29		2 – 3	20 - 25	1
Kern <i>et al.</i> , (2018)	Porto Alegre (Brasil)	14	84.077,10	CA	✓	✓	4 – 13	0 – 2	-	-	-
Ângulo <i>et al.</i> (2015)	Estado de São Paulo (Brasil)	12	381.160,00	CA	✓	✓	8 – 26	0 – 3	-	-	-
Idris, Rashid e Yusoff (2017)	(Kuala Lumpur) Malásia	1	246	CA	✓		2	-	-	-	-

Nota: A: Bloco cerâmico; B: Bloco de concreto; ^a Estrutura em concreto armado moldado *in loco*.

Fonte: autor (2022).

Os fluxos de madeira de uso provisório nos estudos da literatura para obras verticais se caracterizaram por: Entradas totais (ET) que variaram de 0,002 a 0,098 m³/m² e o Indicador de Geração de Resíduos (IGR) de 0,002 a 0,098 m³/m²; taxas de geração de resíduos de 80 a 100 %; taxas de reuso do material em outra obra de 0 a 20%. Foi identificado apenas um sobrado, com fluxo de madeira caracterizado por: ET de 0,109 m³/m²; IGR de 0,066 m³/m²; Incorporação (I) de 0,043 m³/m² (Tabela 3)

Tabela 3 – Consumo e geração de resíduos de madeira de uso provisório dos casos da literatura científica

Tipos de obras	Referência	Objeto do estudo	ET estimado (m ³ /m ²)			IGR estimado(m ³ /m ²)			Densidade (kg/m ³)
			média	mín.	máx.	média	mín.	máx.	
Obras residenciais (maioria) verticais, com a maioria de sua estrutura em concreto armado moldado <i>in loco</i>	Kern <i>et al.</i> (2018)*	Modelo de regressão linear para estimar a geração de resíduos de madeira de uso provisório em prédios altos, considerando fatores de design e de instalações provisórias	0,021	0,002	0,050	0,021	0,002	0,050	-
	Borja <i>et al.</i> (2018)	Modelo para estimativa de aspectos ambientais (consumo de materiais e geração de resíduos) em canteiros de obra	0,77*	0,056*	0,098*	0,77*	0,056*	0,098*	-
	Lachimpadi <i>et al.</i> (2012)	Estimativa da minimização da geração de resíduos em diferentes sistemas construtivos de prédios altos	0,038*	0,034*	0,042*	0,038*		0,042*	-
	Li <i>et al.</i> (2013)	Comparação de modelo preditivo de geração de resíduos da construção com dados primários	0,036*			0,028*			-
	Lu <i>et al.</i> (2011)	Quantificação de resíduos por separação e pesagem <i>in loco</i>	0,009*			0,009*	-	-	-
	Mah, Fujiwara e Ho (2016)	Estimativa de resíduos através do número de viagens do caminhão caçamba e separação <i>in loco</i> do material	0,064*	0,002*	0,098*	0,064*	0,002*	0,098*	-
	Ângulo <i>et al.</i> (2015)	Estimativa de volume de resíduos por meio de entrevista (m ³), calculando o indicador a partir da área construída (área de piso)	0,018	0,005	0,054	0,18	0,005	0,054	214
Total dos casos			0,031	0,002	0,098	0,030	0,002	0,098	
Sobrado em estrutura em concreto armado moldado <i>in loco</i>	Idris, Rashid e Yusoff (2017)	Estimativa de consumo e geração de resíduos de madeira (formas) a partir de planilhas de quantitativos	0,109	-	-	0,066	-	-	-

Nota: * todos estes IGR foram convertidos de kg para m³ (densidade = 214kg/m³), média entre os valores 178kg/m³ (MÁLIA, 2010) e 250 kg/m³ (CARELLI, 2008), usada por Ângulo *et al.* (2015); Li *et al.* (2013) estima que 20% da madeira usada para fins provisórios foi reusada em outras obras para o mesmo fim, sendo os resíduos 80% da madeira que entrou; Idris, Rashid e Yusoff (2017) declaram que 0,043 m³ da madeira que entrou foi incorporada na cobertura.

Legenda: ET Entradas totais; IGR = Indicador de geração de resíduos; CA = Concreto armado moldado *in loco* com envoltória em alvenaria; OV = Obras verticais multifamiliares.

Fonte: autor (2022).

Alguns dos estudos trouxeram quantidades de consumo (BORJA, *et al.*, 2018; LI *et al.*, 2013; IDRIS, RASHID e YUSOFF, 2017) e geração de resíduos, e outros somente a quantidade de resíduos gerados (ÂNGULO *et al.*, 2015; MAH, FUJIWARA, HO, 2016; KERN *et al.*, 2018; LACHIMPADI *et al.*, 2012; LU *et al.*, 2011). Para os últimos citados, considerou-se que a entrada seria igual a saída, o que desconsidera possibilidade de incorporação (estrutura de telhados) e reuso do material em outros canteiros.

Da literatura, as características identificadas do uso transitório de madeira foram: consumo de produtos como madeira serrada, madeira compensada, placas OSB e toras; uso de espécies pinus, eucaliptos e cedro; material de baixa qualidade inicial e deteriorado após o uso; reuso de 2 a 7 vezes dentro do mesmo canteiro de obras; participação no total de resíduos de 17 a 45% do RCD gerado em obra (Tabela 4).

Tabela 4 – Principais características do uso de madeira para fins permanente e transitórios identificados na literatura

Referência	Produtos	Espécie	Aplicação em obra	Qualidade inicial	Qualidade final	Reuso	Participação no material consumido	Participação no Resíduo Gerado em Obra
						N°	%	%
Lu <i>et al.</i> (2011)	Madeira serrada	-	Fôrmas e elementos de proteção	-	Deteriorado	5–6	-	-
Lachimpadi <i>et al.</i> (2012)	Madeira serrada e painéis	-	Fôrmas, elementos de proteção, tapumes, e outros	Baixa qualidade	-	2–3	-	17 em peso
Li <i>et al.</i> (2013)	Madeira serrada e painéis	-	Fôrmas	-	-	7	-	18,7 em peso
Mah, Fujiwara e Ho (2016)	Madeira serrada e madeira compensada	-	Fôrmas e elementos de proteção	-	-	-	-	25-45 em peso
Borja <i>et al.</i> (2018)*	Compensado plastificado, resinado, madeira serrada	-	Formas, tapumes e outros	-	-	-	2–3	-
Kern <i>et al.</i> (2018)*	Madeira serrada, compensada, OSB e toras	Pinus, cedrinho, eucalipto	Fôrmas, elementos de proteção, tapumes e outros	Baixa qualidade e boa qualidade	-	2–3	-	-
Ângulo <i>et al.</i> (2015)	Madeira serrada, compensada, OSB	-	Fôrmas, elementos de proteção, tapumes e outros	-	-	-	-	-
Idris, Rashid e Yusoff (2017)	Madeira serrada	-	Fôrmas e estrutura de telhado	-	-	-	-	-

Fonte: autor (2022).

Os produtos de madeira representaram uma pequena fração dos materiais consumidos, com taxas que variam de 2 a 3% (BORJA *et al.*, 2018). Devido a sua característica de uso provisório, identificou-se que as parcelas de produtos de madeira que se tornam resíduos ao final de sua vida variam de 80³⁰ a 100% (BORJA *et al.*, 2018; LI *et al.*, 2013).

Grandes painéis de madeira foram coletados e revendidos para compradores de segunda-mão ou companhias de reciclagem. No entanto, parte do material deteriorado e restos de recorte de madeira foram misturados aos demais resíduos, sendo descartado como RCD (LI *et al.* 2013)

O uso disseminado do material para formas de concreto armado foi explicado pelo seu baixo custo, disponibilidade local, leveza e facilidade do corte, proporcionando possibilidade para se personalizar, in loco, os moldes para concretagem de elementos estruturais como pilares, vigas, lajes e outros (LACHIMPADI *et al.*, 2012; LI *et al.*, 2013). A falta de padronização dos formatos dos projetos das edificações foi um importante agente, responsável pelo aumento do consumo e geração de resíduos de madeira, pois estes, requerem formas de diferentes tamanhos, dificultando a aplicação do reuso (TAM SHEN, TAM, 2007).

A baixa qualidade do material de madeira foi outro fator relevante na explicação da quantidade de resíduos gerados em obra, pois afetou diretamente a quantidade possível de reuso das peças, reduzindo o reuso, demandando mais consumo do material (LI *et al.*, 2013).

Estima-se que perdas do material de fôrmas durante a construção é de 5% (manuseio), com tudo seu processamento (recortes) pode implicar em perdas que variam de 6,67 % (pilares e paredes autoportantes) a 28,07% (cintas de amarração) (HAO *et al.*, 2021³¹).

As variações consumo e conseqüente geração excessiva de resíduos de madeira também foram explicadas pelo manuseio e estoque inadequado deste material em canteiro, afetando diretamente a qualidade das peças pós uso, dificultando o reuso (LU *et al.*, 2011).

³⁰ Neste estudo, 80% se tornaram resíduos pois os outros 20% de madeira consumida no canteiro foi usada em outros projetos de construção (LI *et al.*, 2013).

³¹ De acordo com o “*Department of Housing and Urban-Rural Construction of Shandong Province*” (2016).

Ainda, o volume de concreto consumido e o número de andares dos edifícios estiveram diretamente relacionados a quantidade de resíduos de madeira gerados, devido: ao volume de concreto estar relacionado as atividades de moldagem de concreto *in loco*, fazendo com que os canteiros de maior intensidade de consumo do material consumissem mais fôrmas, gerando mais resíduos de madeira; o número de possibilidade reuso, por haver repetição dos pavimentos tipo (KERN *et al.*, 2018).

A autora elenca que a substituição de sistema de proteção coletiva em madeira por elementos não provisórios (ex.: metálicos), além da troca de estruturas de escritório em madeira por containers tem o potencial de reduzir em 50% a quantidade de resíduos gerados pelos canteiros (KERN *et al.*, 2018).

Outras medidas para redução da quantidade de resíduos gerados são: adoção de planos de corte para peças de compensados (MOSSMANN, 2011); uso de fôrmas de melhor qualidade; substituição de elementos de concreto armado moldado *in loco* por elementos pré-fabricados, armazenamento adequado do material após uso (ÂNGULO *et al.*, 2015), de modo a permitir boas condições do material não deteriorada para reuso de modo provisório em outros canteiros, como descrito por Li *et al.* (2013).

Quando considerado a quantidade de resíduos gerados em quilogramas, a participação da madeira aumenta consideravelmente, de 17 a 45 % em peso do total dos resíduos gerados nas atividades de construção (HAO *et al.*, 2021; LI *et al.*, 2013), correspondendo a um dos principais resíduos, atrás apenas do concreto (43,5%), em um dos estudos, com valores inferiores para barras de aço (9,8%) argamassa (8,4%), blocos cerâmicos (8,4%) e pisos cerâmicos (1,2%) (LI *et al.*, 2013).

Além dos motivos já citados para uma maior geração de resíduos de madeira nos canteiros de obra, a falta de separação *in loco*, dos materiais para descarte dificulta o reuso do material. No canteiro estudado por Li *et al.* (2013), somente os grandes painéis de madeira eram revendidos, devido a inviabilidade de separar as peças menores de madeira misturadas e descartadas junto a outros resíduos sólidos.

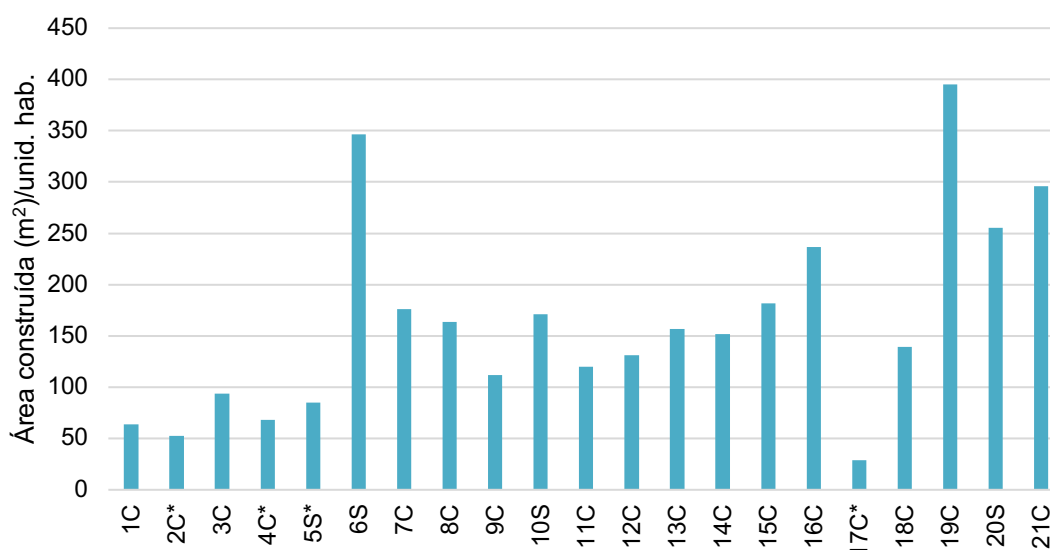
3.3.2 Dados Primários (Estudo de Casos)

Apresenta-se a seguir os estudos de casos múltiplos, com tópicos sobre a descrição dos casos, entradas, saídas e resumo dos fluxos de madeira levantados (madeira de uso provisório e madeira de uso permanente).

3.3.2.1 Descrição dos Casos

Os estudos de casos múltiplos contemplam obras unifamiliares majoritariamente casas não geminadas (C) (66,7%), seguidas por casas geminadas (C*) (14,3%), sobrados não geminados (S) (14,3%), e apenas um par de sobrados geminados (S*) (4,8%) (Gráfico 9).

Gráfico 9 – Casos estudados conforme o tipo e a área construída



Fonte: autor (2022).

Alguns projetos se enquadravam em padrões construtivos estabelecidos pela NBR 12721 (ABNT, 2006), como: “Residência Padrão Popular (RP1Q)” 17C* “Residência Padrão Alto (R1-A)” (16C); “Residência Padrão Normal (R1-N)” (15C). Outras não condiziam com a classificação, por apresentarem distribuição de cômodos únicas (dois dormitórios suítes – 1C), ou por falta de algum elemento para enquadramento em alguma das categorias, como os casos 13C e 14C, que reúnem quase todos os requisitos para serem classificados como R1-N, mas possuem *closet* em suas suítes. Por estas razões,

não se agrupou as construções do tipo caso segundo os padrões construtivos.

As características físicas das construções são: obras em alvenaria convencional de blocos cerâmicos; estrutura (pilares, vigas e fundações) em concreto armado moldado *in loco*; apenas uma obra em forro PVC, com o restante em lajes treliçadas; presença de elementos especiais em concreto armado moldado no canteiro de obras; telhas de fibrocimento (42,9%), metálicas (38,1%), cerâmicas (9,5%) e de concreto (4,8%) (Tabela 5).

Tabela 5 – Características de projeto das construções estudadas e aplicações da madeira

Caso s	Unid. Hab. (n)	Área (m ²) / Unid.	Cômodo s (n°)	Telhado (leve ou pesado)	Elementos especiais ^a	Estruturas em madeira (x)				
						Sistemas de fôrmas	Escoramento	Canteiro	Tapume	Telhado
1C	1	64,00	7,00	Leve	Não	x	x	-	-	x
3C	1	94,00	9,00	Leve	Sim	x	-	-	-	x
7C	1	175,80	12,00	Pesado	Sim	x	x	-	-	x
8C	1	163,72	10,00	Leve	Sim	x	x	-	-	x
9C	1	111,70	8,00	Pesado	Sim	x	x	-	-	x
11C	1	120,02	7,00	Leve	Sim	x	x	-	-	x
12C	1	131,30	9,00	Leve	Sim	x	x	-	-	x
13C	1	156,51	9,00	Pesado	Sim	x	x	-	-	x
14C	1	151,87	13,00	Pesado	Sim	x	x	-	-	x
15C	1	181,53	7,00	Leve	Sim	x	x	-	-	x
16C	1	236,39	13,00	Leve	Não	x	x	-	-	x
18C	1	139,02	9,00	Leve	Sim	x	x	x	x	x
19C	1	395,20	14,00	Leve	Sim	x	-	-	-	-
21C	1	295,80	12,00	Leve	Sim	x	x	x	x	-
Média	1	172,63	9,93							
2C*	3	52,67	4,00	Leve	Não	x	x	-	-	x
4C*	2	47,00	7,00	Leve	Sim	x	x	-	-	x
17C*	4	34,22	3,00	Leve	Não	x	x	-	-	x
Média	3	44,63	4,67							
6S	1	346,70	16,00	Leve	Sim	x	-	x	x	x
10S	1	170,99	11,00	Leve	Sim	x	x	-	x	x
20S	1	255,64	14,00	Leve	Sim	x	x	-	x	x
Média	1	257,78	13,67							
5S*	2	84,97	6,00	Leve	Sim	x	x	-	x	x

NOTA: ^a edificações com elementos especiais de concreto armado são aquelas com beirais, pergolados, escadas e lajes maciças; Construções com estruturas moldadas *in loco*, com quase a totalidade das unidades com laje treliçada (3C – forro PVC); construções cobertas por telhas leves e maiores (fibrocimento e Galvanizada) ou telhas menores e pesadas (concreto e cerâmica).

Fonte: autor (2022).

A tabela também informa as principais aplicações dos produtos de madeira, contudo, outras importantes aplicações foram verificadas, como guias para locação da obra, requadro de esquadrias e outros usos provisórios

O número de cômodos³² variou de três, para casas geminadas de um quarto, sala e cozinha (os três ambientes integrados), banheiro e área de serviços de 17C* (RP1Q), a dezesseis cômodos (6S), em residência de alto padrão, superior a (R1-A), contando com quatro suítes, sendo três com *closets* e dois com sacadas individuais (ABNT, 2005).

São obras localizadas no Paraná, sendo a região oeste do estado predominante. A maior parte das obras iniciaram-se em 2020 (61,9%), seguido por 2021 (28,6%), sendo apenas uma obra (4,8%) iniciada em 2019 (16C) e outra (4,8%) em 2014 (20S) (Tabela 6).

³² Compartimento coberto e envolto por paredes, com exceção de: corredor, varanda, alpendre, garagem e outros não residenciais (IBGE, 2010).

Tabela 6 – Descrições gerais de gestão e localização dos casos estudados

Casos	Profissional entrevistado	Localização	Tempo de construção		Total (meses)
			Início	Fim	
1C	Eng. Civil	Toledo-PR	jun/20	jan/21	8
2C*	Eng. Civil	Toledo-PR	mai/20	mai/21	13
3C	Eng. Civil	Toledo-PR	mai/20	nov/21	7
4C*	Eng. Civil	Cascavel-PR	mar/20	set/21	9
5S*	Eng. Civil	Cascavel-PR	out/20	mai/21	8
6S	Arquiteto	Foz do Iguaçu-PR	jun/20	dez/20	7
7C	Eng. Civil	Cascavel-PR	nov/20	jun/21	9
8C	Eng. Civil	Cascavel-PR	mai/21	mai/20	13
9C		Toledo-PR	jun/20	abr/21	11
10S	Eng. Civil	Toledo-PR	jul/20	jun/21	12
11C		Toledo-PR	set/21	mai/22	9
12C		Toledo-PR	mai/21	jun/22	14
13C		Toledo-PR	set/20	mar/21	7
14C		Toledo-PR	nov/21	jun/22	8
15C	Eng. Civil	Toledo-PR	jun/20	mai/21	12
16C	Eng. Civil	Foz do Iguaçu-PR	set/19	dez/20	16
17C*	Eng. Civil	Foz do Iguaçu-PR	jan/20	dez/20	12
18C	Eng. Civil	Foz do Iguaçu-PR	jan/21	jun/21	6
19C	Eng. Civil	Foz do Iguaçu-PR	ago/20	jun/21	11
20S	Arquiteto	Londrina-PR	dez/14	nov/15	12
21C	Arquiteto	Toledo-PR	ago/21	ago/22	13

Fonte: autor (2022).

Estas obras duraram cerca de 11 meses ($Q_{1/4} = 8$ a $Q_{3/4} = 12,5$)³³ para serem construídas. Os entrevistados foram aqueles que auxiliaram na coleta de dados, fornecendo documentos necessários para análise (notas de compra, projeto arquitetônico/estrutural, fotos etc.), além de facilitar o contato com os proprietários não profissionais da área de construção sempre

³³ $Q_{1/4}$ (primeiro quartil) e $Q_{3/4}$ (terceiro quartil) são as regiões de frequência de 50% dos dados amostrados.

que necessário, pois muitas vezes realizavam as compras e decidiam a destinação do material pós uso nas construções.

3.3.2.2 Análise do fluxo material

Apresentam-se a seguir indicadores dos fluxos de madeira, em volume (m^3) por área construída (m^2), que acontecem da entrada à saída dos canteiros de obras, numa análise *gate-to-gate*, com casos localizados no estado do Paraná. Inicialmente, os dados apresentados os fluxos de madeira nos 21 canteiros estudados nos estudos de casos múltiplos. Foram agrupados por tipo de construção (C, C*, S e S*).

As entradas para C, C*, S e S* foram respectivamente 0,0741, 0,0759, 0,0575 e 0,0681 m^3/m^2 . As Saídas médias foram 0,0588, 0,0665, 0,0519 e 0,0645 m^3/m^2 . Nota-se que a menor média e mais discrepante das demais refere-se ao grupo S, onde houve ausência de uso de toras de madeira em escoras, substituídas por escoras metálicas (6S) e reuso das escoras de eucalipto do piso inferior no piso superior, o que reduziu fluxos de entradas e de saídas (Tabela 7).

Tabela 7 – Indicadores dos fluxos de materiais de cada canteiro de obra

Casos	Unid. Hab.	Área (m ²)/unid.	Entradas (m ³ /m ²)				I_t (m ³ /m ²)	Saídas (m ³ /m ²)								
			MS	Toras	Painéis	Total		Reuso				Resíduos				Total
								MS	Toras	Painéis	Total	MS	Toras	Painéis	Total	
1C	1	64,00	0,0444	0,0373	0,0000	0,0817	0,0052	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0393	0,0373	0,0000	0,0766	0,0766
3C	1	94,00	0,0551	0,0000	0,0000	0,0551	0,0038	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0514	0,0000	0,0000	0,0514	0,0514
7C	1	175,80	0,0549	0,0437	0,0012	0,0998	0,0444	0,0000	0,0437	0,0000	0,0437	0,0105	0,0000	0,0012	0,0117	0,0554
8C	1	163,72	0,0309	0,0641	0,0020	0,0970	0,0162	0,0000	0,0641	0,0000	0,0641	0,0147	0,0000	0,0020	0,0167	0,0808
9C	1	111,70	0,0718	0,0284	0,0000	0,1002	0,0282	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0436	0,0284	0,0000	0,0720	0,0720
11C	1	120,02	0,0272	0,0196	0,0022	0,0490	0,0150	0,0000	0,0196	0,0000	0,0196	0,0122	0,0000	0,0022	0,0144	0,0340
12C	1	131,30	0,0601	0,0336	0,0000	0,0937	0,0103	0,0000	0,0336	0,0000	0,0336	0,0498	0,0000	0,0000	0,0498	0,0834
13C	1	156,51	0,0481	0,0413	0,0000	0,0894	0,0274	0,0108	0,0413	0,0000	0,0521	0,0099	0,0000	0,0000	0,0099	0,0620
14C	1	151,87	0,0753	0,0223	0,0000	0,0976	0,0327	0,0000	0,0223	0,0000	0,0223	0,0426	0,0000	0,0000	0,0426	0,0649
15C	1	181,53	0,0598	0,0292	0,0000	0,0890	0,0095	0,0291	0,0292	0,0000	0,0583	0,0212	0,0000	0,0000	0,0212	0,0795
16C	1	236,39	0,0283	0,0324	0,0000	0,0607	0,0143	0,0000	0,0324	0,0000	0,0324	0,0140	0,0000	0,0000	0,0140	0,0464
18C	1	139,02	0,0366	0,0000	0,0021	0,0387	0,0078	0,0030	0,0000	0,0000	0,0030	0,0258	0,0000	0,0021	0,0279	0,0310
19C	1	395,20	0,0288	0,0000	0,0055	0,0343	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0288	0,0000	0,0055	0,0343	0,0343
21C	1	295,80	0,0191	0,0269	0,0048	0,0509	0,0000	0,0000	0,0245	0,0000	0,0245	0,0191	0,0024	0,0048	0,0264	0,0509
Média	1	172,63	0,0457	0,0271	0,0013	0,0741	0,0153	0,0031	0,0222	0,0000	0,0253	0,0274	0,0049	0,0013	0,0335	0,0588
2C*	3	52,67	0,0215	0,0378	0,0006	0,0599	0,0045	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0170	0,0378	0,0006	0,0554	0,0554
4C*	2	47,00	0,042	0,0297	0,0000	0,0718	0,0068	0,0000	0,0297	0,0000	0,0297	0,0353	0,0000	0,0000	0,0353	0,0650
17C*	4	34,22	0,0652	0,0308	0,0000	0,0961	0,0170	0,0000	0,0308	0,0000	0,0308	0,0482	0,0000	0,0000	0,0482	0,0791
Média	3	44,63	0,0429	0,0328	0,0002	0,0759	0,0094	0,0000	0,0202	0,0000	0,0202	0,0335	0,0126	0,0002	0,0463	0,0665
6S	1	346,70	0,0336	0,0000	0,0014	0,0350	0,0048	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0288	0,0000	0,0014	0,0302	0,0302
10S	1	170,99	0,0398	0,0189	0,0000	0,0587	0,0024	0,0001	0,0176	0,0000	0,0177	0,0372	0,0013	0,0000	0,0385	0,0562
20S	1	255,64	0,0439	0,0318	0,0032	0,0789	0,0095	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0344	0,0318	0,0032	0,0694	0,0694
Média	1	257,78	0,0391	0,0169	0,0015	0,0575	0,0056	0,0000	0,0059	0,0000	0,0059	0,0335	0,0110	0,0015	0,0460	0,0519
5S*	2	84,97	0,0342	0,0339	0,0000	0,0681	0,0036	0,0000	0,0339	0,0000	0,0339	0,0305	0,0000	0,0000	0,0305	0,0645

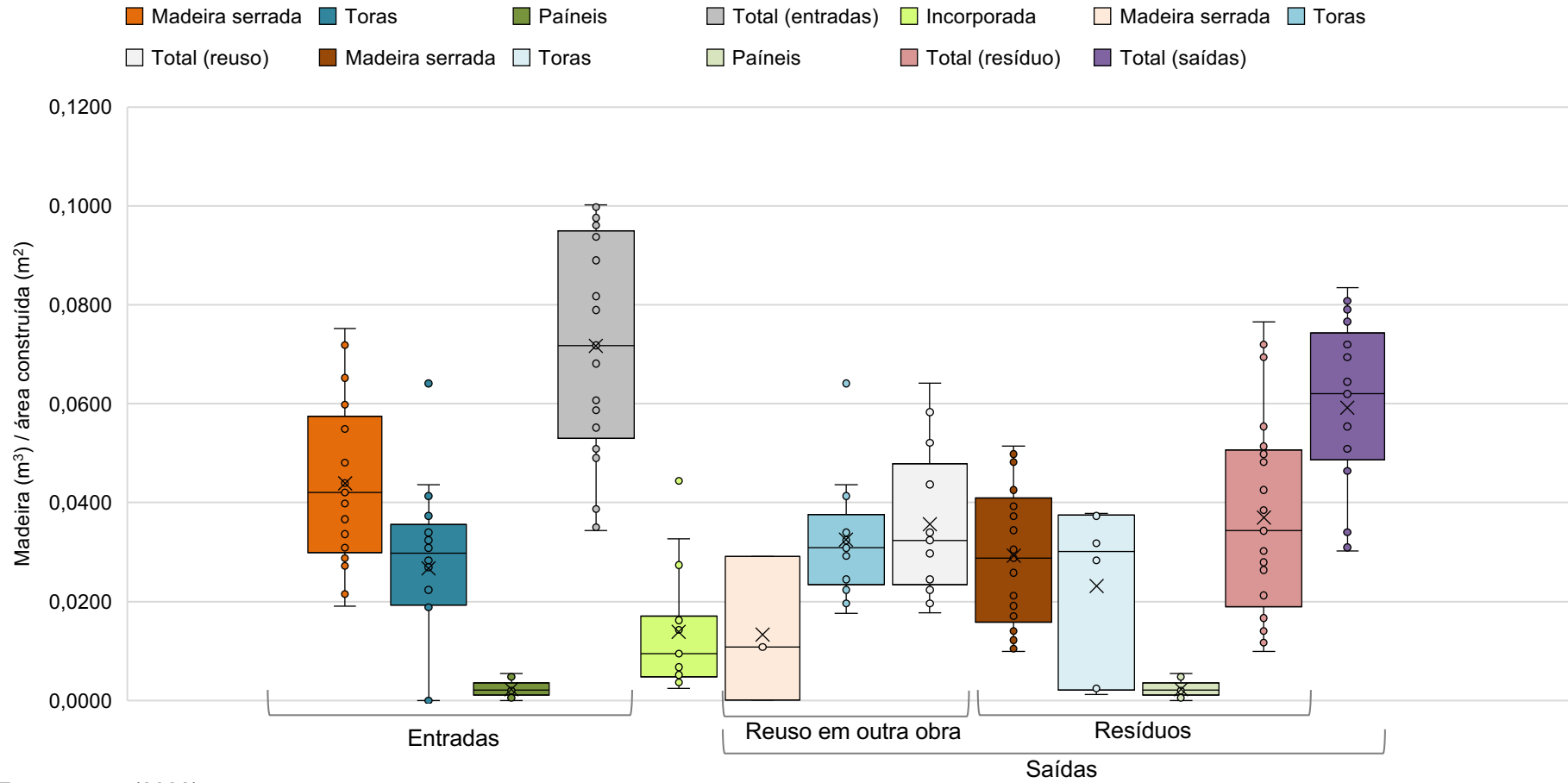
Nota: I_t - incorporação de madeira serrada.

Fonte: autor (2022).

Diagramas de caixa foram organizados para apresentar os fluxos de madeira considerando apenas os valores diferentes de zero. Indicações do destino de saída do material são dadas, que de imediato viram resíduos ou estão subscritas como futuros resíduos após um período não superior a 2,5 anos (toras)³⁴, já que o reuso declarado é em sua integridade em aplicações provisórias (Gráfico 10).

³⁴ Informação dada por engenheiro responsável por empresa que empresta as toras para obras na região oeste do Paraná.

Gráfico 10 – Fluxos de madeira nos diferentes casos em estudo



Fonte: autor (2022).

Apesar da observação de outliers referentes a incorporação de madeira serrada (7C) e ao fluxo de toras (8C), escolheu-se manter os dados em virtude da confiabilidade apresentada, com checagem das informações junto ao engenheiro responsável, notas fiscais, fornecedores das toras e por fotos.

Ademais, apenas dois fluxos (madeira serrada incorporada e entrada de toras) não apresentam uma distribuição normal. Com tudo, várias amostras apresentam valores fisicamente impossíveis, o que leva a crer que dada sua grande variabilidade, tais amostras não são grandes o suficiente para descrição dos dados com médias e desvio padrão. Assim, para amostras que não possuíam distribuição normal (Entrada de toras) ou valores fisicamente aplicáveis (Entrada de painéis de madeira; Madeira incorporada; reuso de madeira serrada; Resíduos de madeira serrada, toras e painéis de madeira) usou-se medianas em suas descrições.

Os dados de fluxos para cada caso estão devidamente tabelados no final deste trabalho (APENDICE – E).

3.3.2.2 Entradas

Apesar da existência de subgrupos de casas, com tipos³⁵ distintos, não se obteve diferença estatisticamente significativa entre suas médias, possivelmente pelo tamanho da amostra reduzido. Por esta razão optou-se por analisar a amostra como tendo um só grupo, o de casas. Assim, o valor médio do fluxo de madeira (consumo), que considerou madeira serrada, toras e painéis de madeira foi de $0,0717 \text{ m}^3/\text{m}^2 (\pm 0,0163)$.

³⁵ Casas térreas geminadas, não geminadas e sobrados.

Madeira serrada

Presente em todos os casos estudados, o fluxo de madeira serrada foi de $0,0420 \text{ m}^3/\text{m}^2$ ($Q_{1/4} = 0,0299$ e $Q_{3/4} = 0,0575$), utilizando madeira serrada de três gêneros: Pinus, Araucária (Pinheiro do Paraná, Pinheirinho), Gochnatia (Cambará).

Quanto ao seu emprego em obra, identificaram-se duas possibilidades: o uso permanente e o uso provisório. Percebeu-se uma diversidade de produtos, dimensões e aplicações da madeira serrada. De uso permanente, destacam-se peças de caibros, ripas, vigas de diferentes dimensões, e tábuas de 10 cm de largura (Tabela 8).

Tabela 8 – Produtos de madeira serrada identificados nos casos estudados

Uso	Elementos	Produto	Dimensões reportadas
Permanente	Estrutura de telhado	Caibros	(200 X 5 X 5; 250 X 5 X 5; 300 X 5 X 5; 350 X 5 X 5; 400 X 5 X 5; 450 X 5 X 5; 500 X 5 X 5; 550 X 5 X 5; 600 X 5 X 5; 650 X 5 X 5)
		Ripas	(300 X 5 X 2; L X 5 X 2)
		Tábuas	(300 X 10 X 2,5; 350 X 10 X 2,5; 400 X 10 X 2,5; 450 X 10 X 2,5; 500 X 10 X 2,5)
		Vigas	(200 X 5 X 10; 250 X 5 X 10; 300 X 5 X 10; 350 X 5 X 10; 400 X 5 X 10; 450 X 5 X 10; 500 X 5 X 10; 600 X 5 X 10; 300 X 5 X 12,5; C X 5 X 10; C X 6 X 12)
Provisório	Caixaria, andaimes, suporte de laje elementos provisórios de canteiro, requadros, gabaritos	Tábuas	(300 X 30 X 2,5; 300 X 27,5 X 2,5; 300 X 25 X 2,5; 300 X 20 X 2,5; 300 X 15 X 2,5; 250 X 30 X 2,5; 400 X 30 X 2,5; 450 X 30 X 2,5)
	Enrijecedores e gabaritos	Ripas	(150 X 5 X 2; 200 X 5 X 2; 250 X 5 X 2; 300 X 5 X 2)
	Andaimes	Vigas	(200 X 5 X 10; 300 X 5 X 10; 300 X 5 X 12,5; 450 X 5 X 10)
	Escoras e gabaritos	Caibros	(250 X 5 X 5; 300 X 5 X 5; 300 X 4,5 X 4,5)
	Estrutura de suporte e enrijecedores	Tábuas	(300 X 9 X 2,5)
		Sarrafos	(300 X 10 X 2,54)
	Diversos	Diversos	m^3

Nota: C = comprimento da peça

Fonte: autor (2022).

Alguns produtos como as tábuas de largura de 30 centímetros estiveram presentes em todas as obras analisadas, sendo utilizadas principalmente como elementos de superfície de fôrmas para concretagem de vigas e pilares. Outros produtos, foram usados de modo exclusivamente provisório, a exemplo das ripas, empregadas como gabaritos e enrijecedores que por vezes foram substituídos por sobras do recorte de madeira (Figura 12).

Figura 12 – Sistema de enrijecedores: a) ripas utilizadas como enrijecedores de vigas; b) sobras de recortes de madeira usadas como enrijecedores de vigas



Fonte: autor (2022).

O uso se deu exclusivamente provisório apenas para peças de madeira de Pinus, inicialmente empregadas como estrutura provisórias e posteriormente descartadas como resíduos ou reusadas em outros canteiros como material de uso provisório. Os valores que caracterizam este uso estão reportados no fluxo de saídas de madeira serrada.

Outros autores apontam o uso de madeira serrada de Pinus em canteiro para fins provisórios no Rio Grande do Sul (KERN *et al.*, 2018). Esse gênero é abundante na região Sul e Sudeste do país devido às condições climáticas e incentivos governamentais ao desenvolvimento desta silvicultura, e é usada principalmente pela indústria de madeira serrada, laminada etc. (EMBRAPA, 2020).

Intitulou-se de uso provisório - permanente, as peças de madeira serrada que foram inicialmente empregadas para atividades provisórias, sendo incorporadas em estrutura de telhado ao final destas atividades. Nesta situação, teve-se como exemplo os caibros de Cambará, usados inicialmente como escoras (Figura 13 – a), e posteriormente empregados na cobertura como elementos permanentes (Figura 13 – b).

Figura 13 – Madeira usada de modo provisório – permanente (18C): a) uso provisório dos caibros de cambará como escora; b) aplicação dos caibros de cambara, que inicialmente foram usados como escoras, em estrutura permanente de cobertura



Fonte: autor (2022).

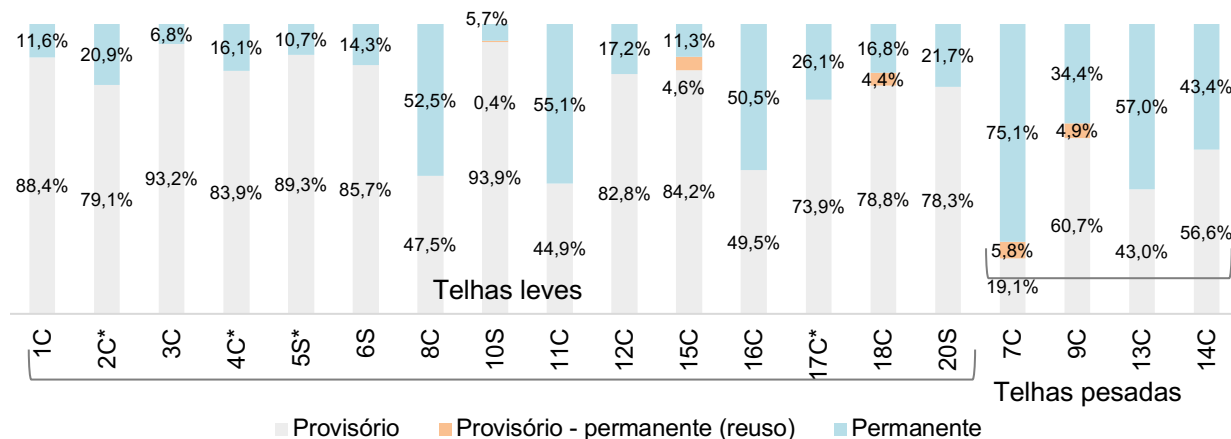
Observou-se esta prática em 28,6% dos canteiros analisados, e para estes, a madeira incorporada representou 9,3% ($Q_{1/4} = 4,2$ e $Q_{3/4} = 18,0$) da madeira de uso provisório, revelando um importante potencial de redução da geração de resíduos. A madeira de reuso representou 16,7% ($Q_{1/4} = 7,1$ e $Q_{3/4} = 26,1$) do material de telhado, apontando importante espaço para aumento da prática de incorporação a partir da adoção de estratégias já nas compras dos materiais, a exemplo do caso de uso de escoras de Cambará (18C) ou a madeira de Araucária para montagem da estrutura de andaimes (15C), estando entre as maiores parcelas de incorporação da madeira de uso provisório no total de madeira utilizada no telhado (20,8 e 28,1%, respectivamente).

As estruturas de madeira estiveram presentes em 90,5% dos casos estudados, tendo seu uso substituído por escoras metálicas para os demais. Quando se considera apenas os casos com estrutura de madeira em telhados³⁶, o uso permanente correspondeu a 29,8% ($\pm 21,1$) de toda madeira serrada bruta consumida, ao passo que o uso provisório foi de 70,2% ($\pm 21,1$) sendo este último, a principal aplicação do material nas

³⁶ Os casos 19C e 21C utilizaram perfis metálicos na estrutura de telhado, e por esta razão, 100% da madeira utilizada foi provisória.

obras (Gráfico 11).

Gráfico 11 – Perfil do uso da madeira nas obras analisadas com estrutura de telhado em madeira



Fonte: autor (2022).

Dados da literatura, que consideram madeira de uso provisório e permanente (telhados), indicam para um valor de aproximadamente 60,4% de madeira para uso permanente, 2 vezes superior à média do presente trabalho. Um dos motivos para esta diferença é o fato do estudo considerar madeira de uso temporário apenas para a confecção de fôrmas, não contabilizando o uso do material em elementos de escoramento e de proteção coletiva por exemplo (IDRIS; RASHID; YUSOFF, 2017).

O uso da madeira foi exclusivamente permanente quando este material foi diretamente incorporado na estrutura de telhado, sendo madeiras pertencentes aos três gêneros já elencadas, chamada aqui também de madeira incorporada.

O consumo madeira permanente (provisório – permanente e exclusivamente permanente) foi da ordem de $0,0095 \text{ m}^3/\text{m}^2$ ($Q_{1/4} = 0,0048$ e $Q_{3/4} = 0,0170$). O *outlier*³⁷ ($0,0444 \text{ m}^3/\text{m}^2$) identificado no Gráfico 11 (7C), possui 21 águas ao passo que o segundo colocado (limite superior – $0,0327 \text{ m}^3/\text{m}^2$) possui 13 (15C). Ambos são em telha de concreto, pertencentes a classe das telhas pesadas.

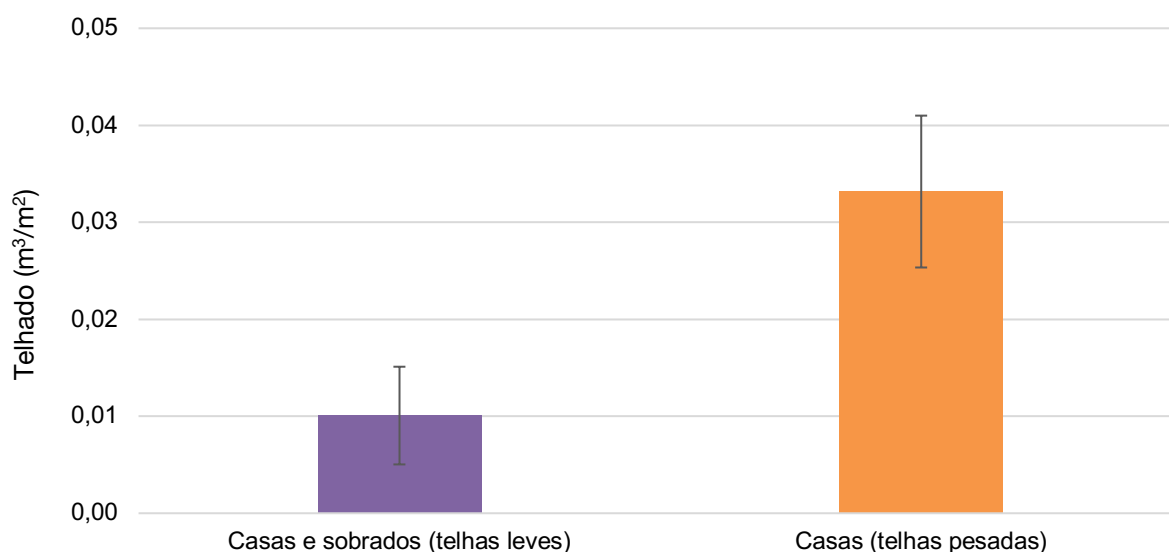
Levantou-se a hipótese de que parte da explicação de tamanha variabilidade dos valores de consumo de madeira na amostra de casas vem dos tipos de telhados e dos tipos de construção (sobrados e casas), já que parte ou totalidade da cobertura do pavimento térreo destes sobrados é composta pelo piso do pavimento

³⁷ Quando retirado o *outlier*, a média de consumo de madeira fica 27% permanente e 73% provisório.

superior.

Uma análise da estatística descritiva dos três grupos propostos demonstra que as casas térreas com telhado pesado consumiram 3,3 vezes mais madeira para telhados que as casas térreas e sobrados com telhas leves, em volume (m^3) por área ocupada³⁸ (Gráfico 12).

Gráfico 12 – Comparação do consumo de madeira serrada por grupos com telhas diferentes



Fonte: autor (2022).

Vale ressaltar que apesar do agrupamento das telhas pelo peso médio, o tamanho das telhas, que possibilita a não necessidade de uso de caibros e ripas, de modo que as telhas leves (metálicas ou de fibrocimento) podem ficar diretamente apoiadas nas estruturas das terças, além da necessitar de uma menor inclinação, são fatores fundamentais na diminuição do consumo de madeira na estrutura (SILVA *et al.*, 2009).

O indicador apresentado para telhas do grupo “pesadas” está próximo do observado na literatura. Enquanto neste estudo foi estimado uma média de $0,033 (m^3/m^2)$ ($\pm 0,008$), dados da literatura mostram um indicador de $0,043 m^3/m^2$ para cobertura em telhas cerâmicas (IDRIS; RASHID; YUSOFF, 2017).

³⁸ Área de projeção da cobertura no terreno.

Painéis de madeira

Os painéis de madeira estiveram presentes em 47,6% das obras analisadas, com o fluxo de $0,0021\text{m}^3/\text{m}^2$ ($Q_{1/4} = 0,0011$ e $Q_{3/4} = 0,0036$), sendo os produtos identificados: compensados plastificados, compensados de cola fenólica e OSB verde (com tratamento para umidade).

Usou-se compensados plastificados (1,5 X 110 X 220) em estrutura de lajes para o canteiro 7C e o canteiro 8C, que também utilizou o material como parede de estrutura provisória. Peças menos espesas (1,2 X 110 X 220) foram usadas em vigas, lajes maciças na obra 21C e em estrutura de banheiro na obra 18C. As peças mais finas (1 X 110 X 220) foram usadas em vigas, pilares e lajes maciças (19C).

Os painéis plastificados estiveram presentes em apenas cinco canteiros, especialmente aquelas com alto padrão construtivos, com vigas flutuantes em vãos livres maiores, a exemplo da obra 19C (Figura 14 – a). Um possível motivo para seu baixo uso foi o alto custo³⁹ somado a dificuldade de reuso devido as características únicas de projeto, de modo que as residências novas não necessariamente repetem as medidas das estruturas de concreto onde as estruturas fôrmas foram previamente utilizadas, o que fez com que os responsáveis pela obra 21C interrompessem as aquisições de compensados e substituíssem seu uso por composições com tábuas de madeira serrada (Figura 14 – b).

Figura 14 – Compensados plastificados: a) aplicação em pilares robustos e de vãos livres de 9,6 metros; b) substituição de compensados plastificados por elementos de madeira serrada



a)



b)

Fonte: autor (2022).

Os compensados de cola fenólica (0,6 X 110 X 220) foram utilizados no

³⁹ Comparando-se notas fiscais das obras 21C para madeira serrada de Pinus e painéis de madeira plastificados constata-se que o metro cúbico do plastificado chega a três vezes o valor da madeira serrada. Mesmo quando comparado em metro quadrado, que é como o material é usado, o painel é 1,5 vezes o valor do material em madeira serrada.

canteiro 11C em estruturas de lajes maciças de marquises e nos canteiros 2C* e 15C como pisos de andaimes.

Os produtos de *OSB* utilizados possuíam tratamento para umidade (cor verde) e foram usados como: tapumes, depósitos e áreas de vivência no canteiro 18C (0,6 X 110 X 220) (Figura 15 – b) e no canteiro 20S (0,8 X 110 X 220) (Figura 15 – a); e apenas como tapume no canteiro 6S (Figura 15 – c).

Figura 15 – Uso de *OSB*: a) uso do material em tapume e depósito (20S); b) painéis usados na estrutura de depósito, área de vivência e tapumes (18C); c) uso exclusivo em tapumes (6S)

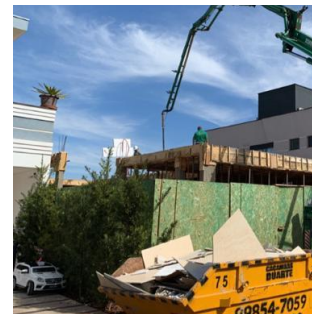


a)

Fonte: autor (2022).



b)



c)

Algumas obras não utilizaram tapumes de nenhuma forma, nem estruturas provisórias de canteiro, como o caso 10S, que foi executada em terreno cercado por muro e utilizou estrutura vizinha de uma casa já existente como estrutura de apoio com banheiro, área de vivência e depósito (Figura 16 – a). Outras possuíam muro nas divisas com vizinhos e utilizaram telhas metálicas como tapumes e containers como estrutura provisória de canteiro, a exemplo do caso 21C (Figura 16 – b e c).

Figura 16 – Ausência ou substituição de elementos de madeira em canteiro: a) ausência de estruturas provisórias de canteiro e tapumes; b) muros nas extremidades do terreno; c) Telhas metálicas usadas como tapumes, cobertura de área de banheiro e uso de container

a)



b)



c)



Fonte: autor (2022).

Toras de eucalipto

Todas as toras usadas foram do gênero Eucalipto, e estiveram presentes em 81,0% dos casos (17), sendo seu fluxo de entrada igual $0,0318 \text{ m}^3/\text{m}^2$ ($Q_{1/4} = 0,0276$ e $Q_{3/4} = 0,0376$), representando 42,8% ($\pm 11,8$) de toda madeira que entrou nestas obras, atrás apenas do fluxo de madeira serrada que foi de 55,9% ($\pm 12,8$) e dos painéis de madeira 1,3% ($\pm 2,5$).

As toras foram utilizadas como escoras em todos os canteiros onde estiveram presentes, sendo também utilizadas em alguns canteiros como estrutura de pilares dos tapumes e elementos de estrutura provisória de canteiro (banheiro, depósito, área de vivência).

Suas dimensões variavam de 10 a 18 cm de diâmetro e de 280 a 500 cm, sendo mais comum o uso das escoras de 3 metros, substituídas por escoras maiores em áreas de pés direito mais altos (Figura 17 – a) ou ajustada na altura quando necessário fosse (Figura 17 – b).

Figura 17 – Sistema de escoramento na obra 7C: a) escoras de eucalipto de 4,5 m; b) escoras ajustadas na altura



a)

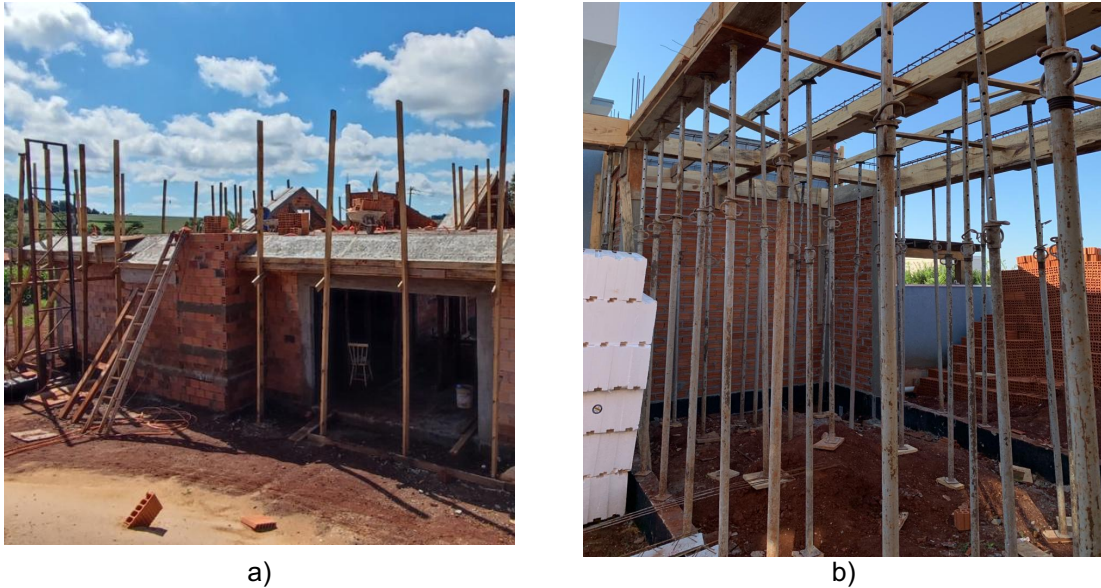


b)

Fonte: autor (2022).

Em alguns casos, as escoras foram substituídas por caibros de madeira serrada (18C), vigas de madeira serrada (Figura 18 – a) ou elementos metálicos como estrutura para escoramento das lajes (Figura 18 – b). O uso elementos metálicos de proteção em detrimento dos de madeira tende a reduzir o indicador de geração de resíduos (ÂNGULO *et al.*, 2015).

Figura 18 – Sistema de escora: a) vigas de madeira serrada utilizadas para escora de beirais (14C); b) barras metálicas usadas como escora de vigas e lajes em elementos metálicos (6S)

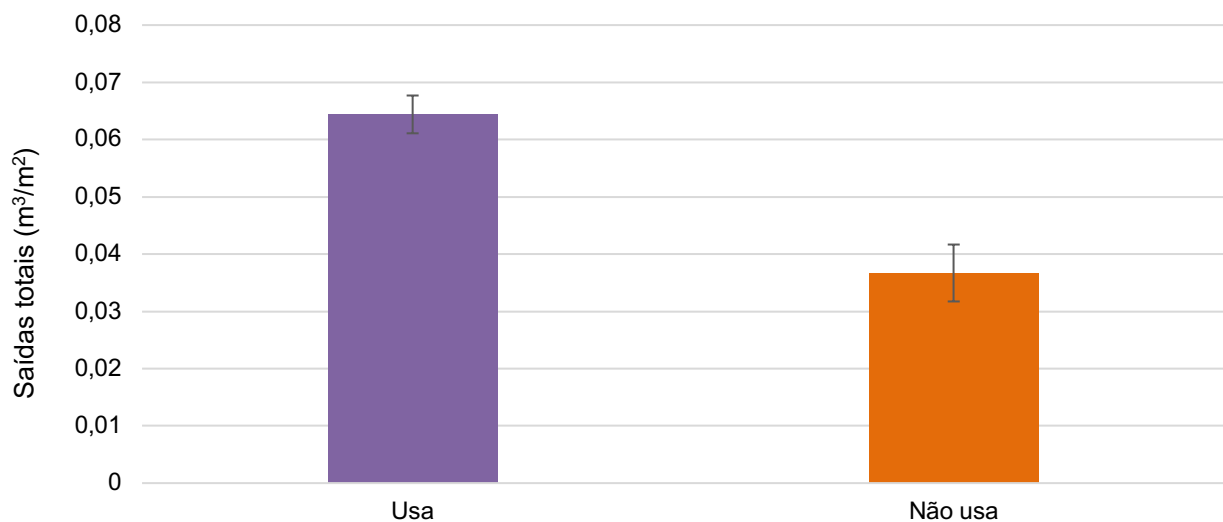


Fonte: autor (2022).

Apenas um caso não usou escoras de nenhum tipo, por não possuir lajes ou vigas flutuantes (3C).

Analisou-se as médias da intensidade do uso provisório de madeira em obras que usam e não usam toras de Eucalipto como escoras, a fim de entender sua influência no total médio de madeira consumido em canteiro. Percebeu-se que canteiros que usavam tais escoras consumiram cerca de 1,75 vezes a quantidade de madeira observada em canteiros que não usavam as toras (Gráfico 13).

Gráfico 13 – Comparação da intensidade do uso provisório de madeira em canteiros que usam e que não usam escoras de toras de Eucalipto



Fonte: autor (2022).

Isto ocorre devido a relevância das toras no total de madeira de uso exclusivamente provisório, representando 52,3% ($\pm 15,3$) de todo material (volume) nos casos em que ele é usado (17). Apesar da sua relevância no total de madeira consumida, sendo superior à da madeira serrada para fins provisórios, o material tem menor impacto na geração de resíduos devido a característica de reuso do material, que foi devidamente discorrido mais a diante.

3.3.2.3 Saídas

Considerou-se como saídas todo o material que saiu como resíduos ou como material para reuso provisório em outros canteiros, totalizando um fluxo igual a 0,0592 m³/m² ($\pm 0,0170$), ou 84,2% ($\pm 12,0$) de toda a madeira (volume) que entrou no canteiro, sendo a totalidade do fluxo de madeira de uso provisório.

Reuso

O reuso de madeira ocorreu em 61,9% dos casos analisados, com um fluxo de $0,033 \text{ m}^3/\text{m}^2$ ($\pm 0,0167$). Apenas toras e madeira serrada foram identificadas nestes fluxos.

As toras são reusadas de 2 a 6 vezes ou por um período máximo de 2,5 anos, especialmente em sistemas de escoramento de outras obras. A madeira serrada foi reusada até 2 vezes, de modo que o reuso em outro canteiro ocorria apenas quando a madeira serrada era usada uma só vez no canteiro de uso inicial.

TORAS DE EUCALIPTO

O reuso de toras ocorreu em 76,5% de todos os canteiros que usaram o material em alguma de suas fases e seu fluxo foi de $0,0325 \text{ m}^3/\text{m}^2$ ($\pm 0,0122$). O reaproveitamento do material foi possível pois as escoras pertenciam a terceiros (empresas lajes) ou, quando próprias, havia previsão de reuso em outros canteiros de obras como sistema de escoramento.

Alguns fornecedores de escoras informaram que o reuso das toras variava de duas a seis concretagens, num período médio de quatro semanas para cura do concreto, a depender dos cuidados do material em uso (21C). O menor reuso estava relacionado ao mal uso do material, não armazenando-o em local protegido após uso (Figura 19 – a), falta de cuidado no manuseio e recortes, o que danificava as peças (Figura 19 – b).

Figura 19 – Práticas de diminuição da vida útil das toras: a) armazenamento do material em calçadas não protegidas (21C); escoras danificadas após o uso (12C)



a)



b)

Fonte: autor (2022).

O fornecedor de escoras para o canteiro 7C estima um ciclo de vida médio de 2,5 anos, pois são emprestadas após análise do projeto, de modo a enviar peças nas alturas necessárias, diminuindo necessidade de corte para adaptação.

Observou-se uma diferença significativa nos fluxos das obras que usavam toras de eucalipto como escoras, fato explicado pela importância do fluxo de toras de madeira no total de produtos que deixam os canteiros.

Construtoras donas das próprias escoras praticavam o reuso do material quando havia previsão de executar novas obras na região. Este foi o caso da construtora responsável pelas obras 16C e 17C*, que comprou escoras novas para as casas geminadas (16C), reutilizou-as na casa térrea e prevê seu reuso em mais três obras (17C*), totalizando 5 obras concretadas, utilizando as mesmas escoras.

Este reuso é fundamental para redução da geração de resíduos, já que o descarte de escoras de madeira tende aumentar consideravelmente a geração de resíduos de madeira que são destinados ao aproveitamento energético ao final de suas vidas úteis (ÂNGULO *et al.*, 2015).

MADEIRA SERRADA

Apenas 14% das obras declararam reusar a madeira serrada em outras obras. No canteiro 10S, o reuso foi de 0,4% do total de madeira serrada provisória. Esta prática foi promovida pelo proprietário da obra, que revendeu tábuas de 30 centímetros de largura e em bom estado de conservação. Outros autores também destacam as peças maiores como os principais elementos de revenda de madeira de uso provisório, devido ao fato de peças menores se misturarem mais facilmente *in loco* a outros resíduos, sendo transportado da obra de modo misturado (LI *et al.*, 2013).

O reuso foi promovido pelos mestres de obra no canteiro 13C, correspondendo a 52,2% de toda madeira de uso provisório. Segundo o mestre de obras isso foi possível pois, sua equipe possuía previsão de reaproveitamento e por tanto, focava em um maior cuidado no processo de desmolde das fôrmas com objetivo de minimizar danos ao material.

Na obra 15C, houve aproveitamento de 54,9% da madeira de uso provisório por meio da revenda. Este material foi armazenado na própria obra até seu transporte para outro canteiro.

As dificuldades físicas para reuso do material em outra obra estava

relacionado a deterioração, pois o material era reusado em diferentes fases das obras sempre que possível, reaplicando formas de baldrame em pilares, e de pilares em vigas etc. (Figura 20).

Figura 20 – Madeira serrada na obra 12C: a) material sem desmoldante; b) peças quebradas e danificadas pela ação da umidade



a)

b)

Fonte: autor (2022).

O material se quebrava durante essa prática, devido ao não uso de desmoldante, ou se deteriorava devido a ação da umidade, inviabilizando o aproveitamento em outras obras.

Em resumo, constatou-se que a madeira serrada foi reusada até 2 vezes dentro de um mesmo canteiro, porém só era reutilizada em outro canteiro nos casos em que está estava em ótima qualidade, a exemplo das formas utilizadas para concretagem das vigas de cobertura, também chamadas de cinta de amarração.

Resíduos

O fluxo de resíduos foi da ordem de $0,0333 \text{ m}^3/\text{m}^2$ ($\pm 0,0166$), destacando-se a madeira serrada, que representou 93,9% ($Q_{1/4} = 81,1$ e $Q_{3/4} = 100$) dos resíduos de madeira, seguido pelos resíduos de painéis de madeira toras 9,1% ($Q_{1/4} = 4,6$ e $Q_{3/4} = 14,3$) e de toras 4,3% ($Q_{1/4} = 1,7$ e $Q_{3/4} = 4,8$).

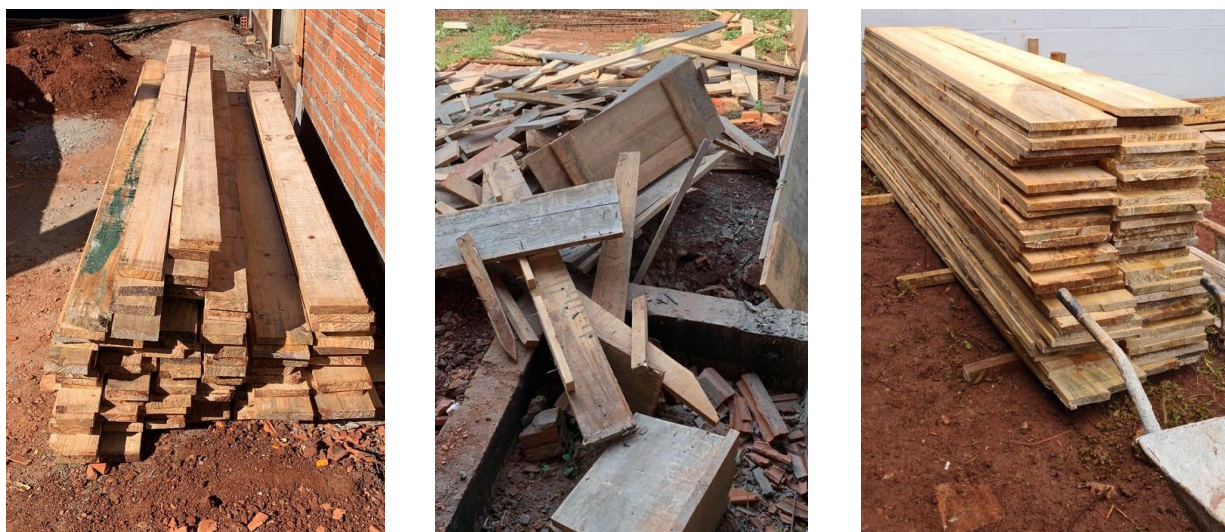
MADEIRA SERRADA BRUTA

A madeira serrada esteve presente como resíduo em todos os casos, com um fluxo de saída igual a $0,0288 \text{ m}^3/\text{m}^2$ ($Q_{1/4} = 0,0409$ e $Q_{3/4} = 0,0159$).

Nota-se que, apesar do avanço da industrialização das fôrmas em obras verticais no estado de São Paulo, (ÂNGULO *et al.*, 2015), a madeira serrada ainda é predominante nesta para amostra de casas no estado do Paraná.

Os entrevistados alegam vários motivos para o descarte do material, como: falta de planejamento de controle de obra, com excesso de tempo despendido para retirada e armazenamento adequado do material (4C* e 5S*) e falta de espaço adequado para armazenamento da madeira para futuro reaproveitamento, estocada em espaços abertos e exposto a intempéries, inviabilizando o reaproveitamento do material (Figura 21 – a); ausência de previsão de novas obras para o reaproveitamento do material (9C); desgaste das peças após dois usos (ex.: reuso das formas das vigas baldrames em pilares), estando empenadas e ou/quebradas (Figura 21– b); necessidade de recorte do material para adaptação ao formato do elemento a ser concretado, garantindo sua estanqueidade (Figura 21 – c); baixo custo do material faltando incentivo para seu manejo adequado, falta de padronização das dimensões dos projetos devido às características únicas de projeto.

Figura 21 – Perdas de madeira serrada: a) material armazenado em local descoberto (6S); madeira deteriorada após uso b); b) peças com extremidades irregulares (18C)



a)

b)

c)

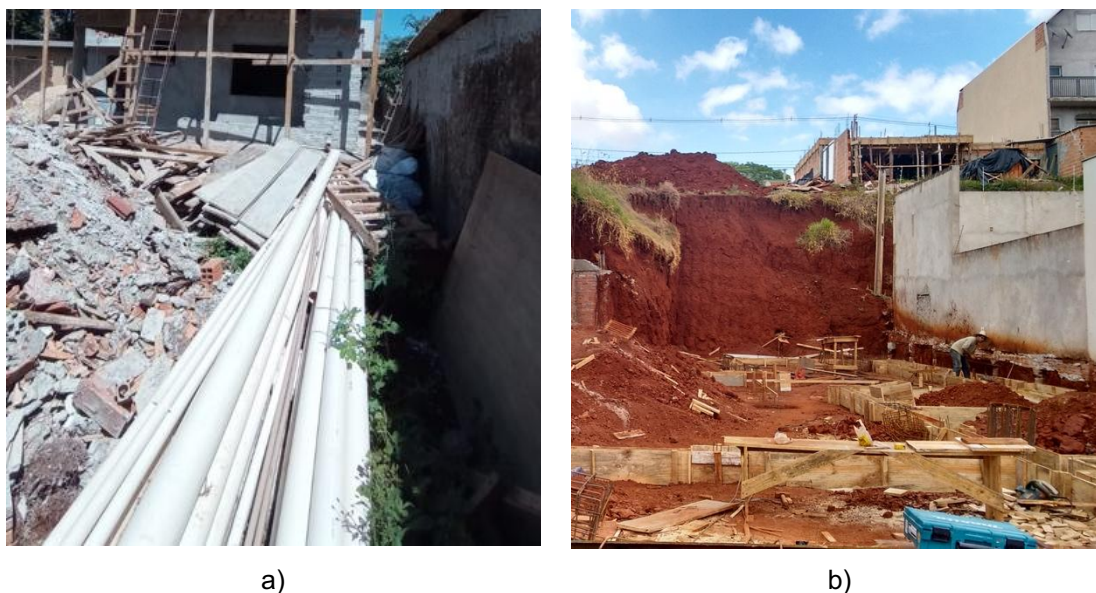
Fonte: autor (2022).

Autores apontam a deterioração por uso e perda de material por recortes para que as peças sirvam aos elementos de concreto como uma das principais causas da geração de resíduos de madeira de fôrmas (TAM; TAM, 2007).

Os responsáveis pelos casos estudados estimam que o volume de madeira danificada durante o processo de desmoldagem pode chegar a 50% a depender da qualidade do material, a adoção ou não de desmoldante e dos cuidados durante o processo de desmolde. Um estudo estima uma perda de 47% da madeira no processo de desmoldagem, e 3% devido ao para adaptação das peças (POON *et al*, 2004). A necessidade destes recortes decorre em especial das características únicas de projeto, demandando adaptação das peças de madeira (TAM SHEN, TAM, 2007).

As sobras de material do recorte da madeira serrada para adaptação as medidas geométricas do elemento de concreto, quando não usada em canteiro como enrijecedores e outros elementos provisório, se misturam aos demais (Figura 22 – a) resíduos e são descartados no tira entulho ou se misturam ao solo (Figura 22 – b) sem nenhum aproveitamento.

Figura 22 – Resíduos de madeira: a) material misturado a outros resíduos sólidos (10S); b) material misturado ao solo (20S)



a)

b)

Fonte: autor (2022).

Estima-se que 7,5% ($Q_{1/4} = 5$ e $Q_{3/4} = 10$)⁴⁰ da madeira é perdida já no processo de corte para adaptação geométrica do material a sua respectiva aplicação, o que resulta em elementos que nem chegam a serem usados de modo provisório. A literatura evidencia que esse valor de geração de resíduos por recorte pode variar de 6,67%. (Pilares e paredes estruturais) a 28,07% (cintas de amarração) (HAO *et al.*, 2020)⁴¹, devido as variações nas geometrias dos elementos de concreto armado a serem moldados.

Parte dos resíduos de madeira foram reaproveitados como lenha pelos proprietários (9C, 10S e 13C), insumo para indústria cavaqueira restaurantes e pizzarias (18C e 19C), ou foram recolhidos por empresas recicladoras, que separam os materiais e dão destinação conforme o plano municipal de cada cidade (7C e 8C), sendo esta última a declaração mais comum.

⁴⁰ Estimativa fornecida pelos entrevistados (mestre de obras, arquiteto ou engenheiro civil), baseado na performance do canteiro analisado ou de sua equipe, resultando em 13 observações.

⁴¹ Dados estimados pelo “Department of Housing and Urban-Rural Construction of Shandong Province” (2016).

PAINÉIS DE MADEIRA

O fluxo de resíduos de painéis de madeira foi de $0,021 \text{ m}^3/\text{m}^2$ ($Q_{1/4} = 0,0011$ e $Q_{3/4} = 0,0036$), de modo que todos os painéis utilizados nas obras saíram como resíduo.

As causas para tal perfil de uso do material foram: recorte para adaptação das peças as dimensões dos elementos em concreto armado das residências unifamiliares (7C, 8C, 19C e 21C) (Figura 23 – a); exposição a intempéries e contato direto com o solo durante toda obra (Figura 23 – b), em aplicações como tapumes e/ou estruturas provisórias de canteiro (6S, 18C e 20S), resultando em alta deterioração do material (Figura 23 – c); uso em estrutura de andaimes, o que resultou em desgastes mecânicos (2C* e 15C).

Figura 23 – Painéis de madeira: a) resíduos de painéis plastificados de madeira; b) contato direto do material com solo, exposto a intempéries; c) material em estado avançado de deterioração após o uso devido a ação da umidade



a)



b)



c)

Fonte: autor (2022).

Esperava-se que os painéis de madeira de melhor qualidade, a exemplo dos plastificados de maiores espessuras, tivessem nível de reuso considerável e portando (LACHIMPADI *et al.*, 2012), saíssem dos canteiros de origem para serem reusados em outros, gerando menos resíduos que os demais painéis de madeira. Contudo, isso não foi o que aconteceu nos presentes casos e o principal motivo narrado pelos entrevistados foram as características únicas de projeto, com elementos de concreto especiais que dificilmente se repetem em casas térreas e sobrados não geminados.

TORAS DE EUCALIPTO

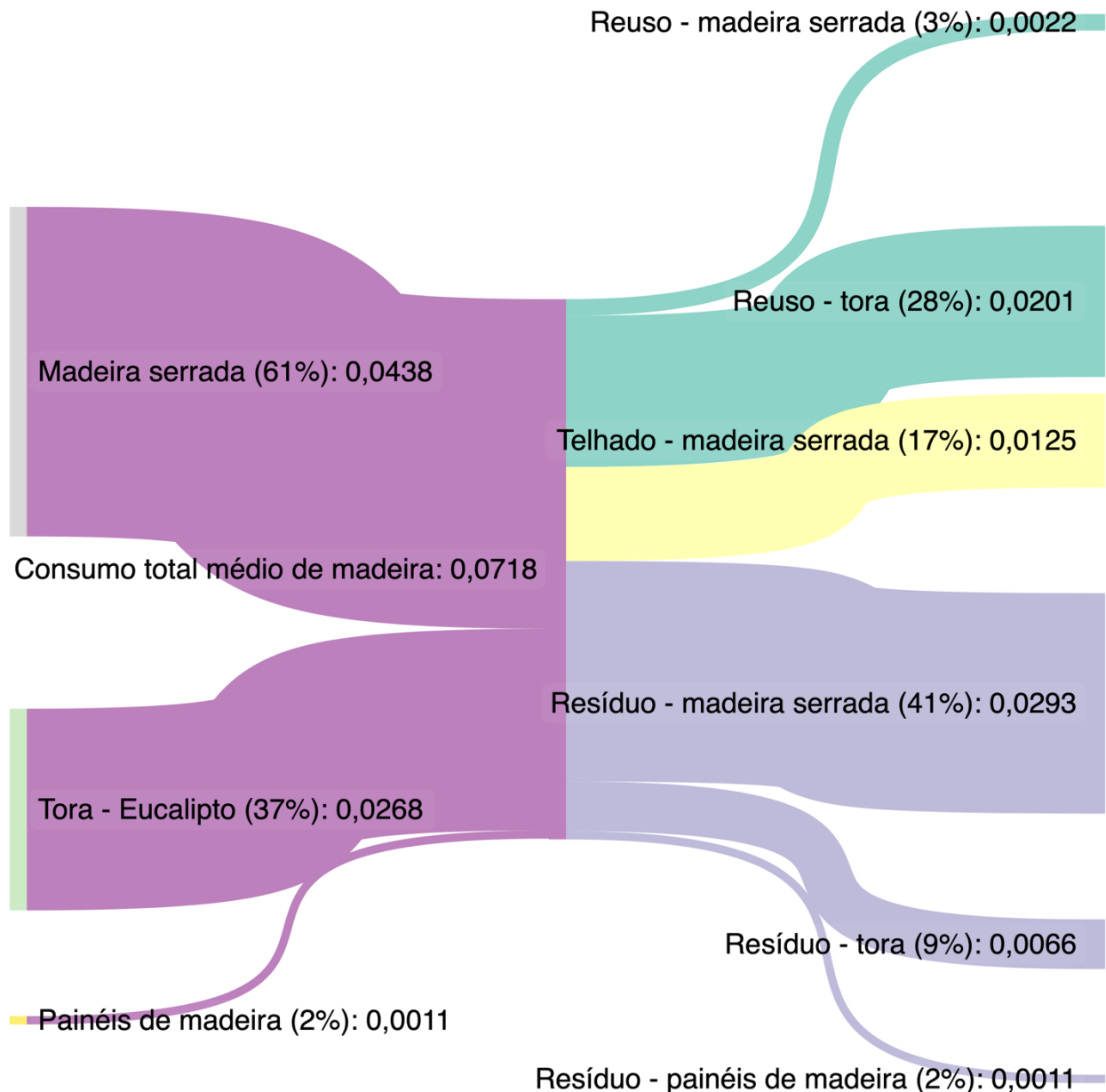
A geração de resíduos de toras foi de $0,0301 \text{ m}^3/\text{m}^2$ ($Q_{1/4} = 0,0021$ e $Q_{3/4} = 0,0374$). Os motivos destacados para tais fluxos foram: recortes para regulação da altura necessária conforme o pé direito (12C e 21C); serem de construções autogeridas onde não

havia previsão de reuso (9C, E1-O1 e 20S); ausência de construções na região para reaproveitamento por parte da construtora responsável, que possuía sua sede localizada em outra cidade (2C*).

Resumo dos fluxos materiais levantados nos casos

Em síntese, apresenta-se o seguinte fluxo que representa médias⁴² dos indicadores (m^3/m^2), que é um resumo dos indicadores dispostos caso a caso (Gráfico 14).

Gráfico 14 – Resumo dos fluxos de madeira da entrada a saídas dos estudos de casos (m^3/m^2)



Fonte: autor (2022).

⁴² Médias totais, que incluem valores iguais a zero para que a soma das entradas de igual a soma das saídas menos o material incorporado. O total de madeira que entra é 0,0001 menor que o total de madeira que sai devido a arredondamento.

Os canteiros consomem em média $0,0717 \text{ m}^3/\text{m}^2$ ($\pm 0,0163$) quando considera-se madeira serrada, toras e painéis de madeira. Nota-se que a madeira serrada é a principal entrada de madeira nos 21 casos abordados representando 61% de toda a madeira que entrou.

Aproximadamente metade (51,5%) de toda madeira que entra o canteiro, sai como resíduos ($0,0370 \text{ m}^3/\text{m}^2$), sendo a madeira serrada o principal resíduo (79,2%), seguido por toras (17,8%) e painéis de madeira (3,00%)

O reuso é majoritariamente composto por toras (90,1%), seguido por madeira serrada (9,9%), não sendo detectado o reuso de painéis de madeira.

A principal característica que diferiu as obras verticais (literatura) das obras de casas (estudos de casos) foi a existência do fluxo de incorporação (Telhado – madeira serrada), que para a amostra desta pesquisa representou 17,4% de toda madeira que entrou, e 28,5% da madeira serrada empregada.

3.4 CONSIDERAÇÕES DO CAPÍTULO

Nas obras verticais em alvenaria com estrutura em concreto armado moldadas *in loco* (ERAC), retiradas da literatura, os indicadores de consumo de madeira de uso provisório (caixaria, sistema de segurança etc.) tiveram variações iguais aos indicadores de geração de resíduos e variaram de $0,002$ a $0,098 \text{ m}^3/\text{m}^2$, que indica o não aproveitamento ou reuso entre 80 e 100%. Apenas uma casa, do tipo sobrado não geminado foi identificada, com entrada de madeira igual a $0,109 \text{ m}^3/\text{m}^2$ e saída igual a $0,066 \text{ m}^3/\text{m}^2$ (60,6%), devido a incorporação de madeira em telhado com o valor de $0,043 \text{ m}^3/\text{m}^2$ (39,4%).

Na literatura, a madeira de uso transitório para construção de ERAC, se caracteriza pelo: emprego de madeira compensada, placas OSB e toras (escoramento); uso de espécies Pinus, Eucaliptos e Cedro; material de baixa qualidade inicial e deteriorado após o uso; reuso de 2 a 7 vezes dentro do mesmo canteiro de obras, devido, dentre outros fatores, a repetição de pavimentos tipo; participação no total de resíduos gerados em obra de 17% a 69%.

Fatores que influenciaram as variações dos indicadores de entrada e saída de madeira relatados na literatura de modo a aumentá-los foram explicadas por: baixa qualidade do material, dificultando reuso do material, que quebrava durante o processo de

desmolde; volume de concreto consumido, demandando maior quantidade de fôrmas de madeira; adoção de sistemas de proteção coletivo em madeira em detrimento dos metálicos por exemplo; falta de estratégias de reuso; estocagem inadequada do material após o uso; falta de padronização dos elementos em concreto; excesso de cortes nas peças de madeira devido a fatores como falta de plano de corte; reduzida ou não adoção de elementos pré-fabricados.

Nos estudos de casos múltiplos de casas (casas geminadas e não geminadas, sobrados geminados e não geminados) em alvenaria com estrutura em concreto armado moldada *in loco*, encontrou-se indicadores de: consumo total de madeira (madeira serrada bruta, toras e painéis de madeira) que variou de 0,034 a 0,100 m³/m²; consumo de madeira de uso provisório, que variou de 0,030 a 0,083 m³/m² (19,1% a 93,9%); de madeira de uso permanente (madeira serrada) que variou de 0,002 a 0,044 m³/m² (6,1% a 80,9%).

A madeira de uso provisório foi caracterizada por dois fluxos: geração de resíduos de madeira (madeira serrada bruta, toras e painéis de madeira), que variou de 0,099 a 0,077 m³/m² (média de 65%); reuso de madeira (madeira serrada bruta e toras de madeira), que variou de 0,018 a 0,064 m³/m² (75%).

Identificou-se o uso de madeira das espécies de eucaliptos, pinus, araucária e cambará em aplicações para produção de produção de lajes, pilares, vigas, fundações, requadros (janelas, portas e vãos), escadas, locação das obras, pergolado, beirais, estrutura provisória de canteiro e tapumes. Com tudo, apenas madeira de pinus e eucalipto foram usadas para fins exclusivamente provisórios, sendo as demais usadas em fins provisórios e depois incorporadas em coberturas.

De toda a madeira 82,6% destina-se a uso transitório, e 17,4% a usos permanente. Da madeira de uso transitório, 68,9% se tornam resíduo ao final do uso e 31,1% é reusada em outras obras. O uso transitório contou com fluxos de madeira serrada bruta de pinus (53,1%) e escoras de eucalipto (45,0%), além de painéis de madeira como compensados plastificados, compensados resinados e não resinados, e placas OSB com tratamento anti-umidade (verdes) (1,9%).

O não uso das escoras esteve relacionado a sua substituição por peças de madeira serrada (vigas e caibros), que eram posteriormente incorporadas em estrutura de telhado, por escoras metálicas ou por não usarem escora alguma por não possuírem laje, principal causa do uso do material.

Apesar disto, escoras de eucalipto são reusadas de 2 a 6 vezes, ou por um

período máximo de dois anos e meio, ao passo que a madeira serrada se transformou totalmente em resíduo ao sair do canteiro em 80,9% dos casos, devido à alta deterioração e falta de estratégias para reuso do material em outros canteiros.

Mesmo com a relevância das escoras no fluxo de madeira de uso provisório, a madeira serrada e os painéis de madeira para os casos analisados são produtos que merecem maior atenção do ponto de vista de geração de resíduos. Isto porque estes dois últimos produtos se transformaram em resíduos em maior intensidade, demandando assim mais atenção na tentativa de mitigação dos impactos ambientais relacionados a subutilização do material e geração de resíduos sólidos. Ademais, alguns painéis de madeira passam por tratamento químico, o que amplia o potencial impacto ambiental do descarte inadequado do material, já que muitas das substâncias de tratamento podem ser nocivas à saúde humana quando queimados.

Quando não usado em outras obras de modo provisório ou incorporado em canteiros como estrutura permanente (telhado), os produtos de madeira tiveram como destino o reaproveitamento como lenha pela indústria cavaqueira, consumo doméstico (churrasco), consumo por pizzarias, ou foram descartados como resíduos sólidos da construção civil.

As causas para o descarte do material biológico de uso transitório foram: tempo despendido para o processo de retirada e armazenamento adequado do material; o baixo custo do material; falta de padronização das dimensões dos projetos; falta de adoção de estratégias de reuso e/ou incorporação; estoque inadequado do material após uso, muitas vezes não havendo espaço adequado; compra de peças verdes e danificadas, comprometendo o uso e reuso; dificuldades no desmolde das peças de concreto, resultando em excesso de quebra da madeira; desperdício por corte, com peças que nem chegam a serem usadas.

A incorporação de madeira em estruturas de telhado, que foi um fluxo exclusivo das obras do tipo casas, correspondeu a 29,8% da madeira serrada de todos os casos em que este fluxo ocorreu.

Verificou-se que casas térreas com telhas pesadas (cerâmicas ou de concreto) consumiram 3,3 vezes a quantidade madeira para executar telhados de casas com telhas leves e 6,5 vezes a madeira para estrutura de telhado de sobrados com telhas leves. Apesar da classificação das telhas quanto ao peso, outros fatores como dimensões das telhas e inclinação necessária para aplicá-las pareceram fatores mais relevantes para explicar tais diferenças dos valores encontrados.

3.5 REFERÊNCIAS (CAPÍTULO 3)

AMOR, L. L. V. Modelo para estimar a geração de resíduos de madeira de uso provisório em obras de edifícios verticais. 2017. 101 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil _ UNISINOS. São Leopoldo, 2017. Disponível em: http://www.repositorio.jesuita.org.br/bitstream/handle/UNISINOS/6311/Luciano+Lopes+Vargas+Amor_.pdf;jsessionid=73B510C2ED6276919EB97E4B9079A76C?sequence=1. Acesso em: 7 Jul. 2022.

ÂNGULO, Sérgio Cirelli; CARELLI, Élcio; QUATTRONE, Marco; JOHN, Vanderley M.; MOTTA, Rosângela; BOSCOV, Maria Eugênia; SILVA, Raphael Balduino; PANIGUEL, Ricardo L. Castro. Parte 2: Reúso e reciclagem de resíduos de construção em canteiro de obras. In: Gestão ambiental de resíduos da construção civil: avanços institucionais e melhorias técnicas. SindusCon-SP, São Paulo, p. 74 – 144, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 12721: Avaliação de custos de construção para incorporação imobiliária e outras disposições para condomínios e edifícios. Rio de Janeiro, 2006.

BORJA, L. C.; CÉSAR, S.; CUNHA, R.; KIPERSTOK, A. A quantitative method for prediction of environmental aspects in construction sites of residential buildings. Sustainability, Basel, v. 10, n. 1870, 4 Jun. 2018. MDPI AG. DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/su10061870>.

CARELLI, E. D. A resolução CONAMA no 307/2002 e as novas condições para a gestão de resíduos de construção e demolição. Dissertação (Mestrado) – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza. 2008. 157 p.

COCHRANE. Cochrane database of systematic reviews. [online], 2021. Disponível em: <https://www.cochranelibrary.com/cdsr/about-cdsr>. Acesso: 7 Jul. 2022.

EMBRAPA. Transferência de Tecnológica Florestal. Colombo, 2020. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/florestas/transferencia-de-tecnologia/pinus/perguntas-e-respostas>. Acesso em: 05 Jul. 2022.

HADDWAY N. R.; MACURA, B.; WHALEY, P.; PULLIN, A. S. 2017. ROSES for Systematic Review Protocols. Version 1.0 Online, 2017. DOI: 10.6084/m9.figshare.5897269. Disponível em: <https://www.roses-reporting.com/systematic-review-protocols>. Acesso em: 7 Jun. 2022.

HAO, J.; CHEN, Z.; ZHANG, Z; LOEHLEIN, G. Quantifying construction waste reduction through the application of prefabrication: a case study in Anhui, China. Environmental Science Pollution Research, Heidelberg, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-020-09026-2>.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. Estatísticas de Gênero: notas técnicas. Rio de Janeiro: IBGE, 2010. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/apps/snig/v1/notas_metodologicas.html?loc=0. Acesso em: 01 Jul. 2022.

Instituto Brasileiro de Geografia Estatística (IBGE). Sistema IBGE de Recuperação

Automática (SIDRA). Pesquisa Nacional Por Amostra Domicilio - Anual (PNAD). Tabela 6820 - Domicílios e Moradores, por tipo de domicílio. [online], 2021. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/Tabela/6820>. Acesso em: 6 Jul. 2022.

KERN, A. P.; AMOR, L. V.; ÂNGULO, S. C.; MONTELONGO, A. Factors influencing temporary wood waste generation in high-rise building construction. *Waste Management*, Oxford, v. 78, p. 446-455, Ago. 2018. Elsevier BV. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2018.05.057>.

LACHIMPADI, Suresh Kumar; PEREIRA, Joy Jacqueline; TAHA, Mohd Raihan; MOKHTAR, Mazlin. Construction waste minimisation comparing conventional and precast construction (Mixed System and IBS) methods in high-rise buildings: a malaysia case study. *Resources, Conservation And Recycling*, Ann Arbor, v. 68, p. 96-103, nov. 2012. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2012.08.011>. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2012.08.011>.

LI, J.; DING, Z.; MI, X.; WANG, J. A model for estimating construction waste generation index for building project in China. *Resources, Conservation and Recycling*, Ann Arbor, v. 74, p. 20-26, Maio 2013. Elsevier BV. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2013.02.015>.

LU, W.; YUAN, H.; LI, J.; HAO, J. J.L.; MI, X.; DING, Z. An empirical investigation of construction and demolition waste generation rates in Shenzhen city, South China. *Waste Management*, Oxford, v. 31, n. 4, p. 680-687, Abr. 2011. Elsevier BV. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2010.12.004>.

MIOT, Hélio Amante. Avaliação da normalidade dos dados em estudos clínicos e experimentais. *Jornal Vascular Brasileiro*, [S.L.], v. 16, n. 2, p. 88-91, jun. 2017. FapUNIFESP (SciELO). DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1677-5449.041117>.

MAH, C. M.; FUJIWARA, T.; HO, C. S. Construction and demolition waste generation rates for high-rise buildings in Malaysia. *Waste Management & Research*, London, v. 34, n. 12, p. 1224-1230, 28 set. 2016. SAGE Publications. DOI: <http://dx.doi.org/10.1177/0734242x16666944>.

MALIA, M. A. B. Indicadores de resíduos de construção e demolição. Dissertação (Mestrado) – Instituto Superior Técnico. Lisboa. 2010. 138p.

SERVIÇO BRASILEIRO DE APOÍO ÀS MICRO E PEQUENAS EMPRESAS (SEBRAE). Notas metodológicas para definição dos números básicos de MPE. Brasília, DF, 2006. P. 13. Disponível em: <https://www.dieese.org.br/anuario/2011/anuarioSebrae10-11/15.html>. Acesso em: 7 Jun. 2022.

SCANNAVINO, Katia Romero Felizardo; NAKAGAWA, Elisa Yumi; FABRI, Sandra Camargo Pinto Ferraz; FERRARI, Fabiano Cutigi. Revisão Sistemática da Literatura em Engenharia de Software: teoria e prática. [S.l.: s.n.], 2017.

SILVA, Guilherme Liziero Ruggio; SALES, Vanessa Sales; FIDENCIO, Jéssica; ESTEVÃO, Camila; MATOS, Gabriela de; Prado, Aline do; HILARIO, Diego. A modelagem matemática na construção de telhados com diferentes tipos de telhas. In: *Anais da Semana de Ciência e Tecnologia/ Instituto Federal de Minas Gerais, Campus Ouro Preto*. V- 1, (out., 2009).

TAM, V. W. y.; SHEN, L.; TAM, C.M. Assessing the levels of material wastage affected by sub-contracting relationships and projects types with their correlations. *Building and Environment*, Oxford. v. 42, n. 3, p. 1471-1477, mar. 2007. Elsevier BV. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2005.12.023>. Acesso em: 7 Jun. 2022.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS DA PESQUISA

O estoque habitacional brasileiro é caracterizado pelo predomínio de construções do tipo casa (88,6%) e de apartamentos (14,2%). São construções marcadas pelo uso de sistemas estruturais em CAMIL, o que convencionalmente demanda o uso da madeira de modo provisório para estruturas de sistemas de formas, escoras, proteção coletiva, instalações canteiro etc.

A madeira utilizada se caracterizou por três grupos: toras de madeira, madeira serrada e painéis de madeira (painéis de compensados e OSB). Nas obras do tipo casa, obtidos a partir de estudos de casos, apenas a madeira serrada foi usada de modo permanente em estruturas de telhado, sendo os demais produtos utilizados de modo estritamente provisório, com destaque para uso de madeira serrada para fôrmas, toras para o sistema de escoras e andaimes e painéis de madeira utilizados nas estruturas de tapume e de elementos provisórios de canteiro (escritório, depósito, banheiro etc.). Nas obras verticais, obtidas a partir de revisão da literatura, verificou-se o uso exclusivamente transitório dos três produtos apontados, com destaque do uso de madeira para sistemas de formas e de andaimes fachadeiros.

Na literatura, para edifícios verticais estimou-se a partir dos estudos levantados o consumo de madeira de 0,002 a 0,098 m³/m². Nestas obras a incorporação de madeira não foi identificada, e o reuso do material em outros canteiros ocorreu em apenas um caso, o que fez com que a faixa de variação dos resíduos gerados fosse igual a de entrada de madeira, de 0,002 a 0,098 m³/m². Esta variação dos indicadores de resíduos se deveu a: qualidade do material de madeira; volume de concreto consumido; adoção de sistemas de proteção coletivo em madeira em detrimento dos metálicos por exemplo; falta de estratégias de reuso; estocagem inadequada do material após o uso; falta de padronização dos elementos em concreto; excesso de cortes nas peças de madeira devido a fatores como falta de plano de corte; reduzida ou não adoção de elementos pré-fabricados.

Nos estudos de casos, com casas do tipo térreas e sobrados, ambas geminadas e não geminadas, o consumo de madeira foi de 0,034 a 0,100 m³/m², a incorporação de madeira foi de 0,002 a 0,044 m³/m². As saídas variaram de 0,030 a 0,083 m³/m² e foram divididas em dois fluxos, sendo estes os fluxos de reuso, que variou de 0,003 a 0,064 m³/m², e o de resíduos, que variou de 0,010 a 0,077 m³/m².

Os itens relevantes para o aumento de consumo de madeira foram:

personalização dos projetos (não padronização), com elementos estruturais de tamanhos diversos, telhados de menores dimensões e mais pesados, que demandavam maiores estruturas de madeira, com estruturas de maiores inclinações, mais robustas e de menor espaçamento entre apoios. A redução para o consumo de madeira foi resultado de: utilização de estruturas metálicas na cobertura e nos sistemas de escoramento; incorporação de madeira de uso provisório em fins permanentes ao final de seu uso. A diminuição da produção de resíduos esteve ligada: ao reuso do material em outros canteiros e a incorporação de madeira inicialmente utilizada para fins provisórios.

A principal diferença no perfil de consumo entre a amostra de edifícios verticais (literatura) e a de casas (dados primários) está na incorporação de madeira em sistemas de estrutura de telhado, que acontece apenas nas casas. O consumo de madeira de uso provisório é menor em obras verticais devido a possibilidade de reuso num mesmo canteiro, facilitado pela repetição de características de projetos, como a existência de pavimento tipo por exemplo. O reuso dos jogos de formas variou de 2 a 7 vezes na literatura, ao passo que nos estudos de casos múltiplos, o reuso de madeira serrada não passava de vezes nas obras dos estudos de casos e a madeira de toras de reuso estimado de 2 a 6 vezes.

Com relação ao uso transitório, a diferença concentra-se no uso recorrente de elementos específicos para altura nos edifícios verticais, tais como andaimes fachadeiros e plataformas de proteção, não sendo estes usados na amostra de casas.

A produção de resíduos da literatura e dos estudos de casos se difere também em virtude dos elementos utilizados em edifícios altos e que não são necessários em construções do tipo casa, além da repetição de *layouts* nos edifícios verticais, que facilitam o reuso e diminuem os indicadores de consumo e geração de resíduos por consequência.

A destinação dada foi geralmente reciclagem, com a transformação da madeira em cavacos e o aproveitamento de seu potencial energético por diversas indústrias da região.

5 LIMITAÇÕES DA PESQUISA E FUTUROS TRABALHOS

Esta pesquisa apresentou grande variabilidade dos indicadores de fluxos de madeira de uso permanente e provisórios, com a amostra de construções do tipo casas apresentando pelo menos quatro tipos: casas térreas e sobrados, ambos geminados e não geminados. As amostras de cada fluxo nem sempre foram grandes o bastante para fornecer indicadores que se comportassem dentro de uma distribuição normal, com confiança de 95% nos valores obtidos.

Estas amostras também não tiveram tamanho suficiente para que se estabeleça uma relação entre o tipo de construção e os seus respectivos fluxos de madeira.

Os indicadores dos estudos de casos da literatura também apresentaram importantes variações, com dificuldades para estimar-se a densidade dos fluxos de madeira, em virtude, inclusive, de não se conhecer as quantidades e respectivos tipos de produtos de madeira usados em cada obra.

Esta pesquisa não estimou outros fluxos de madeira de uso permanente, como a madeira para pisos, esquadrias, brises, pergolados etc. e seu impacto nos indicadores que caracterizam o fluxo de madeira em obras residenciais.

Por tanto, para futuros trabalhos recomendasse:

- Aumentar o tamanho da amostra de cada um dos quatro grupos de casas, de modo a melhorar a robustez dos achados, possibilitando a generalização dos achados em escala municipal, estadual e/ou federal.
- Comparar os quatro grupos de casas entre si, verificando com significância estatística o comportamento da intensidade dos indicadores de cada fluxo de madeira, aferindo a influência do tipo de moradia nas variações destes indicadores.
- Verificar a influência das diversas características de projeto (número de cômodos, presença ou não de elementos especiais de concreto, volume de concreto, intensidade de paredes, etc.) no consumo de madeira de uso provisório nas construções do tipo casa.
- Gerar modelos preditivos para estimar o consumo e geração de resíduos de madeira, baseados em características de projetos (tipo de construção), para construções do tipo casa.
- Estimar indicadores de fluxos de produtos de madeira em obras residenciais verticais no Brasil, identificando as proporções, espécies e

densidades dos produtos de madeira utilizados nas obras.

- Estimar o quanto a padronização de projeto pode reduzir o consumo de madeira de uso provisório em obra.
- Investigar o quanto a modularidade das peças de concreto armado moldado in loco pode influenciar no consumo de madeira de uso provisório.
- Estimar a participação de outros elementos de uso madeira de uso permanente (pisos, esquadrias etc.) nos fluxos do material em obras residenciais no Brasil.

6 APÊNDICES

APÊNDICE A – ARTIGOS E MOTIVOS DE INCLUSÃO/EXCLUSÃO NA METANÁLISE

Filtro aplicado após leitura completa dos artigos							
Referência	Estudo de Caso/ dados primários	Envoltória em alvenaria, estrutura em concreto armado moldado in loco	Uso residencial ou misto	Formas de madeira em mais de uma fase construtiva	Quantificação consumo/resíduos	Decisão	
						Aceito	Rejeitado
Begum <i>et al.</i> (2006)	✓	✓			✓		✓
Tam, Shen e Tam (2007)	✓	✓	✓	✓			✓
Lu <i>et al.</i> (2011)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
Moyano, Agudo e Santiago (2011)	✓	✓	✓		✓		✓
Liu, You-song e Yi-yong (2012)	✓	✓	✓				✓
Lachimpadi <i>et al.</i> (2012)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
Hong <i>et al.</i> , (2012)	✓	✓	✓				✓
García-Martínez e Casas (2012)		✓	✓	✓	✓		✓
Li <i>et al.</i> (2013)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
Mao <i>et al.</i> (2013)	✓	✓	✓				✓
Mália <i>et al.</i> (2013)		✓	✓		✓		✓
Estokova e Porhincak (2013)	✓						✓
Li <i>et al.</i> (2014)		✓	✓	✓	✓		✓

Sáez <i>et al.</i> , (2014)		✓	✓	✓	✓	✓	✓
Hong, koo e Lee (2014)		✓	✓	✓	✓	✓	✓
Bakshan <i>et al.</i> (2015)	✓	✓		✓	✓		✓
Ângulo, Gulo e Quattrone (2015)	✓	✓	✓				✓
N. Y. <i>et al.</i> (2013)							✓
Dong <i>et al.</i> (2015)		✓	✓	✓	✓		✓
Estokova e Porhincak (2015)			✓				✓
Ji <i>et al.</i> (2016)	✓		✓				✓
Mah, Fujiwara e Ho (2016)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
Hoxha <i>et al.</i> (2016)	✓	✓	✓				✓
Lo (2017)		✓					✓
Borja <i>et al.</i> (2018)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
Evangelista <i>et al.</i> (2018)		✓					✓
Kern <i>et al.</i> (2018)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
Freire- Guerrero, Alba- Rodríguez e Marrero (2019)		✓	✓				✓
Emami <i>et al.</i> (2019)		✓	✓				✓
Hao <i>et al.</i> (2021)	✓	✓	✓	✓			✓
slame t al. (2019)		✓	✓	✓	✓		✓
Wu, Yu e Poon (2019)	✓	✓	✓	✓			✓

Nasab <i>et al.</i> (2019)	✓	✓	✓			✓
Bravo, Valderrama-Ulloa e Ossio (2019)		✓	✓		✓	✓
Hu (2020)	✓	✓	✓			✓
Bracho e Martinez (2020)					✓	✓
Marrero e Rodríguez (2020)	✓	✓	✓	✓		✓
Vilventhan, Ram e Sugumaran (2019)	✓	✓	✓	✓		✓
Qi, Qi, e Ji (2019)	✓	✓	✓	✓		✓
Hao <i>et al.</i> , (2021)		✓	✓	✓	✓	✓
Zhou e AZAR (2018)				✓		✓
Hammad <i>et al.</i> (2019)	✓	✓	✓	✓		✓
Lu e Omar (2019)		✓	✓			✓
Liang <i>et al.</i> (2020)			✓			✓
Gottsche e Kelly (2018)	✓					✓
Ram e Kalidindi (2017)						✓
Teh <i>et al.</i> (2017)			✓			✓
Pittau <i>et al.</i> (2019)	✓	✓	✓			✓
Zhang e Wang (2017)	✓		✓	✓	✓	✓

Wen, Qi e Jrade (2016)		✓	✓				✓
Sandanayak <i>et al.</i> (2016)	✓	✓	✓				✓
Wu <i>et al.</i> (2014)		✓	✓	✓	✓		✓
Kern <i>et al.</i> (2015)	✓	✓	✓	✓			✓
Barba Junior <i>et al.</i> (2015)	✓	✓					✓
Shafiq, Gardezi e Nuruddin (2015)		✓	✓				✓
Tam e Hao (2014)	✓		✓	✓	✓		✓
Jayamathan e Rameezdeen (2014)	✓	✓	✓	✓		✓	
Mercader-Moyano e Arellano-Agudo (2013)		✓	✓	✓			✓
Solís-Guzmán, Marrero e Ramírez-de-Arellano (2013)		✓	✓	✓			✓
Ximenes e Grant (2013)	✓		✓	✓			✓
Brito (2012)	✓	✓					✓
Banias <i>et al.</i> (2011)			✓				✓
Shen, Tam e Li (2009)	✓						✓
Kourmpanis <i>et al.</i> (2008)							✓

Gerilla, Teknomo e Hokao (2006)			✓				✓
Kharrufa (2007)	✓	✓	✓				✓
Urio e Brent (2006)	✓		✓				✓
Poon <i>et al.</i> (2004 ^a)	✓		✓	✓			✓
Poon <i>et al.</i> (2004b)	✓	✓	✓				✓
Pereira e Begun (2010)	✓				✓	✓	✓
Zheng <i>et al.</i> (2017)						✓	✓
Idris, Rashid e Yusoff (2017)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
Zoghi e Kim (2020)	✓	✓					✓
Liu <i>et al.</i> (2014)		✓	✓				✓
Junior Kobayashi (2019)		✓	✓	✓	✓		✓
Amor (2017)*	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

*Este trabalho respeita todos os requisitos especificados no objetivo da revisão sistemática, mas apresenta as mesmas obras que o artigo de Kern *et al* (2018)
Fonte: autor (2022).

REFERÊNCIAS (APÊNDICE A)

AMOR, Luciano Lopes Vargas. Modelo para estimar a geração de resíduo de madeira de uso provisório em obras de edifícios verticais. 2017. 101 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2017. Disponível em:

http://www.repositorio.jesuita.org.br/bitstream/handle/UNISINOS/6311/Luciano+Lopes+Vargas+Amor_.pdf;jsessionid=3DED7C6AACFB18355FC7CD573E1233D8?sequence=1.

Acesso em: 29 jun. 2022.

ÂNGULO, Sergio Cirelli; GULO, Thais; QUATTRONE, Marco. Building Design and Construction Process Influence in Construction Waste Generation. *Key Engineering Materials*, [S.L.], v. 668, p. 297-303, out. 2015. Trans Tech Publications, Ltd. DOI: <http://dx.doi.org/10.4028/www.scientific.net/kem.668.297>.

BAKSHAN, Amal; SROUR, Issam; CHEHAB, Ghassan; EL-FADEL, Mutasem. A field based methodology for estimating waste generation rates at various stages of construction projects. *Resources, Conservation And Recycling*, [S.L.], v. 100, p. 70-80, jul. 2015. Elsevier BV. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2015.04.002>.

BANIAS, G.; ACHILLAS, Ch.; VLACHOKOSTAS, Ch.; MOUSSIOPOULOS, N.; PAPAIOANNOU, I.. A web-based Decision Support System for the optimal management of construction and demolition waste. *Waste Management*, [S.L.], v. 31, n. 12, p. 2497-2502, dez. 2011. Elsevier BV. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2011.07.018>.

BARBA JUNIOR, Durval João de; GOMES, Jefferson de Oliveira; LACERDA, Juliana Ferreira Santos Bastos de. Sustainability Assessment in Conventional and Industrialized Systems Built in Brazil. *Procedia Cirp*, [S.L.], v. 29, p. 144-149, 2015. Elsevier BV. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.procir.2015.02.190>.

BEGUM, Rawshan Ara; SIWAR, Chamhuri; PEREIRA, Joy Jacqueline; JAAFAR, Abdul Hamid. A benefit–cost analysis on the economic feasibility of construction waste minimisation: the case of malaysia. *Resources, Conservation And Recycling*, [S.L.], v. 48, n. 1, p. 86-98, jul. 2006. Elsevier BV. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2006.01.004>.

BEGUM, Rawshan Ara; SATARI, Siti Khadijah; PEREIRA, Joy Jacqueline. Waste Generation and Recycling: comparison of conventional and industrialized building systems. *American Journal Of Environmental Sciences*, [S.L.], v. 6, n. 4, p. 383-388, 1 abr. 2010. Science Publications. DOI: <http://dx.doi.org/10.3844/ajessp.2010.383.388>.

BORJA, Luis; CÉSAR, Sandro; CUNHA, Rita; KIPERSTOK, Asher. A Quantitative Method for Prediction of Environmental Aspects in Construction Sites of Residential Buildings. *Sustainability*, [S.L.], v. 10, n. 6, p. 1870, 4 jun. 2018. MDPI AG. DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/su10061870>.

BRACHO, L; MARTINEZ, P. Diagnosis of the Generation of Solid Waste in the Construction of a Building Under the Approach of Industrial Ecology. *Iop Conference Series: Earth and Environmental Science*, [S.L.], v. 503, n. 1, p. 012023, 1 maio 2020. IOP Publishing. DOI: <http://dx.doi.org/10.1088/1755-1315/503/1/012023>.

BRAVO, Jorge; VALDERRAMA, Claudia; OSSIO, Felipe. Cuantificación Económica de los Residuos de Construcción de una Edificación en Altura: un caso de estudio. *Información Tecnológica*, [S.L.], v. 30, n. 2, p. 85-94, mar. 2019. SciELO Agencia Nacional de Investigación y Desarrollo (ANID). DOI: <http://dx.doi.org/10.4067/s0718-07642019000200085>.

COELHO, André; BRITO, Jorge de. Influence of construction and demolition waste management on the environmental impact of buildings. *Waste Management*, [S.L.], v. 32, n. DOI:3, p. 532-541, mar. 2012. Elsevier BV. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2011.11.011>.

DONG, Ya Hong; JAILLON, Lara; CHU, Peggy; POON, C.s.. Comparing carbon emissions of precast and cast-in-situ construction methods – A case study of high-rise private building. *Construction And Building Materials*, [S.L.], v. 99, p. 39-53, nov. 2015. Elsevier BV. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.08.145>.

EMAMI, Nargessadat; HEINONEN, Jukka; MARTEINSSON, Björn; SÄYNAJOKI, Antti; JUNNONEN, Juha-Matti; LAINE, Jani; JUNNILA, Seppo. A Life Cycle Assessment of Two Residential Buildings Using Two Different LCA Database-Software Combinations: recognizing uniformities and inconsistencies. *Buildings*, [S.L.], v. 9, n. 1, p. 20, 14 jan. 2019. MDPI AG. DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/buildings9010020>.

ESTOKOVA, Adriana; PORHINCAK, Milan. Environmental analysis of two building material alternatives in structures with the aim of sustainable construction. *Clean Technologies And Environmental Policy*, [S.L.], v. 17, n. 1, p. 75-83, 13 abr. 2014. Springer Science and Business Media LLC. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s10098-014-0758-z>.

EVANGELISTA, Patricia P.A.; KIPERSTOK, Asher; TORRES, Ednildo A.; GONÇALVES, Jardel P.. Environmental performance analysis of residential buildings in Brazil using life cycle assessment (LCA). *Construction And Building Materials*, [S.L.], v. 169, p. 748-761, abr. 2018. Elsevier BV. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.02.045>.

FREIRE-GUERRERO, Antonio; ALBA-RODRÍGUEZ, M. Desirée; MARRERO, Madelyn. A budget for the ecological footprint of buildings is possible: a case study using the dwelling construction cost database of andalusia. *Sustainable Cities And Society*, [S.L.], v. 51, p. 101737, nov. 2019. Elsevier BV. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scs.2019.101737>.

GERILLA, G.P.; TEKNOMO, K.; HOKAO, K. An environmental assessment of wood and steel reinforced concrete housing construction. *Building And Environment*, [S.L.], v. 42, n. 7, p. 2778-2784, jul. 2007. Elsevier BV. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2006.07.021>.

GOTTSCHE, Jan; KELLY, Mark. Assessing the impact of construction waste reduction on selected projects in Ireland. *Proceedings Of The Institution Of Civil Engineers - Waste And Resource Management*, [S.L.], v. 171, n. 3, p. 71-81, ago. 2018. Thomas Telford Ltd. DOI: <http://dx.doi.org/10.1680/jwarm.17.00034>.

HU, Ming. A Building Life-Cycle Embodied Performance Index—The Relationship between Embodied Energy, Embodied Carbon and Environmental Impact. *Energies*, [S.L.], v. 13, n. 8, p. 1905, 13 abr. 2020. MDPI AG. DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/en13081905>.

HAMMAD, Ahmed Wa.; AKBARNEZHAD, Ali; WU, Peng; WANG, Xiangyu; HADDAD, Assed. Building information modelling-based framework to contrast conventional and modular construction methods through selected sustainability factors. *Journal Of Cleaner Production*, [S.L.], v. 228, p. 1264-1281, ago. 2019. Elsevier BV. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.150>.

HAO, Jianli; YUAN, Hongping; LIU, Jing; CHIN, Chee Seong; LU, Weisheng. A model for assessing the economic performance of construction waste reduction. *Journal Of Cleaner Production*, [S.L.], v. 232, p. 427-440, set. 2019. Elsevier BV. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.05.348>.

HAO, Jianli; CHEN, Zhikun; ZHANG, Zihan; LOEHLEIN, Gisela. Quantifying construction waste reduction through the application of prefabrication: a case study in anhui, china. *Environmental Science And Pollution Research*, [S.L.], v. 28, n. 19, p. 24499-24510, 1 maio 2020. Springer Science and Business Media LLC. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s11356-020-09026-2>.

HONG, Taehoon; KOO, Choongwan; LEE, Sungug. Benchmarks as a tool for free allocation through comparison with similar projects: focused on multi-family housing complex. *Applied Energy*, [S.L.], v. 114, p. 663-675, fev. 2014. Elsevier BV. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.10.035>.

HONG, Won-Kee; LIM, Gyun-Taek; PARK, Seon-Chee; KIM, Jeong Tai. Energy efficiencies of linear-shaped multi-residential apartment buildings built with hybrid structural systems. *Energy And Buildings*, [S.L.], v. 46, p. 30-36, mar. 2012. Elsevier BV. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.10.049>.

HOXHA, Endrit; HABERT, Guillaume; LASVAUX, Sébastien; CHEVALIER, Jacques; ROY, Robert Le. Influence of construction material uncertainties on residential building LCA reliability. *Journal Of Cleaner Production*, [S.L.], v. 144, p. 33-47, fev. 2017. Elsevier BV. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.068>.

ISLAM, Rashidul; NAZIFA, Tasnia Hassan; YUNIARTO, Adhi; UDDIN, A.s.M. Shanawaz; SALMIATI, Salmiati; SHAHID, Shamsuddin. An empirical study of construction and demolition waste generation and implication of recycling. *Waste Management*, [S.L.], v. 95, p. 10-21, jul. 2019. Elsevier BV. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2019.05.049>.

JI, Yingbo; LI, Kaijian; LIU, Guiwen; SHRESTHA, Asheem; JING, Jinxi. Comparing greenhouse gas emissions of precast in-situ and conventional construction methods. *Journal Of Cleaner Production*, [S.L.], v. 173, p. 124-134, fev. 2018. Elsevier BV. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.07.143>.

KERN, Andrea Parisi; DIAS, Michele Ferreira; KULAKOWSKI, Marlova Piva; GOMES, Luciana Paulo. Waste generated in high-rise buildings construction: a quantification model based on statistical multiple regression. *Waste Management*, [S.L.], v. 39, p. 35-44, maio 2015. Elsevier BV. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2015.01.043>.

- KERN, Andrea Parisi; AMOR, Luciano Vargas; ÂNGULO, Sergio Cirelli; MONTELONGO, Alfredo. Factors influencing temporary wood waste generation in high-rise building construction. *Waste Management*, [S.L.], v. 78, p. 446-455, ago. 2018. Elsevier BV. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2018.05.057>.
- KLEEMANN, Fritz; LEDERER, Jakob; ASCHENBRENNER, Philipp; RECHBERGER, Helmut; FELLNER, Johann. A method for determining buildings' material composition prior to demolition. *Building Research & Information*, [S.L.], v. 44, n. 1, p. 51-62, 6 dez. 2014. Informa UK Limited. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/09613218.2014.979029>.
- KHARRUFA, Sahar. Reduction of building waste in Baghdad Iraq. *Building And Environment*, [S.L.], v. 42, n. 5, p. 2053-2061, maio 2007. Elsevier BV. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2006.03.011>.
- KOURMPANIS, B.; PAPADOPOULOS, A.; MOUSTAKAS, K.; STYLIANOU, M.; HARALAMBOUS, K.J.; LOIZIDOU, M.. Preliminary study for the management of construction and demolition waste. *Waste Management & Research: The Journal for a Sustainable Circular Economy*, [S.L.], v. 26, n. 3, p. 267-275, jun. 2008. SAGE Publications. DOI: <http://dx.doi.org/10.1177/0734242x07083344>.
- KOBAYASHI JÚNIOR, Yutaka Mario. Estudo comparativo do consumo de madeira entre o sistema construtivo convencional e a alvenaria estrutural. 2019. 46 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Limpas, Unicesumar - Centro Universitário de Maringá, Maringá, 2019. Disponível em: <https://rdu.unicesumar.edu.br/bitstream/123456789/5991/1/YUTAKA%20MARIO%20KOBAYASHI%20JÚNIOR.pdf>. Acesso em: 29 jun. 2022.
- LACHIMPADI, Suresh Kumar; PEREIRA, Joy Jacqueline; TAHA, Mohd Raihan; MOKHTAR, Mazlin. Construction waste minimisation comparing conventional and precast construction (Mixed System and IBS) methods in high-rise buildings: a malaysia case study. *Resources, Conservation And Recycling*, [S.L.], v. 68, p. 96-103, nov. 2012. Elsevier BV. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2012.08.011>.
- LIANG, Shaobo; GU, Hongmei; BERGMAN, Richard; KELLEY, Stephen S.. Comparative life-cycle assessment of a mass timber building and concrete alternative. *Wood And Fiber Science*, [S.L.], v. 52, n. 2, p. 217-229, 24 abr. 2020. Society of Wood Science and Technology. DOI: <http://dx.doi.org/10.22382/wfs-2020-019>.
- LI, Jingru; DING, Zhikun; MI, Xuming; WANG, Jiayuan. A model for estimating construction waste generation index for building project in China. *Resources, Conservation And Recycling*, [S.L.], v. 74, p. 20-26, maio 2013. Elsevier BV. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2013.02.015>.
- LI, Xiaodong; YANG, Fan; ZHU, Yimin; GAO, Yuanxue. An assessment framework for analyzing the embodied carbon impacts of residential buildings in China. *Energy And Buildings*, [S.L.], v. 85, p. 400-409, dez. 2014. Elsevier BV. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.09.051>.
- LIU, Jingkuang; WANG, Yousong; YANG, Bilei; LIN, Yiyong. A Model for Quantification of Construction Waste in New Residential Buildings. *Proceedings Of The 17Th International Symposium On Advancement Of Construction Management And Real Estate*, [S.L.], p. 1079-1088, 18 jun. 2013. Springer Berlin Heidelberg. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/978-3->

642-35548-6_110.

LO, Chien-Li. Environmental benefits of renewable building materials: a case study in taiwan. *Energy And Buildings*, [S.L.], v. 140, p. 236-244, abr. 2017. Elsevier BV. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.02.010>.

LU, Weisheng; YUAN, Hongping; LI, Jingru; HAO, Jane J.L.; MI, Xuming; DING, Zhikun. An empirical investigation of construction and demolition waste generation rates in Shenzhen city, South China. *Waste Management*, [S.L.], v. 31, n. 4, p. 680-687, abr. 2011. Elsevier BV. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2010.12.004>.

LU, Zhi-Hao; OMAR, Wan-Mohd-Sabki Wan. Environmental impact assessment of tall building structural design with precast and conventional building system on embodied energy and carbon emission. In: *AIP CONFERENCE PROCEEDINGS*, 020039., 2019, Perak. AIP Conference Proceedings. Perak: Aip Publishing, 2019. v. 2157, p. 0-7. DOI: <https://doi.org/10.1063/1.5126574>.

MAH, Chooi Mei; FUJIWARA, Takeshi; HO, Chin Siong. Construction and demolition waste generation rates for high-rise buildings in Malaysia. *Waste Management & Research*, [S.L.], v. 34, n. 12, p. 1224-1230, 28 set. 2016. SAGE Publications. DOI: <http://dx.doi.org/10.1177/0734242x16666944>.

MÁLIA, Miguel; BRITO, Jorge de; PINHEIRO, Manuel Duarte; BRAVO, Miguel. Construction and demolition waste indicators. *Waste Management & Research: The Journal for a Sustainable Circular Economy*, [S.L.], v. 31, n. 3, p. 241-255, 11 jan. 2013. SAGE Publications. DOI: <http://dx.doi.org/10.1177/0734242x12471707>.

MAO, Chao; SHEN, Qiping; SHEN, Liyin; TANG, Liyaning. Comparative study of greenhouse gas emissions between off-site prefabrication and conventional construction methods: two case studies of residential projects. *Energy And Buildings*, [S.L.], v. 66, p. 165-176, nov. 2013. Elsevier BV. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.07.033>.

MARTÍNEZ, Antonio García; CASAS, Jaime Navarro. LIFE CICLE ASSESMENTS OF THREE DWELLINGS IN ANDALUSIA (SPAIN): the significance of the regional context / triju gyvenamųjų būstų andalūzijoje (ispanija) gyvavimo ciklo vertinimas. *Mokslas - Lietuvos Ateitis*, [S.L.], v. 4, n. 2, p. 106-112, 11 maio 2012. Vilnius Gediminas Technical University. DOI: <http://dx.doi.org/10.3846/mla.2012.22>.

MARRERO, Madelyn; RIVERO-CAMACHO, Cristina; ALBA-RODRÍGUEZ, M. Desirée. What are we discarding during the life cycle of a building? Case studies of social housing in Andalusia, Spain. *Waste Management*, [S.L.], v. 102, p. 391-403, fev. 2020. Elsevier BV. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2019.11.002>.

MERCADER-MOYANO, Pilar; RAMÍREZ-DE-ARELLANO-AGUDO, Antonio. Selective classification and quantification model of C&D waste from material resources consumed in residential building construction. *Waste Management & Research: The Journal for a Sustainable Circular Economy*, [S.L.], v. 31, n. 5, p. 458-474, 26 fev. 2013. SAGE Publications. DOI: <http://dx.doi.org/10.1177/0734242x13477719>.

MOYANO, M^a Pilar Mercader. Calculation Methodology to Quantify and Classify Construction Waste. *The Open Construction And Building Technology Journal*, [S.L.], v. 5,

n. 1, p. 131-140, 22 dez. 2011. Bentham Science Publishers Ltd. DOI: <http://dx.doi.org/10.2174/1874836801105010131>.

NASAB, T. Jafary; MONAVARI, S. M.; JOZI, S. A.; MAJEDI, H.. Assessment of carbon footprint in the construction phase of high-rise constructions in Tehran. *International Journal Of Environmental Science And Technology*, [S.L.], v. 17, n. 6, p. 3153-3164, 5 out. 2019. Springer Science and Business Media LLC. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s13762-019-02557-3>.

N. Y., Nik Nurul-Hidayah; D., Shamzani Affendy M.; ABDULLAH, Alias; SUGIYAMA, T.; PURWANTO, Hadi. CO2 EMISSIONS FOR CONCRETE BORE PILING CONSTRUCTION. *Jurnal Teknologi*, [S.L.], v. 77, n. 30, p. 2180-3722, 20 dez. 2015. Penerbit UTM Press. DOI: <http://dx.doi.org/10.11113/jt.v77.6861>.

PITTAU, F; DOTELLI, G; A ARRIGONI,; HABERT, G; IANNACCONE, G. Massive timber building vs. conventional masonry building. A comparative life cycle assessment of an Italian case study. *Iop Conference Series: Earth and Environmental Science*, [S.L.], v. 323, n. 1, p. 012016, 1 ago. 2019. IOP Publishing. DOI: <http://dx.doi.org/10.1088/1755-1315/323/1/012016>.

POON, Chi Sun; YU, Ann Tit Wan; WONG, Sze Wai; CHEUNG, Esther. Management of construction waste in public housing projects in Hong Kong. *Construction Management And Economics*, [S.L.], v. 22, n. 7, p. 675-689, set. 2004a. Informa UK Limited. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/0144619042000213292>.

POON, C. S.; YU, Ann T. W.; JAILLON, L. Reducing building waste at construction sites in Hong Kong. *Construction Management And Economics*, [S.L.], v. 22, n. 5, p. 461-470, jun. 2004b. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/0144619042000202816>.

POON, Chi Sun; YU, Ann Tit Wan; SEE, Siu Ching; CHEUNG, Esther. Minimizing demolition wastes in Hong Kong public housing projects. *Construction Management And Economics*, [S.L.], v. 22, n. 8, p. 799-805, out. 2004. Informa UK Limited. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/0144619042000213283>.

PORHINCAK, Milan; ESTOKOVA, Adriana. Evaluation of environmental performance of building materials: study of 3 residential houses in Slovak Republic. In: *Central europe towards sustainable building 2013: sustainable building and refurbishment for next generations*, 2013, Praga: Cesb13, 2013. Disponível em: http://www.cesb.cz/cesb13/proceedings/5_tools/CESB13_1190.pdf. Acesso em: 29 jun. 2022.

QI, Kai; QI, Yuan; JI, Yingbo. An Engineering Consumption Differences Calculation Model for Prefabricated and Conventional Buildings in China. In: *International Conference on Construction and Real Estate Management 2019 (Iccrem 2019)*, p. 640-647, 29 ago. 2019, Alberta. American Society of Civil Engineers. DOI: <http://dx.doi.org/10.1061/9780784482308.074>.

RAM, Vg; KALIDINDI, Satyanarayana N. Estimation of construction and demolition waste using waste generation rates in Chennai, India. *Waste Management & Research: The Journal for a Sustainable Circular Economy*, [S.L.], v. 35, n. 6, p. 610-617, 1 mar. 2017. SAGE Publications. DOI: <http://dx.doi.org/10.1177/0734242x17693297>.

RASHID, Ahmad Abd; IDRIS, Juferi; YUSOFF, Sumiani. Environmental Impact Analysis on Residential Building in Malaysia Using Life Cycle Assessment. *Sustainability*, [S.L.], v. 9, n. 3, p. 329, 23 fev. 2017. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/su9030329>.

SÁEZ, Paola Villoria; MERINO, Mercedes del Río; César; GONZÁLEZ, Alicia San-Antonio. Assessing the accumulation of construction waste generation during residential building construction works. *Resources, Conservation And Recycling*, [S.L.], v. 93, p. 67-74, dez. 2014. Elsevier BV. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2014.10.004>.

SANDANAYAKE, Malindu; ZHANG, Guomin; SETUNGE, Sujeeva; LI, Chun Qing. Environmental Emissions in Building Construction – Two Case Studies of Conventional and Pre-Fabricated Construction Methods in Australia. In: Fourth international conference on sustainable construction materials and technologies, 4., 2016, Las Vegas. Proceedings. Las Vegas: Scmt4, 2016. Disponível em: <http://www.claisse.info/2016%20papers/M104.pdf>. Acesso em: 29 Jun. 2022.

SHEN, Li-Yin; TAM, Vivian Wing-Yan; LI, Chao-Yang. Benefit analysis on replacing in situ concreting with precast slabs for temporary construction works in pursuing sustainable construction practice. *Resources, Conservation And Recycling*, [S.L.], v. 53, n. 3, p. 145-148, jan. 2009. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2008.11.001>.

SOLÍS-GUZMÁN, Jaime; MARRERO, Madelyn; RAMÍREZ-DE-ARELLANO, Antonio. Methodology for determining the ecological footprint of the construction of residential buildings in Andalusia (Spain). *Ecological Indicators*, [S.L.], v. 25, p. 239-249, fev. 2013. Elsevier BV. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2012.10.008>.

SHAFIQ, Muhd Nasir; NURUDDIN, Syed Shujaa Safdar Gardezi Fadhil; FARHAN, Haiyi A Mohammad Al Rawy Syed Ahmad. Reduction of Embodied CO2 Emissions from Conventional Single Storey House in Malaysia by Recycled Materials using Building Information Modeling (BIM). *Advances In Environmental Biology*, Toronoh Perak, v. 1, n. 9, p. 17-21, 2015. Disponível em: <https://go.gale.com/ps/i.do?id=GALE%7CA417737733&sid=googleScholar&v=2.1&it=r&linkaccess=abs&issn=19950756&p=AONE&sw=w&userGroupName=anon%7E98218df2>. Acesso em: 29 Jun. 2022.

TAM, Vivian W.y.; SHEN, L.y.; TAM, C.M. Assessing the levels of material wastage affected by sub-contracting relationships and projects types with their correlations. *Building And Environment*, [S.L.], v. 42, n. 3, p. 1471-1477, mar. 2007. Elsevier BV. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2005.12.023>.

TAM, Vivian W. Y.; HAO, Jane J. L. Prefabrication as a mean of minimizing construction waste on site. *International Journal Of Construction Management*, [S.L.], v. 14, n. 2, p. 113-121, 3 abr. 2014. Informa UK Limited. DOI: <http://dx.doi.org/10.1108/ss-09-2012-0026>.

TEH, Soo Huey; WIEDMANN, Thomas; SCHINABECK, Judith; MOORE, Stephen. Replacement Scenarios for Construction Materials Based on Economy-wide Hybrid LCA. *Procedia Engineering*, [S.L.], v. 180, p. 179-189, 2017. Elsevier BV. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2017.04.177>.

URIO, Angela Flavia; BRENT, Alan C. Solid waste management strategy in Botswana: the reduction of construction waste. *Journal Of South African Institution Of Civil Engineering*, [s. l.], v. 48, n. 2, p. 18-22, 2006. Disponível em:

https://www.researchgate.net/publication/228427627_Solid_waste_management_strategy_in_Botswana_The_reduction_of_construction_waste. Acesso em: 29 jun. 2022.

VILVENTHAN, Aneetha; RAM, Vg; SUGUMARAN, S. Value stream mapping for identification and assessment of material waste in construction: a case study. *Waste Management & Research*, [S.L.], v. 37, n. 8, p. 815-825, 19 jun. 2019. SAGE Publications. DOI: <http://dx.doi.org/10.1177/0734242x19855429>.

WEN, Rikun; QI, Shenjun; JRADE, Ahmad. Simulation and Assessment of Whole Life-Cycle Carbon Emission Flows from Different Residential Structures. *Sustainability*, [S.L.], v. 8, n. 8, p. 807, 16 ago. 2016. MDPI AG. DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/su8080807>.

WU, Huanyu; DUAN, Huabo; WANG, Jiayuan; WANG, Ting; WANG, Xifu. Quantification of carbon emission of construction waste by using streamlined LCA: a case study of shenzhen, china. *Journal Of Material Cycles And Waste Management*, [S.L.], v. 17, n. 4, p. 637-645, 3 jul. 2015. Springer Science and Business Media LLC. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s10163-015-0404-9>.

WU, Zezhou; YU, Ann T.W.; POON, Chi Sun. An off-site snapshot methodology for estimating building construction waste composition - a case study of Hong Kong. *Environmental Impact Assessment Review*, [S.L.], v. 77, p. 128-135, jul. 2019. Elsevier BV. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.eiar.2019.03.006>.

XIMENES, Fabiano A.; GRANT, Tim. Quantifying the greenhouse benefits of the use of wood products in two popular house designs in Sydney, Australia. *The International Journal Of Life Cycle Assessment*, [S.L.], v. 18, n. 4, p. 891-908, 30 nov. 2012. Springer Science and Business Media LLC. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s11367-012-0533-5>.

ZHANG, Xiaocun; WANG, Fenglai. Stochastic analysis of embodied emissions of building construction: a comparative case study in china. *Energy And Buildings*, [S.L.], v. 151, p. 574-584, set. 2017. Elsevier BV. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.07.012>.

ZHENG, Lina; WU, Huanyu; ZHANG, Hui; DUAN, Huabo; WANG, Jiayuan; JIANG, Weiping; DONG, Biqin; LIU, Gang; ZUO, Jian; SONG, Qingbin. Characterizing the generation and flows of construction and demolition waste in China. *Construction And Building Materials*, [S.L.], v. 136, p. 405-413, abr. 2017. Elsevier BV. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.01.055>.

ZHOU, Hao; AZAR, Ehsan Rezazadeh. BIM-based energy consumption assessment of the on-site construction of building structural systems. *Built Environment Project And Asset Management*, [S.L.], v. 9, n. 1, p. 2-14, 15 nov. 2018. Emerald. DOI: <http://dx.doi.org/10.1108/bepam-01-2018-0002>.

ZOGHI, Milad; KIM, Sungjin. Dynamic Modeling for Life Cycle Cost Analysis of BIM-Based Construction Waste Management. *Sustainability*, [S.L.], v. 12, n. 6, p. 2483, 22 mar. 2020. MDPI AG. DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/su12062483>.

APÊNDICE B – ROTEIRO DE ENTREVISTA

GRUPO 1 – DESCRIÇÃO DA EMPRESA

1. Informações gerais da empresa

Data da entrevista: __/__/__

1. Nome da empresa _____
2. Nome do entrevistado _____
3. Cargo _____
4. Departamento _____
5. Tel.:(____) _____ Email _____ @ _____

2. Enquadramento da empresa (marcar “x” no quadrado correspondente)

1. Atividade principal (Enquadramento segundo CNAE)

Código 4399-1/01 (IBGE, 2021)

- Serviço de administração de obras
- Serviço de gerenciamento e execução de obras por contrato de construção por administração
- Direção e responsabilidade técnica de obras por contrato de construção por administração
- Execução de obras por contrato de construção por administração
- Gerenciamento de obras por contrato de construção por administração

2. Atividades agregadas

Código 4399-1/03 (IBGE, 2021)

- Obras de alvenaria
- Obras de cantaria
- Execução de trabalhos de pedreiro para obras de alvenaria

Código 4399-1/05

- Obras de colocação de telhados, coberturas
- Obras de concretagem (em formas) de vigas, colunas, lajes e outras peças estruturais em obras de construção civil (IBGE, 2021)

3. Profissional _____
4. Localização _____
5. Clientes: características principais _____

GRUPO 2 – CARACTERIZAÇÃO DA OBRA

3. Assinale “x” nas alternativas corretas

1. As obras são com envoltória em alvenaria de blocos cerâmicos/ de concreto, com

estrutura em concreto armado?

Sim Não

Os elementos de concreto são moldados enloco

Pilar Viga Fundação Escada Laje Verga e contraverga

2. As obras são residenciais ou mistas?

Sim Não

3. A empresa faz controle dos registros de consumo de madeira (dados planilhados, organizados)?

Sim Não

4. A empresa possui registros do consumo de madeira para fins provisórios (caixaria, tapumes, escoras, etc.)?

Sim Não

5. Assinale "x" nos quadrados dos aspectos existentes

Projeto arquitetônico

Projeto estrutural

Projeto de formas

Projeto de instalações provisórias (depósitos, área de vivência etc.)

Projeto de instalações de segurança em madeira (andaime fachadeiro, guarda corpos etc.)

Existência de depósito para madeira de reuso

GRUPO 3 – CARACTERIZAÇÃO DO FLUXO DA MADEIRA

4. Assinale com “x” a afirmativa correta e discorra, nos espaços discriminados, quando pertinente
1. Há perdas de madeira em obra? Ex.: relacionado a situações como fraturas nas peças por manuseio ou perdas por corte (ajustes dimensionais, etc.), que impeçam ao menos uma aplicação em canteiro de obra (a madeira não chega a ser usada, se tornando resíduo).
2. Existe alguma estimativa de perdas de madeira em canteiro, em volume?
 Sim Não
- a) Saberíamos estimar esse valor, em porcentagem (volume, peças)?
 Sim Não
- b) Conhece algum outro servidor que teria essa informação?
 Sim Não
- a) Quem? _____
- b) Resposta (Descreva detalhes, informando % do volume da madeira serrada ou % da unidade de peças de madeira sempre que possível for): _____
3. Há reuso da madeira da madeira utilizada nessa obra em outro canteiro de obra?
 Formas
 Escoras
 Tapumes
 Instalações de segurança
 Instalações provisórias
4. Existe alguma estimativa deste reuso?
 Sim Não
- a) Saberíamos estimar esse valor, em porcentagem (volume, peças)?
 Sim Não
- a) Conhece algum outro servidor que teria essa informação?
 Sim Não
- b) Quem? _____
- c) Resposta: descreva detalhes (% do volume da madeira serrada ou % da unidade de peças de madeira) sempre que possível for: _____
5. Há reuso da madeira desta obra entre as fases da mesma? (formas e escoras reusadas de um andar para o outro, formas de pilares reusados em vigas, formas de fundação reusadas em pilares, ou vigas, etc.)
 Formas
 Escoras
 Tapumes
 Instalações de segurança
 Instalações provisórias
6. Existe alguma estimativa deste reuso?

Sim Não

a) Saberá estimar esse valor, em porcentagem (volume, peças)?

Sim Não

b) Conhece algum outro servidor que teria essa informação?

Sim Não

a) Quem? _____

b) Resposta (Descreva detalhes, informando % do volume da madeira serrada ou % da unidade de peças de madeira sempre que possível for): _____

7. Há reuso de uma unidade habitacional em outra unidade, dentro do mesmo canteiro de obra? (Entre casas geminadas, apartamentos, etc.)

Formas

Escoras

Tapumes

Instalações de segurança

Instalações provisórias

5. Existe alguma estimativa deste reuso?

Sim Não

a) Saberá estimar esse valor, em porcentagem (volume, peças)?

Sim Não

b) Conhece algum outro servidor que teria essa informação?

Sim Não

c) Quem? _____

a) Resposta (Descreva detalhes, informando % do volume da madeira serrada ou % da unidade de peças de madeira sempre que possível for): _____

9. Há incorporação da madeira na própria obra (ex.: madeira inicialmente usada para fins provisórios vira estrutura de cobertura, fica enterrada na fundação etc.)?

6. Existe alguma estimativa desta incorporação?

Sim Não

e) Saberá estimar esse valor, em porcentagem (volume, peças)?

Sim Não

f) Conhece algum outro servidor que teria essa informação?

Sim Não

g) Quem? _____

b) Resposta (Descreva detalhes, informando % do volume da madeira serrada ou % da unidade de peças de madeira sempre que possível for): _____

GRUPO 4 – CARACTERÍSTICAS DO USO DA MADEIRA

5. Qualidade das peças

5.1. Qual a qualidade inicial das peças de madeira serrada?

a) As peças de madeira eram novas, secas e sem fraturas ou deformações de dimensões e planeza

Totalidade; Parte; Informe a porcentagem _____

b) Peças verdes

Totalidade; Parte; Informe a porcentagem, em volume _____

c) Deformidades dimensionais, necessitando ajustes (empenadas)

Totalidade; Parte; Informe a porcentagem, em volume _____

d) Danificações que comprometem estanquidade (fraturas, fissuras, etc.)

Totalidade; Parte; Informe a porcentagem _____

a) Outro defeito pertinente, não considerado acima

Totalidade; Parte; Informe a porcentagem _____

6. Qual o destino de descarte das peças ao final da obra? (Descreva detalhes informando % do volume da madeira serrada ou % da unidade de peças de madeira sempre que possível for)

Caçamba e envio para estação de deposição dos resíduos sólidos municipais: _____

Doação(finalidade): _____

Combustível: _____

Reuso para outras

finalidades: _____

APÊNDICE C - PROTOCOLO DE COLETA DE DADOS

1. Introdução

Este protocolo descreve o procedimento para coleta dos dados e uso das ferramentas de entrevistas remotos e presenciais.

2. Contato remoto

Este é o primeiro passo, e tem como objetivo o contato com a pessoa que tem autonomia para permitir o desenvolvimento da pesquisa. Normalmente, essa pessoa é o Engenheiro/Arquiteto, responsável pela execução da obra, empreiteiro, construtor. Este contato é feito através de troca de mensagens e envio da “Carta de Apresentação da Pesquisa” e continua, apenas, após o aceite deste em participar da pesquisa (APÊNDICE D).

Trocas semanais de mensagem são então estabelecidas, com o responsável por organizar as informações solicitadas por mensagem, que tem como base o roteiro de entrevista (APÊNDICE B). As mensagens não são enviadas todas de uma vez, com o intuito de não deixar a entrevista exaustiva. A entrevista virtual só cessa quando todas as solicitações (perguntas), descrita neste protocolo e no roteiro de pesquisa são respondidas.

Para aqueles estudos que ainda estão em execução, a solicitação de pedido de visita a obra é feita, esclarecendo que essa visita será realizada de modo pareado (um pesquisador, devidamente treinado performa o roteiro de entrevista enquanto o outro produz fotos e realiza observações que permitem a triangulação dos dados solicitados no roteiro e no questionário) e um defensor da pesquisa precisa estar disponível para responder as perguntas ou ainda ajudar na localização de quem pode responder.

3. Coleta de dados in loco (Cancelado temporariamente devido a COVID 19)

Após a permissão da visita enloco e agendamento prévio da visita realiza-se então a mesma. Espera-se não gastar mais de duas horas em cada canteiro, com o objetivo de não causar incômodos desnecessários na dinâmica da obra.

O pesquisador precisa então, ao chegar no canteiro, identificar o defensor do projeto, os produtos de madeira de uso provisório e as aplicações destas na obra.

Além da aplicação do roteiro de entrevista, é importante está atendo as perguntas descritas a seguir, que balizam o questionário e auxiliem os pesquisares a identificar as variáveis necessárias para desenvolvimento da pesquisa e as possíveis origens dessas informações.

Protocolo de Pesquisa - Perguntas dos Estudos de Casos Múltiplos			
Área de Contexto	Unidade de Medida	Variáveis a serem respondidas pela pesquisa	Procedimento / Fonte de Informação
Caracterização da empresa	Empresa	Profissional responsável, atuação da empresa, público-alvo	Entrevista
Caracterização da edificação	Edificação	<p>Apartamentos: Área construída, número de pavimentos tipo, número de pavimentos residenciais, número de apartamentos por andar, número de pavimentos de garagem, número de vagas de garagem número de outros pavimentos (comerciais, escritórios, serviços), material constituinte da parede interna e externa, material de piso, material de telhado</p> <p>Casas: Área construída, número de pavimentos no subsolo, número de pavimentos, número de cômodos, tipo de cômodo (banheiro, sala, quarto, etc.), número de unidades habitacionais (quando geminadas), material constituinte da parede interna e externa, material de piso, material de telhado</p>	Entrevista, Projeto arquitetônico
Estimativa do fluxo de material	Canteiro de obra	<p>Variáveis necessárias para estimar o fluxo de madeira de uso provisório e permanente em obra (entradas e saídas):</p> <p>Número de peças, dimensões das peças, produto de madeira (madeira serrada, placas de compensado, etc.) com o objetivo de determinar a densidade do material, porcentagem de madeira desperdiçada (deformidades que comprometam a estanqueidade, fraturas, rebarba, e cortes para adaptação dimensiona a sua função), porcentagem de reuso em outra obra, porcentagem de madeira incorporada neste canteiro de obra (cobertura, fundação, etc.), porcentagem de madeira descartada (aterro, doação, etc.)</p>	Entrevistas, notas fiscais, informações sobre a obra, fotos
Identificação das características dos produtos e do uso destes na construção	Canteiro de obra	<p>Determinação de variáveis que ajudem a identificar as características do fluxo do material em canteiro de obra:</p> <p>Produto de madeira usado e tipo de uso (tapume, escora, sistema de fôrmas, instalações provisórias, sistema de segurança, etc.), espécie da madeira (quando se trata de toras ou madeira serrada), qualidade inicial da peça (nova, usada, verde, seca), qualidade final da peça (própria para reuso, descarte),</p>	Entrevista, notas fiscais, informações sobre a obra, observações enloco, fotos

existência de depósito coberto para a madeira após o
uso

Fonte: autor (2022)

4. Verificação da adoção de estratégias de reuso substituição e incorporação dos produtos de madeira

Após a aplicação das perguntas, tanto virtualmente como pessoalmente, verifique ainda se há a adoção de estratégias de reuso, substituição, incorporação dos produtos de madeira em obra que não foram abordadas pela pesquisa.

Descreva então como essas estratégias são aplicadas, se há registro de porcentagens de volumes de madeira que representam esse fluxo e descreva por extenso a seguir:

Se alguma dessas práticas não são adotadas, aprofunde-se com perguntas como:

• Como se dá o reuso? _____

• Há a intenção de implementar alguma dessas estratégias? Porque? _____

• Qual seu diagnóstico do motivo pelo qual não se reusa? _____

• Qual seu diagnóstico do motivo pelo qual não se incorpora? _____

• Qual seu diagnóstico do motivo pelo qual não se substitui? _____

5. Abordagem pós coleta dos dados

Após entrevista (virtual/presencial), o pesquisador deve, o mais rápido possível, produzir o relatório, contendo as variáveis da pesquisa respondida pelas perguntas feitas, presentes no protocolo e no roteiro de entrevista, de modo a incluir as reflexões do pesquisador sobre as evidências extraídas, sempre que pertinente for.

APÊNDICE D – CARTA DE APRESENTAÇÃO DA PESQUISA



Ministério da Educação
 Universidade Federal da Integração Latino-Americana Instituto
 Latino-americano Tecnologia, Infraestrutura e Território
 Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil



APRESENTAÇÃO E DECLARAÇÃO DE SIGILO E CONFIDENCIALIDADE DA PESQUISA “ FLUXO DE MADEIRA NA EXECUÇÃO DE CONSTRUÇÕES HABITACIONAIS EM CONCRETO ARMADO MOLDADO NO LOCAL”

Prezados,

A construção civil é tida como um grande agente transformador do ponto de vista econômico, social e ambiental, pilares caracterizadores da sustentabilidade. Exerce significativo impacto no consumo de materiais, tendo o uso da madeira para fins provisórios como uma característica de fundamental importância na execução do sistema construtivo convencional para o mercado brasileiro.

Assim, a economia moderna, ancorada nos princípios de sustentabilidade supracitados demanda o constante aumento da eficiência no consumo de materiais, na busca por tornar as empresas da construção civil cada vez mais competitivas.

Buscando uma melhora tecnológica, de modo a incentivar avanços de eficiência no consumo dos materiais de construção civil, pesquisadores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal da Integração Latino-Americana – UNILA, em Foz do Iguaçu, desenvolvem estudos relacionados ao fluxo da madeira destinada a construção civil, explorando aspectos que envolvem a fase de extração da matéria-prima à sua disposição final.

Deste modo, o objetivo da pesquisa é estudar o consumo de madeira em obra para fins temporários, definindo as quantidades envolvidas no consumo de cada tipo de madeira usado em obra, estabelecendo uma relação entre a quantidade de madeira e o metro quadrado construído, entendendo seu destino ao final de sua vida útil. Para tanto, solicita-se informações como:

- ✓ Consumo de madeira em todos os fins provisórios (ex.: fôrmas, sistema de segurança coletiva, escritórios, áreas de vivência, armazenamento, etc.);
- ✓ Caracterização da obra (ex.: projeto arquitetônico, estrutural, de fôrmas, de segurança coletiva, de canteiro de obra, etc.);
- ✓ Caracterização dos produtos de madeira (ex.: dimensões, tipos, etc.);
- ✓ Destino da madeira (ex.: incorporada, armazenada para reuso, descartada).

As empresas participantes da pesquisa terão como benefício o diagnóstico do seu processo produtivo com:

- ✓ Verificação de desempenho em obra;
- ✓ Relatório *benchmark* sobre o desempenho no uso da madeira.

Todas as informações serão empregadas exclusivamente no referido projeto ou para fins científicos. Os dados concedidos não serão disponibilizados pelos pesquisadores a terceiros ou expostos explicitamente em nenhum âmbito; também não serão, em hipótese alguma, usados em benefício próprio ou de terceiros. A publicação dos resultados manterá o sigilo da identidade da empresa

Qualquer dúvida pode ser encaminhada ao pesquisador Cássio Gomes de Oliveira,
 (45) 9 9806 - 1418 (telefone/*WhatsApp*) ou cg.oliveira.2020@unila.edu.br (*e-mail*).

Agradecemos a colaboração de todos os envolvidos, bem como o acesso dos dados primários de extrema importância para o desenvolvimento desta pesquisa.

Foz do Iguaçu, 22 de junho de 2020.

Pesquisador: Cássio Gomes de Oliveira

Orientadora: Dra. Katia Regina Garcia Punhagui

APÊNDICE E – MÉTODO PARA ELABORAÇÃO DO GRÁFICO 7

Quadro E-1 – Produtos de madeira segundo origem e uso

Grupo de produtos	Nativa		Plantada	
	Produto	Uso	Produto	Uso
Produto Bruto	Escoramento	Transitório	Escoramento	Transitório
	Estaca	Transitório	Estaca	Transitório
	Madeira serrada	Transitório/durado uro	Madeira serrada	Transitório/durado uro
	Pisos e assoalhos	Duradouro	Vigas	Transitório/durado uro
	Forro (lambрил)	Duradouro	Tábuas	Transitório
Produto Processado	Porta lisa maciça	Duradouro	Sarrafos	Transitório/durado uro
	Portal	Duradouro		
	Alisar	Duradouro		
	Tacos	Duradouro		
	Decking	Duradouro		
	Compensados	Transitório	Compensados	Transitório
Industrializados	Lâminas	Duradouro	MDF, MDP, CHAPAS, Lâminas	Duradouro
			OSB	Transitório/durado uro

Fonte: autor, Brazil (2019), IBÁ (2014) e IBAMA (2019).

Tabela E-1 – Elementos de uso provisórios de segurança e de estrutura de canteiro que podem ser feitos em madeira

Uso	Paredes	Pisos	Estrutura
Vestiário	X	x	x
Alojamento	X	x	x
Cozinha	X		x
Andaime	-	x	x
Plataforma principal ^a	-	x	x
Escora	-	-	x
Carpintaria ^b	-	-	x
Prancha	-	-	x
Pranchão	-	-	x
Escada, rampas e passarelas ^c	-	x	x
Proteção coletiva ^d	-		x

^a Para edifícios com mais de 4 pavimentos

^b Mesa da serra circular, empurradores e guias

^c Corrimão e rodapé.

^d Guarda corpo e rodapé

Fonte: autor (2022).

Tabela E-2 – Dimensões normalizadas de produtos de madeira serrada

Nome da peça	Espessura (mm) ABNT NBR 14807:2002	Espessura (mm) ABNT NBR 12498:2017	Largura (mm) ABNT NBR 14807:2002	Largura (mm) ABNT NBR 12498:2017
Pranchão	de 71 a 161	50 e acima	161 e acima	acima de 150
Prancha	de 39 a 70	50 e acima	161 e acima	acima de 150
Pranchinha	38	38	100 e acima	100 e acima
Viga	de 40 a 80	-	de 81 a 160	-
Caibro	de 40 a 80	de 50 a 100	de 50 a 80	de 50 a 100
Tábua	de 10 a 37	de 12 e abaixo de 38	100 e acima	100 e acima
Sarrafo	de 21 a 39	de 25 e abaixo de 50	de 20 a 99	de 25 e abaixo de 100
Ripa	de 10 a 20	abaixo de 25	de 20 a 50	abaixo de 100
Ripão	de 15 a 20	-	de 51 a 70	-
Pontalete	de 70 a 80	75	de 70 a 80	75
Quadrado	25	25	25	25
Quadrado	100 e acima	-	100 e acima	-

Fonte: adaptado de ABNT (2002) e ABNT (2017).

Tabela E-3 – Classificação das chapas compensadas plastificadas

Classe	Processo Produtivo	Gramatura Mínima do Filme Fenólico	Número Mínimo de Reutilizações (Fôrmas)	Qualidade Capas e Contra-Capas
A	A chapa básica de madeira compensada é produzida, esquadrejada, tem seus defeitos de face corrigidos com massa sintética, calibrada e finalmente recebe o revestimento do filme fenólico. (2 OPERAÇÕES) A colagem deverá atender a Norma: ABNT NBR ISO 12466-2:2012 Classe 3: Alta umidade/ambiente externo.	120 g / m ²	20 (10 de cada lado)	A, B, C+
B	A chapa básica de madeira compensada é produzida, esquadrejada, tem seus defeitos de face corrigidos com massa sintética, calibrada e finalmente recebe o revestimento do filme fenólico. (2 OPERAÇÕES) A colagem deverá atender a Norma: ABNT NBR ISO 12466-2:2012 Classe 3: Alta umidade/ambiente externo.	100 g / m ²	16 (8 de cada lado)	A, B, C+
C	A chapa de madeira compensada é produzida e simultaneamente recebe o revestimento do filme fenólico. (1 OPERAÇÃO). A colagem deverá atender a Norma: ABNT NBR ISO 12466-2:2012. Classe 3: Alta umidade/ambiente externo.	100 g / m ²	14 (7 de cada lado)	A, B, C+
D	A chapa de madeira compensada é produzida e simultaneamente recebe o revestimento do filme fenólico. (1 OPERAÇÃO). A colagem deverá atender a Norma: ABNT NBR ISO 12466-2:2012. Classe 3: Alta umidade/ambiente externo.	80 g / m ²	10 (5 de cada lado)	A, B, C+, C

Fonte: adaptado de ABIMCI (2019).

Tabela E-4 – Parâmetros para chapas compensadas plastificadas

Classe	Espessura Nominal (mm)	Tolerância na Espessura		Tolerância Espessura em um mesmo painel (mm)	Número mínimo de lâminas	Dimensões (mm)
		Mínima (mm)	Máxima (mm)			
A	6	5,4	6,4	0,6	6 mm 3 lâminas	2.440 x 1.220 2.500 x 1.250
	9	8,3	9,5	0,6	9 mm 5 lâminas	
	12	11,2	12,6	0,6	12 mm 5 lâminas	
	15	14,2	15,7	0,6	15 mm 7 lâminas	
	18	17,1	18,7	0,6	18 mm 9 lâminas	
	21	20,0	21,8	0,6	21 mm 11 lâminas	
B	6	5,4	6,4	0,6	6 mm 3 lâminas	2.200 x 1.100 2.440 x 1.220
	9	8,3	9,5	0,6	9 mm 5 lâminas	
	12	11,2	12,6	0,6	12 mm 5 lâminas	
	15	14,2	15,7	0,6	15 mm 7 lâminas	
	18	17,1	18,7	0,6	18 mm 7 lâminas	
	21	20,0	21,8	0,6	21 mm 9 lâminas	
C	6	5,4	7,0	1,0	6 mm 3 lâminas	2.200 x 1.100 2.440 x 1.220
	9	8,3	10,1	1,0	9 mm 5 lâminas	
	12	11,2	13,2	1,0	12 mm 5 lâminas	
	15	14,2	16,3	1,5	15 mm 5 lâminas	
	18	17,1	19,3	1,5	18 mm 7 lâminas	
	21	20,0	22,4	1,5	21 mm 7 lâminas	
D	6	5,4	7,0	1,0	6 mm 3 lâminas	2.200 x 1.100 2.440 x 1.220
	9	8,3	10,1	1,0	9 mm 3 lâminas	
	12	11,2	13,2	1,0	12 mm 3 lâminas	
	15	14,2	16,3	1,5	15 mm 5 lâminas	
	18	17,1	19,3	1,5	18 mm 7 lâminas	
	21	20,0	22,4	1,5	21 mm 7 lâminas	

Nota: as classes a e b são chapas calibradas e as C e D chapadas não calibradas (Norma: ABNT NBR ISO 1954:2006)

Fonte: adaptado de ABIMCI (2019).

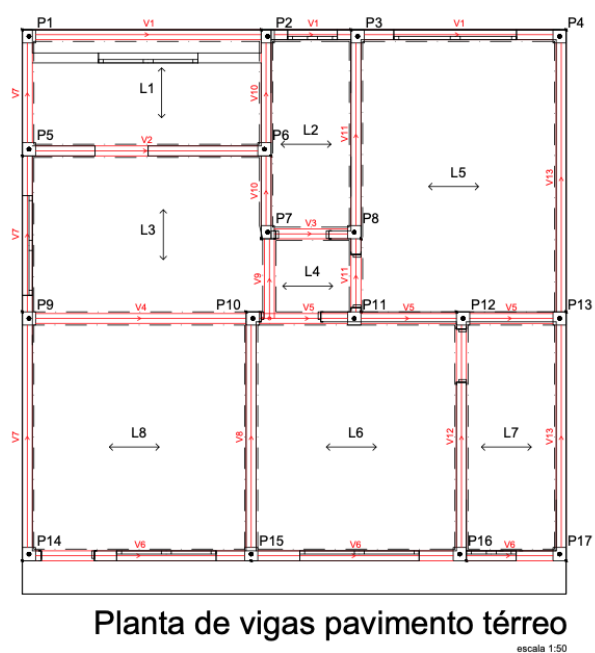
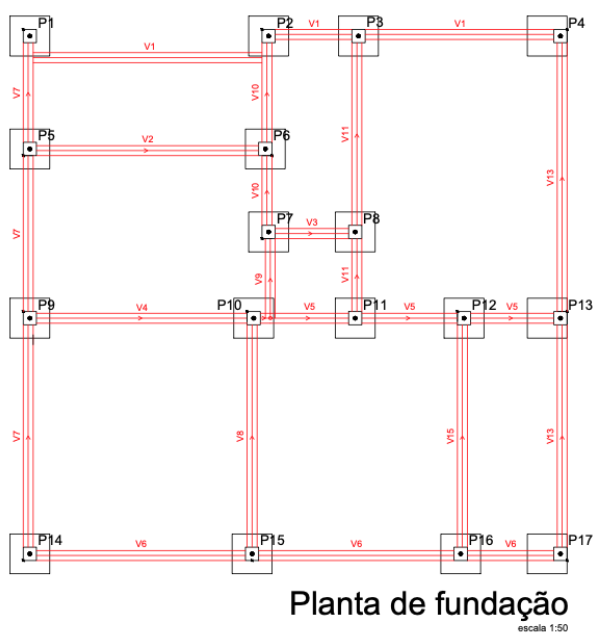
APÊNDICE F – PROJETOS TÉCNICOS DOS ESTUDOS DE CASOS (DADOS PRIMÁRIOS)

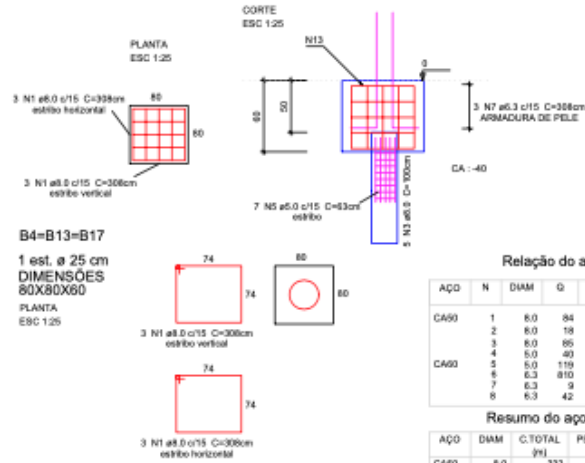
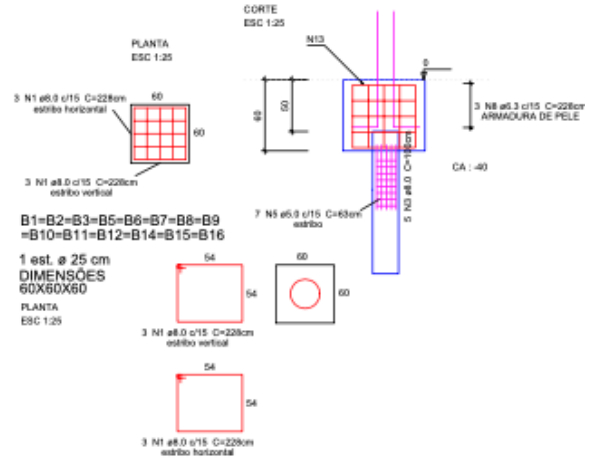
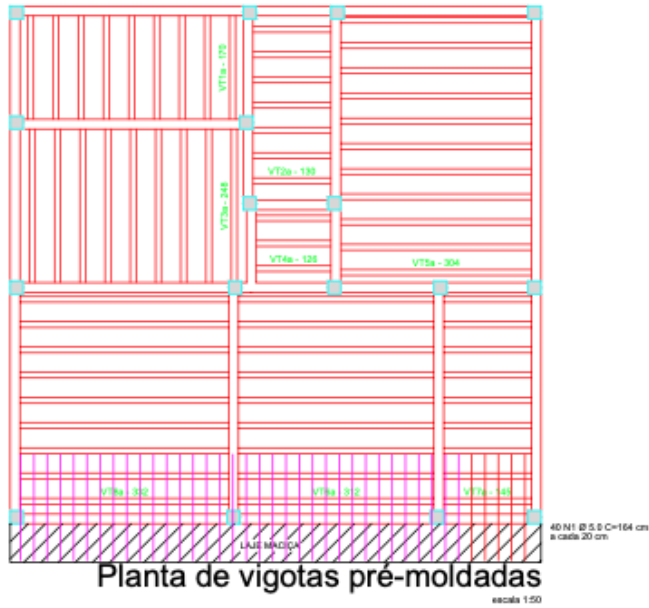
Origem da informação: Caso 1C

Descrição: partes do projeto estrutural

Escala: 1:50

Ano: 2021





Relação do aço

AÇO	N	DIAM	Q	UNIT	C.TOTAL
		(mm)		(mm)	(mm)
CA90	1	8.0	84	228	19152
	2	8.0	18	306	5544
	3	8.0	85	160	8500
	4	8.0	40	164	6560
CA60	5	5.0	119	63	7497
	6	6.3	810	48	38880
	7	6.3	9	306	2772
	8	6.3	42	228	9576

Resumo do aço

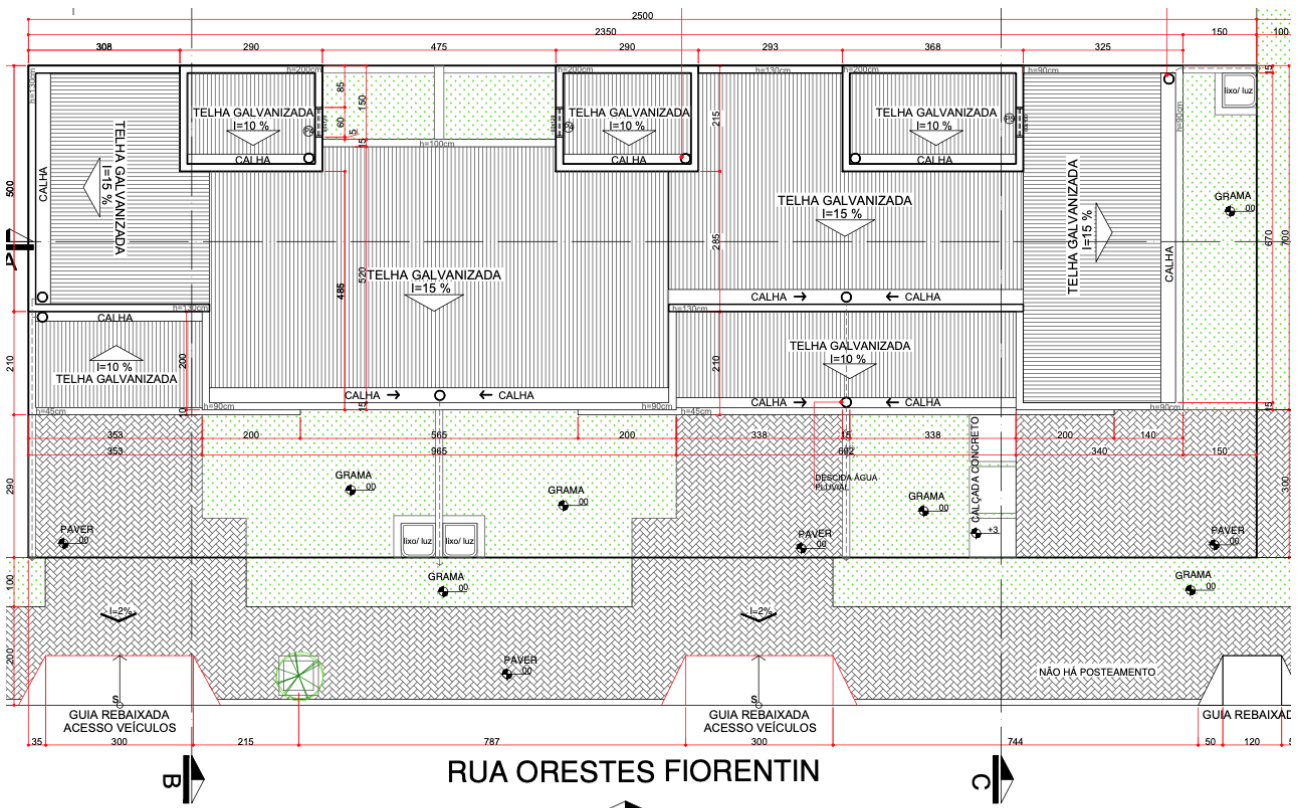
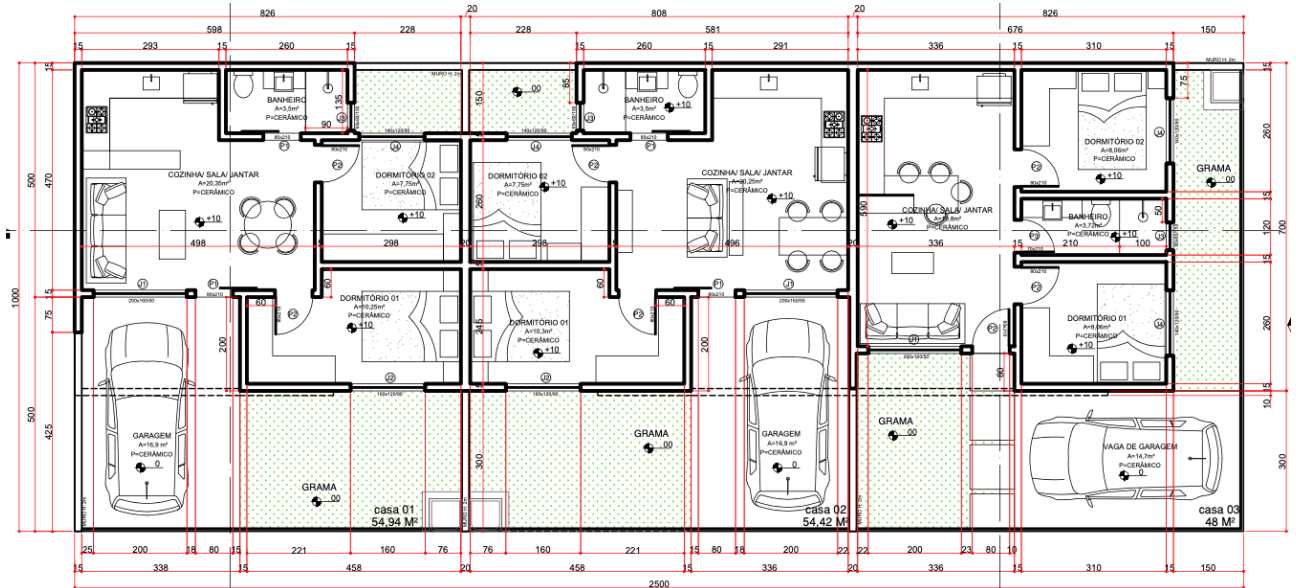
AÇO	DIAM	C.TOTAL	PESO + 19 %
	(mm)	(mm)	(kg)
CA90	8.0	332	144.3
CA60	6.3	416.52	112.3
CA60	5.0	140.9	23.81
PESO TOTAL			
CA90	256.6		
CA60	23.8		

Origem da informação: Caso 2C*

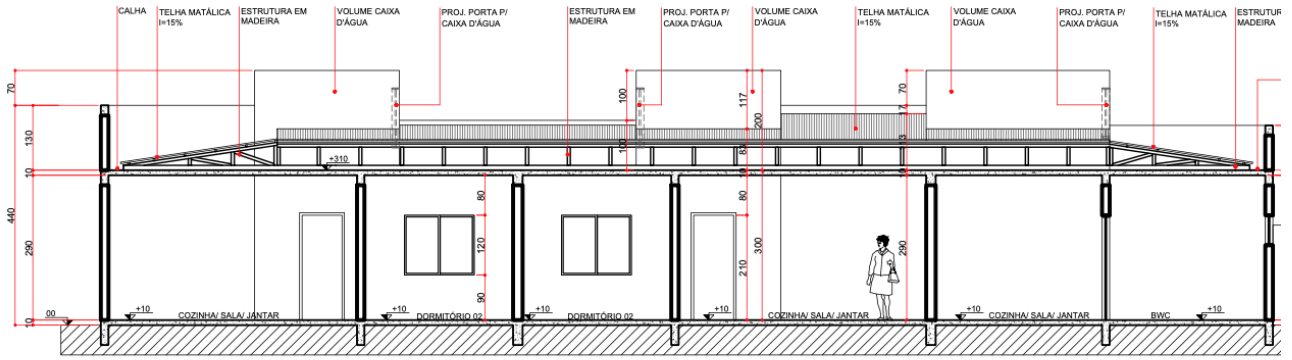
Descrição: projeto arquitetônico

Escala: 1:100

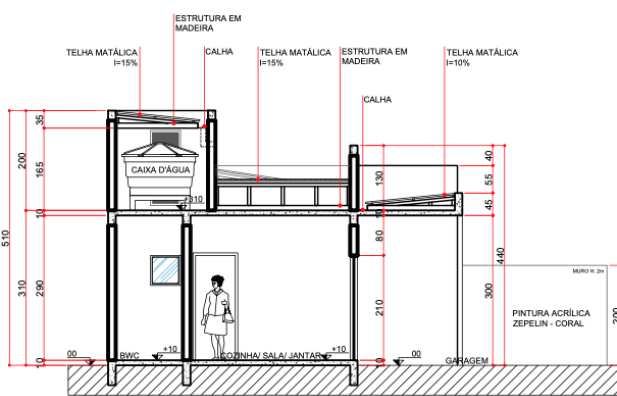
Ano: 2021



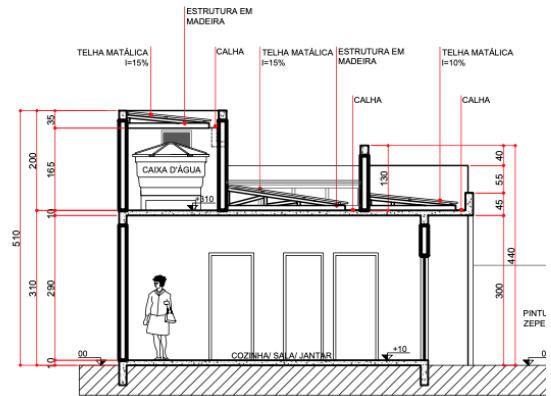
IMPLANTAÇÃO E COBERTURA
 ESC. 1/100



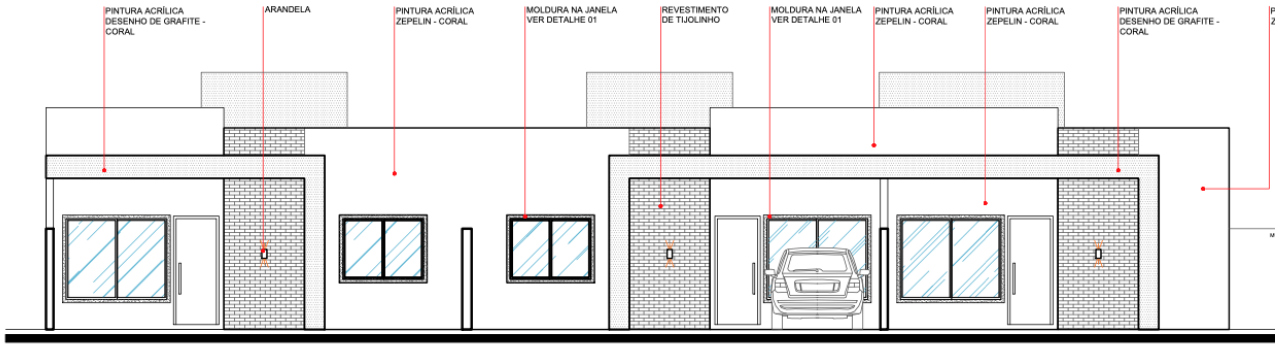
CORTE AA
ESC. 1/100



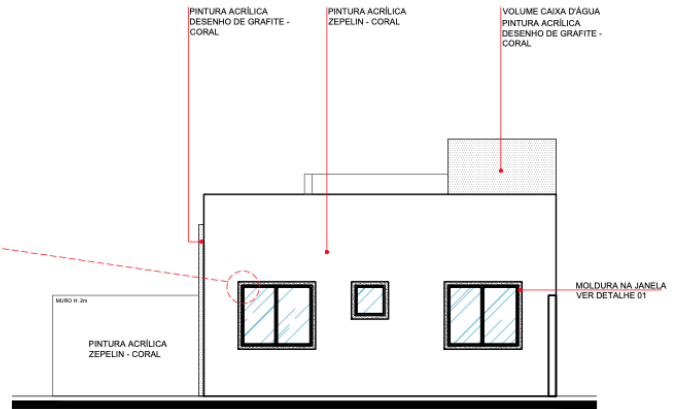
CORTE BB
ESC. 1/100



CORTE CC
ESC. 1/100



ELEVAÇÃO 01
ESC. 1/100



ELEVAÇÃO 02
ESC. 1/100

Origem da informação: Caso 4C*

Descrição: planta baixa de uma das duas unidades habitacionais geminadas idênticas (espelhadas)

Escala: 1:1

Ano: 2021



Origem da informação: Caso 5S*

Descrição: planta baixa de uma das duas unidades habitacionais geminadas idênticas (espelhadas)

Escala: 1:1

Ano: 2021

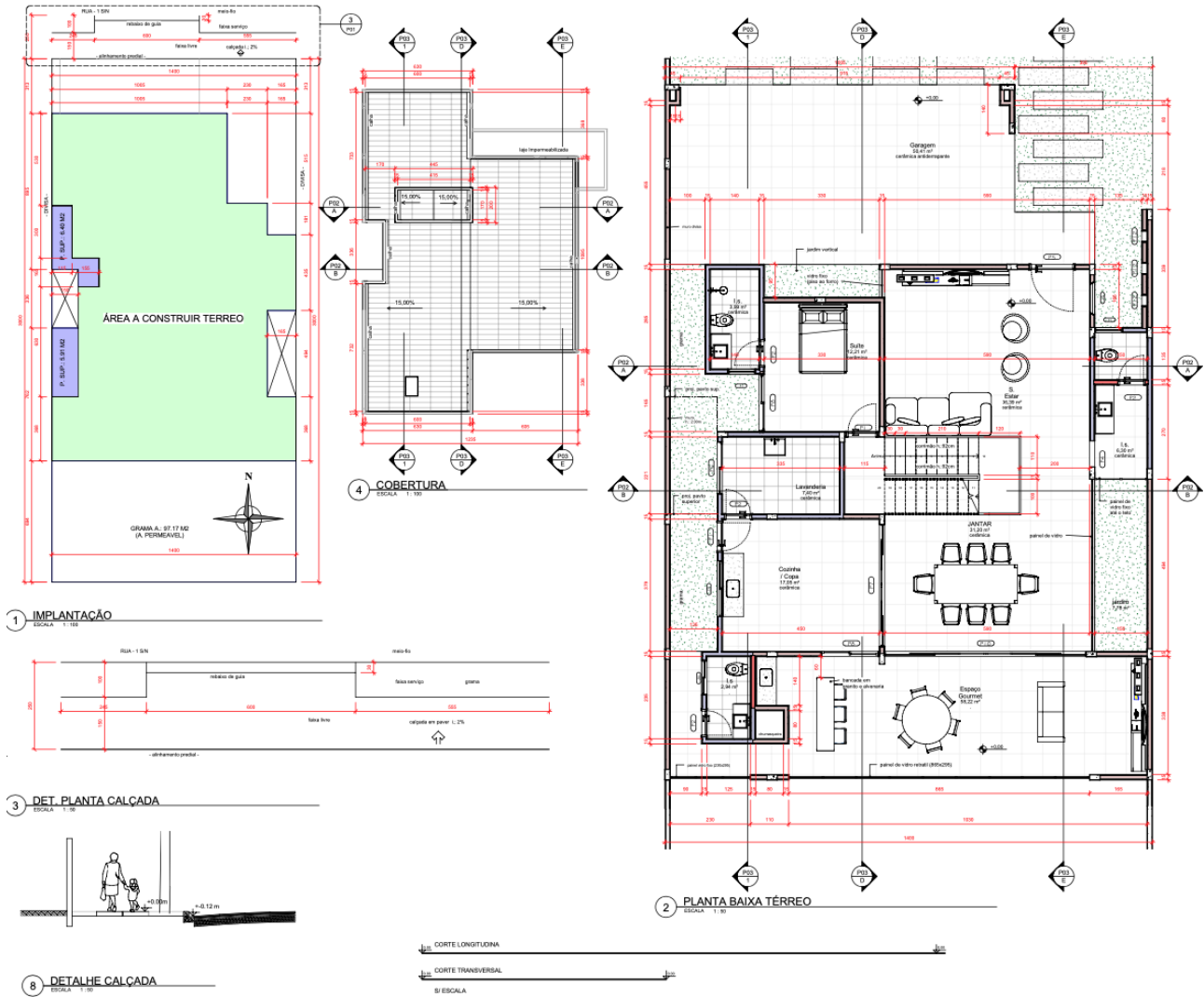


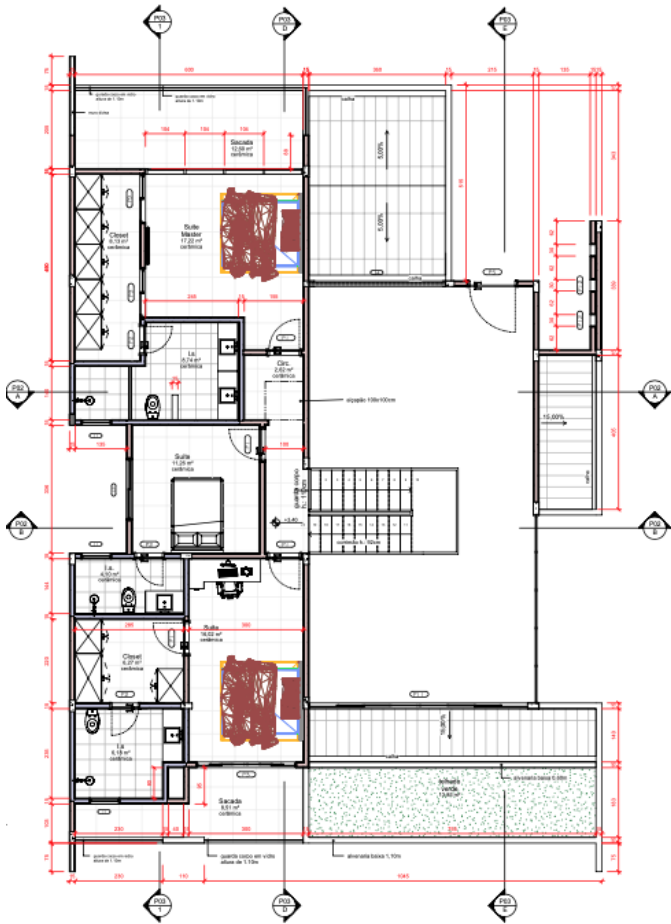
Origem da informação: Caso 6S

Descrição: projeto arquitetônico

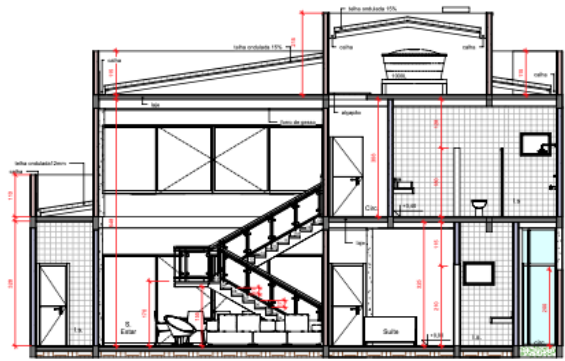
Escala: indicada

Ano: 2021

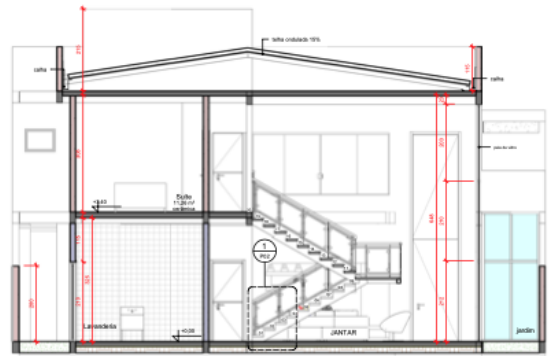




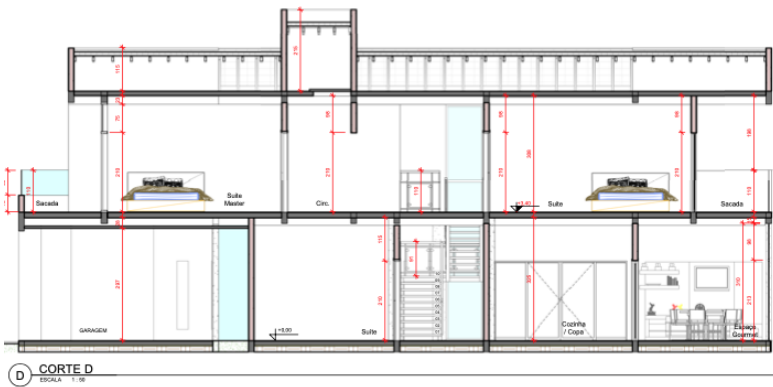
4 PLANTA BAIXA PVTO SUPERIOR
ESCALA 1:50



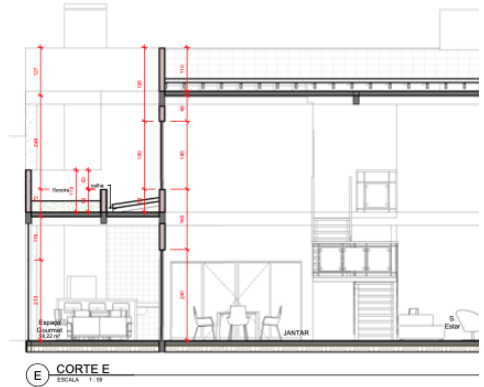
A CORTE A
ESCALA 1:50



B CORTE B
ESCALA 1:50



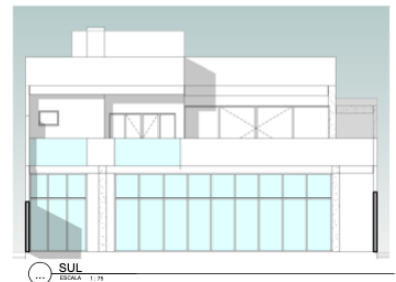
D CORTE D
ESCALA 1:10



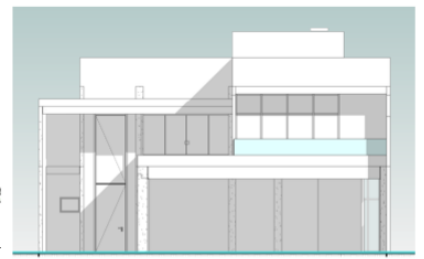
E CORTE E
ESCALA 1:10



1 CORTE C
ESCALA 1:10



SUL
ESCALA 1:75



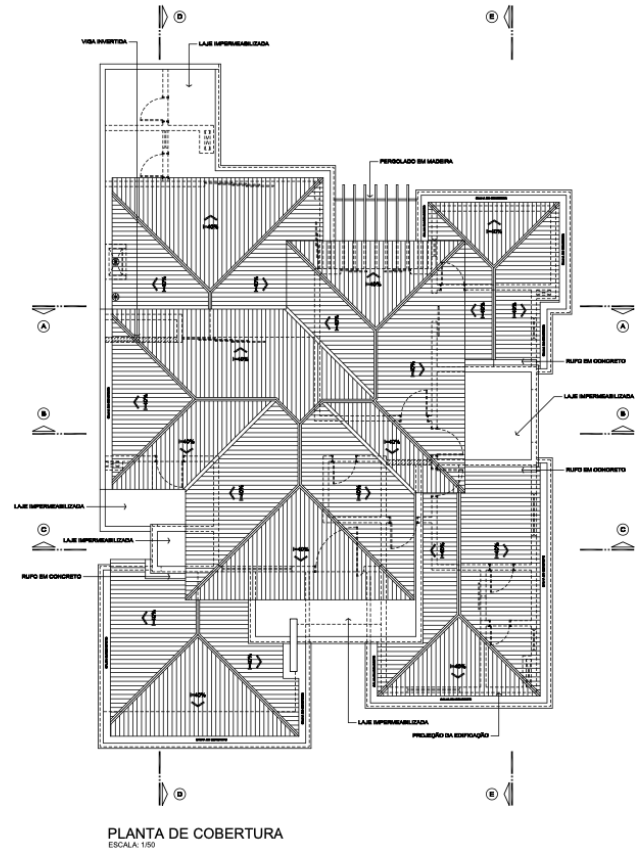
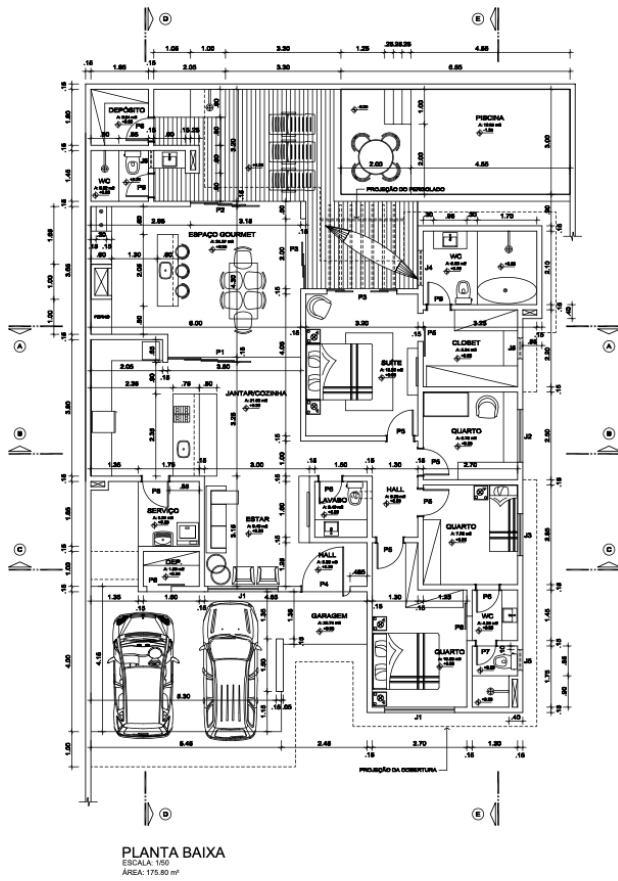
2 NORTE
ESCALA 1:75

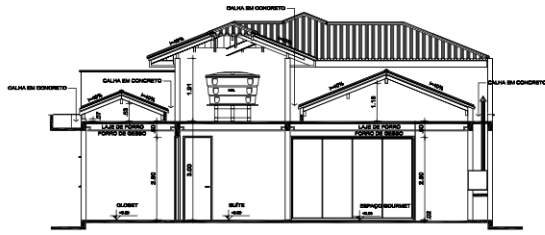
Origem da informação: Caso 7C

Descrição: projeto arquitetônico

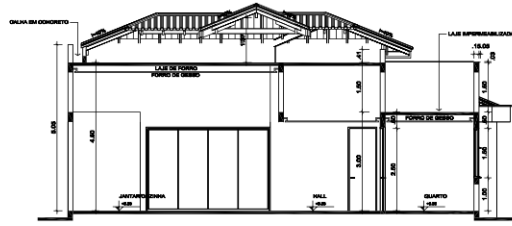
Escala: indicada

Ano: 2021

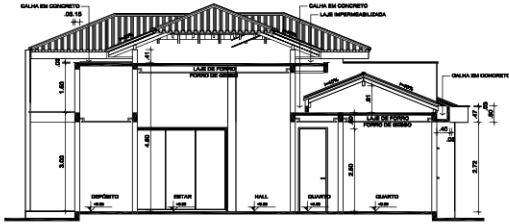




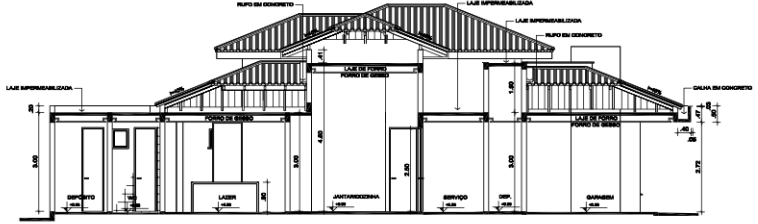
CORTE A-A
ESCALA: 1/50



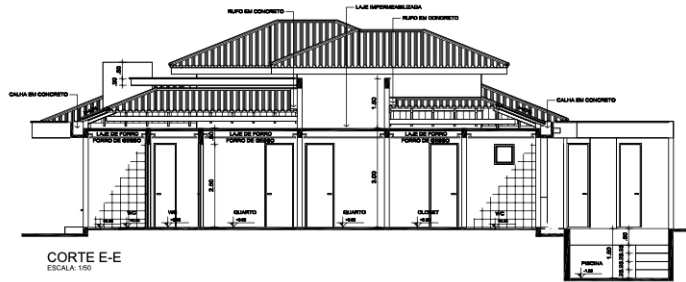
CORTE B-B
ESCALA: 1/50



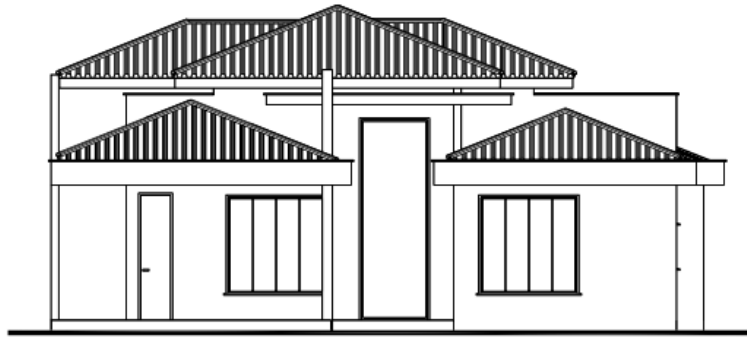
CORTE C-C
ESCALA: 1/50



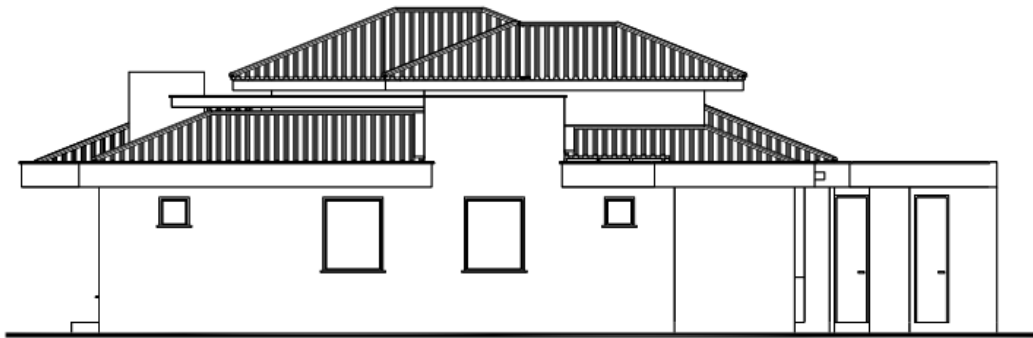
CORTE D-D
ESCALA: 1/50



CORTE E-E
ESCALA: 1/50



FACHADA FRONTAL
ESCALA: 1/50



FACHADA LATERAL
ESCALA: 1/50



VISTA FRONTAL
S/ESCALA



VISTA LATERAL
S/ESCALA

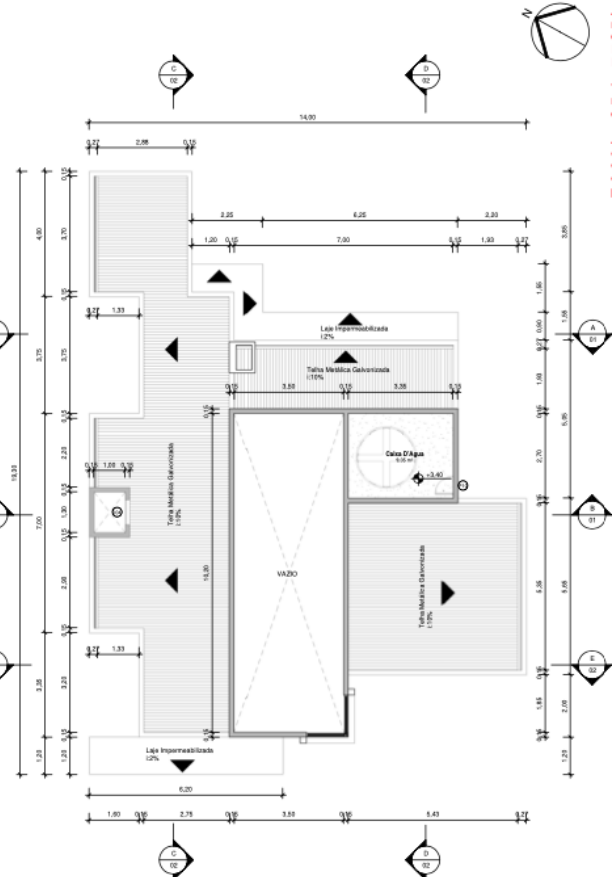
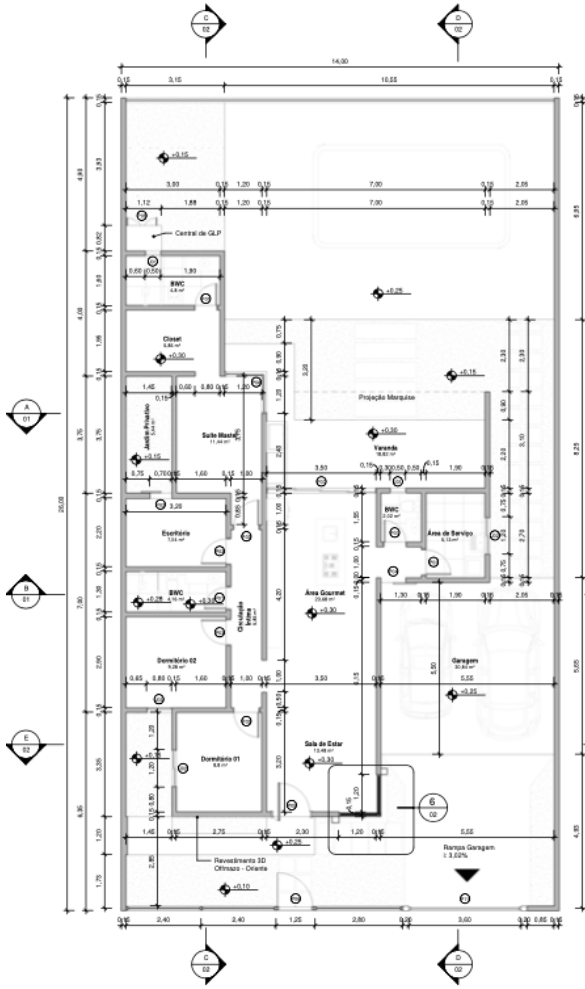
Origem da informação: Caso 8C

Descrição: projeto arquitetônico

Escala: indicada

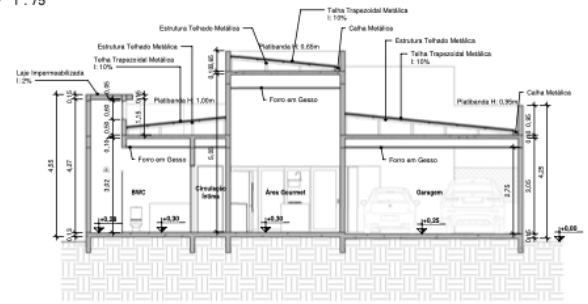
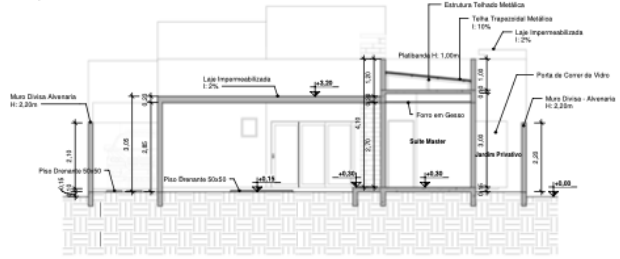
Ano: 2021





1 Térreo
1 : 75

2 Pé Direito Duplo
1 : 75



A Corte A
1 : 75

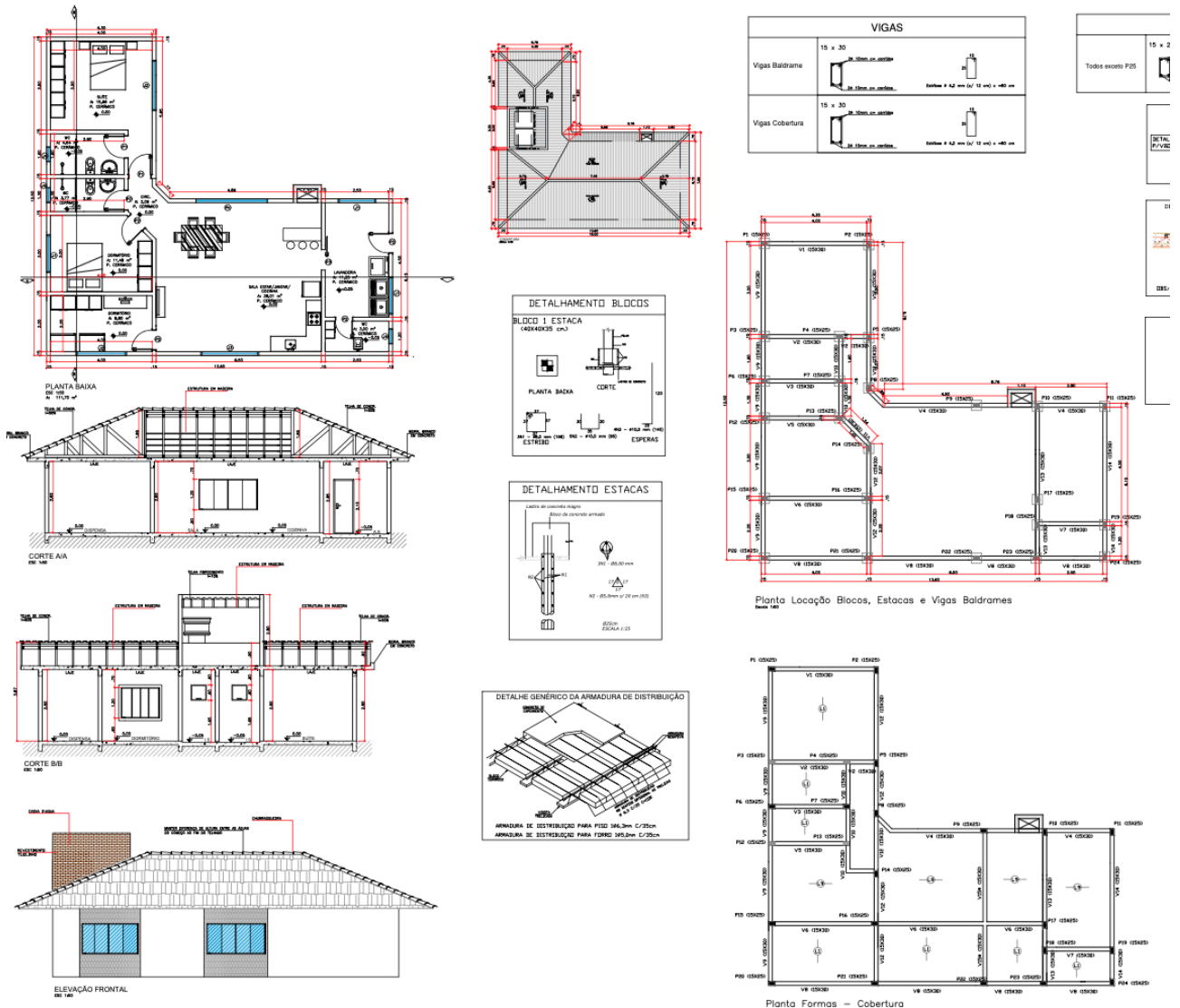
B Corte B
1 : 75

Origem da informação: Caso 9C

Descrição: projeto arquitetônico

Escala: indicada

Ano: 2021

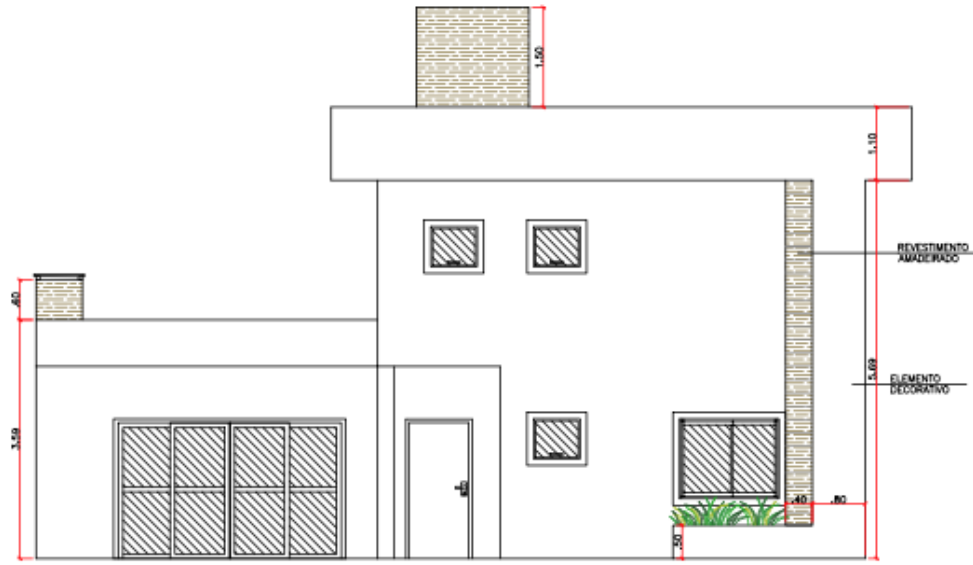


Origem da informação: Caso 10S

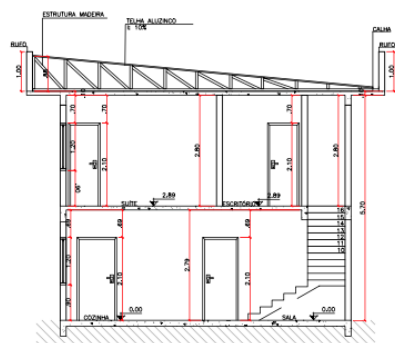
Descrição: projeto arquitetônico

Escala: indicada

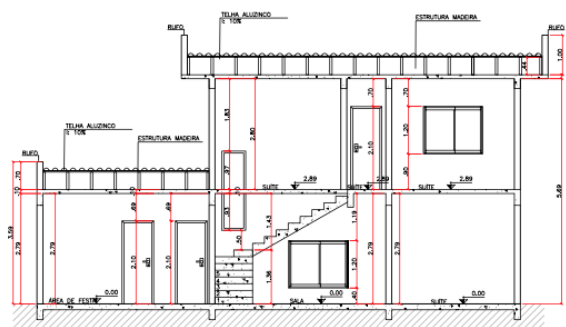
Ano: 2021



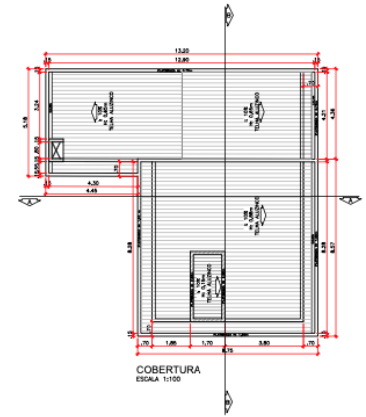
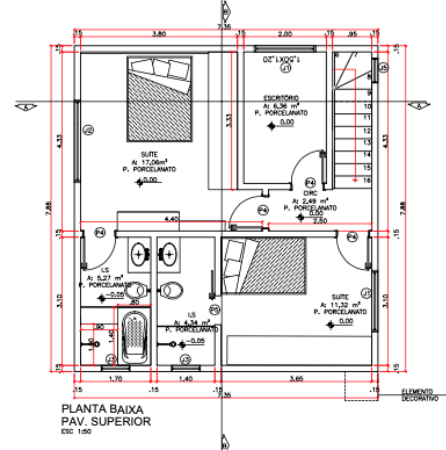
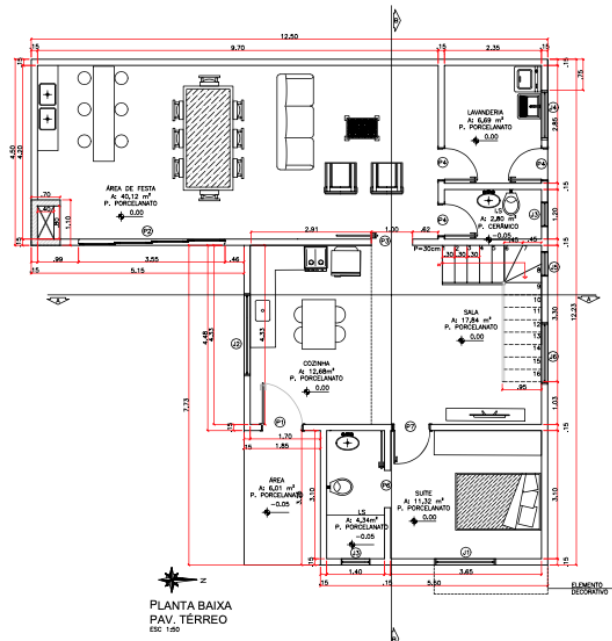
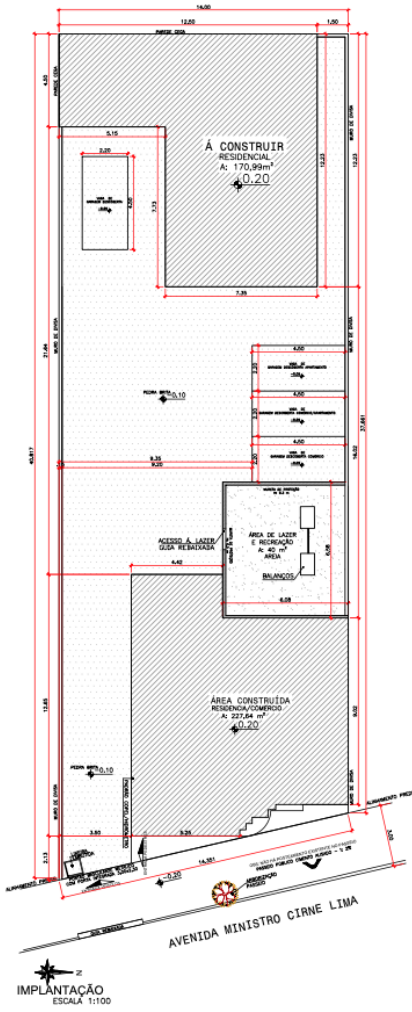
ELEVAÇÃO FRONTAL
ESC: 1:50



CORTE A/A
ESC: 1:50



CORTE B/B
ESC: 1:50



Origem da informação: Caso 11C

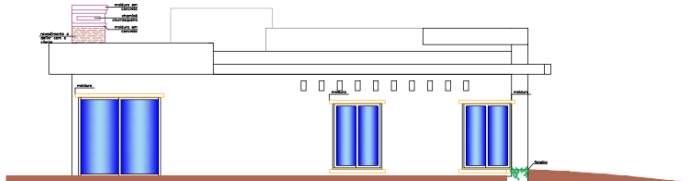
Descrição: projeto arquitetônico

Escala: indicada

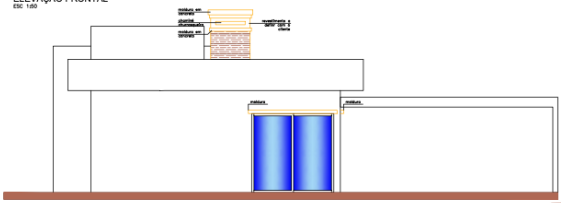
Ano: 2022



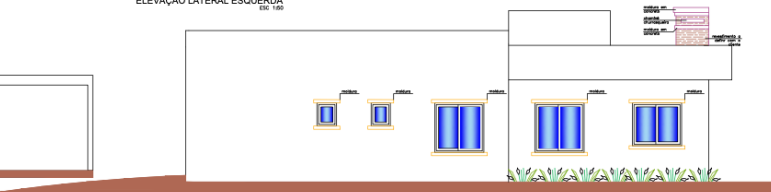
ELEVAÇÃO FRONTAL
Esc 1:50



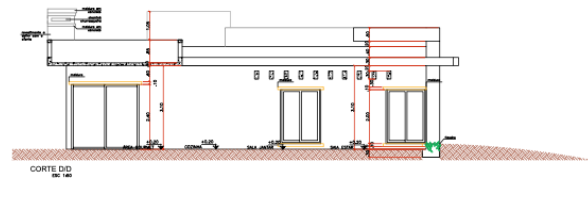
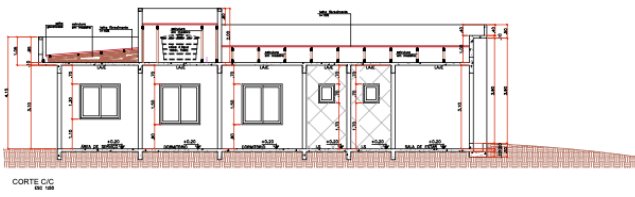
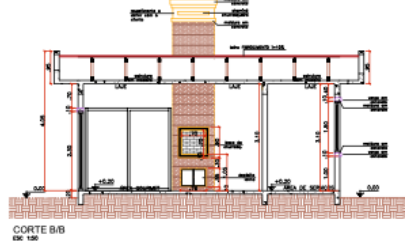
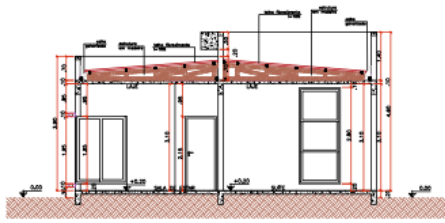
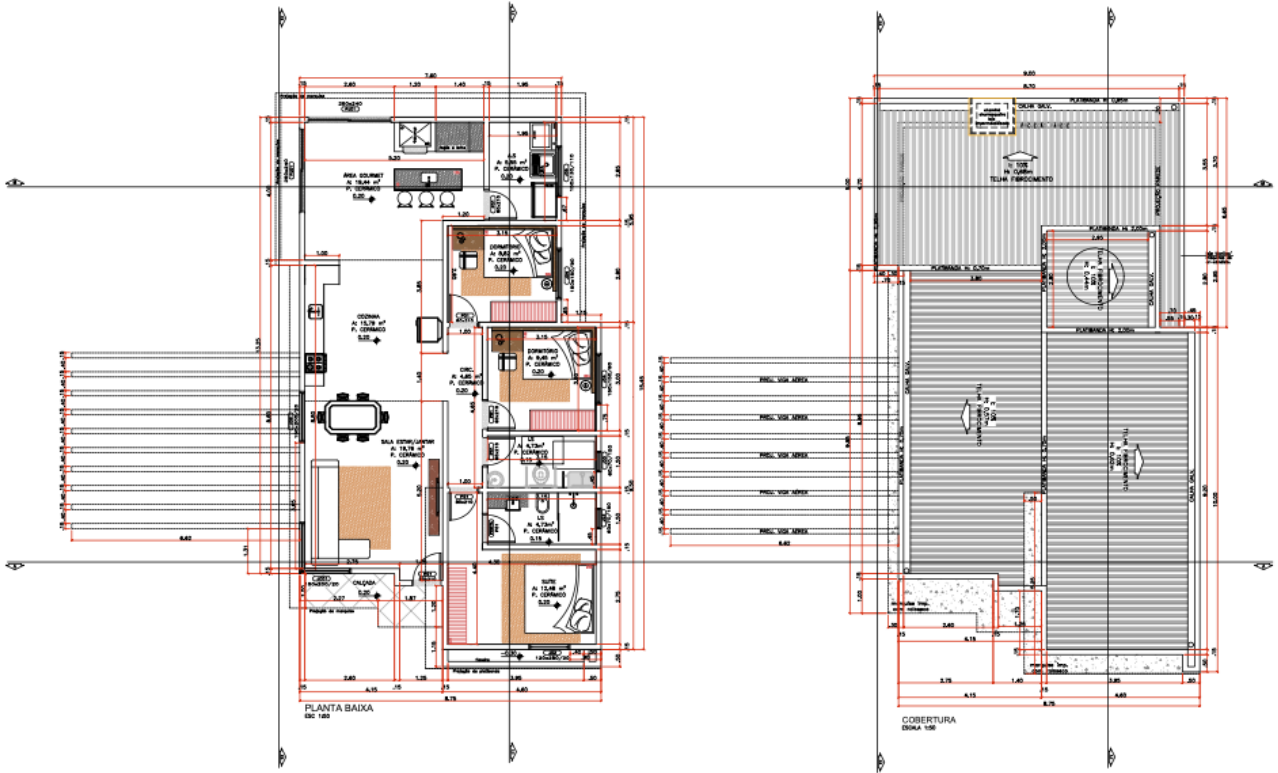
ELEVAÇÃO LATERAL ESQUERDA
Esc 1:50



ELEVAÇÃO FUNDOS
Esc 1:50



ELEVAÇÃO LATERAL DIREITA
Esc 1:50

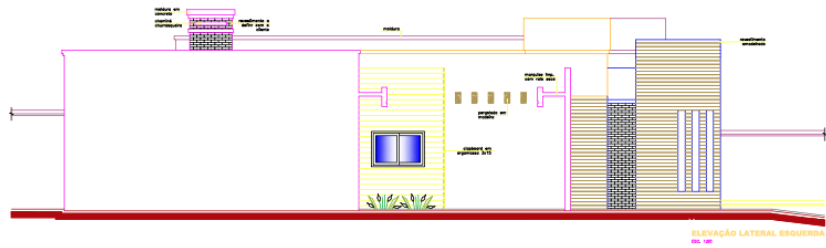
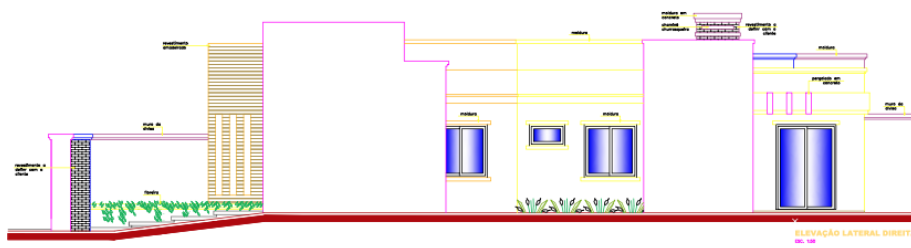
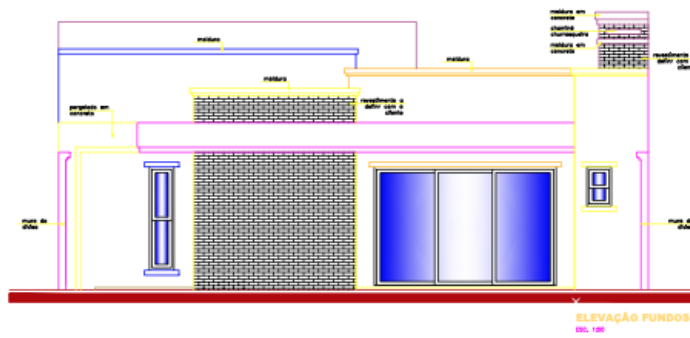
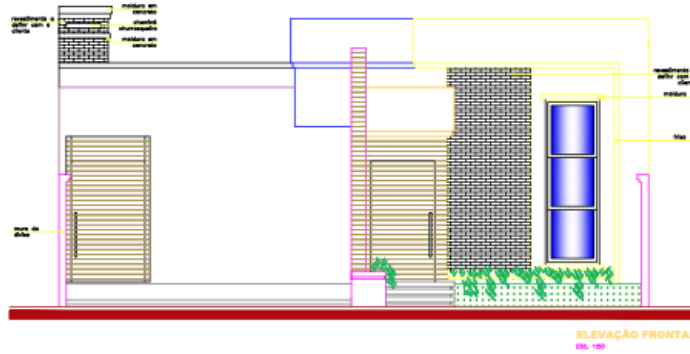


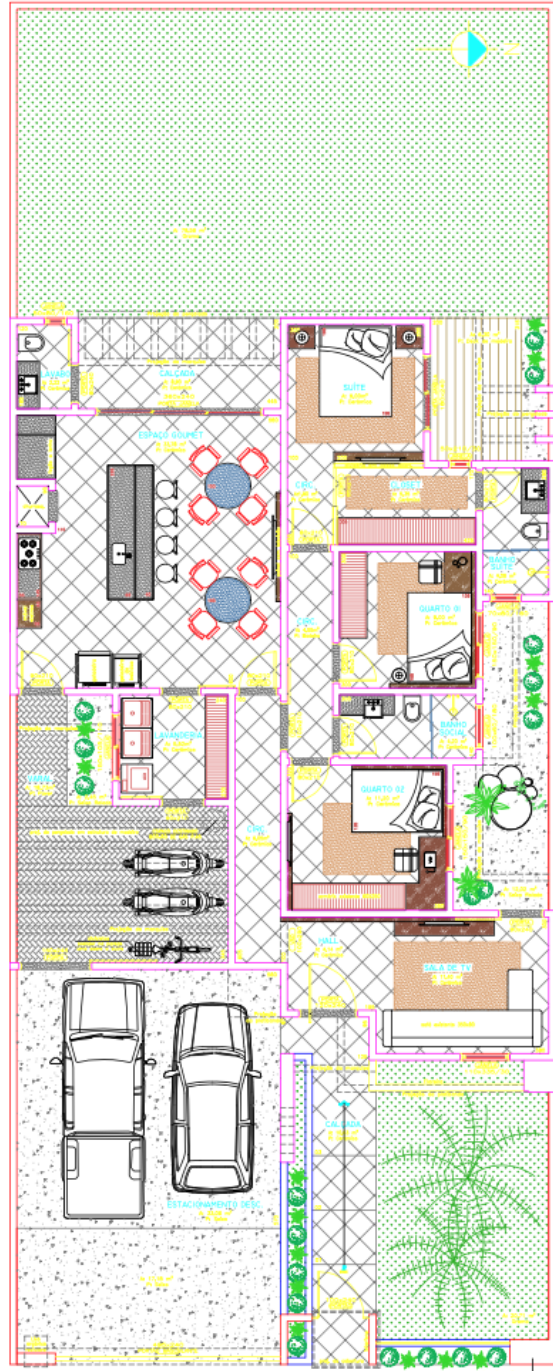
Origem da informação: Caso 12C

Descrição: projeto arquitetônico

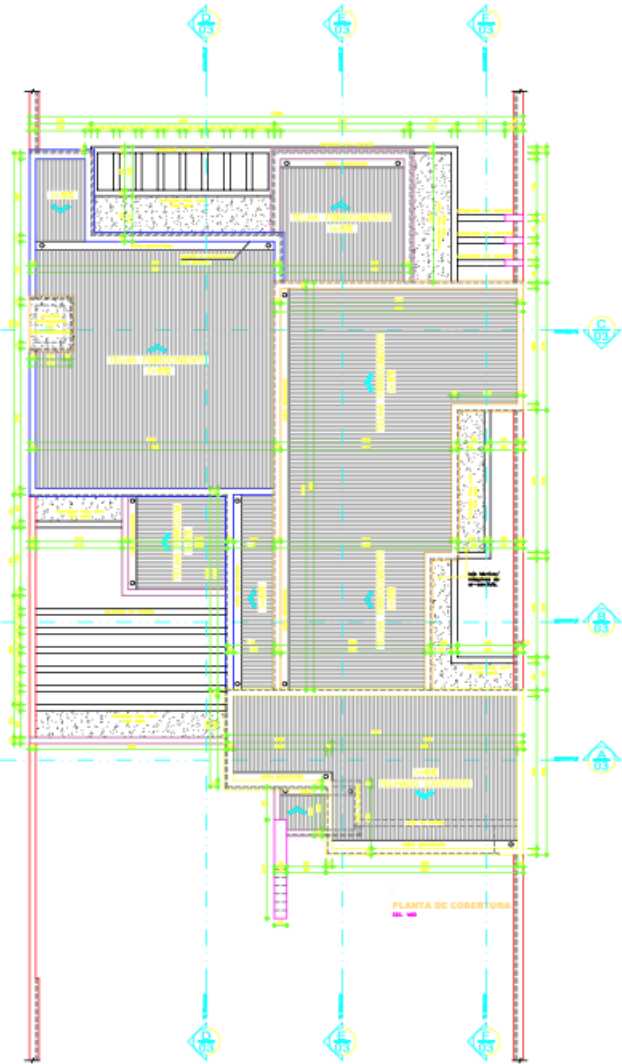
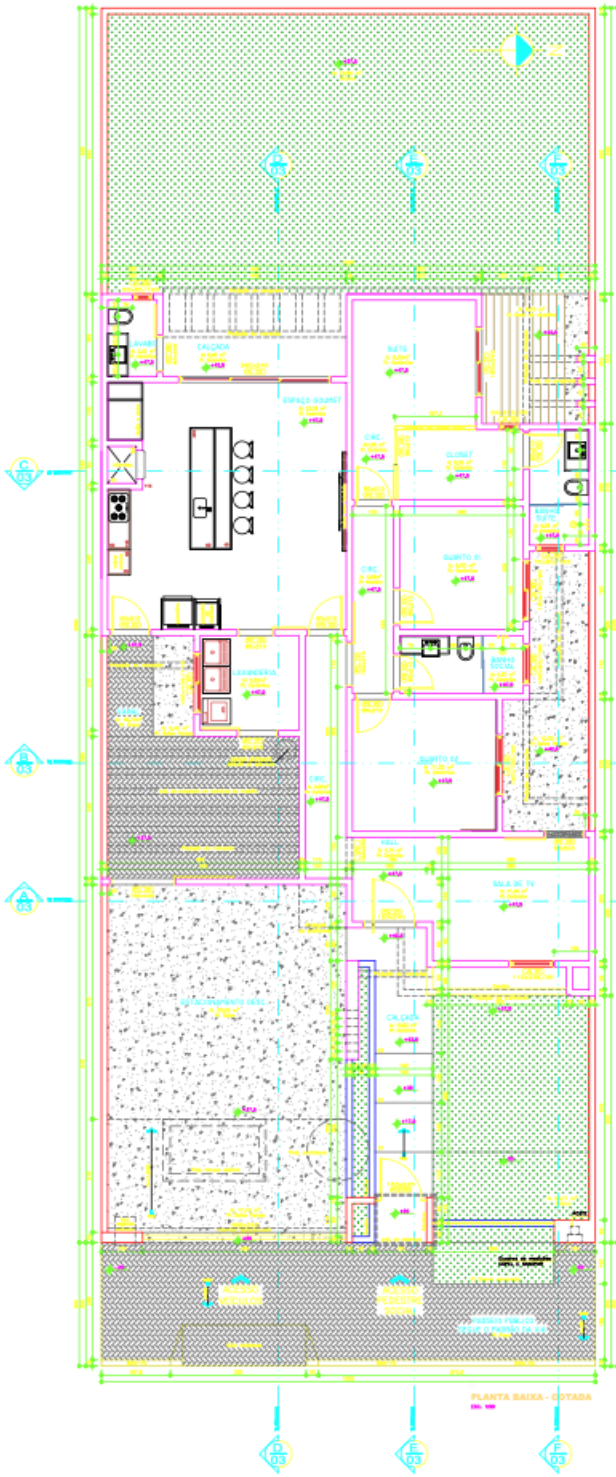
Escala: indicada

Ano: 2022





PLANTA BAIXA - LAYOUT
06/100



Quadro de Esquadrias/ Janela

Código	Descrição	Material	Perfil	IV de Fabricação	Quantidade
JH 01	110x138/30	Alumínio com vidro fixo	Retangular	03	01
JH 02	100x160/90	Alumínio com vidro fixo	Correr	02	02
JH 03	100x80/160	Alumínio com vidro vidro jateado	Escudo	01	01
JH 04	150x80/160	Alumínio com vidro vidro jateado	Banuleiro	01	01
JH 05	80x110/30	Alumínio com vidro fixo	Submarino	02	01
JH 06	80x80/160	Alumínio com vidro vidro jateado	Banuleiro	01	01
JH 07	100x100/110	Alumínio com vidro fixo	Correr	02	01

Quadro de Esquadrias/ Porta

Código	Descrição	Material	Perfil	IV de Fabricação	Quantidade
PG 01	120x240	Alumínio	Pivote	01	01
PG 02	80x210	Alumínio	Obra	01	06
PG 03	80x210	Alumínio	Obra	01	01
PG 04	180x240	Alumínio	Correr	01	01
PG 05	80x210	Alumínio	Correr	01	01
PG 06	80x210	Alumínio	Correr	01	01
PG 07	80x210	Alumínio	Correr	01	01
PG 08	80x240	Alumínio	Correr	01	01
PG 09	80x240	Alumínio	Correr	01	01
PG 10	100x210	Alumínio	Correr	01	01

Quadro de Esquadrias/ Porta Janela

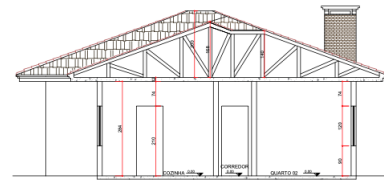
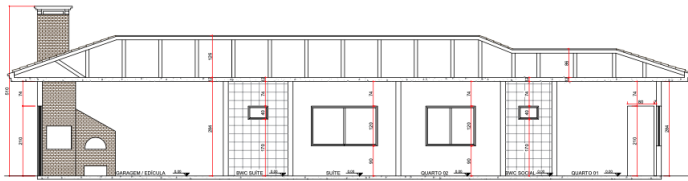
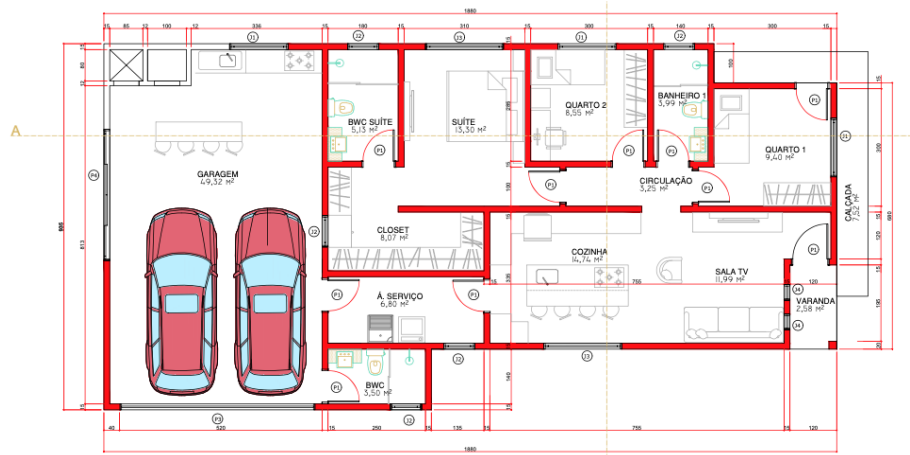
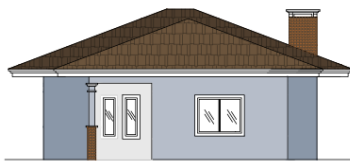
Código	Descrição	Material	Perfil	IV de Fabricação	Quantidade
PJ 01	180x240	Alumínio com vidro fixo	Correr	02	01
PJ 02	300x240	Alumínio com vidro fixo	Correr	03	01

Origem da informação: Caso 13C

Descrição: projeto arquitetônico

Escala: indicada

Ano: 2021

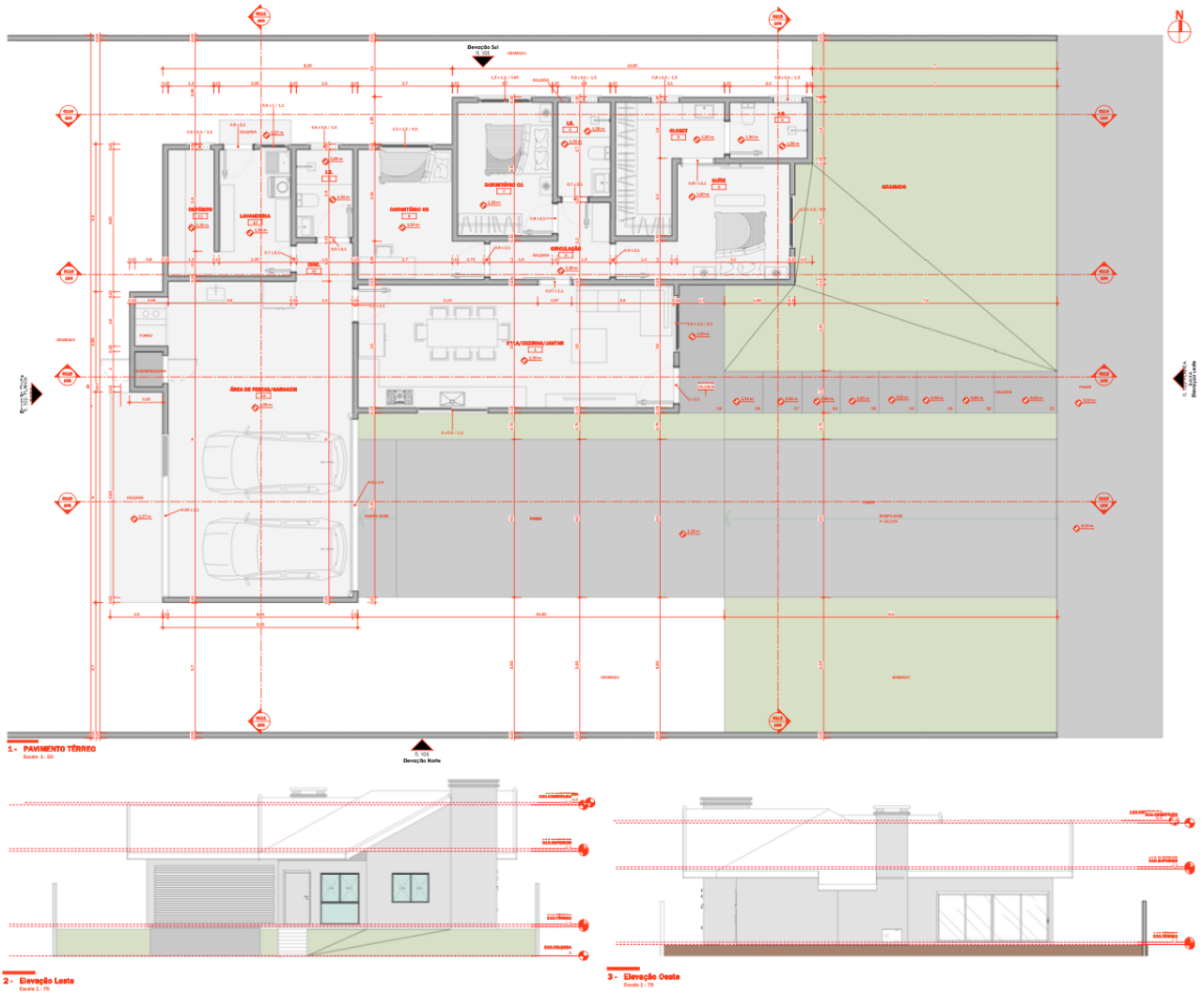


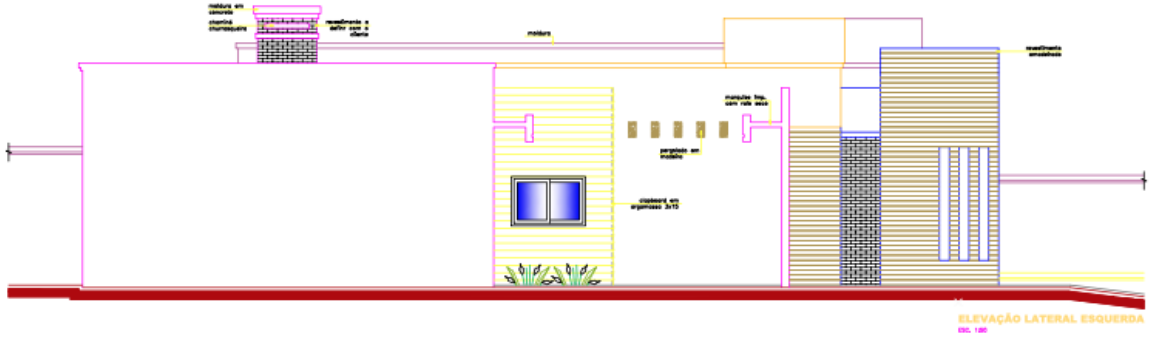
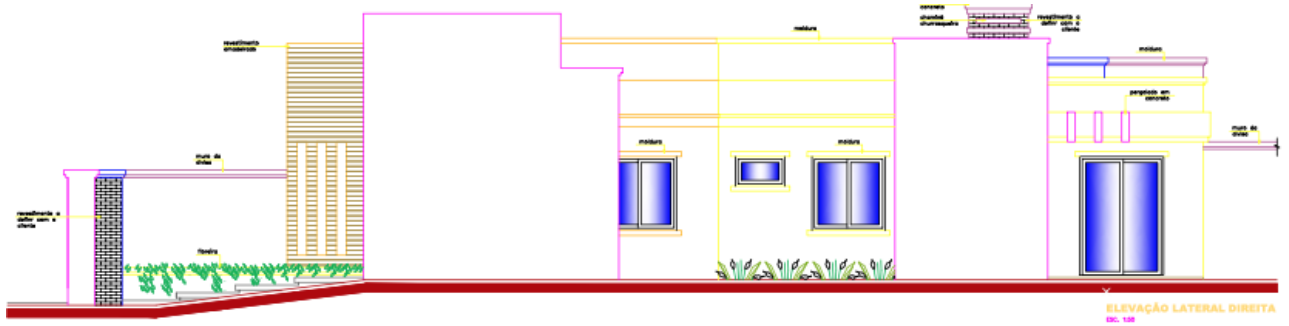
Origem da informação: Caso 14C

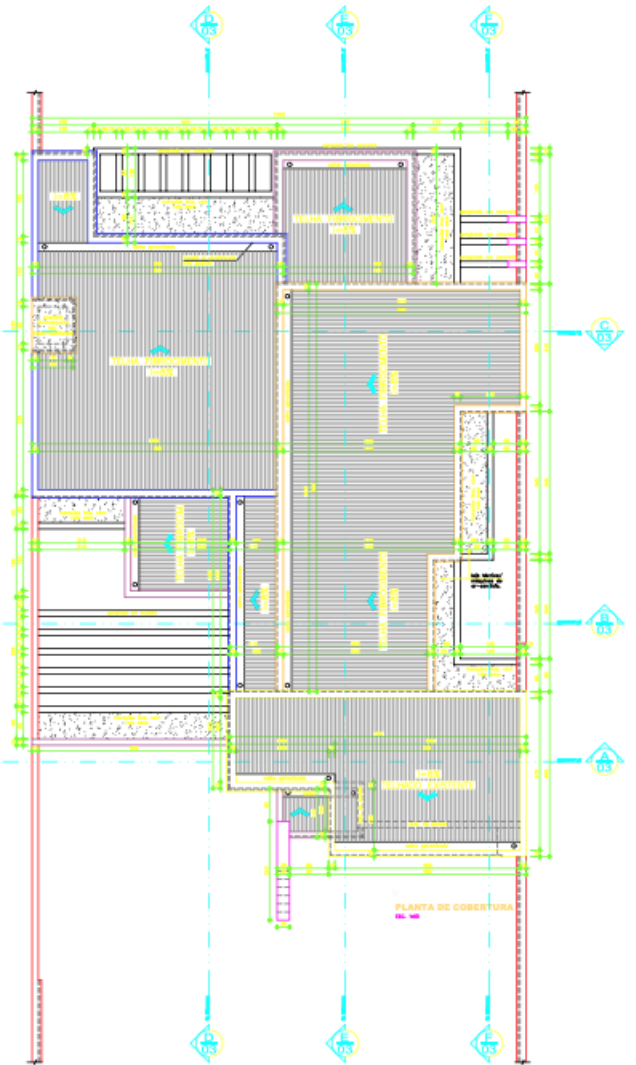
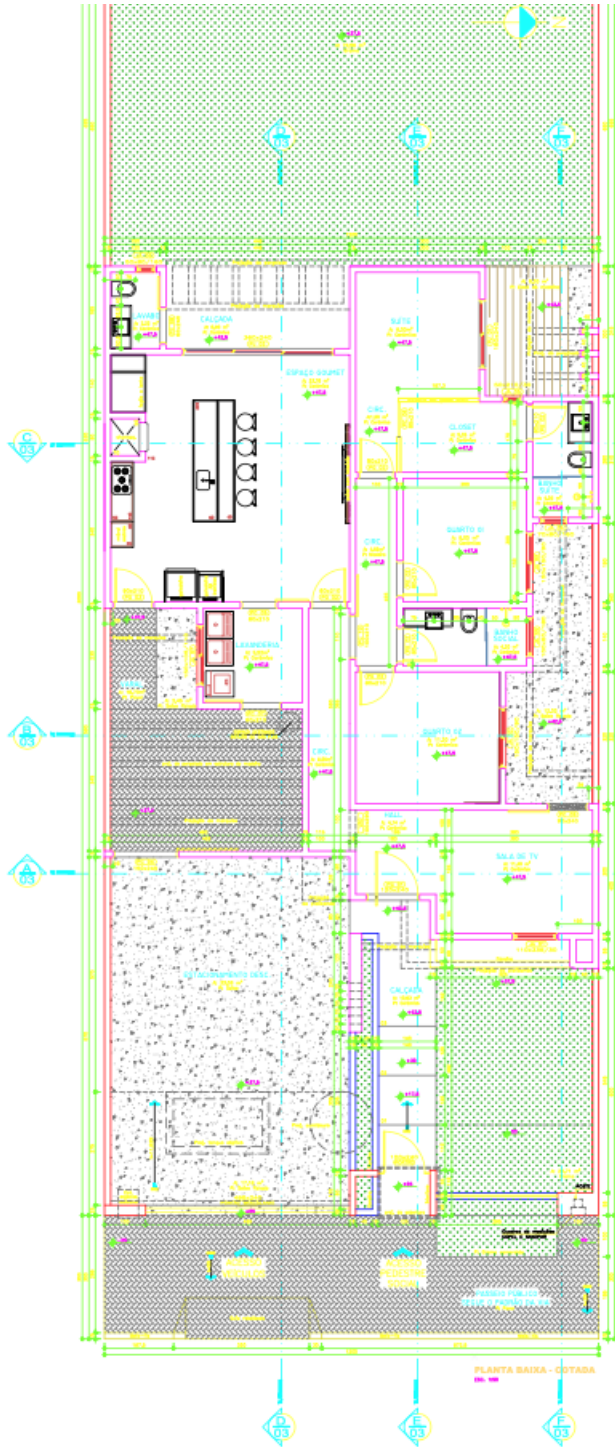
Descrição: projeto arquitetônico

Escala: indicada

Ano: 2022



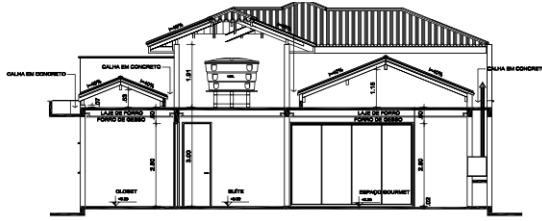




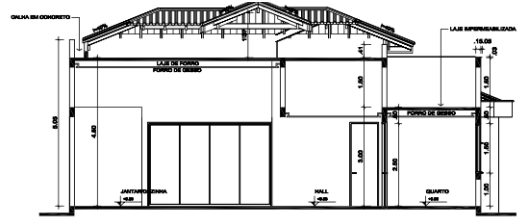
Código	Dimensão	Material	Perfil	IV de Fábria	Quantidade
JA 01	110x138/30	Alumínio com vidro 3m	Aluclima	03	01
JA 02	105x160/90	Alumínio com vidro 3m	Correr	02	02
JA 03	105x80/180	Alumínio com vidro 3m	Recuante	01	01
JA 04	75x80/180	Alumínio com vidro 3m	Bancada	01	01
JA 05	85x215/30	Alumínio com vidro 3m	Cathalita	02	01
JA 06	85x80/180	Alumínio com vidro 3m	Recuante	01	01
JA 07	105x105/110	Alumínio com vidro 3m	Correr	02	01

Código	Dimensão	Material	Perfil	IV de Fábria	Quantidade
PG 01	120x240	Madeira	Flexitama	01	01
PG 02	80x210	Madeira	Clia	01	08
PG 03	80x210	Alumínio	Clia	01	01
PG 04	105x240	Alumínio	Correr	01	01
PG 05	80x210	Madeira	Correr	01	01
PG 06	85x210	Madeira	Correr	01	01
PG 07	85x210	Madeira	Correr	01	01
PG 08	80x240	Alumínio	Correr	01	01
PG 09	90x240	Alumínio	Correr	01	01
PG 10	105x210	Madeira	Correr	01	01

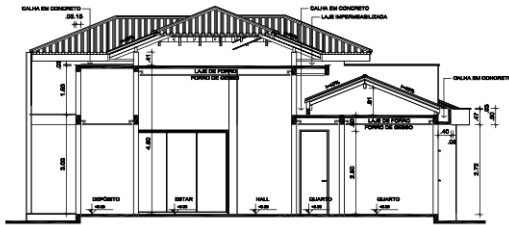
Código	Dimensão	Material	Perfil	IV de Fábria	Quantidade
PV 01	180x240	Alumínio com vidro 3m	Correr	02	01
PV 02	300x240	Alumínio com vidro 3m	Correr	03	01



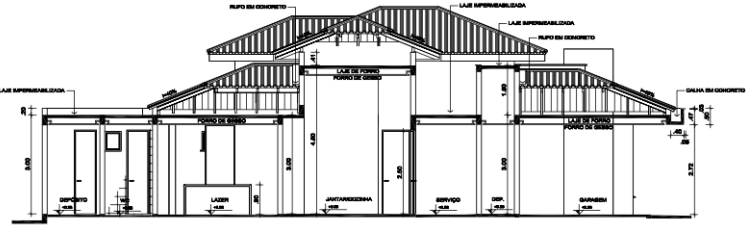
CORTE A-A
ESCALA: 1:50



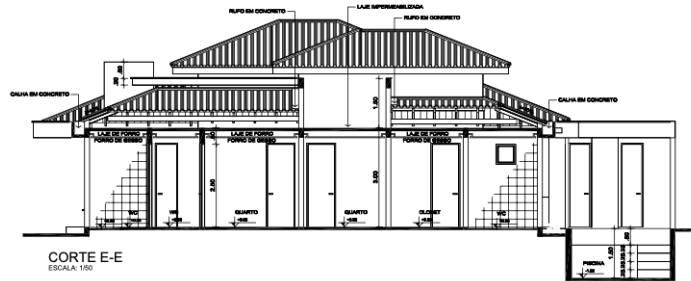
CORTE B-B
ESCALA: 1:50



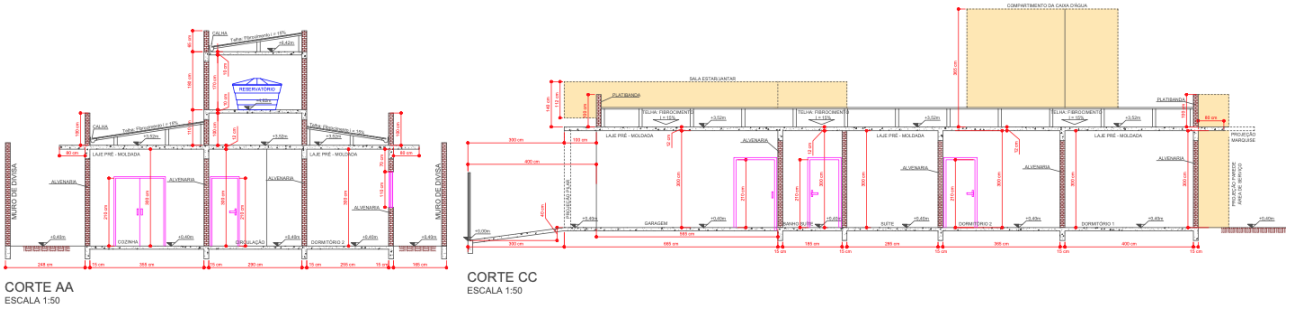
CORTE C-C
ESCALA: 1:50



CORTE D-D
ESCALA: 1:50

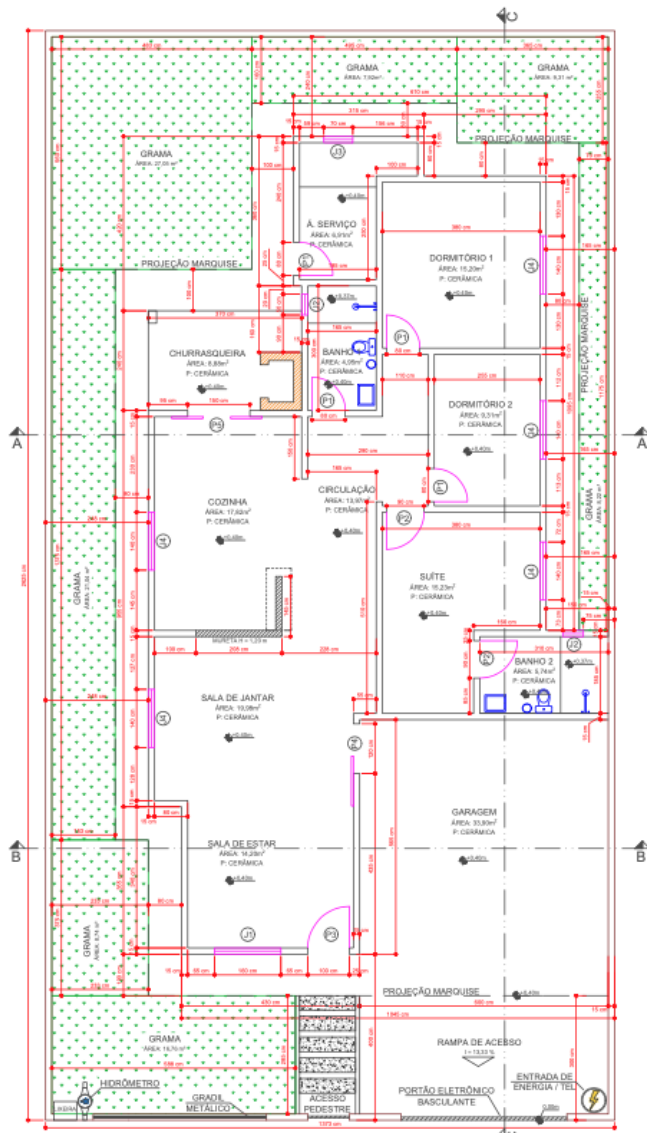


CORTE E-E
ESCALA: 1:50

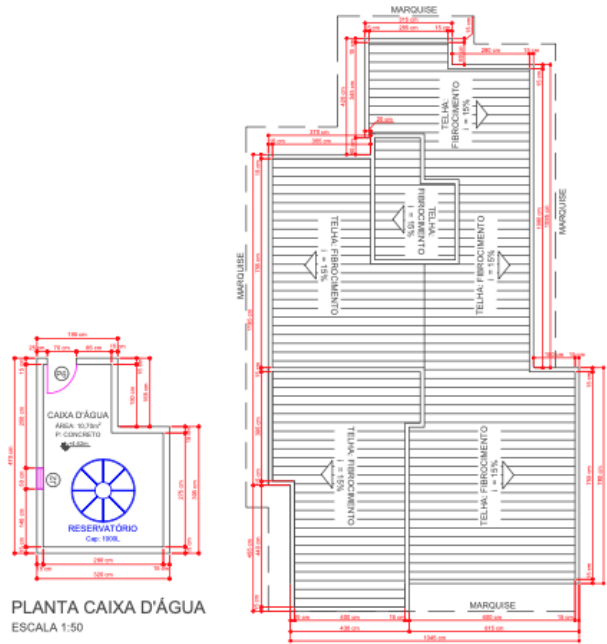


CORTE AA
ESCALA 1:50

CORTE CC
ESCALA 1:50

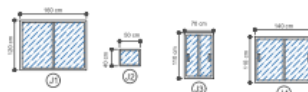


PLANTA TÉRREO
ESCALA 1:50

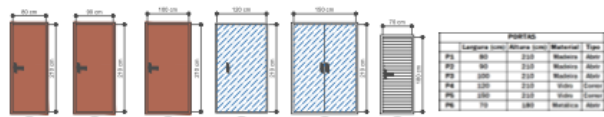


PLANTA CAIXA D'ÁGUA
ESCALA 1:50

COBERTURA
ESCALA 1:75



DETALHES DE ESQUADRIAS
ESCALA 1:50



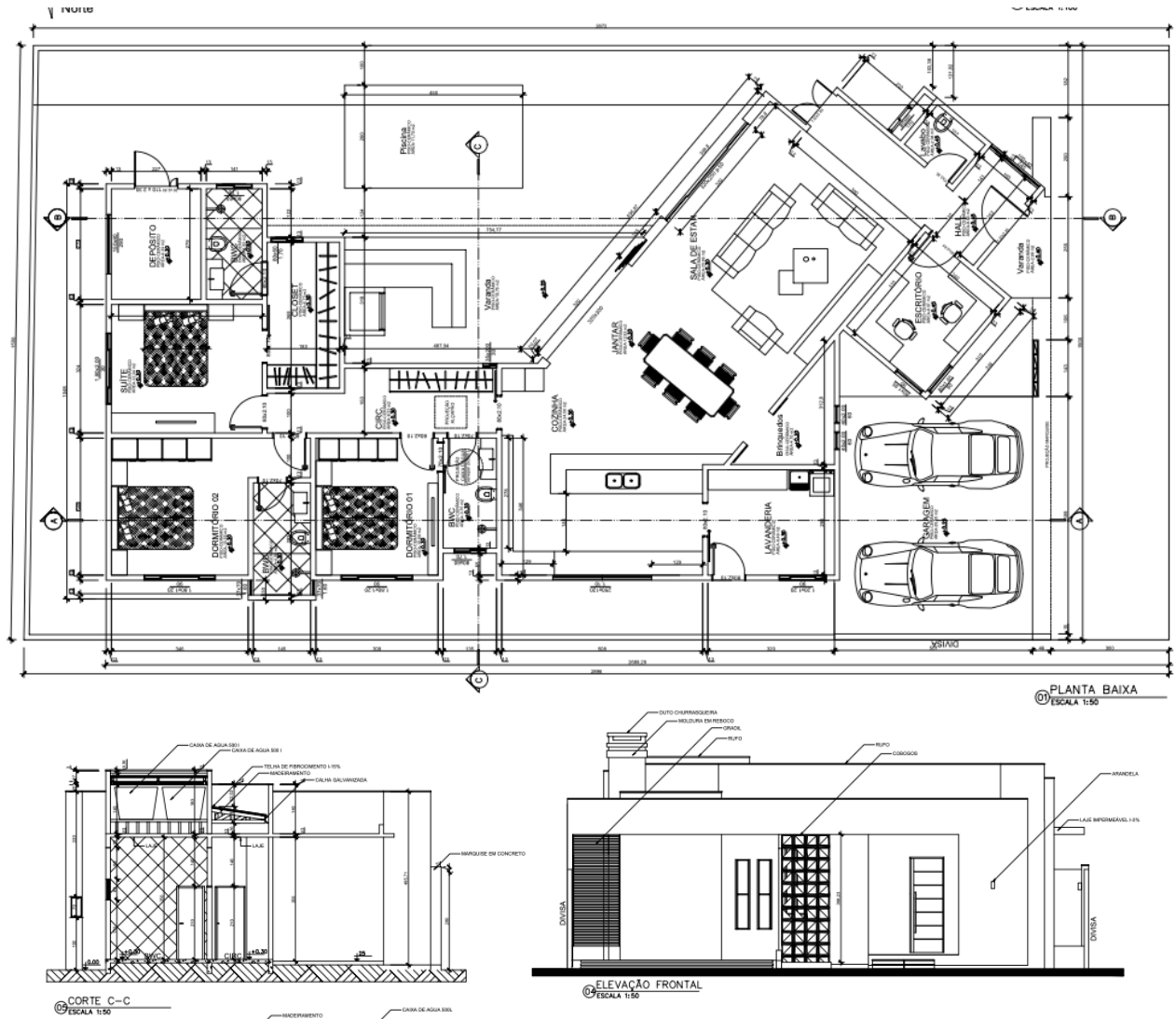
DETALHES DE PORTAS
ESCALA 1:50

Origem da informação: Caso 16C

Descrição: projeto arquitetônico

Escala: indicada

Ano: 2021

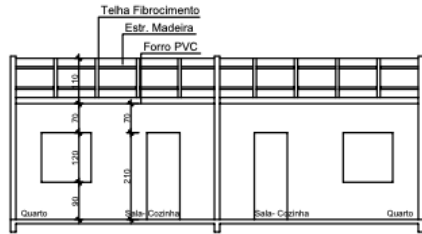


Origem da informação: Caso 17C*

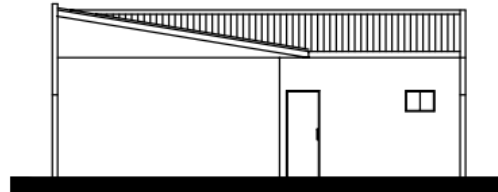
Descrição: projeto arquitetônico

Escala: indicada

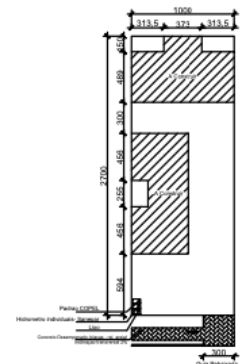
Ano: 2021



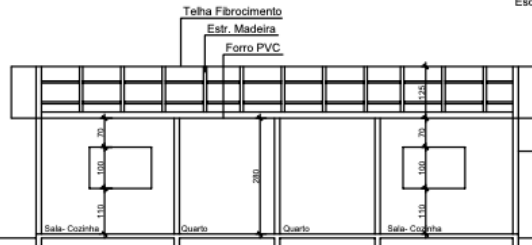
Corte BB
Escala 1/50



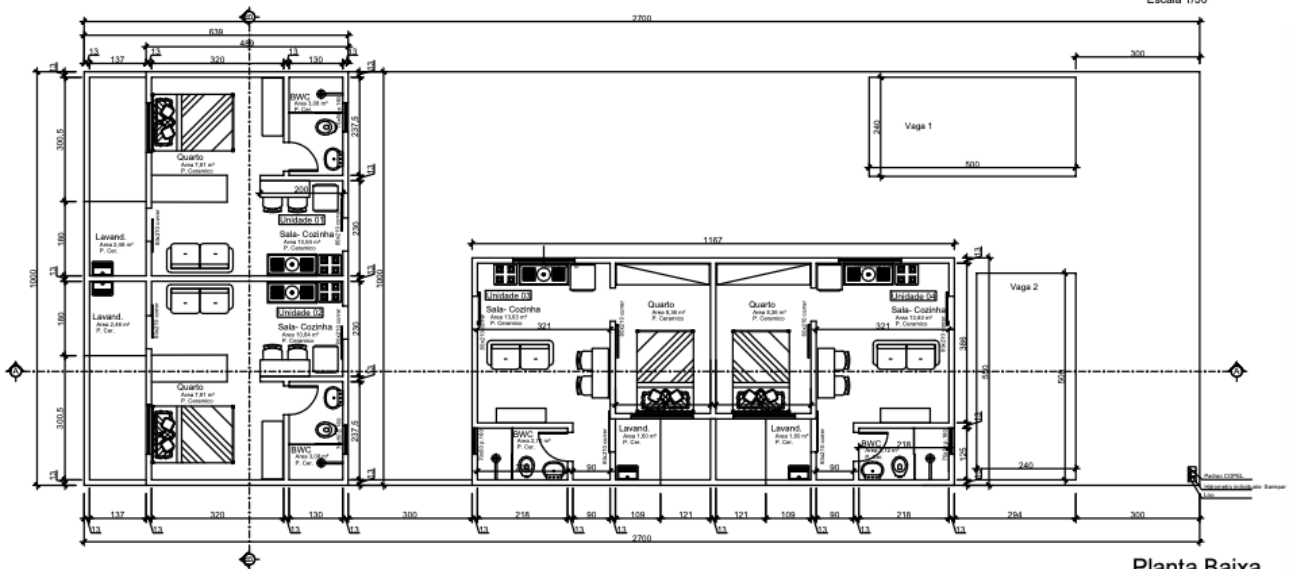
Elevação Frontal
Escala 1/50



Situação
Escala 1/200



Corte AA
Escala 1/50



Planta Baixa
Escala 1/50

Origem da informação: Caso 18C

Descrição: projeto arquitetônico

Escala: indicada

Ano: 2021

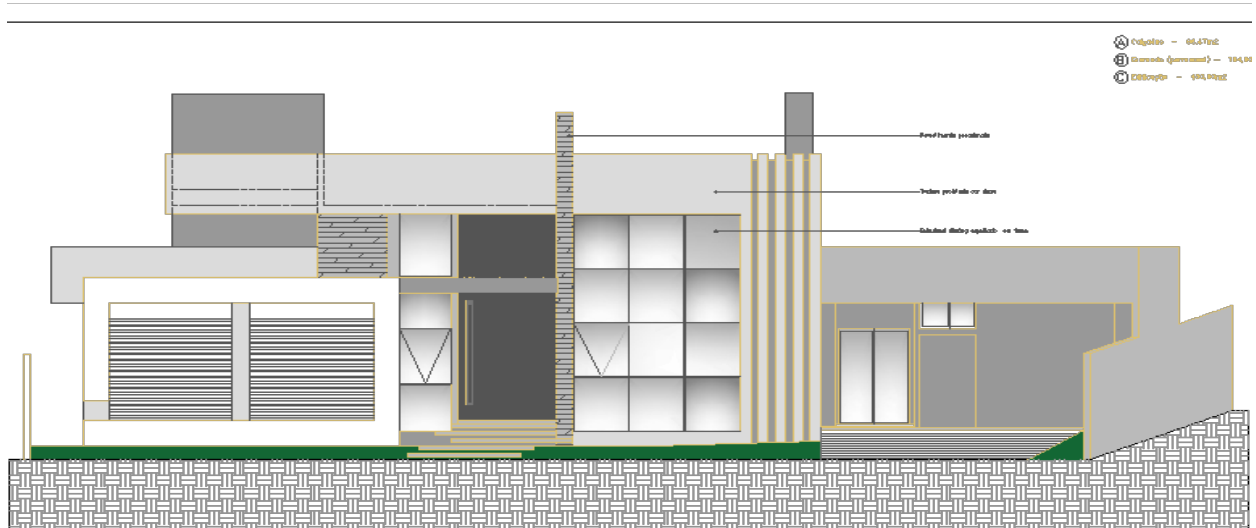


Origem da informação: Caso 19C

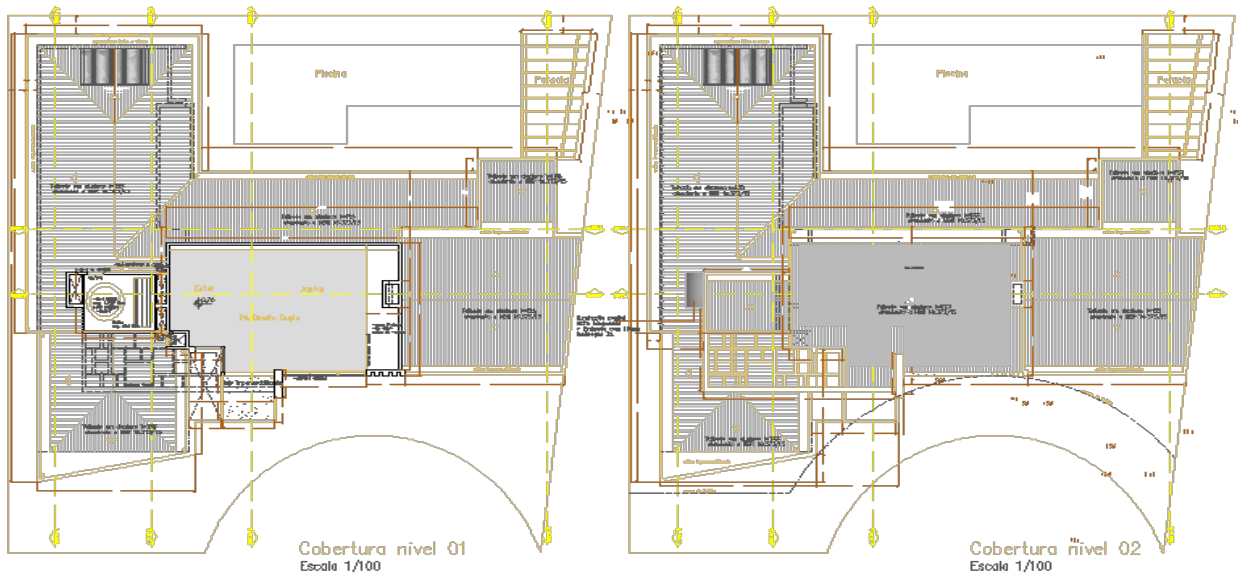
Descrição: projeto arquitetônico

Escala: indicada

Ano: 2021



Elevação Frontal
Escala 1/50



Cobertura nível 01
Escala 1/100

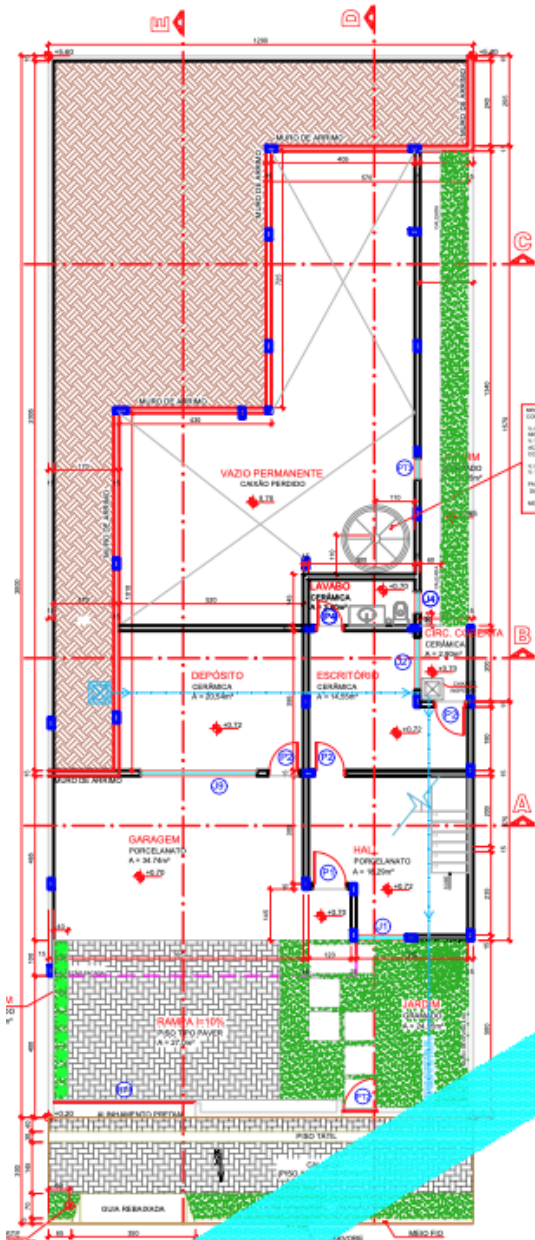
Cobertura nível 02
Escala 1/100

Origem da informação: Caso 20S

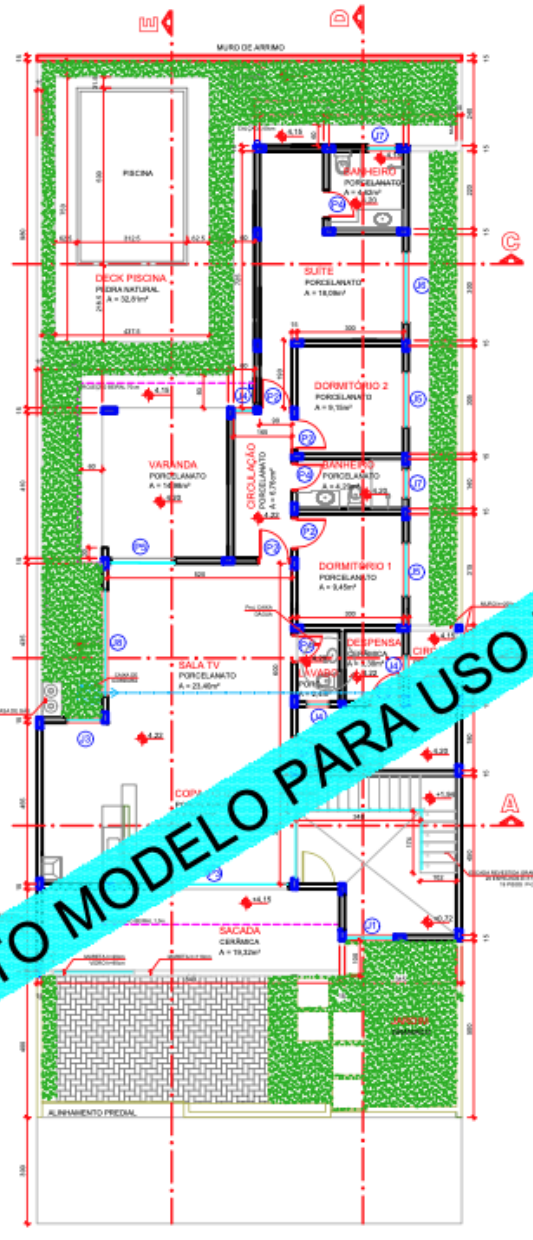
Descrição: projeto arquitetônico

Escala: indicada

Ano: 2022



PLANTA PAV. TÉRREO
 Área 104,00m²
 Nivel 0,00 = F.L.
 escala 1:75



PLANTA PAV. SUPERIOR
 Área 151,64m²
 escala 1:75

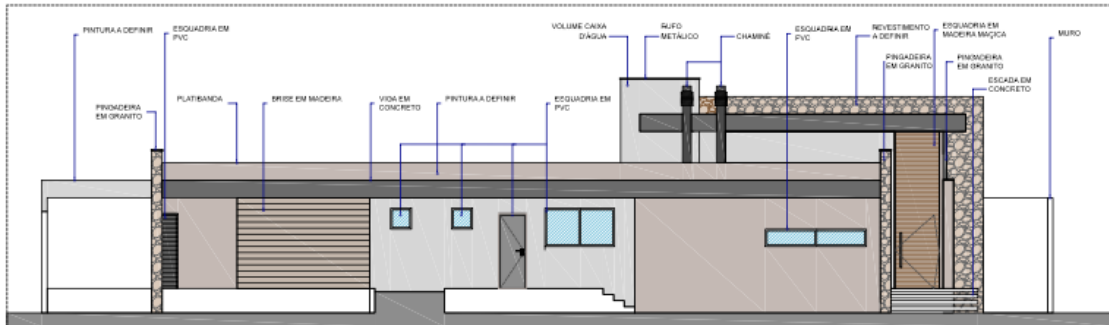
PROJETO MODELO PARA USO E

Origem da informação: Caso 21C

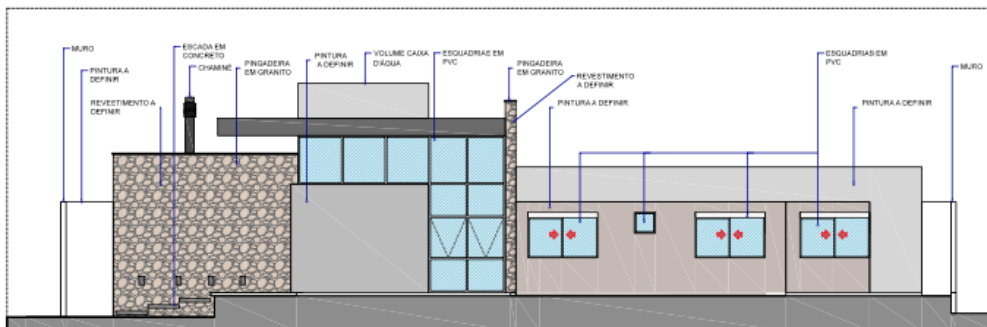
Descrição: projeto arquitetônico

Escala: indicada

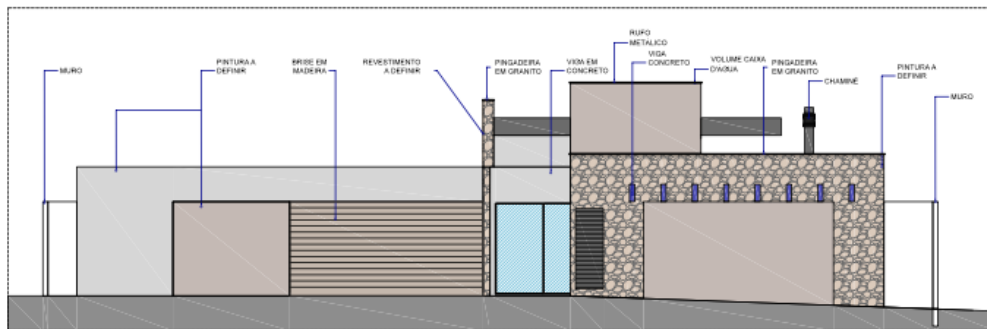
Ano: 2022



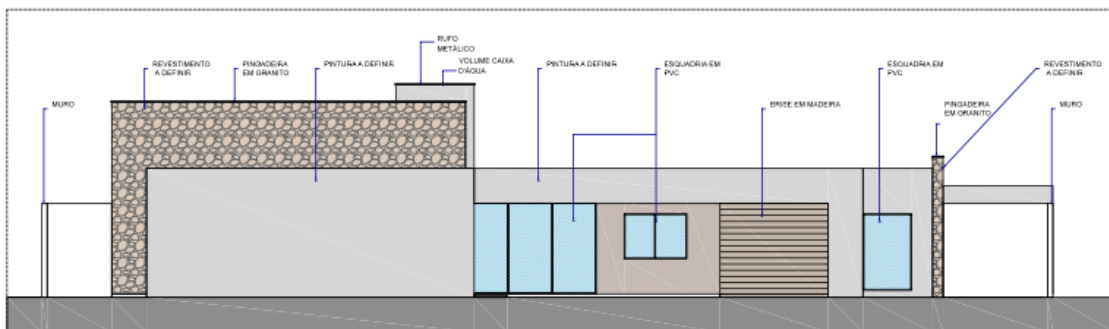
ELEVAÇÃO NORTE



ELEVAÇÃO LESTE



ELEVAÇÃO OESTE



ELEVAÇÃO SUL

