



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
Universidade Federal de Ouro Preto  
Escola de Minas – Departamento de Engenharia Civil  
Curso de Graduação em Engenharia Civil

---



**Fellipe Gervazio de Souza**

# **A SUSTENTABILIDADE IMPLÍCITA NO MODELO DE CONSTRUÇÃO EM WOOD FRAME: ANÁLISE DO IMPACTO AMBIENTAL CAUSADO PELO MÉTODO CONSTRUTIVO**

Ouro Preto

2022

A Sustentabilidade implícita no modelo de construção em Wood frame: análise do impacto ambiental causado pelo método construtivo

Fellipe Gervazio de Souza

Trabalho Final de Curso apresentado como parte dos requisitos para obtenção do Grau de Engenheiro Civil na Universidade Federal de Ouro Preto.

Data da aprovação: 07/11/2022

Área de concentração: Estruturas

Orientador: Prof. D.Sc. Geraldo Donizetti de Paula – UFOP

Ouro Preto

2022

## SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

S729a Souza, Fellipe Gervazio De.  
A sustentabilidade implícita no modelo de construção em Wood frame  
[manuscrito]: análise do impacto ambiental causado pelo método  
construtivo. / Fellipe Gervazio De Souza. - 2022.  
116 f.: il.: color., gráf., tab..

Orientador: Prof. Dr. Geraldo Donizetti de Paula.  
Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto.  
Escola de Minas. Graduação em Engenharia Civil .

1. Estruturas de madeira (Construção civil). 2. Sustentabilidade. 3.  
Construção civil. 4. Madeiras de construção. I. Paula, Geraldo Donizetti  
de. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU 624

Bibliotecário(a) Responsável: Maristela Sanches Lima Mesquita - CRB-1716



## FOLHA DE APROVAÇÃO

**Fellipe Gervazio de Souza**

### **A sustentabilidade implícita no modelo de construção em Wood frame: análise do impacto ambiental causado pelo método construtivo**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Civil

Aprovada em 07 de novembro de 2022

#### Membros da banca

Professor - Geraldo Donizetti de Paula - Orientador - Universidade Federal de Ouro Preto  
Professor - Fernando Antônio Borges Campos - Universidade Federal de Ouro Preto  
Professor - Jaime Florencio Martins - Universidade Federal de Ouro Preto

Geraldo Donizetti de Paula, orientador do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 24/11/2022



Documento assinado eletronicamente por **Geraldo Donizetti de Paula, COORDENADOR(A) DE CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DAS CONSTRUÇÕES**, em 24/11/2022, às 10:10, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [http://sei.ufop.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **0431270** e o código CRC **FE13BFC7**.

*“Comece antes de estar pronto”.*

*Bruno Perini.*

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente a Deus que sempre esteve comigo nessa trajetória de lutas e vitórias, e está me proporcionando mais essa realização. Reconheço que sem Ele nada disso seria possível.

Aos meus pais Daniella e Ernani, à minha avó Alice e meus irmãos Liz e Matheus por estarem presentes me apoiando antes mesmo do começo dessa jornada, não medindo esforços para ajudar o meu sonho a se tornar realidade.

Também às minhas tias Elaine, Grazielle e Patrícia, e aos meus primos que mesmo de longe estavam sempre comigo. À Michellinne por estar sempre me encorajando nessa jornada.

Aos meus irmãos de Ouro Preto da República Mansão Amarela por serem minha segunda família e por estarem comigo durante toda essa jornada, desde o começo do curso.

Aos meus amigos de UFOP e de Governador Valadares, obrigado por todo apoio e companheirismo durante esse tempo. Aos Boçais que me acompanharam nesta reta final, sempre me apoiando e incentivando, especial à Cecília que esteve ainda mais próxima durante esse tempo e me ajudou muito no Abstract.

À Civil Junior por ser minha principal atividade de formação profissional, me ajudando a desenvolver minhas habilidades como engenheiro. Ao CAEC por me proporcionar a conexão com novos alunos e professores durante o período conturbado da pandemia.

Ao meu professor orientador Geraldo Donizetti pelo apoio e orientação neste projeto. A todos os professores do DECIV que me ajudaram e me formaram o profissional que me tornei agora, ao encerrar essa jornada, obrigado a todos que tiveram papel fundamental nisto.

## RESUMO

A construção civil está presente na vida dos seres humanos desde os primórdios, e esta está em desenvolvimento contínuo. Com a evolução da tecnologia e o êxodo da população para os grandes centros urbanos, houve a necessidade de mais edificações. A construção civil passou então a se utilizar de recursos naturais e não naturais para seus propósitos, causando degradação do meio ambiente, poluição do ar, água e solo, bem como a grande geração de resíduos sólidos. Devido às mudanças climáticas causadas, os conceitos de sustentabilidade foram introduzidos nas indústrias. Como a construção civil é responsável por grande parcela de impacto no meio ambiente e poluição do ar, o conceito de construção sustentável foi então adotado para buscar soluções tecnológicas que agreguem na indústria de forma a reduzir esses impactos causados ao meio ambiente e de igual forma trazer benefícios à sociedade. O Wood frame se destacou como um sistema estrutural alternativo ao modelo convencional, uma vez que o mesmo se utiliza de material natural renovável e reduz o desperdício, e que, quando atrelado à qualificada mão-de-obra na execução, possui um alto nível de desempenho e baixo tempo de execução da edificação. Este trabalho busca ressaltar a importância do sistema Wood frame utilizando índices sustentáveis, servindo como métrica para analisar a diferença do impacto ambiental causado por este modelo de construção e o modelo convencional. Seguidamente, o sistema Wood frame se mostrou mais vantajoso do ponto de vista sustentável. Ademais, ainda que pouco usual no Brasil, o sistema em madeira se mostrou como um grande potencial para empresas e pesquisas, e para isso é necessário que haja incentivo governamental de forma que o preconceito relacionando madeira e construção seja extinto, além de possuir uma área favorável para extração e reflorestamento da madeira. Dessa forma, as consequências causadas pela construção civil ao meio ambiente podem ser decrescidas ao mesmo tempo que haja um desenvolvimento de um modelo construtivo sustentável e ocorra a entrega final com a mesma qualidade que os métodos convencionais.

Palavras-chaves: *Wood frame*. Sustentabilidade. Construção civil. Madeira.

## **ABSTRACT**

Civil construction has been present in the lives of human beings since the beginning, and it is in continuous development. With the evolution of technology and the exodus of the population to large urban centers, there was a need for more buildings. Civil construction then began to make use of natural and non-natural resources for its purposes, causing environmental degradation, air, water and soil pollution, as well as the large generation of solid waste. Due to the climate changes caused, the concepts of sustainability were then introduced in the industries. As civil construction is responsible for a large portion of the impact on the environment and air pollution, the concept of sustainable construction was then adopted to seek technological solutions that aggregate in the industry in order to reduce these impacts caused to the environment and equally bring benefits to the society. Wood frame stood out as an alternative structural system to the conventional model, since it uses renewable natural material and reduces waste, and which, when linked to qualified labor in the execution, has a high-level performance and a lower building execution time. This work seeks to emphasize the importance of the Wood frame system using sustainable indices, serving as a metric to analyze the difference in the environmental impact caused by this construction model and the conventional model. Subsequently, the Wood frame system proved to be more advantageous from a sustainable point of view. In addition, although unusual in Brazil, the wooden system has shown itself as a great potential for companies and researches, and for this it is necessary to have government incentives so that the prejudice relating to wood and construction is extinguished, in addition to having an area favorable for extraction and reforestation of wood. Thus, the consequences caused by civil construction to the environment can be reduced at the same time as there is a development of a sustainable constructive model and that has the final delivery with the same quality as conventional methods.

Keywords: Wood frame. Sustainability. Civil construction. Wood.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Identificação dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável.....	10
Figura 2 - Marcos na história que amadureceram as pautas de sustentabilidade até a atualidade.....	11
Figura 3 - Impactos ambientais da cadeia construtiva das edificações. ....	25
Figura 4 - Pinheiro-do-Paraná localizada na cidade de Curitiba - PR, Brasil. ....	27
Figura 5 – Monocotiledôneas representada pela Palmeira Imperial. ....	28
Figura 6 – Dicotiledôneas representada pelo Argelim vermelho.....	29
Figura 7 - Seção transversal de um tronco de árvore e suas respectivas indicações de cada parte da estrutura .....	30
Figura 8 - Exemplo de uma seção de madeira após o processo de carbonização.....	33
Figura 9 - Representação da presença de um nó vivo em um segmento de madeira. ....	37
Figura 10 - Representação da presença de um nó morto em um segmento de madeira .....	37
Figura 11 - Principais agentes de deterioração da madeira.....	39
Figura 12 – Execução de obra em Wood frame – lado externo .....	47
Figura 13 – Execução de obra em Wood frame – lado interno.....	47
Figura 14 - Representação dos métodos construtivos em Balloon Framing e Plataform Framing.....	50
Figura 15 - Radier executado e com as infraestruturas elétricas e hidráulicas já posicionadas, na obra de reforma e ampliação do Aeroporto Coronel Altino Machado de Oliveira na cidade de Governador Valadares - MG.....	51
Figura 16 – Representação da fixação do sistema estrutural à fundação .....	53

Figura 17 – Ilustração da composição do painel estrutural Tecverde do tipo parede.....	54
Figura 18 – Execução de telhado do tipo Shingle.....	56
Figura 19 – Ilustração representativa da Serra copo para madeira .....	59
Figura 20 – Ilustração representativa da trena graduada e seus componentes..	60
Figura 21 - Ilustração representativa do cinto de ferramentas .....	61
Figura 22 – Ilustração representativa da serra sawzall.....	62
Figura 23 – Ilustração representativa de uma parafusadeira sendo utilizada para a fixação de uma peça de madeira .....	63
Figura 24 – Ilustração representativa da pistola de pregos pneumática sendo utilizada para a fixação entre estruturas de madeira .....	64
Figura 25 - Benefícios reportados por praticantes do Lean Construction .....	67
Figura 26 – Representação da quantidade de energia necessária para a produção de 1 tonelada de madeira, cimento, vidro e aço.....	73

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Objetivos chave para a proposição de projetos de edificações sustentáveis .....	7
Tabela 2 - Os 11 princípios do Lean Construction .....	23
Tabela 3 – Identificação dos nomes populares e científicos das madeiras relacionadas à construção sendo estas pesadas e externas .....	41
Tabela 4 – Identificação dos nomes populares e científicos das madeiras relacionadas à construção sendo estas pesadas e internas .....	42
Tabela 5 – Identificação dos nomes populares e científicos das madeiras relacionadas à construção sendo estas leves externas e de uso temporário.....	42
Tabela 6 – Identificação dos nomes populares e científicos das madeiras relacionadas à construção sendo estas leves internas e decorativas .....	43
Tabela 7 – Identificação dos nomes populares e científicos das madeiras relacionadas à construção sendo estas leves internas e de utilidades gerais.....	43
Tabela 8 – Identificação dos nomes populares e científicos das madeiras relacionadas à construção sendo estas leves internas de esquadrias .....	44
Tabela 9 – Identificação dos nomes populares e científicos das madeiras relacionadas à construção sendo estas de assoalhos domésticos .....	44
Tabela 10 – Dimensões comerciais das madeiras mais utilizadas na construção civil no Brasil .....	45

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Contribuição de CO <sub>2</sub> associado ao processo de manufatura dos materiais empregados em 1m <sup>2</sup> .....	68
Gráfico 2 – Análise comparativa de custos por m <sup>2</sup> .....	71
Gráfico 3 - Comparativo de custos entre alvenaria convencional e Wood frame.....	71
Gráfico 4 – Perfil de matérias-primas para os sistemas construtivos (kg) .....	74

## LISTA DE SIGLAS

ANVISA - Agência Nacional de Vigilância Sanitária

AQUA - Alta Qualidade Ambiental

CBIC - Câmara Brasileira da Indústria da Construção

CO<sub>2</sub> - Dióxido de Carbono

COHAB - Companhia de Habitação do Estado de Minas Gerais

CTE – Centro de Tecnologia de Edificações

ESG - *Environmental, Social and Governance*

GBC - *Green Building Council*

GGE - Gases de Efeito Estufa

HQE - *Haute Qualité Environmentale*

IBAMA - Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis

IEA - *Integrated Environmental Assessment*

IIIEE - *International Institute for Industrial Environmental Economics*

INBEC - Instituto Brasileiro de Educação Continuada

IPCC - *Intergovernmental Panel on Climate Change*

LEED - *Leadership in Energy and Environmental Design*

MEC - Ministério da Educação

ODS - Objetivos de Desenvolvimento Sustentável

OECD - *Organization for Economic Co-operation and Development*

ONU - Organização das Nações Unidas

OSB - *Oriented Strand Board*

PNUMA - Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente

SER - Responsabilidade Socioambiental Empresarial

WWF - *World Wide Fund for Nature*

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	1
1.1	Objetivo.....	3
1.1.1	Objetivos Específicos.....	3
1.2	Estrutura do Texto .....	4
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	5
2.1	Construções sustentáveis.....	5
2.1.1	Métricas de sustentabilidade.....	8
2.1.2	<i>Lean Construction</i> .....	21
2.1.3	Recursos Naturais.....	23
2.2	Madeiras na construção civil.....	26
2.2.1	Classificação das árvores .....	26
2.2.2	Fisiologia das árvores .....	29
2.2.3	Teor de umidade .....	31
2.2.4	Retratibilidade .....	32
2.2.5	Resistência ao fogo.....	32
2.2.6	Densidade.....	33
2.2.7	Durabilidade natural .....	34
2.2.8	Reflorestamento.....	35
2.2.9	Defeitos da madeira .....	36
2.2.10	Tipos de madeiras utilizadas na construção civil .....	40
2.3	<i>Wood frame</i> .....	45
2.3.1	Construção seca .....	48

2.3.2	Considerações básicas para a execução de um projeto .....	48
2.3.3	Métodos construtivos .....	49
2.3.4	Processo construtivo.....	50
2.4	Ferramentas utilizadas para a execução das construções .....	57
2.4.1	Ferramentas manuais de mão .....	58
2.4.2	Ferramentas manuais elétricas.....	61
3	METODOLOGIA.....	65
4	RESULTADOS .....	66
4.1	Índices de sustentabilidade.....	66
4.2	Comparação com o método de construção em alvenaria convencional e <i>Wood frame</i> .....	69
4.2.1	Aspectos construtivos .....	69
4.2.2	Impactos ambientais .....	72
4.3	Cenário brasileiro.....	74
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	77
	REFERÊNCIAS .....	79
	ANEXO A – PROJETOS.....	97
A.1	Projeto Arquitetônico. ....	97
A.2	Projeto Hidrossanitário – Instalação de água fria e quente. ....	98
A.3	Projeto Hidrossanitário – Instalação de esgoto sanitário. ....	99
A.4	Projeto Elétrico. ....	100



# 1 INTRODUÇÃO

A variação da temperatura na superfície terrestre sofre variações desde o início da existência do planeta Terra, passando por ciclos de aquecimento e arrefecimento (SÁ, 2008). Contudo, Henriques (2008) ressalta que as atividades humanas tem acelerado o processo natural de aquecimento terrestre, causando o “efeito estufa” e contribuindo para o aquecimento na ordem de 1,4 a 5,6 graus celsius até o final do século.

O desaparecimento dos recursos naturais e destruição do meio ambiente foram provocados pelos próprios seres humanos, intensificando as causas de aumento de temperatura na superfície terrestre Cousteau (1910-1997). Segundo a *World Wide Fund for Nature* (WWF, 2012), a forma como as infraestruturas urbanas forem gerenciadas nas próximas três décadas determinará em uma fonte destruição ambiental ou uma fonte de rejuvenescimento ecológico, impactando em todos os âmbitos da vida humana.

A busca pela moradia está implícita dentro do ser humano, que desde a idade pré-histórica já procuravam seus refúgios em cavernas onde pudessem se proteger contra o sol, chuva e de animais (LOURENÇO; BRANCO, 2012). Ademais, a Declaração Universal dos Direitos Humanos se refere à moradia como:

Todo ser humano tem direito a um padrão de vida capaz de assegurar a si e a sua família saúde e bem estar, inclusive alimentação, vestuário, habitação, cuidados médicos e os serviços sociais indispensáveis, e direito à segurança em caso de desemprego, doença, invalidez, viuvez, velhice ou outros casos de perda dos meios de subsistência fora de seu controle. (Declaração Universal dos Direitos Humanos, 1948, art. 25, § 1º).

O modelo atual da indústria da construção civil, é um dos grandes responsáveis por emissão de gases poluentes, desperdícios e degradação do meio ambiente. O principal componente das obras civis, o cimento, é feito a partir de um mineral não renovável e cuja a exploração gera enorme impacto ambiental (MECHI; SANCHES, 2010). O conceito de sustentabilidade foi se tornando recorrente na área da construção civil, que passou a adotar medidas construtivas que impactasse em menor escala o meio ambiente. O assunto começou a tomar proporções maiores após a

Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (Rio 92), que posteriormente disseminaram o conceito de construções “secas” afim da diminuição do impacto ambiental causado pelas construções civis.

O uso da madeira está inserido na humanidade desde os primórdios com sua descoberta, e utilizada para as necessidades de acordo com a descoberta de novas formas de utilização. Após a destinação da madeira para construção de residências, as técnicas se tornaram mais aprimoradas, e desde então é utilizada para esse fim (BOCALON, *et al.*, 2014). No Brasil devido à industrialização em massa e grandes investimentos nas indústrias de aço e concreto no século XX, as execuções em construções em madeira foram cessadas (CHACON; FREITAS, 2019). Entretanto, com a necessidade de formas alternativas de modelos construtivos que tivessem menos impacto ambiental, o uso da madeira foi uma peça chave, sendo um material orgânico e originado de florestas naturais e artificiais, sendo uma fonte abundante e renovável (CRUZ; NUNES, 2005).

Ademais, o uso da madeira em construções já está difundido em várias partes do mundo. Segundo a revista Galileu (2018), desde o ano de 2010 no Japão, uma lei determina que todo edifício público de até três andares deve ser obrigatoriamente construído em madeira. No Brasil, ainda não é tão disseminado as ideias em construção em madeira, mas é considerado uma alternativa promissora. Entretanto, essa expansão depende dos incentivos governamentais, aumento da integração direta entre a construção civil e o setor madeireiro, a divulgação como forma de combate ao preconceito causado pelo uso da madeira como sistema construtivo e pela formação de profissionais capacitados para a execução (SOTSEK; SANTOS, 2018).

O determinado trabalho trata sobre a sustentabilidade difundida ao longo das últimas décadas e as influências da indústria da construção civil no meio ambiente, e também apresentar ferramentas que possam ser empregadas à este ramo de forma que as medidas tomadas culminem no fomento de um modelo de construção sustentável utilizando um material renovável, que resulte na redução das emissões dos Gases de Efeito Estufa (GEE), desperdícios e resíduos gerados e ainda sejam

construídas de forma rápida, segura e eficiente e gerando mudança socioeconômica no ambiente inserido com a proximidade entre indústria, sociedade e governo.

O trabalho será uma pesquisa bibliográfica, onde o método de busca pelas soluções será pautado em pesquisas à materiais relacionados ao tema (LIMA; MIOTO, 2007), sendo está de caráter qualitativa. Durante o desenvolvimento do trabalho será contextualizado sobre as definições de sustentabilidade, suas áreas de aplicação, seus índices de medição e a importância desse conceito relacionado à construção civil. Subsequente será introduzido o estudo sobre o *Wood frame*, bem como suas características físicas, mecânicas e construtivas, e como este método de construção gera benefícios ambientais em toda a sua cadeia de produção, fazendo valer o conceito de construção sustentável.

Com essa pesquisa espera-se apresentar uma opção de material renovável que somado ao método construtivo possam agregar valor em futuras discussões no que diz respeito a inserção de práticas sustentáveis, redução do impacto socioambiental causado pela construção civil e novos métodos alternativos de sistemas de construção.

“Nós humanos, precisamos aumentar os métodos de prevenção dos problemas futuros mais do que apenas tratar os sintomas dos problemas já existentes” afirma o professor da *International Institute for Industrial Environmental Economics (IIIEE)* da Universidade de Lund (Suécia) Donald Huisingh (2015).

## **1.1 Objetivo**

O objetivo do presente trabalho é apresentar métricas sustentáveis que aplicados ao modelo de construção conhecido como *Wood frame* sejam capazes de otimizar os processos construtivos e mostrar a importância para o decréscimo do impacto ambiental causado pelo cenário da construção civil.

### **1.1.1 Objetivos Específicos**

- Realizar uma revisão bibliográfica sobre os conceitos de sustentabilidades e seus índices qualitativos e métodos utilizados para medir o grau sustentável

das empresas, e qual desses índices são aplicados à engenharia civil de forma a incentivar as “construções verdes”, sendo apresentado a madeira como material para as construções sustentáveis;

- Sendo o material utilizado para o método de construção decorrido, realizar uma revisão bibliográfica sobre esse material, suas propriedades físicas, químicas e mecânicas, bem como suas aplicações na construção civil;
- Apresentar e descrever o método de construção *Wood frame*, seus processos de execução, materiais e ferramentas utilizadas;
- Comparar os processos de construção em *Wood frame* com os métodos de alvenaria convencional;
- Apresentar os resultados dos índices sustentáveis causados pelas aplicações dos métodos construtivos em madeira.

## 1.2 Estrutura do Texto

O seguinte trabalho é apresentado em formato de cinco tópicos, onde os assuntos são tratados separadamente nos subtópicos inseridos. Dessa forma, a estrutura é apresentada da seguinte forma:

No capítulo 1 é apresentado a contextualização do tema, bem como os problemas causados, os conceitos básicos que nortearão o desenvolvimento do trabalho, a hipótese da pesquisa e contribuição da mesma como contribuição para a sociedade.

No segundo capítulo, é mostrado o embasamento teórico ao qual esse trabalho foi fundamentado segundo o tema abordado e desenvolvido.

O terceiro capítulo engloba o tipo de pesquisa executada para o determinado trabalho, assim como os métodos e ferramentas necessárias para a realização da pesquisa.

Os resultados obtidos através das pesquisas realizadas em artigos, dissertações, livros, teses, jornais e revistas são apresentados no capítulo 4.

O capítulo 5 se refere às considerações finais sobre o trabalho, o qual é apresentado os resultados da pesquisa, bem como as vantagens e desvantagens do modelo estudado e sugestões para futuras pesquisas que englobem o assunto tratado.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Construções sustentáveis

O termo sustentabilidade, preservação e conscientização estão cada dia mais pautados no nosso cotidiano, especialmente pois os recursos naturais disponíveis já não são tão abundantes como antigamente.

De acordo com Rosa (2007, p. 2):

O mesmo homem que ora destrói a natureza em busca de uma melhor qualidade de vida necessita se conscientizar sobre sua passagem transitória no meio ambiente e da existência de futuras gerações que, também, querem utilizar os recursos naturais para satisfazer as suas necessidades.

A sustentabilidade faz parte de um conceito sistêmico que está relacionado com os aspectos sociais, econômicos, culturais e ambientais a qual a sociedade humana está inserida (SOUZA, 2010). Ademais, é esclarecido esse conceito sistêmico por Capra (1996) como sendo que o meio ambiente em que habitamos responde as nossas ações. Então o estilo de vida, forma de consumo e como exploramos e aproveitamos os recursos que temos, será refletido para o meio ambiente. Segundo Mikhailova (2004) a sustentabilidade é a capacidade de consumir e extrair os recursos naturais de forma consciente e responsável, de forma a obter o desejado no meio ambiente, mas respeitar a capacidade de produção do mesmo.

A descrição de construção sustentável segundo Araújo (2009) é tratada como o sistema construtivo capaz de manter a melhor qualidade de vida possível para o ser humano de forma a adaptar-se ao ambiente na região ao mesmo tempo que preserva energia e recursos dentro do ambiente inserido ao longo do ciclo de vida do edifício (SOUZA, 2010, apud, ARAÚJO 2009). Powell, Tilotta e Martinson (2008) definiram uma casa ideal como sendo confortável, segura, resistente a desastres, durável e sobretudo, sustentável.

De acordo com a empresa Tecverde (2015), a construção civil gera 60% dos resíduos sólidos das cidades, consome cerca de 40% da energia elétrica, além de explorar matérias-primas, recursos, degradar o meio ambiente e muitas vezes não destinar os resíduos para o local apropriado, contribuindo assim para a poluição da

atmosfera, de rios, mares e para o desmatamento. A indústria da construção civil é a que mais consome energia devido à natureza de suas atividades, contribuindo significativamente nas emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) e emissões de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) (AHMAD; ZHAO; LI, 2019).

Desta forma, a necessidade da incorporação da sustentabilidade à construção civil se fez necessário, buscando formas alternativas construtivas para manter o desenvolvimento sustentável (ISTCHUK; MIOTTO; SILVA, 2017).

A construção civil está presente na vida do ser humano desde os primórdios, e com o avanço das técnicas construtivas e da tecnologia, é preciso evoluir e empregar as opções sustentáveis disponíveis em lugar dos poluentes (BOCALON, *et al.*, 2014). Todas as decisões tomadas para a construção, devem ser norteadas pelas práticas sustentáveis (QUEIROGA; MARTINS, 2015). Conforme Almeida e Picchi (2018), a implantação respeitando a posição solar e ventos, a escolha de material, a logística de descarte dos resíduos gerados, aproveitamento da água de chuva, a utilização de energias limpas, demonstram o planejamento e preocupação com o meio ambiente e social ao mesmo tempo que solucionam a necessidade pessoal de habitação. Yannas (2001) destaca que os edifícios devem ser executados de acordo com o clima do ambiente, de forma a evitar o desperdício desnecessário de energia ou causar incomodo no morador.

Sattler (2007, p. 52) traça diretrizes, indicada na Tabela 1, com objetivos com os quais devem ser o foco de preocupação para um projeto sustentável.

Dessa forma, Sattler (2007) implica de forma direta e abrangente o conceito de engenharia: “aplicação de métodos científicos ou empíricos à utilização dos recursos da natureza em benefício do ser humano” (Oxford English Dictionary, 2022), visando não apenas o benefício próprio, mas de uma série de indivíduos em uma teia onde todos se ligam.

O Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA, 2008) definiu uma economia sustentável como uma economia que resulta em melhoria do bem estar humano e equidade social, ao mesmo tempo em que reduz significativamente os riscos ambientais e a escassez ecológica, que simplifadamente foi apontado como

a baixa emissão de carbono, eficiência em termos de recursos e socialmente acessível. Então, seguindo na mesma vertente, de acordo com a Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC, 2020) a construção civil deve se manter sustentável, uma vez que é responsável por uma parcela significativa da economia mundial.

<b>OBJETIVOS</b>
Minimizar o consumo de energia e materiais e maximizar os elementos contribuintes para uma construção mais saudável.
Promover comprometimento e responsabilidade social, de modo a proporcionar emprego e renda para o maior número de pessoas possível, dentro do contexto das possibilidades econômicas.
Estimular o desenvolvimento e a pesquisa sobre opções de produção que estejam em harmonia com a cultura local e que maximizem a geração de emprego e renda.
Utilizar processos participativos, incluindo clientes e usuários finais, sempre que possível.
Considerar o impacto de todos os produtos utilizados em todo o período de produção e uso. Os conceitos de análise do ciclo de vida e pegada ecológica devem ser familiares aos planejadores.
Ter claro que tanto mais sustentável é a construção, quanto mais for precedida por projetos de arquitetura sustentável, bem como a adequada orientação para todos os que venham a se envolver com o trabalho.
Na sequência dos objetivos acima, o projeto finalizado deve ser gerenciado por pessoas que compartilhem e entendam os conceitos de sustentabilidade.

**Tabela 1 - Objetivos chave para a proposição de projetos de edificações sustentáveis.**

**Fonte: Sattler, 2007, página 52.**

### **2.1.1 Métricas de sustentabilidade**

Durante a maior parte do tempo de existência da humanidade, tinha-se em mente de que o desenvolvimento estava diretamente ligado com a expansão econômica, e por isso a exploração de recursos naturais em excesso causaram impactos ambientais de degradação do meio ambiente e desigualdade social. Desta forma, o desenvolvimento sustentável tem como objetivo a qualidade de vida diretamente ligada a utilização consciente dos recursos naturais disponíveis (QUEIROGA; MARTINS, 2015).

Desde que se começou a ser tratados os assuntos de desenvolvimento sustentável, houve muitas mudanças no comportamento dos cidadãos e das empresas diretamente ligadas. Qualquer modificação em um processo ou aplicação de novos métodos podia ser denominado como “sustentável” mesmo sem apresentar necessariamente uma melhoria real. Fato é que de que essas mudanças não eram possíveis de serem mensuradas para que houvesse um controle de dados e comparações. Com a necessidade de tais informações, surgiram com o passar do tempo, ferramentas que fossem capazes de avaliar esses dados de forma quantitativa e qualitativa, que foram chamados de índices de sustentabilidade (AZAMBUJA, 2013).

Segundo Godfrey e Todd (2001) os índices de sustentabilidades são ferramentas em base de dados que são armazenados em um local com uma grande quantidade de informação, em um ambiente dinâmico que permita ao usuário acessar aquelas informações, filtra-las e compara-las com demais índices para que se possa ter uma tomada de decisão ou a efeito de comparação se as práticas adotadas tem sido ou não sustentáveis. Sem a mensuração não é possível identificar os desafios, onde melhorar ou o que mudar. Além disso, Lanker e Nijkamp (2000) acrescentam que, apenas usar um indicador como premissa não significa nada sobre ser mais ou menos sustentável, e que se deve ser medido como referência pelo menos dois parâmetros.

Os indicadores de sustentabilidade servem para diversos setores que possam ser mensurados e aplicados como comparativos, desde indústria, agricultura, sociedade, logística e planejamento. A função dos indicadores segundo Reis (2017) é fornecer insumos que facilitam as tomadas de decisões para se estabelecer metas e para



desenvolver padrões de referências para avaliação e monitoramento de desempenho de diferentes processos e regiões geográficas. Segundo Azambuja (2013) os indicadores mais consideráveis e que abrangem a maior parte dos outros indicadores indiretamente são os sociais, econômicos e ambientais. A grande parte dos outros indicadores são consideradas simples, pois levam em consideração apenas um destes mencionados.

O *Green Growth Knowledge Platform*, é um exemplo de plataforma que mede o um índice de sustentabilidade feito de forma online. É uma plataforma criada para anexar bancos de dados e exemplos de experiência de crescimento sustentável. Ademais, empresas multinacionais se veem na necessidade de aderirem as práticas sustentáveis, uma vez que a grande maioria causa um impacto ambiental considerável, tendo que apresentar planos de ação para conter e decrescer esse impacto. Outra situação é causada pelos acionistas das empresas, que se sentem mais confiáveis em investir em uma empresa “verde” (BOER, 2015).

#### **2.1.1.1 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS)**

Em 2015 a ONU propôs para os seus países membros algumas métricas sustentáveis que pelos próximos 15 anos direcionaria todos os envolvidos na busca por igualdade social, saúde, educação, ações contra o aquecimento global e igualdade de gênero, essa que foi nomeada como Agenda 2030, é composta por 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) (Nações Unidas Brasil, 2015), apresentadas na Figura 1.

Dentro deste contexto a indústria da construção civil, visto todo o impacto socioeconômico que está envolvida, algumas métricas foram direcionadas especificamente a serem cumpridas. Dentre as ODS, as que estão ligadas diretamente à área da construção são: Água limpa e saneamento (número 06), Energia limpa e acessível (número 07), Indústria, inovação e infraestrutura (número 09), Cidades e comunidades sustentáveis (número 11) e Combate às alterações climáticas (número 13).



**Figura 1 - Identificação dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável. Fonte: Nações Unidas Brasil, 2015.**

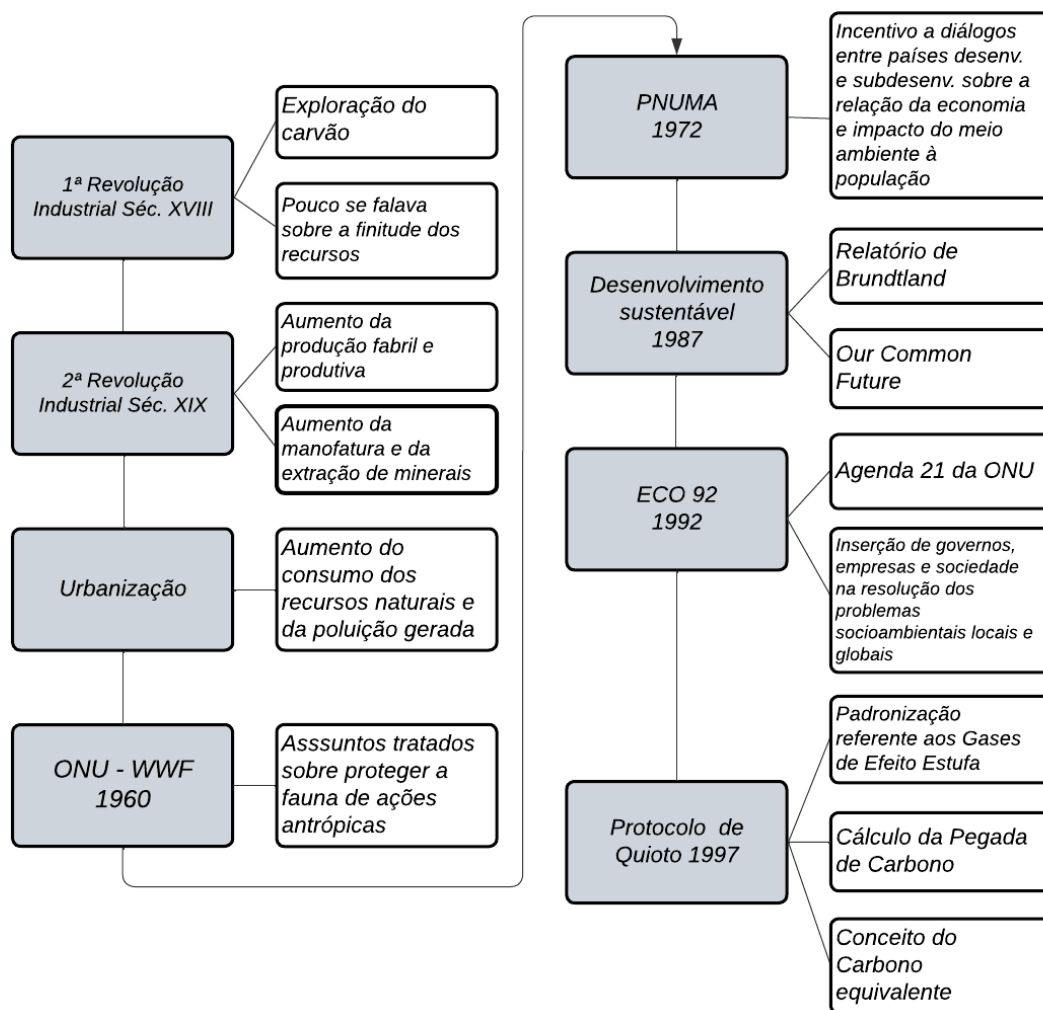
O objetivo com essas metas, é a conscientização das práticas necessárias para que o ramo da construção civil se torne sustentável definitivamente. O método construtivo, bem como os materiais utilizados em todas as etapas e logística da obra devem se tornar sustentáveis de forma padronizada a partir deste ponto. De acordo com Neij (2012) é importante que as comunidades definam e apliquem a sustentabilidade pelas suas próprias perspectivas locais, tornando essa prática natural aos métodos empregados.

#### **2.1.1.2 Environmental, Social and Governance (ESG)**

Os assuntos envolvendo a definição e conceito de sustentabilidade vem sendo difundido ao longo dos anos. No meio empresarial não foi diferente, onde esse assunto não é nenhuma novidade. Desde meados do século XX quando o ser humano passou a entender e se preocupar com as mudanças climáticas e ambientais e as consequências causadas por ele ao meio ambiente este assunto veio à tona entre as

frente governamentais, estudiosos e empresas. Porém, a dificuldade das centralizações de ideias e interesses entre essas partes fez com que a união desses conceitos fosse postergada (GIL, 2021).

Segundo Gil (2021) apenas após grandes marcos na história, sejam eles com revoluções, descobertas ou reuniões para elaboração de tratados, foi possível alcançar um amadurecimento suficiente para que se fosse pautado o assunto de sustentabilidade como nos dias de hoje, como mostra a Figura 2:



**Figura 2 - Marcos na história que amadureceram as pautas de sustentabilidade até a atualidade. Fonte: GIL, 2021. Adaptado pelo autor.**

Conforme o *The Global Impact* (2005) somente depois desses eventos, que em uma conferência realizada pela ONU em 2005 nomeada como *Who Cares Wins* (Quem se Importa Vence, tradução nossa) acadêmicos, diplomatas, representantes governamentais e empresariais conseguiram se unir com a mesma visão de responsabilidade socioambiental, as quais os investimentos financeiros anteriormente não viáveis anteriormente, passam a ser vantajosos financeiramente com o amadurecimento das tecnologias renováveis. Seguindo na mesma linha, os assuntos governamentais passaram a ter destaque tanto quanto os impactos ambientais causados, andando assim esses três pilares atrelados. Desta, surgiu-se o termo *Environmental, Social and Governance* (ESG) (Ambiental, Social e Governamental, tradução nossa).

De acordo com Nascimento (2012) essas definições são resumidas à:

- **Ambiental** – Consumo compatível com a base material em que se assenta a economia, como subsistema do meio natural.
- **Social** – Erradicar a pobreza e definir o padrão de desigualdade aceitável, ter justiça social.
- **Governamental** – Favorecer o diálogo entre organizações governamentais, multilaterais e a sociedade civil e empresariado.

Mesmo após a definição do termo ESG, nem todas as frentes representantes não tornaram as ideias discutidas em ações, e a expressão foi sendo esquecida. “A da crise econômica de 2008 no âmbito corporativo, foi demonstrado a importância da condução ética e responsável dos líderes das maiores empresas de investimento do mundo” (GIL, 2021). Após essa crise, o assunto voltou a ser pautado e aplicado por empresas e governos. Na Conferência das Nações Unidas sobre as Mudanças Climáticas (COP 21) o ESG ganhou destaque mais uma vez, onde foi feito o Acordo de Paris. Neste acordo, as frentes governamentais e empresariais traçaram uma meta de limitação do aumento médio da temperatura global em 2°C, comparando com os níveis pré-industriais. Reerguidos totalmente após a crise de 2008, com tecnologias sustentáveis mais desenvolvidas, a maior conscientização sobre os impactos

ambientais causados por cada setor e a carecimento pela redução de gases do efeito estufa, o compromisso foi firmado entre os países (CABRAL, 2019).

A construção civil desempenha um papel muito importante para a consolidação do ESG, abrangendo um panorama sustentável, governamental e de inclusão e conscientização social. De acordo com o Estadão (2019) a indústria a construção civil é responsável por 7,3% de todo o mercado de trabalho brasileiro, sendo desses, 40% exercem cargos informais (CBIC, 2017). Relacionando com o ESG, a importância social causada pela construção civil é consideravelmente expressiva, sendo responsável por gerar emprego e manter o capital de giro dentro do ambiente inserido (DEAN, *et al.*, 2016). Esse retorno à população é ainda mais evidente em obras do setor público, o qual a via de mão dupla possui em uma mão a inserção de mão de obra para trabalho e em outra a devolução de alguma construção que beneficiará a comunidade (SILVA, 2022).

Na esfera governamental, a importância de se ter um governo empenhado nas questões ambientais é fundamental para que as pessoas vejam na liderança um exemplo a se seguir. A liderança serve como um guia, que segundo Neij (2012) as ações dos governantes são necessárias para mudar o pensamento e a visão dos liderados. Desta forma, é imprescindível que haja a articulação entre as áreas empresariais e governamentais para o uso de fontes renováveis, materiais sustentáveis e os benefícios causados por essa mudança comportamental no estilo de vida. É função da liderança local por divulgar e incentivar essas mudanças de comportamentos sociais (CALMON, 2020).

No cunho ambiental, a indústria da construção civil foca em obtenção de bons resultados financeiros, executado de acordo com o projeto e buscando atender as expectativas do cliente. Entretanto, a construção civil de acordo com o Portal MEC (2000) consome muitos produtos que agredem diretamente à natureza, seja no processo de construção ou de reforma. De acordo com Dean *et al.* (2016) em 2014 a construção civil era responsável por 11% das emissões de CO<sub>2</sub> de todo o planeta derivada do alto consumo energética e térmica incluindo todo o processo de extração, montagem dos materiais, transporte e execução, sendo a segunda indústria mais

poluente do mundo. Se acrescentássemos os valores de uso e manutenção das edificações, esse número subiria para 38%, sendo a maior indústria poluente do mundo.

A questão é que o modelo convencional de construção, principalmente no Brasil, em concreto armado e alvenaria, possui impactos ambientais em todo o seu processo, em consumo de água, energia, emissão de gases de efeito estufa, geração e disposição de resíduos (SANTOS, 2012 apud PEDROSO, *et al.*, 2014). Outrossim, Pedroso *et al.* (2014) sugere que métodos de construção já aplicados em outros países como Estados Unidos, Japão e na Europa, fossem também aplicados ao Brasil. O *Steel Frame* (Estrutura de Aço) e *Wood Frame* (Estrutura de Madeira) já são utilizados nessas regiões mesmo antes dos conceitos de ESG despontassem. Não é coincidência que nessas regiões, os índices de poluição e resíduos gerados pelas construções civis são menores (UNEP, 2020).

#### **2.1.1.3 Carbon Footprint – Pegada de Carbono**

Contemporaneamente, está notório a preocupação com assuntos climáticos e de impactos ambientais causados pelo homem. A realidade econômica e política está fortemente ligada a estes conceitos, de forma a tomarem medidas para se adaptar ao combate e minimização dos agentes que agridem o meio ambiente como um todo (ANDRADE, 2010). Entretanto como as empresas exploram muito os recursos naturais e são responsáveis por parte considerável das emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE), com o passar dos anos uma padronização de postura ética e responsável foi necessária para que se mantivesse o controle, sendo assim criado o termo Responsabilidade Socioambiental Empresarial (RSE) (BARBIERI; CAJAZEIRA, 2009).

De acordo com Chkanikova (2012) as emissões de GEE não estão relacionadas apenas nos processos diretos isolados de uma determinada empresa. Como as emissões de GEE são de forma global, também as empresas devem olhar por uma perspectiva maior que elas mesmas, sendo todo o sistema de cadeia e produção passível de tais causas. Estas, devem considerar que indiretamente os processos

*upstream* e *downstream* sejam sustentavelmente eficientes, pois são estes muitas vezes que os maiores causadores das emissões geradas pela empresa. Desta forma, o ciclo de vida dos produtos deve ser analisado desde sua origem até o final da sua vida útil.

Pela junção dessa necessidade de datar todo o processo/produto para controlar os níveis de emissão de GEE de forma a manterem as empresas no padrão sustentável, foi onde se originou a Pegada de Carbono. A Pegada de Carbono é um índice para medir a atividade humana sobre a natureza, de forma direta ou indireta a partir da quantidade de dióxido de carbono que emitem ou são acumuladas ao longo do ciclo de vida um produto ou processo (REES; WACKERNAGEL, 1996). Não existe definição padrão para este termo, mas todos convergem para a mesma ideia de um indicador para medir o impacto humano na natureza através do impacto em dióxido de carbono.

Toda ação leva a uma reação (NEWTON, 1687) e na natureza não é diferente. Toda ação humana tem uma resposta do meio ambiente. Através da Pegada de Carbono é possível analisarmos os impactos de cada setor individualmente a partir de cada processo ou produto e as consequências que o mesmo tem causado na atmosfera terrestre e que geram as mudanças climáticas, mesmo sendo difícil estimar os danos causados ao meio ambiente pelos seres humanos (GOLDEMBERG; LUCON, 2008).

Os valores utilizados para o cálculo da Pegada de Carbono consideram as emissões totais de GEE, incluindo dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e metano (CH<sub>4</sub>) associadas as atividades humanas, sendo estas atividades humanas relacionadas não apenas ao setor empresarial, mas também os cidadãos individualmente são capazes de medir a Pegada de Carbono gerada por ele mesmo (AMORIM, 2013). A ONG *The Nature Conservancy* (2020) estima que haja uma média gerada de quase quatro toneladas anuais de CO<sub>2</sub>, levando em considerações os parâmetros de transporte, alimentação, compras, trabalho e bem estar pessoal.

De acordo com o estudo feito pela *Integrated Environmental Assessment* (IEA, UNEP, 2019) a construção civil foi responsável por quase 40% das emissões de

carbono provindos do consumo de energia, extrai 30% dos materiais do meio natural, gera 25% dos resíduos sólidos, consome 25% da água e ocupa 12% das terras. Há uma necessidade de urgência de redução das emissões de GEE de forma a amenizar o impacto ambiental gerado pela construção civil. Não apenas nas emissões de gases, mas a indústria civil tem um potencial significativo de melhoria em todos os seus processos (SPINGNARDI, 2016).

Com a “era da tecnologia” é indispensável que a indústria da construção civil se adapte de forma a se manter eficiente e sustentável. Dentro de toda a história, desde os primórdios, as construções sempre se adaptaram aos ambientes e necessidades de cada era (FERNANDES; FERREIRA; BERTINI, 2017). Como medidas cabíveis de serem incorporadas, a construção de novas edificações de maneira sustentável ao invés de reformar e readaptar edificações convencionais já existentes, de acordo com Goldemberg e Lucon (2008) custa apenas um pouco a mais monetariamente, e que o resultado é sustentavelmente maior.

A constante busca por inovação acoplados a construção, sem que haja preconceito com novas técnicas e materiais, fará com que as construções sejam “verdes”. O uso de matérias renováveis em todas as etapas do processo construtivo, o aproveitamento eficiente das fontes energéticas como sol, ventos e a correta utilização da água de chuva para usos domésticos tornará o ramo da construção civil ainda mais respeitado, uma vez que continuará realizando as necessidades da sociedade, mas de forma que contribuirá para a redução do impacto ambiental causado por emissão de GEE, desperdício de água e energia e disposição de resíduos sólidos (MCCORMICK, 2015).

#### **2.1.1.4 Outras métricas de sustentabilidade aplicados na construção civil**

Derivado das mudanças e impactos gerados nas últimas décadas devido ao grande resultado negativo causado ao meio ambiente pelas indústrias, as mesmas se sentem pressionadas a examinar seus processos e refletir sobre o efeito causado. Dessa forma, as empresas são movidas pela ascendente necessidade de catalogar os dados para estudos e ações de suas decisões socioambientais (BARBIERI, 2007).



As organizações estão deixando cada vez mais de serem apenas instituições com caráter majoritariamente econômico de produção e lucro e passaram a se preocupar com a responsabilidade socioambiental. Este tema está cada vez mais presente nas gestões das empresas, pois vem se mostrando um modelo *win-win*. Em uma mão, as questões de caráter político, social e ambiental dentro da estratégia competitiva da empresa, visa atender as expectativas da sociedade (SILVA FILHO, *et al.*, 2007). Idem, incorporando esses critérios é um fator facilitados para o comércio internacional e expansão de mercado (AVILA; PAIVA, 2006).

Gil (2021) menciona que a construção civil é um fator impactante negativamente no quesito sustentável. A construção de edifícios de forma energeticamente ineficiente, o uso de materiais que geram alto teor de dióxido de carbono, a exploração de recurso não renováveis e a alta quantidade de resíduos gerado, mostram o quão baixa é a eficiência sustentável neste ramo. Com finalidade de fomentar a construção de edifícios mais sustentáveis e eficientes, Lamberts *et al.* (2008) expões que em alguns países desenvolvidos, o próprio poder público incentiva as organizações a desenvolverem projetos certificados por órgãos ambientais especializados, de forma a manterem uma conduta sustentável. Seguidamente serão apresentados outros índices de sustentabilidades relacionados à construção civil.

#### **2.1.1.4.1 OECD – *Organization for Economic Co-operation and Development***

A OECD (Organização de Cooperação e Desenvolvimento Econômico, no português) é uma organização representada pela formação de parceiros estratégicos para determinados objetivos, entre eles o desenvolvimento econômico e o aumento da expectativa de vida dos países parceiros, conhecidos como países-membros e dos não parceiros (SOUSA, 2020).

A instituição foi fundada no ano de 1961 e teve sua ascensão as políticas de indicadores ambientais no ano de 1989. A OECD entende que sistema jurídico dos países é aprimorado a partir de uma nova ótica abrangendo novas políticas e práticas, que segundo Santos (1997) “a ideia de que uma ‘boa’ governança é um requisito

fundamental para um desenvolvimento sustentado, que incorpora ao crescimento econômico, equidade social e também direitos humanos”.

Analogamente, Teles (2002) menciona o que tanto os indicadores sustentáveis de caráter ambiental, social e político estão coligados na área da construção civil. Ademais, os indicadores sustentáveis da OECD que podem ser separados em grupos com seus seguintes tópicos abrangentes

- **Indicadores de produtividade ambiental e dos recursos:** produtividade de carbono, energia e de recursos materiais
- **Indicadores da base de ativos naturais:** reservas renováveis, reservas não renováveis, biodiversidade e ecossistemas
- **Indicadores das oportunidades econômicas e de resposta política:** saúde ambiental, serviços e comodidades ambientais, bens financeiros, fluxos financeiros internacionais, tecnologia e inovação, competências e formação, regulamentação e gestão;

De acordo com Castro (2001) o crescimento econômico sustentável na construção civil está ligado diretamente as implantações das infraestruturas que priorizem os indicadores, sendo os de produtividade ambiental e recursos e também os de base de ativos naturais ligados integralmente nos processos construtivos.

#### **2.1.1.4.2 AQUA-HQE – Alta Qualidade Ambiental**

A Derivado da metodologia francesa *Haute Qualité Environmentale* (HQE), a AQUA-HQE é uma certificação elaborada e aplicada exclusivamente pela Fundação Vanzolini as realidades de normas e práticas brasileiras. Lançado como Processo AQUA no ano de 2008, tornou-se AQUA-HQE após um acordo de cooperação entre a empresa brasileira e o órgão *Cerway* que é o órgão certificador encarregado da HQE (Fundação Vanzolini, 2015). Segundo a HQE (2016) esse modelo específico de certificação se tornou referência, de maneira que foi reproduzido sequentemente em outros países europeus.

No Brasil a certificação AQUA-HQE é única, de forma que as empresas que desejarem obtê-la devem seguir uma sequência de critérios específicos e manter a performance de qualidade durante todas as etapas (GIL, 2021). Segundo a Fundação Vanzolini (2015) são avaliadas 14 categorias no processo, estas descritas a seguir:

### **Eco-Construção**

- Edifícios e seu entorno;
- Produtos, sistemas e processos construtivos;
- Canteiro de Obras;

### **Eco- Gestão**

- Energia;
- Água;
- Resíduos;
- Manutenção;

### **Conforto**

- Conforto hidrotérmico;
- Conforto acústico
- Conforto visual;
- Conforto olfativo;

### **Saúde**

- Qualidade dos ambientes;
- Qualidade do ar;
- Qualidade da água.

Cada nível é classificado como “Base” (B), “Boas Práticas” (BP) e “Melhores Práticas” (MP) conforme definido pelo empreendedor. Para a obtenção do certificado, é necessário no mínimo um desempenho com 3 categorias no estágio MP, 4 categorias no estágio BP e 7 categorias no estágio B (Fundação Vanzolini, 2015).

As vantagens dessa métrica aplicada na construção civil é grandemente ligada a questão ambiental, com algumas categorias podendo atingir a esfera social. A redução do consumo de água, uso eficiente de energia, manutenção e redução de resíduos como a qualidade do ar manterão o patrimônio pela maior vida útil possível, consequência da contribuição para uma construção sustentável (CUEVAS, 2017).

#### **2.1.1.4.3 LEED – *Leadership in Energy and Environmental Design***

O LEED é um Sistema internacional de certificação e orientação ambiental para edificações com base nos EUA onde teve início em 2000 e é promovida no Brasil pela *Green Building Council* (GBC Brasil). Essa certificação tem como objetivo incentivar a atuações de construções sustentáveis medido a partir de uma métrica de pontuação. A *gameficação* com níveis é vista com bons olhos às companhias, podendo assim escalonar o investimento, esforço e objetivos alcançados de forma qualitativa e quantitativa (COSTA; MORAES, 2013).

As métricas de análise estão relacionadas a implantação da obra, uso racional da água, eficiência energética, materiais e recursos utilizados e a qualidade ambiental interna da edificação (LAMBERTS, *et al.*, 2007, apud GIL, 2021). Sobre as classificações de acordo com as pontuações, a GBR Brasil (2014) os define como:

- LEED Bronze: Empreendimentos que atingirem entre 40 e 49 pontos;
- LEED Prata: Empreendimentos que atingirem entre 50 e 59 pontos;
- LEED Ouro: Empreendimentos que atingirem entre 60 e 79 pontos;
- LEED Platina: Empreendimentos que atingirem 80 pontos ou mais.

Segundo Costa e Moraes (2013) para as construções civis o LEED está atrelado totalmente ao encorajamento de estratégias que minimizem o impacto causado pela implantação de um edifício, mantendo assim o conceito sustentável na prática.

### **2.1.2 Lean Construction**

Movidos pela busca de um modelo mais eficiente de produção em um cenário pós Segunda Guerra Mundial, surge no Japão em meados dos anos 50 o termo *Lean Production* (produção enxuta) com sua origem na empresa Toyota (MONDEN, 1998). Little (1983) definiu o termo produtividade como “a capacidade de produzir”, sendo utilizado de maneira sábia por Eiji Toyoda e Taiichi Ohno, criadores do *Toyota Production System* (TPS, Sistema de Produção Toyota, tradução nossa).

O conceito de produção em massa foi criado por Henry Ford no começo do século XX revolucionou a indústria da época, o qual segundo Ford, quanto mais se produz em escala, mais baixo será o custo (BATALHA, *et al.*, 2008). Posteriormente aperfeiçoando o modelo criado por Ford, o TPS impôs que a produção em excesso, faz com que os gastos da empresa sejam ainda maiores (VIDAL, *et al.*, 2002).

Sendo necessário um novo modelo de produção que evitasse desperdícios relacionados tanto aos materiais quanto a mão de obra e vislumbresse a melhoria contínua da organização, surge o *Lean Production*, um conceito de produção em série seguindo o modelo Toyota de produção (MAIA; ALVES; LEÃO, 2012). Arantes (2008) descreve a produção em série como “a responsável pelo grande aumento da produtividade e posteriormente da qualidade com a obtenção de produtos mais uniformes, devido à padronização e aplicação de técnicas de controle da qualidade”. Os assuntos referentes à melhoria contínua foram se tornando populares com a publicação do livro “*Kaizen: the key to Japan’s Competitive Success*” (Imai, 1986, em Berger, 1997) ao qual o autor menciona o modelo usado pela montadora Toyota para se diferenciar na crise mundial do petróleo no ano de 1973.

Outrossim, Caffyn (1999) menciona que a melhoria contínua foi fruto da padronização, levou ao decréscimo de desperdício em todas as etapas do processo. O processo de qualidade atrelado as estratégias pontuais e inovadoras, alavancaram o *Lean Production*. Uma vez onde o consumidor tinha papel fundamental na evolução das técnicas de produção, a indústria buscava atender as necessidades e exigências dos mesmos, de forma com que as especificações colhidas fossem fabricadas seguindo o padrão, tornando-os parte do sistema de produção.

Sentindo a necessidade de adaptação com métodos inovadores que possibilitassem uma melhor gestão, alta produtividade e retorno financeiro na área da construção civil, surge o método *Lean Construction* (construção enxuta), que foi uma adaptação do modelo japonês de produção para os processos de construção (BERTELSEN, 2004). O termo foi inserido a primeira vez por Lauri Koskela (1992) visando dar uma nova percepção à construção civil sobre métodos que fundamentados no TPS poderiam ser aplicados no ramo.

À vista disso, Koskela (1992) define o *Lean Construction* como “vantagem de uma nova filosofia de produção em termos de produtividade, qualidade, e indicadores que foram sólidos o suficiente na prática de modo a aumentar a rápida difusão de novos princípios” (tradução nossa). Já em um pensamento mais contemporâneo, o conceito é que o *Lean Construction* é sobre gerenciamento e melhorias do processo de construção para fazer uma entrega que supere as expectativas do cliente eliminando os desperdícios em todos os processos e usando os recursos necessários para evitar o retrabalho (YAHYA; MOHAMAD, 2011).

Conforme retrata Viana, Formoso e Kalsaas (2012), devido à falta de qualidade decorrente de obras na década de 1980, somados a quantidade exorbitante de desperdício de material, baixa produtividade e uso indevido dos recursos naturais, a construção civil foi alvo de muitas críticas. Posto isso, houve uma necessidade de mudança de mentalidade e práticas que fossem capazes de fazer com que as construções civis ampliassem sua produtividade em todas as etapas do processo de construção (KOSKELA, 1992).

Segundo Soares, Bernardes e Formoso (2002) é necessário ter conhecimento de aplicação dessa ferramenta e do seu efeito para o contexto, pois deve-se adaptar a cada modelo de obra para a utilização de uma determinada técnica. Ademais, a adaptação desse conceito não será benéfica apenas para os clientes, mas também para a comunidade ao redor, meio ambiente e a própria empresa, pois a implementação desse método implica na eliminação significativa de custo-consumo e desperdícios (MARHANI; JAAPAR; BARI, 2012).

O *Lean Construction* exige que simultaneamente processos e o produto sejam desenvolvidos, porque diferente dos meios convencionais, os métodos de entregas são claros, focando na alta performance dos ciclos. Uma vez que os desperdícios são removidos do sistema de produção, a criação de valor ao trabalho é maior (HOWELL, 1999). Dessa forma Koskela (1992) propõe 11 princípios do *Lean Construction*, como evidenciado na Tabela 2, baseado nas aplicabilidades com foco de eliminação de desperdício e no fluxo dos processos da construção civil que ainda são seguidos nos dias de hoje.

1	Reduzir a parcela de atividades que não agregam valor
2	Aumentar o valor do produto através da consideração nas necessidades do cliente
3	Reduzir a variabilidade
4	Reduzir o tempo do ciclo de produção
5	Simplificar através da redução do número de passos ou partes
6	Aumentar a flexibilidade na execução do produto
7	Aumentar a transparência no processo
8	Focar o controle no processo global
9	Introduzir melhoria contínua ao processo
10	Manter um equilíbrio entre melhorias nos fluxos e nas conversões
11	Referências de ponta (benchmarking)

**Tabela 2 - Os 11 princípios do *Lean Construction*. Fonte: KOSKELA, 1992. Adaptado pelo autor.**

### **2.1.3 Recursos Naturais**

Desde o nascimento das primeiras civilizações, o homem tem a busca incessante por um local onde sua sobrevivência não esteja em risco e possa sanar suas necessidades, sendo assim, as instalações ao redor de ambientes com grande potencial de recursos naturais se tornaram comum desde então (PERES, 2011). Os recursos naturais segundo Sánchez (2008), são extraídos pelos seres humanos pois são considerados indeclinável para sua existência, bem como para seu

desenvolvimento socioeconômico. Desta forma, os recursos naturais não dizem respeito apenas a natureza em si, mas cumpre o dever de nutrir a raça humana.

Nos últimos séculos devido o avanço da tecnologia e o êxodo rural para os grandes centros populacionais, a sociedade foi deteriorando os recursos naturais. Conforme o desenvolvimento da sociedade aumentava e de igual modo o consumo e exploração dos recursos naturais e não naturais, a degradação causada pelo homem foi tomando escalas acima do imaginável (OSCO, *et al.*, 2013).

Desde a Revolução Industrial com o surgimento das indústrias, consolidação das máquinas mecânicas e avanço na medicina, os houve um grande crescimento na população nos principais polos. A partir do começo desse crescimento significativo nas cidades industriais, foi originário para vários problemas ambientais como a degradação de terras para a obtenção de recursos, a má utilização da água e poluição desta e desmatamento. Nesta mesma época foi introduzido o uso dos combustíveis fósseis que aos poucos foram poluindo o ar. Com todas estas questões envolvidas, os problemas sociais foram começando a tomarem proporções consideráveis pela busca de mais recursos naturais e não naturais e pela má utilização desenfreada do que já estava disponível (PONTING, 1993).

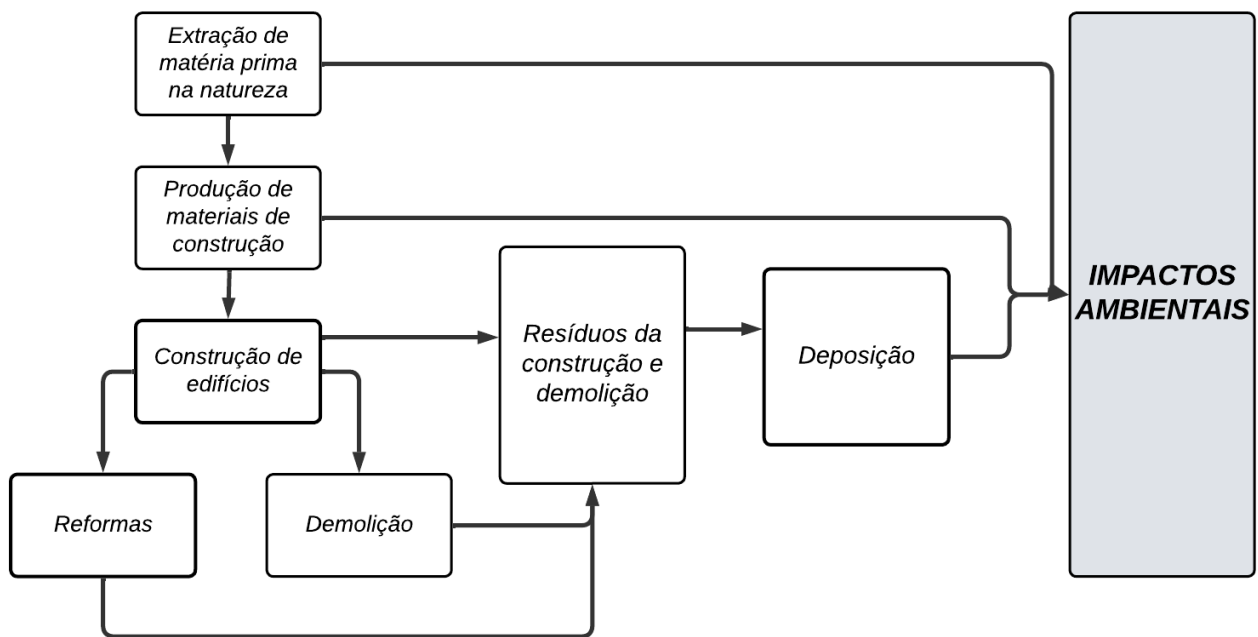
A construção civil também presente desde os primórdios das civilizações, além de trazer conforto e segurança para a sociedade, teve um papel de grande impacto no crescimento econômico e social da humanização (MONTEIRO FILHA; COSTA; ROCHA, 2011). Segundo Spadotto *et al.* (2011) a construção civil é uma das áreas que mais atinge a sociedade, pois pode alterar proporções descomunais a perspectiva de um determinado local.

Conforma Roth e Garcias (2009) da mesma maneira que a construção civil se evidencia por qualidades, também há defeitos pontuais. A má utilização dos recursos, o processo produtivo das dos materiais das construções convencionais, o desperdício de material, a quantidade de dióxido de carbono e resíduos sólidos gerada é alarmante. Ademais, os autores ainda destacam que os impactos causados pela construção civil no Brasil são ainda mais graves, pois os métodos construtivos são de



pouca eficiência sustentável, causando assim prejuízos em todas as etapas do processo.

O impacto da extração da matéria prima para as necessidades da indústria civil é extremamente maléfico às questões ambientais. Segundo Torgal e Jalali (2010), durante a fase de produção de alguns materiais de construção, é gerado resíduos perigosos que podem prejudicar o ambiente à derredor, bem como a emissão de gases poluentes. A cadeia que mostra a relação entre a extração da matéria prima na natureza até o impacto ambiental causada pela mesma, é apresentada na Figura 3.



**Figura 3 - Impactos ambientais da cadeia construtiva das edificações. Fonte: KARPINSK, 2009. Adaptado pelo autor.**

O âmbito da construção civil não está ligado apenas a um setor como edifícios, pontes ou projetos, mas engloba toda uma estrutura socioeconômica da região em que está inserido. Os impactos ambientais não atingem apenas o meio ambiente, mas a sociedade, por isso é necessário compreender a necessidade de uma gestão ambiental para controle desses impactos causados, tendo assim uma responsabilidade socioeconômica e ambiental (SPADOTTO, *et al.*, 2011).

Para evadir tais problemas, a construção civil precisa se reinventar, adotando novas matérias primas renováveis como solução alternativa, utilizando energia e tecnologia limpas, otimizando seus processos construtivos para um modelo que evite o desperdício em excesso e diminua a quantidade de resíduos gerados (ROTH; GARCIAS, 2009).

## **2.2 Madeiras na construção civil**

Na busca por soluções que substituíssem os métodos de construção convencional com concreto armado e alvenaria de forma a ter um decréscimo no impacto ambiental causado pela construção civil, o uso da madeira foi visto como uma alternativa sustentável (ZENID, 2011). Nas circunstâncias em que cada vez mais é fomentado o conceito de sustentabilidade, Silva (2010) enfatiza promover uma gestão equilibrada dos recursos naturais com a baixa pegada de carbono, a madeira se destaca como recurso renovável como agente estrutural e neutralizador de efeitos de GEE.

Segundo Browning (1963) a madeira é “um material heterogêneo natural que possui diferentes tipos de células, adaptadas a desempenhar funções específicas”. Contudo, apesar do grande potencial do Brasil nesse segmento, sendo este o maior produtor mundial de madeira de florestas plantadas do mundo (Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas, ABRAF, 2010), esse material ainda é muito pouco explorado no país como em outras regiões do mundo, seja na área da construção ou de pesquisas (FIGUEROA, 2012).

Para melhor entendimento, no decorrer deste capítulo serão apresentadas as propriedades relevantes das madeiras que estão relacionadas com suas devidas aplicações no setor da construção civil.

### **2.2.1 Classificação das árvores**

As árvores são plantas superiores de alta complexidade anatômica e fisiológica. A botânica as classifica como Fanerógamas, sendo estas subdivididas em dois tipos,

as Gimnospermas e Angiospermas (VALLE, *et al.*, 2012). Segundo Figueroa (2012) as madeiras ainda podem ser classificadas como Resinosas, fazendo referência à classe das Gimnospermas, e as Folhosas a modelo das Angiospermas.

### 2.2.1.1 Gimnospermas

Originada dos termos *gymno*, “descoberto”, e *sperma* “semente”, essa classe de árvores não apresentam frutos (VALLE, *et al.*, 2012). De acordo com Hellmeister *et al.* (1983), o principal destaque do grupo das Gimnospermas são as Coníferas, que são internacionalmente conhecidas como *soft woods* (madeiras moles). Ademais, segundo o autor, apesar de serem árvores típicas de climas temperados frios, existem espécies de climas tropicais.

Consoante à Harlow *et al.* (1958), há mais de quinhentas espécies de coníferas já catalogadas e classificadas. Oriundo das grandes florestas plantadas, especialmente no hemisfério norte, as coníferas são responsáveis por fornecer as madeiras que são destinadas à construção civil. No hemisfério sul, destacam-se principalmente o pinus e a araucária, sendo a Gimnosperma singular do território brasileiro conhecida como Pinheiro do Paraná (*Araucária Angustifolia*), como representada pela Figura 4 (CALIL JUNIOR; *et al.*, 1998).



**Figura 4 - Pinheiro-do-Paraná localizada na cidade de Curitiba - PR, Brasil. Fonte: Arnaldo Junior, 2015.**

### 2.2.1.2 Angiospermas

Segundo Valle *et al.* (2012) a origem do nome Angiosperma é do grego *aggeoin* “bolsa” e *sperm* “semente”, são plantas que possuem sementes protegidas por frutos, que nutrem e enriquecem o solo. Há ainda a presença de flores. Nesta classe, as árvores possuem folhas com diferentes formatos e são majoritariamente espécies de clima tropical.

Segundo o Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT), essa classe de árvores ainda é subdividida em dois grupos, as Monocotiledôneas e Dicotiledôneas. Sendo a primeira consideradas madeiras não duráveis, são destinadas apenas para fins temporários na construção civil, principalmente como escoramento, como apresentado na Figura 5. Já as Dicotiledôneas, indicadas na Figura 6, são internacionalmente conhecidas como *hard woods* (madeiras duras), e são as principais empregadas no uso da construção civil no Brasil (FIGUEROA, 2012).



Figura 5 – Monocotiledôneas representada pela Palmeira Imperial. Fonte: MELO, 2021.

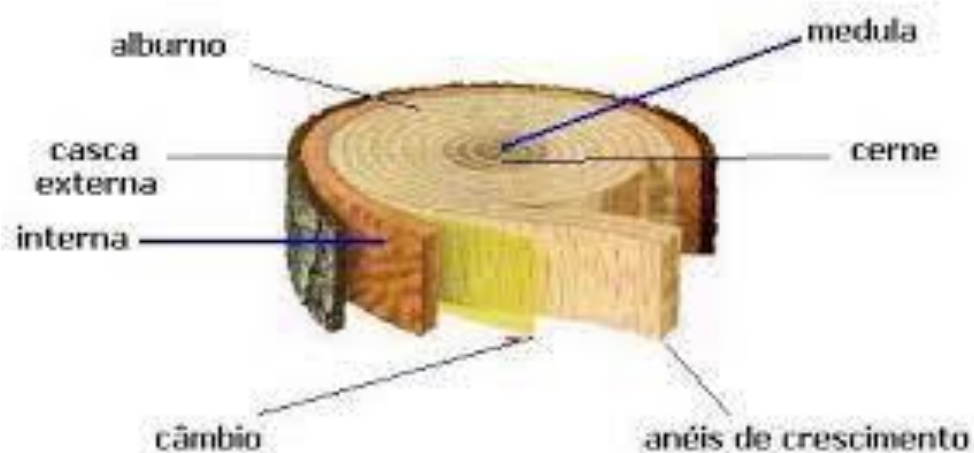


**Figura 6 – Dicotiledôneas representada pelo Argelim vermelho. Fonte: Equipe da expedição do projeto Árvores Gigantes, 2021.**

### **2.2.2 Fisiologia das árvores**

A fisiologia está ligada ao estudo biológico das funções orgânicas, processos ou atividades essenciais para o ciclo de vida das árvores (ALMEIDA, *et al.*, 2022).

A principal direção de crescimento das árvores é tida verticalmente, sendo secundariamente o crescimento do diâmetro do tronco. Ambos os crescimentos são contínuos e frutos da variação em função das condições climáticas e espécie da madeira, o qual formam camadas sucessivas sobrepondo as camadas já existentes (PEREIRA; MONTEIRO; ABREU, 2012). Num corte transversal, como mostrado na Figura 7, é possível perceber essas camadas como sendo anéis de crescimento, onde podemos identificar também as outras partes que compõe a seção transversal de um tronco de árvore.



**Figura 7 - Seção transversal de um tronco de árvore e suas respectivas indicações de cada parte da estrutura. Fonte: Peralta, 2015.**

Na figura podemos identificar dividida em duas partes, a casca, que é responsável pela proteção contra agentes externos. A camada interna da casca é formada por tecidos vivos moles e úmidos, já a camada externa composta de células mortas (JANKOWSKY; LEPAGE. 1986). Seguindo a mesma linha de raciocínio, os próprios Jankowsky e Lepage (1986), afirmam que as camadas mais internas são representadas pelo lenho. O mesmo é separado entre a cerne, que é a modificação gerada por substâncias presentes no lenho e que não foram utilizadas como alimento, nesta parte está a madeira mais densa e resistente. Já o alburno é a madeira mais jovem e permeável, mais passível de ser atacado por fungos e insetos, tendo menor resistência mecânica. O que separa a casca do lenho, é uma camada delgada e fluida chamada de câmbio. No núcleo do tronco está a medula, resultado do crescimento vertical da árvore e onde há a menor resistência mecânica presente no corpo da madeira.

### 2.2.3 Teor de umidade

A determinação do teor de umidade e da sua variação causado alteração do volume nas árvores ou peças de madeira é fundamental para a seu desempenho e utilização. Mesmo sendo uma característica inerente da madeira, este fator está diretamente ligado com a mecânica apresentada pelo material (FIGUEROA, 2012). Nas madeiras em árvores, o teor de umidade segundo Simpson e Tenwolde (1999) varia entre 31% e 249% e no cerne de 40% a 213%, responsável por uma diferença significativa em suas propriedades.

A água é vital no processo de crescimento das árvores aos quais são retiradas as madeiras. A trabalhabilidade do material, bem como a estabilidade dimensional das peças de madeira e sua resistência são afetadas de acordo com o teor de umidade presente, sendo quanto maior a presença de água em uma determinada peça, a chance de haver a queda na resistência será ascendente (LOGSDON; CALIL JUNIOR, 2002).

Conforme Galvão e Jankowsky (1985), com a ascensão da utilização da madeira no meio interligado à construção civil, o estudo das propriedades física do material passou a ser um costume necessário para o melhor uso desse material. Desta forma, a Norma ABNT NBR 7190 (1997) apresenta um padrão detalhado para que se possa determinar o teor de umidade em amostras de madeira, como apresentado na Equação 1.

$$w = \frac{m1 - m2}{m2} \times 100 \quad (1)$$

Onde:

m1 = massa inicial da madeira úmida (g);

m2 = massa da madeira seca (g);

w = teor de umidade (%).



#### **2.2.4 Retratabilidade**

Como visto no tópico “2.2.3 Teor de umidade” a alteração dos níveis de água de uma peça ou estrutura de madeira pode alterar suas propriedades. A retratabilidade é então, de acordo com o IPT (1985) como sendo o fenômeno da variação dimensional da madeira quando há mudanças no seu teor de umidade. Calil Junior (1998) cita este evento como sendo a “diminuição das dimensões de uma peça de madeira pela saída da água de impregnação”.

As características de retração das madeiras são distintas entre as espécies florestais, variando pelo método de secagem utilizado e pelas próprias propriedades exclusivas de cada madeira, que pode gerar empenamentos e fendas nas peças de madeiras (OLIVEIRA; TOMAZELLO FILHO; FIEDLER, 2005).

Em vista da construção civil, o índice de retratabilidade é importante a partir dos valores das contrações das peças no sentido transversal indicarem o tipo de comportamento que as peças terão, sendo essas propensas a fendilharem, empenarem ou reduzirem de dimensão e conseqüentemente comprometendo a estrutura para qual se está planejando. Com o intuito de diminuir as retrações nas peças de madeira, o indicado é que elas sejam trabalhadas no estado seco e com o teor de umidade correspondente à determinada exigência de aplicação (REZENDE; SAGLIETTI; GUERRINI, 1995).

#### **2.2.5 Resistência ao fogo**

A madeira como elemento de construção é um dos mais antigos presentes na humanidade e é um dos que possui maior potencial de indústria nos dias de hoje, porém o uso da madeira como material estrutural é limitado pelo preconceito, ou má informação sobre a sua relação ao fogo (FIGUEROA; MORAES, 2009). De forma equivocada, a madeira é associada como um material de baixa resistência ao fogo, sendo que em contra ponto a estes argumentos, este material quando exposto as altas temperaturas e chamas, tem sua resistência ao fogo superior à de outros materiais estruturais mais comuns se serem utilizados (CALIL JUNIOR, *et al.*, 1998).



A combustão da madeira é gerada pela amplificação de vapores internos e convecção entre as partes internas e externas da peça (KOLLMANN.; COTE, 1968). De acordo com White (2002), a resistência ao fogo de uma peça ou estrutura de madeira é causado devido à sua camada protetora, o qual esta mesma camada sendo mais externa é carbonizada produzindo chamas, entretanto, devido à baixa capacidade de condutibilidade térmica o faz como isolante térmico e retém o calor e controlando a propagação do fogo.

Segundo Figueroa (2012) a temperatura no centro da madeira permanece baixo comparado a temperatura que foi carbonizada, assim como indicada na Figura 8, fazendo assim com que as propriedades físicas da madeira se mantenham mesmo depois da exposição as altas temperaturas.



**Figura 8 - Exemplo de uma seção de madeira após o processo de carbonização. Fonte: Blog Engenheiro Madeireiro, 2018.**

### **2.2.6 Densidade**

Segundo Valle (2012) a norma brasileira expõe duas definições diferentes de densidades a serem incorporados nas estruturas de madeira, que são a densidade básica e a densidade aparente.

A densidade aparente diz respeito à umidade e o volume no momento da determinação, possibilitando assim o controle da perda de água para o ambiente por

meio da massa volume no decorrer do tempo (BRUDER, 2012). Rezende e Pereira (1997) ressalta a importância de conhecer com propriedade as amostras aos quais se vai determinar a densidade, para que se possa comparar os resultados obtidos. De acordo com Costa (2006) a densidade aparente é padronizada como referência de quando a massa da amostra e seu volume são medidos na condição de 12% de umidade.

Segundo Bruder (2012) a relação entre a massa seca, em seu máximo estado de contração e o volume verde (ou saturado), quando a madeira se encontra no seu maior estado de expansão, é definida como sendo a densidade básica. Segundo o autor, essa nomenclatura também pode ser reconhecida como densidade aparente a 0%.

A densidade é tida como um índice importante para a construção no modo que no processo de transformação da matéria prima em produto, diferentes madeiras requerem diferentes quantidade de energia em seu processamento desde a primeira etapa de extração até o fim estipulado (BRUDER, 2012). Entretanto, Calil Junior (1998) alerta que a presença de nós, resinas e extratos na madeira, podem aumentar a densidade sem necessariamente aumentar a resistência.

### **2.2.7 Durabilidade natural**

A durabilidade tanto das estruturas quanto das peças de madeira quanto a sua biodeteriorização, depende muito dos fatores relacionados ao tipo de espécie a qual ela pertence. As espécies tem propriedades distintas umas das outras, sendo algumas mais passíveis aos ataques biológicos e outras com maior resistência natural (MELO, *et al.*, 2010). Ademais, de acordo com Oliveira e Tomasello (2005) Outro agente que deve ser levado em consideração é a região do tronco a qual foi extraído a madeira. Como apontado no tópico “2.2.2 Fisiologia das árvores” as áreas alborno e cerne possuem diferentes poder contra os ataques biológicos.

A aplicação correta dos métodos de execução que englobam o cenário das construções em madeira somados com técnicas inovadores de utilização e manutenção das mesmas, pode garantir à estrutura uma durabilidade de pelo menos

50 anos (CALIL JUNIOR, *et al.*, 1998). Segundo menciona o próprio autor, para as estruturas com menos capacidade durável, existem tratamentos de prevenção contra o desgaste para que essas estruturas sejam capazes de ter uma vida útil mais prolongada.

### **2.2.8 Reflorestamento**

Desde a Revolução Industrial, houve um aumento considerável na concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera terrestre. O volume de emissão de gases tem sido maior do que a quantidade em que a Terra pode absorver nos seus ciclos naturais segundo o IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*, 2001).

Apresentado como um grande trunfo sustentável, a madeira teve sua ascensão no mercado nas últimas décadas em vários setores da indústria. Devido a demanda por esse material renovável, começou-se o questionamento sobre a finitude do material e quais consequências poderiam ter a exploração em excesso (FIGUEROA, 2012).

Desta forma, o conceito de reflorestamento foi adotado. Segundo Scarpinella (2002) o reflorestamento é a conversão por ações diretamente ou indiretamente do homem que transformem áreas que não possuem florestas em áreas florestadas. Conforme ainda cita o autor, o reflorestamento pode ser através do plantio, semeadura e/ou indução de semeadura natural, sendo estas terras nunca sido florestadas ou se já foram exploradas pelos humanos.

Desde o Protocolo de Quioto (1997) e tantos outros tratados e acordos relacionados ao meio ambiente já mencionados anteriormente, o conceito de “empresas verdes” tem incentivado as empresas a se manterem sustentáveis. Segundo Godoy (2006) as concessões florestais para as grandes empresas, foram pontuais para a transformação de bens públicos em privados, tornando a organização responsável ambiental direto do impacto causado ao meio ambiente, sendo a mesma designada ao compromisso de reflorestamento de outra área e tendo um capital para custear atividades relacionadas a auditorias ambientais.

Da ótica de aplicação da madeira como sendo um componente estrutural, a competitividade é se dada contra o concreto e o aço. Sendo os materiais aço e concreto com baixo grau de eficiência sustentável, a madeira tem obtido destaque nas construções. Sua fonte abundante originadas das florestas tanto naturais quanto resultante de reflorestamento, faz com que esse material tenha grande potencial renovável (CALIL JUNIOR, *et al.*, 1998).

Visando a recuperação de áreas degradadas indevidamente, o método de reflorestamento é uma forma de balancear os danos causados ao local além do processo de reconstrução do paisagismo do local. De acordo com Oliveira e Dayrel (2021) a reutilização dessas áreas degradadas deve ser acompanhada por planos de ações que corroborem para a rápida e eficiente recuperação da capacidade produtiva da área em questão. Sendo assim, o uso da madeira como recurso natural é proveitoso para o homem, e deve de igual modo ser conveniente para o meio ambiente através do uso consciente do recurso e da prática de reflorestamento.

### **2.2.9 Defeitos da madeira**

Dentro de uma mesma árvore as propriedades físicas e mecânicas das madeiras podem variar, bem entre árvores da mesma espécie (MALAN, 1995). Por ser um material de ordem biológica, Valle *et al.* (2012) afirmam que a madeira possui particularidades e está propícia a mudanças de suas propriedades conforme as condições ambientais as quais estão sujeitas.

As madeiras possuem defeitos que podem ser originários de forma natural dependendo do clima ao qual esteve presente, de acordo com seu crescimento e sua categoria de Angiosperma ou Gimnosperma. Outros defeitos podem ser causados por ação de terceiros, como as patologias causadas por agente bióticos ou abióticos (BRITO, 2014).

Um dos defeitos naturais da madeira são os nós. Os nós são gerados a partir da base de um galho localizado no tronco ou em outro galho. “Quando o galho ainda está vivo, os tecidos lenhosos do tronco envolvem o nó e continuam crescendo”

(GONZAGA, 2006). Os nós podem ser classificados como vivos (Figura 9), que são os que possuem continuidade dos tecidos do galho com os tecidos do tronco. Os nós considerados mortos são os que não há conexão entre os tecidos de galhos e tronco, como apresentado na Figura 10. Ambos os nós interrompem a continuidade das fibras da madeira, causando a diminuição da sua resistência (BERNIE; BOLZA; CHRISTENSEN, 1979).



**Figura 9 - Representação da presença de um nó vivo em um segmento de madeira. Fonte: Bayer, 2013.**



**Figura 10 - Representação da presença de um nó morto em um segmento de madeira. Fonte: Szoke, 2015.**

Outros tipos de defeitos naturais nas madeiras são devido ao encurvamento do tronco e dos galhos. Devido à reorientação do tecido lenhoso buscando a posição mais favorável para receber a irradiação solar, uma parte do tronco fica mais suscetível a ser resistente os esforços de tração, sendo o lado oposto resistente aos esforços de compressão (CALIL JUNIOR, 1998). A presença do albarno também é

tida como um defeito apresentado na madeira, sendo o qual como mencionado no tópico “2.2.2 Fisiologia das árvores”, tem seus valores de resistência menores.

A madeira é formada a partir de uma combinação de polímeros naturais, mas a partir do momento em que a árvore é gerada, a madeira está passível de degradação por agentes externos. Segundo Cruz (2001) quando armazenados em locais úmidos, as atividades patológicas causadas por agentes biológicos, insetos, intemperes e fungos são potencializadas. Highley e Scheffer (1989) citam que a degradação da madeira é causada por três principais agentes: biológicos, físicos e químicos. Ademais, Ritter e Morrell (1990) e Calil Junior *et al.* (2006) simplificaram as origens causadoras da degradação das madeiras como sendo causada pelos agentes bióticos (vivos) e a gente abióticos (não vivos).

Na Figura 11 é descrito detalhadamente por Brito (2014) as classes dos agentes bióticos e abióticos, bem como os causadores das patologias.

Dos causadores da degradação das estruturas de madeira, os principais são os fungos e insetos. De acordo com Highley e Scheffer (1989), os fungos são microrganismos vegetais simples e que degradam a madeira utilizando-a como fonte de alimento. O ataque dos fungos às madeiras pode ocorrer tanto anterior quanto posterior ao corte, não inibindo o possível ataque durante os processos de secagem e transporte. Por se alimentarem de substâncias de reserva de células, uma classe de fungos causa manchas nas madeiras nas áreas interna e externa. Apesar de quando em menor escala essas manchas não comprometerem a resistência mecânica da madeira, após a propagação das mesmas, a resistência ao impacto e a permeabilidade da madeira são comprometidas. Outro tipo de fungo já é responsável por se alimentarem da celulose, lignina e hemicelulose da madeira, causando perda de peso e comprometimento da resistência mecânica e resistência física (BRITO, 2014).

Segundo descreve Ritter e Morrell (1990) os insetos são os organismos mais comuns do planeta, e das 26 espécies de insetos 6 tem ligação direta com a degradação da madeira, sendo os principais tipos: cupins, besouros, formigas carpinteira e a vespa. Os cupins são classificados em três tipos: de madeira seca,

úmida e subterrâneos, os quais devido aos hábitos alimentares constroem seus ninhos próximos as madeiras que são sua fonte de alimentação (GONÇALVES; DA SILVA OLIVEIRA, 2006).

Agentes de deterioração da madeira	
	<b>Bactérias</b>
	Fungos manchadores Fungos emboloradores
	<b>Fungos</b>
	Fungos apodrecedores Fungos de podridão parda ou cúbica Fungos de podridão branca ou fibrosa Fungos de podridão mole
<b>Agentes bióticos</b>	<b>Insetos</b>
	Térmitas isópteras (Cupins-de-madeira) Térmitas-de-madeira-seca Térmitas-de-madeira-úmida Térmitas-subterrâneos Térmitas-epígeos Térmitas-arborícolas Brocas-de-madeira Brocas que atacam árvores vivas Brocas que atacam árvores recém-abatidas Brocas que infestam a madeira durante a secagem Brocas de madeira seca Formigas-carpinteiras Abelhas- carpinteiras
	<b>Perfuradores marinhos</b>
	Moluscos Teredinidae Crustáceos Pholadidae Limnoria Sphaeroma terebrans
<b>Agentes abióticos</b>	<b>Agentes Físicos</b>
	Patologias de origem estrutural Instabilidade Remoção de elementos estruturais Fraturas incipientes Movimentos de nós e distorções Deformações, deslocamentos e flechas Presença de defeitos naturais Danos mecânicos Danos por animais silvestres Danos por vandalismo
	<b>Agentes Químicos</b>
	Corrosão em ligações Efeito da corrosão na madeira
	<b>Agentes Atmosféricos ou Meteorológicos</b>
Ação de luz ultravioleta Intemperismo Danos por inchamento e retração da madeira Ações de vento nas estruturas Raios atmosféricos	
<b>Danos devido ao fogo</b>	

Figura 11 - Principais agentes de deterioração da madeira. Fonte: BRITO, 2014.

Os besouros, também conhecidos como broca, também se alimentam da madeira. O processo consiste na deposição dos ovos na madeira feito pela fêmea e posteriormente após eclodir os ovos, as larvas se nutrem da madeira até chegarem a fase adulta onde furam a madeira para atingirem o lado externo. Já as formigas não se alimentam da madeira, elas apenas utilizam-se da estrutura para fazerem seus ninhos (ABREU, *et al.*, 2002).

A degradação da madeira é vista do ponto ecológico como benéfica pois devolve ao solo e ao ar o componente carbono, sendo uma ação natural. Porém para a engenharia civil se torna prejudicial quando um material tido como elemento estrutural se degrada. (LELIS, *et al.*, 2001)

Esses defeitos atrelados à má utilização muitas vezes implicados as estruturas de madeira são totalmente prejudiciais para o ímpeto da construção civil. A falta de normas regulamentadoras que padronizem sua utilização e manutenção de forma a minimizar as causas patológicas somadas ao mau processo de execução podem reduzir significativamente o tempo de vida útil da peça (PARRA; GALVÃO; SILVA, 2022).

Dessa forma, o Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) e a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) em ação conjunta, tornaram obrigatório o tratamento preventivo da madeira contra ações degradadoras em peças ou estruturas de madeira que estejam em contato direto com o solo ou sob condições que contribuam para a redução da sua vida útil, seguindo as diretrizes disposta na lei nº 4.797 de 1965.

#### **2.2.10 Tipos de madeiras utilizadas na construção civil**

A utilização da madeira e suas derivações vem crescendo significativamente nos últimos anos devido a conscientização ambiental e capacitação técnica do ramo da construção civil (CASTRO, 2017). Entretanto, segundo o Catálogo de Madeiras Brasileiras para a Construção Civil (2013), as propriedades específicas de cada



madeira, a identificação e escolha da madeira correta para determinado uso deve ser levada em conta para que a apresentação tenha o desempenho esperado.

Conforme Pfeil (2003), os tipos de madeiras usadas na construção civil se dividem em duas grandes categorias, as madeiras maciças que são compostas pela madeira roliça ou bruta, madeira falquejada e madeira serrada, e já as madeiras industrializadas são constituídas pela madeira compensada, madeira laminada e madeira recomposta. Segundo o IPT (2009) as espécies de madeiras ainda são separadas para emprego de cada uso da construção civil, sendo estas apresentadas a seguir de acordo com as especificações do Catálogo de Madeiras para a Construção Civil (2013).

### 2.2.10.1 Pesada e externa

Compreende as peças de madeira serrada utilizadas para estacas marítimas, pontes, obras imersas, postes, dormentes ferroviários e outros ramos de construção pesada, de acordo com que é evidenciado na Tabela 3.

Nome popular	Nome científico	Nome popular	Nome científico
Angelim-amargoso	<i>Vatairea sp</i>	Jatobá	<i>Hymenaea spp</i>
Angelim-pedra	<i>Hymenolobium petraeum</i>	muiracatiara	<i>Astronium lecointei</i>
Angelim-vermelho	<i>Dinizia excelsa</i>	Pau-roxo	<i>Peltogyne spp</i>
Cumarú	<i>Dipteryx odorata</i>	Piquiarana	<i>Caryocar glabrum</i>
Cupiúba	<i>Goupia glabra</i>	Tatajuba	<i>Bagassa guianensis</i>
Garapa	<i>Apuleia leiocarpa</i>	Uxi	<i>Endopleura uchi</i>

**Tabela 3 – Identificação dos nomes populares e científicos das madeiras relacionadas à construção sendo estas pesadas e externas. Fonte: Catálogo de Madeiras para a Construção Civil, 2013.**

### 2.2.10.2 Pesada e interna

Engloba as peças de madeira serrada utilizada como sistema estrutural de coberturas, como demonstra Tabela 4.

Nome popular	Nome científico	Nome popular	Nome científico
Angelim-amargoso	<i>Vatairea sp</i>	Mandioqueira	<i>Ruizterania albiflora</i>
Angelim-pedra	<i>Hymenolobium petraeum</i>	Oiticica-amarela	<i>Clarisia racemosa</i>
Cedrorana	<i>Cedrelinga cateniformis</i>	Quaruba	<i>Vochysia spp</i>
Cupiúba	<i>Goupia glabra</i>	Tachi	<i>Tachigali myrmecophilla</i>
Curupixá	<i>Micropholis venulosa</i>	Tauari	<i>Couratari spp</i>
		Tauari-vermelho	<i>Cariniana micrantha</i>

**Tabela 4 – Identificação dos nomes populares e científicos das madeiras relacionadas à construção sendo estas pesadas e internas. Fonte: Catálogo de Madeiras para a Construção Civil, 2013.**

### 2.2.10.3 Leve externa e uso temporário

Amontoa peças de madeira serrada com funções temporárias e também as madeiras utilizadas em estruturas de cobertura, como mostra a Tabela 5.

Nome popular	Nome científico	Nome popular	Nome científico
Angelim-amargoso	<i>Vatairea sp</i>	Mandioqueira	<i>Ruizterania albiflora</i>
Angelim-pedra	<i>Hymenolobium petraeum</i>	Quaruba	<i>Vochysia spp</i>
Cedrorana	<i>Cedrelinga cateniformis</i>	Tachi	<i>Tachigali myrmecophilla</i>
Cupiúba	<i>Goupia glabra</i>	Tauari	<i>Couratari spp</i>
Curupixá	<i>Micropholis venulosa</i>	Tauari-vermelho	<i>Cariniana micrantha</i>
		Tauari-vermelho	<i>Cariniana micrantha</i>

**Tabela 5 – Identificação dos nomes populares e científicos das madeiras relacionadas à construção sendo estas leves externas e de uso temporário. Fonte: Catálogo de Madeiras para a Construção Civil, 2013.**

#### 2.2.10.4 Leve interna e decorativa

Abrange as peças de madeira serrada e beneficiada onde a madeira apresentada consiste em conceito decorativo, como evidenciado na Tabela 6.

Nome popular	Nome científico	Nome popular	Nome científico
Angelim-pedra	<i>Hymenolobium petraeum</i>	Muiracatiara	<i>Astronium lecointei</i>
Cumaru	<i>Dipteryx odorata</i>	Oiticica-amarela	<i>Clarisia racemosa</i>
Curupixá	<i>Micropholis venulosa</i>	Pau-roxo	<i>Peltogyne spp</i>
Garapa	<i>Apuleia leiocarpa</i>	Tatajuba	<i>Bagassa guianensis</i>
Jatobá	<i>Hymenaea spp</i>		

**Tabela 6 – Identificação dos nomes populares e científicos das madeiras relacionadas à construção sendo estas leves internas e decorativas. Fonte: Catálogo de Madeiras para a Construção Civil, 2013.**

#### 2.2.10.5 Leve interna, de utilidades geral

Contempla as peças de madeira serrada beneficiada onde o aspecto decorativo da madeira não é um fator primordial, como mostrado na Tabela 7.

Nome popular	Nome científico
cedrorana	<i>Cedrelinga cateniformis</i>
mandioqueira	<i>Ruizterania albiflora</i>
quaruba	<i>Vochysia spp</i>
tachi	<i>Tachigali myrmecophilla</i>
tauari	<i>Couratari spp</i>
tauari-vermelho	<i>Cariniana micrantha</i>

**Tabela 7 – Identificação dos nomes populares e científicos das madeiras relacionadas à construção sendo estas leves internas e de utilidades gerais. Fonte: Catálogo de Madeiras para a Construção Civil, 2013.**

#### 2.2.10.6 Leve esquadrias

Abrange as peças de madeira serrada e beneficiada, designadas ao uso de esquadrias, apresentado na Tabela 8.

Nome popular	Nome científico	Nome popular	Nome científico
angelim-pedra	<i>Hymenolobium petraeum</i>	muiracatiara	<i>Astronium lecointei</i>
cedrorana	<i>Cedrelinga cateniformis</i>	oiticica-amarela	<i>Clarisia racemosa</i>
cumaru	<i>Dipteryx odorata</i>	pau-roxo	<i>Peltogyne spp</i>
curupixá	<i>Micropholis venulosa</i>	tatajuba	<i>Bagassa guianensis</i>
garapa	<i>Apuleia leiocarpa</i>	tauari	<i>Couratari spp</i>
jatobá	<i>Hymenaea spp</i>		

**Tabela 8 – Identificação dos nomes populares e científicos das madeiras relacionadas à construção sendo estas leves internas de esquadrias. Fonte: Catálogo de Madeiras para a Construção Civil, 2013.**

### 2.2.10.7 Assoalhos domésticos

Refere-se aos diversos tipos de peças de madeira serrada e beneficiada usado em pisos, como evidenciado na Tabela 9.

Nome popular	Nome científico
cumaru	<i>Dipteryx odorata</i>
garapa	<i>Apuleia leiocarpa</i>
jatobá	<i>Hymenaea courbaril</i>
muiracatiara	<i>Astronium lecointei</i>
pau-roxo	<i>Peltogyne spp</i>
tatajuba	<i>Bagassa guianensis</i>

**Tabela 9 – Identificação dos nomes populares e científicos das madeiras relacionadas à construção sendo estas de assoalhos domésticos. Fonte: Catálogo de Madeiras para a Construção Civil, 2013.**

Ademais, de acordo com Gonzaga (2006) as dimensões comerciais mais utilizadas na construção civil são mostradas apresentadas na Tabela 10.

Pranchão	15,0 x 23,0 cm	Sarrafo	3,8 x 7,5 cm
	10,0 x 20,0 cm		2,2 x 7,5 cm
	70,5 x 23,0 cm		2,5 x 5,0 cm
Prancha	5,0 x 20,0 cm	Tábua	2,5 x 4,0 cm
	5,0 x 30,0 cm		2,5 x 30,0 cm
	4,0 x 20,0 cm		2,5 x 15,0 cm
	4,0 x 30,0 cm		2,5 x 20,0 cm
Viga	15,0 x 15,0 cm	Tábua	2,5 x 25,0 cm
	7,5 x 15,0 cm		2,5 x 10,0 cm
	7,5 x 11,5 cm		1,0 x 15,0 cm
	6,0 x 16,0 cm	Ripa	1,2 x 5,0 cm
	5,0 x 20,0 cm		2,0 x 5,0 cm
Barrote	8,0 x 16,0 cm	Ripa	1,5 x 5,0 cm
Vigota	5,0 x 15,0 cm	Ripa	2,0 x 4,0 cm
	6,0 x 12,0 cm		Cordão
Caibro	6,0 x 8,0 cm	Pontalete	7,5 x 7,5 cm
	5,0 x 7,5 cm		10,0 x 10,0 cm
	5,0 x 7,0 cm		5,0 x 5,0 cm
	5,0 x 6,0 cm		
	5,0 x 10,0 cm		

**Tabela 10 – Dimensões comerciais das madeiras mais utilizadas na construção civil no Brasil. Fonte: GONZAGA, 2006. Adaptado pelo autor.**

### 2.3 Wood frame

Desde a antiguidade, o homem descobriu o potencial construtivo da madeira para fins de habitação, entretanto com a utilização e disposição incorreta atrelada a ilusão de um material abundante infinito, não havia a preocupação com o recurso (ARAÚJO, *et al.*, 2017).

No contexto em que é fundamental a priorização de métodos que se baseiem na baixa pegada de carbono, contribuindo para a diminuição das mudanças climáticas a médio e longo prazo e gerir de forma eficiente os recursos naturais e não naturais, no ramo das construções civis o *Wood frame* (Figura 12 e Figura 13) idealiza todos estes quesitos (ISTCHUK; SILVA; MIOTTO, 2017).

Responsável por cerca de 90% das edificações na América do Norte e Europa, o *Wood frame* tem sua origem nos Estados Unidos onde foi desenvolvido a mais de 150 anos a partir de técnicas aperfeiçoadas das influências de construções norte europeias trazidas pelos imigrantes no século XVI (EDWARD; IANO; THALLON, 2011). De acordo com Calil e Molina (2010), o *Wood frame* consiste em um sistema construtivo industrializado, durável e estruturado com perfis de madeira reflorestada tratada, que somado à painéis estruturais de pisos, paredes e telhados revestidos com outros materiais que juntos são capazes de resistir às cargas verticais, perpendiculares e transferir cargas até a fundação, bem como o aumentar o conforto térmico e acústico e proteção contra intempéries e ao fogo.

Segundo as citações de Stricklin, Schiff e Rosowsky (1996) o *Wood frame* por ser executado por equipes especializadas e possuírem sistemas e subsistemas industrializados, possuem uma alta produtividade e rápido tempo de execução, possibilitando que em média, possam ser construídas residências com mais de 200m<sup>2</sup> em apenas 60 dias (CALIL JUNIOR; MOLINA, 2010). Seguindo as afirmações dos autores, a baixa adesão histórica do *Wood frame* no Brasil, devido ao preconceito errôneo sobre as propriedades e aplicabilidades da madeira, faz com que atualmente os preços de mão de obra sejam elevados para o padrão do país.

Apesar de um grande potencial florestal para fonte de matéria prima e replantio da madeira, no Brasil ainda é pouco fomentado esse método de construção, tendo ainda apenas poucas empresas na região sul do país como construtoras integrais no processo de *Wood frame*. A primeira casa de madeira de médio e alto padrão feita em *Wood frame* no Brasil, foi construída na cidade de Viamão no estado do Rio Grande do Sul, no ano de 2001 (CALIL JUNIOR; MOLINA,2010).

Subsequente, Vidal *et al.* (2015) compara a madeira com outros materiais mais utilizados em obras no Brasil como aço, concreto e até mesmo o plástico, e este apresenta as vantagens relacionadas à resistência mecânica e ao fogo, baixo consumo energético em toda a sua cadeia produtiva, isolamento térmico e acústico, redução de desperdício somado a capacidade construtiva mais veloz. Conforme Vidal *et al.* (2015) as obras brasileiras necessitam imergir no conceito de sustentabilidade

atrelado às construções em *Wood frame* para que o impacto ambiental causado pelas construções civis no país sejam reduzidos.



**Figura 12** – Execução de obra em *Wood frame* – lado externo. Fonte: Blog Salles, 2019.



**Figura 13** – Execução de obra em *Wood frame* – lado interno. Fonte: Pereira, 2019.

### **2.3.1 Construção seca**

O conceito de construção seca é diretamente aplicado aos métodos que são caracterizados pela não utilização de água na execução, e consideradas estruturas leves, com alta resistência mecânica, limpas e ágeis. O termo construção seca é diretamente ligado aos modelos de construção em *Wood frame* e *Steel frame* (VON LAER, *et al.*, 2013).

A busca por práticas sustentáveis nas construções de edifícios tem se tornado mais frequentes, sendo estes responsáveis pela otimização e racionalização construtiva dos recursos (SANTOS, 2010). O fator ímpar de acordo com Bertolini (2013), é que na construção seca é isenta a utilização de água, sendo característico pela economia hídrica causado por não utilização de argamassa em seu processo construtivo, salvo a fundação.

### **2.3.2 Considerações básicas para a execução de um projeto**

É importante a compreensão que em cada região existe peculiaridades próprias devido as necessidades requeridas de cada uma das mesmas. Essas diferenças específicas de cada região variam pelo fator da condição climática, do tipo de madeira predominante, da tecnologia e até mesmo da cultura (PEREIRA FILHO, 2020). Quando nas normas há especificações sobre as diferentes regiões e aplicabilidades, podem ser usadas para a dimensionamentos mesmo está não pertencendo a região normativa. A exemplo é a norma americana *WFCM 2001* e *EUROCODE 5 Parte 2 (1997)* que são normas internacionais aplicadas no Brasil para dimensionamento de painéis estruturais.

No Brasil, conforme descreve Calil Junior e Brito (2010), para maiores informações sobre diretrizes de projetos e critérios de dimensionamento, são recomendadas algumas técnicas da ABNT que auxiliam os profissionais de acordo com as seguintes especificações:

- NBR 6120:1980 “Cargas para o cálculo de estruturas de edificações”;
- NBR 6123:1988 “Forças devidas ao vento em edificações”;



- NBR 7190:1997 “Projeto de estruturas de madeira”;
- NBR 8681:2004 “Ações de segurança nas estruturas – Procedimento”.

### **2.3.3 Métodos construtivos**

Durante o avanço da história das construções em madeira, diversas foram as adaptações feitas pelos seres humanos a este recurso. Iniciado usando apenas na forma bruta, a madeira foi sendo aplicadas de formas mais eficientes, conforme as necessidades e avanços da humanidade. Para o sistema de *Wood frame*, dois tipos de métodos construtivos foram utilizados, sendo o *Balloon Framing* e o *Plataform Framing*.

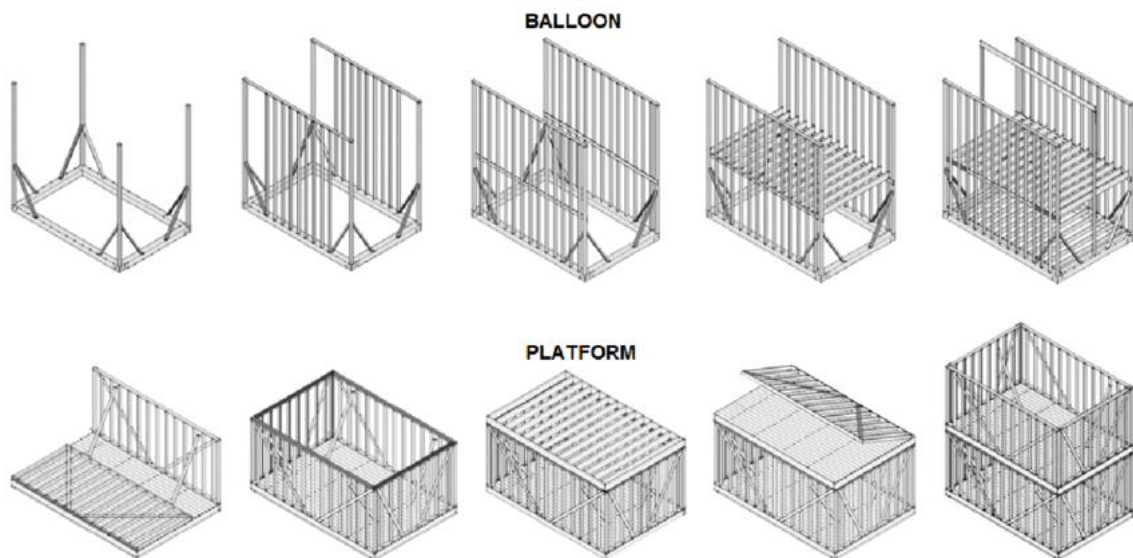
#### **2.3.3.1 Balloon Framing**

O *Balloon Framing* foi inventado por George Washington Snow (1797 – 1870), um engenheiro civil de Chicago. Esse tipo de estrutura consiste em pranchas de madeiras uniformes formando um formato de caixa. Neste sistema, a estrutura começava na fundação e terminava na cobertura, sendo os pavimentos levantados de uma única vez, como apresentado na Figura 14 (VERDÉRIO; BERTUZZO, 2018).

Desde o século XX esse processo construtivo não é mais utilizado, sendo este aperfeiçoado para o método *Plataform Framing*.

#### **2.3.3.2 Plataform Framing**

Originário do *Balloon Framing*, o *Plataform Framing* constitui a maioria das construções pré-fabricadas em madeira, sendo considerada uma construção de padrão seco, industrializada e de rápida execução e adaptabilidade a estilos arquitetônicos (DIAS, 2005). Esse método de acordo com Sánchez (1995), é caracterizado pela descontinuidade dos montantes de um pavimento para o outro, de forma a ser feito uma plataforma para cada nível (Figura 14). Este método foi mais popularizado pela facilidade de execução.



**Figura 14 - Representação dos métodos construtivos em Balloon Framing e Platform Framing. Fonte: O’Brien, 2010.**

### **2.3.4 Processo construtivo**

O *Wood frame* é a combinação de elementos estruturais que quando juntos produzem a rigidez necessária para resistir às cargas verticais e horizontais (TECVERDE, 2016). Sendo a composição de uma edificação em *Wood frame* dada pelo sistema construtivo: fundação, piso, sistema de vedação, cobertura, revestimento, instalações prediais e esquadrias (SOUSA, 2018).

#### **2.3.4.1 Fundação**

O tipo de fundação deve ser escolhido de acordo com a necessidade exigida pelo solo em função das cargas calculadas em projetos (CALIL JUNIOR; MOLINA, 2010). Ademais, de acordo com Thallon (2011), no que se refere ao *Wood frame*, outra característica da fundação é manter a construção acima do nível do solo e servindo como proteção contra umidade e agentes degradantes.

Segundo Cardoso (2015), qualquer tipo de fundação pode ser empregado a esse método construtivo, desde que previamente dimensionados em projetos quanto aos esforços solicitantes. Entretanto, por se tratar de uma estrutura leve, Lima (2011) afirma que o radier, conforme ilustra a Figura 15, torna-se uma opção viável a qualquer região, onde o mesmo é formado por uma laje maciça e contínua de concreto armado e suas cargas são distribuídas para o solo de forma uniforme. Uma vantagem dessa fundação, é que a própria pode servir como piso para a edificação que será construída (PEREIRA FILHO, 2020).



**Figura 15 - Radier executado e com as infraestruturas elétricas e hidráulicas já posicionadas, na obra de reforma e ampliação do Aeroporto Coronel Altino Machado de Oliveira na cidade de Governador Valadares - MG. Fonte: Autor, 2022.**

#### **2.3.4.2 Piso**

Os pisos para o *Wood frame*, são referidos às estruturas horizontais que são responsáveis por separar os níveis da edificação e distribuir as cargas, se comparando as lajes em concreto armado (PEREIRA FILHO, 2020). De acordo com Silvas (2010) os pisos podem ser classificados como: pisos secos ou pisos mistos.

Segundo Ferreira (2013), os pisos secos são os que possuem função de contrapiso, podendo receber revestimentos sobre a estrutura. Esses pisos são na sua

grande maioria painéis em chapas OSB (*Oriented Strand Board*), e o mais recomendado para estes casos em que são utilizados como pisos ou lajes, que haja a impermeabilização da peça e que se usem as chapas de 18mm de espessura.

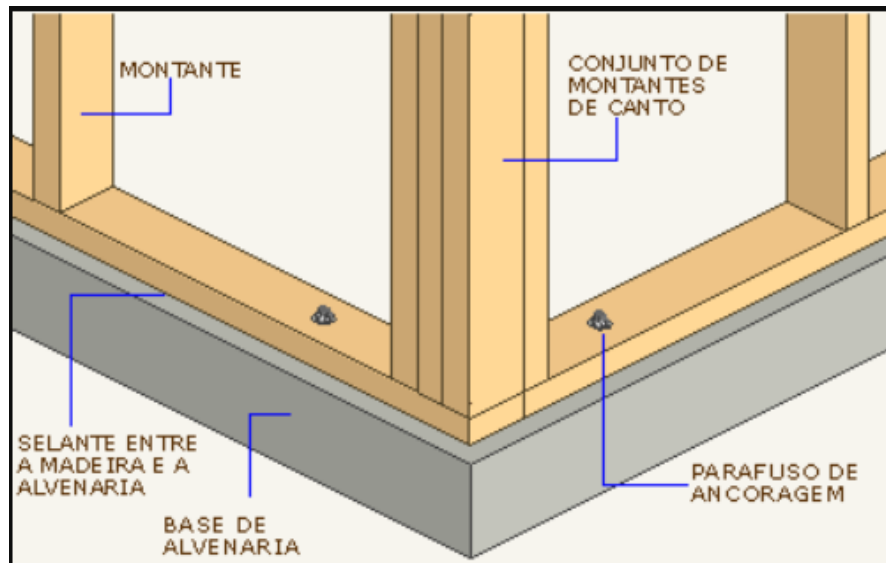
Conforme cita Sousa (2018), o piso misto é quando a chapa de OSB recebe uma aplicação de polietileno e posteriormente uma camada de concreto armado com uma malha metálica, sendo assim preparada para futuramente receber revestimentos.

#### **2.3.4.3 Ancoragem**

A ancoragem do *Wood frame* à fundação é a definida como sendo a “responsável por transmitir as cargas aplicadas para o alicerce” (CAMPOS, 2006) e essas ligações são realizados por conectores metálicos, sendo o mais indicado o parabolts, pois não induzem a peça ao fendilhamento (PARTEL, 1999).

Campos (2006) alerta sobre a importância do processo construtivo de impermeabilização da fundação, fazendo assim com que a estrutura de madeira e o piso de concreto não tenham contado diretamente, evitando assim a entrada de água por capilaridade.

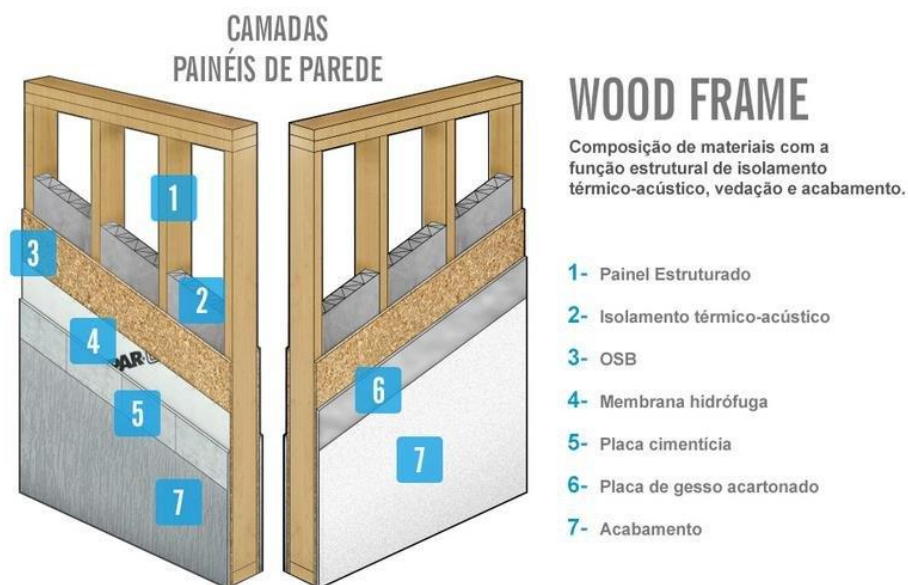
Os conectores metálicos responsáveis pelo elo de ligação entre a fundação e a estrutura de madeira, são fixados e posicionados preferencialmente antes do tempo de cura do concreto, fazendo assim com que a parte inferior seja “ancorada” na fundação (DIAS, 2005), como apresentada na Figura 16.



**Figura 16 – Representação da fixação do sistema estrutural à fundação. Fonte: Santiago, 2021.**

#### **2.3.4.4 Paredes**

Segundo a empresa Tecverde (2016), as estruturas de suas paredes são compostas por montantes verticais de madeira compostos em consonância com painéis de OSB. Este sistema utiliza elementos estruturais de madeira autoclavada para estrutura, soleiras inferiores e superiores, uma barreira impermeável, placa cimentícia, isolante térmico e acústico, acabamento de textura acrílica, chapas de gesso acartonado e acabamento em pintura acrílica (Figura 17). As paredes possuem o encargo de suporte da estrutura, bem como estão correlacionadas ao desempenho térmico e acústico e ainda como responsável pela separação física entre um ou mais ambientes (PEREIRA FILHO, 2020).



**Figura 17 – Ilustração da composição do painel estrutural Tecverde do tipo parede. Fonte: Tecverde, 2019.**

As placas cimentícias que são alocadas na parte exterior, são preparadas com uma membrana hidrófuga e chapas cimentícias, que somadas a camada impermeável permitem que não haja interferência e nem penetração de água causado por chuvas ou afins do sentido da parte externa para interna da residência (MOREIRA; BAPTISTA; OLIVEIRA, 2016). Segundo a empresa Placlux (2016) a membrana hidrófuga é composta por polipropileno e funciona de maneira a impedir a entrada de água ao mesmo tempo que libera ao meio externo a umidade presente no lado interno.

As paredes externas podem ainda serem revestidas de forma semelhante aos padrões da alvenaria convencional, além de madeira, plástico e qualquer material que quando anexado à parede cumpra a função estética e protetora da edificação (CALIL JUNIOR; MOLINA, 2010). O revestimento “TYVEK” por exemplo, tem a função de proteger o sistema de intempéries ao mesmo tempo que exerce função de isolante térmico.

O material OSB é referenciado como um material ímpar para os sistemas de vedação. De acordo com Bertolini (2013) as placas “são formadas por camadas de

partículas com resinas fenólicas, que são orientadas numa mesma direção e prensadas sob alta temperatura para sua consolidação”. Sendo assim, as chapas de OSB estão relacionadas as diversas funções no sistema *Wood frame*, como piso, paredes e cobertura, tendo alta resistência térmica e física e podendo ser utilizado tanto do lado interior quanto exterior das edificações (MARTINS; BARBIRATO, 2022).

Conforme descreve Zaparte (2014), o acabamento interno deve ser a marca de identidade do usuário, sendo esta uma representação do mesmo. Em contra ponto segundo o autor, todas as aplicações de revestimentos, sejam porcelanatos, pastilhas ou apenas pintura, devem seguir as recomendações indicadas pelo fabricante (TECVERDE, 2016).

O isolamento térmico e acústico são procedimentos realizados de forma a amenizarem os ruídos através a utilização de materiais que impeçam a propagação do som (VERDÉRIO, BERTUZZO, 2018). Segundo o próprio autor que menciona Espíndola (2017), os materiais mais comuns para a o trabalho de isolamento acústico são: lã mineral, lã de rocha e fibra de vidro, mas existem outras opções disponíveis no mercado comercial.

#### **2.3.4.5 Telhados**

Como os demais métodos construtivos em *Wood frame*, os telhados não exigem nenhum tipo específico de coberturas e telhados. Sobre as paredes do último pavimento são posicionadas as treliças e são executadas de modo idêntico ao da alvenaria convencional (LEITE; LAHR, 2015). Os elementos constituintes são as tesouras, as terças, caibros e as ripas (PEREIRA FILHO, 2020).

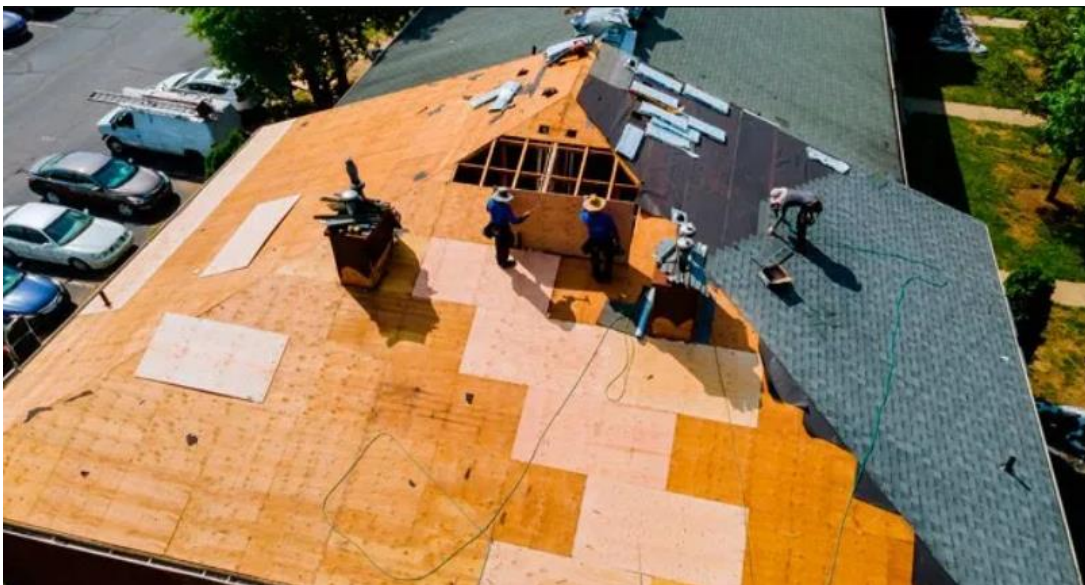
Segundo Cardoso (2000), os telhados podem ser executados de acordo com os materiais:

- Telhas *Shingles*: são telhas à base de asfalto e possuindo quatro camadas, sendo elas o próprio asfalto, fibra de vidro unida por uma manta asfáltica impermeável, asfalto e uma última camada feita de asfalto e grânulos. São



as telhas mais comuns quando se trata de estruturas de madeira (Figura 18);

- Telhas metálicas: são pré-fabricadas, normalmente feitas de aço são mais comuns em galpões ou indústrias;
- Telhas cerâmicas: geralmente instaladas em edifícios familiares, tem como desvantagem o deslocamento devido a intempéries, acúmulo de musgos e grande quantidade de juntas;
- Telhas de fibrocarboneto: utilizados majoritariamente em edifícios comerciais e industriais, são presas utilizando acessórios fornecidos pelo fabricante, possuindo baixo custo, mas não proporciona um bom conforto térmico.



**Figura 18 – Execução de telhado do tipo Shingle. Fonte: Portal AECweb, 2021.**

#### **2.3.4.6 Instalações prediais**

De acordo com o Departamento de Engenharia Civil da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (USP) os sistemas prediais podem ser reunidos em um grande grupo que agregam elementos destinados a uma específica finalidade, que



alinham a arquitetura ao sistema construtivo de forma harmônica, racional e tecnicamente correta. O método de instalação pode ser idêntico ao aplicado no método de construção convencional. A grande diferença está no sistema apresentado, o qual no *Wood frame*, as tubulações são inseridas no interior das paredes, sendo as estruturas prontas para receber as tubulações e eletrodutos. Logo após instalação, as paredes são revestidas com o material isolante termoacústico e fechada (TECVERDE, 2016).

As paredes que recebem tais instalações não têm papel estrutural na edificação, sendo assim, os tubos hidrossanitários são fixados na parte interna do painel com braçadeiras ou fitas metálicas. De igual modo, as instalações elétricas, são feitas a partir de eletrodutos que já possuem locais próprios preparados para a passagem destes utensílios, e são fixados nas chapas de vedação ou na estrutura de cobertura (TECVERDE, 2018).

Conforme mencionado por Cardoso (2015), o *Wood frame* se mostra um exemplo de construção verde, sendo responsável por gerar quantidades extremamente baixas de resíduos e desperdício de material, sendo que o mesmo evita quebras na estrutura e dos materiais devido ao seu sistema de embutimento das instalações prediais.

## **2.4 Ferramentas utilizadas para a execução das construções**

O *Wood frame* se apresentou como uma solução sustentável diante da indústria civil que é uma das mais poluentes e que consome mais recursos naturais e não naturais do planeta (ALVES, *et al.*, 2010).

Com o método construtivo apresentado no tópico “2.3.4 Processo Construtivo” vem junto a necessidade de uma mão de obra qualificada e a necessidade de equipamentos que se enquadrem nas necessidades exigidas pelo método de construção apresentado (WU, *et al.*, 2020). Seguindo a linha de pensamento dos autores, as ferramentas são objetos utilizados para que se consiga cortar, furar, medir, marcar, fazer acabamentos e fixar os materiais e estruturas com mais facilidade de forma a otimizarem o tempo e o trabalho braçal.

A execução do *Wood frame* diferentemente da alvenaria convencional, é aplicada por outros tipos de equipamentos, sendo algum destes não comuns ao mercado brasileiro (CARDOSO, 2015). Dessa forma, seguindo as referências feitas por Noone (2009), serão apresentados algumas das ferramentas utilizadas para a execução de uma obra no sistema *Wood frame*, separadas em duas categorias: ferramentas manuais de mão e ferramentas manuais elétricas.

#### **2.4.1 Ferramentas manuais de mão**

Este tipo de ferramenta são todas as que há a necessidade do esforço humano para desempenhar a função para qual ela foi criada. A manutenção preventiva das ferramentas é fundamental para garantir a produtividade e bom desempenho do trabalhador.

Dentre as ferramentas manuais de mão, possuem ferramentas de corte, marcação, medição e alguns equipamentos auxiliares.

##### **2.4.1.1 Ferramentas de corte**

Como ferramentas de corte, é possível destacar o estilete ou faca retrátil, os diversos tipos de serra e a tesoura corta-perfil.

A faca retrátil, popularmente conhecido como estilete, serve para o corte retilíneo ou mesmo curvo onde não se há a necessidade de uma alta precisão. Eliminam rebarbas que podem ficar nos recortes de chapas, cortar tubulações e outros tipos de materiais.

As serras podem ser de modelos: serrote ou serra copo. O serrote é comumente utilizado para cortar pedaços de madeira e materiais utilizados como revestimento, enquanto a serra copo, como mostrado na Figura 19, é essencial para criar aberturas na vedação, normalmente utilizado para abrir caixas de passam elétrica e hidrossanitárias.

As tesouras de corta-perfil são utilizadas para entalhar os perfis de vedação, especialmente o drywall.



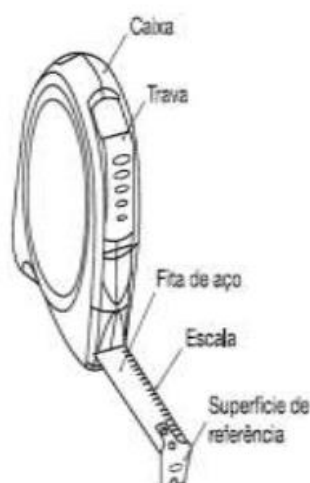
**Figura 19 – Ilustração representativa da Serra copo para madeira. Fonte: Blog The Engineers post, 2021.**

#### **2.4.1.2 Ferramentas de marcação e medição**

Das ferramentas de marcação o lápis, caneta, trena, níveis de bolha e a laser, fio traçante e esquadro são os que se fazem mais presente no *Wood frame*.

Os utensílios designados para fazerem a marcação que servirão como referência para a execução de alguma outra atividade posterior são o lápis, caneta e fio traçante. A marcação correta feito por estes itens é de fundamental importância para a qualidade do serviço.

Ademais, a trena (Figura 20), esquadro e os níveis tanto de bolha quanto a laser, servem para que as medidas sejam verificadas de acordo com as guias marcadas anteriormente, como distância, prumo, alinhamento e precisão do nível.



**Figura 20 – Ilustração representativa da trena graduada e seus componentes. Fonte: ABNT, 2012.**

### **2.4.1.3 Equipamentos auxiliares**

Intuitivo ao nome, os equipamentos auxiliares servem como amparo as necessidades dos outros materiais e suas funcionalidades, sendo tido como ferramentas secundárias.

O cinto de ferramentas é um facilitador para que todas as ferramentas estejam acessíveis e próximas, apresentado na Figura 21. É essencial que esse equipamento não comprometa a mobilidade do trabalhador que está executando o serviço.

Facilitando a fixação de peças de vedação, forro e até mesmo desamassando perfis e retirando pregos e parafusos, o alicate é um utensílio primordial para a execução da obra.

O martelo é uma ferramenta usada durante todo o processo juntamente dos pregos, onde juntos eles são responsáveis pela instalação e fixação das estruturas. Nas regiões mais modernas, onde o conceito das construções em *Wood frame* já é consolidado, o martelo é substituído pela pistola de pregos (indicada no item “2.4.2.3 Equipamentos auxiliares”, que cumpre o mesmo serviço de forma mais ágil.



**Figura 21 - Ilustração representativa do cinto de ferramentas. Fonte: Blog Ferramentas Kennedy, 2021.**

## **2.4.2 Ferramentas manuais elétricas**

Conhecidas como ferramentas manuais elétricas, estas são as ferramentas que são capazes de serem movimentadas manualmente para algum lugar, entretanto necessitam de alguma fonte de energia para funcionar, podendo ser diretamente plugada na tomada ou com uso de bateria.

Dentre as ferramentas manuais elétricas, possuem ferramentas de corte, fixação e alguns equipamentos auxiliares.

### **2.4.2.1 Ferramentas de corte**

Trivialmente conhecida como Makita, a serra circular é indicado para cortes das peças de madeira desde pequenas distâncias à médias. Devido a baixa rotação, não é indicado para grandes espessuras.

A serra policorte, conhecida internacionalmente como forty-five saw (serra quarenta e cinco, tradução nossa), é indicada para cortes transversais e angulares,

fazendo jus ao nome. Nessa serra é recomendado um disco de corte apropriado quanto à dureza da madeira.

A *sawzall* (serra elétrica) é conveniente para serviços mais leves, sendo utilizada no corte das vedações ou pequenos cortes na estrutura da madeira, caso necessário. A Figura 22 remete à *sawzall*.



**Figura 22 – Ilustração representativa da serra *sawzall*. Fonte: Blog The Engineers post, 2021.**

#### **2.4.2.2 Ferramentas de fixação**

As ferramentas de fixação são basicamente aquelas responsáveis por unir as peças, sejam as estruturas de madeira quanto as vedações montadas posteriormente.

A furadeira e a parafusadeira trabalham de formas semelhantes. Enquanto a parafusadeira (Figura 23) realiza com precisão a união entre as chapas de vedação nos perfis entre si, a furadeira é a responsável por fazer os buracos que servem de guia para os parafusos fazerem a junção.



**Figura 23 – Ilustração representativa de uma parafusadeira sendo utilizada para a fixação de uma peça de madeira. Fonte: Blog Ferramentas Kennedy, 2021.**

### **2.4.2.3 Equipamentos auxiliares**

De forma mais moderna e tecnológica, os equipamentos auxiliares das ferramentas manuais elétricas não são usuais no Brasil, mas serão apresentados de acordo com a realidade apresentada em outros países.

O compressor de ar é responsável por produzir a energia obtida através do ar comprimido, que é utilizado em conjunto com os utensílios listados a seguir.

Utilizando a pressão gerada pelo compressor de ar, a mangueira comumente feita de plástico é o meio de condução até a pistola de pregos que é utilizada também como ferramenta de fixação, sendo responsável por anexar as estruturas umas nas outras. A pistola de pregos, mostrada na Figura 24, substitui a função do martelo.

De forma a sempre ter e manter energia elétrica no ambiente de trabalho para a funcionamento dos equipamentos elétricos, o gerador de energia é um elemento presente nas obras. Acompanhado do mesmo, a extensão de energia é essencial para quando se precisa executar uma tarefa em um local mais distante dos pontos de tomada.



**Figura 24 – Ilustração representativa da pistola de pregos pneumática sendo utilizada para a fixação entre estruturas de madeira. Fonte: Puma Brasil, 2021.**



### 3 METODOLOGIA

O presente trabalho é classificado como Referência Bibliográfica, que é o conjunto de elementos descritivos que permitem sua identificação e seguindo normas vigentes, de forma com que as informações contidas possam ser evidenciadas (RODRIGUES, 2009). A finalidade desse método é “desempenhar sínteses da literatura sobre um assunto específico, mediante a avaliação crítica e sumarizada das informações apuradas” (SAMPAIO; MANCINI, 2007).

O estudo foi baseado em pesquisas de livros, artigos científicos, teses, revistas nacionais e estrangeiras. A pesquisa feita pelo material bibliográfico apoiou-se basicamente em fundamentações de três nichos.

O primeiro se constituiu sobre os assuntos acerca da sustentabilidade como um todo, apresentando conceitos e situando sobre as diferentes ações a serem tomadas para a redução do impacto ambiental. Segundamente, foi demonstrado o potencial da madeira como sendo um recurso natural capaz de atender as necessidades humanas e ao mesmo tempo ser sustentável. Na última fase foi apresentado o estudo sobre o sistema construtivo em *Wood frame* como sendo uma solução inovadora e tecnológica que linka o conceito sustentável com os recursos em madeira.

Sendo assim, a fundamentação foi feita a partir das informações colhidas no que concerne aos níveis de redução ecológicos e ambientais originados das construções em madeira.

Os resultados do presente trabalho foram obtidos através de análises comparativas entre os métodos construtivos em *Wood frame* em alvenaria convencional, estes apresentados principalmente por Brüggemann (2017), Alves e Ponciano (2018), Veloso (2010) e Istchuk (2016). Quanto à aplicação das métricas sustentáveis, os resultados de melhorias foram evidenciados por *Mcgraw Hill Construction* (2013) apud Costa (2018) e pelo estudo de contribuição de CO<sub>2</sub> pelos principais materiais usados na construção civil, este apresentado por Bribián; Capilla; Usón (2011).

## 4 RESULTADOS

### 4.1 Índices de sustentabilidade

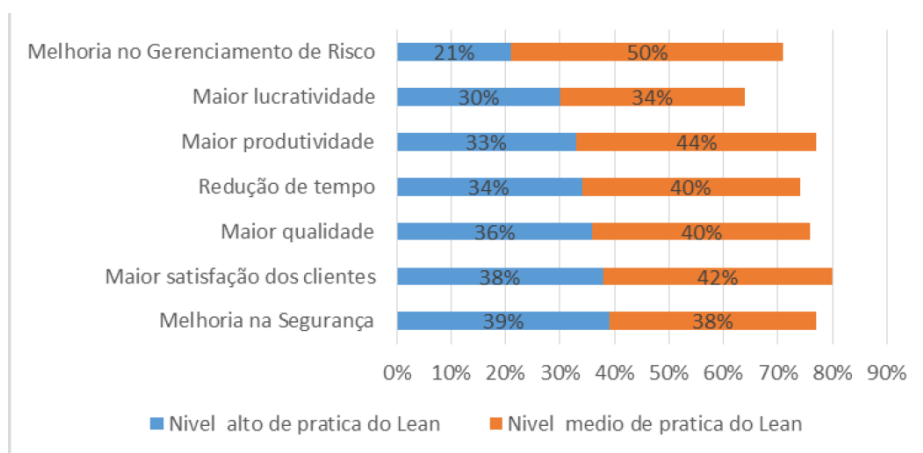
A construção de edifícios, assim como todas as atividades relacionadas à construção civil, é geralmente ligada ao desenvolvimento socioeconômico das regiões, impactando direta ou indiretamente (SPADOTTO, *et al.*, 2011). Os índices de sustentabilidade são apenas uma ferramenta para a avaliação dos impactos gerados (TELES, 2002). Deste modo, todas as ferramentas podem ser analisadas em conjunto, sendo que mesmo com suas particularidades, todas tem o foco sustentável. “A aplicação conjunta de ferramentas, práticas e enfoques é outro passo para a integração dos conceitos de construção enxuta e sustentabilidade”.

A aplicação do método *lean construction* segundo Bezerra (2010) é diretamente ligada à diminuição de custos de mão de obra e de materiais e a alta produtividade no canteiro de obras. A construção “verde” e a sustentabilidade são aplicações diretas do modelo *lean*, que tange principalmente a redução de desperdícios. A filosofia do *lean construction* quando bem implementada, contribui significativamente para a gestão dos recursos financeiros e melhoria da qualidade dos produtos desde a matéria prima à entrega final. A eficiência dessa metodologia apenas terá seu potencial completo quando a ideia estiver presente em todas as etapas da execução e todos os colaboradores encarregados de tal, tiverem esta visão de produtividade e geração de valor (SILVA; PAIVA, 2017). De acordo com a *Mcgraw Hill Construction* (2013) apud Costa (2018), as melhorias percebidas pelos clientes que aplicaram o conceito *lean* são apresentadas na Figura 25.

Os assuntos que tratam sobre o ESG têm se tornando cada vez mais comuns em todos os veículos de comunicação, onde mídias nacionais e internacionais estão se mobilizando de forma a atingir não apenas as pessoas antenadas sobre os assuntos, mas também os demais (GIL, 2021). Ainda conforme Gil (2021), empresas tem disposto dos tempos em eventos para tratarem das temáticas que envolvem o ESG. Em março de 2021 a empresa XP Investimentos reservou uma semana para fomento dos assuntos e discussões com profissionais e especialista da área, conhecido como “EXPERT ESG 2021”, e no mesmo ano no evento de tecnologia e inovação conhecido

como “SOUTH BY SOUTHWEST” (SXSW), palestras e bate-papos interativos marcaram e pontuaram a importância do assunto. A pandemia mundial que se instaurou no ano de 2020 devido ao coronavírus SARS-CoV-2 desenvolveu ainda mais a divulgação e jeito como os assuntos passaram a serem tratados, uma vez que a importância dada ao meio ambiente e aos diversos aspectos ao qual a sociedade está inserida.

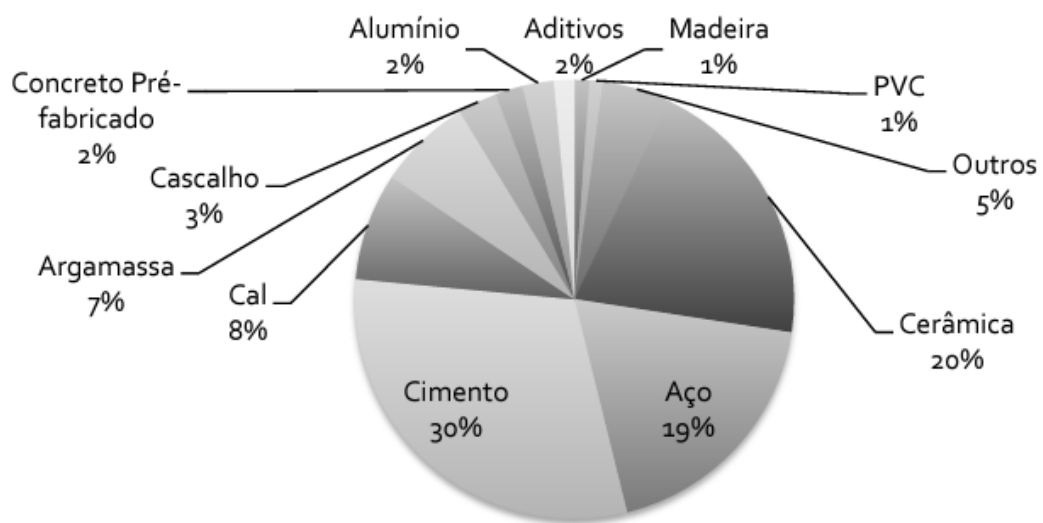
Relacionado diretamente com a redução de consumo de recursos ambientais e consequentemente gerando um decréscimo no impacto gerado na natureza, tem avançado também na construção civil, visto com bons olhos pelos investidores (CTE, 2021). O ESG promove melhorias tanto para a própria construtora, quanto para seus clientes que são cativados a fazerem o mesmo e geram benefícios ao meio ambiente e sociedade, utilizando de materiais renováveis, explorando a eficiência elétrica e hidráulica e aumentando sua lucratividade, uma vez que reduzem seus custos e fortalecem sua marca no mercado (FERREIRA; GOMES, 2021).



**Figura 25 - Benefícios reportados por praticantes do *Lean Construction*. Fonte: *Mcgraw Hill Construction*, 2013.**

Já para a redução do *Carbon footprint*, a principal solução foi a troca de material primário principal para as construções de edifícios. O método usual no Brasil que envolve alvenaria convencional, é feito principalmente por cimento, areia, água e brita,

sendo todos estes componentes grandes agentes poluentes em todas as etapas da sua produção. Entretanto, no método em Wood frame verificou-se que a madeira é um material que além de renovável, reduz as emissões de CO<sub>2</sub> e serve de estoque temporário, dependendo do tipo de madeira utilizado, sendo eficiente no combate às emissões de carbono gerados pela construção civil (ORLANDINI, 2021). No Gráfico 1 é possível ver a porcentagem da contribuição de CO<sub>2</sub> gerado aos principais materiais utilizados na construção civil.



**Gráfico 1 - Contribuição de CO<sub>2</sub> associado ao processo de manufatura dos materiais empregados em 1m<sup>2</sup>. Fonte: Adaptado de Bribián; Capilla; Usón, 2011.**

Bragança e Mateus (2006) descrevem que uma edificação é considerada sustentável quando ainda na fase de projeto, vários fatores e índices que possam mensurar o quão sustentável ela será são aplicados. As construções em Wood frame atendem aos requisitos de que, quando aplicado índices sustentáveis, a grande maioria deles são contemplados neste método construtivo. Pilares como: Economia de água e energia, durabilidade da construção, conservação e manutenção, materiais ecoeficientes, baixa massa de construção, minimização da produção de resíduos e uma execução econômica, são todos medidos às construções em madeira, que se

mantem competente na sua metodologia e execução, sustentando assim um título de construção sustentável (BRAGANÇA; MATEUS, 2006).

## **4.2 Comparação com o método de construção em alvenaria convencional e *Wood frame***

O termo “comparação” é relacionado na língua portuguesa como sendo uma figura de linguagem que relaciona dois ou mais termos com a intenção de descrever seus elementos e fazendo uma ligação entre eles. Segundo o dicionário online Dicio (2022), comparação é “a ação de comparar, de analisar o que se difere ou se assemelha” e “relação estabelecida entre dois termos”.

A seguir, serão apresentadas comparações entre os métodos apresentados no trabalho em *Wood frame* e o modelo convencional de construções adotados no Brasil, a alvenaria.

### **4.2.1 Aspectos construtivos**

Devido à grande facilidade de obtenção de recursos em um país abundante como o Brasil, e a utilização de forma errônea da madeira na antiguidade, as construções residenciais em alvenaria se tornaram o modelo mais utilizado e se tornou o padrão do país. O sistema construtivo convencional é dominado por técnicas artesanais e mão de obra pouco qualificada, gerando assim um alto índice de perdas e retrabalhos (ISTCHUK; SILVA; MIOTTO, 2017).

O método construtivo convencional é feito a partir do uso de concreto armado em sua superestrutura, o qual amplifica o peso e carregamento da edificação, e necessita da utilização de formas para o molde do concreto, aumentando assim o consumo de material e de desperdícios (SOUSA, 2018). E de acordo com Hilgenberg Neto (2004), as obras em alvenaria convencional carecem de uma quantidade de tempo considerável em todas as suas etapas. Durante as fases de execução, o tempo de cura está presente nas fases de fundação, pilares e vigas, emboço, reboco e chapisco, o que só está apto a continuar a execução da atividade pós período de cura. A

agilidade nos processos convencionais é limitada pelo uso de ferramentas com baixa tecnologia, o que além de comprometer a qualidade do serviço, ainda demanda mais precisão e tempo para ser finalizado (ALVES, 2015).

Já no *Wood frame*, como é um modelo de construção seca, que necessita de uma mão de obra com qualificação e que utiliza de recursos tecnológicos para a execução dos serviços como ferramentas e os painéis de montagem industrializados que já chegam prontos na obra, a otimização desse método é muito mais produtiva e reduz tanto o tempo de execução quanto os desperdícios e retrabalhos gerados (SOUSA, 2018). No Brasil, segundo o Instituto Brasileiro de Educação Continuada (INBEC, 2022), a empresa Tecverde se mobilizou para lançar a “CASA 1.0” que consiste em casas feitas com painéis de madeira e prontas em 1 dia. E de acordo com um estudo feito por Vasques e Pizzo (2014) uma comparação entre os sistemas construtivos foi feita para uma residência de 74m<sup>2</sup>, onde em alvenaria convencional teve um tempo de execução de 8 meses e em *Wood frame* de 2 meses.

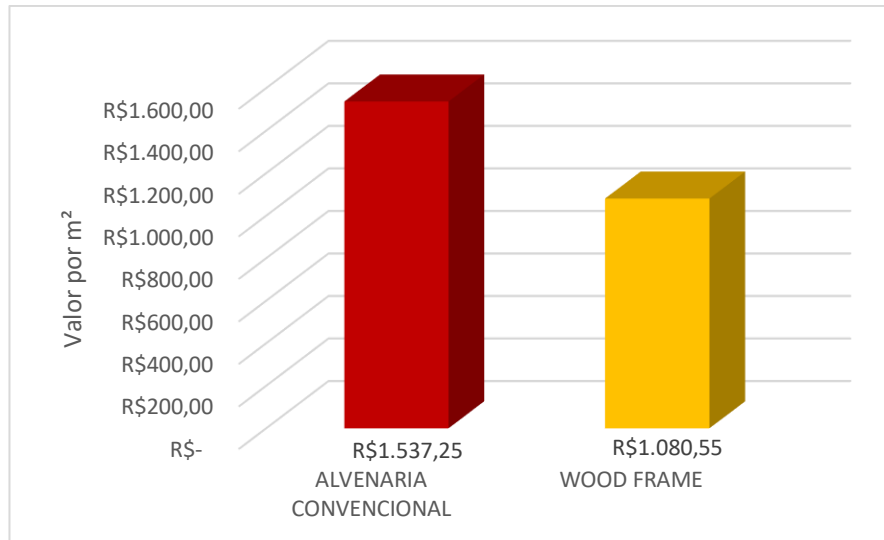
A Engenharia consiste na aplicabilidade de soluções práticas e eficientes para solucionar problemas, apresentando métodos inovadores e economicamente viáveis. A limitação dos recursos financeiros, variabilidade dos valores de materiais no mercado, fazem parte do cotidiano da engenharia. O grande desafio então do engenheiro, é manter a padronização dos serviços, evitar perdas e desperdícios apesar de todo o entorno (SOUSA, 2018).

De acordo com Brüggemann (2017), a análise comparativa dos custos por m<sup>2</sup> entre alvenaria convencional e em *Wood frame* é mostrada no Gráfico 2, sendo que, há uma diferença nos preços de aproximadamente 30%. Segundo o autor, a alvenaria convencional corresponde à R\$1.537,25/m<sup>2</sup> enquanto a estrutura de madeira à R\$1.080,55/m<sup>2</sup>.

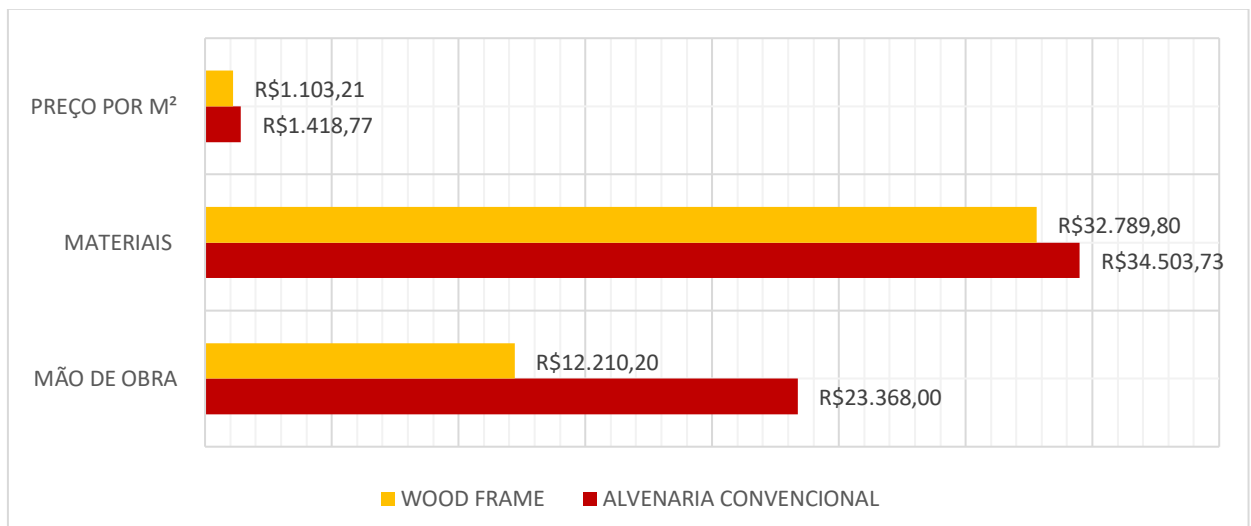
Já Alves e Ponciano (2018) utilizam de um projeto de 40,79m<sup>2</sup> disponibilizado pela Companhia de Habitação do Estado de Minas Gerais (COHAB) para comparar os preços entre os métodos construtivos (projetos apresentados no ANEXO A). A residência foi analisada pelos valores destinados à mão de obra e materiais. Dessa

forma, pelo método convencional teve com o custo total de R\$57.871,73 e já em *Wood frame* o custo de R\$45.000,00 (Gráfico 3).

Seguindo as citações dos autores, em praticamente todas as etapas do processo houve redução das despesas geradas pelo sistema *Wood frame* quando comparado ao modelo convencional. Essas reduções se deram a partir da redução de custo com materiais, redução significativa de desperdícios redução do tempo de execução.



**Gráfico 2 – Análise comparativa de custos por m². Fonte: O autor, 2020.**



**Gráfico 3 - Comparativo de custos entre alvenaria convencional e *Wood frame*. Fonte: PONCIANO, 2018.**

#### 4.2.2 Impactos ambientais

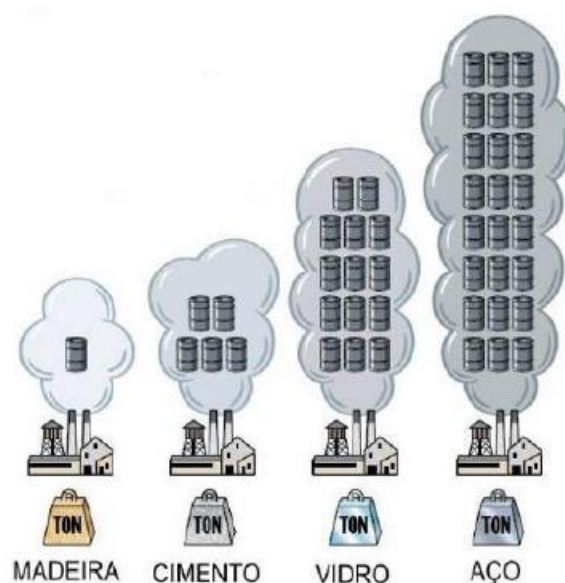
De acordo com que os materiais que são utilizados na construção convencional são movidos ao longo do seu ciclo de vida, vão se gerando resíduos. A cadeia produtiva de cada material utilizado na construção civil, mesmo que isoladamente, causa impactos consideráveis ao meio ambiente (AGOPYAN; JOHN, 2011). Dos materiais utilizados para as construções convencionais, o cimento tem grande impacto negativo (VELLOSO, 2010). Esse material é feito a partir de uma indústria que consome uma grande quantidade de energia tanto térmica quanto elétrica, além da contaminação da água, ar e solo nas comunidades no entorno das fábricas. E também, apenas as indústrias, são responsáveis por aproximadamente 3% das emissões mundiais de GEE e 5% das emissões de CO<sub>2</sub> (DEJA; ULIASZ-BOCHENCZYK; MOKRZYCKI, 2010). No que diz respeito a outros componentes como aço e agregados, tanto graúdos como miúdos, os impactos estão relacionados as mudanças causadas nas características físicas, químicas e biológicas dos terrenos, devido as escavações, remoção da vegetação e cortes nas camadas do solo (NOBRE FILHO, 2009).

No *Wood frame* é tido como um método de construção sustentável, sendo assim minimizando ao máximo seu impacto ambiental causado. Neste método, a questão sustentável é potencializada ainda mais se tratando do Brasil, pois pode ser um material de fácil aquisição no país (DIAS, 2005). Como mencionado anteriormente no tópico “2.2.8 Reflorestamento” o reflorestamento permite ciclos curtos, médios e longos dos ecossistemas florestais.

Segundo Spadotto *et al.* (2011), o Brasil gera cerca de 685 milhões de toneladas de entulhos, causando mais custos com coleta, transporte e deposição para os tais resíduos, que basicamente são materiais de fontes não renováveis. No sistema convencional de construção, o índice de geração de resíduo é ainda maior devido à necessidade de recortes nas paredes para as instalações prediais (SOUSA, 2018). Ademais, segundo a autora, a falta de planejamento e má execução fazem com que acresça a quantidade de resíduos gerados, uma vez que estes são providos de materiais como areia, tijolos e argamassa.

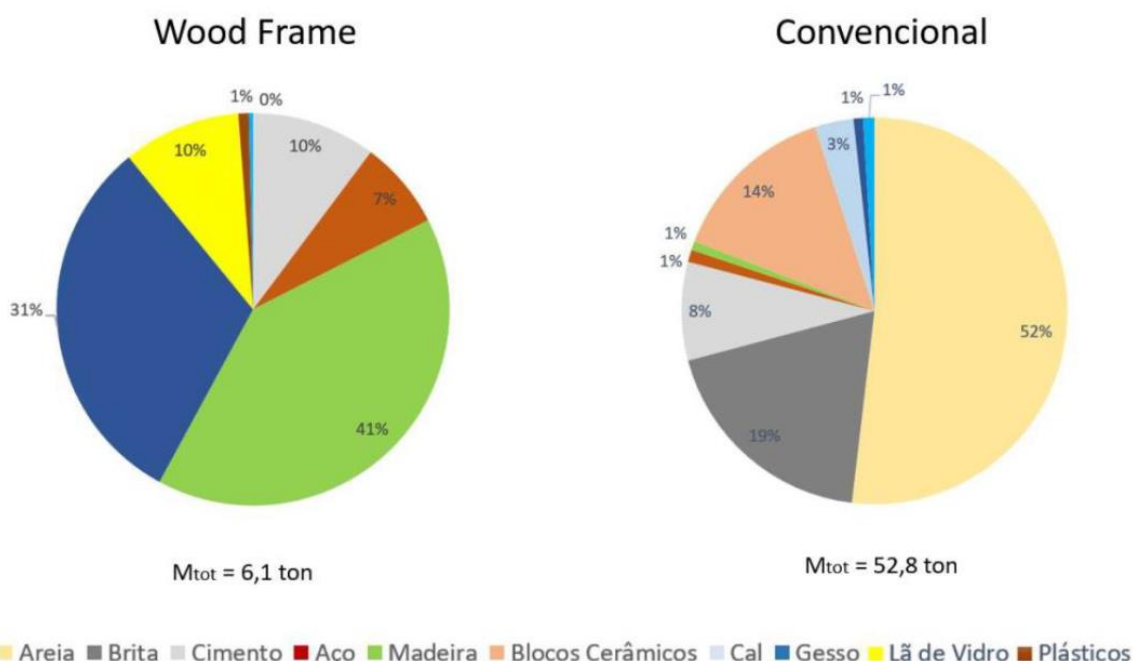


A utilização da madeira proporciona uma suavidade na construção. Sendo o material primordial do método construtivo em *Wood frame*, a madeira é um material renovável e natural, que possui baixo consumo energético para sua produção quando comparado aos outros materiais utilizados no método de alvenaria convencional (Figura 26) (CARNEIRO, 2017).



**Figura 26 – Representação da quantidade de energia necessária para a produção de 1 tonelada de madeira, cimento, vidro e aço. Fonte: Veloso, 2010.**

Resultantes da conversão das quantidades de matéria prima para quilogramas dos materiais utilizados em uma comparação entre uma construção de 50m<sup>2</sup> em alvenaria convencional e *Wood frame*, Istchuk (2016) informa no Gráfico 4 a relação entre as matérias primas utilizadas por ambos os métodos construtivos.



**Gráfico 4 – Perfil de matérias-primas para os sistemas construtivos (kg). Fonte: Istchuk, 2016.**

A construção em *Wood frame* consome apenas 11,5% da massa total da construção convencional, totalizando 6,1 toneladas, e além disso é capaz de entregar uma obra com a mesma qualidade do modelo de alvenaria, além de utilizar de um material renovável na natureza e que neutraliza o carbono atmosférico no seu processo de produção, diferindo dos processos para gerar os materiais que abrangem a alvenaria convencional (ISTCHUK; MIOTTO; SILVA, 2017).

### 4.3 Cenário brasileiro

As características culturais do Brasil alinhado com a falta de informações sobre as novas tecnologias de construção civil são uma das causas do atraso do país relacionado ao *Wood frame* em relação à outras regiões do mundo, mesmo o Brasil tendo um potencial maior que os outros nesse quesito. A falta de interesse e o conformismo por parte dos profissionais da área, refletem na escolha do uso de materiais (PEDRESCHI; GOMES; MENDES, 2005). Isso também é evidenciado pela

falta de trabalhos acadêmicos-científicos relacionados à área somados ao limitado número de disciplinas relacionadas as estruturas de madeira.

Zenid (2009) menciona que no Brasil a madeira é empregada usualmente na construção civil apenas como ferramenta de auxílio na execução, sendo utilizadas como andaimes, escoramentos, instalações do canteiro de obras e em formas, como estrutura temporária. A utilização da madeira é mais difundida apenas no que se refere à construção de telhados, pequenas pontes e acabamentos em móveis (MAURO; FABIO, 2013, apud PFEIL; PFEIL, 2003).

Para Molina e Calil Junior (2010), é paradoxal a dificuldade da implementação e constatar a madeira como sendo uma solução sustentável, uma vez que a indústria de reflorestamento brasileira é uma das mais competitivas do mundo. Mas apesar dos problemas citados, com a popularização dos assuntos referentes à preocupação com o impacto causado no meio ambiente pela construção civil, a madeira vem se tornando aos poucos um material utilizado com mais eficiência para um desenvolvimento sustentável (RESENDE, *et al.*, 2021).

Necessitado de soluções sustentáveis e visto como um mercado promissor pelas condições favoráveis no país, atualmente no Brasil existem mais de 50 profissionais capacitados no país, entre eles “formadores de opinião, representantes de associações e empresas do setor madeireiro, construtivo, acadêmico, financeiro e tecnológico” que buscam a implementação do método construtivo em *Wood frame* no país (MOLINA; CALIL JUNIOR, 2010). Segundo o autor, já existem também empresários que individualmente buscam difundir de forma organizada o conceito deste método construtivo, buscando padronização de acordo com a realidade do país e da divulgação para maior conhecimento da sociedade.

Sendo assim, a expansão das práticas em *Wood frame* depende da conscientização e educação dos profissionais ligados à área, da sociedade de entender que as tecnologias evoluíram e não existe mais a ideia ultrapassada relacionando a madeira e fraca resistência e principalmente dos incentivos governamentais. Santos e Sotsek (2018) após pesquisas, afirmam que:

“A expansão do *Wood frame* no Brasil depende fortemente dos incentivos governamentais, do aumento da integração dos agentes tanto da cadeia de valor da construção civil como do setor madeireiro, da necessidade de disseminar mais informações aos usuários finais como forma de combate ao preconceito com o uso da madeira e, por fim, da necessidade de formar profissionais capacitados para atuar de forma direta com a construção em madeira.”

A principal barreira vista pelo usuário final está relacionada com a credibilidade que é passada pelo material, por isso é de fundamental importância de que se externem mais informações e haja o incentivo em pesquisas relacionadas a área. Assim, 3 problemas são solucionados ao mesmo tempo: a sustentabilidade das edificações em todas as etapas do processo de execução, a maior preparação dos profissionais da área, e a diminuição do valor da mão de obra no mercado, tendo em vista que haverá mais trabalhadores hábeis.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve como objetivo a apresentação de métodos sustentáveis que podem ser aplicados ao modelo de construção em *Wood frame* de forma a reduzirem os impactos ambientais causado pela construção civil e incentivar esse novo método construtivo para a realidade brasileira.

A construção em *Wood frame* tem se mostrado uma solução de construção alternativa em todo mundo como um método prático de rápida execução, alta produtividade, economicamente viável e que em todo o seu processo é capaz de reduzir significativamente a exploração de recursos naturais, geração de resíduos e emissão de gases poluentes. O principal elemento, a madeira, é um recurso natural e que há um grande potencial de utilização como estrutura devido as suas propriedades, e que pode ser renovado na natureza dentro dos seus ciclos.

A sustentabilidade na área da construção civil é de fundamental importância para a sociedade como um todo, uma vez que a indústria civil é responsável por grande parcela da geração de dióxido de carbono, poluição da água e solo e exploração de recursos naturais e não naturais. Dessa forma, agir com métricas sustentáveis de forma a mensurar, datar os impactos causados e corrigir nos pontos deficientes.

Portanto, o sistema em *Wood frame* se mostrou de fato mais sustentável do que o método em alvenaria convencional em todas as etapas, trazendo maior benefício ao meio ambiente. É essencial também de que se haja mais auxílio governamental para a difusão dessa ideia, mostrando os benefícios gerados por esse tipo de sistema construtivo e que minimize o preconceito da população com o uso da madeira em construções.

É fundamental também que os profissionais saiam da zona de conforto e se dediquem a aprender sobre esse novo método, pois a inserção do material no mercado depende também do conhecimento dos mesmos para a execução e manutenção. Já no ramo acadêmico, é essencial que o incentivo por matérias e pesquisas referentes madeiras como sistema estrutural seja fomentado, pois há um

grande potencial de aplicação prática, a exemplo de outras regiões onde essa ideia já é difundida.

No Brasil, devida à grande área de florestas e número de edificações construídas anualmente, existem um grande potencial a ser trabalhado no que se refere ao *Wood frame*, basta que haja incentivos por parte do governo e aceitação, dessa forma terão mais normas regulamentadoras tanto para a exploração da madeira quanto para execução e manutenção dos edifícios.

Devido à falta, no Brasil, de uma literatura técnica e científica sobre os temas abordados relacionados ao sistema construtivo em *Wood frame*, segue algumas recomendações para trabalhos futuros:

- Análise dos sistemas de vedação aplicados no método *Wood frame*;
- Comparação do método construtivo *Wood frame* com *Steel frame*;
- Cronograma físico para construções seguindo o modelo *Wood frame*;
- Análise dos métodos construtivos para construções acima de 5 pavimentos.

## REFERÊNCIAS

ABDI. **Manual da construção industrializada**. 2015. Disponível em: <<https://www.tecverde.com.br/wp-content/uploads/2016/07/Manual-de-Construc%CC%A7a%CC%83o-Industrializada.pdf>>. Acesso em: 04 agosto 2022.

ABRAF - Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas. **Anuário estatístico da ABRAF. 2010**. Disponível em: <<http://www.bibliotecaflorestal.ufv.br/bitstream/handle/123456789/3906/anuario-ABRAF-2010.pdf?Sequence=1&isAllowed=y>>, Acesso em 12 de agosto de 2022.

ABREU, Raimunda Liége Souza de; CAMPOS, Ceci Sales; HANADA, Rogério Eiji; VASCONCELLOS, Francisco José de; FREITAS, Jorge Alves de. Avaliação de danos por insetos em toras estocadas em indústrias madeireiras de Manaus, Amazonas, Brasil. **Revista Árvore**, v. 26, p. 789-796, 2002.

AHMAD, Munir; ZHAO, Zhen-Yu; LI, Heng. Revealing stylized empirical interactions among construction sector, urbanization, energy consumption, economic growth and CO2 emissions in China. **Science of the Total Environment**, v. 657, p. 1085-1098, 2019.

ALMEIDA, Eduardo Lavocat Galvão de; PICCHI, Flávio Augusto. Relação entre construção enxuta e sustentabilidade. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 18, n. 1, p. 91-109. 2018.

ALMEIDA, Maria Naruna Felix; VIDAURRE, Graziela Baptista; LOUZADA, José Luis Penetra Cerveira; PEZZOPANE, José Eduardo Macedo; OLIVEIRA, Jean Carlos Lopes; CÂMADA, Ana Paula; SILVA, Maria Emilia Calvão Moreira; BARROS, Ana Isabel Ramos Novo Amorim; MATOS, Carlos da Costa; ALVES, Ana Maria Martins; CAMPOE, Otávio Camargo; ALVARES, Clayton Alcarde. Differences in wood anatomy and chemistry of a Eucalyptus urophylla clone explained by site climate conditions. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 52, n. 5, p. 834-844, 2022.

ALVES, Bruno Sales; PONCIANO, Thais Carneiro. **COMPARATIVO DE VIABILIDADE ENTRE OS SISTEMAS CONSTRUTIVOS WOOD FRAME E ALVENARIA CONVENCIONAL PARA RESIDÊNCIAS DE PEQUENO PORTE NA REGIÃO DO MÉDIO PIRACICABA**. 2018.

ALVES, Letícia Pereira. Comparativo do custo benefício entre o sistema construtivo em alvenaria e os sistemas Steel Frame e Wood frame. **Revista Especialize On-line IPOG**, Goiânia, Vol. 01, 10 ed., 09 de mar. de 2015.

AMORIM, Diogo António Loureiro Alves. **Pegada de Carbono de uma Empresa Produtora de Eletricidade de Fontes Renováveis**. 2013.

ANDRADE, Ricardo Teixeira Gregório de. **A pegada de carbono como um dos indicadores de sustentabilidade para medição da responsabilidade socioambiental empresarial: um estudo de caso na unidade sede da Petrobras em Natal-RN**. 2010. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

ARANTES, Paula Cristina Fonseca Gonçalves. **Lean Construction: filosofia e metodologias**. 2008.

ARAÚJO, Viviane Miranda. **Práticas recomendadas para a gestão mais sustentável de canteiros de obras**. 2009. Dissertação (Mestre em Engenharia) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6120:1980, Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). **Cargas para o cálculo de estruturas de edificações**. NBR6120:1980. Rio de Janeiro: ABNT, 1980.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6123:1988, Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). **Forças devidas ao vento em edificações**. NBR6123:1988. Rio de Janeiro: ABNT, 1988.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7190:1997, Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). **Projeto de Estruturas de Madeira**. NBR7190:1997. Rio de Janeiro: ABNT, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8681:2004, Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). **Ações e segurança nas estruturas –procedimento**. NBR 8681:2004. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

AVILA, Gilberto Jesus; PAIVA, Ely Laureano. Processos operacionais e resultados de empresas brasileiras após a certificação ambiental ISO 14001. **Gestão & Produção**, v. 13, p. 475-487, 2006.

AZAMBUJA, Marcos Eberhardt. **Comparativo de métricas de sustentabilidade**. 2013.

BARBIERI, José Carlos. **Organizações inovadoras sustentáveis: uma reflexão sobre o Futuro das Organizações**. 2007.

BARBIERI, José Carlos; CAJAZEIRA, Jorge. **Responsabilidade social empresarial e empresa sustentável: da teoria à prática**. Saraiva Educação SA, 2009.

BATALHA, Mário Otávio. Introdução à Engenharia de Produção. **Rio de Janeiro: Elsevier Editora Ltda**, 2008.

BAYER, Stephen. **Nó em uma peça de madeira**. 2013. Disponível em: <<http://engenheiriomadeireiro.blogspot.com/2018/06/a-madeira-x-fogo-exemplo-de-uma.html>>, Acesso em 15de agosto de 2022.



BERMEJO CLIMENT, Ramón; GARRIGUES, Isabel Figuerola-Ferretti; PARASKEVOPOULOS, Ioannis; SANTOS, Alvaro. ESG disclosure and portfolio performance. **Risks**, v. 9, n. 10, p. 172, 2021.

BERTELSEN, Sven. Lean Construction: Where are we and how to proceed. **Lean construction journal**, v. 1, n. 1, p. 46-69, 2004.

BERTOLINI, Hibrán Osvaldo Lima. **Construção via obras secas como fator de produtividade e qualidade**. Projeto de Graduação (Engenheiro Civil). Escola Politécnica. Rio De Janeiro, 2013.

BEZERRA, Larissa Marinho C. M. **Planejamento e controle da produção com a utilização de células de trabalho: estudo de caso em construções com vedações verticais em concreto armado moldadas in loco**. 157 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.

Blog Engenheiro Madeireiro. **A madeira x fogo: exemplo de uma estrutura incendiada**. 2018. Disponível em: <<http://engenheiromadeireiro.blogspot.com/2018/06/a-madeira-x-fogo-exemplo-de-uma.html>>, Acesso em 15 de agosto de 2022.

Blog Ferramentas Kennedy. **Conheça as vantagens do cinto para ferramentas**. 2021. Disponível em: <<https://www.ferramentaskennedy.com.br/blog/conheca-as-vantagens-do-cinto-para-ferramentas>>, Acesso em 08 de agosto de 2022.

Blog Ferramentas Kennedy. **Qual é a diferença entre a parafusadeira e a chave de impacto**. 2021. Disponível em: <<https://www.ferramentaskennedy.com.br/blog/qual-e-a-diferenca-entre-a-parafusadeira-e-a-chave-de-impacto>>, Acesso em 08 de agosto de 2022.

Blog Puma Brasil. **Como funciona e onde aplicar os pregadores pneumáticos?**. 2021. Disponível em: <<https://pumabrasil.com.br/como-funciona-e-onde-aplicar-os-pregadores-pneumaticos/#:~:text=Os%20pregadores%20pneum%C3%A1ticos%20s%C3%A3o%20ferramentas,ferramentas%20vers%C3%A1teis%2C%20potentes%20e%20robustas.>>, Acesso em 08 de agosto de 2022.

Blog Salles Imóveis Jundiaí e Itupeva. **Wood Frame Sistema Construtivo Sustentável e Seco**. 2019. Disponível em: <<https://www.salles.imb.br/conteudo/395/wood-frame-sistema-constutivo-sustentavel>>, Acesso em 08 de agosto de 2022.

Blog The Engineers Post. **29 Different types of saws used in workshop**. 2021. Disponível em: <<https://www.theengineerspost.com/types-of-saws/>>, Acesso em 08 de agosto de 2022.

BOCALON, Bruna Aparecida; BOMBONATO, Fabiele Aparecida; BRATTI, Bruna Keli Bianchini; HERMANN, Fernanda Raquel Vier. **UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DESDE OS PRIMÓDIOS DA HUMANIDADE ATÉ A CONTEMPORÂNEIDADE. Anais do Simpósio de Sustentabilidade e Contemporaneidade nas Ciências Sociais**, v. 2, n. 1, 2014.

BOER, Yvo. **Entrevista disponibilizada ao curso Greening the Economy: Lessons from Scandinavia**. 2015. Disponível em: <<https://www.coursera.org/learn/greening-the-economy/lecture/RSbyE/interview-a-global-green-growth-perspective>>, Acesso em 08 de agosto de 2022.

BRIBIÁN, Ignacio Zabalza; CAPILLA, Antonio Valero; USÓN, Alfonso Aranda. Life cycle assessment of building materials: Comparative analysis of energy and environmental impacts and evaluation of the eco-efficiency improvement potential. **Building and environment**, v. 46, n. 5, p. 1133-1140, 2011.

BRITO, Leandro Dussarrat. Patologia em estruturas de madeira: metodologia de inspeção e técnicas de reabilitação. **Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo**, 2014.

BRITO, Leandro Dussarrat; CALIL JUNIOR, Carlito. **Recomendações para o projeto e construção de estruturas com peças roliças de madeira de reflorestamento**. 2010.

BRITO, Leandro Dussarrat; JUNIOR, Carlito Calil. **Técnicas de inspeção visual (NDT) para avaliações das manifestações patológicas na estrutura de madeira roliça da “Ponte Fazenda Yolanda” em São Carlos, Brasil**. 2013.

BROWNING, K. A. The growth of large hail within a steady updraught. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 89, n. 382, p. 490-506, 1963.

BRUDER, Edson Marcelo. **Métodos de determinação da densidade básica e aparente da madeira de Eucalyptus sp**. 2012.

BRÜGGEMANN, C. **Comparativo entre alvenaria e wood frame ao longo da vida útil**. 129 p. Monografia (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Florianópolis. 2017.

CABRAL, Kempson. **Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável. Guia de comunicação e sustentabilidade**. 2020.

CAFFYN, Sarah. Development of a continuous improvement self-assessment tool. **International Journal of Operations & Production Management**, 1999.

CALIL JUNIOR, Carlito; BERARDI, Lívio Túlio; STAMATO, Guilherme Corrêa; FERREIRA, Núbia dos Santos Saad. **Estruturas de madeira: notas de aula**. 1998.

CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO. **Informativo CBIC Economia nacional e Construção Civil Desempenho recente e perspectivas**. [s. l.], 2020b. Disponível em: <<http://www.cbicdados.com.br/menu/pib-e-investimento/pib-brasil-e-construcao-civil>>. Acesso em 10 de agosto de 2022.

CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO. **Estudo comprova impacto da informalidade na construção civil e norteia ações da CBIC para reduzir sua incidência**. [S. l.], 2017. Disponível em: <<https://cbic.org.br/estudo-comprova-impacto-da-informalidade-na-construcao-civil-e-norteia-acoes-da-cbic-para-reduzir-sua-incidencia/>>. Acesso em 10 de agosto de 2022.

CAMPOS, R. J. A. **Diretrizes de projeto para produção de habitações térreas com estrutura tipo plataforma e fechamento com placas cimentícias**. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Edificação e Saneamento) – Universidade Estadual de Londrina. Londrina, 2006.

CAPRA, Fritjof. **The web of life: A new synthesis of mind and matter**. London: Flamingo, 1996.

CARDOSO, Larriê Andrey. **Estudo do método construtivo Wood framing para construção de habitações de interesse social**. 2015.

CARNEIRO, Thiago Schiavoni. **Análise comparativa de custos entre os sistemas construtivos em wood frame e em estrutura de concreto armado**. 2017.

CASTRO, Antônio Maria Gomes De. Prospecção de cadeias produtivas e gestão da informação. **Transinformação**, v. 13, p. 55-72, 2001.

CASTRO, Lucas Gomes de. **Análise estrutural da cobertura de madeira de um estabelecimento comercial**. 2017.

Catálogo de Madeiras Brasileiras para a Construção Civil. 2013.

CBIC. **ENIC 2020 debateu sobre imóveis sustentáveis e retomada da economia**. 2020. Disponível em: <<https://cbic.org.br/sustentabilidade/2021/01/27/enic-2020-debateu-imoveis-sustentaveis-e-retomada-da-economia-2>>, Acesso em 04 de agosto de 2022.

CENTRO DE TECNOLOGIA DE EDIFICAÇÕES. **Construção Civil: 5 motivos para estar em compliance**. [S.l.]. 2019. Disponível em: <<https://cte.com.br/blog/qualidade-e-desempenho/5-motivos-para-estar-em-compliance/>>. Acesso em 20 de agosto de 2022.

CHACON, Isabela Marquim Nogueira; FREITAS, Maria Luiza Macedo Xavier de. **O ensino de tectônica na UFPE e a concepção arquitetônica a partir da madeira laminada colada**. 2019.

CHKANIKOVA, Olga. Sustainable purchasing in food retail: inter-organisational management to green food supply chains. In: **The 3rd Nordic Retail and Wholesale Conference**. 2012.

CONFERÊNCIA DAS NAÇÕES UNIDAS SOBRE O MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO. **Agenda 21**. Rio de Janeiro, 1992.

COSTA, Eduardo Dalla; MORAES, Clauciana Schmidt Bueno de. Construção civil e a certificação ambiental: análise comparativa das certificações Leed e AQUA. **Espírito Santo do Pinhal**, 2013.

COSTA, M. Z. **Estudo de dificuldades para implantação da filosofia Lean em empresas construtoras**. Trabalho de conclusão de curso de graduação, Escola politécnica, Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ. 2018.

COSTA, V. E. **Caracterização físico-energética da madeira e produtividade de reflorestamentos de clones de híbridos de *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla***. 79 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista, Botucatu. 2006.

CRUZ, H. **Patologia, Avaliação e Conservação de Estruturas de Madeira**. 2001. 9f. Projeto de Pesquisa – Núcleo de Estruturas de Madeira – Laboratório Nacional de Engenharia Civil – Lisboa, Portugal. Disponível em: <<https://www.yumpu.com/pt/document/read/12948194/patologia-avaliacao-e-conservacao-de-estruturas-de-madeira>>, Acesso em 13 de agosto de 2022.

CRUZ, Helena; NUNES, Lina. A madeira como material de construção. **Núcleo de Estruturas de Madeira**, p. 27, 2005.

CUEVAS, Thaís de Biasi. **Estudo de caso: a importância de sistemas de certificação AQUA-HQE e LEED para a economia de água em edificações**. 2017.

DA LUZ OLIVEIRA, Maria Luíza; DAYREL, Dayse Menezes. Reflorestamento. **Revista Agroveterinária, Negócios e Tecnologias**, v. 6, n. 2, p. 34-49, 2021.

DAS GRAÇAS ROTH, Caroline; GARCIAS, Carlos Mello. Construção civil e a degradação ambiental. **Desenvolvimento em questão**, v. 7, n. 13, p. 111-128, 2009.

DE ARAUJO, Victor Almeida; GARCIA, José Nivaldo; BARBOSA, Juliana Cortez; GAVA, Maristela. Importância da madeira de florestas plantadas para a indústria de manufaturados. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 37, n. 90, p. 189-200, 2017.

DE ASSIS SILVA, Samuel; DE SOUZA LIMA, Julião Soares; ALVES, Aline Inácio. Estudo espacial do rendimento de grãos e porcentagem de casca de duas variedades de *Coffea arabica* L. visando a produção de café de qualidade. **Bioscience Journal**, 2010.

DEAN, Brian; DULAC, John; PETRICHENKO, Ksenia; GRAHAM, Peter. **Global Status Report 2016: Towards zero-emission efficient and resilient buildings**. GABC, UNEP. Paris, 2016.

DEJA, Jan; ULIASZ-BOCHENCZYK, Alicja; MOKRZYCKI, Eugeniusz. CO2 emissions from Polish cement industry. **International Journal of Greenhouse Gas Control**, v. 4, n. 4, p. 583-588, 2010.

DIAS, Gustavo Lacerda. **Estudo experimental de paredes estruturais de sistema leve em madeira (sistema plataforma) submetidas a força horizontal em seu plano.** 2005.

EDWARD, Allen; IANO, Joseph; THALLON, Rob; Ebooks Corporation. **Fundamentals of Residential Construction.** 3rd ed. Hoboken, N.J.: Wiley. 2011.

ESPINDOLA, Luciana da Rosa. **O wood frame na produção de habitação social no Brasil.** 2017. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

ESTADÃO. **Em quatro anos, emprego cai 34% na construção.** São Paulo, 2019. Disponível em: <<https://opinioao.estadao.com.br/noticias/editorial-economico,em-quatro-anos-emprego-cai-34-na-construcao,70002735805>>, Acesso em: 05 de agosto de 2022.

FERNANDES, Cristiane do Nascimento; FERREIRA, Cristiane Mayara de Souza; BERTINI, Alexandre Araújo. **A importância da tecnologia da informação como ferramenta de apoio à gestão organizacional na indústria da construção civil.** 2017.

FERNANDES, Nathan. **Japão planeja a construção do maior edifício de madeira do mundo.** Disponível em: <<https://revistagalileu.globo.com/Sociedade/noticia/2018/02/japao-planeja-construcao-do-maior-edificio-de-madeira-do-mundo.html>>, Acesso em 05 de janeiro de 2022.

FERREIRA, Moacir Porto; GOMES, Josir Simeone. Panorama do Controle Gerencial e suas interações com a Responsabilidade Social Corporativa: revisão sistemática de literatura com análise bibliométrica do período 2010-2019. **Revista Brasileira de Administração Científica**, v. 12, n. 3, p. 94-107, 2021.

FERREIRA, Roberto. **Desenvolvimento de tecnologia wood frame para habitações de interesse social.** 2013. Disponível em: <<https://www.robertoferreira.com.br/>>, Acesso em 15 de agosto de 2022.

FIGUEROA, Manuel Jesús Manriquez; MORAES, Poliana Dias de. Comportamento da madeira a temperaturas elevadas. **Ambiente construído**, v. 9, p. 157-174, 2021.

Fundação Vanzolini. **Certificação AQUA-HQE.** 2015a. Disponível em: <<http://vanzolini.org.br/aqua/certificacao-aqua-hqe/>>, Acesso em 11 de agosto de 2022.

Fundação Vanzolini. **Referenciais e Guias.** 2015b. Disponível em: <<http://vanzolini.org.br/aqua/referencias-e-guias/>>, Acesso em 11 de agosto de 2022.

GALVÃO, A. P. M.; JANKOWSKY, I. P. **Secagem racional da madeira.** São Paulo: Nobel, 1985. 111 p.

GBC Brasil. **LEED O+M.** 2014. Disponível em: <<http://www.gbcbrazil.org.br/leed-OM.php>>, Acesso em 11 de agosto de 2022.

GBC Brasil. **Soluções para as construções sustentáveis no Brasil. 6º Greenbuilding Brasil Conferência Internacional e Expo.** 2015. Disponível em: <<http://www.gbcbrazil.org.br/detalhe-noticia.php?cod=116>>, Acesso em 11 de agosto de 2022.

GIL, Lucas Almeida. **Análise da conjuntura de incorporadoras e construtoras frente ao movimento Environmental, Social and Governance–ESG no Brasil.** 2021.

GODFREY, L.; TODD, C. Defining thresholds for freshwater sustainability indicators within the context of South African water resource management. **Practice, Cases. Cape Town, South Africa,** 2001.

GODOY, Amália Maria Goldberg. A sugestão sustentável e a concessão das florestas públicas. **Revista de Economia Contemporânea**, v. 10, p. 631-654, 2006.

GOLDEMBERG, José; AGOPYAN, Vahan; JOHN, Vanderley M. **O desafio da sustentabilidade na construção civil.** Editora Blucher, 2011.

GOLDEMBERG, José; LUCON, Oswaldo. **Energia, meio ambiente e desenvolvimento.** 2008.

GONÇALVES, Fabrício Gomes; DA SILVA OLIVEIRA, José Tarcísio. Resistance to the attack of dry-wood termites (*Cryptotermes brevis*) of six wood species. **Cerne**, v. 12, n. 1, p. 080-083, 2006.

GONZAGA, Armando Luiz. **Madeira: Uso e conservação. Cadernos técnicos.** 2006.

HARLOW, W. H.; HARRAR, E. S. Textbook of dendrology, covering the important trees of the United States and Canada. **Textbook of dendrology, covering the important trees of the United States and Canada.**, 1958.

HELLMEISTER, C. R.; BITTENCOUR, L. A.; OLIVEIRA; R. W.; DE LUCCA, A. M.; ZULLO, D.; MEO JÚNIOR, J. P.; MELGES, J. L.; PEREIRA, M. L.; MODESTO, N. P.; COATTI, R. L.; DELANINA, W. F.; BALSAMO, R. H.; Observações sobre o valor do eletroencefalograma rotineiro na detecção de distúrbios neurossensoriais predisponentes a acidentes do trabalho, em empregados de uma empresa distribuidora de energia elétrica. **Rev. bras. saúde ocup**, p. 7-18, 1983.

HENRIQUES, Renato. As mudanças climáticas ao longo da história da Terra: O que nos dizem as rochas. **I Congresso Viver Ambiente**, p. 8-9, 2008.

HIGHLEY, Terry L.; SCHEFFER, Theo H. **Controlling decay in waterfront structures: Evaluation, prevention, and remedial treatments.** US Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 1989.

HILGENBERG NETO, Miguel F. **Estudo de Viabilidade Técnico / Econômica da Casa de Madeira Popular no Estado do Paraná.** Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Construção Civil, Universidade Federal do Paraná. Curitiba. 2004.

HOWELL, Gregory A. What is lean construction-1999. In: **Proceedings IGLC**. Citeseer, 1999. p. 1.

HQE. **Be HQE – List of projects**. 2016. Disponível em: <<http://www.behqe.com/hqe-in-the-world/list-of-projects>>, Acesso em 11 de agosto de 2022.

HUISINGH, Donald. **Entrevista disponibilizada ao curso Greening the Economy: Lessons from Scandinavia**. 2015. Disponível em: <<https://www.coursera.org/learn/greening-the-economy/lecture/gaCtz/cleaner-and-greener-production>>, Acesso em 08 de agosto de 2022.

IBERDROLA. **O que é a pegada de carbono e por que é vital reduzi-la para frear as mudanças climáticas?**. 2020. Disponível em: <<https://www.iberdrola.com/sustentabilidade/pegada-carbono>>, Acesso em 11 de agosto de 2022.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS IPT. **Madeira: o que é e como pode ser processada e utilizada**. São Paulo: 1985. 189p. (Boletim ABPM, 36). 1985.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate Change 2001: the scientific basis. 2001**. Disponível em: <[https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/WGI\\_TAR\\_full\\_report.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/WGI_TAR_full_report.pdf)>, Acesso em 13 de agosto de 2022.

IRIGARAY, Hélio Arthur Reis; STOCKER, Fabricio. ESG: novo conceito para velhos problemas. **Cadernos EBAPE. BR**, v. 20, p. 1-4, 2022.

ISTCHUK, R. N. **Habitação em Wood Frame: Estudo de viabilidade e sustentabilidade no contexto Paranaense**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil), Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2016.

ISTCHUK, Rodrigo Novais; MIOTTO, José Luiz; SILVA, Leonardo Martins e. **HABITAÇÃO EM WOOD FRAME: Análise de sustentabilidade ambiental**. 2017.

JANKOWSKY, Ivaldo Pontes; LEPAGE, Ennio Silva. **Potencialidade do creosoto de Eucalyptus spp como preservativo para madeiras**. 1986.

JUNIOR, Arnaldo. **Araucaria Angustifolia (pinheiro brasileiro) em Curitiba – Brasil**. 2015. Disponível em: <<https://br.depositphotos.com/72720233/stock-photo-araucaria-angustifolia-brazilian-pine-in.html>>, Acesso em 15 de agosto de 2022.

KARPINSK, Luisete Andreis. **Gestão diferenciada de resíduos da construção civil: uma abordagem ambiental**. Edipucrs, 2009.

Kollmann, Franz F. P.; Côté Jr; Wilfred A. **Principles of Wood Science and Technology/Solid Wood**. New York: Springer. 1968.

KOSKELA, Lauri. **Application of the new production philosophy to construction**. Stanford: Stanford university, 1992.

LAMBERTS, Roberto; TRIANA, Maria Andrea; FOSSATI, Michele; BATISTA, Juliana Oliveira. **SUSTENTABILIDADE NAS EDIFICAÇÕES: CONTEXTO INTERNACIONAL E ALGUMAS REFERÊNCIAS BRASILEIRAS NA ÁREA**. 2008.

LANCKER, E.; NIJKAMP, P. **A policy scenario analysis of sustainable agricultural development options: a case study for Nepal**. *Impact Assess. Project Appraisal*. 2000, 18 (2), 111-124.

LEITE, Januária Cecília Pereira Simões; LAHR, Francisco Antônio Rocco. Diretrizes básicas para projeto em Wood Frame. **CONSTRUINDO**, 2015.

LELIS, A. T.; BRAZOLIN, S.; FERNANDES, J. L. G.; LOPEZ, G. A. C.; MONTEIRO, M. B. B.; ZENID, G. J. **Biodeterioração de madeiras em edificações**. ISBN 85-09-00115- 4. IPT, Instituto de Pesquisas Tecnológicas. São Paulo. 2001.

LIMA, Eduardo Campos. **Radiers: conheça as etapas de execução das fundações rasas de concreto armado, reforçado com fibras ou protendido**. 2018. Disponível em: <<https://www.aecweb.com.br/revista/materias/radier-de-concreto-e-solucao-de-fundacao-rasa-para-varios-tipos-de-solo/17269>>, Acesso em 15 de agosto de 2022.

LIMA, Telma Cristiane Sasso de; MIOTO, Regina Célia Tamaso. Procedimentos metodológicos na construção do conhecimento científico: a pesquisa bibliográfica. **Revista katálysis**, v. 10, p. 37-45, 2007.

LITTRÉ, Emile. **Dictionnaire de la langue française: Q-Z**. Hachette, 1883.

LOGSDON, Norman Barros; JUNIOR, Carlito Calil. **Influência da umidade nas propriedades de resistência e rigidez da madeira**. 2002.

LOURENÇO, Paulo B.; BRANCO, Jorge M. **Dos abrigos da pré-história aos edifícios de madeira do século XXI**. 2012.

**Madeira: uso sustentável na construção civil**. Geraldo José Zenid. 2. Ed. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas: SVMA. 2009.

MAIA, Laura Costa; ALVES, Anabela Carvalho; LEÃO, Celina Pinto. **Implementar o Modelo de Produção Lean na ITV: Porquê e como?**. 2012.

MALAN, François S. Eucalyptus improvement for lumber production. **Seminário internacional de utilização da madeira de eucalipto para serraria**, v. 1, p. 1-19, 1995.

MANRÍQUEZ FIGUEROA, Manuel Jesús. **Coefficientes de modificação das propriedades mecânicas da madeira devidos à temperatura**. 2012.

MARHANI, Mohd Arif; JAAPAR, Aini; BARI, Nor Azmi Ahmad. Lean Construction: Towards enhancing sustainable construction in Malaysia. **Procedia-social and behavioral sciences**, v. 68, p. 87-98, 2012.

MARTINS, Romulo Henrique Batista. **Painel OSB sanduíche com núcleo ondulado de biomassa florestal residual**. 2021. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.



MATEUS, Ricardo; BRAGANÇA, Luís. **Tecnologias construtivas para a sustentabilidade da construção**. Edições Ecopy, 2006.

Mauro, D. & Fabio, J. P. **Madeira na construção civil: da ilegalidade à certificação**. Dissertação, Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 2013.

MCCORMICK, Kes. **Entrevista disponibilizada ao curso Greening the Economy: Lessons from Scandinavia**. 2015. Disponível em: <<https://www.coursera.org/learn/greening-the-economy/lecture/lmno/wicked-problems>>, Acesso em 08 de agosto de 2022.

MEC – Ministério da Educação. **Educação Profissional. Área profissional: Construção Civil**. 2000. Disponível em: <<http://portal.mec.gov.br/setec/arquivos/pdf/constciv.pdf>>, Acesso em 10 de agosto de 2022.

MECHI, Andréa; SANCHES, Djalma Luiz. Impactos ambientais da mineração no Estado de São Paulo. **Estudos avançados**, v. 24, p. 209-220, 2010.

MELO, Aline. **Palmeira-imperial: conheça a história no Brasil e saiba como cuidar**. Revista Casa e Jardim. 2021. Disponível em: <<https://revistacasaejardim.globo.com/Casa-e-Jardim/Paisagismo/Plantas/noticia/2021/11/palmeira-imperial-conheca-historia-no-brasil-e-saiba-como-cuidar.html>>, Acesso em 15 de agosto de 2022.

MELO, Rafael Rodolfo de; STANGERLIN, Diego Martins; SANTINI, Elio José; HASELEIN, Clovis Roberto; GATTO, Darci Alberto; SUSIN, Felipe. Durabilidade natural da madeira de três espécies florestais em ensaios de campo. **Ciência Florestal**, v. 20, p. 357-365, 2010.

MIKHAILOVA, Irina. Sustentabilidade: evolução dos conceitos teóricos e os problemas da mensuração prática. **Economia e Desenvolvimento**, 2004.

MOLINA, Julio Cesar; CALIL JUNIOR, Carlito. **Sistema construtivo em “wood frame” para casas de madeira**. v. 31, n. 2. Londrina-PR. Disponível em: <<http://www.uel.br/revistas/uel/index.php/semexatas/article/view/4017>>, Acesso em 13 de agosto de 2022.

MONDEN, Yasuhiro. **Sistema Toyota de Produção: uma abordagem integrada ao just in time**. Bookman Editora, 2015.

MONTEIRO FILHA, Dulce Corrêa; COSTA, Ana Cristina Rodrigues da; ROCHA, Érico Rial Pinto da. **Perspectivas e desafios para inovar na construção civil**. 2010.

MOREIRA, P. V.; BAPTISTA, P.; OLIVEIRA, F. S. de. **Sistema estruturado em madeira – light wood framing**. *Téchne*, São Paulo, n. 204, mar. 2014. MOREIRA, P. V.; MONICH, C. R. Panorama do sistema construtivo TECVERDE. Curitiba. 2016.

NASCIMENTO, Elimar Pinheiro do. Trajetória da sustentabilidade: do ambiental ao social, do social ao econômico. **Estudos avançados**, v. 26, p. 51-64, 2012.

NEIJ, Lena. **Entrevista disponibilizada ao curso Greening the Economy: Lessons from Scandinavia.** 2015. Disponível em: <<https://www.coursera.org/learn/greening-the-economy/lecture/LJzPX/what-is-a-green-economy>>, Acesso em 08 de agosto de 2022.

NOBRE FILHO, Pedro Aguiar. **Impactos ambientais causados pela extração de areia no canal ativo do Rio Canindé” “Paramoti” “Ceará”.** Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Geologia). Universidade Federal do Ceará. Fortaleza. 2009.

NOONE, Kevin; ROCKSTRÖM, Johan; PERSSON, Asa; STEFFEN, Will; CHAPIN III, F. Stuart; LAMBIN, Eric F.; LENTON, Timothy M.; SCHEFFER, Marten; FOLKE, Carl; SCHELLNHUBER, Hans Joachim; NYKVIST; Bjorn; WIT, Cynthia A. de; HUGHES, Terry; LEEUW, Sander Van Der; RODHE, Henning; SORLIN, Sverker; SNYDER, Peter K.; COSTANZA, Robert; SVEDIN, Uno; FALKENMARK, Malin; KARLBERG, Louise; CORELL, Robert W.; FABRY, Victoria J.; HANSEN, James; WALKER, Brian; LIVERMAN, Diana; RICHARDSON, Katherine; CRUTZEN, Paul; FOLEY, Jonathan A. A safe operating space for humanity. **nature**, v. 461, n. 7263, p. 472-475, 2009.

OLIVEIRA, José Tarcísio da Silva; TOMAZELLO FILHO, Mario; FIEDLER, Nilton César. Avaliação da retratibilidade da madeira de sete espécies de Eucalyptus. **Revista Árvore**, v. 34, p. 929-936, 2010.

OLIVEIRA, José Tarcísio de; TOMASELLO, Mário; SILVA, José de Castro. Resistência natural da madeira de sete espécies de eucalipto ao apodrecimento. **Revista Árvore**, v. 29, p. 993-998, 2005.

ONU BR – NAÇÕES UNIDAS NO BRASIL. A Agenda 2030. 2015. Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/pos2015/agenda2030/>>, Acesso em 05 de agosto de 2022.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Declaração Universal dos Direitos Humanos, 1948.** Disponível em: <<https://www.unicef.org/brazil/declaracao-universal-dos-direitos-humanos>>, Acesso em 24 de junho de 2022.

ORGANIZAÇÃO PARA A COOPERAÇÃO E DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO (OCDE). **Rumo a um desenvolvimento sustentável: indicadores ambientais.** Tradução de Ana Maria S. F. Teles. Salvador: CRA. 224. Série Cadernos de Referência, 9. 2002.

ORLANDINI, Luana Caroline. **Estratégias para Redução das Emissões de CO2 e o Aumento de Estoque Temporário de Carbono do Setor da Construção por Meio do Uso da Madeira.** Dissertação de Mestrado. 2022.

OSCO, Lucas Prado; OLIVEIRA, Rodrigo Coladello; BOIN, Marcos Norberto; FELÍCIO, Munir Jorge. A Exploração de Recursos Naturais: Legislação e Impactos. **Encontro de Ensino, Pesquisa e Extensão, Presidente Prudente**, 2013.

PACHECO-TORGAL, Fernando; JALALI, Said. **A sustentabilidade dos materiais de construção**. 2010.

PARRA, Diego Antônio Carvalho; GALVÃO, João Paulo Palmeiras; DA SILVA, Julierme Siriano. Patologias em estruturas de madeira. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 8, p. e33611830268-e33611830268, 2022.

PARTEL, Priscila M.P. **Sistemas Estruturais e Construtivos Utilizando Madeira Roliça de Reflorestamento**. São Carlos. 180 pg. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. 1999.

PEDRESCHI, Ricardo; GOMES, Francisco Carlos; MENDES, Lourival Marin. Avaliação do desempenho da madeira na habitação utilizando abordagens de sistemas. **Cerne**, v. 11, n. 3, p. 283-293, 2005.

PEDROSO, Sharon Passini; FRANCO, Guilherme Augusto; BASSO, Guilherme Luiz; BOMBONATO, Fabiele Aparecida. Steel frame na construção civil. **ECCI-12º Encontro Científico Cultural Interinstitucional. Paraná**, 2014.

PENA, Rodolfo F. Alves. **Economia Verde**. Disponível em: <<https://mundoeducacao.uol.com.br/geografia/economia-verde.htm>>, Acesso em 04 de agosto de 2022.

PERALTA, Betty Chagas. **Madeiras**. 2015. Disponível em: <https://slideplayer.com.br/slide/5318530/>, Acesso em 15 de agosto de 2022.

PEREIRA FILHO, Luiz Gustavo Nunes. **Viabilidade técnica-econômica para construção de habitações de interesse social em wood frame**. 2020.

PEREIRA, Caio. **Wood Frame: o que é, características, vantagens e desvantagens**. 2019. Disponível em: <<https://www.salles.imb.br/conteudo/395/wood-frame-sistema-constutivo-sustentavel>>, Acesso em 15 de agosto de 2022.

PEREIRA, José Ricardo Alves; DE REZENDE, Marcos Antonio. Utilização de amostras de madeira de guapuruvu (*Schilozobium parahyba*), para determinação da umidade do solo. **IRRIGA**, v. 2, n. 3, p. 124-134, 1997.

PEREIRA, Regina Paula W.; MONTEIRO, Maria Beatriz de O.; ABREU, Heber dos Santos. Os fitohormônios na formação da madeira. **Floresta e Ambiente**, v. 11, n. 2, p. 40-47, 2012.

PERES, Isaura Augusta Santiago. **Atitudes ambientais: um estudo com jovens do segundo e terceiro ciclo do ensino básico da região do planalto mirandês**. 2011. Tese de Doutorado. Instituto Politecnico de Braganca (Portugal).

PFEIL, Walter; PFEIL, Michèle. **Estruturas de Madeira**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora. 6ª ed., 2003.

PFEIL, Walter; PFEIL, Michèle. **Estruturas de Madeira: Dimensionamento Segundo a Norma Brasileira NBR 7190/97 E Critérios Das Normas Norte-americanas NDS E Européia EUROCODE 5**. Grupo Gen-LTC, 2000.

PONTING, Clive. **Green History of the World: The environment and the collapse of great civilizations**. 1993.

POWELL, Kevin; TILOTTA, David; MARTINSON, Karen. Assessment of research and technology transfer needs for wood-frame housing. **General Technical Report FPL-GTR-176**. Madison, WI: **US Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory**, v. 176, p. 1-30, 2008.

QUEIROGA, Adayanna Tebergues Dantas; DE FÁTIMA MARTINS, Maria. Indicadores para a construção sustentável: estudo em um condomínio vertical em Cabedelo, Paraíba. **Revista de Administração da Universidade Federal de Santa Maria**, v. 8, 2015.

Redação Portal AECweb/e-Construmarket. **Shingle, mais que uma telha, é um sistema de telhado**. 2021. Disponível em: <<https://www.aecweb.com.br/revista/materias/shingle-mais-que-uma-telha-e-um-sistema-de-telhado/21209>>, Acesso de 08 de agosto de 2022.

REES, William; WACKERNAGEL, Mathis. Urban ecological footprints: why cities cannot be sustainable—and why they are a key to sustainability. In: **Urban ecology**. Springer, Boston, MA, 2008. p. 537-555.

REIS, Danielle Fernandes. **Indicadores de Sustentabilidade**. 2017. Disponível em: <<https://pt.linkedin.com/pulse/indicadores-de-sustentabilidade-danielle-fernandes-reis>>, Acesso em 10 de agosto de 2022.

RESENDE, Evelyn Bastos et al. Uso de wood frame na construção civil no Brasil. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 6, p. e31210615818-e31210615818, 2021.

REZENDE, MA de; SAGLIETTI, José Roberto Corrêa; GUERRINI, Ivan Amaral. Estudo das interrelações entre massa específica, retratibilidade e umidade da madeira do *Pinus caribaea* var. *hondurensis* aos 8 anos de idade. **Revista IPEF**, v. 48, n. 49, p. 133-141, 1995.

RITTER, M. A.; MORRELL, J. J. **Timber Bridges: Design, Construction, Inspection and Maintenance**. United States Department of Agriculture, USDA, Forest Service, United States, 1990.

RODRIGUES, Cláudia Regina. **Manual para elaboração de Referência Bibliográfica. Referências – Elaboração – NBR 6023**. 2002.

ROSA, A. **Rede de governança ambiental na cidade de Curitiba e o papel das 2007 tecnologias de informação e comunicação**. 2007. 174 p. Dissertação (Mestrado) – Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Curitiba, 2007. Disponível em: <<http://livros01.livrosgratis.com.br/cp029091.pdf>>. Acesso em: 06 out. 2018.

SÁ, Artur Abreu. As mudanças climáticas ao longo da história da Terra: O que nos dizem as rochas. **I Congresso Viver Ambiente**, p. 2-6, 2008.

SAMPAIO, R.F.; MANCINI, M.C. Estudos de Revisão Sistemática: um guia para síntese criteriosa da evidência científica. **Revista Brasileira de Fisioterapia: São Carlos**, v. 11, n. 1, p. 83-89. 2007.

SANCHEZ, J. E. Casa de madeira. **Asociación de Investigación Técnica de las Industrias de la Madera y Corcho, AITIM**. 1995.

SÁNCHEZ, Luis Enrique. Avaliação ambiental estratégica e sua aplicação no Brasil. **São Paulo: Instituto de Estudos Avançados da Universidade de São Paulo**, 2008.

SANTIAGO, Thalita. **O que é Wood Frame: como fazer, vantagens e desvantagens**. 2021. Disponível em: <<https://www.projetou.com.br/posts/titulo-o-que-e-wood-frame/>>, Acesso em 08 de agosto de 2022.

SANTOS, Heloisa Helena Valente. **O uso do Wood – frame na construção de edificações públicas escolares sustentáveis no estado do Paraná**. 2010.

SANTOS, Maria Helena de Castro. Governabilidade, governança e democracia: criação de capacidade governativa e relações executivo-legislativo no Brasil pós-constituinte. **Dados**, v. 40, p. 335-376, 1997.

SATTLER, Miguel Aloysio. **Habitações de baixo custo mais sustentáveis: a Casa Alvorada e o Centro Experimental de Tecnologias Habitacionais Sustentáveis**. ANTAC, 2007.

SCARPINELLA, Gustavo D.'Almeida. **Reflorestamento no Brasil e o Protocolo de Quioto**. 2002. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

Significado de comparação. **Dicio, Dicionário Online de Português. Porto: 7Graus**, 2022. Disponível em: <<https://www.dicio.com.br/comparacao/>>, Acesso em 18 de agosto de 2022.

SILVA FILHO, Julio Cesar Gomes da; CALÁBRIA, Felipe Alves; DILVA, Gisele Cristina Sena da; MEDEIROS, Denise Dumke de. Aplicação da Produção mais Limpa em uma empresa como ferramenta de melhoria contínua. **Production**, v. 17, p. 109-128, 2007.

SILVA, Caroline Rodrigues da. **A teoria ESG nas construções públicas. Observatório da Nova Lei de Licitações**. 2022. Disponível em: <<https://www.novaleilicitacao.com.br/2022/02/22/a-teoria-esg-nas-contratacoes-publicas/>>, Acesso em 10 de agosto de 2022.

SILVA, RAÍSSA BORGES; PAIVA, THAYNNAN PATRYCK DUARTE ARAÚJO. **A Aplicação do Método Lean Construction na Construção Civil**. 2017.

SIMPSON, William; TENWOLDE, Anton. Physical properties and moisture relations of wood. **Chapter**, v. 3, p. 2-1, 1999.

Site G1 – Globo. **Árvore gigante simboliza “preservação da Amazônia”, diz coordenador de missão que viajou 3 dias para visitar o argelim vermelho de 85 metros**. 2021. Disponível em: <<https://g1.globo.com/podcast/o-assunto/noticia/2021/10/13/arvore-gigante-simboliza-preservacao-da-amazonia-diz-coordenador-de-missao-que-viajou-3-dias-para-visitar-angelim-vermelho-de-85-metros.ghtml>>, Acesso em 15 de agosto de 2022.

SOARES, Alexandre C.; BERNARDES, Maurício MS; FORMOSO, Carlos Torres. Improving the production planning and control system in a building company: Contributions after stabilization. In: **Annual Conference of the International Group for Lean Construction**. 2002.

SOTSEK, Nicolle Christine; SANTOS, Adriane de Paula Lacerda. Panorama do sistema construtivo light wood frame no Brasil. **Ambiente construído**, v. 18, p. 309-326, 2018.

SOTSEK, Nicolle Christine; SANTOS, Adriane de Paula Lacerda. Panorama do sistema construtivo light wood frame no Brasil. **Ambiente construído**, v. 18, p. 309-326, 2018.

SOUSA, Rafaela. "OCDE"; **Brasil Escola**. Disponível em: <<https://brasilecola.uol.com.br/geografia/ocde.htm>>. Acesso em 16 de outubro de 2022.

SOUSA, Rayane Arantes. **Análise comparativa entre métodos construtivos residenciais em alvenaria convencional em bloco cerâmico e wood frame**. 2018.

SOUZA, Anna Freitas Portela de. **A sustentabilidade no uso da madeira de floresta plantada na construção civil**. 2010. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.

SPADOTTO, Aryane; NORA; Dalini Dalla; TURELLA, Elisa Cristina Lopes; WERGENES, Tiago Nazário de. Impactos ambientais causados pela construção civil. **Revista Unoesc & Ciência**, v. 2, n. 2, p. 173-180, 2011.

STRICKLIN, D.L.; SCHIFF, S.D.; ROSOWSKY, D.V. Uplift Capacity of Light-Frame Wood Stud Walls. In: **International wood engineering conference, 1996**. New Orleans. Proceedings, New Orleans. 1996.

SZOKE, Tomás. **Nó em uma madeira de pinho**. 2015. Disponível em: <<https://pt.dreamstime.com/foto-de-stock-n%C3%B3-de-madeira-image18770120>>, Acesso em 15 de agosto de 2022.

TECVERDE. **Como são as paredes da Tecverde?**. 2019. Disponível em: <<https://www.tecverde.com.br/2019/07/05/como-sao-as-paredes-da-tecverde/>>, Acesso em 11 de agosto de 2022.

TECVERDE. **Diretriz de avaliação técnica de sistema estruturado em peças leves de madeira maciça serrada - Tecverde (tipo light wood framing)**". Instituto Falcão Bauer da Qualidade, São Paulo, 2018.

TELES, Ana Maria SF; ORGANIZAÇÃO PARA A COOPERAÇÃO E DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO (OCDE). Rumo a um desenvolvimento sustentável: indicadores ambientais. **Salvador: Centro de Recursos Ambientais**, 2002.

TREIGHER, Thamiris. INBEC - Instituto Brasileiro de Educação Continuada. **Casa construída em um dia? Já é realidade no Brasil**. 2022. Disponível em: <<https://www.inbec.com.br/blog/casa-construida-um-dia-ja-realidade-brasil>>, Acesso em 18 de agosto de 2022.

UNEP – United Nations Environment Programme. **Annual Report 2020**. 2020. Disponível em: <<https://www.unep.org/ietc/resources/report/annual-report-2020>>, Acesso em 11 de agosto de 2022.

UNEP – United Nations Environment Programme. **Integrated Environmental Assessment**. 2019. Disponível em: <<https://www.unep.org/resources/report/guidelines-conducting-integrated-environmental-assessments>>, Acesso em 11 de agosto de 2022.

VALLE, Ângela do; SZUCS, Carlos Alberto; TEREZO, Rodrigo Figueiredo; MORAES, Poliana Dias de. **Estruturas de madeira**. 2012. Disponível em: <[https://moodle.ufsc.br/pluginfile.php/1313798/mod\\_resource/content/0/Apostila\\_madeiras2015-1.pdf](https://moodle.ufsc.br/pluginfile.php/1313798/mod_resource/content/0/Apostila_madeiras2015-1.pdf)>, Acesso em 12 de agosto de 2022.

VASQUES, CCPCF; PIZZO, L. M. B. F. Comparativo de sistemas construtivos, convencional e wood frame em residências unifamiliares. **São Paulo: Unilins**, 2014.

VELLOSO, Joana Geraldí. **DIRETRIZES PARA CONSTRUÇÕES EM MADEIRA NO SISTEMA PLATAFORMA**. 2010. 104 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.

VIANA, Daniela Dietz; FORMOSO, Carlos Torres; KALSAAS, Bo Terje. Waste in construction: a systematic literature review on empirical studies. In: **ID Tommelein & CL Pasquire, 20th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. San Diego, USA**. sn, 2012. p. 18-20.

VIDAL, Mauricelia Bezerra. **Taylorismo, fordismo e toyotismo: uma análise do sistema de trabalho**. 2002.

VON LAER, CRISTIAN B.; FERNANDES, BRUNA B.; SOARES, PALOMA P.; TABARELLI, ALINE; POUHEY, MARIA TEREZA F. **CONSTRUÇÃO SECA ESTILO WOOD FRAME: ESTUDO DE CASOS REGIONAIS DE MORADIAS POPULARES**. 2013.

WU, Wei; SANDOVAL, Angel; GUNJI, Venkata; AYER, Steven K.; LONDON, Jeremi; PERRY, Logan; PATIL, Karan; SMITH, Kieren. Comparing traditional and mixed reality-facilitated apprenticeship learning in a wood-frame construction lab. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 146, n. 12, 2020.

WWF BRASIL. **Relatório Anual 2012**. Disponível em: <<https://www.wwf.org.br/?35222/Relatorio-Anual-2012>>, Acesso em 24 de junho de 2022.

YAHYA, Muhamad Azani; MOHAMAD, Mohamad Ibrahim. Rapid lean construction concept (RLCC). In: **2nd International Conference on Construction and Project Management IPEDR**. 2011. p. 16-20.

YANNAS, Simos. Toward more sustainable cities. **Solar energy**, v. 70, n. 3, p. 281-294, 2001.

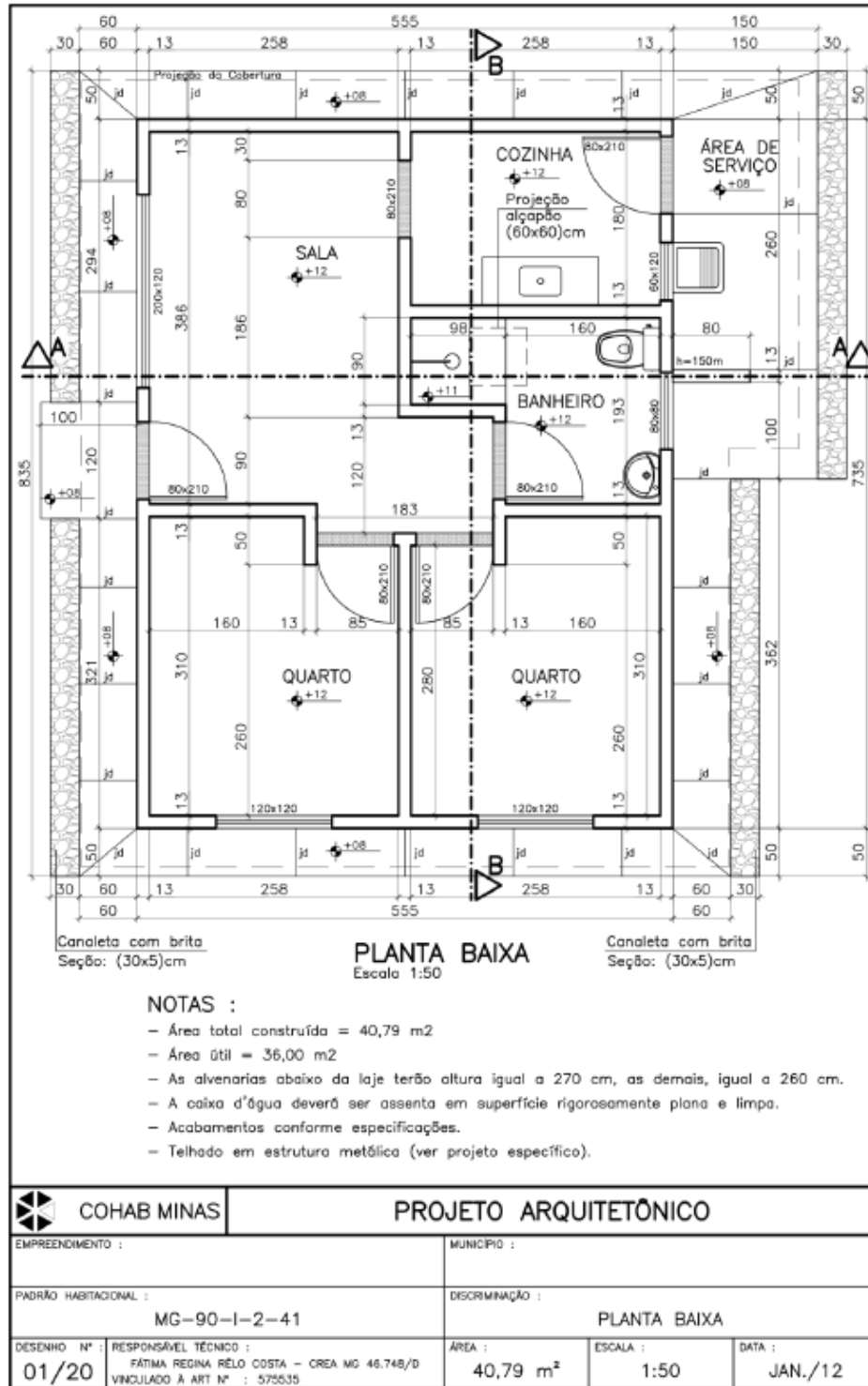
ZAPARTE, Aline. **Análise do perfil oxidativo de usuárias de crack em processo de desintoxicação**. 2014.

ZENID, José Geraldo. Madeira na construção civil. **Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, São Paulo**, 2011.

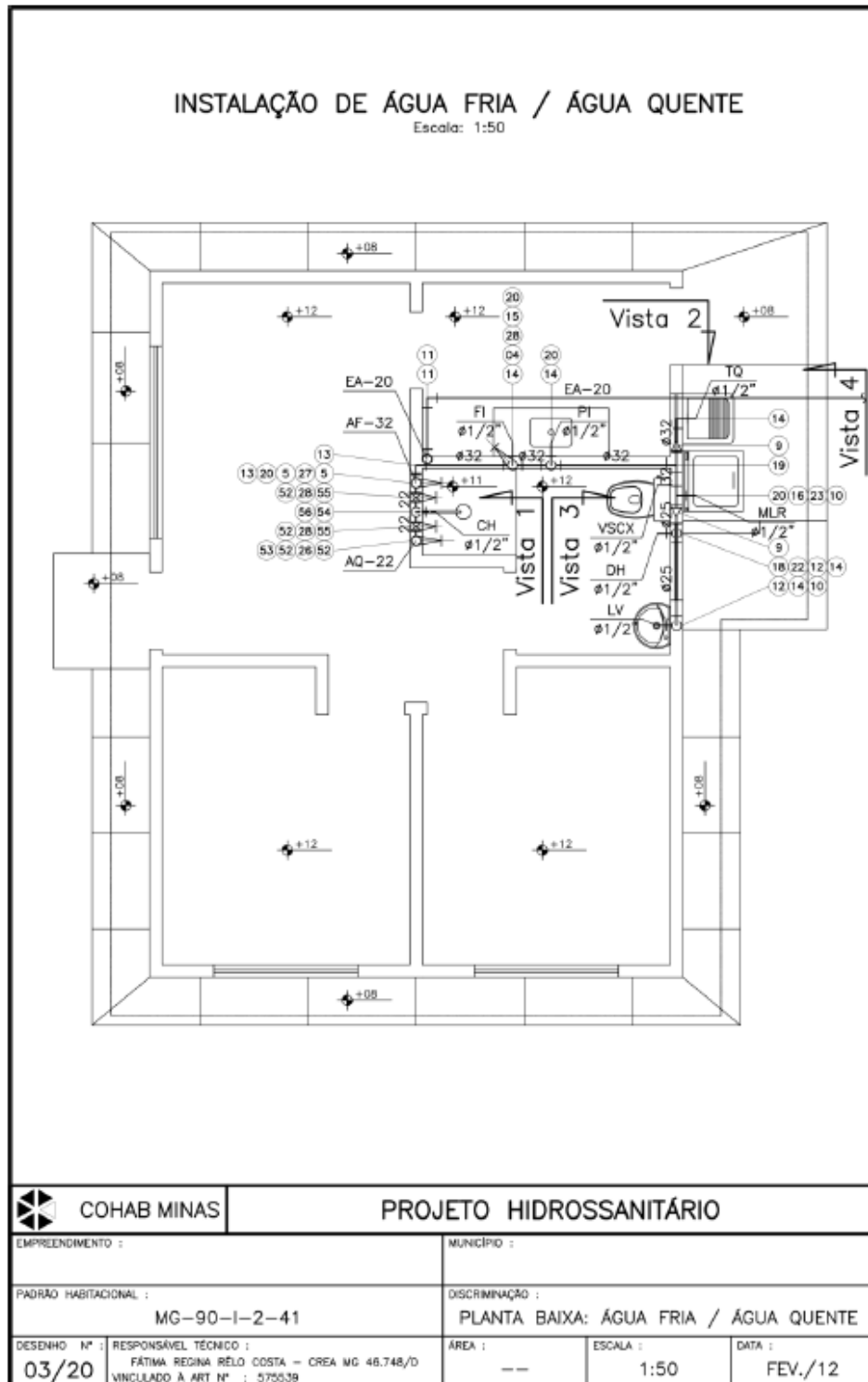


# ANEXO A – PROJETOS

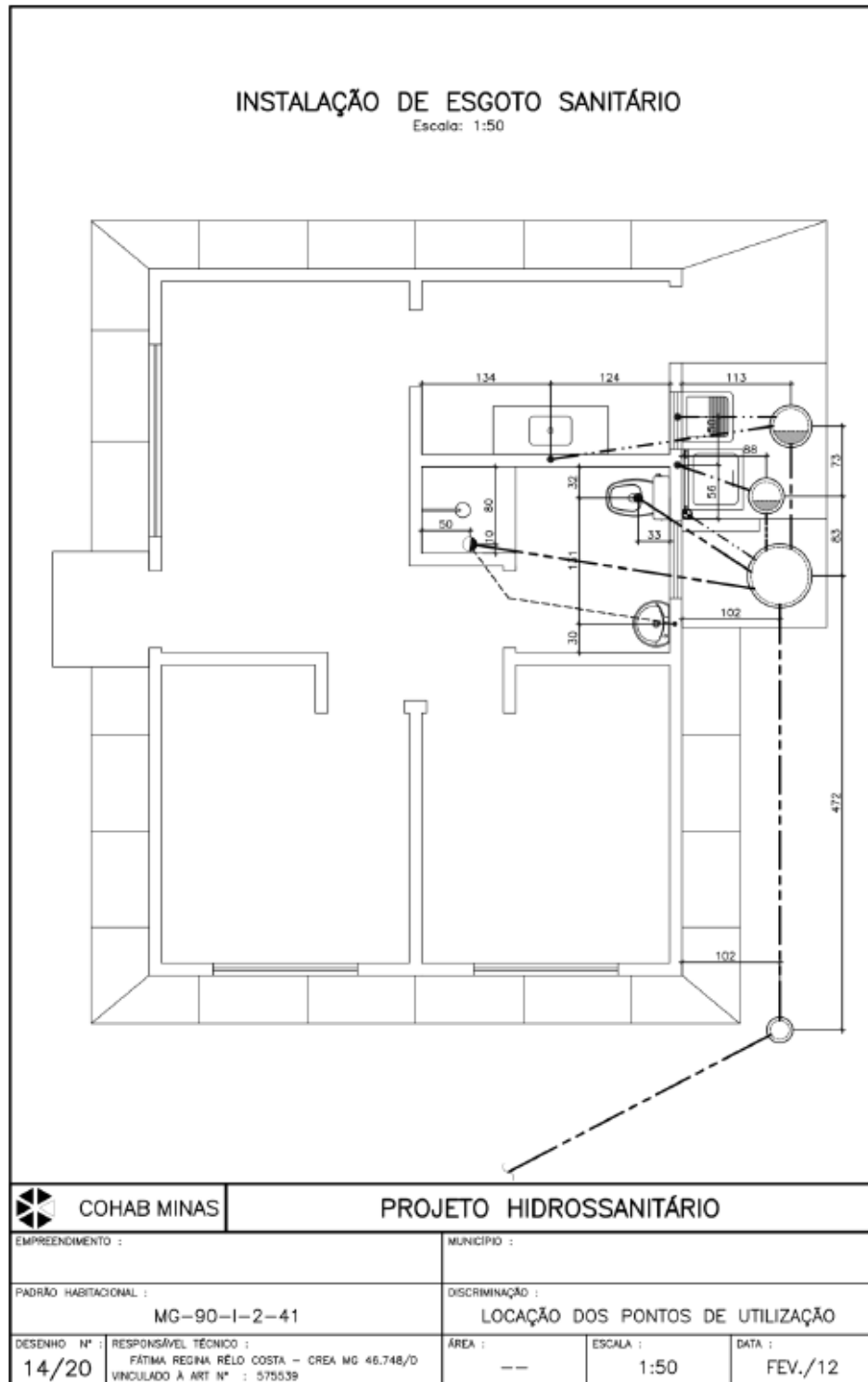
## A.1 Projeto Arquitetônico.



## A.2 Projeto Hidrossanitário – Instalação de água fria e quente.



### A.3 Projeto Hidrossanitário – Instalação de esgoto sanitário.



## A.4 Projeto Elétrico.

