

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

William Saidelles Foggiato

**APREENSÃO DE CARBONO EM CONSTRUÇÕES DE MADEIRA**

Santa Maria, RS  
2021

**William Saidelles Foggiato**

**APREENSÃO DE CARBONO EM CONSTRUÇÕES DE MADEIRA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, área de concentração Manejo Florestal, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Mestre em Engenharia Florestal**.

Orientador: Prof. Dr. Jorge Antonio de Farias

Santa Maria, RS  
2021

This study was financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Finance Code 001

Foggiato, William Saidelles  
APREENSÃO DE CARBONO EM CONSTRUÇÕES DE MADEIRA /  
William Saidelles Foggiato.- 2021.  
41 p.; 30 cm

Orientador: Jorge Antonio de Farias  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa  
Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós  
Graduação em Engenharia Florestal, RS, 2021

1. Construções de madeira 2. Apreensão de carbono 3.  
Aquecimento global I. Farias, Jorge Antonio de II. Título.

Sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFSM. Dados fornecidos pelo autor(a). Sob supervisão da Direção da Divisão de Processos Técnicos da Biblioteca Central. Bibliotecária responsável Paula Schoenfeldt Patta CRB 10/1728.

Declaro, WILLIAM SAIDELLES FOGGIATO, para os devidos fins e sob as penas da lei, que a pesquisa constante neste trabalho de conclusão de curso (Dissertação) foi por mim elaborada e que as informações necessárias objeto de consulta em literatura e outras fontes estão devidamente referenciadas. Declaro, ainda, que este trabalho ou parte dele não foi apresentado anteriormente para obtenção de qualquer outro grau acadêmico, estando ciente de que a inveracidade da presente declaração poderá resultar na anulação da titulação pela Universidade, entre outras consequências legais.

**William Saidelles Foggiato**

**APREENSÃO DE CARBONO EM CONSTRUÇÕES DE MADEIRA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, área de concentração Manejo Florestal, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Mestre em Engenharia Florestal**.

**Aprovado em 11 de junho de 2021:**

DocuSigned by:

*JORGE ANTONIO DE FARIAS*

513E020ECF784F7...

---

**Jorge Antonio de Farias, Dr. (UFSM) - Videoconferência**  
(Presidente/Orientador)

DocuSigned by:

*Rafaelo Balbinot*

F5C1EBA0A983464...

---

**Rafaelo Balbinot, Dr. (UFSM FW) - Videoconferência**

DocuSigned by:

*Rodrigo Figueiredo Terezo*

D4A253725FB8499...

---

**Rodrigo Figueiredo Terezo, Dr. (UDESC) - Videoconferência**

Santa Maria, RS  
2021

## **AGRADECIMENTOS**

À instituição UFSM, professores e funcionários, por terem proporcionado a minha formação, ter sido moradia e também lazer.

Ao Laboratório de Manejo Florestal e todos os integrantes que de alguma forma participaram da minha formação acadêmica.

Ao orientador, professor Jorge Farias, pelos ensinamentos, discussões e amizade.

Aos colegas, pelo companheirismo, pelas conversas nos momentos complicados, e também pelos momentos alegres de descontração.

À família pelo apoio e incentivo incondicional.

**Muito obrigado a todos!**

## RESUMO

### APREENSÃO DE CARBONO EM CONSTRUÇÕES DE MADEIRA

AUTOR: William Saidelles Foggiato

ORIENTADOR: Jorge Antonio de Farias

O aquecimento global já é uma realidade, e a necessidade de contê-lo é cada vez mais urgente, as florestas desempenham um papel importante retirando o carbono da atmosfera, e o retêm em grande quantidade na madeira. Ao utilizar esse material (madeira) para fins construtivos, o carbono permanece estocado, impedindo que seja liberado para a atmosfera, na forma de CO<sub>2</sub> e outros gases. Dentro deste contexto o estudo tem o objetivo de estimar o impacto que a utilização intensiva da madeira na construção civil, causaria na apreensão de carbono, visando mitigar emissões dos gases de estufa. Para a obtenção dos dados foi realizada uma busca na literatura, a fim de verificar o quantitativo dos materiais utilizados em construções de madeira no sistema *wood frame*. Foi selecionada uma construção habitacional de 42 m<sup>2</sup>, quantificado a madeira que compõem a estrutura da casa, a quantidade de carbono presente na madeira e convertida a massa de carbono para carbono equivalente. Posteriormente foram projetados cenários com número de casas de madeira que poderiam ser construídas no país, baseando-se em dados obtidos em instituições ligadas a construção civil. Um dos cenários se baseou no programa minha casa minha vida, e resultou em 12,4 milhões de toneladas de carbono equivalente apreendido em um período de dez anos, se 50% das casas fossem construídas em madeira. Outro cenário projetado sugere que poderia ser apreendido 38 milhões de toneladas de carbono equivalente em construções de madeira entre 2017 e 2027.

**Palavras-chave:** Construções de madeira. Apreensão de carbono. Aquecimento global.

## ABSTRACT

### SEIZURE OF CARBON IN WOODEN CONSTRUCTIONS

AUTHOR: William Saidelles Foggiato

ADVISOR: Jorge Antonio de Farias

Global warming is already a reality, and the need to count it is more and more urgent, forests play an important role in removing carbon from the atmosphere, and retain it in large quantities in wood. When using this material (wood) for constructive purposes, the carbon remains stored, preventing it from being released into the atmosphere, in the form of CO<sup>2</sup> and other gases. Within this context, the study aims to measure the impact that the intensive use of wood in civil construction would cause in the capture of carbon, aiming to mitigate emissions of greenhouse gases. To obtain the data, a literature search was carried out in order to verify the quantity of materials used in wooden constructions in the wood frame system. A 42 m<sup>2</sup> housing construction was selected, quantifying the wood that make up the structure of the house, the amount of carbon present in the wood and converting the carbon mass to carbon equivalent. Subsequently, scenarios were designed with a number of wooden houses that could be built in the country, based on data obtained from institutions linked to civil construction. One of the scenarios was based on the program my house my life and resulted in 12.4 million tons of carbon equivalent learned in a period of ten years, if 50% of the houses were built in wood. Another projected scenario suggests that 38 million tonnes of carbon equivalent could be seized in wooden constructions between 2017 and 2027.

**Keywords:** Wooden constructions. Carbon seizure. Global warming.

## SUMÁRIO

|       |                                         |    |
|-------|-----------------------------------------|----|
| 1     | <b>INTRODUÇÃO</b> .....                 | 7  |
| 2     | <b>OBJETIVOS</b> .....                  | 9  |
| 2.1   | OBJETIVO GERAL .....                    | 9  |
| 2.2   | OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....             | 9  |
| 3     | <b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....      | 10 |
| 3.1   | APREENSÃO DE CARBONO E O CLIMA .....    | 10 |
| 3.2   | CONSTRUÇÕES DE MADEIRA .....            | 11 |
| 3.2.1 | <b>Sistema <i>Wood Frame</i></b> .....  | 12 |
| 4     | <b>MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....        | 15 |
| 4.1   | QUANTIFICAÇÃO DO CARBONO .....          | 15 |
| 4.2   | PROJEÇÃO DOS CENÁRIOS .....             | 18 |
| 4.2.1 | <b>Cenário A</b> .....                  | 18 |
| 4.2.2 | <b>Cenário B</b> .....                  | 19 |
| 4.2.3 | <b>Cenário C</b> .....                  | 19 |
| 5     | <b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....     | 23 |
| 5.1   | APREENSÃO DE CARBONO .....              | 23 |
| 5.2   | NÚMEROS DA CONSTRUÇÃO CIVIL .....       | 26 |
| 5.3   | PROJEÇÃO DOS CENÁRIOS .....             | 27 |
| 5.3.1 | <b>Cenário A</b> .....                  | 27 |
| 5.3.2 | <b>Cenário B</b> .....                  | 28 |
| 5.3.3 | <b>Cenário C</b> .....                  | 31 |
| 6     | <b>CONCLUSÃO</b> .....                  | 36 |
| 6.1   | SUGESTÕES PARA NOVAS PESQUISAS .....    | 37 |
|       | <b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> ..... | 38 |

## 1 INTRODUÇÃO

O planeta vem sofrendo com alterações climáticas ao decorrer dos anos, tais alterações podem estar sendo aceleradas e potencializadas pelo aumento da emissão GEE – Gases de Efeito Estufa, decorrentes das atividades humanas, principalmente após o aumento dos processos industriais. Embora essa hipótese não seja uma total unanimidade e ainda sofra relativa resistência por parte de alguns representantes governamentais, essa é a explicação mais aceita pela comunidade científica.

Estudos realizados pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2018), sugerem que, se medidas não forem adotadas de forma eficiente para conter o aquecimento global, os ecossistemas podem ser comprometidos assim como o modo de vida humano em diversos locais do planeta.

À medida que o tempo passa, as ações mitigadoras são mais urgentes, tendo em vista que, mesmo nas projeções mais otimistas, não é possível neutralizar totalmente os efeitos do aquecimento global. Porém, com a redução das emissões de GEE é possível amenizá-las. Entendendo isso, além das medidas para reduzir as emissões, são necessárias ações para mitigar e adaptar-se as mudanças climáticas que serão inevitáveis.

O aquecimento global vem sendo tema de debates entre cientistas e líderes mundiais, onde são propostos acordos e metas para diminuir a emissão de gases do efeito estufa (GEE). No Acordo de Paris realizado em 2015, o Brasil se comprometeu em reduzir em 37% a emissão de GEE em relação a 2005, até o ano de 2025 (BASSO, 2019).

A redução das emissões de GEE necessita de desenvolvimento e aperfeiçoamento de novas tecnologias mais sustentáveis, utilização de matrizes energéticas e de matérias prima mais eficientes ecologicamente, bem como um controle mais rígido do desmatamento predatório. Medidas que demandam um alto engajamento dos países para serem adotadas, e precisam de tempo e adequações para serem implementadas de forma plena.

No entanto, a forma mais antiga e básica, de combate ao aquecimento global ainda é uma das estratégias mais importantes a ser usada, o sequestro de carbono realizado pelo processo de fotossíntese é fundamental para se frear o aumento da concentração de gás carbônico na atmosfera. O cultivo de árvores em larga escala é

capaz de absorver grandes quantidades de gás carbônico. As florestas plantadas ainda são mais eficientes que as florestas nativas, no que diz respeito à absorção de CO<sub>2</sub>, pelo fato de terem maiores taxas de crescimento e por não terem árvores mais velhas em processo de senescência, período que a absorção é menor.

Tendo em vista que um dos principais gases do efeito estufa é o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), a utilização da madeira proveniente de florestas plantadas pode contribuir para a mitigação dos efeitos do aquecimento global. O carbono sequestrado pelas florestas pode ser mantido na estrutura da madeira, contanto que esse material não apodreça nem seja queimado.

Sendo assim, a utilização da madeira na construção civil contribui para a apreensão do carbono. Principalmente quando utilizados tratamentos e técnicas que potencializem a durabilidade do material, como ocorre com no sistema *Wood Frame*, onde a estrutura é composta de madeira maciça tratada e o revestimento em painéis OSB e outros componentes que protegem a madeira, impedindo a emissões de GEE pela degradação da madeira.

A madeira hoje se apresenta como uma alternativa mais sustentável em relação ao modelo tradicional da construção civil no Brasil, focado na alvenaria. Uma mudança nesse cenário poderia implicar em um aumento na área de florestas plantadas, promovendo um maior sequestro e apreensão de carbono da atmosfera, e além dos ganhos ambientais, métodos de construção mais barato e eficiente poderiam contribuir em questões sociais como o déficit habitacional, existente no Brasil.

Diante desta oportunidade faz-se necessário estudos que quantifiquem, qualifiquem e demonstrem os benefícios da utilização da madeira, divulgando e popularizando esse material para a população em geral, e principalmente fazendo com que governantes entendam a importância dessa mudança, incluindo essas novas perspectivas no planejamento de combate ao aquecimento global, incentivando a utilização da madeira e favorecendo o desenvolvimento de novas práticas mais sustentáveis.

Visando validar os benefícios ambientais e sociais que a utilização da madeira pode proporcionar, e contribuindo para quebrar paradigmas impostos pela sociedade brasileira, que ainda resiste ao uso da madeira como matéria prima para construções habitacionais, o estudo tem por objetivo, estimar o impacto que a

utilização intensiva da madeira na construção civil, causaria na apreensão de carbono, visando mitigar emissões dos gases de efeito estufa.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GERAL**

Estimar o impacto que a utilização intensiva da madeira na construção civil, causaria na apreensão de carbono, visando mitigar emissões dos gases de efeito estufa.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Estimar a quantidade de madeira utilizada em construções no sistema *wood frame*;
- Estimar a quantidade de carbono apreendida em construções no sistema *wood frame*;
- Analisar o ritmo das construções habitacionais no Brasil;
- Analisar o déficit habitacional do Brasil;
- Projetar cenários (número de casas) com a utilização da madeira como matéria prima das construções habitacionais;
- Quantificar o carbono apreendido resultante de cada cenário projetado.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 APREENSÃO DE CARBONO E O CLIMA

Todo carbono do globo do planeta Terra é armazenado principalmente em cinco compartimentos: no oceano, na crosta terrestre, no solo, na biomassa vegetal e animal e na atmosfera. Todos esses compartimentos estão conectados e o carbono circula entre eles (CARVALHO et al, 2010).

Reboita et al (2014), Azevedo et al (2018) e Carvalho et al (2010), entre outros autores, já relataram o aumento da concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera, resultado da ação humana, principalmente como consequência da queima de combustíveis fósseis e redução da cobertura florestal. Esse aumento da concentração de CO<sub>2</sub> e outros GEE estão potencializando o efeito estufa, fazendo com que ocorra o processo de aquecimento global.

Desde a Conferência de Estocolmo em 1972, o possível impacto causado pelo aumento da concentração dos GEE (gases de efeito estufa), vem sendo debatido entre a comunidade científica e líderes mundiais. Desde esse acontecimento o tema do aquecimento global começou a ganhar mais força (FLORINDO, 2017).

No ano 1997 foi adotado o Protocolo de Quioto, a partir da realização da Conferência de Quioto, que estabeleceu metas de redução de emissão dos GEE e mecanismos de implementação para que as metas sejam atingidas (MOREIRA; GIOMETTI, 2008). Neste sentido o Protocolo de Quioto surge como uma grande oportunidade, não só para que o mundo comece a agir efetivamente em prol do meio ambiente, mas também como um meio para que os países em desenvolvimento procurem o desenvolvimento sustentável (APA, 2012).

O relatório divulgado pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2018), alerta as autoridades para que sejam tomadas medidas sem precedente, a fim de reduzir a emissão de GEE. Caso isso não ocorra, os efeitos do aquecimento global, que eram previstos para muitas décadas à frente, poderiam começar a serem sentidos já no ano de 2040.

O Brasil pode se favorecer deste cenário com os créditos de carbono. Com a necessidade de redução no volume global de emissão de GEE, foi instituído um mercado, onde seriam transacionados créditos de carbono, iniciativas desenvolvidas para aprisionar CO<sub>2</sub> ou reduzir emissão de GEE poderiam ser negociadas com

aqueles que não podem reduzir as suas emissões. Projetos que consigam minimizar ou capturar carbono atmosférico, e que possam ser certificados, poderiam ser transacionados entre organizações ou países (FILHO; MICHELS, 2013).

Dentre alguns trabalhos publicados, Paixão et al (2006) avaliou economicamente alternativas de manejo, com vista à inserção de povoamentos florestais na venda de créditos de carbono, chegando a conclusão que a produção de madeira somente para a venda de créditos de carbono, sem considerar o seu uso final, é economicamente viável, se a tonelada de carbono for comercializada a preços maiores que US\$ 10,07, e a inclusão da venda de créditos de carbono torna o empreendimento ainda mais atrativo financeiramente.

Aproveitando-se desse mercado o Brasil poderá assumir uma posição privilegiada em relação aos países que buscam reverter o processo de mudança climática global, uma vez que poucos países possuem condições edafoclimáticas e tecnológicas apropriadas para a produção florestal como o Brasil (SILVA et al, 2008).

Leite (1994) relata que frente à possibilidade da utilização das florestas como mitigador de problemas ambientais, se faz necessário a utilização de um manejo florestal moderno, que integre floresta, indústria e mercado, a fim de maximizar o retorno financeiro e, ao mesmo tempo, garantir uma base sustentável do estoque de crescimento das florestas. Para isso, se faz necessário identificar as oportunidades e as alternativas de uso para os diferentes produtos que as florestas podem oferecer.

### 3.2 CONSTRUÇÕES DE MADEIRA

Araujo (2017), afirma que a madeira será o material do futuro. O autor explica que a atual utilização desordenada dos recursos naturais não renováveis como o minério e o petróleo, tem forçado e estimulado a busca por materiais mais sustentáveis, biodegradáveis e que diminuam os impactos negativos ao meio ambiente.

A madeira desempenha um importante papel no estoque de carbono, e por requerer menor consumo energético e contribui para redução da emissão de GEE. Outro aspecto relevante é a possibilidade de reutilização ou reciclagem do material no final do processo de produção, ou mesmo em cada uma das etapas da cadeia produtiva, resultando na menor quantidade de resíduos sólidos produzidos (BARBOSA, 2000).

Alguns trabalhos já relataram as vantagens da madeira em relação a outros materiais de construção. Santos e Aguilar (2007) descrevem a madeira como um material promissor para a construção civil, tanto por sua relevância no contexto ambiental, quanto por sua qualidade. Os autores também relatam que esse material tem inúmeros exemplos de aplicações bem-sucedidas na produção de edificações em países industrializados.

No Brasil esse setor é pouco explorado, Araujo (2017) após analisar o setor de habitações em madeira chegou a algumas conclusões que explicam a situação atual. Dentre elas, a falta de articulação corporativa, a barreira cultural imposta pela sociedade, as baixas aspirações das empresas perante o mercado, déficit de mão de obra especializada, pequena quantidade de florestas plantadas voltadas especialmente para a produção de matéria-prima para a construção civil e falta de apoio do governo brasileiro para a indústria florestal madeireira.

Como é possível verificar no trabalho de Laroca (2002), a madeira apresenta inúmeras vantagens em relação a outros materiais utilizados na construção civil como alvenaria e o aço. A autora relata sobre o menor consumo energético tanto para a fabricação da matéria-prima quanto para a execução da obra, menor tempo de construção, menor quantidade de resíduos e melhor isolamento térmico. Também explica que para os principais defeitos da madeira como a durabilidade e a resistência ao fogo, já existem produtos e técnicas que conseguem resolver estes problemas de forma eficiente.

O incentivo do setor madeireiro voltado para uso em construções habitacionais representa uma alternativa para solucionar problemas de moradia, gerando trabalho e renda, promovendo maior desenvolvimento à região, reafirmando assim a madeira como um importante recurso rumo à concretização dos conceitos de sustentabilidade (BARBOSA, 2000).

### **3.2.1 Sistema *Wood Frame***

Dentre os sistemas construtivos mais empregados no mundo, o *wood frame* tem se destacado, sendo utilizado em larga escala em vários países desenvolvidos, como Canadá, Áustria, Japão e Alemanha, sendo que no EUA o *wood frame* é empregado em 95% das casas construídas. Na América do Sul, Chile e Venezuela também investem com sucesso nesse sistema para a construção de casas populares (MOLINA; JUNIOR, 2010).

O sistema *wood frame* é um método construtivo a seco, que utiliza madeira de reflorestamento tratada, principalmente de *Pinus sp.* ou *Eucalyptus sp.*, essa madeira é estruturada em perfis formando painéis de pisos, paredes e telhados, podendo ser revestidos com outros materiais (Figura 1), para melhor conforto térmico e acústicos, bem como servir de proteção contra as intempéries e o fogo (MOLINA; JUNIOR, 2010).

Figura 1: Composição da estrutura do sistema *Wood Frame*.



1: Estrutura de madeira autoclavada; 2: Chapa OSB, 3: Membrana hidrófuga; 4: Placa cimentícia; 5: Basecoat com tela de fibra de vidro; 6: Acabamento com textura acrílica; 7: Chapa de gesso acartonado; 8: Acabamento com pintura acrílica.

Fonte: K.Bana e Tecverde, 2018.

Uma grande vantagem do método *wood frame* é que ele tem grande parte do processo produtivo realizado dentro da fábrica como verificou Espíndola e Ino (2014). Essa industrialização do processo permite um maior controle e planejamento na execução da obra, reduzindo drasticamente os resíduos de material no canteiro de obra, o tempo de execução, bem como aumenta o controle dos gastos.

Financeiramente, mesmo ainda longe de se consolidar no mercado brasileiro, esse modelo de construção apresenta-se de forma muito competitiva a alvenaria, inclusive alguns trabalhos demonstram uma certa vantagem financeira para a construção em madeira. Analisando os estudos de Silvestre e Figueiredo (2018) podemos verificar que as construções em *wood frame* foram em torno de 10% mais baratas em comparação com as mesmas casas construídas em alvenaria, Spaniol (2018) e Heidemann (2020) também chegaram a resultados semelhantes.

Foi possível verificar a importância e a eficiência desse sistema durante a pandemia de corona vírus em 2020 no Brasil, quando foi necessário a construção de hospitais de forma emergencial, o sistema *wood frame* foi empregado em alguns projetos com bastante êxito. Ao todo foram construídos cinco hospitais, em diferentes cidades brasileiras, Hospital M'boi Mirim em São Paulo, Hospital Independência em Porto Alegre, Hospital de Retaguarda em São José dos Campos Hospital Regional de Ceilândia, no Distrito Federal e Hospital Cemetrón, em Porto Velho. A área construída de cada hospital varia entre 840 m<sup>2</sup> e 1500 m<sup>2</sup>, sendo que o tempo para construção de cada um fica entre de 30 a 36 dias. (TECVERDE, 2020)

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1 QUANTIFICAÇÃO DO CARBONO

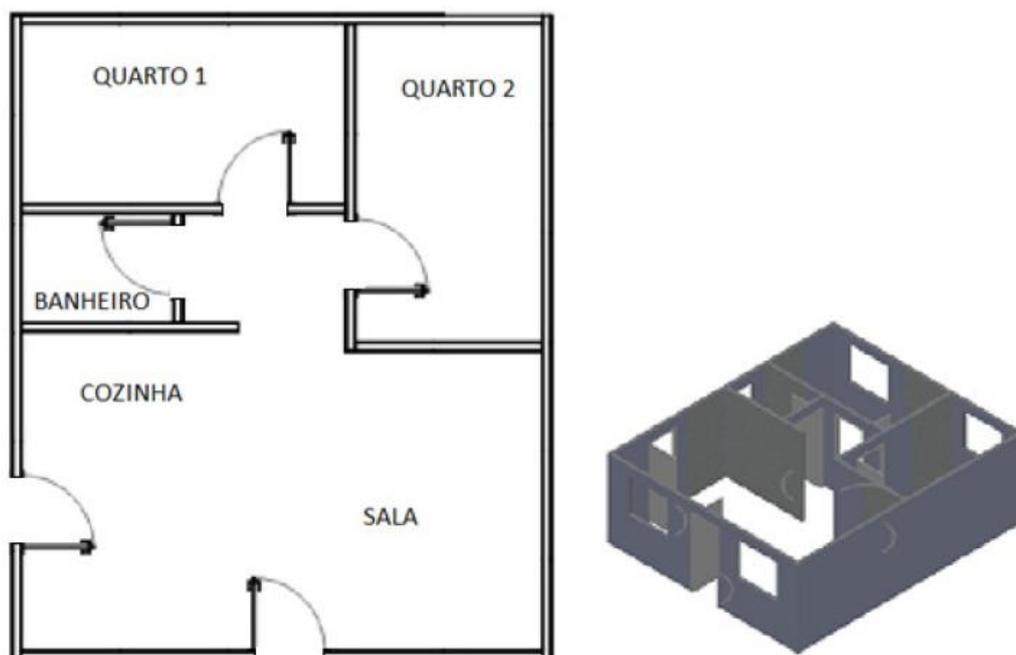
Para a obtenção dos dados foi realizada uma busca na literatura a fim de verificar a descrição e o quantitativo dos materiais utilizados em construções *wood frame*, para que assim fosse possível chegar ao total de madeira utilizada nesse sistema construtivo. O estudo realizado por Monich (2012) apresenta a lista de materiais utilizados em uma construção residencial no sistema *wood frame*. A construção trata-se de uma casa de interesse social, com uma área construída de 42 m<sup>2</sup>, conforme ilustram as Figuras 2 e 3. Essa construção serviu de base para calcular a quantidade de madeira e conseqüentemente a quantidade de carbono apreendida em construções no sistema *wood frame*.

Figura 2: Construção habitacional de 42 m<sup>2</sup> pré-fabricada no sistema *wood frame*.



Fonte: Monich, 2012.

Figura 3: Modelo residencial utilizado para quantificar o carbono apreendido em construções de madeira.



Fonte: Monich, 2012.

Os materiais de madeira foram classificados conforme informações na Tabela 1, separando-os pela forma de utilização: madeira maciça e painéis OSB. Essa classificação se fez necessária para descontar os aditivos químicos existentes nos painéis OSB, inerentes ao seu processo de fabricação, fazendo com que o valor final obtido expresse exclusivamente a madeira que está compondo a estruturara da casa. Para esse caso foi descontado 6% da massa dos painéis OSB, sendo esse percentual comumente utilizado e apresentando bons resultados (IWAKIRI et al, 2003) (SALDANHA E IWAKIRI, 2009).

Tabela 1: Classificação dos materiais de madeiras utilizados na construção de uma casa *wood frame* de 42 m<sup>2</sup>, pela forma de utilização.

| Forma de utilização | Descrição  | Quantidade | Unidade | Material                  | Peso (kg) |
|---------------------|------------|------------|---------|---------------------------|-----------|
| Madeira maciça      | Esquadrias | 5          | Unidade | Janela de correr madeira* | 48,71     |
|                     | Esquadrias | 1          | Unidade | Porta madeira*            | 35,48     |
|                     | Esquadrias | 3          | Unidade | Porta madeira             | 105,84    |

|                                |                      |     |         |                            |                |
|--------------------------------|----------------------|-----|---------|----------------------------|----------------|
|                                | Estrutura inferior   | 18  | Unidade | Pinus                      | 69,64          |
|                                | Estrutura superior   | 16  | Unidade | Pinus                      | 77,67          |
|                                | Parede               | 215 | Unidade | Pinus                      | 646,83         |
|                                | Ripamento            | 36  | Unidade | Pinus                      | 531,26         |
|                                | Treliça              | 22  | Unidade | Pinus                      | 375,56         |
|                                | Vigamento            | 10  | Unidade | Pinus                      | 121,97         |
| <b>Total de madeira maciça</b> |                      |     |         |                            | <b>2012,95</b> |
| <b>Painéis OSB</b>             | Parede               | 15  | Unidade | Smartside                  | 125,43         |
|                                | Revestimento Externo | 22  | Placas  | OSB<br>(Espessura 0,010 m) | 361,15         |
|                                | Revestimento Interno | 28  | Placas  | OSB<br>(Espessura 0,010 m) | 459,65         |
| <b>Total de OSB</b>            |                      |     |         |                            | <b>946,23</b>  |

\*No estudo era utilizado o material aço, porém para esse trabalho foi convertido para madeira, sendo sua massa convertida com base na densidade da madeira e no volume fornecido pelo estudo original.

Fonte: Adaptado, Monich, 2012.

Após realizada a classificação dos materiais e a subtração dos aditivos químicos presentes nas placas OSB, foi efetuado o somatório da massa dos materiais de madeira, chegando a quantidade de madeira total que compõem a estrutura da casa.

A quantidade de carbono apreendida está diretamente ligada com a quantidade de madeira utilizada, sendo que ela corresponde à metade da massa da madeira (HIGUCHI; CARVALHO, 1994 apud SOARES et al, 2005). Logo, de posse da quantidade de madeira, o cálculo para obtenção da massa de carbono apreendido na casa, passa apenas pela multiplicação da massa de madeira pelo fator 0,5.

Para mensurações e comparações de emissões de GEE, a unidade padrão é o carbono equivalente, que se refere a massa de dióxido de carbono que equivale a outro GEE específico, devido aos diferentes potenciais de aquecimento global de cada GEE. Então o carbono presente na madeira foi convertido para carbono equivalente, ou seja, dióxido de carbono. Para isso, a massa de carbono apreendida na casa foi multiplicada pelo fator 3,66, esse valor expressa a razão da massa molecular do dióxido de carbono ( $\text{CO}_2 = 44$ ) pela massa molecular do carbono ( $\text{C} = 12$ ).

## 4.2 PROJEÇÃO DOS CENÁRIOS

Para estimar a quantidade de carbono apreendida utilizando o sistema *wood frame* em âmbito nacional, é necessário obter referências sobre o número de unidades habitacionais que poderiam ser construídas em determinado período, possibilitando assim a criação de cenários. Para isso foi feita uma pesquisa em organizações e instituições ligada a construção civil, buscando analisar o ritmo das construções habitacionais.

Essa pesquisa basicamente buscou referências sobre alguns tópicos fundamentais para fornecer subsídios necessários para a projeção dos cenários.

Os tópicos pesquisados foram:

- Déficit habitacional do Brasil;
- Demanda por habitação;
- Número de unidades habitacionais lançadas por ano;
- Número de unidades habitacionais entregue pelo Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV);
- Crescimento do setor imobiliário.

A partir dos dados obtidos referentes aos tópicos citados, foram projetados três cenários hipotéticos (A, B e C) com um número determinado de habitações construídas no sistema *wood frame*.

Para cada cenário foi estimada a quantidade total de carbono apreendida fazendo a multiplicação da massa de carbono equivalente encontrada para uma casa, pelo total de casas projetadas em cada cenário.

### 4.2.1 Cenário A

O cenário A teve como base o programa do governo federal PMCMV, onde foi verificado o número de unidades habitacionais concluídas pelo programa, desde o seu início no ano 2009 até o fim do ano de 2018. Os dados foram obtidos no Relatório de Gestão do Ministério das Cidades, exercício de 2018.

Para esse cenário foi considerado que 50% das unidades habitacionais concluídas pelo PMCMV, durante o período avaliado fossem construídas com madeira no sistema *wood frame*.

#### 4.2.2 Cenário B

O cenário B contempla o período de um ano, sendo utilizado como base o ano de 2019, onde foi verificado o número de unidades residências lançadas no país. Os dados foram obtidos nos Indicadores Imobiliários Nacionais 2019 divulgado pela Câmara Brasileira da Indústria da Construção - CBIC (2019).

Nesse cenário foi projetado que, assim como em países desenvolvidos a grande maioria das residências fossem construídas em madeira. Para o cálculo considerou-se que 80% das unidades habitacionais lançadas no ano fossem construídas com madeira.

#### 4.2.3 Cenário C

O cenário C foi baseado em um estudo da Associação Brasileira de Incorporadoras Imobiliária – ABRAINC (2018), o qual fez uma estimativa da demanda nacional por novas moradias, projetando o número necessário de unidades habitacionais para atender a demanda advinda da formação de novas famílias, ou seja, se refere a uma demanda incremental, sem considerar o déficit habitacional atual. Essa projeção foi realizada para o período de 2017 até o ano de 2027.

Além da demanda incremental o estudo projetou o número de residências necessárias para redução do déficit habitacional. Levando em consideração a eliminação integral de domicílios precários e do adensamento excessivo, e redução de 50% da coabitação total. Somando as residências necessárias para atender a redução parcial do déficit habitacional mais a demanda incremental, tem-se as necessidades totais de habitação para o período de 2018 até 2027 (ABRAINC, 2018)

O cenário C trabalha com uma projeção futura, considerando que 25% das construções projetadas para atender as necessidades totais de habitação no estudo referido anteriormente, sejam construídas em madeira no sistema *wood frame*.

Exclusivamente no cenário C além de um número de casas que podem ser construídas, foram projetados também tamanhos de casas diferentes ao de 42 m<sup>2</sup>, utilizados nos cenários A e B. Esses novos tamanhos foram determinados visando atender a demanda de diferentes classes sociais, apresentada no estudo da ABRAINC (2018). A estratificação de demanda habitacional por classes sociais e a área construída de cada casa pode ser vista na Tabela 2.

Tabela 2: Área construída projetada para cada classe social.

| <b>Classe social (salário mínimo)</b> | <b>Área da casa (m<sup>2</sup>)</b> |
|---------------------------------------|-------------------------------------|
| Menos de 1                            | 42                                  |
| De 1 a 3                              | 42                                  |
| De 3 a 5                              | 84                                  |
| De 5 a 10                             | 157,5                               |
| Mais de 10                            | 345,6                               |

Fonte: Adaptado ABRAIN (2018).

Para as classes sociais que englobam até três salários mínimos, foi mantida a área construída de 42 m<sup>2</sup>, tendo em vista que essa construção é apresentada por Monich (2012) como uma residência de interesse social, destinada as classes mais baixas.

As classes de três a cinco salários mínimos e de cinco a dez salários mínimos tiveram a área construída proporcionalmente aumentada em relação à média de salário de cada classe.

A classe social correspondente a mais de 10 salários mínimos, teve como área construída 345,6 m<sup>2</sup>, essa é área de um protótipo habitacional em madeira, desenvolvido para explorar o potencial da madeira para habitações voltadas à população de média e alta renda. Esse protótipo foi realizado pelo Laboratório de Sustentabilidade no Ambiente Construído – LASAC (2016) para ser construída no campus da Universidade Federal de Santa Maria, servindo com um modelo demonstrativo de construção em madeira de alto padrão. As Figuras 4 e 5 ilustram esse modelo de construção, demonstrando a vista frontal e as plantas do térreo e do primeiro pavimento.

Figura 4: Protótipo habitacional em madeira com área construída de 345,6 m<sup>2</sup>.



Fonte: LASAC (2016).

Figura 5: Planta do térreo e planta do primeiro pavimento de uma construção em madeira voltada a população de média e alta renda.





Fonte: LASAC (2016)

O cálculo da quantidade de carbono para as construções com tamanhos diferentes, foi realizado baseando-se no valor por  $\text{m}^2$  encontrado para a casa de  $42 \text{ m}^2$ . Ou seja, o valor encontrado para a massa de carbono equivalente em  $1 \text{ m}^2$ , foi multiplicado pela área construída de cada casa. Posteriormente, foi realizada a soma da quantidade de carbono apreendida em cada tamanho de casa, chegando assim à quantidade total de carbono equivalente apreendido no cenário projetado.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 APREENSÃO DE CARBONO

A soma dos materiais de madeira utilizados na construção da casa de 42 m<sup>2</sup> resulta em uma massa de 946 Kg de painéis OSB, com a subtração de 6% referente aos componentes químicos utilizados na fabricação do material, restam em 889 Kg. Acrescido da quantidade de madeira maciça utilizada, que corresponde a 2.013 Kg, chega-se a um total de 2.902 Kg de madeira presente na estrutura da casa.

Levando em consideração a área da casa, pode-se afirmar que nesse caso o sistema *wood frame* utilizou 69,1 Kg de madeira por m<sup>2</sup>. Esse valor contempla apenas a quantidade de material que compõem a estrutura da casa, sem levar em consideração as perdas no processo de produção ou resíduos da construção, logo toda a madeira contabilizada servirá como sumidouro de carbono. A Tabela 3 apresenta os valores de massas totais e por m<sup>2</sup> dos materiais de madeira.

Tabela 3: Massa dos materiais componentes da estrutura da casa de 42 m<sup>2</sup> e massa de carbono apreendido.

| Item                | Massa total (Kg) | Massa/m <sup>2</sup> (Kg) |
|---------------------|------------------|---------------------------|
| Madeira maciça      | 2.013            | 47,9                      |
| Madeira OSB*        | 889              | 21,2                      |
| Madeira total       | 2.902            | 69,1                      |
| Carbono apreendido  | 1.451            | 34,6                      |
| Carbono equivalente | 5.321            | 126,7                     |

\*Valor apresentado teve desconto de 6%.

Fonte: O Autor.

A quantidade de madeira utilizada na casa corresponde a apreensão de 1.451 Kg de carbono, assim para cada m<sup>2</sup> de área construída tem-se a apreensão de 34,6 Kg de carbono, resultado semelhante ao encontrado por Araujo et al (2020). Vale ressaltar que para cada unidade de carbono apreendido na madeira evita-se a emissão de 3,66 unidades de CO<sub>2</sub> para a atmosfera, devido a massa molecular de cada elemento.

Realizada conversão de carbono para CO<sub>2</sub>, se percebe que a massa total de carbono aprendida corresponde a 5.321 Kg de carbono equivalente. Esse valor

representa a massa de CO<sub>2</sub> que foi sequestrada da atmosfera pela floresta por meio da fotossíntese. Na sequência do processo ficou retida na madeira e agora está apreendida em uma construção altamente eficiente e mais sustentável que o modelo convencional baseado em alvenaria, que são mais utilizados no Brasil.

Um fator importante a ser levado em consideração, é que essa unidade habitacional é uma construção de interesse social, o que não significa que o sistema de construção *wood frame* implicaria em uma casa de qualidade inferior, mas sim com uma área construída menor. No entanto, construções destinadas a atender as classes sociais com maior poder aquisitivo ocupariam maior área e consequentemente mais madeira, potencializando a apreensão de carbono.

Para evidenciar a importância do valor encontrado referente à apreensão de carbono, é possível compará-lo com o carbono embutido nos materiais, ou seja, as emissões advindas da manufatura dos materiais componentes da casa e do seu processo de pré-fabricação. Segundo Monich (2012) a energia gasta para a produção dos materiais componentes da construção (expostos na Tabela 4) gera a emissão de 6689 Kg de CO<sub>2</sub>. Levando em consideração os 5.321 Kg de carbono equivalente apreendido nos materiais de madeira, é possível afirmar que 80% da emissão de carbono para a produção dos materiais é mitigado pela utilização da madeira.

Importante dizer que para o cálculo de carbono embutido; ou em outros termos “pegada de carbono” como se referem outros autores como Carvalho et al, (2020), são considerados todos os materiais utilizados para a construção da casa, não somente os de madeira, incluído materiais que emitem em seu processo de produção significativamente mais CO<sub>2</sub> que a madeira, como pode ser visto na Tabela 4.

Tabela 4: Carbono embutido nos materiais de construção de uma casa no sistema *wood frame* de 42 m<sup>2</sup>.

| <b>Material</b> | <b>CO<sub>2</sub> (kg)</b> |
|-----------------|----------------------------|
| Brita           | 23,19                      |
| Concreto        | 623,12                     |
| Pinus           | 481,40                     |
| Smartside       | 94,08                      |

|                          |             |
|--------------------------|-------------|
| Drywall                  | 224,04      |
| OSB                      | 232,73      |
| Gesso                    | 560,70      |
| Aço                      | 2363,40     |
| Massa corrida            | 125,97      |
| Tinta PVA                | 92,84       |
| Tinta óleo               | 158,84      |
| Tinta latex              | 27,80       |
| Vidro                    | 54,60       |
| Telha cerâmica           | 1472,33     |
| Piso cerâmico            | 77,03       |
| Rodapé cerâmico          | 6,63        |
| Cerâmica de revestimento | 70,72       |
| <b>Total</b>             | <b>6689</b> |

Fonte: Monich (2012).

Analisando a Tabela 4 se percebe que quanto mais diminuir a participação da alvenaria e do aço ao ponto que a participação da madeira aumenta, não somente estará ocorrendo a apreensão do carbono, e sim juntamente a isso diminuindo sua emissão. Isso justifica o fato, de esse estudo ter realizado a substituição dos materiais componente de algumas esquadrias, que eram de aço, foram consideradas como sendo de madeira, conforme pode ser visto na Tabela 1.

A importância da apreensão de carbono na madeira fica mais evidente quando comparamos a emissão de CO<sub>2</sub> do sistema *wood frame* com a alvenaria. Conforme a Tabela 4, a produção dos materiais componentes da construção em madeira gera a emissão de 159,27 Kg de CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> de construção, subtraindo o valor encontrado para a apreensão de CO<sub>2</sub> equivalente (Tabela 3), o balanço indicaria a emissão de 32,57 Kg de CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>. Enquanto isso, segundo Monich (2012) o carbono embutido na produção dos materiais para construção de uma casa de alvenaria e concreto armado, com tamanho e distribuição dos cômodos semelhantes à casa em *wood frame* é de 229,23 Kg de CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>. Esse valor é 7 vezes maior que a emissão da construção em madeira.

## 5.2 NÚMEROS DA CONSTRUÇÃO CIVIL

Um dos fatores que torna esse trabalho importante, e também demonstra a viabilidade de aplicação das ideias aqui apresentadas, é o grande déficit habitacional existente no Brasil, chegando a 7,78 milhões de residências (ABRAINC, 2018). Essa demanda por habitação demonstra o potencial que o setor tem, para utilizar da madeira na construção civil como um meio de apreensão de carbono em novas residências.

Os resultados encontrados referentes ao número de unidades habitacionais lançadas por ano (que se refere ao número de unidades residenciais novas postas à venda) corroboram com a ideia que a demanda por habitação vai seguir alta, enquanto o déficit habitacional chega a 7,78 milhões de residências, nos últimos quatro anos (2016, 2017, 2018 e 2019) foram lançadas 83.919, 95.923, 112.750 e 130.137 novas residências respectivamente (CBIC, 2019).

Segundo uma projeção feita pela Associação Brasileira de Incorporadoras Imobiliárias (ABRAINC, 2018), em parceria com a Fundação Getúlio Vargas (FGV), aponta que, para atender à demanda por moradias no país, serão necessários construir 1 milhão e 200 mil habitações por ano, até 2027. Porém, números mais recentes, fornecidos por CBIC (2019), expostos no parágrafo anterior, sugerem que dificilmente essa meta será alcançada. O que leva a crer que um método de construção mais barato rápido e eficiente ecologicamente poderia auxiliar a melhorar esse cenário no Brasil, e ainda se tratando de construções em madeira poderia contribuir para a mitigação da emissão dos GEE.

Como ainda no Brasil existe preconceito e desinformação com a utilização da madeira na construção civil, por grande parte da população, vista como um material de segunda classe, geralmente associada a construções precárias, sujeita ao fogo e com durabilidade baixa, seria fundamental a promoção de políticas públicas para facilitar o processo de transição do método construtivo e não deixar apenas nas “mãos do mercado”, o que faria com que essa transição acontecesse de forma mais rápida e planejada.

O governo federal por meio PMCMV, concluiu 4.655.530 unidades habitacionais, isso no período de 2009 a 2018. Pensando na continuidade desse programa, seria uma boa oportunidade para iniciar um processo de incentivo à utilização da madeira na construção de residências. Atualmente o programa já utiliza

construções *wood frame*, segundo Espindola (2017) entre 2012 e 2016 foram construídas 1.105 unidades habitacionais nesse sistema, porém são números ainda pouco expressivos quando comparado ao total de casas do programa.

Analisando o fato de o PMCMV ser financiado pelo governo federal, seria mais fácil de condicionar à construção de novas residências a utilização de métodos mais eficientes e sustentáveis, mesmo que inicialmente de forma gradual. E, como segundo efeito, teria a demonstração de suas vantagens à população, afirmando e popularizando esse método, assim como acontece em vários outros países.

### 5.3 PROJEÇÃO DOS CENÁRIOS

#### 5.3.1 Cenário A

O cenário A, baseado no PMCMV resultou em 2.327.765 unidades habitacionais em um período de dez anos, esse número é referente a 50% das casas concluídas pelo programa desde seu início em 2009 até o ano de 2018.

O tamanho e modelo de algumas casas realizadas pelo PMCMV são semelhantes à casa utilizada no estudo, como pode ser visto na Figura 6, Segundo Martinez et al (2013) a tipologia habitacional para qual existe a maior demanda, os empreendimentos horizontais, devem ter a metragem quadrada mínima da unidade habitacional de 35 m<sup>2</sup>, enquanto para os condomínios verticais a metragem quadrada mínima é de 42 m<sup>2</sup>. O autor ainda observou um padrão das construtoras de ocuparem uma área inferior a 50 m<sup>2</sup>.

Figura 6: Casas térreas voltadas as famílias com renda mensal de até 3 salários mínimos.



Fonte: Martinez et al (2013).

Assumindo que 50% das unidades habitacionais concluídas pelo PMCMV no período de projeção do estudo, fossem construídas no sistema *wood frame*, essas construções seriam capazes de apreender a massa de 12,4 milhões de toneladas de carbono equivalente ou 1,24 milhão por ano (Tabela 5).

Tabela 5: Número de casas projetadas, quantidade de madeira e carbono apreendido no cenário A.

| Item                    | Quantidade                |
|-------------------------|---------------------------|
| Casas projetadas        | 2.327.765 unidades        |
| Madeira                 | 6,7 milhões de toneladas  |
| Carbono                 | 3,4 milhões de toneladas  |
| Carbono equivalente     | 12,4 milhões de toneladas |
| Carbono equivalente/ano | 1,24 milhão de toneladas  |

Fonte: O Autor.

A quantidade de carbono equivalente apreendido no cenário A, seria suficiente para compensar a metade das emissões advindas do setor de transportes de passageiros em todo estado de São Paulo no ano de 2019, que foi de 20,5 milhões de toneladas de carbono equivalente segundo o Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG, 2020). Essa comparação demonstra o potencial para mitigação das emissões GEE que as construções em madeira possuem, sendo nesse exemplo, responsável pela apreensão de mais da metade das emissões de um dos setores mais poluentes no maior estado do Brasil.

### 5.3.2 Cenário B

O cenário B, teve como referência a ano de 2019, logo seu período de projeção é referente a um ano. Essa projeção resultou em 104.110 unidades habitacionais, esse número corresponde a 80% das unidades habitacionais lançadas no ano. Foi considerado que, assim como em países desenvolvidos, a maioria das construções habitacionais são realizadas com madeira.

Como mostra a Tabela 6, as construções projetadas nesse cenário apreenderiam um total de 0,554 milhão de toneladas carbono equivalente no ano de 2019. Esse valor é resultado de uma projeção, um exemplo, onde buscou-se, mais uma vez, demonstrar o potencial que as construções em madeira têm como sumidouro de carbono. Porém, na realidade esse número pode ser ainda maior, uma vez que, se considerou que todas as casas seriam construídas com a área de 42 m<sup>2</sup> e sabemos que existe uma demanda por casas com área construída maior, aumentando a utilização da madeira e a apreensão de carbono. Essas demandas por casas com diferentes tamanhos estão previstas no cenário C

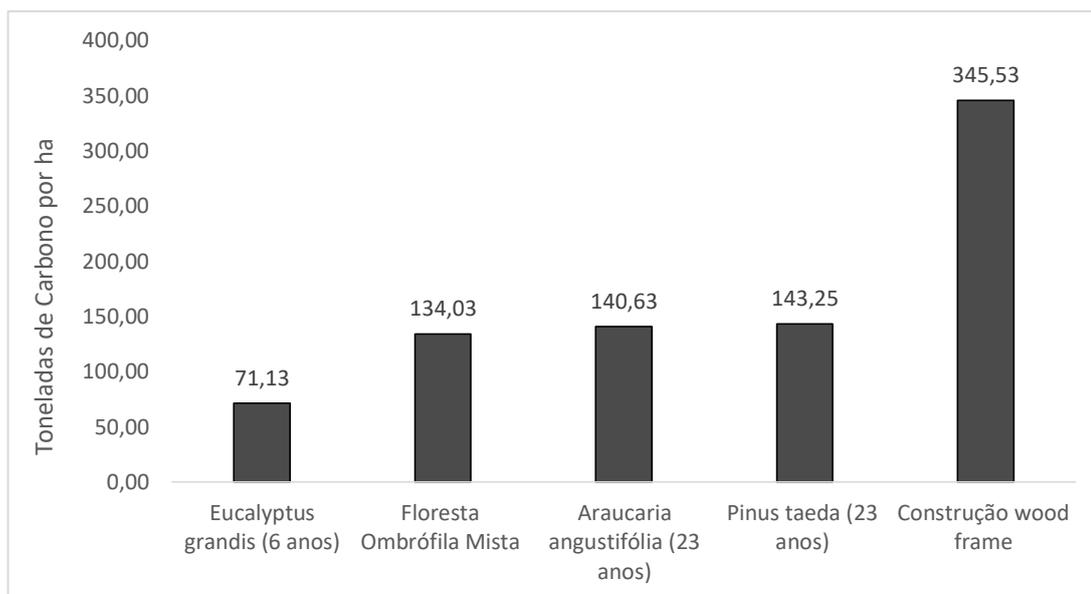
Tabela 6: Número de casas projetadas, quantidade de madeira e carbono apreendido no cenário A

| <b>Item</b>         | <b>Quantidade</b>              |
|---------------------|--------------------------------|
| Casas projetadas    | 104.110 unidades habitacionais |
| Madeira             | 0,302 milhão de toneladas      |
| Carbono             | 0,151 milhão de toneladas      |
| Carbono equivalente | 0,554 milhão de toneladas      |

Fonte: O Autor.

Para entendermos melhor o significado desses valores, podemos compará-los com a quantidade de carbono armazenado nas florestas, responsáveis pela remoção do carbono atmosférico e um dos mais importantes reservatórios de carbono do planeta. Observando a Figura 7, podemos notar que as construções em madeira podem armazenar mais que o dobro de carbono que as florestas naturais ou plantadas, em áreas de mesma dimensão.

Figura 7: Apreensão de carbono em diferentes tipologias florestais X apreensão de carbono em construções de madeira.



Fonte: O Autor.

A comparação vista na Figura 7 mostra a apreensão de carbono em dois plantios, de *Pinus taeda* e de *Araucaria angustifolia*, ambos com 23 anos de idade e em vegetação natural caracterizada como Floresta Ombrófila Mista (WATZLAWICK, 2003). Também consta o estoque de carbono encontrado para um plantio de *Eucalyptus grandis*, com 6 anos de idade, estudado por Paixão et al (2006).

Para efeito de comparação com as tipologias florestais, o valor apresentado para a construção em madeira na Figura 7 refere-se simplesmente a massa de carbono, sem a conversão para carbono equivalente. E, assim como as áreas de vegetação, a área que confere a apreensão de carbono dita para a construção em madeira é de um hectare, ou seja, 238 casas no sistema *wood frame* no modelo estudado de 42 m<sup>2</sup>.

Dentro do contexto do cenário B, onde é projetada uma apreensão de 0,151 milhão de toneladas de carbono a partir da construção de aproximadamente 100 mil casas em madeira, que totalizariam 441 hectares de área construída, seriam necessários 1,127 mil hectares de floresta ou 1,055 mil hectares de plantio de *Pinus*, para termos a mesma apreensão de carbono que o cenário B, de acordo com os valores encontrados por Watzlawick (2003) para a apreensão de carbono em diferentes tipologias florestais.

### 5.3.3 Cenário C

Projetando um cenário futuro onde 25% da demanda total nacional por moradia fosse atendida com construções habitacionais em madeira, seriam construídas quase 3 milhões de casas em dez anos, período correspondente ao ano de 2017 até 2027. Segundo estudo realizado por ABRAINC (2018) essa demanda seria estratificada por classe social, como pode ser visto na Tabela 7.

Tabela 7: Demanda nacional total por habitações no período de 2017 até 2027.

| <b>Classe social<br/>(salário<br/>mínimo)</b> | <b>Demanda</b> | <b>Casas<br/>projetadas em<br/>madeira (25%)</b> | <b>Área<br/>construída<br/>unitária (m²)</b> | <b>Carbono<br/>equivalente<br/>apreendido (Kg)</b> |
|-----------------------------------------------|----------------|--------------------------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| <b>Menos de 1</b>                             | 833.000        | 208.250                                          | 42,00                                        | 1.108.117.810,23                                   |
| <b>De 1 a 3</b>                               | 5.143.000      | 1.285.750                                        | 42,00                                        | 6.841.596.516,21                                   |
| <b>De 3 a 5</b>                               | 2.974.000      | 743.500                                          | 84,00                                        | 7.912.466.668,95                                   |
| <b>De 5 a 10</b>                              | 1.861.000      | 465.250                                          | 157,50                                       | 9.283.646.060,18                                   |
| <b>Mais de 10</b>                             | 1.172.000      | 293.000                                          | 345,60                                       | 12.829.005.425,94                                  |

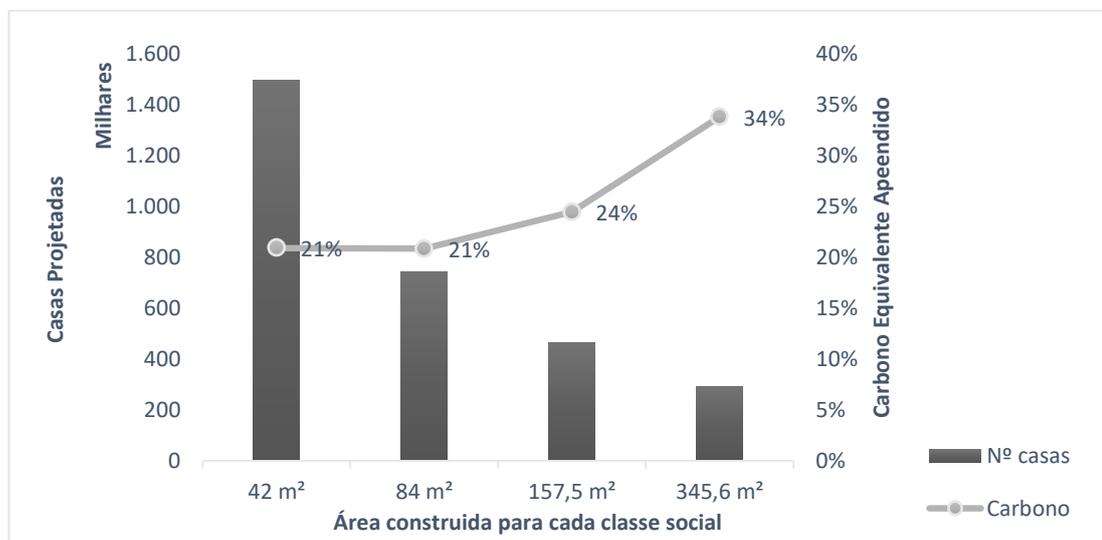
Fonte: Adaptado ABRAINC (2018)

Ao analisarmos o déficit habitacional atual, é possível notar que, quanto menor a classe social maior será a demanda por habitação. Porém, ao observar a Tabela 7, vemos que a classe social mais baixa (menos de um salário) é a que possui a menor demanda por habitação, isso é justificado no estudo realizado pela ABRAINC (2018), pelo fato de que as projeções para o período levam em consideração que as famílias que estão na faixa de renda mais baixa devem passar por um processo de ascensão, migrando para os estratos de renda mais altos, passando a demandar habitações compatíveis com esses níveis de renda.

Ao utilizar essa a estratificação por classes sociais e aumentar a área das casas de classes com maior poder aquisitivo, acontece um grande incremento na quantidade de carbono apreendido. Na Figura 8, podemos notar que mesmo como número de casas reduzido em comparação com as classes mais baixas, a maior

área construída das classes mais altas, faz com que a apreensão de carbono nessas classes seja bastante superior em relação as mais baixas.

Figura 8: Número de casas construídas e carbono equivalente apreendido relativo para cada tamanho de construção projetada no cenário C.



Fonte: O Autor.

Ao verificar a contribuição das construções de maiores dimensões para a apreensão de carbono, é notável a importância de romper com preconceitos, barreira cultural e desinformação da sociedade brasileira em relação às construções em madeira, sendo esse um dos principais fatores que prejudicam o crescimento do setor, como explica Araujo (2017).

Muitas vezes a madeira é tratada como um material de baixa qualidade, que não seria capaz de atender às necessidades de construções de alto padrão, críticas essas infundadas, pois esse material já é utilizado para construções de alto nível em diversos lugares no mundo.

A quebra desses paradigmas, contra a madeira, e a inserção desse material como matéria-prima para grandes construções, ocasionaria grandes ganhos ambientais em função da grande quantidade de carbono que seria apreendida. Isso pode ser visto no cenário C, ao todo contempla a construção de quase 3 milhões de casas divididas em classes sociais, essas construções seriam capazes de apreender 38 milhões de toneladas de carbono equivalente, como mostra a Tabela 8.

Tabela 8: Número de casas projetadas, quantidade de madeira e carbono apreendido no cenário C.

| <b>Item</b>             | <b>Quantidade</b>                |
|-------------------------|----------------------------------|
| Casas projetadas totais | 2.995.750 unidades habitacionais |
| Madeira                 | 20,7 milhões de toneladas        |
| Carbono                 | 10,4 milhões de toneladas        |
| Carbono equivalente     | 38 milhões de toneladas          |
| Carbono equivalente/ano | 3,8 milhões de toneladas         |

Fonte: O Autor.

Dentro do contexto dos acordos internacionais do clima, onde são previstas redução nas emissões de GEE, para cumprir a meta de 2025 proposta no Acordo de Paris, o Brasil precisa reduzir a emissão de carbono equivalente em 525 milhões de toneladas, considerando o que foi emitido em 2019, divulgado no relatório SEEG (2020). Se essa redução ocorrer de forma gradual significaria diminuir 87,5 milhões de toneladas a cada ano a partir de 2020 até 2025.

A quantidade de carbono apreendido por ano no cenário C, corresponde a 4,34% dessa redução anual necessária. É importante destacar que esse percentual é de apenas um setor da economia, onde o principal emissor de GEE é a mudança no uso do solo e floresta, e também de onde deve ocorrer as principais reduções. Para fazermos uma comparação mais equilibrada, podemos utilizar redução anual de cada setor necessária para atingir a meta de 2025. A redução de cada setor foi calculada de forma proporcional a sua emissão, conforme vemos na Tabela 9.

Tabela 9: Representatividade do Cenário C frente as reduções proporcionais dos setores.

| <b>Setor</b>                        | <b>Emissão<br/>(T CO<sub>2</sub> e)</b> | <b>Contribuição</b> | <b>Redução anual<br/>proporcional<br/>(T CO<sub>2</sub> e)</b> | <b>Cenário C<br/>(3,8 milhões<br/>T CO<sub>2</sub> e)</b> |
|-------------------------------------|-----------------------------------------|---------------------|----------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|
| Energia                             | 413.673.635                             | 19,0%               | 16.636.643                                                     | 22,8%                                                     |
| Agropecuária                        | 598.672.055                             | 27,5%               | 24.076.694                                                     | 15,8%                                                     |
| Processos Industriais               | 99.074.468                              | 4,6%                | 3.984.461                                                      | 95,3%                                                     |
| Resíduos                            | 96.155.226                              | 4,4%                | 3.867.059                                                      | 98,2%                                                     |
| Mudança de Uso da Terra e Florestas | 968.055.554                             | 44,5%               | 38.932.128                                                     | 9,8%                                                      |

Onde, T CO<sub>2</sub> e = Toneladas de Carbono Equivalente.

Fonte: O Autor.

Observando a tabela acima, notamos que o Cenário C representa quase 100% da redução necessária dos setores de Processos Industriais e Resíduos, e também é possível verificar sua comparação com os setores que mais emitem GEE no Brasil, Agropecuária e Mudança de Uso da Terra e Florestas. A partir dos resultados expostos na Tabela 9, podemos dizer que a apreensão de carbono equivalente no cenário C se mostra comparável a redução necessária de emissão dos grandes setores poluentes do país.

Além disso, o carbono contabilizado no Cenário C engloba somente o que ficaria apreendido nas construções, e não, a redução de emissão ocasionada pela substituição dos materiais, como alvenaria e aço, o que faria com que esse percentual fosse ainda mais representativo. Isso demonstra o potencial que as construções em madeira têm para contribuir com o cumprimento das metas de redução de emissão de GEE pelo Brasil.

Para o cenário C, é necessário fazer uma ressalva, pois diferentemente dos cenários A e B, neste caso os números apresentados são resultados de projeções futuras, onde estão sujeitas a variação do mercado que é influenciado por inúmeros fatores, sendo muito difícil fazer uma estimativa precisa do número de casas que

serão construídas. Mesmo com certo grau de incerteza, essa projeção pode auxiliar no planejamento das ações que visam a redução da emissão de GEE, pois possibilita ter uma estimativa de quanto o setor poderia contribuir com o sequestro e apreensão de carbono.

## 6 CONCLUSÃO

O déficit habitacional no Brasil é relativamente grande e não deve diminuir em um curto período de tempo. Construções em madeira poderiam auxiliar a atender essa demanda de forma mais eficiente, pois são mais rápidas e mais baratas sem perder qualidade em comparação com a alvenaria, e ainda apresentam um ganho ambiental contribuindo com a apreensão de carbono.

Uma casa de interesse social de 42 m<sup>2</sup> construída no sistema *wood frame* tem em sua estrutura 2.902 Kg de madeira, comportando a apreensão de 5.321 Kg de carbono equivalente. Esse modelo de construção pode armazenar mais que o dobro de carbono armazenado em florestas naturais ou plantadas.

Somente no ano de 2019, como demonstrou o cenário B, poderia ser utilizado 0,302 milhão de toneladas de madeira em construções. Essa demanda poderia estimular novos dos plantios florestais com foco em atender a construção civil, fazendo com que cresça o sequestro e conseqüentemente a apreensão de carbono.

O PMCMV poderia ter apreendido 12,4 milhões de toneladas de carbono equivalente entre 2009 e 2018, se 50% das casas fossem construídas em madeira. Com tudo, se 25% da demanda por habitação no Brasil for atendida com construções de madeira, essas construções seriam capazes de apreender um total de 38 milhões de toneladas milhões de toneladas de carbono equivalente em um período de dez anos.

Conforme o cenário C, a apreensão de carbono das construções com madeira, representariam 4,34% da redução de GEE anual necessário para o Brasil atingir a meta de 2025, proposta em 2015 no Acordo de Paris. Embora à primeira vista esse percentual de contribuição pareça pequeno, devemos analisar o fato que estamos tratando de apenas um setor, em comparação com as emissões totais do país, onde será necessária a contribuição de todos os setores para atingir as metas de redução da emissão de GEE, e principalmente somar todos os esforços que possam contribuir para a mitigação dos efeitos do aquecimento global.

Por fim, os resultados aqui apresentados e discutidos, podem servir como uma ferramenta, criando fortes subsídios para a formulação de políticas públicas, direcionadas ao desenvolvimento de sistemas construtivos com madeira, que possam ajudar a combater o déficit habitacional, e principalmente promover um

ganho ambiental através do sequestro e apreensão de carbono que ocorre em seu processo construtivo.

#### 6.1 SUGESTÕES PARA NOVAS PESQUISAS

Sugere-se uma pesquisa sobre a base florestal brasileira, com o objetivo de identificar a área florestal necessária para suprir a demanda de madeira dos cenários projetados.

Sugere-se também uma pesquisa sobre o possível rendimento com o mecanismo de créditos de carbono, a partir dos ganhos ambientais projetados nos cenários A, B e C.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABRAINCC – Associação Brasileira de Incorporadoras Imobiliárias. Análise das Necessidades Habitacionais e suas tendências para os próximos dez anos, 2018. Disponível em: <<https://www.abrainc.org.br/estudos/2018/10/17/abrainc-e-fgv-apresentam-estudo-da-analise-das-necessidades-habitacionais-e-suas-tendencias-para-os-proximos-dez-anos/>>. Acesso em: 20 abr. 2020.
- APA – **Avaliação do Cumprimento do Protocolo de Quioto**. Agência Portuguesa do Ambiente. Amadora. 2012.
- ARAUJO, V. et al. Wood consumption and fixations of carbon dioxide and carbon from timber housing techniques: A Brazilian panorama. **Energy and Buildings**. 2020; v 216: 109960, 2020. DOI: 10.1016/j.enbuild.2020.109960.
- ARAUJO, V. A. **Casas de madeira e o potencial de produção no Brasil**. 2017. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) - Universidade de São Paulo, São Paulo, SP.
- AZEVEDO, A. D. et al. Estoque De Carbono Em Áreas De Restauração Florestal Da Mata Atlântica. **Floresta**, v. 48, n.2, p. 183-194, 2018. DOI: 10.5380/ufv.v48i2.54447.
- BARBOSA, J. C.; INO, A.; SHIMBO, I. Indicadores de Sustentabilidade na cadeia produtiva de habitação em madeira de reflorestamento, 2000. Anais... Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, v. 8, p. 181-188.
- BASSO L. Brazilian energy-related climate (in)action and the challenge of deep decarbonization. **Revista Brasileira de Política Internacional**, v. 62 n. 2, 2019. DOI: 10.1590/0034-7329201900202.
- CARVALHO, J. et al. Potencial de sequestro de carbono. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 27-289, 2010. DOI: 10.1590/S0100-06832010000200001.
- CBIC – Câmara Brasileira da Indústria da Construção. Indicadores Imobiliários Nacionais 4º semestre de 2019, 2020. Disponível em: <[https://cbic.org.br/en\\_US/estudos/](https://cbic.org.br/en_US/estudos/)>. Acesso em: 20 abr. 2020.
- ESPINDOLA, L. D. R. **O wood frame na produção de habitação social no Brasil**. 2017. Tese (Doutorado em Arquitetura, Urbanismo e Tecnologia) - Universidade de São Paulo, São Paulo, SP.
- ESPÍNDOLA, L. D. R.; INO, A. Inserção e financiamento do sistema Wood Frame no programa habitacional Minha Casa Minha Vida. **Xv Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído**, p. 1578-1587, 2014. DOI: 10.17012/entac2014.566.
- FILHO, M. J. B; MICHELS, I. L. A Evolução Da Preocupação Com O Clima: O Surgimento Do Mercado De Carbono. **Desarrollo local sostenible**, v. 6 n. 18, 2013. Disponível em: <<https://www.eumed.net/rev/delos/18/mercado-carbono.pdf>>. Acesso em: 25 mai. 2020.

FLORINDO, M. I. R. **A capacidade de armazenamento de carbono nos ecossistemas, em áreas periurbanas da AML**. 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente) - Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa.

HEIDEMANN, P. S. Sistema construtivo *wood frame* na região sul de Santa Catarina: barreiras na entrada no mercado da construção civil e comparação de custo com um sistema tradicional, 2020. **Repositório institucional RIUNI UNISUL**. Universidade do Sul de Santa Catarina. Disponível em: <<https://www.riuni.unisul.br/handle/12345/10374?show=full>>. Acesso em: 25 nov. 2020.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate change 2018: Global Warming of 1.5C°, 2018. Disponível em: <<https://www.ipcc.ch/>>. Acesso em: 20 mar. 2020

IWAKIRI, S; MENDES, L. M. SALDANHA, L. K. Produção de chapas de partículas orientadas (OSB) de *Eucalyptus grandis* com diferentes teores de resina, parafina e composição em camadas. **Ciência Florestal**, v. 13, n. 1, p. 89-94, 2003. DOI: 10.5902/198050981726.

LAROCCA, C. **Habitação social em madeira: uma alternativa viável. 2002**. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR.

LASAC – Laboratório de Sustentabilidade no Ambiente Construído. Protótipo habitacional em madeira, 2016. UFSM.

MARTINEZ, G. F. et al. Habitação de Interesse Social: as tipologias habitacionais e o seu reflexo na produção da cidade através do Programa Minha Casa Minha Vida. **Colloquium Humanarum**, v. 10, p. 316-323, 2013. DOI: 10.5747/ch.2013.v10.nesp.000465.

MINISTÉRIO DAS CIDADES. Relatório de Gestão - Exercício de 2018, 2019. Disponível em: <<https://antigo.mdr.gov.br/auditoria?layout=edit&id=12290>>. Acesso em: 25 abr. 2020.

MOLINA, J. C.; JUNIOR, C. C. Sistema construtivo em *wood frame* para casas de madeira. **Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas**, v. 31, n. 2, p. 143-156. 2010. DOI: 10.5433/1679-0375.2010v31n2p143.

MONICH, C. R. **Avaliação ambiental de uma habitação de interesse social pré-fabricada em madeira no sistema *wood frame* no estado do Paraná**. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Construção Civil) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2012.

MOREIRA, H. M; GIOMETTI, A. B. R. Protocolo de Quioto e as possibilidades de inserção do Brasil no Mecanismo de Desenvolvimento Limpo por meio de projetos em energia limpa. **Contexto internacional**, v. 30, n. 1, p. 9-47, 2008. DOI: 10.1590/S0102-85292008000100001.

PAIXÃO, F. A. et al. Quantificação do estoque de carbono e avaliação econômica de diferentes alternativas de manejo em um plantio de eucalipto. **Revista Árvore**, v. 30, n. 3, p. 411-420, 2006. DOI: 10.1590/S0100-67622006000300011.

REBOITA, M. S. et al. Climate Projections for South America: RegCM3 Driven by HadCM3 and ECHAM5. **Advances in Meteorology**, v. 2014, p. 1-17, 2014. DOI: 10.1155/2014/376738.

SILVA, R. F. D. et al. Projeção do estoque de carbono e análise da geração de créditos em povoamentos de eucalipto. **Revista Árvore**, v. 32, n. 6, p. 979-992, 2008. DOI:10.1590/S0100-67622008000600003.

SALDANHA, L. K.; IWAKIRI, S. Influência da densidade e do tipo de resina nas propriedades tecnológicas de painéis OSB de *Pinus taeda* L. **Floresta**, v. 39 n. 3, p. 571-576, 2009. DOI: 10.5380/ufv.v39i3.15356

SANTOS, M. P.; AGUILAR, M. T. P. Painéis de madeira como vedação vertical em construções. **Cadernos de Arquitetura e Urbanismo**. Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, v. 14, n. 15, p. 242-263, 2007. Disponível em: <<http://periodicos.pucminas.br/index.php/Arquiteturaeurbanismo/article/view/821>>. Acesso em: 23 out. 2020.

SEEG - Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa, 2020. Disponível em: <[http://plataforma.seeg.eco.br/total\\_emission#](http://plataforma.seeg.eco.br/total_emission#)>. Acesso em: 20 out. 2020.

SEEG - Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa. Análise das Emissões Brasileiras de Gases de Efeito Estufa e suas Implicações Para as Metas de Clima do Brasil 1970-2019, 2020. Disponível em: <<https://www.oc.eco.br/seeg-8-analise-das-emissoes-brasileiras-de-gases-de-efeito-estufa-e-suas-implicacoes-para-metas-de-clima-brasil-1970-2019/>>. Acesso em: 20 out. 2020.

SILVESTRE, C.S.; FIGUEIREDO, F. B. Análise comparativa entre o sistema construtivo *wood frame* e a alvenaria convencional para uma residência unifamiliar na cidade de Dourados-MS. **Repositório UFGD**. Universidade Federal da Grande Dourados, 2018. Disponível em: <<http://repositorio.ufgd.edu.br/jspui/handle/prefix/1965>>. Acesso em: 22 out. 2020.

SOARES, C. P B.; LEITE, H. G.; GÖRGENS, E. B. Equações para estimar o estoque de carbono no fuste de árvores individuais e em plantios comerciais de eucalipto. **Revista Árvore**, v. 29, n. 5, p. 711-718, 2005. DOI: 10.1590/S0100-67622005000500006

SPANIOL, N. C. **Análise comparativa dos sistemas construtivos alvenaria convencional e *wood frame* para habitação de interesse social**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, PR.

TECVERDE – Tecverde e Brasil ao Cubo | Finalização Hospitais, 2020. Disponível em: <<https://www.tecverde.com.br/2020/07/31/tecverde-e-brasil-ao-cubo-finalizacao-hospitais/>>. Acesso em 15 out. 2020.

WATZLAWICK, L. F. **Estimativa de biomassa e carbono em floresta ombrófila mista e plantações florestais a partir de dados de imagens do satélite IKONOS II**. 2003. Tese (Doutorado em Manejo Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR.