

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

DASSAEV HABOWSKI

**ESTUDO DA VIABILIDADE DA UTILIZAÇÃO DE MADEIRA
DE REFLORESTAMENTO COMO MATERIAL DE
CONSTRUÇÃO PARA CASAS DE PEQUENO PORTE**

PATO BRANCO

2018

DASSAEV HABOWSKI

**ESTUDO DA VIABILIDADE DA UTILIZAÇÃO DE MADEIRA DE
REFLORESTAMENTO COMO MATERIAL DE CONSTRUÇÃO PARA CASAS DE
PEQUENO PORTE**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Pato Branco como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.
Orientador: Prof. Dr. Volmir Sabbi
Coorientador: Prof. Dr. José Ilo Pereira

PATO BRANCO

2018

TERMO DE APROVAÇÃO

ESTUDO DA VIABILIDADE DA UTILIZAÇÃO DE MADEIRA DE REFLORESTAMENTO COMO MATERIAL DE CONSTRUÇÃO PARA CASAS DE PEQUENO PORTE

DASSAEV HABOWSKI

No dia 20 de novembro de 2018, às 10h20min, na SALA DE TREINAMENTO da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, este trabalho de conclusão de curso foi julgado e, após arguição pelos membros da Comissão Examinadora abaixo identificados, foi aprovado como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, conforme Ata da Defesa Pública nº44-TCC/2018.

Orientador: Prof. Dr. VOLMIR SABBI (DACOC/UTFPR-PB)

Coorientador: Prof. Dr. JOSÉ ILO PEREIRA FILHO (DACOC/UTFPR)

Membro 1: Prof. Dr. CESAR AUGUTO M. DESTRO (DACOC/UTFPR-PB)

Membro 2: Prof. Dr. GUSTAVO LACERDA DIAS (DACOC/UTFPR-PB)

Em memória de Erna Maria Rodrigues da Silva, sábia matriarca, mantém-se viva em forma de amor.

Em agradecimento ao Vale do Chopim, sempre acolhedor e magnífico, me ensinando e motivando muito durante a jornada acadêmica.

RESUMO

HABOWSKI, Dassaev. **Estudo da viabilidade da utilização de madeira de reflorestamento como material de construção para casas de pequeno porte.** Trabalho de conclusão de curso (Graduação) - Curso Superior de Bacharelado em Engenharia Civil. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2018.

Este trabalho faz uma abordagem de múltiplos aspectos em relação a utilização da madeira de reflorestamento como material de construção para casas de pequeno porte, com o objetivo de proporcionar uma análise ampla da cadeia produtiva. Com a motivação inicial de demonstrar cientificamente que a madeira é um material sustentável, sendo necessário que seu uso se faça de forma consciente, ao mesmo tempo permitindo a viabilidade técnica e econômica da construção em madeira dentro do mercado atual. Conectando informações qualitativas de cunho histórico e cultural, uma comparação financeira quantitativa parcial entre madeira e o conjunto formado por cimento, aço e alvenaria, e uma abordagem dos impactos ambientais gerados por ambos os sistemas construtivos comparados. Pode-se concluir que a madeira de reflorestamento apresenta qualidades relevantes para utilização como material de construção para estruturas e vedação de casas de pequeno porte por fatores técnicos, econômicos e ambientais. Apresentando também, vantagens executivas em relação ao tempo de execução, custo da mão de obra, facilidade de limpeza e organização da obra.

PALAVRAS CHAVE: Habitação em madeira. Construção sustentável. Materiais de construção. Geração de resíduos de construção. Madeira de reflorestamento.

ABSTRACT

HABOWSKI, Dassaev. **Feasibility study of the use of reforestation wood as a construction material for small houses**. Final Work for the Undergraduation - Bachelor in Civil Engineering. Federal Technological University of Paraná, Pato Branco, 2018.

This work takes a multi-factor approach regarding the use of reforestation wood as a construction material for small houses, with the aim of providing a broad analysis of the production chain. With the initial motivation to demonstrate scientifically, that wood is a sustainable material, it is necessary that its use to be done in a conscious way, at the same time allowing the technical and economic viability of the wood construction within the current market. Connecting qualitative historical and cultural information, a partial quantitative financial comparison between wood and the group formed by cement, steel and masonry, and a broad analysis of the environmental impacts generated by both comparative construction systems. It can be conclude that reforestation wood presents relevant qualities for use as construction material for structures and small house sealing by technical, economic and environmental factors, presenting executive advantages in relation to execution time, cost of labor, cleaning and organization of the ambient of work.

KEYWORDS: Wooden house. Construction Materials. Sustainable construction. Generation of constructio waste. Reforestation wood.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - A Casa de Araucária	6
Figura 2 - A Casa de Araucária com chanfros na cobertura	8
Figura 3 - Acabamentos como forma de proteção	9
Figura 4 - Seções da madeira serrada	13
Figura 5 - Defeitos durante a secagem da madeira	16
Figura 6 - Peça de madeira laminada colada exposta ao fogo por 30 minutos	18
Figura 7 - Fotografia após incêndio	19
Figura 8 - Condutibilidade térmica para diversos materiais.....	20
Figura 9 - Exemplo de casa utilizando tábuas e mata-juntas	36
Figura 10 - Detalhe de encaixe e o montante vertical	37
Figura 11 - Disposição das peças para parede externa	38
Figura 12 - Fechamento externo de parede com tábuas.....	39
Figura 13 – Detalhes construtivos de tabuas horizontais pregadas	39
Figura 14 - Exemplo de construção em tabuas horizontais pregadas.....	40
Figura 15 – Janela de eucalipto	40
Figura 16 - Estrutura para <i>Wood Frame</i>	42
Figura 17 - Interior de um pavimento inteiro em madeira.....	42
Figura 18 - Vários ângulos de uma construção em <i>Wood Frame</i>	43
Figura 19 - Exemplo de construção em alvenaria convencional	45
Figura 20 - Origem dos RCD em alguns municípios brasileiros	51
Figura 21 - Fachada Frontal em concreto armado e alvenaria.....	56
Figura 22 - Planta baixa modelo para comparação.....	57
Figura 23 - Peça de madeira passando pela desempenadeira	59
Figura 24 - Galpão de acabamentos e estoque da madeireira Starvil.....	60

LISTA DE QUADROS E TABELAS

Quadro 1 - Quantidade e valor de produção da silvicultura no Brasil.....	29
Quadro 2 - Vantagens/desvantagens do sistema de alvenaria e concreto armado ..	44
Quadro 3 - Consumo de energia na produção de materiais.....	47
Quadro 4 - Perdas de alguns materiais na construção em canteiros brasileiros.....	49
Tabela 1 - Orçamento parcial da casa em concreto armado e alvenaria	58
Tabela 2 - Custo relacionado à matéria-prima	61
Tabela 3 - Custos relacionados à mão de obra.....	61
Tabela 4 - Resumo da comparação financeira parcial	64

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABIMC – Associação Brasileira da Indústria de Madeira Processada Mecanicamente

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

CDW – Construction and Demolition Waste – Resíduos de Construção e Demolição

FINEP – Financiadora de Inovação e Pesquisa

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IBQP – Instituto Brasileiro de Qualidade e Produtividade do Paraná

LEED – Leadership in Energy and Environment Design – Liderança em Desing Energético Ambiental

LSF – Light Steel Frame – Armação de Aço Leve

MLC – Madeira Laminada Colada

NBR – Norma Brasileira

ONU – Organização das Nações Unidas

OSB – Oriented Strand Board – Painel de Tiras de Madeira

RCD – Resíduos de construção e demolição

SBI - Stalbyggnadsintituted, The Swedish Institute of Steel Construction – Instituto Sueco de Construção em Aço

SBS – Sociedade Brasileira de Silvicultura

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	OBJETIVOS	2
1.1.1	Objetivo geral	2
1.1.2	Objetivos específicos.....	2
1.2	JUSTIFICATIVA.....	2
2	REFERENCIAL TEÓRICO	4
2.1	A MADEIRA	4
2.1.1	História da madeira na construção civil	5
2.1.1.1	Arquitetura em madeira.....	7
2.1.2	Tecnologias relacionadas ao uso madeira	11
2.2	CARACTERÍSTICAS DA MADEIRA.....	12
2.2.1	Densidade	14
2.2.2	Retratibilidade.....	15
2.2.3	Desempenho a altas temperaturas e exposição à chama	16
2.2.3.1	Verniz antichamas.....	22
2.2.3.2	Tinta intumescente	22
2.2.3.3	Solução para madeira crua	23
2.2.4	Resistencia mecânica.....	23
2.2.5	Conforto térmico	24
2.3	TRATAMENTO E PRESERVAÇÃO DA MADEIRA	25
2.3.1	Métodos simples.....	26
2.3.1.1	Retificação térmica.....	27
2.3.2	Tratamento em autoclave	27
2.4	MERCADO DE MADEIRAS PARA CONSTRUÇÃO CIVIL.....	28
2.4.1	Mercado de madeira de reflorestamento	30
2.5	ESTRUTURAS DE MADEIRA	31
2.5.1	Segurança de uma estrutura	31
2.5.2	Dimensionamento.....	32
2.5.2.1	Flambagem	33
2.5.2.2	Estudo dos ventos.....	34
2.5.2.3	Estruturas de pequenas habitações.....	34

2.6	MÉTODOS CONSTRUTIVOS	35
2.6.1	Métodos utilizando a madeira.....	35
2.6.1.1	Tábuas e mata-junta	36
2.6.1.2	Tábuas horizontais empilhadas.....	37
2.6.1.3	Tábuas horizontais pregadas	38
2.6.1.4	<i>Wood Frame</i>	41
2.6.2	Método de concreto armado e alvenaria convencional	44
2.7	IMPACTOS AMBIENTAIS	45
2.7.1	Sustentabilidade	46
2.7.2	Necessidade energética	47
2.7.3	Geração de resíduos sólidos de construção e demolição (RCD)	48
2.7.3.1	Geração de RCD em habitações de pequeno porte	51
2.7.3.2	Geração de RCD utilizando a madeira.....	52
2.7.4	Impactos ambientais positivos.....	53
3	METODOLOGIA DE PESQUISA	55
4	LEVANTAMENTO DE DADOS	56
4.1.1	Concreto armado e alvenaria convencional	56
4.1.2	Método de tábuas horizontais pregadas.....	58
4.1.2.1	Visita a madeireira Starvil.....	58
4.1.2.2	Detalhes do orçamento parcial da casa de madeira	60
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	62
5.1	FATORES HISTÓRICOS E CULTURAIS.....	62
5.2	MADEIRA COMO MATERIAL DE CONSTRUÇÃO	63
5.3	COMPARAÇÃO FINANCEIRA	63
5.4	FATORES AMBIENTAIS E SUSTENTÁVEIS	65
5.5	SÍNTESE DOS RESULTADOS	66
5.6	COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS COM A LITERATURA.....	67
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	68

ANEXO A - Orçamento da habitação em alvenaria convencional

ANEXO B - Projeto de habitação de 48m² em concreto armado e alvenaria

1 INTRODUÇÃO

A construção civil é uma indústria muito abrangente, atende a uma das necessidades básicas, a moradia, e tem necessidade de materiais específicos para atender à demanda de cada obra. De acordo com Hansen (2008) a indústria da construção civil tem aproximadamente 40% de participação em toda economia mundial, isso faz com que mudanças sutis causem impactos significativos em avaliações dos aspectos financeiros e ambientais.

A produção de edificações e atuações da construção civil consomem 66% de toda madeira extraída (BELTRAME, 2013) e gera 40% dos resíduos na zona urbana (HANSEN, 2008).

Segundo o Instituto Sueco de Construção em Aço (SBI, 2017), mais de 40% de todos os materiais utilizados pela sociedade são consumidos pela indústria da construção civil.

A dificuldade de diminuir esse impacto ambiental se dá em parte pela resistência deste setor da indústria em se adaptar à novas técnicas e tecnologias. Esta dificuldade é associada a mudanças e aprimoramentos da mão de obra com relação a materiais e método não convencionais.

Para uma construção ser considerada sustentável ela deve ser economicamente viável para seus investidores, atender à necessidade dos usuários e ser produzida com técnicas que reduzam o trabalho degradante e inseguro feito pelo homem (CEOTTO, 2008).

A madeira é um recurso muito utilizado na construção civil e é considerada como recurso renovável, por isso existe certa dificuldade em assimilar a informação de que o impacto causado pela má escolha do material na construção civil é realmente significativo.

Com este trabalho pretende-se demonstrar que a madeira que hoje é utilizada em sua maior parte indiretamente, pode ser utilizada para construção direta de uma casa de tamanho, qualidade e conforto similares. Com menor geração de resíduos sólidos, menor impacto ambiental, em menor tempo e menos recursos financeiros. E possibilitar simultaneamente uma variedade maior de opções para o cliente na escolha do material de construção.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Estudar a viabilidade técnica, econômica e ambiental da utilização da madeira de reflorestamento como material de construção para casas de pequeno porte.

1.1.2 Objetivos específicos

- Relacionar os aspectos culturais e históricos envolvidos com a escolha do material para construção.
- Pesquisar sistemas existentes que utilizam a madeira como material de construção.
- Abordar os impactos ambientais do uso da madeira e do sistema construtivo convencional.
- Comparar a utilização da madeira com uma construção de concreto armado e alvenaria convencional no aspecto econômico.

1.2 JUSTIFICATIVA

Este trabalho tem como maior motivação o impacto ambiental causado pela construção civil, que além de ocupar o lugar de maior consumidor de toda madeira extraída, ocupa também o lugar de setor com maior geração de resíduos de construção e demolição (RCD) do Brasil, que são: tijolos, concreto em geral, madeiras e compensados, blocos cerâmicos, gesso entre outros (CONAMA, 2002).

Os RCD são responsáveis em média por 50% dos resíduos urbanos gerados no Brasil e no mundo, chegando a uma quantidade de 500kg de resíduo sólido por habitante da zona urbana por ano (PINTO, 1999). Representando mais de duas vezes a massa de lixo urbano (JOHN, 2000).

O que diferencia a madeira dos demais materiais utilizados na construção civil é a produção ordenada da matéria-prima de fontes renováveis com a possibilidade do uso de técnicas utilizadas em reflorestamentos, que permitem manejar as árvores de

forma com que atenda as qualidades de um produto final específico (DIAS; LAHR; CALIL, 2003).

Segundo a Sociedade Brasileira de Silvicultura, (SBS, 2005) existe uma abundância de variações de pinus e eucalipto com idade avançada e com preço reduzido no mercado estadual do Paraná. Este trabalho se interessa em demonstrar as vantagens da utilização desta disponibilidade de recurso para a construção civil.

O resultado final de uma construção composta parcial ou inteiramente por madeira, traz um ambiente mais natural, menos neutro e diferente do produto convencional do mercado atual, mostrando-se como elemento de conexão entre o usuário e o meio no qual está inserido.

Ao lado do direito à alimentação e à água está o direito à moradia, segundo o Art 6º da Constituição Federal de 1988. Mas esse direito não é garantido a totalidade da população. Assim como existem pessoas que passam fome atualmente, existem pessoas sem acesso seguro à moradia.

É nesta questão que pequenas habitações de madeira podem ser benéficas socialmente, diminuindo custos, tempo de obra, geração de resíduos e principalmente aumentando o acesso a este direito primordial que é a moradia.

O Sistema Battistella teve avaliação e desenvolvimento de sistema construtivo em madeira de reflorestamento, justamente com a finalidade de atender a programas de habitação social. Segundo Szücs (2004), autor do estudo sobre o Sistema Battistella e outros estudos relacionados à madeira, essa matéria-prima apresenta bom desempenho e pode ser amplamente utilizada para suprir necessidades básicas em habitações sociais.

Programas executados pelo governo como o “Minha Casa, Minha Vida”, o programa “Morar Melhor” e o “Pró-Moradia” auxiliam o acesso à moradia para a parte da população com menos condições financeiras.

Caso estes programas sociais estudassem a possibilidade do emprego da madeira como material de construção. Os programas habitacionais sociais poderiam dar condições de moradia digna a pessoas e, ao mesmo tempo diminuir os impactos ambientais da indústria da construção civil sem aumentar consideravelmente os custos relacionados.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 A MADEIRA

O fato da madeira ser uma matéria-prima extraída de um ser vivo implica em variações nas suas propriedades físico mecânicas, em função do meio ambiente em que a árvore se desenvolve (PFEIL, 2003).

O mesmo autor afirma que a madeira é um material viável ecológica e economicamente devido às técnicas de reflorestamento e a produção industrializada, apresentando grande economia e uma diminuição nas perdas. Exibindo um panorama favorável aos objetivos estipulados no capítulo introdutório deste trabalho.

A literatura é concordante quando afirma que a maior vantagem da utilização da madeira é a sua capacidade de se renovar, se apresentando com ciclo de vida curto, tempo de decomposição rápido, se associando a construções sustentáveis.

Segundo Garcia et al. (2002) a madeira é classificada como resíduo sólido seco de decomposição orgânica e de origem industrial. Sendo resíduos que não apresentam risco de poluição ambiental, porém não são inertes, no sentido de ser um resíduo desprovido de resistência mecânica, permitindo a destinação futura deste resíduo e possibilitando que seja utilizado por outras atividades.

A destinação atual da madeira na construção civil em todo país é feita de forma precária. É utilizada para confecção de formas para vigas e pilares, suporte para lajes, construção de andaimes, passagens sobre valas oriundas da construção além de todas as utilizações como forma de acabamento em rodapés, forros, pisos, portas, janelas.

Apesar de não ter todo seu potencial utilizado como parte estrutural e vedação integrando a obra definitivamente, a madeira é o segundo material mais consumido na construção civil, ficando atrás apenas do aço (MASCARENHAS, 2008).

A utilização da madeira requer cuidados específicos com relação a mão de obra especializada em relação aos revestimentos de vedação, principalmente quando as peças compõem a parte externa do conjunto e têm contato constante com chuva e sol, aumentando a proliferação de fungos e acelerando a deterioração da madeira.

Diminuindo o tempo entre reparos e manutenções e conseqüentemente aumentando o custo de manutenção da obra.

A madeira também pode apresentar defeitos como descontinuidade, anomalia estrutural, alteração química ou da coloração, modificação morfológica do fuste e secagem ou técnica de desdobramentos irregulares. O que cria uma aplicação do trabalho do engenheiro e de técnicos com relação aos processos industriais que devem ser empregados em cada ambiente onde se desdobra e processa madeira.

Como qualquer matéria-prima de origem orgânica, apresenta uma série de condições que devem ser levadas em consideração na utilização da peça. Ainda assim a madeira é considerada um ótimo material para construção civil em aspectos de conforto, plasticidade no projeto, durabilidade e rapidez de montagem (MEIRELLES et al., 2007).

O mesmo autor afirma que habitar uma casa de madeira aproxima o homem da natureza, pelo fato de mesmo depois de trabalhado, o produto final em madeira trazer cores, texturas e aromas naturais. Se mostrando um aspecto que deve ser levado em consideração para construção de habitações.

2.1.1 História da madeira na construção civil

Desde as primeiras civilizações sedentárias, com habitação fixa, a madeira ocupa grande parcela da matéria-prima empregada em suprir necessidades relacionadas a habitações. Muito utilizada pelos índios no Brasil em conjunto com outros materiais orgânicos, a madeira acompanhou a evolução da humanidade, atendendo às exigências de moradia de cada época e diferentes culturas, protegendo os povos das ações climáticas por milênios.

Na história do Brasil Colônia ocorreu a exploração predatória de madeira, das espécies tropicais da Mata Atlântica e do Cerrado, e das madeiras macias provenientes da mata de coníferas das faixas tropicais do Sul do país. Em ambos os casos a madeira foi utilizada pela indústria moveleira e naval, mas a construção civil sempre ocupou uma parcela considerável desta exploração.

O estado do Paraná teve a exploração de madeira como uma das principais atividades econômicas com a extensa floresta de Araucárias, anunciada como

infindável no fim do século XIX, encorajando a exploração desmedida até quase sua total extinção (BATISTA, 2007).

Segundo o mesmo autor, a abundância momentânea de matéria-prima, associada à mão de obra qualificada vinda com os imigrantes, originou uma série de métodos construtivos com diversas técnicas europeias misturadas.

O construtor tinha três materiais a disposição: madeira, pedra e barro, sendo a madeira a mais rica em possibilidades. Segundo Imaguire (1993) o método construtivo das proximidades de Curitiba foi denominado como “A Casa de Araucária” (Figura 1), por ser proveniente da floresta de coníferas que se estendia por grande parte do Sul do Brasil. Segundo o mesmo autor, o resultado final dessas casas era uma simbiose única, não sendo encontradas semelhantes nos países de origem dos construtores.

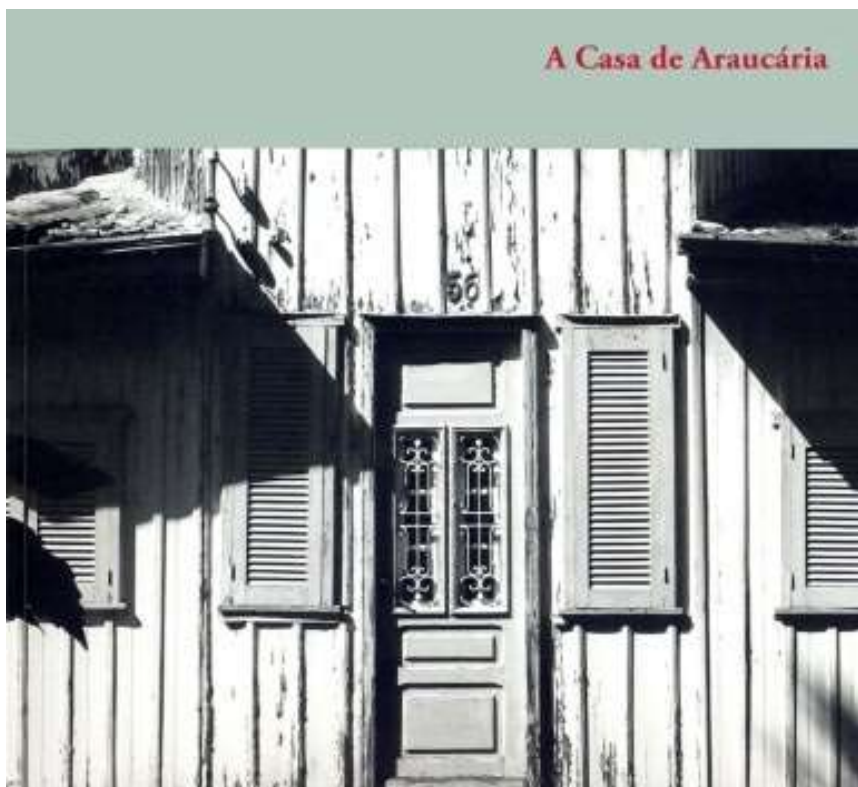


Figura 1 - A Casa de Araucária
Fonte: IMAGUIRE et al., 2011.

Na década de 1960, a popularização de elementos industrializados, principalmente as esquadrias de ferro e vidro do tipo “vitreaux”, passam a ocupar o espaço das tradicionais janelas guilhotina em madeira (IMAGUIRE et al., 2011).

O mesmo autor afirma que outro fator que também influenciou para a diminuição do uso da madeira foi o forte aspecto cultural herdado de que concreto e alvenaria remetem a classes sociais mais altas.

Gabriel e Weigert (2017) expõem informações referentes a construções habitacionais em madeira, realizando um importante trabalho de levantamento e exposição do acervo histórico da utilização da madeira especificamente na cidade de Pato Branco/PR.

Os mesmos autores afirmam que o inventário levantado entre 2013 e 2015 contém 380 residências de madeira edificadas entre 1940 e 1970 na cidade e em seu perímetro rural, a maioria dos imóveis inventariados possuem algum grau de modificação, principalmente no que se refere as áreas molhadas.

2.1.1.1 Arquitetura em madeira

Segundo Zani (2003) entre 1870 e 1879 aconteceu o início da chegada dos imigrantes europeus não portugueses no Paraná. Foram estabelecidas 26 colônias no estado, 19 delas na região do município de Curitiba e nos municípios vizinhos de Araucária e São José dos Pinhais. Nas 3 décadas seguintes, mais 25 colônias se estabeleceram na região.

O mesmo autor afirma que a diversidade cultural oriunda dessa nova população trouxe modificações nas soluções arquitetônicas, evidenciadas pelo uso de diferentes técnicas e materiais na construção.

Batista (2007) elucida parte da história da utilização de madeira no estado do Paraná, também estuda o sistema de construção intitulado "A Casa de Araucária" por Imaguire (1993).

Esse sistema demonstrava uma utilização de peças estruturais que fazem parte do conjunto estético da obra, mostrando a existência de um equilíbrio entre engenharia e arquitetura na profissão do carpinteiro, ainda como herança cultural europeia.

Batista (2007) demonstra que o interesse de seu estudo se iniciou em função da pouca compreensão que ele tinha sobre a interação cliente e arquiteto. Outro motivo, segundo o autor, foi não saber como a arquitetura em madeira tinha tomado formas

tão complexas sem a presença de arquitetos, influenciada apenas pelos construtores imigrantes.

O presente trabalho também sofre influências de dúvidas existentes entre a interação engenheiro e cliente, e como o cliente influencia na escolha dos materiais construtivos e dos aspectos finais de sua habitação. Tendo como objetivo intrínseco aprimorar a escolha do cliente em função do conforto e sustentabilidade de sua futura habitação.

O trabalho do arquiteto se mostra mais válido quando o padrão é uma parede branca, obrigando o profissional a trabalhar com as formas da habitação e com a iluminação da mesma. Com a madeira o trabalho arquitetônico toma rumos diferentes e manter as cores da madeira é preferível em vários aspectos.

Na Figura 2 podemos ver um exemplo de casa de madeira com detalhes de arquitetura e métodos construtivos compostos, mesmo que nos detalhes de acabamento. Esses acabamentos, além de aumentar a qualidade e o preço final do produto, em sua maioria ajudam na proteção contra agentes deteriorantes, formando uma união entre proteção e elemento estético.



Figura 2 - A Casa de Araucária com chanfros na cobertura
Fonte: IMAGUIRE et al., 2011.

Este é um exemplo de habitação que vai contra o argumento cultural de que casas de madeira remetem a classes sociais baixas. Casas de madeira podem formar um conjunto visualmente harmonioso e tem muitas opções em estrutura e acabamento.

Outra análise que pode ser feita da observação da Figura 2 é a presença de chanfros na parte superior do telhado, possibilitando sótão com maior relação volumétrica, além de incrementar a fachada da casa.

A Figura 3 mostra os detalhes construtivos como forma de proteção em uma cor viva e chamativa, sendo exemplo de acabamentos relacionados a proteção da habitação.



Figura 3 - Acabamentos como forma de proteção
Fonte Circulando por Curitiba, 2011.

Segundo Batista (2007) com a introdução da máquina a vapor às serrarias, ainda no século XIX, houve um ganho de possibilidades de desdobramento da madeira que gerou uma padronização de bitolas.

Encontra-se uma grande variedade de edifícios, igrejas, hospitais, clubes e residências de até três pavimentos feitas em madeira com a nova tecnologia da máquina a vapor (IMAGUIRE, 1993).

Batista (2007) afirma que na década de 1960 surge uma tipologia que descreve como “casa modernista ou funcionalista”, que sofrendo influência da construção de

Brasília, possui pé direito mais baixo, em torno de dois metros e cinquenta centímetros, telhados com águas desencontradas, com formas volumétricas semelhantes às casas de alvenaria produzidas na época.

Segundo Marques (2009), a arquitetura vernacular se caracteriza por todo tipo de construção em que se empregam materiais e recursos locais do próprio ambiente em que a edificação é construída. Ainda comenta que esta cultura vem desaparecendo com a mesma velocidade que foi adquirida. Destaca ainda, a importância em reconhecer, preservar e recuperar esta cultura de construir e habitar em edifícios madeira.

Segundo Zani (2003) entre as décadas de 1930 e 1970 se desenvolveu uma forma de construir e habitar em madeira que se configurou como uma cultura arquitetônica regional.

Aproveitando os recursos materiais locais, de modo a obter rapidez e facilidade construtiva, conseguiram criar, com a produção desta arquitetura, uma linguagem própria, capaz de expressar uma cultura arquitetônica local, dominando a técnica de trabalhar a madeira e criando um repertório arquitetônico rico e singular (ZANI, 2003, p.8).

Essas mudanças ocorreram em um passado relativamente distante, sendo mudanças de cunho histórico e cultural determinantes para um melhor entendimento de estudos relacionados à viabilidade da utilização de madeira como material de construção.

Em uma perspectiva relativamente mais atual a NBR 7190 (ABNT, 1997) atuou como incentivo para o uso da madeira como material na construção civil, aplicando a este material os mesmos critérios empregados nas estruturas de concreto armado e metálicas.

A NBR 15575 (ABNT, 2013) também trouxe algumas mudanças para o mercado da construção civil, como exemplo a utilização de atendimento da norma como selo de qualidade para produção de portas e caixilhos.

Mesmo que a norma citada trate de edificações e não de casas de pequeno porte, traz luz ao tema de bom desempenho e promove a discussão ampla de qualidade do produto final e satisfação do cliente.

2.1.2 Tecnologias relacionadas ao uso madeira

Tecnologias já existentes podem ser utilizadas para otimizar o aproveitamento da matéria-prima, aliada ao gerenciamento adequado à singularidade de cada obra. A variedade de métodos tecnológicos relacionados à madeira é abrangente, desde a retificação térmica e técnicas de impermeabilização e impregnação utilizadas à muitas décadas, que serão melhor detalhadas ao longo deste trabalho.

Encontram-se exemplos de pesquisas muito específicas relacionadas à madeira. Miotto (2009) estuda a avaliação de vigas mistas de madeira-concreto laminadas coladas reforçada com fibra de vidro.

O mesmo autor afirma que madeira laminada colada (MLC) é um produto manufaturado e versátil, empregado principalmente na produção de vigas, arcos e pórticos, sendo um dos métodos mais antigos que envolvem colagem de laminas, tendo tamanho e formas limitados apenas por transporte ou processos de manufatura.

O estudo do autor citado se situa dentro da área de estruturas mistas de madeira e concreto. Em suas considerações finais apresenta uma solução estrutural em MLC com objetivo de beneficiar a utilização de madeira, principalmente de reflorestamento, e estender o universo de aplicações da madeira.

Szücs et al. (2015) apontam para uma necessidade da caracterização de espécies disponíveis para uso com MLC, sendo relevantes os estudos desde botânica e manejo de florestas até o desdobro de forma racional com a industrialização do processo.

Os mesmos autores afirmam que em termos de Brasil, é necessário mudar a mentalidade a respeito da madeira como material de construção, mas acima de tudo, deixar de continuar empregando-a sem o mínimo cuidado e o conhecimento necessário da potencialidade de suas características físicas e mecânicas.

Ostapiv (2011) contribui para o desenvolvimento tecnológico de painéis sarrafeados laminados de bambu e madeira. No estudo citado se verificou elevado reforço mecânico no painel sarrafeado de eucalipto quando revestido em dupla face com lâminas contínuas, finas e largas de bambu gigante.

Estudos relativos a aplicação de *Wood Frame* e *Light Steel Frame*, assim como as tecnologias similares de montagem de painéis de madeira, apresentam grande relevância para o aprimoramento e a disseminação do consumo consciente de matérias primas renováveis.

Os métodos construtivos envolvendo painéis OSB em sua vedação vertical também atuam com grande impacto ambiental positivo quando comparados ao sistema de alvenaria convencional, como se pode observar no tópico referente aos métodos construtivos em madeira deste trabalho.

2.2 CARACTERÍSTICAS DA MADEIRA

São várias as classificações da madeira, devido ao fato de a mesma ter sua constituição em grande parte composta por água. Uma das classificações é como material higroscópico, tendo outras de suas características afetadas pelo teor de umidade presente (PFEIL; PFEIL, 2003).

Um dos índices mais relevantes na avaliação da qualidade da madeira é a densidade básica, por ser de fácil determinação e por apresentar correlação com outras características da madeira (SHIMOYAMA; BARRICHELO, 1997).

As duas classificações citadas acima são bastante semelhantes. A densidade básica relaciona o peso da madeira seca com o volume obtido no ponto de saturação das fibras, apresentando relação maior com as resistências da madeira. Já a higroscopia trata da relação entre porosidade e permeabilidade, e estuda as trocas de umidade dentro da estrutura, sendo mais útil para compreender os processos de retração e proliferação de fungos.

Segundo Szücs et al. (2015) entre as características físicas da madeira, destacam-se as seguintes para a melhor compreensão em sua utilização como material de construção:

- umidade;
- densidade;
- retratibilidade;
- resistência ao fogo;
- durabilidade natural;
- resistência química.

Outro fator importante na utilização da madeira é que ela se classifica como material ortotrópico, com comportamentos distintos em relação à direção de crescimento das fibras e direção de aplicação da força. Variando suas propriedades

físicas de acordo com três eixos perpendiculares entre: longitudinal, tangencial e radial, como mostra a Figura 4 (SZÜCS et al., 2015).

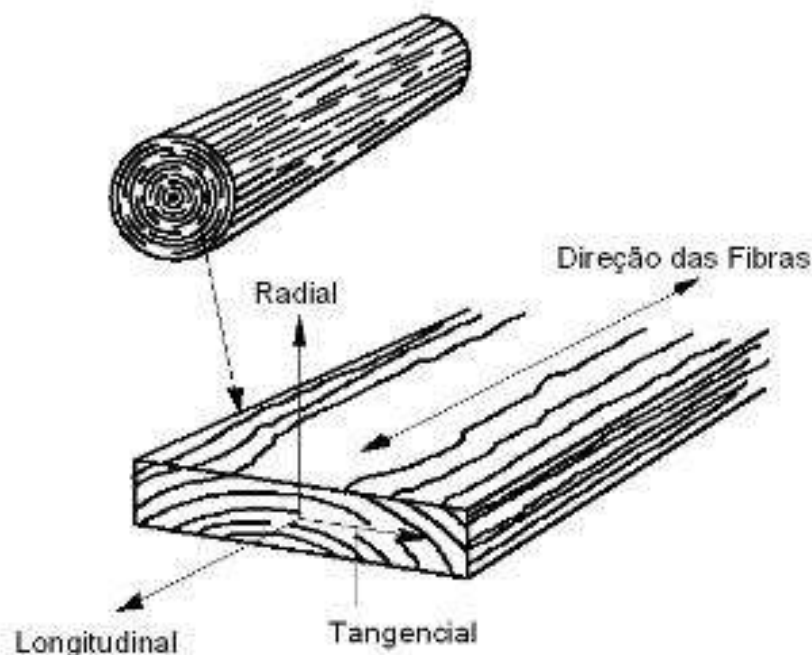


Figura 4 - Seções da madeira serrada
Fonte: SZÜCS et al., 2015.

O estudo das características físico-mecânicas da madeira é essencial para seu uso como matéria-prima pela indústria. Mas a perda de qualidade de matéria-prima ocorre nos processos de secagem e desdobramento, acarretando em retrações indesejáveis.

Segundo Szücs et al. (2015) podem se destacar os seguintes fatores que influenciam nas características físicas da madeira:

- espécie da árvore;
- solo e clima da região de origem da árvore;
- fisiologia da árvore;
- anatomia do tecido lenhoso;
- variação da composição química.

Os mesmos autores afirmam que pela grande variedade de fatores, os valores numéricos das propriedades da madeira, obtidos em laboratório, oscilam apresentando ampla dispersão, que por sua vez pode ser adequadamente representada pela distribuição normal de Gauss.

2.2.1 Densidade

A densidade é a propriedade física mais significativa para caracterizar madeiras destinadas à construção civil, à fabricação de chapas ou à indústria moveleira (DIAS, 2000).

Segundo Rezende (2003) do ponto de vista prático, pode-se utilizar três maneiras para se expressar a densidade da madeira:

- densidade aparente (ρ_{ap}), definida como relação entre a massa e o volume, determinada nas mesmas condições de umidade (U), e variável dependente do valor de U.
- densidade a 0%, definida como a relação entre massa e volume obtidos para $U = 0$, onde a massa e o volume são obtidos após secagem em estufa $103 \pm 5^\circ\text{C}$.
- densidade básica (ρ_b). Esta é definida como a relação entre a massa seca para $U = 0$ e volume saturado em água.

Segundo o mesmo autor as relações entre massa e volume são igualmente importantes, dependendo da finalidade. A densidade básica é mais utilizada nos inventários florestais para determinação da massa seca da floresta. Já a densidade a 0% parece mais adequada quando se deseja qualificar o material.

Segundo Foelkel, Mora e Merochelli (1990) a densidade básica é um índice importante para avaliar a qualidade da madeira de eucalipto, pois muitas das características acompanham a sua variação. Os mesmos autores sugerem cautela na comparação entre espécies com base na densidade básica, mas ressaltam a importância do índice na avaliação da qualidade do eucalipto, sendo fundamental saber utilizá-la.

2.2.2 Retratibilidade

A madeira sofre retração no processo de secagem, onde acontece a diminuição volumétrica, tangencial, longitudinal e radial da peça. Com essa retração também ocorre o aumento da resistência mecânica. O processo de retração ocorre basicamente pela perda de água na parede celular, causando contrações diferentes nas distintas direções da madeira (PINTO, 2005).

As variações dimensionais da madeira se processam até um valor de umidade próximo a 28% conhecido como ponto de saturação das fibras (REZENDE, 2003). Segundo o mesmo autor as dimensões da peça e os gradientes de umidade tem influência considerável na curva de retratibilidade.

A retração pode ocorrer conforme a presença de lenho juvenil, as tensões internas de formação da árvore e conforme aumentam as diferenças entre os quatro tipos de contrações (MENDES; MARTINS; MARQUES, 1998).

Como já foi citado neste trabalho, a madeira é composta em grande parte por água. Isso faz com que os métodos de secagem empregados influenciem no processo de retração, causando inúmeros defeitos, que passam a ocorrer a partir da umidade relativa crítica. Esses defeitos relacionados a retração tem considerável diminuição quando empregado o método de estabilização dimensional das peças (STAMM, 1964).

Andrade (2000) indica programas de secagem para madeiras bastante utilizadas na construção civil. O autor faz indicações e agrupamentos para espécies nativas como Imbuia e Itaúba, mas inclui *Pinus caribea hondurensis* e *Eucalyptus grandis*.

Segundo o mesmo autor, a secagem inadequada da madeira pode resultar em uma quantidade bastante significativa de peças defeituosas e tensionadas, podendo chegar a uma perda de 100% do material seco.

A retratibilidade representa a diferença entre os quatro tipos de retrações apresentadas pela madeira e as consequências destas nas tensões internas da peça, também tem relação íntima com a densidade da espécie estudada. Vários defeitos são considerados função destas relações entre as retrações, como mostrado na Figura 5 (MENDES; MARTINS; MARQUES, 1998).

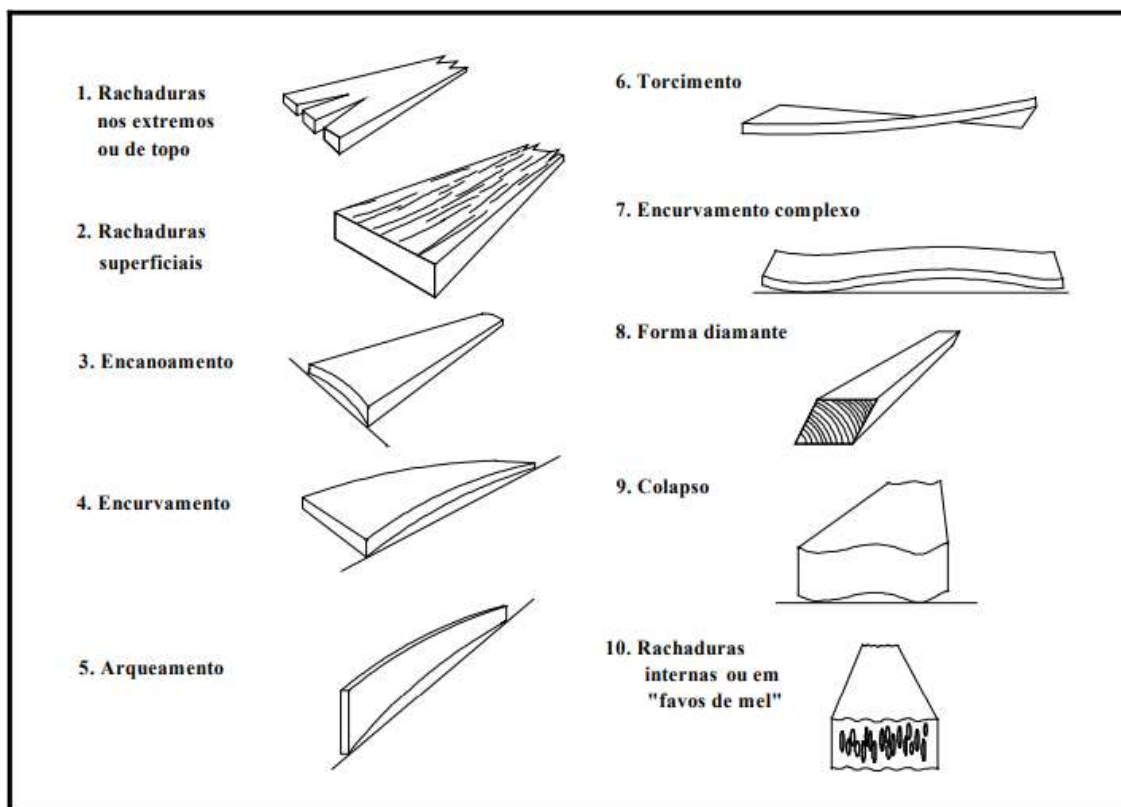


Figura 5 - Defeitos durante a secagem da madeira
 Fonte: MENDES; MARTINS; MARQUES, 1998.

Processos como a estabilização dimensional da peça e o tratamento por retificação térmica representam algumas soluções simples que podem ser feitas com as peças de madeira, para aumentar sua vida útil variando apenas a forma como a água se movimenta pela madeira.

Esses processos estão intimamente relacionados com a densidade básica da peça e suas quantias de água absorvida, adsorvida e também água de formação estrutural.

2.2.3 Desempenho a altas temperaturas e exposição à chama

Um dos fatores favoráveis à não escolha da madeira como material de construção, é por ser considerado um material inflamável. Junto à consideração de que o homem não possui controle total sobre o fogo (PINTO; CALIL, 2004).

De uma forma precipitada a madeira é considerada um material com baixo desempenho em relação ao fogo. Isso acontece pela falta de conhecimento das propriedades físico-mecânicas da madeira e do conjunto estrutural.

Segundo Pinto e Calil (2004), o conhecimento de que a madeira apresenta boa resistência ao fogo não é recente. Aconteceu a partir do avanço em pesquisas no campo de Engenharia de Segurança contra Incêndios, aproximadamente pelas décadas de 1950 e 1960. Nesta pesquisa diversos materiais foram estudados na busca do melhor desempenho a exposição ao fogo. Os resultados, respaldados em metodologias empíricas e princípios científicos, trouxeram vantagens nítidas à madeira.

Laranjeira (2012) traz uma vasta quantidade de ensaios em âmbito exploratório, privilegiando um maior número possível de variáveis em detrimento de um maior número de réplicas de cada ensaio. Os experimentos realizados pelo autor demonstraram que o uso de retardador de combustão melhora substancialmente o desempenho de reação ao fogo dos substratos de madeira antiga ensaiada, como esperado.

O mesmo autor ressalta que a escolha do agente retardador de combustão a se aplicar deve estar de acordo com a madeira utilizada. Tendo em vista que a eficácia da camada protetora é seriamente danificada quando não são aplicados sobre madeira nova e limpa.

Por fim Laranjeira diz ser prudente optar, tanto quando possível, por sistemas de pintura em que as várias camadas têm diferentes funções e modos de atuação na proteção contra o fogo. Formando um conjunto de agentes protetores com intuito final de prolongar o tempo de evacuação da construção.

Ely et al. (2006) afirmam que informações estatísticas apontam para um número maior de incidentes com fogo acontecendo em habitações unifamiliares. Apesar desta estatística, segundo os autores, a NBR 14432 (ABNT, 2001) e outras normas relacionadas à resistência ao fogo não fazem exigências ou recomendações de segurança contra incêndios em residências unifamiliares.

Em seus comentários finais, os mesmos autores sugeriram mudanças no protótipo Battistella, já citado como exemplo de viabilidade da madeira para habitações sociais, no entropiso e nas paredes, com base na literatura. Mas também apontam para a necessidade de uma concepção arquitetônica que englobe: sistemas de detecção e alarme para permitir o combate ao fogo antes de sua instalação; a compartimentação da edificação nas direções vertical e horizontal; meios de evacuação, rotas de fuga/saídas de emergência seguras (sem gases tóxicos, fumaça

e estruturalmente estável); e detalhes construtivos capazes de garantir a compartimentação e a estanqueidade ao calor e à fumaça.

A NBR 14432 (ABNT, 2001) estipula o tempo requerido de resistência ao fogo, tendo como influencia a utilização e a altura da edificação, mas apenas de edificações com mais de 6 metros de altura. Deixando um espaço para futura normatização de habitações de pequeno porte.

Outra norma que estipula alguns parâmetros para segurança contra incêndios é a NBR 15575 (ABNT, 2013), sendo uma norma de desempenho atual, tem como objetivo principal complementar as normas mais específicas. Muito extensa e abrangente, esta norma relaciona diferentes posicionamentos em edificações habitacionais referentes ao desempenho das partes componentes da obra, priorizando a qualidade do produto final e a satisfação do usuário.

A análise da resistência de uma estrutura ao fogo se torna complexa por envolver muitas variáveis: fase inicial do incêndio, duração do incêndio, distribuição da temperatura no elemento estrutural, interação dos componentes da construção, influência do carregamento no sistema estrutural e mudanças nas propriedades do material.

Sobre uma perspectiva mais específica, Pinto (2005) elaborou a taxa de carbonização de duas variedades de Eucaliptus, encontrando significância para a densidade aparente, teor de umidade e, também, para a relação entre estas duas. A autora afirma que as demais variáveis estudadas (espécie, condutividade térmica e coeficiente de anisotropia) não se mostraram significativas para expressar a taxa de carbonização. A Figura 6 mostra a seção original e a seção após a ação do fogo nas quatro faces da peça.

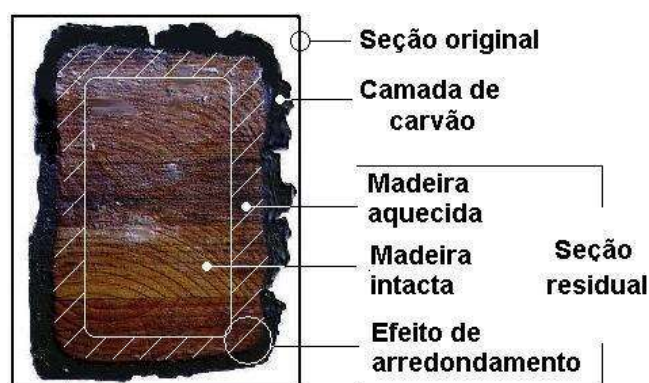


Figura 6 - Peça de madeira laminada colada exposta ao fogo por 30 minutos

Fonte: PINTO; CALIL, 2004.

Quando a madeira aquece, solta gases combustíveis, esses podem gerar fogo quando ocorrer alguma ignição. No início da queima, a camada da madeira que liberou os gases forma uma camada de carvão e, conforme esta camada é consumida pelo fogo, outras partes da peça estrutural são alcançadas pela chama, se aquecendo e liberando mais gases combustíveis, formando um ciclo.

Para a estrutura entrar em ruína, a tensão admissível relacionada a espécie da madeira deve ser atingida. O cálculo da tensão admissível é obtido através da relação direta entre força e área. As forças submetidas à peça não se alteram em escala considerável perante o fogo, apenas a seção da área diminui conforme as camadas se carbonizam.

Como a madeira se comporta como isolante, as camadas interiores continuam menos aquecidas resistindo as cargas solicitantes por mais tempo que o aço e o concreto. Este maior tempo de resistência proporciona um tempo maior de evacuação, podendo salvar vidas, principalmente quando utilizadas combinações de agentes retardantes de chamas.

As diminuições aplicadas à resistência de cálculo e a majoração das cargas feitas na etapa do dimensionamento se mostram de grande importância nesta análise de resistência ao fogo e a chama. Essas considerações de cálculo são importantes, pois quanto maior for a segurança da estrutura, maior poderá ser a perda de seção transversal antes da estrutura atingir o colapso.

A Figura 7 exemplifica o resultado de uma combustão em uma construção em que o aço cedeu e não conseguiu suportar as cargas solicitantes, enquanto a madeira manteve sua seção resistente e além de suportar o próprio peso, ainda suportou o peso das barras de aço após o incêndio.



Figura 7 - Fotografia após incêndio
Fonte: MADEIRA ESTRUTURAL, 2009.

Todos os tipos de madeira conduzem menos de 0,3 (W/m.k), enquanto o aço conduz 50 (W/m.k), sendo 172 vezes mais condutor de energia que a madeira mais densa disponível. Em comparação similar, o bloco cerâmico conduz mais energia do que qualquer tipo de madeira em um fator que ultrapassa 1,5 para a madeira mais densa.

Essa diferença faz com que a estrutura de madeira resista mais tempo antes de entrar em colapso que estruturas em aço. Isso acontece pelo fato da diferença de condutibilidade térmica entre as os materiais da estrutura explicada na Figura 8. Quando a condutibilidade é elevada como a do aço, a energia térmica precisa de menos tempo para se distribuir pela peça e causar danos à estrutura.

MATERIAL	kg/m³	W/m.K
Madeira resinosa de baixa densidade	≤ 500	0,13
Madeira resinosa de média densidade	≤ 600	0,15
Madeira resinosa de alta densidade	≤ 700	0,18
Madeira resinosa de altíssima densidade	> 700	0,23
Madeira folhosa de baixíssima densidade	≤ 500	0,13
Madeira folhosa de baixa densidade	≤ 650	0,15
Madeira folhosa de média densidade	≤ 865	0,18
Madeira folhosa de alta densidade	≤ 1.000	0,23
Madeira folhosa de altíssima densidade	> 1.000	0,29
Bloco cerâmico (tijolo furado)		0,45
Pedra		1,15 ≤ 3,00
Concreto e bloco de concreto		1,40 ≤ 1,75
Aço		50,00
Alumínio		230,00

Figura 8 - Condutibilidade térmica para diversos materiais
Fonte: MADEIRA CONTRA O FOGO, 2009.

Analisando a combustão da madeira por outra perspectiva, quanto mais densa a madeira, mais energia ela necessita para iniciar o ciclo de combustão, por conta da complexidade da estrutura celular e da concentração de lignina. Em contrapartida, quando o calor consegue penetrar a camada inicial, quanto mais densa a madeira, mais energia é liberada na forma de calor quando a cada camada é carbonizada e os gases combustíveis são expostos à chama.

Segundo a NBR 10636 (ABNT, 1989), a resistência ao fogo de paredes e divisórias sem função estrutural é satisfeita quando for capaz de garantir a estabilidade, estanqueidade e isolamento térmico. Esta mesma norma ainda define parâmetros para ensaios técnicos.

A NBR 5628 (ABNT, 2001) também estabelece parâmetros para métodos de ensaio de reação ao fogo utilizando fonte de calor radiante e se baseia nas normatizações da ISO 834:1999 estabelecendo relações entre o material utilizado e o tempo de exposição à chama.

Segundo a normatização da ISO 834-1:1999, o tempo (em minutos) durante o qual um determinado sistema construtivo tem condições de suportar ao fogo necessita cumprir as exigências solicitadas em termos de:

- estabilidade / capacidade portante;
- ausência de emissão de gases inflamáveis pela face não exposta ao fogo;
- estanqueidade quanto à passagem de chamas e gases quentes;
- resistência térmica suficiente para impedir que na face não exposta se alcancem temperaturas entre 140°C (média) e 180°C (máxima);

Segundo Lelpo (2012) a madeira e o verniz são recomendáveis para estruturas de prevenção de incêndios, por conter a ignição (verniz antichamas), a propagação de chamas por meio das superfícies e diminuir a taxa de liberação de calor do substrato.

Em contrapartida, sabe-se que a madeira é um material inflamável, com capacidade de iniciar incêndios, sendo um fator muito considerado na hora da escolha do material da obra. Uma possível solução é o já citado estudo de agentes que retardam a ignição e propagação do fogo como tintas e vernizes antichamas.

Para dar valor ao ótimo desempenho da madeira na resistência ao fogo e exposição à chama, se adiciona uma ou mais camadas superficiais com capacidades retardadoras e ou expansivas, que ajudam a conter a liberação de gases combustíveis do interior da madeira e diminuem a propagação da chama.

A *R3D Engenharia Fire Protection* estabelecida em São Paulo/SP, desde 2007 atua no mercado de construção civil com especialização em produtos e serviços de proteção passiva contra incêndio, tratamento antichamas, compartimentação e *firestop*. Baseando-se nas informações cedidas pela empresa em sua página na internet, foram elaborados os próximos tópicos relacionados ao prolongamento do tempo de resistência a incêndios por parte da construção.

2.2.3.1 Verniz antichamas

Este verniz também é conhecido como verniz retardador, apresenta acabamento cristalino e transparente e é indicado para superfícies externas com alta abrasão, expostas ao tempo, de limpeza constante e em locais de circulação de pessoas.

O verniz antichamas tem sido muito aplicado na madeira em pisos, forros, rodapés, divisórias, escadas. Mas pode ser utilizado em qualquer parte da construção de madeira.

Em contato com altas temperaturas, a camada deste tipo de verniz se carboniza, formando uma camada externa isolante em uma estrutura que já tem baixa condutibilidade térmica, aumentando conseqüentemente o tempo de evacuação em incêndios.

2.2.3.2 Tinta intumescente

Essa tinta foi desenvolvida exclusivamente para uso em madeiras. Quando entra em contato com temperaturas de 200° C a tinta expande, ocupando um volume várias vezes maior, protegendo o substrato (que é combustível) do fogo.

Esse sistema depende de uma substância doadora de carbono, um doador de ácido e um agente de expansão. A combinação destes três possibilita a expansão do material. Quando isso ocorre, o doador de ácido reage com o doador de carbono para formar um éster poli fosfórico que se decompõe em uma espuma carbônica, que tem seu volume potencializado pelo agente de expansão.

Esta espuma pode se expandir até 100 vezes o seu volume inicial e sua superfície de contato com o fogo é de baixa condutibilidade. A combustão lenta desta camada de espuma expandida se explica pela quantidade de ar dentro da espuma, além de estar completa de carbono, pela ação dos agentes. Este ar com carbono também é isolante térmico, o que acaba protegendo ainda mais a estrutura.

2.2.3.3 Solução para madeira crua

É uma solução também retardadora de fogo, incolor, inodoro e atóxica. Recomendada onde há a necessidade de evitar a propagação de chamas, por exemplo, em ambientes com muita ventilação.

Sua ação antichamas consiste em inibir a propagação das chamas pela superfície de combustão, de forma similar ao verniz antichamas, carbonizando a superfície e diminuindo a velocidade de propagação do fogo para a madeira e outros materiais combustíveis. Evitando também que o fogo se espalhe para outros ambientes.

Segundo o fabricante, é um produto de alta qualidade e eficiência ensaiado no Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), baseado na NBR 9442 (ABNT, 1988) obtendo classificação A no teste de propagação de chamas. Além de ser indicada pelos bombeiros, tem como certificações técnicas:

- índice de propagação < 25 pela SwRI na ISO 9239-1 - NBR8660 (ABNT, 2013);
- densidade de fluxo médio CHT > 8kw/m²;
- determinação da densidade óptica específica de fumaça – DM < 450. atingindo classe II-A conforme IT 10 (Controle de materiais de acabamento e revestimento);

2.2.4 Resistência mecânica

A madeira apresenta resistência mecânica variável de acordo com a espécie analisada, a direção da força e a estrutura da madeira, fatores interligados pela densidade básica.

A madeira é classificada por classes de resistência, sendo dividida basicamente em duas classes: as coníferas, variando de C20 até C30; e as dicotiledôneas, variando de C20 a C60, conforme o item 6.1.2 da NBR 7190 (ABNT, 1997).

Ao ser mensurada no dimensionamento, a resistência mecânica da madeira sofre vários decréscimos em seu valor afim de proporcionar segurança a estrutura resistente. Tendo aplicações muito relevantes para os cálculos das cargas

solicitantes, mas também para o desempenho às temperaturas elevadas e exposição à chama, pois amplia a margem de tempo para a estrutura atingir a ruína.

Sendo uma das características mais importantes para a construção civil, um ponto forte a respeito da resistência da madeira, é que ela apresenta resistência à tração e à compressão, apresentando comportamento similar ao do aço, dispensando a união entre dois materiais distintos, como ocorre na execução de concreto armado.

Diferente do concreto armado, a madeira não necessita de um material de sustentação onde são calculados esforços de tração na estrutura. Quando a estrutura é composta por dois ou mais elementos como no concreto armado, podemos encontrar uma diversidade maior de falhas nas uniões dos elementos estruturais, resultado da camada de contato entre os diferentes materiais.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas faz recomendações para a ancoragem dos pilares com relação ao posicionamento do aço, aplicando diferente comprimento de ancoragem para diferentes situações de ancoragem.

Se essa união entre os materiais não for ideal, abre precedente para falhas na estrutura como um todo. Conseqüentemente, os coeficientes usados para o dimensionamento precisam preencher uma margem maior de segurança. Tornando favorável a utilização da madeira em estruturas.

2.2.5 Conforto térmico

O conforto térmico se mostra de grande importância nas duas estações extremas do ano, principalmente na faixa subtropical onde fica situado o Sul do Brasil. Também é onde se concentra a maior quantidade de áreas destinadas ao reflorestamento, proporcionando competitividade financeira à madeira no mercado atual da construção civil.

Chegando a temperaturas de até -5°C no inverno e 40° no verão, a região apresenta grande variação térmica anual, e com alta intensidade de chuvas. Associando a variação térmica com a alta variação da umidade relativa do ar, o clima da região Sul do Brasil exige um estudo do conforto térmico para todos os tipos de construções.

Segundo Alves e Ino (2001) a madeira e o sistema de blocos de alvenaria apresentam resultados similares quanto ao conforto térmico. Mas os autores

concluem, pela análise gráfica, que o protótipo de madeira, além de acompanhar a variação do ar externo, consegue manter as temperaturas elevadas nos horários mais críticos, noite e madrugada, quando as temperaturas externas são mais baixas. Assim os autores confirmam a característica da madeira de armazenar calor em seu interior, se mostrando favorável para o inverno.

Para uma maior eficiência térmica no verão, o estudo regional e local dos ventos se faz necessário, juntamente com a utilização de sistemas de cobertura com ventilação e ou camada isolante. O problema da falta de circulação de ar em coberturas é que elas acarretam grande quantidade de calor acumulado sobre a casa, mantendo temperaturas elevadas à noite.

Problemas como este podem ser solucionados com materiais e métodos construtivos já utilizados atualmente. A utilização de mantas térmicas, sistemas de ventilação passivo de coberturas e beirais bem posicionados podem trazer conforto térmico suficiente para uma casa de madeira no verão. Não menos importante, a arborização do terreno, além de incrementar esteticamente, pode ajudar no aspecto do conforto térmico da habitação.

A ventilação também se faz importante para combater os efeitos da umidade oriunda do solo. O espaçamento entre o chão e piso deve receber ventilação adequada para evitar mofo e deterioração prematura do assoalho. Como solução simples para esta umidade e suas consequências, pode-se observar casas feitas em madeira com alguns blocos cerâmicos fora de posição no muro em que se apoia o assoalho, deixando os furos para a lateral da casa, permitindo que o ar sob o assoalho se renove constantemente.

Assim como o paisagismo feito pelos arquitetos traz qualidade ao produto, as observações sobre o clima local, o estudo dos ventos, feitos pelo engenheiro ou gestor da obra, junto aos sistemas construtivos de cada região, tem grande importância para um produto final de melhor qualidade, conseqüentemente maior valor agregado.

2.3 TRATAMENTO E PRESERVAÇÃO DA MADEIRA

O tratamento da madeira é um investimento em matéria-prima que tem como objetivo principal o aumento da vida útil do material e como consequência da construção que fará parte. Mas pode ser uma ótima solução para estabilização

dimensional de peças em madeira e para diminuir o fator de ignição da madeira como material inflamável.

Este melhoramento do material pode ser feito de diferentes maneiras. Moreschi (2013) divide os métodos de tratamento entre a classe de baixo custo de investimento, denominados simples; e os que utilizam autoclave para empregar soluções aquosas por pressão à madeira para fixação do produto escolhido para o tratamento.

O autor também cita os três fatores que mais influenciam nos tratamentos, a penetração do produto preservativo, a retenção do mesmo e a distribuição homogênea pela peça.

2.3.1 Métodos simples

Alguns dos métodos representam traços antigos que remetem a produtos utilizados por gerações passadas e sem emprego de muita tecnologia associada aos mesmos.

Segundo Moreschi (2013), métodos simples englobam tratamento por pincelamento, tratamento por pulverização, encharcar a madeira, tratamento com aplicação de graxas, tratamento de madeira sobre difusão, sobre difusão dupla, tratamento temporário da madeira, banho quente e banho frio.

Ainda entre os métodos simples, existem os métodos de tratamento por substituição de seiva que se dividem em tratamento por capilaridade ou transpiração radial e tratamento pelo processo *boucherie* modificado, estes dois últimos utilizando madeira verde.

A permeabilidade permite a circulação de fluidos entre os poros contidos na madeira, sendo função da estrutura celular da madeira. Cada espécie de árvore tem propriedades de permeabilidade distintas, podendo variar nas direções da peça, entre o cerne e o alburno e até entre a idade das árvores. A ligação entre os poros é analisada para o tratamento da madeira, para determinação de tempo de auto-clave e pressão necessária a ser exercida.

O tratamento da madeira é a principal defesa contra fungos, mas o trabalho de impermeabilização, vedação e o estudo do clima regional e agressão do tipo de ambiente onde está locada a construção tem muita importância para diminuir custos relacionados à manutenção, assim como o método de construção utilizado.

2.3.1.1 Retificação térmica

A retificação térmica é utilizada para diminuir o teor de equilíbrio de uma peça. Mostrou ser funcional para promover a redução de higroscopia da madeira nos experimentos feitos por Borges (2004). Segundo a autora, também se mostra uma futura alternativa para promover estabilidade dimensional da madeira. Como parte de suas conclusões, recomendou-se que a retificação térmica seja feita em meios não oxidantes.

Reduzir a higroscopia e estabilizar as retrações dimensionais da peça é uma forma de diminuir os efeitos que mais geram perdas em matéria-prima relacionadas à madeira. A proliferação de fungos, a retração, o empenamento e as rachaduras são problemas que acarretaram diretamente na geração de resíduos sólidos com resistência física considerável. Este tipo de desperdício pode ser evitado pela retificação térmica, e deve ter seu espaço dentro da indústria da construção civil, pois trata de um resíduo que é descartado, mas mantém grande resistência mecânica.

A madeira estabilizada pelo tratamento térmico adquire uma considerável resistência ao apodrecimento. Este tratamento vem sendo pesquisado nos Estados Unidos desde a década de 1940. Depois, o processo de tratamento térmico de madeira estável foi patenteado, denominado como “staywood” (STAMM, 1964).

As madeiras classificadas como *softwood*, são consideradas macias e, normalmente relacionadas às madeiras de baixa densidade como o Pinus e a maioria das coníferas. Ao submeter esse tipo de madeira ao processo de retificação térmica, as peças adquirem maior dureza superficial, passando a ter utilidade em locais suscetíveis a impactos (QUIRINO, 1997).

Essa é uma técnica que não requer, necessariamente, a utilização de tecnologias avançadas, que por sua vez pode ser adotada para qualquer utilização da madeira, sem aumentar o custo do produto final em escala considerável.

2.3.2 Tratamento em autoclave

Moreschi (2013) cita os processos de Geweche, duplo vácuo, Bethel, Lowry, Rueping, MSU e Cellon. Para cada tipo de processo, ocorrem variações no recipiente de autoclave, no produto utilizado, na quantidade de pressão e no vácuo exercido.

Este tipo de tratamento é utilizado geralmente com preservativos hidrossolúveis, se baseando em estudos cuidadosos quanto à proporção dos preservativos para cada tipo de tratamento.

Entre os produtos mais utilizados para tratamento em autoclave, a literatura é concordante ao afirmar que o CCA (arsenato de cobre cromatado) é a opção disponível mais eficiente, com citações de durabilidade de até 40 anos (FREITAS, 2002).

Consiste na penetração do produto desejado em forma de solução salina aquosa na estrutura da madeira, fazendo com que o preservativo reaja com a lignina presente nas células, produzindo como produto compostos insolúveis. Esses dificilmente serão lixiviados ou arrastados para fora da estrutura pela ação da água. Esses produtos permanecem na estrutura por um grande período de tempo, reduzindo significativamente o custo de manutenção, se mostrando um investimento de longo prazo.

O Cromo promove um processo de ancoragem dos outros dois elementos: o Cobre, que atua como fungicida; e o Arsênio, que atua como inseticida. É importante que esse processo ocorra em um sistema fechado, sem contato com o meio ambiente e com o ser humano. Por fim os produtos utilizados nesse processo devem ter uma destinação adequada conforme as leis ambientais vigentes.

2.4 MERCADO DE MADEIRAS PARA CONSTRUÇÃO CIVIL

A produção de madeira serrada é o setor de produção de madeiras que atende a maior parte da demanda da construção civil. Este setor atingiu 23,8 milhões m³/ano, sendo o pinus responsável por mais de 38% deste total (Sociedade Brasileira de Silvicultura, 2005).

A madeira é utilizada em obras atualmente como tábuas para montagem de fôrmas, escoramento e travação das mesmas e para acabamentos em geral. Esse processo de produção de matéria-prima indireta para construção foi possível devido ao aspecto histórico cultural que almejava casas de alvenaria como alto padrão de vida. Outro fator impulsionador da construção estruturada no concreto armado foi o incentivo fiscal e econômico à criação de indústrias cimenteiras e produtoras de aço.

Já os dados obtidos pelo IBGE (2017) sobre silvicultura mostram uma dominância das espécies de reflorestamento no mercado de toras do país, expostos no Quadro 1. Mostrando que a exploração de madeira de reflorestamento é muito maior que a de outras espécies no mercado nacional, dominada por pinus e eucalipto.

Espécie	Quantidade (m ³)	Valor de produção na silvicultura (Mil Reais)
Madeira em tora para outras finalidades	52.086.951	4.466.976
Eucalyptus para outras finalidades	25.859.704	1.986.273
Pinus para outras finalidades	23.361.626	2.026.740
Outras espécies para outras finalidades	2.865.621	45.3964

Quadro 1 - Quantidade e valor de produção da silvicultura no Brasil
Fonte: IBGE, 2017.

Esses dados da utilização de madeira tropical e de reflorestamento exemplificam a grandiosidade do mercado brasileiro de silvicultura. Mesmo com a taxa crescente de madeira reflorestada, a exploração de madeira tropical continua existindo. Para um aproveitamento mais aprimorado da madeira tropical explorada são necessárias mudanças quanto à fiscalização e da destinação e venda das mesmas.

Oliveira (2015) mostra que mesmo com mais exigências em relação às construções sustentáveis, na prática ainda vemos pesquisas que priorizam setores secundários da ecologia na construção civil, como sistemas de reaproveitamento de água e conforto térmico para diminuição do uso de energia. Deixando uma lacuna aberta em relação a escolha do material de construção, lacuna tal que abre precedentes para melhoramento quanto ao aspecto ecológico na construção civil.

Esse aspecto de pesquisas ecologicamente rasas e que representam transformações relativamente fáceis e pequenas no método construtivo acontecem porque a construção civil é majoritariamente uma atividade do setor privado, onde o lucro e o retorno de investimentos requerem atenção prioritária por parte dos gestores, além de sofrer influências culturais e políticas.

Esses fatos deixam um espaço amplo para estudos relacionados à escolha do material de forma sustentável, fazendo-se necessário a competitividade econômica da madeira no mercado atual, mas com o argumento ecológico fundamentando a escolha consciente do consumidor.

Também se faz importante a diferenciação entre madeira certificada e de extração ilegal. A madeira certificada é aquela extraída dentro das exigências legais do país, podendo ser comercializada mediante uma licença ambiental e atendimento à legislação de exploração (OLIVEIRA, 2015).

Por fim, vale ressaltar que a exploração predatória de madeira tropical ainda existe em grande escala. Esta madeira é destinada à exportação, visando o lucro e esquecendo do impacto causado por este método inconsequente de exploração.

2.4.1 Mercado de madeira de reflorestamento

Desde a metade do século XX, ocorreu uma diminuição na extração de árvores adultas com grandes diâmetros, vinda de florestas nativas, dando espaço ao cimento e ao aço como materiais principais da construção civil. Mesmo com todo incentivo e mudança, a extração predatória da madeira apenas diminuiu, mas continua sendo muito maior do que a exploração de madeira oriunda de reflorestamento.

De 1965 a 1988 o Brasil teve uma política com incentivo ao reflorestamento. Com isso tornou-se mais comum a produção de madeiras produzida em ciclos mais curtos, com melhor adaptação de espécies de rápido crescimento (BALLARIN; PALMA, 2003).

Mas este incentivo ao reflorestamento tinha como finalidade produzir madeira como forma de celulose e papel, energia, carvão e secundariamente o fornecimento de matéria-prima, no estado de madeira sólida, para indústrias como a construção civil (HERNANDEZ; SHIMABUKURO, 1978).

Desde 1995, estudos já apontavam para a direção da utilização de madeira serrada tanto de pinus, quanto de eucalipto. Mas apenas na região Sul do país se encontram serrarias destinadas à madeira de plantio. Nas regiões Centro-Oeste e Norte as serrarias são, em sua grande maioria, destinadas à exploração de madeiras tropicais nativas (SBS, 2005).

O mercado de madeiras da região Sul tem grande fatia dominada por duas espécies, o pinus e o eucalipto, que se dividem em várias subespécies, com diferenças e usos distintos entre cada subespécie. As duas espécies são utilizadas em conjunto na construção de pequenas casas, sendo a madeira de Pinus mais utilizada para tratamentos em autoclave.

O mercado de madeiras de reflorestamento para construção civil encontra como concorrente um mercado de construção alvenaria e concreto armado bem estabelecido e aceito dentro do ambiente socioeconômico.

A madeireira Starvil, situada em Formosa do Sul-SC, fornece peças de madeira de reflorestamento para construção de casas de tamanhos variados. As preferências do cliente definem o método de construção e a escolha da madeira. Segundo o administrador da serraria, projetos solicitados para execução utilizam na maioria dos casos paredes externas Eucalipto ou Pinus tratado.

Meirelles et al. (2007) mostram que um fator determinante para a não escolha da madeira como material é a baixa durabilidade das casas comercializadas no mercado brasileiro.

Para qualquer dos dois mercados, da madeira tropical e de reflorestamento, pode-se considerar o maior fator de impedimento da utilização da madeira como material de construção o argumento de ser um material inflamável, curta vida útil e de custo de manutenção alto.

Este argumento é utilizado no momento em que o consumidor busca formas de financiamento para a construção. Financiamentos desta natureza não são permitidos sem seguro, e o seguro exige um projeto de segurança contra incêndios. Sendo facilmente resolvido com a utilização de camada de agentes retardantes de fogo e vernizes antichamas.

2.5 ESTRUTURAS DE MADEIRA

2.5.1 Segurança de uma estrutura

A definição de segurança de uma estrutura é a capacidade de suportar as diversas cargas que vierem a solicitá-la durante sua vida útil, continuando a satisfazer as condições funcionais a que se destinava por ocasião de sua construção (SZÜCS et al., 2008).

A definição citada é apenas uma das definições de segurança que se destaca, por se tratar da segurança da estrutura em relação ao colapso. Mas a sociedade sempre estará buscando outros parâmetros para estabelecer requisitos de segurança

relacionados à durabilidade, estética, economia e conforto, além do colapso ou ruína da estrutura como fator principal.

A versão utilizada atualmente da NBR 7190 (ABNT, 1997) adota o método dos estados limites para determinar a verificação de segurança de estruturas. Esta edição da norma abrange mais verificações do que a edição de 1982. Usada anteriormente, considerando que a estrutura encontra a ruína ao atingir qualquer um dos estados limites, que podem ser divididos em duas categorias, estados limites últimos e estados limites de utilização.

A vantagem do método dos estados limites é que todos os fatores são levados em consideração separadamente. E a desvantagem é que este método não consegue contornar a consideração de fatores determinísticos (SZÜCS et al., 2008).

Para o dimensionamento de estruturas de pequenas habitações, leva-se em consideração a utilização de coeficientes de ponderação internos de resistência e a majoração das cargas externas. Segundo o mesmo autor, o método utilizado atualmente proporciona segurança adequada de forma mais racional que a adoção de um único coeficiente de segurança para o dimensionamento.

2.5.2 Dimensionamento

Quando a matéria-prima escolhida é a madeira, o dimensionamento leva em consideração, por recomendação da NBR 7190 (ABNT, 1997), diversos fatores como posicionamento da madeira, esbeltez da peça, densidade, presença de nós, inclinação dos veios, duração da carga, classe de resistência, classe de umidade, situação de projeto, combinações de cargas e o estudo dos ventos.

Outra norma que estipula processos para serragem e beneficiamento de madeira é a NBR 7203 (ABNT, 1982), sendo estipulados valores de dimensões de peças de acordo com o uso racional da matéria-prima.

Dentre esses fatores específicos da madeira utilizada, se destacam a posição da madeira com relação à força aplicada, a umidade, a estrutura da madeira e o tempo de duração da carga (PFEIL; PFEIL, 2003). Vale ressaltar que a densidade aparente também tem sua importância definida.

A estrutura para o caso de pequenas habitações deve suportar cargas relativamente pequenas, comparado às cargas suportadas por grandes construções

em madeira, como igrejas e clubes, podendo assim serem consideradas relativamente de baixo risco de colapso. Nem por isso deixam de necessitar atenção por toda mão de obra, do carpinteiro até técnicos e engenheiros.

A NBR 7190 (ABNT, 1997): Projetos em Estruturas de Madeira classifica as forças da estrutura como ações diretas, os deslocamentos como ações indiretas. Classifica também os carregamentos, as situações de projeto a se considerar com valores característicos, e indica a forma de fazer a majoração dos carregamentos. E a análise da estrutura faz a união entre as informações da madeira e a análise de carregamentos. A NBR 7190 (ABNT, 1997), ainda indica o caminho de verificações a serem feitas para a segurança da estrutura.

Essas são as recomendações feitas pela norma. O profissional pode optar por seguir ou não. A importância de seguir estas recomendações se mostra grande em processos jurídicos. Quando respeitadas as recomendações de uma norma técnica, a defesa pode iniciar argumentando que seguiu os critérios predeterminados pelos especialistas que executaram a norma.

O dimensionamento para estruturas em madeira se divide entre pilares, vigas e peças compostas, que são as peças que apresentam maiores diferenças entre si nas verificações feitas pelo método dos estados limites, abordado pela Norma Brasileira de Técnicas citada. Também sendo dividido de acordo com a carga exercida sobre a peça, flexão simples, reta e oblíqua, flexo-tração e flexo-compressão.

A NBR 12498 (ABNT, 2017) é outra norma para madeira serrada. Essa norma apresenta padronizações dimensionais e de lotes específicas para madeira serrada proveniente de coníferas de reflorestamento. Ainda envolvendo as madeiras proveniente de coníferas de reflorestamento, a NBR 12297 (ABNT, 1991) traz especificações de procedimento, medição e quantificação de defeitos.

2.5.2.1 Flambagem

É um fenômeno que tem mais chances de ocorrer em peças esbeltas. Está relacionada à perda da sua geometria inicial, fazendo com que a peça sofra flexão na seção transversal e se acomode em outra posição de equilíbrio, o que altera a distribuição de momentos fletores e a distribuição de tensões, por consequência

deforma a peça e pode causar o colapso. A flambagem pode ocorrer em barras comprimidas na direção axial, vigas, chapas e arcos (MARGARIDO, 2003).

Quando a flambagem se torna crítica, a peça atinge uma situação instável. Nesse estado observam-se consideráveis deslocamentos na seção transversal da peça sem acréscimo de carga axial, podendo levar a estrutura à ruína. Por este motivo, a verificação a flambagem é importante dentro do dimensionamento quando se envolve madeira.

2.5.2.2 Estudo dos ventos

O estudo dos ventos é importante parte do dimensionamento combinado a análise de carregamentos para formação dos estados máximos de carregamento que serão suportados pela estrutura, fazendo com que o dimensionamento se aproxime da realidade onde estará inserido.

O estudo aprofundado dos ventos se faz mais necessário em edificações com altura elevada, o que não é o caso deste trabalho. Mas os carregamentos gerados pelas cargas dinâmicas de ventos influenciam o cálculo estrutural de coberturas de pequenas habitações, e por consequência também afetam a superestrutura, principalmente nos elementos de ligação com a cobertura. Por este motivo ainda é assunto relevante na segurança da estrutura e no dimensionamento e execução de casas de madeira.

2.5.2.3 Estruturas de pequenas habitações

A ABNT tras recomendações em relação à segurança a se tomar quanto a cálculos relacionados à economia e otimização da estrutura. Mas a realidade da obra nem sempre toma esse rumo, e o que se encontra na realidade são muitos dimensionamentos fundamentados em conhecimentos empíricos. Mesmo sabendo que os cuidados com o dimensionamento afetam o consumo de matéria-prima e, conseqüentemente, o custo final da obra.

Os resultados de práticas deste tipo resultam em uma possível diminuição na qualidade e na lucratividade de obras de pequeno porte. A ausência de gerenciamento

aliada à baixa qualificação da mão de obra, debilitam a qualidade do produto final e o preço.

2.6 MÉTODOS CONSTRUTIVOS

Neste tópico se encontra a discussão teórica das vedações verticais utilizadas atualmente na construção civil junto aos sistemas estruturais necessários de cada método construtivo estudado.

Uma diferença notável entre os materiais empregados é a classificação da madeira quanto a material seco, dispensa a utilização de água no canteiro de obras na etapa de montagem. Já o método que utiliza concreto armado e a alvenaria convencional tem água em suas etapas construtivas, o que acarreta no aumento das consequências quanto a qualidade e a agilidade da obra.

Este material de construção molhado resulta em um tempo maior de obra de mesmo tamanho, conseqüentemente consome mais recursos naturais e humano pela densidade da habitação, tempo de cura do concreto e tempo de espera para remoção das formas de madeira.

2.6.1 Métodos utilizando a madeira

Os métodos construtivos relacionados a madeira podem ter variações regionais por conta dos tipos de madeira disponíveis, da variação na mão de obra utilizada e do nível industrial empregado. Para alcançar competitividade comercial a madeira e a mão de obra devem ser de transporte relativamente próximo, recomendação comum a qualquer utilização de matéria-prima, quanto mais se aumenta a distância de transporte de materiais, mais custosa é a execução da atividade.

No início do corpo deste trabalho se mostrou o valor histórico e cultural da herança das casas de Araucária no estado do Paraná. Dos métodos construtivos praticados no século XIX e XX é que se originaram os métodos utilizados atualmente.

Com o auxílio de tecnologias relativamente simples, mas em desuso no Brasil, pode-se aumentar a produtividade de um produto que já é considerado ecológico e sustentável. A madeira é descartada atualmente, quando poderia ser utilizada para

prover habitação de qualidade ou destinação adequada por ser um resíduo que possui resistência mecânica considerável.

Tendo como objetivo verificar os métodos construtivos existentes, os sub tópicos seguintes serão de avaliação superficial, tendo fim de exemplificação e conhecimento geral de sua utilização.

2.6.1.1 Tábuas e mata-junta

Este método construtivo tem grande abrangência nas casas de araucária citadas anteriormente no tópico referente a história da utilização de madeira na construção civil. Sendo encontrados atualmente muitos exemplares pelo estado do Paraná.

As paredes externas têm em altura média de 2,5 metros. O assoalho é feito com madeira beneficiada e este é apoiado sobre barrotes espaçados em 50 centímetros. Os barrotes são apoiados sobre pilares de tijolos e ficam distanciados 40 centímetros do solo (BATISTA, 2007). A Figura 9 exemplifica este método construtivo.



Figura 9 - Exemplo de casa utilizando tábuas e mata-juntas
Fonte: IMAGUIRE et al., 2011.

Batista (2007) afirma que este método resulta em uma construção de má qualidade e pouca durabilidade, comparada ao método de tábuas horizontais pregadas. As madeiras não são adequadas para o uso nem devidamente tratadas, a

utilização de telhas de fibrocimento sem isolamentos térmicos não colabora para o conforto térmico durante o verão. Uma informação necessária é a que o caso do estudo citado utilizava Imbuia e Cedrinho para a confecção de casas em tabuas horizontais pregadas.

A diminuição da ocorrência de habitações em tabuas e mata juntas ocorreu pela escassez de matéria-prima, árvores grandes o suficiente para gerar tabuas utilizáveis pela construção civil. Batista (2007) afirma que “A Casa de Araucária” marcou uma época de abundância, possibilitando o baixo custo, seguia uma modulação precedente das dimensões comerciais da madeira naquela época e era de técnica facilmente absorvida pelos carpinteiros.

2.6.1.2 Tábuas horizontais empilhadas

Tabuas horizontais são posicionadas ou fixadas aos montantes verticais. Se apresentando com variações de encaixe, este método tem variações nos tipos de seções transversais dos montantes.

Batista (2007) afirma que o sistema em tabuas horizontais empilhadas com encaixes macho e fêmea é o mais comum dentre os que utilizam madeira. A Figura 10 exemplifica o detalhe da união das peças deste método.



Figura 10 - Detalhe de encaixe e o montante vertical
Fonte: TEREZO; VELOSO, 2005.

Batista (2007) afirma que após 2 anos, se faz necessária uma compactação das tabuas empilhadas, devido à estabilização da madeira. O autor ainda afirma que como a maioria das madeiras provem de região úmida, após a estabilização mais uma peça é adicionada para preencher o vazio proveniente da retração.

Vale ressaltar que fatores de gerenciamento e planejamento do bom uso da matéria-prima e da execução da obra podem aprimorar os resultados finais de sistemas construtivos como este citado.

2.6.1.3 Tábuas horizontais pregadas

Este sistema será utilizado na comparação financeira deste trabalho, pelo motivo de apresentar boa qualidade final do produto, e a possibilidade de construção modular. Sendo considerado por Batista (2007) um processo que pode ser industrializado e modulado. A Figura 11 ilustra uma possibilidade para a disposição de montante, verga e junta para fechamento externo

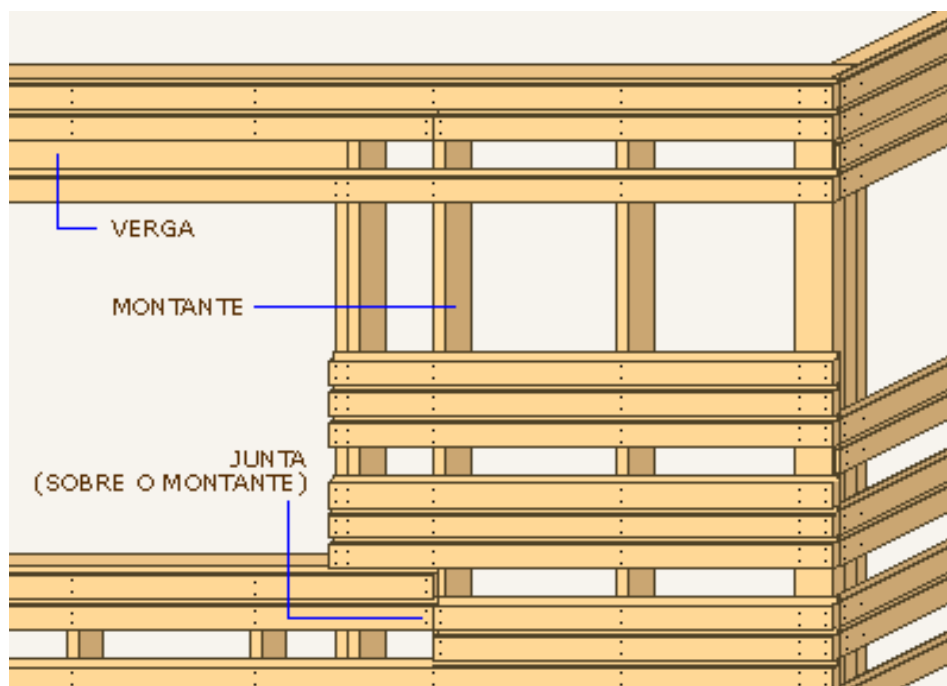


Figura 11 - Disposição das peças para parede externa
Fonte: CONSTRUÇÃO EM MADEIRA, 2018.

A parede externa pode ter outra camada de tabuas para aumentar o conforto térmico e acústico da habitação. Porém Batista (2007) afirma que poucos exemplares com este tipo de parede dupla são encontrados.

Já a figura 12 mostra os detalhes do fechamento da vedação vertical externa, ilustrando a diferença entre a vedação cobrir a estrutura do piso (esquerda) e o início do fechamento acontecer no contra piso (direita).

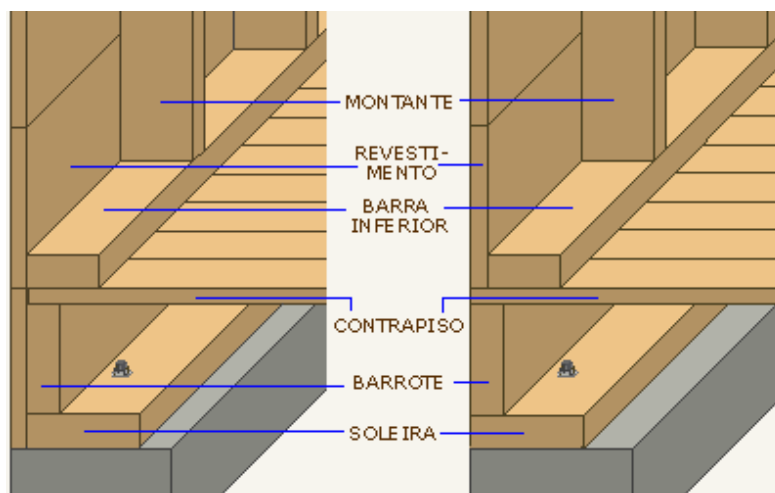


Figura 12 - Fechamento externo de parede com tábuas
Fonte: CONSTRUÇÃO EM MADEIRA, 2018.

Pequenas diferenças nos detalhes trazem as variações nos métodos construtivos, deve-se analisar cada utilização visando a qualidade final do produto e a viabilidade executiva da habitação.

A figura 13 expõe este método de construção, mostra o detalhe e entre o assoalho e a parede horizontal. Pode se destacar também a utilização de eletrodutos para proporcionar mais segurança contra incêndios de origem elétrica.

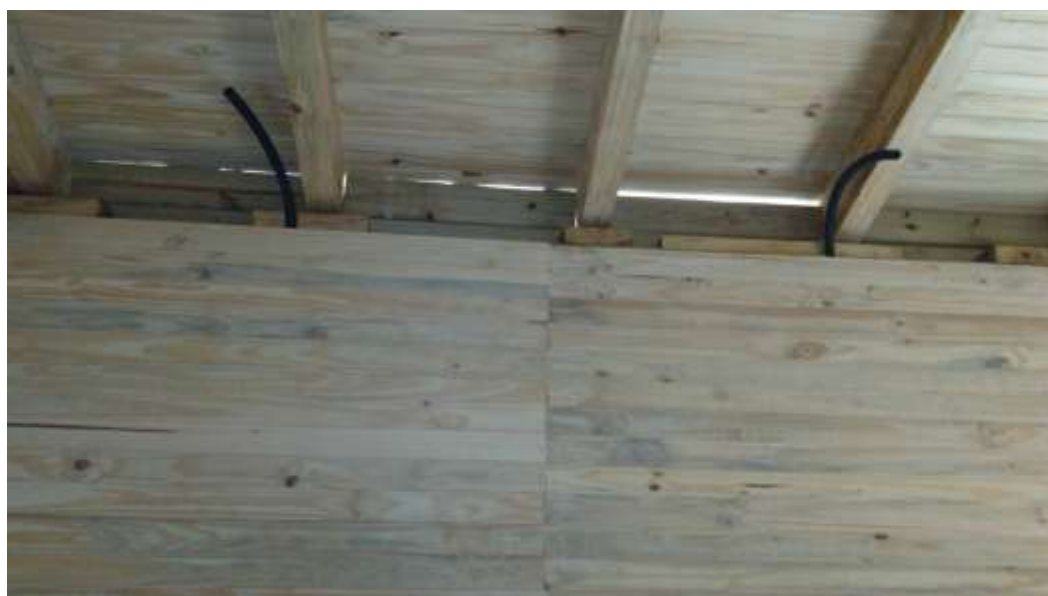


Figura 13 – Detalhes construtivos de tabuas horizontais pregadas
Fonte: Autor, 2018.



Figura 14 - Exemplo de construção em tabuas horizontais pregadas
Fonte: Autor, 2018.

A Figura 14 mostra um exemplo de habitação construída utilizando o método de tabuas horizontais pregadas. Demonstrando que o método pode trazer um produto final de qualidade. Enquanto a Figura 15 mostra uma janela de eucalipto em uma parede de feita de peças de pinus.



Figura 15 – Janela de eucalipto
Fonte: Autor, 2018.

2.6.1.4 *Wood Frame*

Segundo Garcia et al. (2014) os métodos construtivos leves, como é classificado o *Wood Frame*, tem o início do seu desenvolvimento no oeste norte-americano, pela diminuição do tempo de execução, a economia de energia e o alto grau de industrialização desse sistema. Proporcionando a união de qualidade, rapidez e da diminuição do desperdício.

Segunda Souza (2012), dentre as vantagens do sistema *Wood Frame*, vale destacar:

- obra seca e limpa, com menor geração de resíduos;
- fabricação das peças em ambiente industrializado, reduzindo o tempo de obra;
- utiliza madeira de reflorestamento, única matéria-prima renovável na construção civil;
- estabilidade do preço da matéria-prima;
- bom desempenho em conforto térmico e acústico.

entre as desvantagens:

- requer mão de obra treinada;
- altura das edificações de no máximo quatro pavimentos;
- necessita maiores cuidados quanto a impermeabilização;
- resistência do mercado a mudança devido ao preconceito da sociedade.

Segundo Wood for Good (2008) o sistema de *Wood Frame* possui alto nível de flexibilidade se tratando de um sistema pré-fabricado, com encaixes e parafusos, permitindo o desmonte e a remontagem com facilidade e possui tempo estimado de vida útil da construção é de cerca de 50 anos. A mesma fonte afirma que o mercado atual de *Wood Frame* se mostra de pequena expansão na construção civil nacional do Brasil.

A Figura 16 exemplifica uma estrutura retangular simples, relacionada ao contexto deste trabalho referente a habitações de pequeno porte.



Figura 16 - Estrutura para *Wood Frame*
Fonte: CONSTRUINDO DECOR, 2018.

Segundo Molina e Calil (2010) a estrutura é construída geralmente em pinus de reflorestamento, utilizada para fixação dos painéis OSB, que podem ter função de contraventamento além da função estrutural, repassando as cargas uniformemente a infraestrutura. Os autores estipulam que melhor tipo de tratamento para este sistema é o feito em autoclave, referente a ataques de fungos e cupins.



Figura 17 - Interior de um pavimento inteiro em madeira
Fonte: CONSTRUINDO DECOR, 2018.

Este ambiente exibido na Figura 17, bem organizado e de fácil limpeza, gera condições a ganhos de produtividade, diminuição e aproveitamento de resíduos de construção e demolição. RCD, e também tem impactos na flexibilidade e adaptação do projeto durante a execução.

A Figura 18 mostra vários ângulos de uma construção de *design* moderno utilizando o modelo de caixas retangulares sobrepostas, mostrando o engajamento e a capacidade construtiva deste material mal interpretado pela sociedade.



Figura 18 - Vários ângulos de uma construção em *Wood Frame*
Fonte: CONSTRUINDO DECOR, 2018.

Uma análise pertinente à Figura 18 é que a leveza e a trabalhabilidade dos materiais envolvidos na construção possibilitaram que duas árvores próximas a casa fossem mantidas durante a execução da obra.

Quando se envolve alvenaria, concreto, areia, brita e aço, como nos métodos convencionais de construção, há argumentação de que a árvore nas proximidades, além de dificultar locação e execução de fundações, atrapalhara o fluxo de trabalhadores e materiais, assim a árvore é removida nos atos preliminares da obra.

Em perspectiva similar, o Light Steel Frame (LSF) também é caracterizado como método de baixo impacto ambiental por conta da vedação vertical em OSB.

Feitos com madeira de reflorestamento, os painéis são a parcela da obra de LSF que permitem a redução de custos na mão de obra nos processos de vedação (SBI, 2017).

2.6.2 Método de concreto armado e alvenaria convencional

A literatura é concordante quanto ao fato de que este é o método construtivo mais utilizado em todo o país, tendo como principais características a perda de materiais, geração de resíduos e negligências com relação aos procedimentos executivos, em grande parte por falta de supervisão e fiscalização adequadas.

O Quadro 2 mostra as vantagens e desvantagens ao se utilizar o sistema construtivo em alvenaria. Podendo-se incluir neste quadro como desvantagem a elevada necessidade energética apresentada no próximo tópico relacionado a impacto ambiental, considerada muito elevada em comparação com a madeira.

VANTAGENS	DESVANTAGENS
Bom isolamento térmico e acústico	Mão de obra especializada
Boa estanqueidade à água	Elevada massa por unidade de superfície
Facilidade de produção	Necessidade de materiais para textura
Durabilidade superior	Deficiente na limpeza e higienização
Baixo custo	Demolições e desperdícios
Ótima aceitação pela sociedade	Domínio técnico centrado na mão de obra

Quadro 2 - Vantagens/desvantagens do sistema de alvenaria e concreto armado
Fonte: SOUZA, 2012.

Souza (2012) descreve este método como estrutura de vigas, pilares e lajes preenchidos com alvenaria em seus vãos. Depois da construção das vedações verticais e suas camadas protetoras, é preciso rasga-la para a execução de instalações elétricas e hidráulicas.

Vale ressaltar que devido à fiscalização inadequada e insuficiente, estes processos de instalações elétricas e hidráulicas acabam por danificar parte dos elementos da estrutura, gerando retrabalhos e insegurança quanto ao desempenho final e a vida útil da construção.

A mistura de areia, cimento, britas e água, forma a massa que envolve as barras de aço na formação das peças em concreto armado. Todo os elementos citados

possuem grande densidade e, são misturados para ocuparem menos volume e cumprir suas funções.

A Figura 19 demonstra a dificuldade de limpeza e organização da obra em alvenaria e concreto armado, oriunda desta elevada densidade dos materiais. Gerando consequências em relação ao tempo de execução da obra e o custo da mão de obra.



Figura 19 - Exemplo de construção em alvenaria convencional
Fonte: AMBIENTALLE, 2011.

2.7 IMPACTOS AMBIENTAIS

Os impactos ambientais se dão em sua maioria pelo descaso, sem conseguir mensurar a dimensão da idade de suas vidas com a quantidade de recursos existentes, comete-se o equívoco comum de que o planeta é um sistema aberto, onde há fontes inesgotáveis de matéria-prima e energia.

Oliveira (2015) afirma que para este pensamento ser coerente e não afetar a vida, algumas premissas deveriam ser cumpridas: fontes inesgotáveis de matéria e energia e capacidade infinita do meio de reciclar resíduos.

Sabe-se que essas premissas não se cumprem no meio em que vivemos por inúmeros estudos aplicados nas últimas décadas ou por simples dedução lógica. Por

isso, é fundamental destacar a importância de cada estudo nas diversas áreas onde há espaço para minimizar impactos e otimizar a construção civil de uma forma sustentável.

Em 1983, a ONU criou a Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento, nomeada Comissão Brundtland. Resultando no Relatório de Brundland, um panorama dos problemas ambientais globais, seguido de uma proposta para a integração do desenvolvimento econômico com as questões ambientais (CUNHA, 2007).

Deste relatório surgiu a expressão “Desenvolvimento Sustentável” cuja melhor definição seria a de que “(...) procura atender as aspirações do presente sem comprometer a possibilidade de atende-las no futuro” (CUNHA, 2007).

2.7.1 Sustentabilidade

A definição do Relatório de Brundland implica em uma análise complexa e ampla da cadeia produtiva da construção civil. Quando se aborda o assunto sustentabilidade, normalmente acaba-se por simplificar variáveis significativas para diminuir a complexidade do tema, que sofre influências de muitos fatores no ganho ou perda da sustentabilidade (CUNHA, 2007).

Segundo SBI (2017) para se alcançar um desenvolvimento a longo prazo para a sociedade como um todo, a sustentabilidade inclui preocupações ambientais, econômicas e sociais.

A mesma fonte afirma que dentre os impactos negativos observados, as maiores preocupações são relacionadas a energia embutida, energia operacional, transporte, consumo de matérias-primas e água, emissão de substâncias tóxicas, reuso e reciclagem de materiais e, por fim, do tratamento dos RCD gerados.

Yuba (2005) analisa a cadeia produtiva de componentes construtivos de madeira de plantios florestais, expondo a importância de uma análise pluridimensional, envolvendo o maior número de variáveis possível, para uma análise profunda e correspondente a realidade. A autora afirma que a mesma complexidade do tema faz com que a análise seja estritamente relacionada ao lugar e a um tempo determinado.

A mesma autora destaca, em suas conclusões, que sua contribuição tenha sido dada na necessidade da real abordagem pluridimensional, viabilizando maior transparência no processo de tomada de decisões e na explicitação da funcionalidade do sistema. Expondo ainda a importância de uma abordagem mais amigável ao usuário e adequação aos diferentes tipos de usuários.

O LEED (Leadership in Energy and Environment Design, EUA) é um esforço de criação de um padrão para edificações ecológicas para ser utilizado como guia de projeto e como um sistema de certificação. Com objetivo de atingir o bem-estar dos usuários e aumentar o desempenho ambiental e retorno econômico da edificação usando práticas padrões e tecnologias inovadoras (YUBA, 2005).

2.7.2 Necessidade energética

Um dos principais argumentos para a utilização da madeira como matéria-prima de forma sustentável é o custo energético necessário para produzir a matéria-prima, que é quase nulo. O desdobramento da madeira exige pouca energia, comparado com os processos industriais utilizados para produção de cimento e aço.

Fazendo uma comparação direta do consumo energético para produção, o concreto consome 325 vezes mais energia, e o aço consome 1250 vezes mais energia em relação a madeira, conforme as informações do Quadro 3.

Material (1 tonelada)	Consumo Energético (10³ kcal)
Madeira	2,4
Concreto	780
Aço	3000

Quadro 3 - Consumo de energia na produção de materiais
Fonte: LNEC, 1976.

Como já mencionado neste referencial teórico, grande parte da população encontra dificuldade em assimilar a informação citada no Quadro 3 e visualizar a devastação que a construção civil consegue causar atualmente. A energia gerada pode ser de origem elétrica, gás natural, mas é feita atualmente com madeira de reflorestamento, especificamente de eucalipto.

A preocupação com a sustentabilidade nas relações humanas já se tornou popular por quase todas as partes do mundo, em muitos casos pelo fato das pessoas

começarem a sentir as mudanças climáticas. Junto com essa preocupação com o meio ambiente, também ficou clara a dificuldade de se aplicar um sistema sustentável ambientalmente e que ao mesmo tempo se obtenha custos competitivos.

Uma gestão de recursos mais eficiente é necessária em todas as escalas do estado em relação ao uso de matérias-primas. O concreto tem uma vida útil maior e pode ter suas vantagens analisadas e seu uso direcionado para estradas, edificações, pontes, construções em ambientes de classe de agressividade elevada, fundações, grandes vãos e muito mais.

Assim como o aço tem sua aplicação junto ao cimento, também pode ser associado a madeira para diminuir deformações em casos de peças compostas e para vencer grandes vãos. Vale ressaltar a importância da análise da intenção inicial de cada projeto para otimizar as opções de escolha do material.

2.7.3 Geração de resíduos sólidos de construção e demolição (RCD)

A definição de resíduo sólido vem da Resolução nº 307 do CONAMA (2002). Para a classificação do mesmo, toma-se por base o Art 3º, que divide os resíduos em quatro classes, sendo A e B as recicláveis. Em 2004 essa Resolução foi alterada, adicionando amianto a classe de resíduos perigosos e em 2011 o gesso foi reposto na classe de resíduos recicláveis (FERREIRA; MOREIRA, 2013).

Mesmo com estas mudanças de resolução, a construção civil encontra dificuldades em diminuir a geração de RCD. O Programa Habitare (programa de fomento à pesquisa na área de habitação coordenado pela FINEP) financiou uma pesquisa sobre perdas na construção, junto a 18 universidades e 52 empresas.

O Quadro 4 mostra dados quantificados pelas perdas em forma de entulho e resíduos sólidos. A máxima perda de 638% ocorre quando existe retrabalho excessivamente e perda de material, sendo uma coleta de dados pode remover este índice do cálculo da mediana.

Material	Cimento(%)	Aço(%)	Tijolos(%)	Areia(%)	Concreto usinado (%)
Mínimo	6	2	3	7	2
Máximo	638	23	48	311	23
Mediana	56	9	13	44	9

Quadro 4 - Perdas de alguns materiais na construção em canteiros brasileiros
Fonte: John, 2000.

Segundo John (2000) uma informação interessante desse quadro e do estudo efetuado pelo Programa Habitare é a grande diferença de desperdício entre os canteiros de obra da mesma empresa, o que revela um potencial para uma redução significativa de perdas sem mudanças de base tecnológica, apenas gerencial.

Beltrame (2013) chama atenção para a enorme discrepância entre o mínimo e a mediana da geração de resíduos do cimento. Tendo um potencial alto para redução do impacto ambiental apenas gerenciando o uso dos materiais de construção.

Diante dos dados expostos, uma observação cabível é que existe uma área de pesquisa grande em relação à geração de resíduos na construção civil. Especificamente para o caso do Quadro 4, pode-se gerenciar melhor o uso da matéria-prima para produzir mais edificações com a mesma quantidade de recursos, com mudanças simples e investimentos relativamente baixos, que não são feitos atualmente.

Segundo Angulo (2005), apenas na região metropolitana de São Paulo a geração de RCD é de aproximadamente 8,5 milhões de toneladas por ano.

Segundo John (2000), para se atingir o desenvolvimento sustentável haverá necessidade de coordenar ações tanto em nível macro (global, regional, empresarial), como em nível micro (empresas e consumidores individuais). O autor propõe mudanças tecnológicas e nas relações entre nação e cultura.

Referindo-se ao modelo de produção, o mesmo autor afirma que o mesmo deve ser substituído por outro, mais eficiente e que preze pelo aproveitamento máximo dos recursos investidos, definindo este substituto como sendo de “ciclo fechado”.

Modificar o estilo de gerenciamento também é uma medida necessária para passar a utilizar a madeira como material na construção civil. A diferença é que a madeira propicia resultados otimizados quanto a essas mudanças de gerenciamento consideradas simples. Pelo fato de seus resíduos terem possibilidade de utilização

posterior e pela facilidade de organização na obra comparado a uma obra de concreto armado e alvenaria.

Cunha (2007) aponta os aspectos importantes para o sucesso das usinas de reciclagem, envolvendo o tipo de gerenciamento, distância para os centros geradores de RCD, futura utilização e a viabilidade de aplicação dos agregados reciclados.

A ideia de que este tipo de gestão não tem impactos econômicos significantes é um equívoco comum na atualidade. A redução da geração RCD resultaria em economia direta de material em forma de desperdício, e também uma diminuição no custo de transporte do resíduo.

Miranda, Angulo e Carelli (2008) afirmam que o estudo sobre RCD apresentado por Carvalho et al. (2008) desenvolvido entre os anos de 2004 e 2006 teve como resultado uma empresa registrando 47% de redução de custos com transporte de RCD, apenas alterando o gerenciamento de materiais de construção.

Uma das maiores dificuldades em relação à geração de RCD é a grande variabilidade da composição dos resíduos da construção e, por consequência, de outras propriedades dos agregados reciclados (PINTO, 1999).

O aumento da utilização de materiais como gesso, isopor, amianto, a fração não mineral, como sulfatos, álcalis solúveis e metais ferrosos, causa um aumento na diversidade dos resíduos gerados. Isso dificulta ainda mais a separação e, por consequência as etapas sucessoras dos processos de reciclagem de agregados.

Esses produtos citados são considerados contaminantes por Angulo (2000). O autor afirma que a demolição seletiva deve ser realizada de tal forma que consiga facilitar a triagem dos resíduos gerados, com objetivo de obter um agregado reciclado de melhor qualidade.

A demolição seletiva não é muito utilizada nas pequenas construções por falta de incentivo. Mas esse é um obstáculo a ser superado com o aumento de medidas de fiscalização, por parte do governo, em relação à responsabilidade da geração de resíduos e do incentivo a técnicas de reciclagem e diminuição de geração de RCD.

Segundo Angulo (2005) existem países exemplares nesse setor, como Holanda, Dinamarca, Alemanha e Suíça, que reutilizam e reciclam entre 50% e 90% do RCD gerado. Só na Alemanha, existem 3000 usinas móveis e 1600 usinas fixas de reciclagem (MUELLER, 2007).

Apesar do alto índice de reciclagem em relação ao RCD gerado, ainda segundo Mueller, nesses países menos de 20% do agregado natural é substituído pelo

agregado reciclado, indicando que grande parte da utilização está focada em regularização/nivelamento de terrenos ou aterramento. Outro grande campo que pode aumentar a utilização de resíduos reciclados é a pavimentação, com tecnologias misturando agregados específicos selecionados à concretagem de pavimentos.

2.7.3.1 Geração de RCD em habitações de pequeno porte

Este trabalho tem o foco em pequenas habitações pelo motivo de sua utilização ser vasta e contínua em âmbito internacional. A abrangência na geração de resíduos em pequenas habitações pode ser posta em perspectiva na Figura 20, sendo considerada responsável por 20% da origem resíduos gerados pela construção civil nos municípios (PINTO; GONZÁLES, 2005).

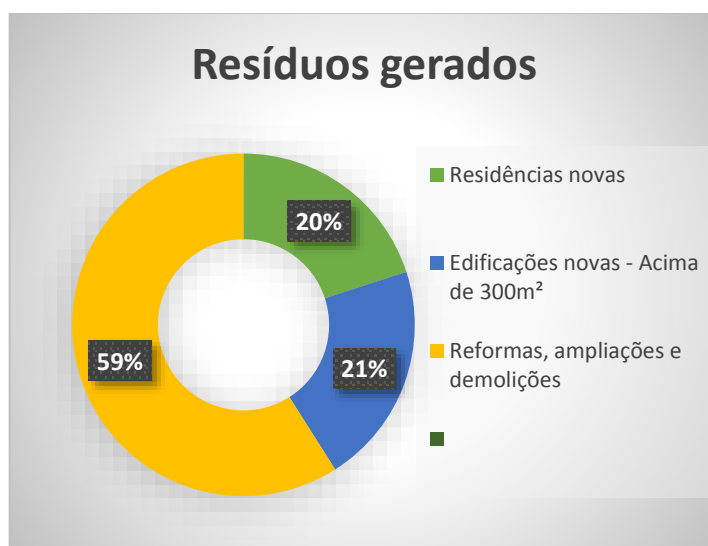


Figura 20 - Origem dos RCD em alguns municípios brasileiros
Fonte: PINTO; GONZÁLES, 2005.

A Figura 20 quantifica a grande parcela de geração de resíduos oriunda de reformas, ampliações e demolições. Sabe-se que essas reformas, ampliações e demolições tem origem em edificações grandes e também em pequenas habitações.

Considerando, como já citado, que a construção civil tem participação em 40% de toda a economia mundial, a abrangência desses 20% de geração de resíduos tem um potencial de redução de impacto ambiental de grande relevância, tornando evidente a importância de mudanças quanto a escolha do material.

2.7.3.2 Geração de RCD utilizando a madeira

A utilização da madeira também gera resíduos sólidos, mas estes são orgânicos e não se comparam em tempo de decomposição com os resíduos sólidos gerados pelo método construtivo que utiliza concreto e alvenaria.

Um fator ambiental importante da utilização da madeira, é que em seu crescimento, a árvore absorve impurezas e quantidades de carbono consideráveis. Sendo um impacto positivo gerado conhecido como aprisionamento de carbono. A maior diferença entre as matérias-primas é o ciclo de vida do material.

Depois do tempo de utilização a madeira ainda pode ser descartada. A não utilização da árvore depois de vencida sua vida útil devolverá à natureza todas as impurezas nela armazenada (SZÜCS et al., 2008).

Vieira (2006) apresenta uma alternativa interessante para a geração de RCD em relação aos resíduos de madeira. O autor mostra que é possível agregar valor aos resíduos de eucaliptos gerados por serrarias, direcionando os resíduos a comunidades de artesãos e marceneiros.

Em forma de cooperativa e com a intenção de agregar valor a um material com boas características de resistência mecânica que seria descartado ou redirecionado.

Os resíduos oriundos do desdobramento de madeira podem ser redirecionados à confecção de material combustível, na agricultura, na geração de energia elétrica em termoelétricas, e principalmente na indústria de painéis reconstituídos (IBQP, 2002).

Estes resíduos são classificados em 4 grupos pelo tamanho, cavaco (50 x 20 mm, geralmente resultado do uso de picadores), maravalha (resíduos com mais de 2,5mm), serragem (resíduos menores que 2,5mm) e pó (resíduos menores que 0,5mm) (CASSILHAS et al., 2003).

Como pode-se notar, muitas são as utilizações da madeira antes de ser descartada em um processo integrado e eficiente utilizando de tecnologias básicas e conscientização social. E muitas são as perspectivas de análises referentes a sustentabilidade na construção civil, o gerenciamento e planejamento de edificações se mostra ser capaz de mudar o quadro de geração RCD bruscamente.

2.7.4 Impactos ambientais positivos

Sabe-se que toda ação de construção e habitação humana gera impactos. Eles podem ser classificados nas mais diversas esferas, mas o que geralmente não é levado em consideração é que os impactos ambientais também podem ser positivos, para isso devem ser avaliados sobre todos os aspectos possíveis.

Vale ressaltar que na maioria das atividades humanas o impacto gerado é negativo, por que não é previsto, estudado, prevenido ou remediado, devido às condições precárias da fiscalização dentro da construção civil.

SBI (2017) afirma que o ciclo de vida de todo tipo de edificação, incluindo sua produção, manutenção, uso e demolição, geram influências inevitáveis no planeta. E a sustentabilidade na construção deve preocupar-se com os principais aspectos ambientais e de saúde relacionados a este ciclo de vida.

Segundo Miranda, Angulo e Carelli (2008), no Brasil, pesquisas científicas iniciaram-se envolvendo o uso de agregados reciclados de resíduos de construção civil (RCD) realizadas por: Pinto em 1986, em argamassas; Bodi em 1997, em pavimentos; Levy em 1997, em argamassas; e por Zordan em 1997, em concretos. Cada uma delas com intuito de agregar um elemento sustentável à construção civil.

O Conama (2002) propôs um grande incentivo à reciclagem de resíduos sólidos, definindo que os grandes geradores de RCD sejam obrigados a implantar um plano de gestão de resíduos, tendo em vista a reutilização dos agregados e reciclagem dos mesmos. Esta resolução é citada por Ferreira e Moreira (2013) como um marco regulatório na gestão de resíduos da construção civil, pois estabelece suas diretrizes, critérios e procedimentos.

A resolução citada do Conama define o agregado reciclado como: “[...] material granular proveniente do beneficiamento de resíduos da construção que apresente características técnicas para aplicação em obras de edificações, de infraestrutura, em aterros sanitários ou obras de engenharia” (CONAMA, 2002).

Existem empresas que demonstram interesse em explorar o mercado de resíduos no Brasil, mas as experiências de incentivo em nosso país são limitadas à ações municipais. Essas ações buscam diminuir os impactos ambientais da geração de resíduos urbanos. Não tendo como objetivo principal a indústria cimenteira e de alvenaria, que é a grande geradora de RCD dentre todos os setores.

Mesmo que a reciclagem fosse uma realidade em todos os municípios, o que não ocorre, a construção civil ainda teria responsabilidade por grandes impactos ambientais, muito além do gerado pela população local.

A madeira se mostra nessa situação como uma solução imediata para a diminuição de custos diretos com matéria-prima, diminuição de RCD, menor custo energético e, também, com impacto positivo no aprisionamento de carbono durante a vida útil da habitação.

Regulamentar a exploração de madeira de forma responsável é um caminho que deve ser seguido para proteção das florestas. Pois a clandestinidade dá oportunidade à devastação da flora e fauna, que só aumenta com o passar dos anos.

Uma das alternativas para a redução dos impactos causados pela construção civil é a reutilização. Como forma de reciclagem, de escória granulada de alto forno básicas, cinzas volantes, a calcinação de argilas e a adição de filler de calcário em grande escala feita pela indústria cimenteira. Essas ações específicas de reciclagem reduziram a geração de CO₂ em 29% e também reduziram a quantidade de combustível utilizada em 28% (YAMAMOTO, 1997).

Atos de reciclagem como esse, em um mercado tão abrangente quanto a construção civil, são o caminho da construção sustentável em escala industrial. Mas a reutilização destes materiais apenas reduz o impacto causado, enquanto o uso da madeira dispensa processos de alto custo energético para fabricação ou reciclagem. Requer apenas cuidados específicos com as árvores e tecnologias de desdobramento e processamento de madeira.

Como exemplo da viabilidade do uso de agregados reciclados, pode-se citar o caso da construção do Asilo Municipal de Socorro (SP), que teve uma etapa de alvenaria toda revestida com argamassa de cimento, cal e areia reciclada lavada. A trabalhabilidade das argamassas e o desempenho dos revestimentos foram aprovados pelos pedreiros locais e pelos ensaios de controle tecnológico. (MIRANDA, 2005).

É de grande importância que os materiais resultantes dos processos de reciclagem sejam aprovados por todas as camadas de trabalhadores da construção civil. Pelo motivo do trabalhador da construção ter impactos diretos na qualidade final do produto.

3 METODOLOGIA DE PESQUISA

Este trabalho apresenta influência de diversos fatores de áreas distintas de pesquisa. Unindo informações quantitativas com reflexões teóricas e empíricas de diversos autores, exigindo um referencial bibliográfico relativamente extenso.

Com a intenção principal de demonstrar que a madeira, por fatores financeiros, técnicos e ambientais, pode ser utilizada atualmente na construção civil, especificamente em estruturas e na vedação de pequenas habitações. A pesquisa se faz de forma a elucidar a dinâmica interna de uma construção em madeira e suas vantagens sobre uma perspectiva mais ampla.

A dificuldade encontrada para escolha da madeira como matéria-prima está relacionada a fatores históricos e culturais da construção civil, além da sua classificação como material inflamável. Portanto essas análises se fazem de grande importância junto à apresentação de referencial teórico que exponha as qualidades construtivas da madeira.

Serão utilizados dois orçamentos parciais, o primeiro em concreto armado e alvenaria; e o segundo utilizando madeira de reflorestamento. Esta análise busca verificar viabilidade econômica da construção utilizando peças feitas de madeira de reflorestamento.

A coleta de dados foi feita a partir de uma construção em concreto armado e alvenaria (convencional), e a adaptação de um orçamento utilizando o método de tábuas horizontais pregadas, em visita técnica à madeireira Starvil (Formosa do Sul - SC).

O resultado final será exposto em forma de tabelas junto a argumentação e discussão dos fatores mais relevantes. Exibindo as possíveis vantagens e desvantagens para utilização da madeira como matéria-prima para construção de pequenas habitações.

4 LEVANTAMENTO DE DADOS

A comparação financeira irá avaliar apenas a parte de superestrutura, superestrutura, vedação, esquadrias, revestimentos internos e externos, impermeabilizações, pintura, pisos, esquadrias, vidros, plásticos acabamentos. A escolha do projeto modelo em alvenaria determinou o tamanho e as formas da casa, o orçamento em madeira foi adaptado posteriormente. Essa comparação divide os orçamentos parciais entre os custos dos materiais utilizados e da mão de obra.

4.1.1 Concreto armado e alvenaria convencional

Para a comparação quanto ao aspecto econômico foi escolhida uma construção real localizada em Marechal Cândido Rondon, com 48,64m² e valor final de R\$68.068,77, resultando em um valor de R\$1.399,44 por metro quadrado construído. O orçamento fornecido junto com projeto é feito pelo modelo de financiamento da Caixa Econômica Federal e tem validade até 25/02/2019. A Figura 21 exibe a fachada frontal da futura habitação em concreto armado e alvenaria.

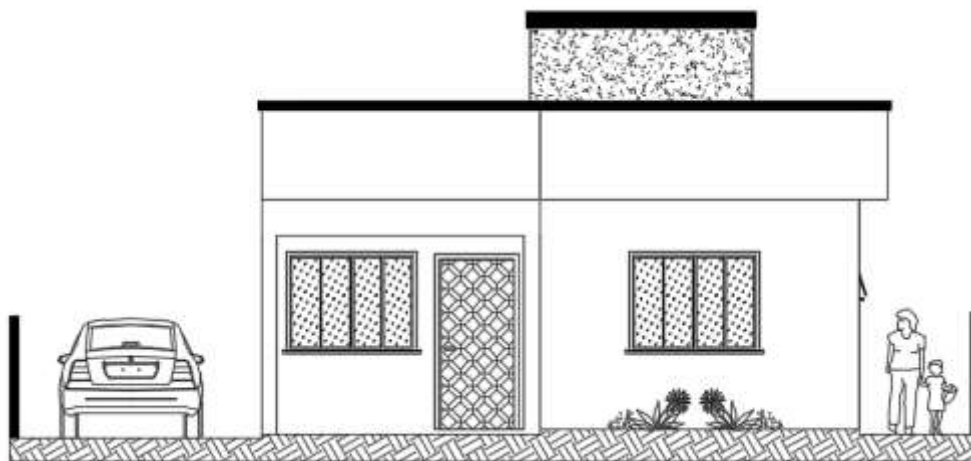


Figura 21 - Fachada Frontal em concreto armado e alvenaria
Fonte: PROJETO em ANEXO B, 2018.

A Figura 22 mostra a planta baixa da casa e exibe as dimensões básicas das vedações verticais.

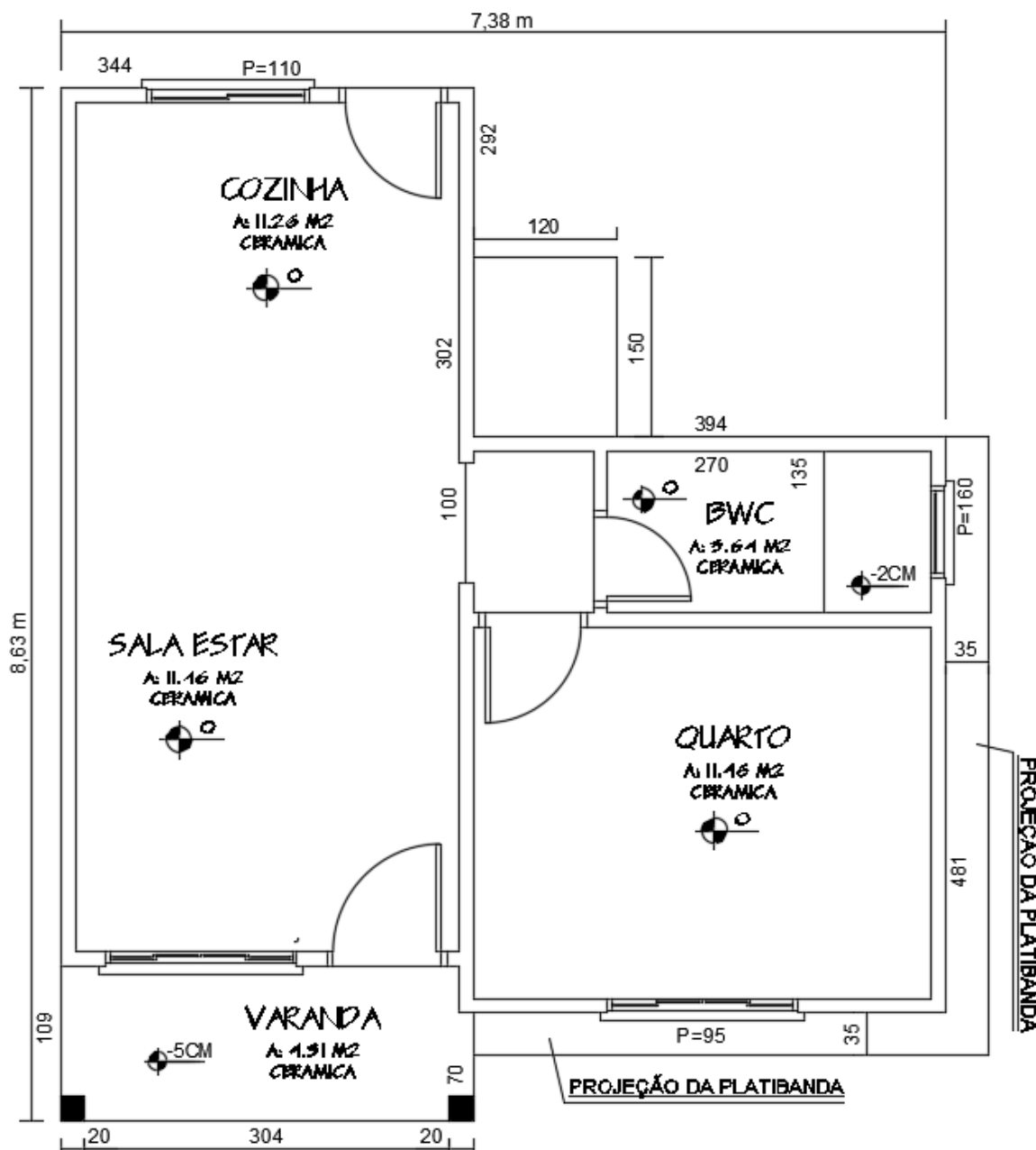


Figura 22 - Planta baixa modelo para comparação
Fonte: PROJETO em ANEXO B, 2018.

O valor do financiamento proponente se estabeleceu em R\$70.000,00 (setenta mil reais) e tem prazo de execução previsto para cinco meses. O Contrato entre engenheiro e cliente envolve apenas o projeto e orçamento, sendo estimado 40% destinados a custos relacionados à mão de obra. Vale ressaltar que o valor é sobre o total da obra, serão efetuados desconto a este valor.

O orçamento inclui projeto arquitetônico, e tem sua execução dívida em etapas comumente encontradas nas construções em todo o país. Na comparação das casas foram consideradas as etapas de superestrutura, vedação, esquadrias, revestimentos

internos e externos, impermeabilizações, pintura, pisos, esquadrias, vidros, plásticos acabamentos.

O Anexo A especifica os detalhes financeiros e construtivos no formato de proponente a Caixa Econômica Federal. A Tabela 1 expõe o resumo utilizado para a comparação parcial dividindo o custo entre materiais e mão de obra, totalizando um valor de R\$44;240,99. O custo relacionado a mão de obra do método convencional sofreu acréscimo de 12%, passando de R\$17.694,40 para R\$19.200,00, relacionados ao retrabalho de vedação vertical que ocorre em obra de pequeno porte.

Tabela 1 - Orçamento parcial da casa em concreto armado e alvenaria

Etapa da Construção	Materiais (R\$)	Mão de obra (R\$)
Superestrutura	5.429,84	3.619,89
Paredes e Painéis	4.643,35	3.095,57
Revestimentos Internos	3.677,26	2.451,51
Revestimentos Externos	4.146,71	2.764,47
Pintura	3.666,00	2.444,00
Pisos	2.182,22	1.454,88
Acabamentos	436,86	291,24
Esquadrias	769,38	512,92
Vidros e Plásticos	1.592,85	1.061,90
Total:	26.544,59	17.696,40

4.1.2 Método de tábuas horizontais pregadas

4.1.2.1 Visita a madeireira Starvil

A serraria Starvil colaborou com informações relativas aos preços em madeira com validade de 30 dias, pois este é o tempo de mudança de preços devido à grande variação do preço de venda da madeira bruta atualmente.



Figura 23 - Peça de madeira passando pela desempenadeira
Fonte: Autor, 2018.

As peças que passam pela serra recebem tratamento superficial contra fungos e o mofo. A tábua serrada é direcionada para a desempenadeira e é posicionada manualmente na esteira que leva ao recipiente com agente anti-mofo. Outra esteira com dentes remove a peça da solução protetora que depois é empilhada para secagem. A Figura 23 mostra uma parte de desempenho desse processo descrito.

Depois da secagem parcial, dentro de um galpão, é feito o processo de acabamento das peças relativas aos encaixes, desempenos laterais, nas peças de forros, divisórias, rodapés, meia cana, cimalha e outras. As máquinas utilizadas nestes processos são relativamente sofisticadas comparada ao restante do processo envolvido na serraria, como no ambiente de carregamento de toras e serragem.

A Figura 24 mostra este ambiente de acabamentos e estocagem das peças prontas, facilitando o atendimento rápido aos clientes, ao possibilitar estoque de peças de acabamento.



Figura 24 - Galpão de acabamentos e estoque da madeireira Starvil
Fonte: Autor, 2018.

4.1.2.2 Detalhes do orçamento parcial da casa de madeira

Dentre os tamanhos de casas, a de 48m² foi escolhida para a comparação financeira, por ser um tamanho relativamente comum em casas de pequeno porte. Modificações foram feitas no orçamento de madeira de modo que a numeração de quartos, esquadrias e as características dos dois orçamentos se tornassem compatíveis.

O agente protetor escolhido para a proteção contra situações de incêndio, foi o verniz antichamas para madeira CKC-VR® O fabricante (CKC do Brasil) afirma que cada galão de 2,5 L de CKC-VR® protege 18,75m², variando conforme a porosidade da madeira e também expõe as especificações do produto em seu catálogo.

O custo do verniz antichamas é de R\$595,00 por galão de 2,5 L. Serão utilizados 12 galões, sendo duas demãos destinadas a superfícies externas, e uma demão com mais passadas nas impermeabilizações interiores. Somando-se o gasto de R\$7.140,00 com o verniz antichamas e R\$3.500,00 com a mão de obra necessária para o serviço. Totalizando o custo com proteção antichamas em R\$10.640,00.

A Tabela 2 mostra os custos das peças utilizadas para a construção da superestrutura, vedação vertical, pisos e forros. Enquanto a Tabela 3 expõe os custos relacionados à mão de obra.

Tabela 2 - Custo relacionado à matéria-prima

MADEIRAS	QUANTIDADE	PREÇO (R\$)	TOTAL (R\$)
SEPOS EUCALIPTO TRATADO 1,10 M	12	10,00	120,00
BARROTE 10 X 15 X 3,00 EUCALIPTO	25	29,00	725,00
BARROTE 5 X 12,5 X 3,00 EUCALIPTO	10	12,00	120,00
BARROTE 5 X 9 X 2,70 PINUS	65	9,00	585,00
CANTONEIRA	4	12,00	48,00
BARROTE 9 X 15 PLAINADO	8	16,00	128,00
GUIA 12,5 EUCALIPTO	450	2,00	900,00
RIPAO 5 X 5	120	3,00	360,00
MEIA CANA	60	1,25	75,00
ESPELHO PINUS	48	10,00	480,00
PAREDE PINUS TRATADO HORIZONTAL	90	38,00	3.420,00
RIPA 2,5 X 7,5 DESEMPENADA	150	2,25	337,50
ASSOALHO EUCALIPTO	55	38,00	2.090,00
FORRO ABAS	28	12,00	336,00
FORRO PINUS DUPLAR	65	12,00	780,00
FORRO PINUS	55	12,00	660,00
RODAPÉ PINUS	40	2,25	90,00
DIVISÓRIA PINUS	12	24,00	288,00
CIMALHA	200	1,75	350,00
PORTA EXTERNA	2	495,00	990,00
PORTA INTERNA	2	200,00	400,00
JANELAS MADEIRA 1,00 X 2,20	3	220,00	660,00
JANELA BANHEIRO	1	140,00	140,00
BANHEIRO	1	3.500,00	3.500,00
ÁREA 3 X 8	1	4.500,00	4.500,00
VERNIZ ANTICHAMAS	12	595,00	7.140,00
		Total:	31.735,00

Tabela 3 - Custos relacionados à mão de obra

Serviço	Custo (RS)
Lixar e pintar assoalho	1.152,00
Pintura em verniz antichamas	3.125,00
Execução	8.000,00
Total:	12.652,00

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para obter melhor aproveitamento deste trabalho e devido a uma análise ampla se faz necessária uma breve explicitação dos resultados. Com a intenção de conectar os objetivos estabelecidos com o corpo teórico do estudo, proporcionando a ampla análise da madeira de reflorestamento como material de construção especificamente para estruturas e vedação de casas de pequeno porte.

Este trabalho faz a análise de múltiplos fatores com a intenção principal de expor os elos da cadeia produtiva da construção civil envolvendo madeira de reflorestamento, desde o manejo de árvores, transporte, serragem e desdobramento, escolha do material junto ao usuário até o acabamento e a impermeabilização em forma de proteção da construção contra o fogo.

Pode-se resumir este trabalho em apresentar uma possibilidade de mudança na forma com que se utiliza a madeira na construção civil. Atualmente utilizada de forma destrutiva, primitiva e improdutiva, como formas para caixarias de estruturas e escoras para lajes e vigas, aumentando consideravelmente a geração e a variabilidade granulométrica de RCD.

Mudança esta que visa uma utilização consciente, técnica, eficiente e ágil da madeira, desde a fase de crescimento da árvore até a impermeabilização na conclusão da obra, na forma de estrutura e vedação de casas de pequeno porte.

5.1 FATORES HISTÓRICOS E CULTURAIS

A madeira faz parte da história e da cultura de todas as civilizações, por mais distintas que sejam. O uso de madeira é comum em todas as partes do mundo, tornando possível afirmar que o produto final como moradia traz aspectos de conforto visual ao cotidiano do usuário.

Os estudos citados no corpo teórico do trabalho explicitam os acabamentos, as diferenças entre métodos construtivos locais, às influências relacionadas ao tipo de imigração presente em cada região e época, e as vantagens e desvantagens de cada método. A união de métodos construtivos existentes possibilita uma análise de quais vantagens podem-se obter para a singularidade de cada obra.

5.2 MADEIRA COMO MATERIAL DE CONSTRUÇÃO

Os sistemas construtivos descritos no referencial teórico remetem a sistemas conhecidos dos construtores, como mata-juntas e tábuas horizontais pregadas, e também a técnicas menos usuais fora das capitais estaduais como *Wood Frame* e peças em Madeira Laminada Colada. Explicitando a possibilidade de expansão da produção de habitações de madeira com a mesma quantia de recursos financeiros. Sendo um ponto em comum em todos os sistemas construtivos encontrar associações de casas de madeira com áreas molhadas em concreto, alvenaria e azulejos.

Os métodos construtivos verificados se apresentam com variações de impermeabilização, acabamento, e na união de peças de madeira. Sendo o *Wood Frame* o método mais utilizado mundialmente. No Brasil ainda se verificam aplicações de peças de madeira quanto as vedações verticais.

Este trabalho se limitou a exemplificar a utilização e existência dos métodos construtivos que fazem uso da madeira como material de construção, especificando apenas o método escolhido para a comparação, que utilizou tábuas horizontais e barrotes de pinus e alguns itens assoalho e guias de eucalipto.

5.3 COMPARAÇÃO FINANCEIRA

A comparação parcial direta entre os orçamentos se fez utilizando a parte de estrutura e a parte de vedação das duas casas. Ignorando parcelas similares nas duas construções, como sondagem e preparação do terreno, infraestrutura, instalações hidráulicas e elétricas. Exibindo precedentes para outros tipos de discussões quanto às etapas restantes de execução da obra, como por exemplo o peso da estrutura de concreto armado e alvenaria necessitar fundação levemente maior.

Com a intenção de demonstrar uma possível adaptação financeira da madeira ao mercado imobiliário atual, a Tabela 4 expõe o resumo da comparação orçamentária entre o sistema construtivo convencional em concreto armado e alvenaria e outro que utiliza a madeira como material de construção. Mostrando a diferença, considerada positiva quando favorável a madeira.

Tabela 4 - Resumo da comparação financeira parcial

Método Utilizado	Madeira (R\$)	Convencional (R\$)	Diferença (R\$)
Materiais	31.735,00	25.203,00	-6.532,00
Mão de obra	12.277,00	19.200,00	+6.923,00
Total	44.012,00	44.403,00	+391,00

A Tabela 2 mostra uma aproximação entre os custos comparados. Não podendo ser considerada grande à vantagem da madeira. Referente aos custos dos materiais, mesmo utilizando uma quantidade em peso por área maior, o mercado de concreto, aço e alvenaria está bem instalado e competitivo a ponto de ser capaz de produzir preços muito acessíveis.

Em uma segunda observação sobre os custos dos materiais, o preço elevado do verniz antichamas é o responsável pela clara desvantagem da madeira. Essa abordagem torna sensível a avaliação da qualidade final do produto e das manutenções que serão necessárias ao longo da utilização do imóvel. Porque quando a busca pela economia se faz de forma exagerada, como é feito comumente nas construções em concreto armado e alvenaria, consequências relacionadas à perda de qualidade de produto se tornam mais prováveis. Aumentando também os custos com manutenção.

Outra análise pertinente a Tabela 2 é a grande diferença entre o custo da mão de obra entre os sistemas comparados, que pode ser explicada pela facilidade de execução de estruturas e vedação em madeira, apresentando menor tempo de montagem e maior facilidade de limpeza do terreno.

A proteção da casa de madeira quanto à incêndios, ocupa parcela considerável do orçamento e do custo de manutenção da habitação, causando influencias impactante ao aspecto econômico.

A casa de madeira tem suas paredes de pinus tratado e recebem camada de verniz antichamas, aumentando o custo da obra. Em contrapartida, proporciona segurança quanto a prevenção do alastramento de incêndios e do tempo de estabilidade da estrutura quando exposta a chama.

Por este motivo o referencial teórico se faz extenso no item relacionado a resistência ao fogo e exposição à chama. Para proporcionar a plena compreensão do leitor referente a condição de combustível inflamável da madeira e o desempenho

deste material em relação ao fogo e ao tempo de evacuação da edificação. Vale ressaltar que investimentos em tecnologias relacionados a produção, podem oferecer preços de vernizes antichamas mais acessíveis.

Como se observa, a viabilidade financeira do método de tabuas horizontais pregadas existe, a dificuldade é viabilizar a utilização do método pela indústria da construção civil. Por motivos técnicos e de preconceito quanto à escolha do material de construção.

5.4 FATORES AMBIENTAIS E SUSTENTÁVEIS

A literatura é concordante quanto a capacidade ecológica da utilização da madeira. Com lacunas para investimentos em tecnologias já existentes quanto ao desdobramento, secagem, conservação e tratamento da madeira. Para um melhor aproveitamento das vantagens oferecidas por esta matéria-prima renovável.

O impacto ambiental pode ser reduzido em escala mais ampla, utilizando a própria madeira que é queimada para produção do cimento, aço e bloco cerâmicos, como material para construção de casas. Deste redirecionamento na utilização da madeira se fez a principal motivação para o desenvolvimento deste trabalho.

Os principais impactos ambientais negativos relacionados à madeira, ocorrem quando sua exploração se faz de forma predatória, o que não é o caso deste trabalho, por se tratar da utilização de madeira de reflorestamento. Também pode gerar agressões ao meio ambiente relacionadas às imprudências na utilização e no descarte dos produtos tóxicos no tratamento da madeira em autoclave.

Em contrapartida a geração de resíduos de madeira se mostra uma vantagem ecológica, com geração RCD reduzida. A madeira possibilita um canteiro de obras de mais fácil limpeza, quando comparado a materiais como concreto armado e alvenaria, por ter menor densidade e apresentar menor variabilidade de resíduos de construção e demolição (RCD).

Vale ressaltar que os resíduos gerados têm resistência mecânica considerável e podem ter destinação futura rentável. Ações de destinação adequada de RCD de madeira seca se mostram uma alternativa rentável para a diminuição do custo de transporte de resíduos.

Em relação à quantidade de energia necessária para produção da matéria-prima, a utilização da madeira se mostra centenas de vezes mais econômica, sendo o fator mais impactante quando comparado ao cimento e ao aço. Por outra perspectiva do aspecto ambiental, empregar a madeira definitivamente na construção é um fator de aprisionamento de carbono, considerado como impacto ambiental positivo.

Os fatores citados caracterizam a madeira como um material de construção sustentável, com um saldo de impactos ambientais positivos, mostrando resultados opostos a combinação utilizada convencionalmente em concreto, aço e alvenaria.

5.5 SÍNTESE DOS RESULTADOS

Os fatores históricos e culturais relacionados a utilização da madeira mostram que a madeira traz um ambiente de cor, textura e aromas mais agradáveis aos usuários finais. Expondo evidências de que a variedade de acabamentos e possibilidades construtivas da madeira são de possível utilização pelo mercado atual da construção civil.

Os sistemas construtivos utilizando madeira apresentam competitividade econômica, pelos dados exibidos na Tabela 2, mostrando-se, especificamente, um fator de economia em relação ao custo da mão de obra, consequência de uma execução mais rápida e de uma habitação com menos peso por metro quadrado.

Com resultados favoráveis a madeira em três fatores ecológico: menor diversidade e quantidade de geração de resíduos sólidos (RCD), menor quantidade de energia necessária para produção e processamento da matéria-prima, e maior aprisionamento de carbono que se faz construindo em madeira. Se observa um material que pode ser utilizado atual e futuramente para o aprimoramento de construções sustentáveis.

Pelas informações expostas neste capítulo a madeira de reflorestamento demonstra ser uma escolha de matéria-prima superior ambientalmente para construção de casas de pequeno porte. Apresentando ainda competitividade comercial em comparação com o sistema convencional de concreto armado e alvenaria, referente aos custos de superestrutura e vedações assim como suas respectivas manutenções.

5.6 COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS COM A LITERATURA

A literatura é concordante quanto a superioridade ecológica e a facilidade de utilização da madeira, com menores custos e menor geração de resíduos sólidos quando relacionada ao sistema convencional em alvenaria.

Souza (2012) compara financeiramente três sistemas construtivos: encaixes pré-fabricados em madeira de lei (Angelim Pedra); alvenaria convencional com sistema de pilares e vigas; e por fim o sistema *Wood Frame*. Conclui pela existência de uma vantagem em torno de 12% para o último sistema construtivo. A autora ainda afirma que esta vantagem definitivamente impacta na escolha do método construtivo junto ao cliente.

Como a própria autora conclui, as aplicações de novas tecnologias deveriam ser feitas no Brasil para se aproveitar esta vantagem econômica que tem influência considerável na hora da escolha do material pelo cliente.

Vale ressaltar que para a comparação citada, a escolha da espécie Angelim Pedra (*Hymenolobium petraeum* Ducke, Leguminosae), mostra um material de excelente qualidade de utilização para a construção civil. O resultado do estudo poderia mostrar mais vantagens caso fosse utilizada uma variedade de madeira mais abundante como as de reflorestamento.

Para a utilização comercial do sistema *Wood Frame* e também para utilização de madeira de reflorestamento como no caso deste estudo, se faz necessário a utilização de tecnologias e investimentos iniciais, mas também se mostra o caminho correto econômica e ecologicamente.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A madeira é a maneira ecológica e sustentável de se empregar matérias-primas renováveis na construção civil. Podendo ser utilizada para suprir as necessidades básicas de moradia, se apresenta em uma variedade considerável de métodos construtivos, tecnologias, impermeabilizações e acabamentos com funções protetoras.

Demonstra ser um material com potencial relevante de redução de custos em relação à matéria-prima e à mão de obra, apenas com a utilização de ferramentas de gerenciamento de obras e tecnologias já existentes. Revelando que com tais ferramentas é possível conciliar o desenvolvimento sustentável e a competitividade econômica na construção civil.

A madeira traz possibilidades de uso quanto ao aspecto estético, pois mesmo após trabalhada e impermeabilizada, mostra as cores, texturas e aromas naturais do lenho para o convívio do ambiente familiar. Proporcionando uma conexão melhor dos usuários com a casa.

Espera-se com este trabalho incentivar a utilização da madeira de forma consciente e definitiva dentro da construção civil. Diminuindo impactos ambientais em múltiplos aspectos, sem perdas de qualidade e desempenho da moradia.

Simultaneamente proporcionando opções de moradia com fácil acesso financeiro à parcela da sociedade que até os dias atuais não tem acesso a esse direito básico. Expondo a realidade da desigualdade social dentro deste país, que é considerado privilegiado e rico tanto em recursos naturais, quanto em recursos humanos.

Não é possível ser feita qualquer generalização para os resultados obtidos, para isso seria necessária uma amostragem maior de orçamentos e análise estatísticas. Como se verificou apenas uma comparação parcial, mais especificamente para casas destinadas a habitação social de pequeno porte, de renda baixa e média-baixa, ficaram de fora das comparações várias etapas da construção como fundações, cobertura, instalações hidráulicas e elétricas.

Essas etapas foram desconsideradas por terem execução e custo similares nos dois sistemas avaliados. Porém, todas as etapas não avaliadas estão sujeitas a análises por pesquisas futuras.

Estudos semelhantes envolvendo madeira de espécies nativas se fazem necessários para embasar o conhecimento científico das qualidades da madeira. Assim como pesquisas sobre a exploração, o consumo e fiscalização da madeira tropical produzida no Brasil.

Pesquisas relacionadas a tecnologias como madeira laminada colada (MLC), *Light Steel Frame* e *Wood Frame*, também são necessárias para a otimização do uso dos materiais renováveis de forma racional, e para a aplicação desses sistemas junto ao mercado da construção civil.

A aplicação de estudos comparativos práticos se faz importante por promover a discussão de assuntos pertinentes ao aumento do emprego de materiais sustentáveis na construção civil. Mostrando que mudanças relativas ao uso dos materiais de construção podem gerar impactos ambientais positivos. Impactos esses relativamente relevantes, por conta das proporções do mercado da construção civil.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, S. A.; INO, A. **Análise comparativa de conforto térmico entre um protótipo de madeira e outro de alvenaria, inseridos no clima de São Carlos – SP.** VI Encontro Nacional e III Encontro Latino-Americano sobre conforto no Ambiente Construído, São Pedro, SP, BR, 11 a 14 de novembro de 2001. Disponível em: <<http://www.infohab.org.br/encac/files/2001/A0212.pdf>>. Acesso em 16 de agosto de 2018.

ANDRADE, A. **Indicação de programas para secagem convencional de madeiras.** Dissertação de mestrado em Ciências – Área de concentração: Ciência e tecnologia de Madeiras. Escola superior de agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo. Disponível em: <<http://www.ipecf.br/servicos/teses/arquivos/andrade,a.pdf>>. Acesso em 03 de setembro de 2017.

ANGULO, S. C. **Variabilidade de Agregados Graúdos de Resíduos de Construção e Demolição Reciclados**, 2000. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 2000.

ANGULO, S.C. **Caracterização de agregados de resíduos de construção e demolição reciclados e a influência de suas características no comportamento mecânico dos concretos.** Tese de Doutorado em Engenharia Civil - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2005.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (1982). **NBR 7203 – Madeira serrada e beneficiada.**

_____ (1988). **NBR 9442 – Materiais de construção - Determinação do índice de propagação superficial de chama pelo método do painel radiante - Método de ensaio.**

_____ (1989). **NBR 10636 – Paredes divisórias em função estrutural– Determinação da resistência ao fogo -Método de ensaio.**

_____ (1997). **NBR 7190 - Projeto de Estruturas em Madeira.**

_____ (2001). **NBR 12297 – Madeira serrada de Coníferas provenientes de reflorestamento para uso geral – Medição e quantificação de defeito – Procedimento.**

_____ (2001). **NBR 14432 – Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações – Procedimento.**

_____ (2001). **NBR 5628 – Componentes construtivos estruturais – Determinação da resistência ao fogo.**

_____ (2013). **NBR 8660 – Ensaio de reação ao fogo em pisos-- Determinação do comportamento com relação à queima utilizando uma fonte radiante de calor – Determinação da resistência ao fogo -Método de ensaio.**

_____ (2013). **NBR 15575 – Edificações habitacionais** – Desempenho.

_____ (2017). **NBR 12498 – Madeira serrada de coníferas provenientes de reflorestamento, para uso geral** – Dimensões e lotes – Padronização.

BALLARIN, A. W. & PALMA, H. A. L. **Propriedades de resistência e rigidez da madeira juvenil e adulta de *Pinus taeda***. Revista *Árvore*, Viçosa-MG, v.27, n.3, 2003.

BATISTA, F. D. **A tecnologia construtiva em madeira na região de Curitiba: da Casa Tradicional à Contemporânea**. Dissertação de Mestrado, Curso de Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007. Disponível em: <<http://www.lambrechim.net/textos/PARQ0055-D.pdf>>. Acesso em: 22 outubro de 2017.

BELTRAME, E. de S. **Meio Ambiente na Construção Civil**. 2013. Disponível em: <<https://www.aea.com.br/blog/meio-ambiente-e-construcao-civil/>>. Acesso em 21 de setembro de 2017.

BORGES, L. M. **Higroscopicidade da madeira de *Pinus caribaea var. hondurensis* tratado hermeticamente**. Publicado na Revista *Biomassa & Energia*, Vol 1 N° 2 de Abr-Jun de 2004. Pg 173-182.

BRAGA, B. et al. **Introdução à Engenharia Ambiental. O Desafio do Desenvolvimento Sustentável**. 2ª ed. São Paulo. Prentice Hall. 2005. Disponível em: <<https://pt.slideshare.net/IcaroAbreu/eng-introducao-a-engenharia-ambiental-benedito-braga>>. Acesso em 11 de setembro de 2018.

CARVALHO, R. C. A. et al. **Análise da Gestão Racional de RCD em Canteiros de Obras da Região Metropolitana do Recife, RMR**. Em: Encontro nacional de tecnologia do ambiente construído, Fortaleza. Anais ANTAC, 2008.

CASSILHAS, A.C. et al. **Indústria moveleira e resíduos sólidos: considerações para o equilíbrio ambiental**. Revista *educação e tecnologia*, artigo 13. Periódico Técnico Científico dos Programas de Pós-Graduação em Tecnologia dos CEFETs-PR/MG/RJ, 2003.

CEOTTO, Luiz Henrique. **A Construção Civil e o Meio ambiente: Notícias da Construção**, Ed. 51 a 53, São Paulo, SP, 2008.

Circulando por Curitiba. **Casa de madeira do Ahú – uma especial**. 2011. Disponível em: <<http://www.circulandoporcuritiba.com.br/2013/09/casas-de-madeira-do-ahu-uma-especial.html>>. Acesso em 07 de outubro de 2018.

CKC. **Proteção passiva contra o fogo**. Orçamento, 2018. Disponível em: <<https://ckc.com.br>>. Acesso em 13 de outubro de 2018.

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução n° 307**, de 05 de julho de 2002: Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 2002.

Construção em Madeira. **Fechamento externo**. Manual de construção em madeira. Disponível em: <http://www.usp.br/nutau/madeira/paginas/parede/fechamento_externo.htm>. Acesso em 17 de setembro de 2018.

Construindo Decor, **Wood frame - tecnologia na construção de casas de madeira**. Disponível em: <<http://construindodecor.com.br/wood-frame-tecnologia-na-construcao-de-casas-de-madeira/>>. Acesso em 19 de outubro de 2018.

CUNHA, N. A. **Resíduos da construção civil, análise de usinas de reciclagem**. Dissertação em mestrado, Universidade Estadual de Campinas, 2007. Disponível em: <http://www.ietsp.com.br/static/media/media-files/2015/01/23/Dissert_Neuma_Cunha.pdf>. Acesso em 22 de outubro de 2018.

DIAS, F. M. **A densidade aparente como estimador de propriedades de resistência e rigidez da madeira**. 145f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/88/88131/tde-24072009-145333/pt-br.php>>. Acesso em 14 de novembro de 2017.

DIAS, A. A. LAHR, F. A. R. CALIL, C. J. **Dimensionamento de Elementos estruturais de Madeira**. 1ed. Barueri: Editora Manole Ltda. 2003.

ELY, D. M.; SESTERHENN, A. C. S; REGINATTO, G. M. MORAES, P. D. **Aumento do desempenho ao fogo do protótipo Battistella – UFSC**. Departamento de Engenharia Civil - Universidade Federal de Santa Catarina. Anais do 10º encontro brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira, EMBRAMEM, 2006. Disponível em: <<http://giem.ufsc.br/aumento-do-desempenho-ao-fogo-do-prototipo-battistella-ufsc-2006/>>. Acesso em 08 de abril de 2018.

FERREIRA, A. R. L; MOREIRA, H. C. Análise Crítica da Gestão de Resíduos de Construção Civil: **Estudo de caso do Município do Rio de Janeiro**. Universidade Federal do Rio de Janeiro 2013.

FREITAS, V. P. **Variações na retenção de CCA-A em estacas de Pinus após 21 anos de exposição em campo de apodrecimento**. Dissertação de mestrado em Recursos Florestais. Escola superior de agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11150/tde-20082002-141407/en.php>>. Acesso em 12 de novembro de 2017.

FOELKEL, C.E.; MORA, E.; MENOCELLI, S. **Densidade básica: sua verdadeira utilidade como índice de qualidade da madeira de eucalipto para produção de celulose**. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 6. Campos do Jordão, 1990. Anais. Campos do Jordão: 1990. p.719- 728.

GABRIEL, MARCO A. M.; WEIGERT, IVYLYN. **Inventário da arquitetura Ítalo-Gaúcha em madeira como processo de educação patrimonial em Pato Branco – PR**. 1º Simpósio Científico ICOMOS Brasil, Belo Horizonte, de 10 a 13 de maio de 2017. Disponível em: <<https://even3.blob.core.windows.net/anais/60098.pdf>>. Acesso em 29 de outubro de 2018.

GARCIA, A. P; NAIME, R.; SARTOR, I.; KULAKOWSKI, M. **Resíduos**. Revista da Madeira, Rio Grande de Sul, nov, 2002. Disponível em: <http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=272&subject=Res%EDduos&title=Res%EDduos>. Acesso em 24 de novembro de 2017.

GARCIA. S. et al. **Sistema Construtivo Wood frame**. Em: mostra de iniciação científica IMED, 8. **Anais**. 2014.

HANSEN, Sandro. Gestão Socioambiental: **Meio Ambiente na Construção Civil**. Florianópolis, SC. SENAI/SC, 2008.

HELLMEISTER, J. C. **Sobre a determinação das características físicas da madeira**. 119p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1982.

HERNANDEZ, F. P.; SHIMABUKURO, Y. E. **Estabelecimento de metodologia para avaliação de povoamentos florestais artificiais, utilizando-se dados do Landsat**. São José dos Campos: INPE, 1978. 169 p. (INPE 1271- TPT- 098).

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção da extração vegetal e da silvicultura**. PEVS, Tabelas, 2017. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas-novoportal/economicas/agricultura-e-pecuaria/9105-producao-da-extracao-vegetal-e-da-silvicultura.html?=&t=resultados>>. Acesso em 25 de outubro de 2018.

IBQP- Instituto Brasileiro de Qualidade e Produtividade do Paraná. **Análise da competitividade da cadeia produtiva da madeira no estado do Paraná**. Curitiba. Relatório Final, 2002.

IMAGUIRE JR, Key. **A Casa de Araucária**: Arquitetura Paranista. Curitiba: UFPR, 1993.

IMAGUIRE JÚNIOR, Key; IMAGUIRE, Marialba Rocha Gaspar; BATISTA, Fábio Domingos; BERRIEL, Andréa. **A casa de araucária**. Arquitetura da madeira em Curitiba. Curitiba, Instituto ArquBrasil, 2011.

ISO 834-1:1999. **Preview. Fire-resistance tests: Elements of building construction**. Disponível em: <<https://www.sis.se/api/document/preview/615580/>>. Acesso em 14 de setembro de 2018.

ISO 9239-1:2010. **Reaction to the fire tests for floorings**. Disponível em: <<https://www.sis.se/api/document/preview/912332/>>. Acesso em 12 de outubro de 2018.

JOHN, V.M. **Reciclagem de resíduos na construção civil** – contribuição a metodologia de pesquisa e desenvolvimento. 2000. 102 p. Tese (livre docência) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

LARANJEIRA, J. P. S. **Reacção ao fogo de madeira antiga protegida com revestimentos retardadores de combustão**. Dissertação para obtenção do Grau Mestre em Engenharia Civil. Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, 2012. Disponível em:

<<http://repositorio.lnec.pt:8080/xmlui/handle/123456789/1003735>>. Acesso em 26 de outubro de 2017.

LELPO, E.; **Madeira utilizada contra o fogo**. 2012. Disponível em <www.romaquimica.com.br>. Acesso em 20 de outubro de 2017.

LISBOA, C. D. J.; MATOS, J. L. M.; MELO, J. E. **Amostragem e Propriedades Físico-Mecânicas de Madeiras Amazônicas**. Ministério do Meio Ambiente e da Amazônia Legal. Brasília: IBAMA, 1993.

LNEC - Laboratório Nacional de Engenharia Civil de Lisboa, PT, 1976.

MADEIRA ESTRUTURA, **A Madeira: um Material Resistente ao Fogo**. 2009. Disponível em: <[https:// l.wordpress.com/2009/07/13/a-madeira-um-material-resistente-ao-fogo/](https://l.wordpress.com/2009/07/13/a-madeira-um-material-resistente-ao-fogo/)>. Acesso em 24 de setembro de 2018.

MADEIRA CONTRA O FOGO, **A madeira, uma excelente proteção contra o fogo**. 2009. Disponível em: <<http://estruturasdemadeira.blogspot.com.br/2013/05/a-madeira-uma-excelente-protecao-contra.html>>. Acesso em 27 de setembro de 2018.

MARGARIDO, A. F. **Fundamentos de estruturas**: Um programa para arquitetos e engenheiros que se iniciam nos estudos das estruturas – 2º ed. São Paulo: Ziguarte, 2003. Acesso em 22 março de 2018.

MARQUES, C. S. P. **A importância da arquitetura vernacular**. Akrópolis, Umuarama, v. 17, n. 1, p. 45-54, jan/mar 2009. Disponível em: <<https://www.passeidireto.com/arquivo/18906564/a-importancia-da-arquitetura-vernacular-em-abril-de-2018>>. Acesso em 21 de outubro de 2018.

MASCARENHAS, P. S. **Madeira como material de construção**, 2008.

MEIRELLES, C.R.M.; DINIS H.; SEGALL, M.S.; SANT'ANNA, S.S. **Considerações sobre o uso da madeira no Brasil em Construções Habitacionais**. Fórum de Pesquisa Mackenzie. São Paulo, 2007

MENDES, A. de S.; MARTINS, V. A.; MARQUES, M. H. B. **Programas de secagem para madeiras brasileiras**. Brasília: IBAMA, 1998. Disponível em: <<http://www.bdpa.cnptia.embrapa.br/consulta/busca?b=ad&id=303964&biblioteca=vazio&busca=autoria:%22MARQUES,%20M.%22&qFacets=autoria:%22MARQUES,%20M.%22&sort=&paginacao=t&paginaAtual=8>>. Acesso em 15 de setembro de 2018

MIOTTO, J. L. **Estruturas mistas de madeira-concreto: avaliação de vigas de madeira laminada colada reforçadas com fibra de vidro**. 325f Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18134/tde-15062009-094616/pt-br.php>>. Acesso em 13 de novembro de 2017.

MIRANDA, L. F. R. **Contribuição ao Desenvolvimento da Produção e Controle de Argamassas de Revestimento com Areia Reciclada Lavada de Resíduos Classe A da Construção Civil**. São Paulo, 2005. Tese de Doutorado em Engenharia Civil – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 2005.

MIRANDA, L. F. H; ANGULO, S. C; CARELI, E. D. **A Reciclagem de Resíduos de construção e demolição no Brasil: 1986-2008.** Disponível em: <<http://www.seer.ufrgs.br/index.php/ambienteconstruido/article/view/7183/4909>>. Acesso em 12 de março de 2018.

MOLINA, J. C; CALIL, C. J. **Sistema construtivo em *Wood Frame* para casas de madeira.** Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas, Londrina, v. 31, n. 2, p. 143-156, jul./dez. 2010.

MORESCHI, J. C. **Biodegradação e preservação da madeira.** Volume III, 4º edição, abril de 2013. Disponível em: <www.madeira.ufpr.br/disciplinasmoreschi/METODOS%20DE%20TRATAMENTO.pdf>. Acesso em 22 de maio de 2018.

MUELLER, A. **Closed loop of concrete rubble.** Bauhaus Universität Weimar, 2007. Disponível em: <<http://www.uni-weimar.de/Bauing/aufber/Lehre/Gastvorlesung/Barcelona/Lecture07.pdf>>. Acesso em 12 de outubro de 2017.

OLIVEIRA, Talita Yasmin Mesquita de. **Estudo sobre o uso de materiais de construção alternativos que otimizam a sustentabilidade em edificações.** Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2015.

OSTAPIV, F.; **Resistência mecânica do material compósito: madeira de eucalipto-lâmina de bambu.** 2011. 148 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2011.

PFEIL, W.; PFEIL, M. **Estruturas de madeira.** 6.ed. Rio de Janeiro: LTC, 2003.

PINTO, T. P. **Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana.** Tese de Doutorado em Engenharia Civil - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1999.

PINTO, E. M; CALIL, C. J. **Resistência mecânica de estruturas de madeira em situação de incêndio: proposta para inclusão em anexo da NBR 7190:2004.** Revista TecBahia Madeira, arquitetura e engenharia, mai-ago 2004, nº 13, artigo 6. Disponível em: <madeira.set.eesc.usp.br/article/download/283/pdf>. Acesso em 04 de agosto de 2018.

PINTO, T.P; GONZÁLES, J.L.R. **Manejo e gestão de resíduos da construção civil.** Volume 1 - Manual de orientação: como implantar um sistema de manejo e gestão nos municípios. Brasília: CAIXA, 2005.

PINTO, E. M. **Determinação de um modelo para taxa de carbonização transversal a grã para madeira de *E. Citriodora* e *E. grandis*.** Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos/Instituto de Física de São Carlos/Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2005. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/88/88131/tde-31052006-163139/pt-br.php>>. Acesso em 08 de maio de 2018.

PROJETO. **Habitação unifamiliar – Projeto e Orçamento**. Concedido pelo engenheiro Dalcio Lenir Thomas, CREA -60.519 / D. Marechal Cândido Rondon – PR, 2018.

QUIRINO, W. F. **Preservação de estacas e mourões de cerca por retificação térmica e impregnação de pirolenhosos e alcatrões**. Relatório final de projeto de pesquisa, LPF/IBAMA-PNUD/FAO- UnB, Brasília, 1997.

AMBIENTALLE. Residencial Ambientalle Uno, diário de obras, 2011. Disponível em: <<http://ambientalle1.blogspot.com.br/>>. Acesso em 14 de outubro de 2018.

REZENDE, M. A. **Retratibilidade da madeira de Pinus caribæa var. hondurensis e de Eucalyptus grandis e suas relações com a umidade e densidade**. Scientia Forestalis/Forest Sciences, n. 64, p. 120-127, 2003. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/67551>>. Aceso em 25 de setembro de 2018.

ROCHA, M. P. **Laudo Técnico para Caracterização de Madeiras do Gênero Eucalyptus**, FUPEF - Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná, 2010.

SBI – Stalbyggnadsintituted, The Swedish Institute of Steel Construction. **Sustainability of steel framed building**. Disponível em: <http://stalbyggnadsinstitutet.se/uploads/source/files/Artiklar/SBISustainability_of_steel_framed_buildings.pdf>. Aceso em 24 de outubro de 2018.

SHIMOYAMA, V. R.; BARRICHELO, L. E. G. **Influência de características anatômicas e químicas sobre a densidade básica da madeira de Eucalyptus spp.** Em: CONGRESSO ANUAL DE CELULOSE E PAPEL, 24. 1991, São Paulo. Anais. São Paulo: ABTCP, 1991.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE SILVICULTURA – SBS. **Fatos e números do Brasil florestal**. 2005. Disponível em: <<http://www.ipef.br/estatisticas/relatorios/SBS-2005.pdf>>. Acesso em 08 de outubro de 2017.

SOUZA, L. G. **Análise comparativa do custo de uma casa unifamiliar nos sistemas construtivos de alvenaria, madeira de lei e wood frame**. Especialize Revista Online, janeiro de 2012. Disponível em: <<http://www.bussinesstour.com.br/uploads/arquivos/80c5f1f09008d87d427f2c446ae349e7.pdf>>. Acesso em 09 de outubro de 2018.

STAMM, A. J. **Wood and cellulose science**. New York: Ronald Press, 1964.

STARVIL. **Madeireira Starvill, Formosa do Sul – SC**. Visita técnica em 2 de abril de 2018.

SZÜCS, C. A. **Sistema Battistella-UFSC: avaliação e desenvolvimento de sistema construtivo em madeira de reflorestamento voltado para programas de habitação social**. Universidade Federal de Santa Catarina, departamento de Arquitetura e Urbanismo, 2004.

SZÜCS, C. A.; TEREZO, R. F.; VALLE, A.; MORAES, P. D. **Apostila de estruturas de madeira**. Universidade Federal de Santa Catarina, 2008.

SZÜCS, C. A.; TEREZO, R. F.; VALLE, A.; MORAES, P. D. **Apostila de estruturas de madeira**. Universidade Federal de Santa Catarina, 2015.

UNITED STATES GREEN BUILDING COUNCIL (USGBC). 2002 LEED – **Green building rating system for new construction and major renovations** (LEED NC) – Version 2.1. Disponível em: <<http://ww7.usgbc.com/>>. Acesso em 21 de agosto de 2017.

TEREZO, R. F.; VELLOSO, J. G. **Sistemas Construtivos em Madeira**. Florianópolis: Monografia, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, 2005.

VIEIRA, R da Silva. **Pequenos objetos de madeira de eucalipto: Possibilidades de reaproveitamento de resíduo**. Dissertação de Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira. Universidade Federal de Lavras. Lavras, Minas Gerais, 2006.

WOOD FOR GOOD. **Case studies**. Reino Unido, 2008. Disponível em: <<https://woodforgood.com/>>. Acesso em: 02 de outubro de 2018.

YAMAMOTO, J.K. et al. **Environmental impact reduction on the production of blended portland cement in Brazil**. Environmental Geosciences, v.4, nº4, 1997.

YUBA, A. N. **Análise da pluridimensionalidade da sustentabilidade da cadeia produtiva de componentes construtivos de madeira de plantios florestais**. Tese de Doutorado em Engenharia Civil - Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2005. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18139/tde-13062006-193817/pt-br.php>>. Acesso em 05 de setembro de 2018.

ZANI, A. C. **Arquitetura em madeira**. Londrina, Eduel, 2003. Disponível em: <http://www.uel.br/editora/portal/pages/arquivos/arquitetura%20em%20madeira_digit al.pdf>. Acesso em 02 de outubro de 2018.

ANEXOS

ANEXO A - Orçamento da habitação em alvenaria convencional

Item	Serviços	Unidade	Quantidade	Custo Unitário [R\$]	Custo Total [R\$]	Peso [%]
17.01	SERVIÇOS PRELIMINARES E GERAIS				2.950,00	4,33
17.01.01	Serv. técnicos , projetos, taxas, desp. inic., inst. provis., barracão, consumos e limpeza de obra	vb	1,00	2.950,00	2.950,00	100,0
17.02	INFRAESTRUTURA				8.164,06	11,99
17.02.01	Demolições	m³			0,00	0,0
17.02.02	Limpeza do terreno	m²	384,00	0,50	192,00	2,4
17.02.03	Escavações mecânicas	m³			0,00	0,0
17.02.04	Escavações manuais	m³	2,95	52,50	154,88	1,9
17.02.05	Aterro e apoioamento	m³	13,13	34,50	453,08	5,5
17.02.06	Locação da obra	m²	48,64	2,50	121,60	1,5
17.02.07	Fundações superficiais	vb	1,00		0,00	0,0
17.02.08	Fundações profundas	vb	1,00	1.950,00	1.950,00	23,9
17.02.09	Impermeabilização das fundações	vb	1,00		0,00	0,0
17.02.10	Viga Baldrame + Blocos em concreto armado	m³	3,65	1.450,00	5.292,50	64,8
17.02.11					0,00	0,0
17.03	SUPRAESTRUTURA				9.049,74	13,30
17.03.01	Concreto armado, inclusive forma	m³	4,15	1.500,00	6.225,00	68,8
17.03.02	Laje de fôrro	m²	51,83	54,50	2.824,74	31,2
17.03.03	Estrutura de madeira	vb	1,00		0,00	0,0
17.03.04	Estrutura metálica	vb	1,00		0,00	0,0
17.03.05					0,00	0,0
17.03.06					0,00	0,0
17.04	PAREDES E PAINÉIS				7.738,93	11,37
17.04.01	Alvenaria em tijolo furado	m²	158,30	41,50	6.569,45	84,9
17.04.02	Alvenaria em tijolo maciço	m²			0,00	0,0
17.04.03	Alvenaria em bloco estrutural	m²			0,00	0,0
17.04.04	Paredes de concreto	m²			0,00	0,0
17.04.05	Vergas e contravergas de concreto	m	19,50	23,50	458,25	5,9
17.04.06	Alvenaria de Embasamento / E=14CM	m²	16,35	43,50	711,23	9,2
17.04.07					0,00	0,0
17.04.08					0,00	0,0
17.05	ESQUADRIAS				1.282,30	1,88
17.05.01	Porta de entrada completa	conj	1,00	415,30	415,30	32,4
17.05.02	Portas internas completa	conj	2,00	345,30	690,60	53,9
17.05.03	Janelas	m²			0,00	0,0
17.05.04	Basculantes	m²			0,00	0,0
17.05.05	Alçapão	m²	0,63	280,00	176,40	13,8
17.05.06					0,00	0,0
17.05.07					0,00	0,0
17.05.08					0,00	0,0
17.05.09					0,00	0,0
17.06	VIDROS E PLÁSTICOS				2.654,75	3,90
17.06.01	Lisos	m²			0,00	0,0
17.06.02	Fantasia	m²			0,00	0,0
17.06.03	Temperado/laminado	m²	5,95	335,00	1.993,25	75,1

17.06.04	Tijolo de vidro	m ²			0,00	0,0
17.06.05	Plásticos e acrílicos	m ²			0,00	0,0
17.06.06	Temperado / Laminado e= 10mm	m ²	1,89	350,00	661,50	24,9
17.06.07					0,00	0,0
17.06.08					0,00	0,0
17.07	COBERTURAS				4.542,60	6,67
17.07.01	Estrutura para telhado	m ²	51,83	38,50	1.995,46	43,9
17.07.02	Telhas	m ²	1,80	24,50	44,10	1,0
17.07.03	Calhas e rufos	m	52,30	23,50	1.229,05	27,1
17.07.04	Telhas de Fibrocimento / e=6mm	m ²	51,83	23,00	1.192,09	26,2
17.07.05	Estrutura metálica	m ²	1,80	45,50	81,90	1,8
17.07.06					0,00	0,0
17.08	IMPERMEABILIZAÇÕES				162,74	0,24
17.08.01	Terraços e coberturas	m ²			0,00	0,0
17.08.02	Pisos e paredes do subsolo	m ²			0,00	0,0
17.08.03	Boxes de banheiros	m ²	1,50	8,50	12,75	7,8
17.08.04	Jardineiras	m ²			0,00	0,0
17.08.05	Baldrames	m	46,15	3,25	149,99	92,2
17.08.06					0,00	0,0
17.09	REVESTIMENTOS INTERNOS				6.128,78	9,00
17.09.01	Chapisco	m ²	159,30	2,95	469,94	7,7
17.09.02	Emboço	m ²	159,30	18,50	2.947,05	48,1
17.09.03	Reboco	m ²	134,15	12,50	1.676,88	27,4
17.09.04	Reboco paulista	m ²			0,00	0,0
17.09.05	Gesso	m ²			0,00	0,0
17.09.06	Cerâmica	m ²			0,00	0,0
17.09.07	Pastilhas de vidro	m ²			0,00	0,0
17.09.08	Porcelanato	m ²			0,00	0,0
17.09.09	Azulejo de cor	m ²	25,15	38,50	968,28	15,8
17.09.10	Rejuntamento	m ²	25,15	2,65	66,65	1,1
17.09.11					0,00	0,0
17.10	FORROS				0,00	0,00
17.10.01	Gesso	m ²			0,00	0,0
17.10.02	PVC	m ²			0,00	0,0
17.10.03	Madeira	m ²			0,00	0,0
17.10.04					0,00	0,0
17.10.05					0,00	0,0
17.10.06					0,00	0,0
17.11	REVESTIMENTOS EXTERNOS				6.911,19	10,15
17.11.01	Chapisco	m ²	195,30	3,05	595,67	8,6
17.11.02	Emboço	m ²	195,30	19,50	3.808,35	55,1
17.11.03	Reboco	m ²	193,05	12,50	2.413,13	34,9
17.11.04	Reboco paulista	m ²			0,00	0,0
17.11.05	Cerâmica	m ²			0,00	0,0
17.11.06	Pastilhas de vidro	m ²			0,00	0,0
17.11.07	Porcelanato	m ²			0,00	0,0
17.11.08	Azulejo de cor	m ²	2,25	39,15	88,09	1,3
17.11.09	Rejuntamento	m ²	2,25	2,65	5,96	0,1
17.11.10					0,00	0,0
12.12	PINTURA				6.110,00	8,98
17.12.01	Emassamento	m ²			0,00	0,0
17.12.02	Pintura interna	m ²	134,15	18,00	2.414,70	39,5
17.12.03	Pintura externa	m ²	193,05	18,00	3.474,90	56,9
17.12.04	Pintura sobre madeira	m ²	1,80	20,00	36,00	0,6
17.12.05	Pintura sobre concreto	m ²			0,00	0,0
17.12.06	Pintura sobre metal	m ²	1,26	20,00	25,20	0,4
17.12.07	Textura	m ²			0,00	0,0

17.12.08	Esquadrias de Madeira c/ marco	m ²	7,96	20,00	159,20	2,6
17.12.09					0,00	0,0
17.13	PISOS				3.637,20	5,34
17.13.01	Contrapiso	m ²	43,48	22,50	978,30	26,9
17.13.02	Cerâmica	m ²	43,48	39,50	1.717,46	47,2
17.13.03	Cimentado rústico	m ²	22,27	28,50	634,70	17,5
17.13.04	Cimentado liso	m ²			0,00	0,0
17.13.05	Madeira	m ²			0,00	0,0
17.13.06	Piso vinílico	m ²			0,00	0,0
17.13.07	Carpete	m ²			0,00	0,0
17.13.08	Porcelanato	m ²			0,00	0,0
17.13.09	Rejuntamento	m ²	43,48	2,65	115,22	3,2
17.13.10	Aterro e Reaterro Calçadas	m ²	22,27	8,60	191,52	5,3
17.14	ACABAMENTOS				728,10	1,07
17.14.01	Rodapés	m	34,10	7,25	247,23	34,0
17.14.02	Soleiras	m	1,70	68,50	116,45	16,0
17.14.03	Peitoris	m	5,32	68,50	364,42	50,1
17.14.04					0,00	0,0
17.14.05					0,00	0,0
17.15	INSTALAÇÕES ELÉTRICAS E TELEFÔNICAS				2.700,00	3,97
17.15.01	Tubulações e caixas nas lajes	vb	1,00	350,00	350,00	13,0
17.15.02	Tubulação e caixas nas alvenarias	vb	1,00	400,00	400,00	14,8
17.15.03	Enfição	vb	1,00	500,00	500,00	18,5
17.15.04	Quadros de distribuição	un	1,00	200,00	200,00	7,4
17.15.05	Tomadas, interruptores e disjuntores	vb	1,00	550,00	550,00	20,4
17.15.06	Quadro de entrada de energia	un	1,00	400,00	400,00	14,8
17.15.07	Interfone	vb	1,00		0,00	0,0
17.15.08	Luminárias Fluorescentes e Incandescentes	vb	1,00	300,00	300,00	11,1
17.15.09					0,00	0,0
17.15.10					0,00	0,0
17.16	INSTALAÇÕES HIDRÁULICAS				2.450,00	3,60
17.16.01	Cavalete e hidrômetro	vb	1,00	500,00	500,00	20,4
17.16.02	Tubulação de água fria	vb	1,00	1.450,00	1.450,00	59,2
17.16.03	Tubulação de água quente	vb	1,00		0,00	0,0
17.16.04	Reservatório de água fria	un	1,00	500,00	500,00	20,4
17.16.05	Equipamento aquecimento de água	un			0,00	0,0
17.16.06	Reservatório de água quente	un			0,00	0,0
17.16.07					0,00	0,0
17.16.08					0,00	0,0
17.17	INSTALAÇÕES DE ESGOTO E ÁGUAS PLUVIAIS				1.475,00	2,17
17.17.01	Tubulação	vb	1,00	1.350,00	1.350,00	91,5
17.17.02	Caixas	un			0,00	0,0
17.17.03	Fossa Séptica	un			0,00	0,0
17.17.04	Sumidouro	un			0,00	0,0
17.17.05	Rede de drenagem do lote	vb	1,00		0,00	0,0
17.17.06	Caixa de Gordura	un	1,00	125,00	125,00	8,5
17.17.07					0,00	0,0
17.18	LOUÇAS E METAIS				1.062,90	1,56
17.18.01	Vasos sanitários	un	1,00	250,50	250,50	23,6
17.18.02	Lavatórios	un	1,00	285,60	285,60	26,9
17.18.03	Pia de Cozinha	un			0,00	0,0
17.18.04	Bancadas	m ²			0,00	0,0
17.18.05	Tanque	un			0,00	0,0
17.18.06	Torneiras e registros	un	3,00	125,60	376,80	35,5
17.18.07	Acessórios de banheiro + chuveiro	gl	1,00	150,00	150,00	14,1
17.18.08					0,00	0,0
17.19	COMPLEMENTOS				200,00	0,29
17.19.01	Limpeza final e calafetes	vb	1,00	200,00	200,00	100,0

17.20	OUTROS SERVIÇOS			120,50	0,18
17.20.01	Ligações e Habite-se	gl	1,00	120,50	100,0
17.20.02				0,00	0,0
17.20.03				0,00	0,0
	Custo por m²: 1399,44			Total: 68.068,77	100

