

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Construção Civil

MARCO AURÉLIO PEIXE

UMA LINGUAGEM DE PADRÕES PARA A MADEIRA
CONJUNTO DE PRÁTICAS PROJETUAIS PARA
VALORIZAÇÃO PLÁSTICA, TÉCNICA E FUNCIONAL DO USO DESSE MATERIAL

CURITIBA

2017

MARCO AURÉLIO PEIXE

UMA LINGUAGEM DE PADRÕES PARA A MADEIRA

CONJUNTO DE PRÁTICAS PROJETUAIS PARA

VALORIZAÇÃO PLÁSTICA, TÉCNICA E FUNCIONAL DO USO DESSE MATERIAL

Dissertação apresentada ao Programa de Pós -
Graduação em Engenharia de Construção Civil,
área de concentração em Ambiente Construído,
Departamento de Construção Civil, Setor de
Tecnologia, Universidade Federal do Paraná,
como requisito parcial para a obtenção do
título de Mestre em Construção Civil.

Orientador: Prof. Dr. Sergio Fernando Tavares

CURITIBA

2017

P379I

Peixe, Marco Aurélio

Uma linguagem de padrões para a madeira: conjunto de práticas projetuais para valorização plástica, técnica e funcional do uso desse material / Marco Aurélio Peixe. – Curitiba, 2017.

166 f. : il. color. ; 30 cm.

Dissertação - Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Construção Civil, 2017.

Orientador: Sergio Fernando Tavares.

1. Construção civil. 2. Madeira. 3. Sustentabilidade. I. Universidade Federal do Paraná. II. Tavares, Sergio Fernando. III. Título.

CDD: 691.1

TERMO DE APROVAÇÃO

MARCO AURÉLIO PEIXE

UMA LINGUAGEM DE PADRÕES PARA A MADEIRA: CONJUNTO DE PRÁTICAS PROJETUAIS PARA VALORIZAÇÃO PLÁSTICA, TÉCNICA E FUNCIONAL DO USO DESSE MATERIAL

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre no Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Construção Civil, Área de Concentração em Ambiente Construído, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, pela seguinte banca examinadora:

Orientador:



Prof. Dr. Sergio Fernando Tavares
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Construção Civil da UFPR


Examinadores:



Prof. Dr. Aloísio Leoni Schmid
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Construção Civil da UFPR



Prof.ª Dr.ª Andréa Berriel Mercadante Stinghen
Departamento de Arquitetura e Urbanismo da UFPR



Prof. Dr. Miguel Aloysio Sattler
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da UFRGS

Curitiba, 8 de maio de 2017

A minha mãe, Laurita,
pelo exemplo de vida e apoio contínuo.

A minha noiva, Flávia,
pelo amor, carinho e por estar sempre presente.

AGRADECIMENTOS

Em especial, agradeço ao Prof. Sergio Tavares, pela orientação, apoio e incentivo, indispensáveis para a realização deste trabalho.

Ao Prof. Aloísio Schmid, pela indicação do tema, o que me ajudou a descobrir a obra de Alexander, e por estar sempre disposto a colaborar.

Aos membros da banca, Prof.^a Andréa Berriel e Prof. Miguel Aloysio Sattler, pelas contribuições e palavras generosas.

E, finalmente, à Universidade Federal do Paraná, onde me graduei Arquiteto e Urbanista, em 2007, e fiz o mestrado no Programa de Pós - Graduação em Engenharia de Construção Civil, recebendo ensino público gratuito e de qualidade.

RESUMO

Sabe-se que os impactos gerados pelas atividades da construção civil são significativos. Na condição de material a ser utilizado dentro desse setor, as madeiras incorporam um conjunto de características técnicas e econômicas que dificilmente se encontram em outro material existente, sendo ainda uma alternativa coerente com as práticas de desenvolvimento sustentável. Embora o patrimônio florestal brasileiro seja rico, o entendimento dessa matéria-prima como material de construção está comumente associado a edificações de baixa qualidade, prejudicado, ainda, pela insuficiente pesquisa e ensino nas escolas de arquitetura, o que acaba resultando em projetos e obras de qualidade construtiva insatisfatória. Com a intenção de refletir e, posteriormente, estabelecer propostas de projeto que façam o uso mais proveitoso dessa matéria-prima, esta dissertação tem como ponto de partida as diretrizes apresentadas por Christopher Alexander em sua obra. Entende-se que o conceito linguagem de padrões, proposto por esse autor, pode servir como unidade de análise para temas que não tenham sido suficientemente explorados por ele; no caso, a madeira como material de construção. Assim, o objetivo desta pesquisa é propor uma linguagem de padrões específica para a madeira, apresentando um conjunto de práticas projetuais de arquitetura para a valorização plástica, técnica e funcional do seu emprego sob o ponto de vista do pensamento arquitetônico sustentável, tendo como unidade de análise o conceito linguagem de padrões. A estratégia de pesquisa utilizada é a *design science research*. Cada prática projetual de arquitetura para valorização do uso da madeira é apresentada como um padrão (artefato), sendo que o formato proposto para determiná-los e também para efetuar a análise dos dados coletados consiste primeiramente em uma declaração resumindo a filosofia sobre um tópico específico, seguida por uma explanação com a argumentação de suporte e, por fim, uma prescrição em termos práticos. Ao final, são apresentados 18 padrões para o uso da madeira, nos quais são mostradas propostas plásticas, formas de aplicar apropriadamente fundamentos da linguagem visual, técnicas e sistemas construtivos, aporte de tecnologia, alternativas mais sustentáveis para o uso da madeira, maneiras para assegurar a exploração racional da matéria-prima, meios para reduzir a quantidade de resíduos, entre outros. Ressalta-se que cada padrão não deve ser pensado como uma intenção projetual única e, por sua vez, excludente dos demais. Trata-se, então, de ao projetar criar o equilíbrio correto entre todos os padrões, para que cada um deles funcione ao máximo por si próprio, assim como também na sua relação com os outros.

Palavras-chave: Construção Civil. Madeira. Christopher Alexander. Linguagem de Padrões. Sustentabilidade.

ABSTRACT

As is well known, the impact caused by civil construction activities is significant. With regard to being a material to be used in this sector, wood incorporates a set of technical and economical characteristics that are hardly found in any other material available, furthermore representing an alternative consistent with the practice of sustainable development. Although the Brazilian forest resources are abundant, the understanding of wood as civil building material is often associated to low-quality constructions, impaired, furthermore, by insufficient research and teaching in architecture schools, which results in designs and buildings of unsatisfactory constructive quality. With the intention of reflecting, and later, of establishing design proposals that optimize the use of this raw material, this dissertation has the starting point the directives presented by Christopher Alexander in his work. The concept of pattern language proposed by that author may serve as a unit of analysis in subjects that have not been thoroughly explored by him; in this case, wood as a building material. Thus, the objective of this research is to propose a pattern language specific to wood, presenting a set of design practices in architecture in order to increase plastic, technical and functional value of its use under the outlook of sustainable architectural thinking, taking for analysis unit the concept of pattern language. The research strategy that was used is design science research. Each architectural design practice to increase the value of the use of wood is presented as a pattern (artifact), while the format suggested to determine them and also to analyze the gathered data consists primarily in a statement condensing the philosophy about a specific topic, followed by an explanation combined with supporting arguments, and finally, by a prescription in practical terms. At the end, 18 patterns for the use of wood are presented, containing plastic propositions, ways of appropriately applying fundamentals of visual language, building techniques and systems, technology input, more sustainable alternatives for the employment of wood, means to assure the rational exploitation of this material, means to reduce the amount of residue, among others. It's important to highlight that each pattern must not be thought as a single design intention, and so, as a premise that excludes the others. In regard of design thinking, the premise is to create the right balance between all the patterns, so that each one of them reaches optimal results by itself, as well as in their relation with each other.

Keywords: Civil Construction. Wood. Christopher Alexander. Pattern Language. Sustainability.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - Modos de representação de um mesmo esquema de requisitos	27
FIGURA 2 - Análise do contexto e síntese da forma	27
FIGURA 3 - Análise do contexto e síntese da forma	28
FIGURA 4 - Exemplo de uma cidade fictícia projetada com diagrama em árvore e em semi-retícula.....	29
FIGURA 5 - Edifícios vivos	30
FIGURA 6 - Anéis de crescimento	42
FIGURA 7 - Métodos de transformação da tora.....	44
FIGURA 8 - Painel compensado	50
FIGURA 9 - Chapa dura	50
FIGURA 10 - Chapas MDF	51
FIGURA 11 - Aglomerado.....	52
FIGURA 12 - Chapa MDP.....	52
FIGURA 13 - Chapa OSB.....	53
FIGURA 14 - <i>Glued Laminated Timber</i> (Glulam).....	54
FIGURA 15 - <i>Cross Laminated Timber</i> (CLT)	54
FIGURA 16 - <i>Laminated Veneer Lumber</i> (LVL).....	56
FIGURA 17 - Centro Cultural Jean-Marie Tjibaou em Nouméa, Nova Caledônia. Projeto de Renzo Piano	73
FIGURA 18 - Museu de Arte de Aspen em Colorado, Estados Unidos. Projeto de Shigeru Ban Architects	77
FIGURA 19 - Casa em Lacapelle-del-fraisse. Projeto de Rouget Simon Teyssou & associés	79
FIGURA 20 - Nine Bridges Country Club. Projeto de Shigeru Ban Architects	79
FIGURA 21 - Refúgio de Montanha. Projeto de Martín Gomez Arquitectos.....	79
FIGURA 22 - Casa do Riacho. Projeto de James Lawrence Vianna	79
FIGURA 23 - Pavilhão da China na Expo Milão 2015, Itália. Projeto de Tsinghua University e Studio Link-Arc.....	80
FIGURA 24 - Auditorium del Parco em Áquila, Itália. Projeto de Renzo Piano	86
FIGURA 25 - Exemplos de espécies de madeira	87

FIGURA 26 - Padrões usuais de aplicação de madeira.....	88
FIGURA 27 - Restaurante Kim Boi Bamboo em Hoa Binh, Vietnã. Projeto de Tran Ba Tiep.....	89
FIGURA 28 - Sauna Jordanbad em Biberach, Alemanha. Projeto de Jeschke Architektur&Planung.....	92
FIGURA 29 - Composição com a madeira.....	95
FIGURA 30 - Composição com a Madeira.....	95
FIGURA 31 - Influência da perspectiva	96
FIGURA 32 - Influência da perspectiva	96
FIGURA 33 - Unilivre em Curitiba, Paraná. Projeto de Domingos Bongestabs	97
FIGURA 34 - Casa de Campo Macacos em São Sebastião das Águas Claras, Brasil. Projeto de Ana Cristina Faria e Maria Flávia Melo.....	100
FIGURA 35 - Millhouse - vista externa	101
FIGURA 36 - Millhouse - vista interna	101
FIGURA 37 - Casa Rampa em São Paulo, Brasil. Projeto de Studio MK27	103
FIGURA 38 - Casa Cinza - vista interna	104
FIGURA 39 - Casa Cinza - vista interna	104
FIGURA 40 - Pergolado estabelecendo jogo de luzes e sombras	106
FIGURA 41 - Pergolado ornado com plantas trepadeiras	106
FIGURA 42 - Canteiro de obras de uma construção em <i>wood frame</i>	107
FIGURA 43 - Diferentes empregos da madeira	110
FIGURA 44 - Manipulação da madeira	112
FIGURA 45 - Edifício Illwerke Zentrum Montafon em Vandans, Áustria. Projeto de Architekten Hermann Kaufmann	114
FIGURA 46 - Exemplo de retícula projetual utilizando os componentes construtivos propostos por Berriel.....	119
FIGURA 47 - Painéis de bracing pronto e unidos constituindo 1 m ² de parede... ..	119
FIGURA 48 - Torres de Madeira Moholt em Trondheim, Noruega, executadas em CLT. Projeto de MDH Arkitekter	120
FIGURA 49 - Parede com tábuas e mata-juntas, vista em planta.....	123
FIGURA 50 - Painel de vedação empregado em países de clima frio.....	123
FIGURA 51 - Painel de vedação com câmara de ar.....	124

FIGURA 52 - Painel de vedação com câmara de ar desenvolvido na UFSC.....	124
FIGURA 53 - Painel de vedação com duas câmaras de ar, desenvolvido na EESC / USP	125
FIGURA 54 - Painel de vedação com painéis de isolamento e materiais pesados.....	125
FIGURA 55 - Lambrequins	127
FIGURA 56 - Floresta plantada com certificação de manejo florestal	129
FIGURA 57 - Studio R em São Paulo, Brasil. Projeto de Studio MK27.....	132
FIGURA 58 - Acabamento de superfície feito com <i>eco-stain</i> com várias colorações.	136
FIGURA 59 - Buffet cercadinho feito com reciclagem de madeiras nobres e compensado de reflorestamento. Projeto do Estúdio Paulo Alves	139
FIGURA 60 - Exemplos de sambladuras.....	142

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - Consumo de madeira serrada amazônica pela construção civil, no estado de São Paulo.....	40
TABELA 2 - Consumo de madeira industrial em toras no Brasil (1.000 m ³).....	40
TABELA 3 - Dimensões das principais peças de madeira serrada	47
TABELA 4 - Dimensões das principais peças de madeira beneficiada	47
TABELA 5 - Limites de temperatura para diferentes materiais de revestimento, pés descalços.....	85
TABELA 6 - Economia de sistemas <i>wall framing</i> em madeira	108

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 - Rótulos ambientais.....	59
QUADRO 2 - Padrões, Declarações e Prescrições	145

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 - Destino da madeira em tora extraída em 2014, considerando o total de madeira e a madeira proveniente de florestas naturais ou plantadas, isoladamente....	19
---	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ABRAF – Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas

ASTM – *American Society for Testing and Materials*

AWPA – Associação Americana de Preservadores de Madeira

ACV – Avaliação do ciclo de vida

ACVE – Análise do ciclo de vida energético

AEC – Arquitetura, engenharia e construção

CCA – Arseniato de cobre cromatado

CCB – Borato de cobre cromatado

CERFLOR – Programa Brasileiro de Certificação Florestal

COV – Composto Orgânico Volátil

EESC / USP – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo

FSC – *Forest Stewardship Council*

IBÁ – Indústria Brasileira de Árvores

IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IMAFLOA – Instituto de Manejo de Certificação Florestal e Agrícola

IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas

PEFC – *Programme for the Endorsement of Forest Certification Systems*

SUMÁRIO

1	Introdução	15
1.1	Problema de Pesquisa	17
1.2	Pressuposto.....	17
1.3	Objetivo	18
1.4	Justificativa	19
1.4.1	Ambiental	19
1.4.2	Socioeconômica.....	20
1.4.3	Tecnológica.....	22
1.5	Contextualização no Programa	23
1.6	Estruturação	24
2	Revisão Bibliográfica.....	26
2.1	Christopher Alexander.....	26
2.2	Linguagem de Padrões	32
2.2.1	O Conceito Linguagem de Padrões.....	34
2.2.2	Identificação de Padrões para o Uso dos Materiais de Construção a Partir das Diretrizes Apresentadas por Alexander	38
2.3	Uso da Madeira na Construção Civil	39
2.3.1	Características da Madeira	41
2.3.2	Obtenção da Madeira de Construção	43
2.3.3	Propriedades da Madeira	44
2.3.4	Propriedades Organolépticas da Madeira	45
2.3.5	Produtos de Madeira.....	46
2.3.6	Derivados da Madeira.....	49
2.4	Uso Mais Sustentável da Madeira na Indústria de AEC	56
2.4.1	Selos de Certificação.....	58
2.4.2	Sequestro de Dióxido de Carbono da Atmosfera.....	61
2.4.3	Avaliação do Ciclo de Vida	63
3	Método de Pesquisa.....	66
3.1	Definição do Método de Pesquisa.....	66
3.1.1	Unidade de Análise.....	66
3.1.2	Justificativa da Escolha a Partir do Objetivo	66
3.2	Artefatos e Classe de Problemas	68
3.2.1	Artefatos.....	68

3.2.2	Classe de Problemas.....	69
3.3	Testes de Validade.....	70
3.4	Método de Análise de Dados	70
3.4.1	Declaração Resumindo a Filosofia Sobre o Tópico	71
3.4.2	Explicação com a Argumentação de Suporte.....	71
3.4.3	Prescrição em Termos Práticos	72
4	Uma Linguagem de Padrões para a Madeira	73
4.1	Madeira como Partido Arquitetônico	73
4.2	Versatilidade Plástica	77
4.3	Recursos Sensoriais.....	80
4.4	Uso Estético.....	86
4.5	Uso Simbólico.....	89
4.6	Princípios e Elementos Compositivos.....	91
4.7	Aspecto Natural	97
4.8	Aspectos Opostos	99
4.9	Aspecto Cenográfico	102
4.10	Funcionalidade.....	106
4.11	Empregabilidade, Trabalhabilidade e Manutenção	110
4.12	Sistematização Construtiva.....	114
4.13	Conforto Térmico	120
4.14	Evitar Umidade	126
4.15	Madeira Certificada	129
4.16	Pisos de Madeira	131
4.17	Tratamento Preservativo	136
4.18	Redução, Reutilização e Reciclagem.....	139
5	Avaliação do Artefato	145
6	Considerações Finais.....	151
6.1	Recomendações para Trabalhos Futuros.....	154
6.1.1	Especialização da Linguagem de Padrões para a Madeira	154
6.1.2	Linhas de Pesquisa Relacionadas ao Tema	156
7	Referências Bibliográficas.....	157
8	Fontes das Figuras	166

1 INTRODUÇÃO

A Construção Civil gera significativos impactos ao meio ambiente; portanto, possui importância estratégica nas discussões relativas à sustentabilidade. No Brasil, o setor ainda tem um longo caminho a percorrer em relação ao desenvolvimento de soluções padronizadas para o uso de materiais de construção que causem menores impactos ambientais, reduzam o desperdício de matérias-primas, demandem menores níveis de energia, sejam mais econômicas e de rápida execução. Assim, as áreas de Arquitetura e Engenharia possuem papel fundamental no desenvolvimento, incentivo e difusão de métodos de projeto e tecnologias ambientalmente mais sustentáveis.

Novas abordagens projetuais, pensadas para responder aos desafios ambientais, socioeconômicos e tecnológicos da sustentabilidade, vêm construindo novas concepções de edifícios no mundo. Neste momento, são necessárias discussões sobre tecnologias que promovam revisões dos princípios ambientais presentes na idealização, no projeto e na edificação do espaço construído. A arquitetura mais sustentável deve fazer a síntese entre projeto, ambiente e tecnologia, dentro de um determinado contexto socioeconômico, apropriando-se de uma visão de médio e longo prazos, em que tanto o idealismo, como o pragmatismo são fatores fundamentais (GONÇALVES e DUARTE, 2006).

Dentro desse contexto, novas abordagens para o uso madeira, um material que é renovável e que possui séculos de familiaridade com o ser humano, revela-se um estudo promissor. Considerando seu uso como material de construção, a maior parte do desmatamento no Brasil tem por finalidade o beneficiamento de produtos de baixo valor agregado (IBAMA, 2002 e IPT, 2009). Além disso, as atividades da cadeia produtiva da madeira têm importância significativa para a economia brasileira. Como exemplo, a receita bruta da estrutura produtiva da indústria de árvores plantadas em 2015 totalizou R\$ 69 bilhões, o que representa 6% do Produto Interno Bruto (PIB) Industrial (IBÁ, 2016 e IBGE, 2016). Assim, o uso racional da madeira, proveniente de um manejo mais sustentável, surge como uma alternativa para o desenvolvimento de tecnologias ambientalmente adequadas, socialmente benéficas e economicamente viáveis.

Segundo Berriel (2009, p. XXXI e 2011, p. 33-34), o repertório mundial em Arquitetura de Madeira é bastante rico; entretanto, no Brasil há pouca expressividade dessa arquitetura, algo que decorre principalmente da deficiente concepção projetual. Essa descrença é particularmente irônica e danosa, uma vez que temos um rico patrimônio florestal, com abundante diversidade de espécies, desde madeiras com

elevada massa específica e naturalmente resistentes ao ataque de xilófagos, que são adequadas para estruturas, até madeiras mais leves, adequadas para outros usos como vedações ou produtos derivados da madeira. Para a autora, não desenvolvemos ainda no país o conhecimento e a tecnologia nessa área e a madeira permaneceu à margem das pesquisas e do ensino superior na maior parte das escolas de arquitetura. Tanto nas disciplinas de projeto, quanto nas disciplinas de estruturas, os estudantes são ensinados predominantemente a projetar e construir estruturas de concreto armado ou aço e vedações de alvenaria. A pouca familiaridade com o material, ocasionada pela insuficiente tradição no seu ensino e uso, resulta frequentemente em projetos e obras de baixa qualidade tecnológica e construtiva, visto que os arquitetos brasileiros, em sua maioria, sentem-se inseguros ou têm dificuldades em projetar com a madeira. Consequentemente, são poucas as obras que fazem o bom uso do material, contribuindo para que o uso da madeira não se difunda e perpetue no Brasil. Assim, a autora acaba por constatar que um primeiro passo para que se conheça a arquitetura de madeira e se promova a sua valorização é o entendimento de que a madeira é um material de construção como qualquer outro e, portanto, tem qualidades e limitações que devem ser reconhecidas pelo arquiteto e usadas a favor da arquitetura.

Com a intenção de refletir e, posteriormente, estabelecer propostas de projeto que façam o uso mais proveitoso dessa matéria-prima, este trabalho tem como ponto de partida as diretrizes apresentadas por Christopher Alexander em sua obra, visto ela ser provocadora de reflexões sobre os processos de concepção, projeto de arquitetura e construção. Entende-se que o conceito linguagem de padrões, proposto por esse autor, pode servir como unidade de análise para temas que não tenham sido suficientemente explorados por ele; no caso, a madeira como material de construção.

Assim, o objetivo desta pesquisa é propor uma linguagem de padrões específica para a madeira, apresentando um conjunto de práticas projetuais de arquitetura para a valorização plástica, técnica e funcional do seu emprego sob o ponto de vista do pensamento arquitetônico mais sustentável, tendo como unidade de análise o conceito linguagem de padrões. Essa linguagem padronizada tem a intenção de ser um meio pragmático para pensar e utilizar a madeira. Parte-se da ideia de que para uma arquitetura qualificada é necessário despender maior tempo no ato de elaborar sistemas projetuais, seguido pelo ato de projetar e, por último, o próprio ato de construir.

Esta dissertação foi elaborada através de pesquisa bibliográfica fundamentada em artigos, livros, dissertações e teses de diferentes linhas de pesquisa e disciplinas

relacionadas à Arquitetura e materiais de construção, permitindo maior familiaridade com o problema, aprimoramento de ideias ou descoberta de intuições. Toda pesquisa bibliográfica varia em função de seus objetivos. Esses devem estar o mais claramente definidos para que as fases posteriores da pesquisa se processem de maneira satisfatória (GIL, 2002).

1.1 PROBLEMA DE PESQUISA

A flexibilidade de uso da madeira permite múltiplas possibilidades. A diversidade de padrões, cores e texturas desse material qualifica-o em um importante elemento de composição do espaço construído. Como os impactos gerados pela atividade da construção civil são significativos, a questão da sustentabilidade ganha ainda mais relevância. A forma pela qual os arquitetos tratam esta problemática, desde a concepção do projeto até a sua implementação, reflete-se diretamente na produção de um ambiente mais sustentável.

Embora o patrimônio florestal brasileiro seja rico, há pouca expressividade da arquitetura em madeira no nosso país. O entendimento dessa matéria-prima como material de construção está comumente associado a edificações de baixa qualidade, prejudicado, ainda, pela insuficiente pesquisa e ensino nas escolas de arquitetura, o que resulta em projetos e obras de baixa qualidade construtiva ocasionada pela própria falta de familiaridade com esse material. Embora na literatura técnica nacional se encontrem trabalhos que enfocam as propriedades físicas e mecânicas da madeira, ela é escassa naqueles que abordam metodologias e práticas de projeto, proposições de elementos, componentes e sistemas construtivos.

Isto posto, quais são os requisitos para se qualificar a prática projetual de arquitetura que faça uso da madeira, propiciando a valorização plástica, técnica e funcional do emprego desse material no ambiente construído, sob o ponto de vista do pensamento arquitetônico sustentável?

1.2 PRESSUPOSTO

Christopher Alexander em sua obra *Uma Linguagem de Padrões* propôs reflexões sobre a concepção e construção do pensamento projetual. Esses padrões são derivados das observações de atributos espaciais de lugares apreciados por seus usuários; cada um deles descreve um problema que ocorre repetidas vezes no meio

ambiente e então apresenta o ponto central da solução do problema, de modo que possa usar essa solução diversas vezes, mas sem, com isso, acarretar resultados formais semelhantes. Para Alexander, a Linguagem de Padrões é, antes de tudo, uma linguagem que estimula e otimiza a troca de ideias sobre as questões mais relevantes e as aparentemente mais banais ligadas ao ato de projetar; essa linguagem pretende reunir esses momentos de decisão em forma de problemas de projeto, especialmente aqueles anteriormente já registrados e avaliados através de evidências empíricas, mas que precisam ser discutidos para que, só então, o desenho possa ser elaborado.

Entende-se, portanto, que o conceito linguagem de padrões, proposto por esse autor, pode servir como unidade de análise para temas que não tenham sido suficientemente explorados por ele; no caso, a madeira como material de construção. A madeira é um importante exemplo de implantação de biotecnologias preventivas, ou seja, uma tecnologia que pode substituir materiais de alto impacto ambiental (MOREIRA, 1999). Um dos caminhos que a princípio pode ser idealizado é que conhecer e incentivar o uso de matérias-primas à base de fontes renováveis, uma delas a madeira de reflorestamento, aliando-se a aspectos tecnológicos e econômicos que flexibilizem seu uso dentro de uma abordagem padronizada, apresenta-se como mais um meio de minimizar os danos ao meio ambiente causados pelos processos de construção.

Assim, esta dissertação baseia-se no pressuposto de que se estabelecer uma linguagem de padrões para o uso de materiais de menor impacto ambiental, como é o caso da madeira, através de diretrizes e propostas projetuais que qualifiquem o ambiente construído, aliadas aos preceitos de uma arquitetura mais sustentável, configura-se em importante fonte de conhecimento para profissionais que buscam práticas de projeto e construção ambientalmente responsáveis.

1.3 OBJETIVO

Propor uma linguagem de padrões específica para a madeira, apresentando um conjunto de práticas projetuais de arquitetura para a valorização plástica, técnica e funcional do seu emprego sob o ponto de vista do pensamento arquitetônico sustentável, tendo como unidade de análise o conceito linguagem de padrões.

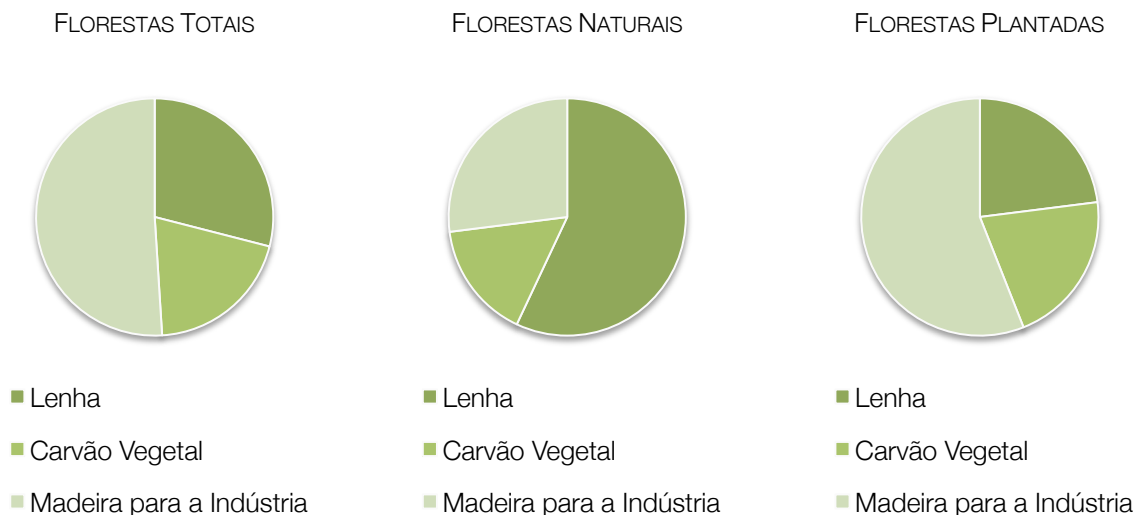
1.4 JUSTIFICATIVA

1.4.1 Ambiental

A madeira é um material tradicionalmente utilizado na história da moradia humana, sendo um material de construção mais sustentável e renovável (SATHRE *et al.*, 2009), que demanda baixo consumo energético para produção e sequestra carbono da atmosfera durante o crescimento da árvore (BERRIEL, 2009 e MOLINA e CALIL JUNIOR, 2010).

Entretanto, a maior parte do desmatamento no Brasil tem por finalidade o beneficiamento de produtos de baixo valor agregado. A madeira na construção civil é principalmente destinada nos canteiros de obras em nosso país ao uso como um material temporário e de baixo valor agregado, correspondendo a praticamente 80% do seu consumo total (IPT, 2009). Considerando-se outros segmentos da indústria, 73% do volume total de madeira nativa explorada é utilizada como lenha e carvão vegetal (SNIF, 2015).

GRÁFICO 1 - Destino da madeira em tora extraída em 2014, considerando o total de madeira e a madeira proveniente de florestas naturais ou plantadas, isoladamente



FONTE: SNIF, 2015.

Em essência, a cadeia produtiva da madeira representa um setor de base 100% renovável, cujo potencial de mitigação dos efeitos das mudanças climáticas é diretamente proporcional à capacidade de criação e aproveitamento de mecanismos de mercado de carbono e às políticas públicas integradas e coordenadas.

A Ibá, Indústria Brasileira de Árvores, que representa os segmentos de painéis de madeira, pisos laminados, celulose, papel, florestas energéticas e produtores

independentes de árvores plantadas e investidores financeiros, divulga relatórios anuais que ajudam a entender a importância desse setor. Conforme dados da entidade (IBÁ, 2016), há atualmente 7,8 milhões de hectares de árvores plantadas de eucalipto, pinus e demais espécies (acácia, araucária, paricá e teca). Para cada hectare plantado com árvores para fins industriais, outro 0,7 hectare foi destinado à conservação. Assim, há 5,6 milhões de hectares de áreas naturais protegidos em áreas de preservação permanente (APP), reserva legal (RL) e reservas particulares do patrimônio natural (RPPNs). A entidade declara que 70% dos plantios são certificados, o que garantiria maior sustentabilidade e as boas práticas do setor.

Essa entidade estima que os 7,8 milhões de hectares de área de plantio florestais no Brasil são responsáveis pelo estoque de aproximadamente 1,7 bilhão de toneladas de dióxido de carbono equivalente (CO₂eq) - medida métrica utilizada para comparar as emissões dos vários gases de efeito estufa, baseada no potencial de aquecimento global de cada um. Além das remoções e estoques de carbono das árvores plantadas, o setor gera e mantém reservas de carbono da ordem de 2,48 bilhões de toneladas de CO₂eq nos 5,6 milhões de hectares na forma de áreas naturais protegidas. Além disso, diferentemente de outros setores econômicos do Brasil, a indústria de árvores plantadas é responsável por gerar a maior parte da energia consumida nos seus processos produtivos. Em 2015, foram gerados 65,1 milhões de giga joules (GJ), o que corresponde a 67% dos 96,8 milhões de GJ consumidos pelo setor (IBÁ, 2016).

Com o intuito de explorar as qualidades da madeira como material de construção, valorizando o seu uso para fins mais nobres em estruturas aparentes, elementos de vedação, revestimentos e acabamentos, esta pesquisa busca formas de melhorar a qualidade e eficiência do processo de construção através da linguagem de padrões. Com isso, pretende-se estabelecer práticas para o uso de materiais de menor impacto ambiental, reduzindo o uso de recursos finitos e de ciclo de vida extensos, substituindo-os por materiais rapidamente renováveis, estimulando o gerenciamento ambiental responsável de florestas.

1.4.2 Socioeconômica

As atividades da cadeia produtiva da madeira têm importância significativa para a economia brasileira. Segundo indicadores econômicos divulgados pela Ibá e pelo IBGE (IBÁ, 2016 e IBGE, 2016), em 2015 a receita bruta totalizou R\$ 69 bilhões, o que representa 6% do Produto Interno Bruto (PIB) Industrial. As exportações somaram

cerca de US\$ 9,0 bilhões, o equivalente a 4,7% das exportações brasileiras. Os projetos de investimento das empresas, em andamento ou previstos, que visam ao aumento dos plantios, ampliação de fábricas e novas unidades, são da ordem de R\$ 39 bilhões de 2016 a 2020. É responsável também pela geração de R\$ 11,3 bilhões em tributos federais, estaduais e municipais, totalizando 0,9% da arrecadação nacional.

Em 2015, o setor empregou, diretamente, 540 mil pessoas. Estima-se que, no total, o número de postos de trabalho da atividade florestal – diretos, indiretos e resultantes do efeito renda –, tenha sido da ordem de 3,8 milhões. Assumindo-se o número de empregos gerados diretamente e o salário médio líquido dos trabalhadores, a renda gerada pelo setor foi de R\$ 10,0 bilhões. Desse total, R\$ 9,0 bilhões foram agregados ao consumo das famílias, enquanto o valor restante foi direcionado à poupança nacional (IBÁ, 2016 e IBGE, 2016).

Em relação aos benefícios sociais, os investimentos em programas sociais totalizaram R\$ 285 milhões, distribuídos em programas de saúde, cultura, qualidade de vida e educação. Segundo a entidade, essas iniciativas beneficiam cerca de dois milhões de pessoas, em aproximadamente mil municípios, consolidando o setor brasileiro de base florestal como indutor de desenvolvimento econômico e social do País. Ajuda, também, na fixação da população no meio rural e geração de renda para as comunidades do entorno das unidades de negócio das empresas do setor. Ainda, 18,7 mil pessoas foram beneficiadas com programas de fomento adotados pelas associadas à Ibá, realizando o plantio de árvores para consumo próprio e/ou fins industriais em 520 mil hectares de áreas de terceiros, representando um crescimento de 10% em relação ao ano anterior (IBÁ, 2016).

A tomada de consciência ambiental se refletiu em preocupações sobre os efeitos que os empreendimentos humanos trariam ao clima e ao uso dos recursos naturais disponíveis, além da procura por projetos economicamente viáveis e socialmente justos. Esses cuidados têm levado as empresas a considerar os méritos de novos conceitos, como o marketing ambiental ou verde, o *Lean Thinking* ou Mentalidade Enxuta¹, *Ecojustice* e responsabilidade social corporativa (WANG *et al.*, 2014).

Considerando-se a relevância do setor madeireiro dentro da economia brasileira, esta pesquisa procura novas formas de favorecer o desenvolvimento de construções mais sustentáveis e a melhoria da qualidade do meio ambiente. A construção mais sustentável pode ser definida como “um processo holístico buscando

¹ Filosofia e estratégia de negócios para aumentar a satisfação dos clientes através da melhor utilização dos recursos.

restaurar e manter a harmonia entre os ambientes natural e o construído e criar assentamentos que afirmam a dignidade humana e encorajam a igualdade econômica” (CIB e UNEP-IETC, 2002).

Na perspectiva da formação de uma visão de sustentabilidade para o contexto nacional, busca-se nesta pesquisa estabelecer critérios socioeconômicos com a padronização e utilização da madeira dentro do setor da construção civil, valendo-se de uma matéria-prima que é renovável e que pode ser extraída e produzida localmente, promovendo educação e conscientização ambiental, de forma responsável frente às gerações futuras.

1.4.3 Tecnológica

Conforme Molina e Calil Junior (2010), a madeira apresenta fácil trabalhabilidade, bom desempenho térmico, além de possuir elevada relação resistência / peso, o que a torna um material apropriado para a industrialização de elementos, facilitando o transporte das peças e posterior montagem na obra.

Sistemas construtivos que aliam resistência e rapidez, com diferencial competitivo tecnológico e, principalmente, comprometidos com o meio ambiente, vêm ganhando cada vez mais espaço no mercado da construção civil. A padronização da linguagem e criação de uma identidade construtiva para a madeira, proposta nesta pesquisa, tem por objetivo melhorar a qualidade do processo de construção e seus produtos, valendo-se inclusive de tecnologias de reciclagem, reúso de materiais oriundos de demolição de edificações e reprocessamento de componentes. Busca também inovar métodos de construção, incentivando o desenvolvimento e a difusão de tecnologias ambientalmente mais sustentáveis, estabelecendo práticas de aplicação que aumentem a durabilidade da madeira e que, conseqüentemente, diminuam os processos de manutenção.

Berriel (2009, p. 63) salienta que a madeira – de manejo sustentável ou de reflorestamento – é uma ótima alternativa para o desenvolvimento de tecnologias mais adequadas à produção de componentes construtivos, visando um modelo de produção que faça uso de um recurso que é renovável, sendo que contribuiria também na redução significativa do tempo de execução da obra. Além disso, a madeira, por ser mais leve, facilita o transporte e solicita menos às fundações. Entretanto, a autora reforça que a construção civil brasileira ainda tem muito que se desenvolver em relação à standardização de componentes para construções que possibilitem uma execução

mais rápida e mais econômica do ponto de vista financeiro e ambiental, reduzindo desperdícios de material, energia e tempo.

1.5 CONTEXTUALIZAÇÃO NO PROGRAMA

Quanto ao enfoque dado à madeira, no PPGECC há dissertações que se relacionam direta e indiretamente ao tema de pesquisa proposto.

A dissertação de Bárbara Alpendre Silva, cujo título é “Superfícies em madeira e qualidade do ar: um estudo sobre os produtos e tratamentos associados ao uso da madeira no ambiente construído e as práticas de especificação dos arquitetos paranaenses”, foi defendida em 2012. Nela, a autora esclarece que a madeira é uma alternativa coerente com as práticas do desenvolvimento sustentável, sendo uma opção consagrada para uso na arquitetura. No entanto, seu emprego está associado “ao uso de preservativos químicos e produtos para tratamento e acabamento de superfícies, os quais, quando utilizados em ambientes internos, representam uma ameaça à qualidade do ar e à salubridade” (SILVA, 2012).

A dissertação de Carla Rabelo Monich, cujo título é “Avaliação ambiental de uma habitação de interesse social pré-fabricada em madeira no sistema *wood frame* no estado do Paraná”, foi defendida também em 2012. Nela, a autora procura avaliar o uso da madeira enquanto opção ambientalmente adequada, realizando um estudo de caso a partir da coleta de dados em uma empresa que produz casas pré-fabricadas no sistema *Wood Frame* na Cidade Industrial de Curitiba. Seu objetivo de pesquisa foi o “dimensionamento da energia e do carbono embutidos nos materiais que compõem uma habitação de interesse social pré-fabricada em madeira e a análise da contribuição do processo de manufatura desta, em termos de energia embutida, no impacto ambiental desta habitação” (MONICH, 2012).

A dissertação de Caroline Bollmann Zaleski, cujo título é “Materiais e Conforto: Um estudo sobre a preferência por alguns materiais de acabamento e sua relação com o conforto percebido em interiores residenciais da classe média de Curitiba”, foi defendida em 2008. Nela, a autora explora entre seus objetivos a possibilidade do uso da madeira em ambientes como a cozinha e o banheiro, fazendo uma “análise da preferência por determinados acabamentos de superfícies, relacionada diretamente à percepção do conforto no ambiente (ZALESKI, 2008).

A dissertação de Silvana Correia Laynes - de Castro, cujo título é “O uso da madeira em construções habitacionais: a experiência do passado e a perspectiva de

sustentabilidade no exemplo da arquitetura chilena”, foi defendida em 2008. A autora “trata da utilização da madeira em habitações como uma opção adequada e disponível no setor da construção civil frente ao enfoque da sustentabilidade” (CASTRO, 2008).

Por fim, há de se considerar a importância da própria pesquisa em suscitar novas questões e proposições para o desenvolvimento de trabalhos futuros, cujo tema é relevante dentro do contexto ambiental, socioeconômico e tecnológico.

1.6 ESTRUTURAÇÃO

O primeiro capítulo refere-se à introdução do trabalho, no qual se procura apresentar sumariamente o tema, assim como os itens de problema de pesquisa, pressupostos e objetivos, tanto geral, como específicos, os quais são as diretrizes para o presente trabalho, além de suas justificativas e a estrutura geral da dissertação.

No segundo capítulo verifica-se o tema abordado nesta dissertação de mestrado, fundamentando-o através da revisão bibliográfica de literatura científica relevante já publicada na área, a qual está relacionada ao problema de pesquisa. Assim, contextualiza-se a importância da obra de Christopher Alexander e identificam-se, dentro da ampla sistematização proposta por esse autor, o conceito por trás da Linguagem de Padrões e características para o uso dos materiais de construção a partir das suas diretrizes. Apresenta-se também a madeira como material de construção civil, suas características e propriedades. Abordam-se conceitos de sustentabilidade, ACV, energia embutida, geração e sequestro de CO₂.

No terceiro capítulo apresenta-se a caracterização do método científico utilizado, descrevendo as estratégias e instrumentos de investigação escolhidos e indicando como será feita a coleta e análise dos dados, com o objetivo de responder o problema da pesquisa e alcançar o seu objetivo.

No quarto capítulo, por fim, é exposto o principal objetivo desta dissertação de mestrado apresentando uma linguagem de padrões para a madeira, a qual reúne propostas de projeto de arquitetura para o uso da madeira que propiciem a valorização plástica, técnica e funcional do seu emprego sob o ponto de vista do pensamento arquitetônico sustentável, tendo como unidade de análise o conceito linguagem de padrões. O formato proposto para determinar cada padrão é o mesmo que foi utilizado por Alexander em sua obra, seguindo a ordem: a) declaração resumindo a filosofia sobre o tópico, acompanhada por uma imagem ilustrativa; b) explanação com a argumentação de suporte ao padrão; c) prescrição em termos práticos.

No quinto capítulo é realizada a análise dos dados. Procedeu-se uma leitura detalhada e cuidadosa de todo o conteúdo exposto no capítulo anterior, a fim de destacar as principais características de cada padrão, o agrupamento de possíveis intenções projetuais e a busca de relações entre os padrões apresentados.

O sexto capítulo trata-se das considerações finais, assim como são dadas sugestões para trabalhos futuros.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo verifica-se o tema abordado nesta dissertação de mestrado, fundamentando-o através da revisão bibliográfica de literatura científica relevante já publicada na área, a qual está relacionada ao problema de pesquisa. Assim, contextualiza-se a importância da obra de Christopher Alexander e identificam-se, dentro da ampla sistematização proposta por esse autor, o conceito por trás da Linguagem de Padrões e características para o uso dos materiais de construção a partir das suas diretrizes. Apresenta-se também a madeira como material de construção civil, suas características e propriedades. Abordam-se conceitos de sustentabilidade, ACV, energia embutida, geração e sequestro de CO₂.

2.1 CHRISTOPHER ALEXANDER

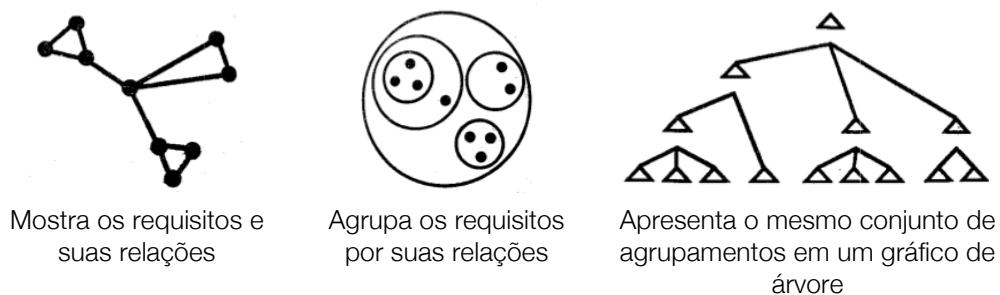
Christopher Alexander, nascido em 1936, é um arquiteto, matemático e urbanista austríaco, naturalizado americano. Ele se dedicou principalmente à pesquisa sobre o modo de projetar e construir, usando recursos sistêmicos, matemáticos, empíricos e participativos, com a intenção de encontrar um método unificado de projetar e construir e tornar esse ato uma tarefa mais científica.

De acordo com Queiroz (2004), o primeiro passo de Alexander foi marcado pela publicação, em 1964, da obra denominada *Notes on the Synthesis of Form* (Ensaio sobre a Síntese da Forma), onde desenvolveu uma descrição de como se dá o processo de projeto dentro de uma perspectiva sistêmica, no qual a forma deveria satisfazer os requisitos do contexto em que se insere qualquer edifício. Fazendo uso de um raciocínio abstrato influenciado por sua formação de matemático, basicamente o que Alexander conclui é que enumerar o conjunto das possíveis falhas futuras do projeto seria bem mais fácil do que todas as qualidades necessárias e desejadas, por ser um conjunto com um número bem menor de elementos, e por serem os defeitos mais evidentes aos olhos de qualquer um, inclusive dos leigos. No entanto, evitar problemas em potencial não garante que as qualidades mais importantes sejam alcançadas, automaticamente. Segundo o autor, isso pode ser alcançado com a ajuda de um processo denominado por ele de auto-inconsciente (que, em outras palavras, é a própria criatividade) que coexiste com a racionalidade ou ao processo autoconsciente.

Queiroz (2004) e Brandão (2008) esclarecem que esse não é, porém, o único recurso sugerido por Alexander para simplificar o complexo processo de projeto.

Alexander o compara com a solução de um grande problema, dividido em uma infinidade de subproblemas, e que pode ser devidamente dividido em dois conceitos: Contexto e Forma. O autor define Contexto como se fosse composto de dados, axiomas e constantes presentes no enunciado de um problema de matemática, ou seja, questões ambientais, legais, culturais, sociais etc, pertinentes ao projeto. Forma define como sendo a incógnita ou a parte variável e manipulável pelos arquitetos. Para resolver esse problema, o arquiteto criaria listas de requisitos e tabelas de interconexão entre eles. Em seguida, ele deveria representar esse modelo, o que poderia ser feito de vários modos (FIGURA 1).

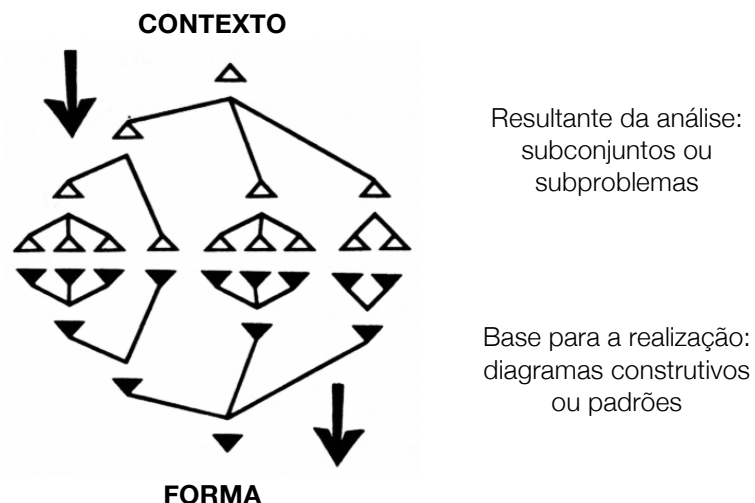
FIGURA 1 - Modos de representação de um mesmo esquema de requisitos



FONTE: ALEXANDER, 1964, p. 80-82.

Aos conjuntos e subconjuntos assim obtidos seria possível propor soluções espaciais. A resposta para o problema, isto é, a forma, percorreria o caminho inverso ao da identificação de requisitos e de suas relações internas: para cada grupo de requisitos, uma parte da solução seria elaborada. Uma vez juntas as partes, surgiria a forma (FIGURA 2). Os diagramas construtivos assim dispostos funcionariam como uma ponte entre o problema e a forma (BRANDÃO, 2008).

FIGURA 2 - Análise do contexto e síntese da forma

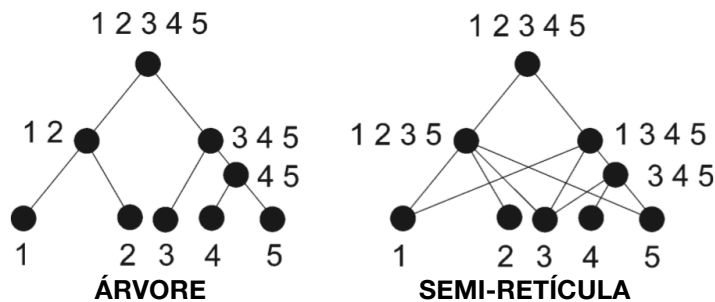


FONTE: Adaptado de ALEXANDER, 1964, p. 94.

No ano de 1965, um ano depois da publicação de seu Ensaio sobre a Síntese da Forma, escreveu o artigo *A City is not a Tree* (Uma Cidade não é uma Árvore), no qual desaconselha o uso do gráfico em árvore como recurso subjacente ao processo sistêmico. No texto demonstrou sua postura em relação à arquitetura moderna, ao formular severa crítica ao modelo de cidade funcional defendido por arquitetos modernos. Para ele, as cidades possuíam características naturais e espontâneas, essenciais à vida e às necessidades de seus habitantes; portanto, não deveriam ser concebidas com a simplicidade estrutural de uma árvore, nem tampouco distorcer a concepção real do que é uma cidade, com sua complexidade estrutural natural e sua realidade social (QUEIROZ, 2004 e BATTAUS, 2015).

Alexander percebeu que, entre os diversos níveis de sua árvore, operam inter-relações não verticais; então, propõe o gráfico em semi-retícula (FIGURA 3), também usado em estatística, mas com mais conexões internas, e que representaria um processo mais espontâneo para se pensar a cidade. Todavia, para ser fiel às complexas necessidades e às vontades de uma comunidade, não poderia faltar a participação dessas pessoas dentro do processo de projeto para que os itens que compõem os gráficos sejam os mais fiéis ao contexto dos usuários (ALEXANDER, 1971).

FIGURA 3 - Análise do contexto e síntese da forma

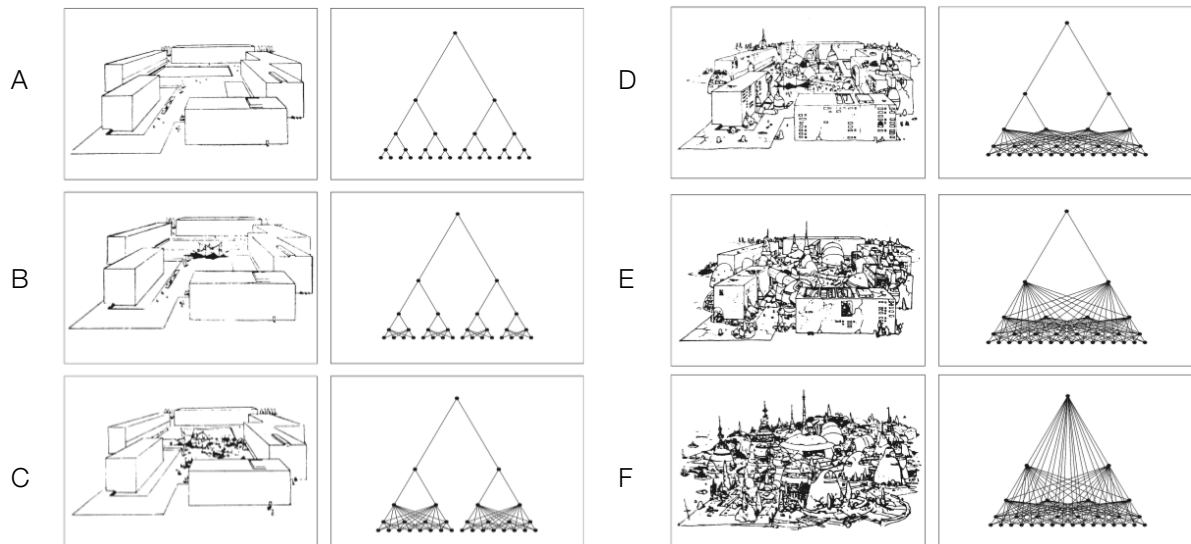


FONTE: QUEIROZ, 2004.

A título de exemplo, Queiroz (2004) demonstra um processo espontâneo de apropriação de um complexo de edifícios projetados no trecho de uma cidade fictícia (FIGURA 4). Primeiramente, a letra A representa a cidade projetada como uma árvore, no sentido dado por Alexander em Ensaio sobre a Síntese da Forma. Ao longo dos anos essa cidade transformou suas relações funcionais em algo muito mais representável por uma semi-retícula, aproximando-se do sentido dado em *Uma Cidade não é uma Árvore*, devido às suas espontâneas e particulares tomadas de decisão (letras B a F). Assim, se no processo de projeto o arquiteto usasse a semi-retícula

como base, no mínimo haveria um grau de proximidade maior entre a complexidade abarcada pelo processo e a complexidade do sistema de variáveis do Contexto.

FIGURA 4 - Exemplo de uma cidade fictícia projetada com diagrama em árvore e em semi-retícula



A - Diagrama em árvore: processo auto-consciente planejado;
 B, C, D, E e F - Diagrama em semi-retícula: processo auto-inconsciente.

FONTE: Adaptado de QUEIROZ, 2004.

Alexander logo constatou que os requisitos de um problema de projeto e suas inter-relações eram tão inumeráveis e imprevisíveis que nenhum sistema racional seria capaz de fazer surgir a forma a partir dos diagramas construtivos que ele propunha como ponte. Ao colocar em cheque o ideal cartesiano de subdivisão como meio de solução de problemas, suas pesquisas tomaram novos rumos. Abandonando o reino puro das matemáticas e da lógica, Alexander voltou a se interessar pelas diferentes culturas e modelos tradicionais de se construir. Mais que isso, os procedimentos dessas culturas se tornaram, para ele, exemplos a serem seguidos (BRANDÃO, 2008). Assim, inicia-se uma nova fase de pesquisas para o autor.

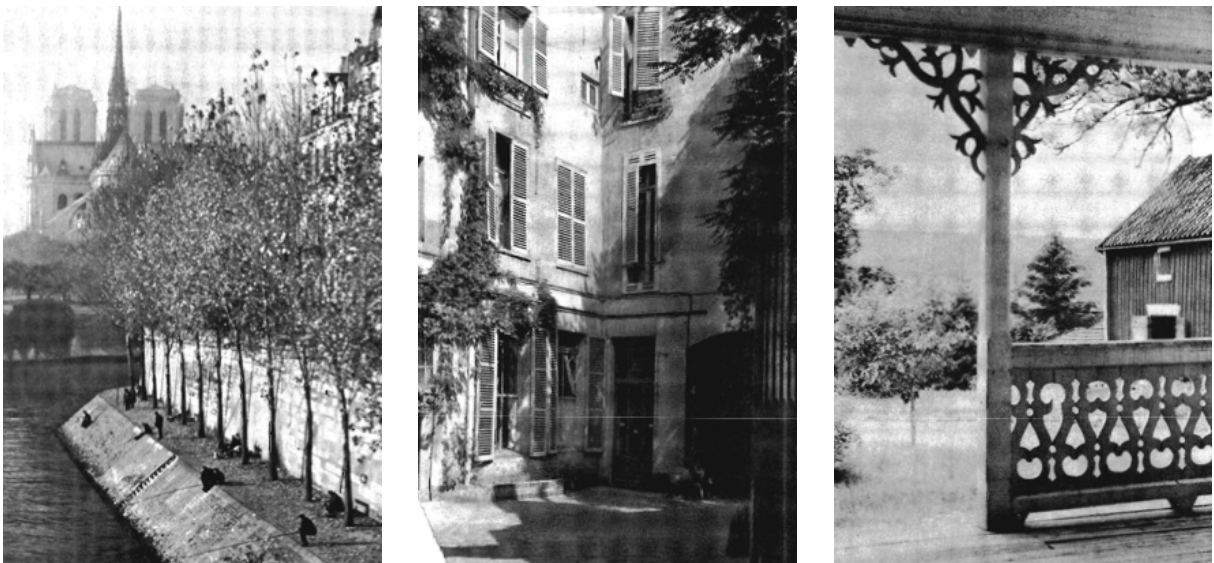
Christopher Alexander avalia que a participação dos usuários nos processos de projeto é a primeira condição para o bom êxito da atuação profissional do arquiteto. Mas essa participação, por sua vez, depende da existência, entre os participantes, de algum repertório associado às construções, às soluções arquitetônicas e à experiência dos usuários com outros projetos da mesma natureza, mesmo que fora da condição de projetista. Para esse fim, o autor propõe que eles sejam iniciados na prática de projeto, expressando satisfatoriamente a vivência que têm como usuários em seus diálogos com o arquiteto. Com o intuito de oferecer uma ferramenta de entendimento comum entre os participantes, Alexander propõe uma sintetização de conceitos

básicos da Arquitetura, sem induções estilísticas e pessoais, que ele denomina Linguagem de Padrões e que é abordada no livro *A Pattern Language: Towns - Buildings - Construction* (Uma Linguagem de Padrões), publicado em 1977. (QUEIROZ, 2004 e BATTAUS, 2015). Essa obra será abordada com mais destaque no próximo capítulo.

Embora tenha saído mais tarde, em 1979, o livro *The Timeless Way of Building* (O Modo Intemporal de Construir) é essencialmente a introdução para Uma Linguagem de Padrões, fornecendo o fundo filosófico, a teoria e as instruções para o uso da linguagem. Essas obras foram desenvolvidas em paralelo ao longo de oito anos e, conforme Alexander, são as duas metades de uma única obra.

Alterando o enfoque dado durante sua primeira fase de pesquisas, Alexander passa a adotar uma postura abertamente filosófica sobre o modo de projetar e construir, discutindo seus fundamentos, suas condições, sua estrutura básica, suas causas ou princípios. Ele declara que há um modo intemporal de construir, “tem milhares de anos e é hoje o mesmo de sempre” (ALEXANDER, 1981, p. 21).

FIGURA 5 - Edifícios vivos



“Observe esses edifícios (...) Estão vivos. Têm essa graça sonolenta e desajeitada que provêm da perfeita naturalidade”.

FONTE: ALEXANDER, 1981, p. 18-22.

Conforme Christopher Alexander, esse modo de construir deve ser aprendido, tanto pelos arquitetos, como pelos usuários, pois “não é possível fazer grandes cidades, nem grandes edifícios, nem lugares graciosos nos quais você se sente bem consigo mesmo, lugares em que você se sinta vivo, se não segue esse modo”

(ALEXANDER, 1981, p. 21). Como essa obra fundamenta o conceito Linguagem de Padrões, será tratada com mais destaque no capítulo específico sobre esse tema.

O último trabalho de fôlego do autor se intitula *The Nature of Order* (A Natureza da Ordem), composto por quatro livros lançados entre 2002 e 2005, e que dão sequência ao trabalho iniciado em *O Modo Intemporal de Construir*. Se na primeira fase Alexander empenhou-se em estabelecer um método, à medida que suas pesquisas avançaram ele passou a dar mais valor à atitude de quem cria ao invés da de quem tenta criar algo. Ele afirma que há uma ordem auto generativa, que faz com que as coisas se desenvolvam e se tornem vivas, responsável pela harmonia do espaço físico tal como esse é produzido pelas culturas primitivas. Sendo essa ordem auto generativa, não é necessário trabalho para alcançá-la; em outras palavras, não é necessário projeto. Seu discurso torna-se cada vez mais metafísico; tal postura trouxe prejuízos a sua credibilidade, já bastante abalada, no meio acadêmico, esse formalmente rigoroso (BRANDÃO, 2008).

Há em *The Nature of Order*, também, um viés abertamente religioso, buscando abordar tais questões através de um direcionamento científico e filosófico. Alexander descreve laços profundos entre a natureza da matéria, a percepção humana do universo, e as geometrias que as pessoas constroem em edifícios, cidades e artefatos. Ele sugere uma ligação crucial entre práticas e crenças tradicionais e avanços científicos recentes. Segundo o próprio autor, ao descrever seu trabalho posteriormente (ALEXANDER, 2016), a tarefa, conduzida por ele e seus colegas, para desenvolver uma base conceitual e experimental mais sólida, que pudesse fornecer maneiras práticas de julgar quais ambientes e quais tipos de ambientes eram realmente mais bem-sucedidos na sustentação ou promoção da saúde e bem-estar humano, trouxe sugestões da presença de Deus. Eles começaram a descobrir um novo tipo de complexo empírico em edifícios e obras de arte que está ligado ao eu humano, à espiritualidade, à saúde social e mental, a Deus, a formas de entender o papel que o amor desempenha no estabelecimento da totalidade, à função da arte, à consciência consciente do ser humano como parte de alguma entidade espiritual maior.

Tais alegações foram feitas em 2016, em artigo elaborado pelo autor para uma publicação religiosa, intitulado *Making the Garden*, no qual ele declara ter compreendido plenamente que existe uma conexão necessária entre Deus e a arquitetura, e que esta conexão é, em parte, empiricamente verificável. Nesse texto, ele também faz severas críticas as suas experiências enquanto aluno de arquitetura e durante seus anos como professor na Universidade da Califórnia, em Berkeley. Diz ter encontrado resistência considerável, tanto por parte de outros professores, como de

administradores da faculdade, mesmo enquanto o caráter religioso não estava articulado em seus trabalhos, pois, na visão do autor, o conteúdo espiritual e a mensagem subjacente à sua abordagem, embora sempre apresentadas sob uma forma aceitável ao senso comum, foram consideradas como um ataque às formas predominantes de pensamento e prática na arquitetura do século XX.

Levar a arquitetura a sério nos leva ao tratamento adequado de minúsculos detalhes, à compreensão do todo que se desdobra e a um entendimento - místico em parte - da entidade que sustenta essa totalidade. O caminho da arquitetura, assim, conduz inexoravelmente a uma renovada compreensão de Deus. Essa é uma compreensão verdadeira dentro do cânone de toda religião, não ligada a nenhuma religião em particular, algo que, portanto, move-nos além do secularismo e da luta que dilacerou o mundo por mais de mil anos (ALEXANDER, 2016).

De qualquer forma, uma coisa é comum a todas as fases percorridas por Christopher Alexander nessa trajetória de mais de cinquenta anos de pesquisas: ele sempre esteve querendo buscar ou conhecer o método mais correto de fazer arquitetura, acreditando a cada passo estar mais próximo de encontrá-lo.

2.2 LINGUAGEM DE PADRÕES

O livro *A Pattern Language : Towns - Buildings - Construction*, com coautoria de Sara Ishikawa e Murray Silverstein, entre outros colaboradores, foram o resultado das investigações conduzidas por Alexander e sua equipe no Center for Environmental Structure (CES), em Berkeley / Califórnia / EUA. Publicado pela primeira vez em 1977 pela editora Oxford University Press, foi traduzido para outros idiomas, dentre os quais, recentemente, o português (ALEXANDER *et al.*, 2013).

A obra é formada pela compilação de 253 parâmetros projetuais. Os padrões são agrupados em temáticas específicas, basicamente definidas por suas escalas, as quais ele classifica como partes da linguagem: cidade, arquitetura e construção. São ainda organizados e apresentados em uma ordem linear, indo das áreas maiores, como regiões e cidades, passando por bairros, conjuntos de edificações, edificações, ambientes e nichos, e finalizando com os detalhes construtivos. Cada padrão é apresentado, caracterizado e, em seguida, é dada uma lista de outros padrões aos quais ele se relaciona.

A ideia que a palavra padrão evoca em nossa língua é diferente daquela que Alexander desejava apresentar com os seus *patterns*. Diferentemente de algo que, pejorativamente, transmite a sensação de repetitividade e conservadorismo, de

natureza determinista, os *patterns* retratam, em vez disso, as inúmeras variáveis bem resolvidas que norteiam os projetos arquitetônicos, dentro de cada especificidade temática (QUEIROZ, 2004). Barros (2008), inclusive, opta pela tradução e interpretação de *patterns* como parâmetros projetuais, acreditando no caráter propositivo dos *patterns* de Alexander e que a nomenclatura parâmetro enfatizaria essa interpretação.

Os padrões são derivados das observações de atributos espaciais de lugares apreciados por seus usuários e que incorporam profundo conteúdo humanizador. Cada padrão descreve um problema que ocorre repetidas vezes no meio ambiente e então descreve o ponto central da solução do problema, de modo que possa usar essa solução diversas vezes, mas sem, com isso, acarretar resultados formais semelhantes. Alexander e sua equipe argumentam que projetos construídos que violam os padrões eram visivelmente menos bem-sucedidos do que aqueles que os seguiram.

Na obra, Alexander também rediscute elementos presentes em outros movimentos urbanísticos a respeito dos espaços de uso comum, hierarquização do sistema viário e priorização da circulação de pedestre, por exemplo: “área externa coletiva” parecida aos espaços comuns das Cidades Jardins; a “rua de pedestres” também identificada em projetos de cidades utópicas e, inclusive, nas produções modernas do início do século XX, cujas ideias foram amplamente criticadas por ele. É oportuno mencionar que muitos destes padrões inspiraram concepções urbanísticas posteriores, como os projetos de vizinhanças do *New Urbanism*, movimento que reconfigurou cidades norte-americanas na década de 1990. Por outro lado, não se observam presentes, nos projetos do *New Urbanism*, características primordiais da obra de Alexander, como a participação do usuário em todo o processo de produção do ambiente construído ou a busca por ferramentas eficazes de comunicação entre profissionais e leigos (BATTAUS, 2013 e BATTAUS, 2015).

Para Alexander, a Linguagem de Padrões é, antes de tudo, uma linguagem que estimula e otimiza a troca de ideias sobre as questões mais relevantes e as aparentemente mais banais ligadas ao ato de projetar. Tradicionalmente, o arquiteto, ao apresentar o resultado de sua primeira proposta do Partido Arquitetônico para os usuários, já tomou diversas soluções projetuais que esses dificilmente poderão confirmar se, diante de cada dúvida no processo de criação, eles teriam tomado as mesmas decisões conceituais. Assim, a Linguagem de Padrões pretende reunir esses momentos de decisão em forma de problemas de projeto, especialmente aqueles anteriormente já registrados e avaliados através de evidências empíricas, mas que precisam ser discutidos para que, só então, o desenho possa ser elaborado (QUEIROZ, 2004).

“A filosofia fundamental por trás do uso da linguagem de padrões é que as edificações devem ser adaptadas de maneira única às necessidades de seus usuários e lugares; e que o projeto das edificações deve ser um tanto informal e fluido, de modo a atender a estas sutilezas” (ALEXANDER *et al.*, 2013, p. 961).

Dessa forma a obra assumiu um papel fundamental nas discussões de fatores do projeto arquitetônico e da relação ambiente construído-comportamento humano. Os padrões, e as redes por eles estabelecidas, poderiam ser utilizados em infinitas combinações por aqueles que desejam construir espaços mais vivos. Essas redes teriam a mesma estrutura de semi-retícula proposta no artigo Uma Cidade não é uma Árvore, baseando-se na noção cartesiana da divisão de um problema em partes menores e possibilitando a manifestação da solução através do agrupamento dessas pequenas soluções. Apesar da obra ser bastante extensa, com mais de mil e cem páginas, o autor declarou não ter tido a pretensão de esgotar os padrões possíveis, dada a fonte inesgotável de padrões de acontecimentos da vida (BRANDÃO, 2008).

Ainda, mesmo sem tratar do assunto abertamente, para Kowaltowski e Barros (2013) o livro foi um verdadeiro precursor de alerta sobre a sustentabilidade, trazendo à tona as preocupações referentes ao impacto socioambiental da construção civil e do desenho das cidades. “Muitos *patterns* tratam, concomitantemente, do suporte à vida para além da pura contabilidade de recursos naturais, canalizando a necessidade humana inata por ambientes enriquecedores, vivos e saudáveis, numa visão holística.”

2.2.1 O Conceito Linguagem de Padrões

Para Christopher Alexander a participação dos usuários nos processos de projeto é a primeira condição para o bom êxito da atuação profissional do arquiteto. Segundo ele, essa participação está diretamente relacionada aos meios de interação dos usuários com os elementos componentes do projeto e construção, a partir de um repertório arquitetônico e conduzida em processos participativos. Como ferramenta de interlocução visando facilitar o entendimento, para que os usuários possam apreender as prerrogativas e componentes dos projetos elaborados pelos arquitetos, Alexander propõe uma sintetização de conceitos básicos da arquitetura, que ele denomina Linguagem de Padrões (QUEIROZ, 2004 e BATTAUS, 2015).

Em O Modo Intemporal de Construir (ALEXANDER, 1981), Alexander conceitualiza a Linguagem de Padrões, fornecendo o fundo filosófico, a teoria e as instruções para seu uso. Para ele, um edifício ou uma cidade só estão vivos na medida em que são governados por esse modo intemporal, descrito no título do livro. “Trata-

se de um processo que extrai ordem somente de nós mesmos; não pode ser alcançado: ocorrerá espontaneamente, se o permitimos” (ALEXANDER, 1981, p. 17).

Para acessá-lo, o autor declara que há a existência de uma certa qualidade sem nome, ainda que objetiva, permeando todas as coisas vivas. Ela estaria presente nos espaços que se ajustam bem aos padrões de acontecimentos que ali têm lugar, e esses padrões de acontecimentos, por sua vez, seriam os responsáveis pela geração de padrões de espaços vivos que deteriam essa qualidade sem nome.

Por sua vez, para alcançá-la, deve ser construída uma linguagem de padrões vivos, a qual funcionaria como um portal. Todos os atos de construção são regidos por linguagens de padrões de algum tipo, criadas pelas pessoas que as empregam; entretanto, para o autor, atualmente essas linguagens estão quebradas, uma vez que não são mais compartilhadas. Por isso, deve-se aprender a descobrir padrões que sejam profundos e capazes de gerar vida e uma vez que a forma de descobrir esses padrões individuais for compreendida, pode ser criada uma linguagem para qualquer tarefa de construção. A estrutura da linguagem é originada pela rede de relações entre os padrões individuais, e a linguagem vive ou não, como totalidade, na medida em que esses padrões formam um todo.

Uma vez construído o portal, pode-se atravessá-lo e passar à prática do modo intemporal. Como uma semente, a linguagem seria o sistema genético que dá aos milhares de pequenos atos criativos a capacidade de formar um todo. Dentro desse processo, cada ato individual de construção é também um processo em que o espaço se torna diferenciado, desenvolvendo-se passo a passo, um padrão por vez. Milhões de atos individuais de construção gerarão, reunidos, uma cidade viva, imprevisível, sem controle, que seria o lento surgimento da qualidade sem nome.

Alexander considera que as linguagens usuais de projeto, ao contrário da linguagem proposta, são fragmentadas e não fundamentadas em considerações naturais e humanas; ou seja, não permitem a liberação da qualidade no ambiente construído que faz com que as pessoas se sintam vivas. Como um centro arquetipo para outras possíveis linguagens, a sequência apresentada seria um mapa básico a partir do qual se pode configurar uma linguagem própria para cada projeto, escolhendo os padrões que lhe são mais úteis (BARROS, 2008).

É importante observar que a Linguagem de Padrões, como o próprio nome sugere, conceitualmente pode ser interpretada como regras de gramática. Battaus (2015) explica que para Alexander e sua equipe é necessário, em primeiro lugar, observar os componentes do meio ambiente tidos como coisas fundamentais, às quais

denomina padrões. Conjuntamente, considera importante que se compreendam os processos generativos desses padrões (as suas fontes) essencialmente como linguagens.

Conforme Juhasz (1981), um padrão é tanto a menor unidade significativa no ambiente construído, assim como unidades que são colocadas juntas em várias combinações, constituindo unidades significativas de ordem superior. Entretanto, ao contrário de palavras, a linguagem no ambiente construído não é óbvia. Isto acontece porque, em primeiro lugar, dentro dos padrões são incorporadas regras que especificam as combinações possíveis. Colocando-se isso de outra forma, um padrão é tanto a palavra, como o estado de sintaxe, ou seja, a relação lógica estabelecida pela disposição das palavras (nesse caso, dos padrões). Em segundo lugar, a capacidade dos povos para ler o ambiente construído tem-se deteriorado devido ao processo de mistificação da arquitetura. Assim, já que o reconhecimento de padrões não é um processo intuitivamente óbvio eles exigem definições e, como regras de gramática, precisam ser descobertos.

Hertzberger (1996, p. 92 e 151) também faz uma comparação entre forma e uso à relação entre língua e fala. A língua, como um instrumento coletivo, permite as pessoas moldarem seus pensamentos e comunicá-los uns aos outros, contanto que sigam convenções da gramática e da sintaxe. Como as palavras e as frases, as formas dependem do modo como são lidas e das imagens que são capazes de suscitar para o leitor. Uma forma pode evocar imagens diferentes em pessoas diferentes e em situações diferentes; desse modo, assumir um significado diferente. Essa consciência modificada da forma acaba por permitir que o ser humano faça coisas que possam se adaptar melhor a mais situações.

Para Queiroz (2004) a Linguagem de Padrões não é apenas uma invenção matemática de Alexander para organizar e simplificar as decisões de arquitetos e usuários de projetos. É, na verdade, a formatação sugerida por um processo natural que se dá no Mundo Real (em primeiro nível) e no Mundo da Representação ou Imagem Mental (em segundo nível) de todos os envolvidos, não apenas em projetos arquitetônicos, mas em qualquer tarefa que exija algum raciocínio.

Barros (2008) explica que os padrões de Alexander são apresentados como proposições do tipo se / então: descreve-se um problema recorrente no ambiente construído (se); apresentam-se as condições para uma solução (então). O uso dos padrões não necessariamente acarretaria resultados formais semelhantes e a relação entre eles não é linear, visto que ocorre uma riqueza de conexões em diferentes níveis.

Segundo Salingeros (2000), após identificado o problema, o formato proposto por Alexander e seus colegas para determinar um padrão consiste primeiramente em uma declaração resumindo a filosofia sobre um tópico específico. Os autores seguem a explanação com uma argumentação que suportaria tal padrão: dados estatísticos; análise científica; descobrindo a ocorrência simultânea desse padrão em culturas totalmente diferentes; fatores psicológicos, estruturais ou razões culturais, etc. O padrão termina com pequeno parágrafo escrito no modo verbal imperativo, com algum tipo de prescrição em termos práticos para ajudar a incorporar o padrão em um projeto real.

Por exemplo, para o padrão Estacionamentos Pequenos é dada a seguinte declaração: "Estacionamentos muito grandes criam áreas extremamente desumanas" (ALEXANDER *et al.*, 2013, p. 504).

Na argumentação, entre outras justificativas, é mencionado:

(...) a malha social é ameaçada pela mera existência de automóveis, se as áreas de estacionamento ocuparem mais do que 9 ou 10% do solo de uma comunidade (...) estacionamentos minúsculos são muito melhores para o meio ambiente do que os estacionamentos grandes, mesmo que a área total dos dois seja idêntica (...) estacionamentos grandes, por sua própria natureza, se apropriam da paisagem, criando lugares desagradáveis e acarretando resultados deprimentes nas áreas abertas que os circundam (...) adequados para os automóveis, têm características completamente inadequadas para os seres humanos (ALEXANDER *et al.*, 2013, p. 504-505).

Por fim, para a prescrição em termos práticos os autores concluem:

Portanto: Faça estacionamentos pequenos para, no máximo, cinco ou sete automóveis, cada um circundado por muros, cercas vivas, cercas de madeira, taludes ou árvores, de maneira que do lado de fora os veículos fiquem praticamente invisíveis. Distribua estes estacionamentos pequenos de modo que fiquem a pelo menos 30 metros de distância um do outro (ALEXANDER *et al.*, 2013, p. 506).

Para Salingeros (2000), muitas das críticas à linguagem de padrões de Alexandre são válidas em algum ponto, seja por refletir a filosofia e o estilo de vida consoante à década de 1960, por ser em alguns casos bastante radical e difícil de ser incorporada na arquitetura e planejamento urbano contemporâneos ou por ignorar quase tudo que é julgado arquitetonicamente importante no século XX. Mas em sua visão, ainda assim tais motivos podem ser considerados triviais frente à importante mensagem que a obra oferece, que é a de favorecer a conexão do espaço construído com os seres humanos.

2.2.2 Identificação de Padrões para o Uso dos Materiais de Construção a Partir das Diretrizes Apresentadas por Alexander

Tratando-se de padrões para a escolha e o uso dos materiais, não há na obra muitas diretrizes apresentadas. De modo especial, Alexander *et al.* (2013) indicam que o problema central é encontrar um conjunto de elementos que sejam de pequena escala, fáceis de cortar *in loco*, fáceis de trabalhar no canteiro de obras, fáceis de variar e adaptar. Devem também ser suficientemente pesados para serem fortes, duradouros ou fáceis de manter, mas ainda assim fáceis de usar em uma construção, evitando-se a imprescindibilidade de mão de obra especializada, de baixo custo de instalação, baratos e universalmente disponíveis. Além disso, essa classe de materiais apropriados deve ser ecologicamente correta: biodegradável, de baixo consumo de energia na produção e baseada em recursos renováveis.

Em sua obra, Alexander diferencia o emprego dos materiais em duas categorias, materiais básicos e secundários de construção. A primeira é definida pelo autor da seguinte forma:

Aqueles que ocorrem em maior volume em uma edificação. Eles podem corresponder a até 80% do volume total dos materiais utilizados em uma obra. Tradicionalmente, os materiais básicos de construção eram a terra, o concreto, a madeira, a pedra, a neve... Hoje os mais comuns são a madeira e o concreto e, nas edificações muito grandes, o aço (ALEXANDER *et al.*, 2013, p. 955).

Já em relação aos materiais secundários, Alexander os define como:

Além dos materiais básicos de construção, há os materiais utilizados em quantidades relativamente menores em estruturas, superfícies e acabamentos. Esses chamaremos de “materiais de construção secundários”. Quando as edificações são construídas com materiais de construção secundários adequados, elas podem ser reparadas com os mesmos materiais: a conservação se torna contínua à edificação original. Além disso, a conservação das edificações é mais benfeita se ela for fácil e se os próprios usuários puderem fazê-la, sem precisar contar com trabalhadores especializados ou equipamentos especiais (ALEXANDER *et al.*, 2013, p. 957).

Para Alexander *et al.* (2013), a madeira é um material valioso e apresenta ótimas características construtivas. “Sempre que ela está disponível, as pessoas a utilizam em grandes quantidades, e quando não está disponível, se esforçam para obtê-la. Infelizmente, as florestas têm sido extremamente mal gerenciadas; muitas já foram devastadas; e o preço da madeira maciça tornou-se exorbitante.” Assim, o autor orienta que esse recurso natural deve ser empregado com cuidado e de forma

critérioria, e que não deveria ser utilizado como material básico de construção ou para fins estruturais. O seu emprego mais apropriado seria como um material de construção secundário, a ser aplicado em portas, acabamentos, janelas e móveis. Como elemento de vedação ou em painéis e divisórias, tanto a madeira compensada, como a madeira aglomerada são excelentes opções, podendo ser cortados, pregados e serrados, sendo ainda relativamente baratos.

Ainda, identificam-se na obra de Alexander três questões fundamentais para as quais o autor dá bastante importância quanto ao uso dos materiais: facilidade de emprego; simplicidade de manuseio, adaptação e operações de manutenção, preferencialmente quando feitas pelos próprios usuários; e uso racional dos recursos naturais. Essas características serão avaliadas no capítulo 4, tratando-se especificamente da aplicação da madeira na construção civil.

2.3 USO DA MADEIRA NA CONSTRUÇÃO CIVIL

O uso da madeira na construção civil no Brasil é caracterizado por sua finalidade, sendo empregada em diversas etapas de uma edificação. Como uso temporário, sua aplicação pode ser verificada principalmente em formas para concreto armado, andaimes e escoramentos. De forma definitiva, é utilizada como elemento de vedação e para fins estruturais e em estruturas de coberturas. A madeira é também bastante empregada na fabricação de componentes da edificação, esquadrias, revestimento de paredes, forros e pisos, mobiliários, painéis e divisórias, entre outros.

Segundo Lahr (1983² *apud* MELLO, 2007), nas áreas ligadas ao emprego da madeira na construção civil, há vários níveis de beneficiamento fornecidos ao material. Ao lado de indústrias produzindo chapas, painéis e laminados de excelente qualidade, encontram-se setores que produzem ou utilizam componentes com pouco ou nenhum processamento, como a madeira serrada e a madeira roliça. Mello (2007) ainda acrescenta que as indústrias da madeira (serrarias), existentes em todas as regiões do país, caracterizam-se pelo uso desordenado e sem critérios técnicos sobre o material, em ambientes com condições insatisfatórias de trabalho, maquinários ultrapassados, falta de assistência técnica, desperdício de matéria-prima e origem não sustentável do recurso florestal.

² ROCCO LAHR, F.A. **Sobre a determinação de propriedades de elasticidade da madeira.** 1983. 216f. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP.

Como pode ser observado na (TABELA 1), a madeira na construção civil (no caso, a madeira serrada amazônica) é principalmente destinada nos canteiros de obras em nosso país ao uso como um material temporário. Vale ressaltar ainda que o seu emprego em estruturas de cobertura, ou seja, na forma de madeira serrada com baixo valor agregado, corresponde à maior parte da madeira consumida no Estado de São Paulo, que é o maior consumidor do material proveniente da Amazônia (MELLO, 2007).

TABELA 1 - Consumo de madeira serrada amazônica pela construção civil, no estado de São Paulo

Usos na Construção Civil	Consumo	
	1.000 m ³	%
Estrutura de Cobertura	891,7	50
Andaimes e fôrmas para concreto	594,4	33
Forros, pisos e esquadrias	233,5	13
Casas pré-fabricadas	63,7	4
Total	1.783,3	100

FONTE: IPT, 2009.

Observando-se também os dados encontrados na (TABELA 2), que representa os volumes de madeira industrial, por segmento de consumo e por fonte de suprimento (floresta nativa e plantada), fica ainda mais evidente que a maior parte do desmatamento no Brasil tem por finalidade o beneficiamento de produtos de baixo valor agregado. Basicamente, quase todo o volume de madeira nativa explorada é para carvão vegetal, lenha industrial e serrados.

TABELA 2 - Consumo de madeira industrial em toras no Brasil (1.000 m³)

Produto	Nativas	Plantadas	Total	% Nativa
Papel e Celulose	0	32.000	32.000	0,00
Carvão Vegetal	11.800	33.400	42.200	26,1
Lenha Industrial	16.000	13.000	29.000	55,2
Serrados	34.000	15.100	49.100	69,2
Lâminas e Compensados	2.050	3.950	6.010	34,1
Painéis Reconstituídos	0	5.000	5.000	0,00
Total	63.850	102.460	166.310	38,4

FONTE: IBAMA, 2002.

“Árvores que podem ter mais de 40 anos de idade estão sendo extraídas para fornecer tipos de produtos que seriam bem atendidos se feitos a partir de árvores que alcançam maturidade em 7 a 8 anos, que é o caso das espécies encontradas em florestas de reflorestamento” (CUNHA, 2011). O autor ainda enfatiza que grande parte dessa floresta nativa explorada no Brasil não utiliza processos de manejo ou

certificação, intensificando os impactos ambientais gerados. Portanto, resta ao emprego qualificado da madeira apenas uma pequena parcela do setor da construção, retratando a desvalorização do material para usos mais nobres.

No Brasil, a imagem da madeira como material de construção, principalmente na arquitetura residencial, está muito associada a uma condição provisória e de baixa durabilidade. A constatação de que uma grande parcela da população brasileira está abrigada em casas de madeira não significa que estas atendam aos requisitos de qualidade necessários. Provavelmente essas moradias não atendem às exigências dos usuários e contribuem para estigmatizar ainda mais a utilização da madeira na construção civil brasileira (MELLO, 2007).

No Paraná, o uso da madeira na arquitetura é histórico. No início do século passado, casas construídas com a madeira das araucárias se espalharam pela paisagem curitibana. No norte do Estado, a partir da década de 30, multiplicaram-se construções dessa natureza, erguidas, por sua vez, com perobas-rosa. Porém, a técnica para o seu emprego, com tábuas e mata-juntas, era bastante precária e não se desenvolveu satisfatoriamente, ficando a madeira no imaginário popular bastante associada à ideia de pobreza e desconforto. Esses inconvenientes fizeram com que ela fosse, em determinada época, suplantada pelo aço e pelo concreto armado e relegada à execução de estruturas provisórias.

Há bastante preconceito e desinformação quanto à durabilidade da madeira. Os reflexos dessa imagem negativa são extremamente prejudiciais, pois se perde espaço para a escolha da matéria-prima como um elemento de partido arquitetônico e, por consequência, a elaboração de projetos com alto grau de qualidade técnica, principalmente quando ela está competindo com o concreto e o aço, setores que investem significativamente em pesquisa.

2.3.1 Características da Madeira

A quantidade de espécies de madeira disponíveis para o uso na construção civil é expressiva. As espécies apresentam diferentes características, com escolhas que determinam a grã, cor, tamanho, custo e a própria disponibilidade da madeira, que varia significativamente entre diferentes regiões geográficas e em cada região do globo. O Brasil ainda possui a vantagem de que a sua matéria-prima é de qualidade, com boa resistência às intempéries e aos ataques de insetos e fungos, além de ser rica na diversidade de cores e texturas que as árvores podem proporcionar (GAUZIN-MÜLLER, 2005).

As plantas que produzem madeira são perenes e lenhosas, caracterizadas pela presença de caules de grandes dimensões, em geral denominados troncos, que crescem em diâmetro ano após ano. Uma árvore aumenta em diâmetro pela formação, entre a madeira velha e o interior da casca, de novas camadas de madeira que envolvem todo o caule, os ramos e as raízes. Em condições normais, particularmente quando existe uma estação de crescimento bem definida, uma nova camada forma-se em cada ano, razão pela qual em corte as camadas anuais aparecem como anéis concêntricos. A espessura desses anéis varia consideravelmente de uma espécie para outra. Uns crescem lentamente, formando anéis estreitos, enquanto outros crescem vigorosamente e podem formar anéis de mais de doze milímetros de grossura. A espessura dos anéis pode variar também em uma mesma árvore seguindo as variações anuais das condições de seu crescimento (EDITORIAL BLUME, 1986). Nas coníferas os anéis são bem visíveis, mas nas folhosas só se pode diferenciar albúrneo e cerne.

FIGURA 6 - Anéis de crescimento



FONTE: EDITORIAL BLUME, 1986.

A contagem dos anéis permite avaliar aproximadamente a idade de uma árvore. Se por qualquer motivo (seca, ataque de insetos, etc), for interrompido seu desenvolvimento normal, podem se formar na mesma estação dois ou mais anéis, os quais são chamados falsos anéis de crescimento (KLOSS, 1996, p. 156).

São usualmente classificadas como madeira dura ou madeira macia. Os termos árvore de madeira macia e árvore de madeira dura fazem referência à origem botânica da árvore e não a sua densidade ou a sua resistência física. A madeira macia se obtém de árvores pertencentes ao grupo das gimnospermas, plantas que possuem as sementes descobertas. A madeira dura é proveniente de árvores de folhas largas, tanto caducifólias, como perenifólias, que pertencem ao grupo das angiospermas (EDITORIAL BLUME, 1986). Tal classificação pode ser desvantajosa, visto que,

algumas vezes, madeiras classificadas como duras são mais moles ou macias do que a maior parte das madeiras macias, ou o contrário.

A flexibilidade de uso da madeira permite pluralidade de possibilidades. A diversidade de padrões, cores e texturas desse material qualifica-o em um importante elemento de composição no espaço construído. Essas incluem as particularidades do método construtivo, as espécies de madeira e os critérios estruturais.

2.3.2 Obtenção da Madeira de Construção

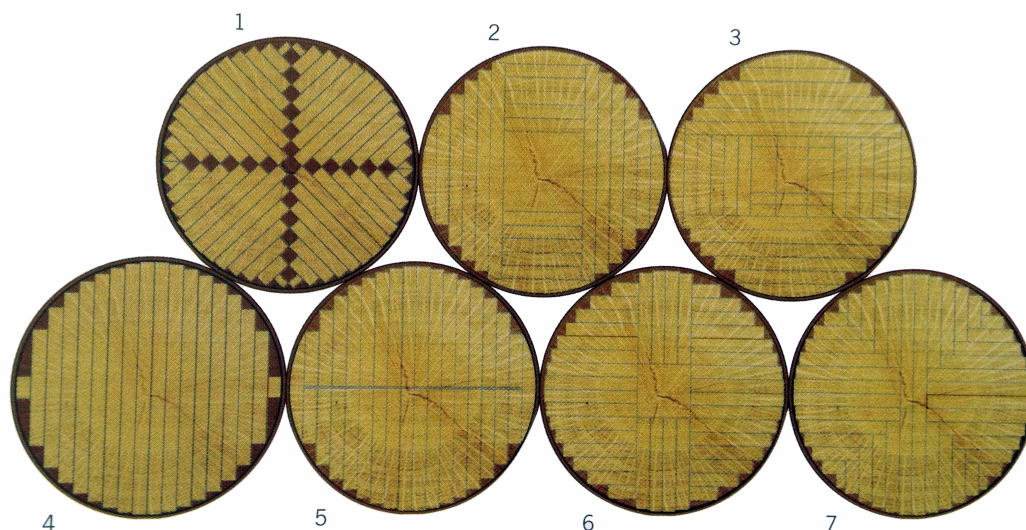
A madeira é produzida a partir do tecido formado pelas plantas lenhosas com funções de sustentação mecânica. A celulose constitui a estrutura de sustentação das paredes celulares. A lignina é o material aglomerante que liga as células umas às outras. Esses dois componentes são os responsáveis por todas as propriedades da madeira (BAUER, 2001).

O lenho é o núcleo de sustentação e resistência da árvore e constitui a seção útil do tronco para obtenção, por desdobro ou serragem, das peças utilizadas como material de construção. Subdivide-se em alborno e cerne, sendo que a proporção entre estes varia de espécie para espécie de árvore. O alborno é formado por células vivas; o cerne, por células mortas, possuindo melhor resistência mecânica, maior peso, compactidade, dureza e durabilidade (KLOSS, 1996, p. 155-156).

A produção da madeira inicia-se no corte da árvore, passando pela toragem, falquejamento, desdobro e beneficiamento. Deve ocorrer em épocas oportunas, sendo no Brasil aconselhável o processo ser efetuado nos meses de inverno. Esse fato é importante na secagem do tronco por ser a mesma mais lenta, provocando menos rachaduras ou fendas, além de atraírem poucos insetos por não possuírem muita seiva elaborada (KLOSS, p. 158).

Toragem é o processo de desganhamento e corte em tamanhos que facilitam o transporte. Falquejamento é o corte de segmentos laterais da árvore, denominados de costaneiras, ficando a seção aproximadamente quadrada, o que impede o tombamento no transporte e permite economia de espaço. Desdobro é a etapa para transformação em material de construção, feito de duas maneiras: desdobro normal, que produz peças inteiras de lado a lado do tronco e desdobro radial, que corta o tronco na direção do seu diâmetro. A última etapa da produção da madeira é o aparelhamento ou beneficiamento da peça. Aparelhamento é a padronização das medidas ao passo que o beneficiamento é a sua utilização com acabamento aparente (KLOSS, p. 159).

FIGURA 7 - Métodos de transformação da tora



FONTES: GIBBS, 2005.

1. Corte radial; 2. Corte de anel deitado; 3. Corte de anel em esquadria; 4. Corte longitudinal; 5. Barrote redondo; 6. Corte para pranchas e para madeira de construção; 7. Corte para maximizar as faces radiais

2.3.3 Propriedades da Madeira

Dada a diversidade das espécies que produz a madeira de construção, esse material apresenta grande variedade de propriedades físicas e mecânicas, a saber: massa específica, umidade, contração e inchamento, condutividade térmica, calor específico, transmissão térmica, coeficiente de expansão térmica, condutividade elétrica, constante dielétrica, fator de potência dielétrica, condutividade sonora, elasticidade e plasticidade (MORESCHI, 2012).

Existe no Brasil norma padronizada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas, ABNT, que regulamenta os testes a serem aplicados em amostras de madeira. A NBR 7190 determina que devem ser estudadas as propriedades físicas e mecânicas a partir dos corpos de prova, em laboratórios com máquinas especialmente destinadas a essa finalidade e que possibilitam aferir o grau de resistência a um determinado esforço (KLOSS, 1996, p. 167).

Os métodos de ensaio para determinação de propriedades das madeiras, descritos na NBR 7190, são os seguintes: umidade; densidade; estabilidade dimensional; compressão paralela às fibras; tração paralela às fibras; compressão normal às fibras; tração normal às fibras; cisalhamento; fendilhamento; flexão; dureza; resistência ao impacto na flexão; embutimento; cisalhamento na lâmina de cola; tração normal à lâmina de cola; resistência das emendas dentadas e biseladas (NBR 7190, 1997).

2.3.4 Propriedades Organolépticas da Madeira

As características da madeira que são capazes de estimular os sentidos dos seres humanos são conhecidas como propriedades organolépticas. São de importante conhecimento ao se tratar de do ato projetual arquitetônico, por estarem diretamente relacionadas ao valor decorativo e ornamental da madeira. Segundo Moreschi (2012), são elas: cor, odor, sabor, grã, textura, brilho e desenho.

A cor da madeira é originada por substâncias depositadas no interior das células que constituem o material lenhoso, bem como impregnadas nas suas paredes celulares. Ela varia com o teor de umidade e normalmente se torna mais escura quando exposta ao ar, pela oxidação das substâncias orgânicas contidas no material lenhoso. De forma geral, madeiras mais leves e macias são sempre mais claras que as mais pesadas e duras. A cor da madeira exerce bastante influência sobre seu valor decorativo; assim, com o propósito de aumentar o valor comercial de algumas espécies, pode-se causar a modificação artificial da cor por meio de tinturas, descolorações ou outros meios, como alterações na cor por tratamentos com água ou vapor d'água (MORESCHI, 2012).

O odor é uma característica importante na madeira e que tende a definir o seu uso. Pode ser agradável ou desagradável, valorizando ou limitando sua utilização. O odor típico que algumas espécies de madeira apresentam devem-se à presença de substâncias voláteis, concentradas principalmente na madeira de cerne. Ele tende a diminuir com o tempo em que a superfície da madeira fica exposta, mas pode ser realçado com a raspagem ou cortes em sua superfície ou umedecendo o material (MORESCHI, 2012).

O sabor da madeira está intimamente associado às substâncias que conferem odor. Essa determinação está em desuso pois, na prática, é muito variável e somente de forma excepcional contribui para a identificação e distinção entre espécies, além da possibilidade de gerar reações alérgicas ou intoxicação (MORESCHI, 2012).

A grã refere-se à orientação geral dos elementos verticais constituintes do lenho, decorrente das mais diversas influências em que a árvore é submetida durante o seu processo de crescimento. Quando os tecidos axiais são orientados paralelamente ao eixo principal do fuste da árvore ou de peças de madeira, a grã é direita ou reta. Quando os tecidos axiais apresentam variações na orientação em relação ao eixo principal do fuste da árvore ou de peças de madeira, a grã é chamada irregular, podendo ser grã espiral, entrecruzada, ondulada, inclinada, diagonal ou oblíqua (MORESCHI, 2012).

Textura refere-se ao efeito produzido na madeira pelas dimensões e porcentagens dos diversos elementos estruturais constituintes do lenho, no seu conjunto. Pode ser classificada em grossa ou grosseira, média ou fina. Geralmente as madeiras que apresentam textura grossa possuem poros grandes e visíveis a olho nu. As de textura fina apresentam elementos com dimensões muito pequenas, conferindo uma superfície homogênea e uniforme (MORESCHI, 2012). Nas árvores de crescimento rápido, a textura tende a ser grossa. Quando o crescimento é contínuo, a textura tende a ser fina e uniforme (EDITORIAL BLUME, 1986)

O brilho é causado pelo reflexo da luz incidente sobre a sua superfície. Porém, como a madeira é constituída de forma heterogênea, ocorre variação em brilho entre as três faces anatômicas. Sua importância é principalmente de ordem estética (MORESCHI, 2012).

O termo desenho é usado para descrever a aparência natural das faces da madeira, resultante de características macroscópicas e, principalmente, dos anéis de crescimento e raios da madeira. Desenhos especialmente atraentes têm sua origem em certas anormalidades da madeira, como grã irregular, fustes bifurcados, nós, crescimento excêntrico, disposições irregulares de substâncias corantes etc (MORESCHI, 2012).

2.3.5 Produtos de Madeira

Os produtos de madeiras maciças utilizados na construção variam entre peças com pouco ou nenhum processamento (madeira roliça), madeira serrada, beneficiada, lâminas e madeira tratada com produtos preservativos.

2.3.5.1 Madeira Roliça

A madeira roliça é o produto com menor grau de processamento da madeira, consistindo de um segmento do fuste da árvore obtido por cortes transversais ou mesmo sem esses cortes. Na maior parte dos casos, sequer a casca é retirada. Tais produtos são bastante empregados de forma temporária, como em escoramentos de lajes e construção de andaimes. Porém, podem ser utilizados permanentemente em projetos que buscam o apelo ao caráter natural. É frequente o seu uso em estruturas de telhado (IPT, 2009).

2.3.5.2 Madeira Serrada

A madeira serrada é produzida em unidades industriais (serrarias), por meio de cortes longitudinais e transversais com o emprego de serras ou outro equipamento

equivalente, transformando-a em peças de menor dimensão. As diversas operações pelas quais a tora passa são determinadas pelos produtos que serão fabricados. Na maioria das serrarias, as principais operações realizadas incluem o desdobro, o esquadrejamento, o destopo das peças e o pré-tratamento (IPT, 2009). Na tabela abaixo (TABELA 3), encontram-se as principais peças obtidas nas serrarias, bem como suas dimensões:

TABELA 3 - Dimensões das principais peças de madeira serrada

Produtos	Espessura (mm)	Largura (mm)
Pranchão	De 71 a 161	161 e acima
Prancha	De 39 a 70	161 e acima
Viga	De 40 a 80	De 81 a 160
Caibro	De 40 a 80	De 50 a 80
Tábua	De 10 a 37	100 e acima
Sarrafo	De 21 a 39	De 20 a 99
Ripa	De 10 a 20	De 20 a 50
Ripão	De 15 a 20	De 51 a 70
Pontalete	De 70 a 80	De 70 a 80

FONTE: NBR 14807, 2002.

2.3.5.3 Madeira Beneficiada

A madeira beneficiada é obtida submetendo as peças serradas a equipamentos com cabeças rotatórias providas de facas, fresas ou serras, que usinam a madeira dando a espessura, largura e comprimento definitivos, forma e acabamento superficial. Com isso, agregando valor às mesmas. Podem incluir as seguintes operações: aplainamento, molduramento e torneamento e ainda desengrosso, desempenho, destopamento, recorte, furação, respigado, ranhurado, entre outras (IPT, 2009). Na tabela abaixo (TABELA 4), encontram-se as dimensões das principais peças beneficiadas:

TABELA 4 - Dimensões das principais peças de madeira beneficiada

Peça	Dimensões de Secção Transversal (mm)
Assoalho	20 x 100
Forro	10 x 100
Batente	45 x 145
Rodapé	15 x 150 ou 15 x 100
Taco	20 x 21

FONTE: NBR 7203, 1982, *apud* IPT, 2009.

2.3.5.4 *Madeira em lâminas*

As lâminas de madeira são obtidas por um processo de fabricação que se inicia com o cozimento das toras de madeira e seu posterior corte em lâminas. Existem dois métodos para a produção de lâminas: o torneamento e o faqueamento. No primeiro, a tora já descascada e cozida é colocada em torno rotativo. As lâminas assim obtidas são destinadas à produção de compensados. Por outro lado, a lâmina faqueada é obtida a partir de uma tora inteira, da metade ou de um quarto da tora, presa pelas laterais, para que uma faca do mesmo comprimento seja aplicada sob pressão, produzindo fatias únicas. Normalmente, essas lâminas são originadas de madeiras decorativas de boa qualidade, com maior valor comercial, prestando-se para revestimento de divisórias, com fins decorativos (IPT, 2009).

2.3.5.5 *Madeira Tratada com Produtos Preservativos*

Segundo Revista da Madeira (2007), a preservação de madeiras é qualquer procedimento ou conjunto de medidas que possam proporcionar maior resistência aos agentes de deterioração, conferindo-lhe maior durabilidade. Tais agentes podem ser de natureza física, química e biológica (agentes xilófagos), os quais afetam suas propriedades. A madeira tratada com produtos preservativos busca prevenir o ataque por agentes xilófagos no local onde será instalada, proporcionando maior durabilidade. Esses produtos têm diferentes características e finalidades e são classificados pela sua natureza físico-química da seguinte forma: preservativos oleosos, óleos solúveis e hidrossolúveis. Diversos métodos são utilizados, com pressão atmosférica ou pressões artificiais. A combinação de produtos e processos confere à madeira padrões de qualidade diversos, adequando-a aos diferentes usos.

Deve-se considerar a busca de produtos preservativos e processos de tratamento de menor impacto ao meio ambiente e a higiene e segurança, a disponibilidade de produtos no mercado brasileiro, os aspectos estéticos (alteração de cor da madeira, por exemplo), aceitação de acabamento e a necessidade de monitoramento contínuo. De uma forma geral, a AWPA (Associação Americana de Preservadores de Madeira) relaciona as seguintes características de produtos preservativos que merecem atenção: deve ser tóxico aos organismos xilófagos; a sua qualidade como preservativo deve ter suporte com dados de campo e/ou obtidos de madeira em serviço; deve possuir propriedades químicas e físicas satisfatórias, que governem a sua permanência sob as condições para as quais ele é recomendado; deve ser isento de qualidades indesejadas para uso e manuseio; deve ser submetido a controles satisfatórios, de laboratórios e de usinas (IPT, 2009 e MORESCHI, 2013).

Só devem ser utilizados os produtos preservativos devidamente registrados e autorizados pelo Ministério do Meio Ambiente, através do Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) e na Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), que avalia os resultados dos testes para classificação da Periculosidade Ambiental. Assim como, para o tratamento industrial da madeira, deve-se exigir registro, no IBAMA, das usinas de preservação de madeira e outras indústrias que utilizam esses produtos (IPT, 2009).

2.3.6 Derivados da Madeira

Os derivados ou compósitos à base de madeira surgiram da necessidade de amenizar as variações dimensionais da madeira maciça, diminuir seu peso e custo e manter as propriedades isolantes, térmicas e acústicas. Adicionalmente, suprem uma necessidade reconhecida no uso da madeira serrada e ampliam a sua superfície útil, através da expansão de uma de suas dimensões - a largura - para, assim, otimizar a sua aplicação (IPT, 2009).

São produtos produzidos especialmente a partir da madeira e de um pequeno percentual de resina aglutinante e de outros aditivos específicos. São utilizados para um grande número de aplicações não estruturais e estruturais em linhas de produtos que variam a partir de painéis para uso interior e de mobiliário e até painéis para uso exterior em construções. A seleção de madeiras, adesivos e técnicas de fabricação, conjuntamente, contribuem para o desempenho do produto (STARK *et al.*, 2010).

2.3.6.1 Compensado

O painel compensado é um produto constituído primariamente de camadas de lâminas unidas através de adesivo ou cola, com direção da grã das lâminas perpendiculares umas às outras, geralmente em número ímpar de forma que uma compense a outra, fornecendo maior estabilidade e possibilitando que algumas propriedades físicas e mecânicas sejam superiores às da madeira original. É bastante utilizado na indústria de móveis e construção civil, seu preço varia conforme as espécies e a cola utilizadas, com a qualidade das faces e com o número de lâminas que o compõe. Há compensados tanto para uso interno, quanto externo. Os compensados podem ou não ser comercializados com aplicação de lâminas de madeira de uso mais nobre ou mesmo laminado plástico. Nesses casos há sempre a necessidade de revestimento das bordas (IPT, 2009 e STARK *et al.*, 2010).

FIGURA 8 - Painel compensado

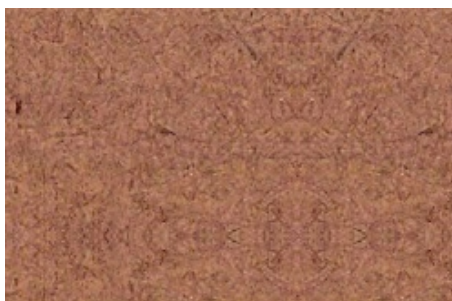


FONTE: MOVELARIA PARANISTA, 2016.

2.3.6.2 Chapas de fibra: chapa dura

As chapas duras ou *hardboards*, cujas marcas mais conhecidas são Duratex e Eucatex, são chapas obtidas pelo processamento da madeira de eucalipto, de cor natural marrom, apresentando a face superior lisa e a inferior corrugada. As fibras de eucalipto aglutinadas com a própria lignina da madeira são prensadas a quente, por um processo úmido que reativa esse aglutinante, não necessitando a adição de resinas, formando chapas rígidas de alta densidade de massa, com espessuras que variam de 2,5 mm a 3,0 mm (IPT, 2009).

FIGURA 9 - Chapa dura



FONTE: MOVELARIA PARANISTA, 2016.

2.3.6.3 Chapa de fibra: MDF - Chapa de densidade média

As chapas MDF (*Medium Density Fiberboard*) são produzidas com fibras de madeira aglutinadas com resina sintética termofixa, que se consolidam sob ação conjunta de temperatura e pressão, resultando numa chapa maciça de composição homogênea de alta qualidade. Apresentam superfície plana e lisa, adequada a diferentes acabamentos, como pintura, envernizamento, impressão, revestimento e outros. Esse tipo de painel pode ser serrado, torneado, lixado, furado, trabalhado em encaixes, malhetes e espigas, e recebe bem pregos, parafusos e colas. Pode ser usado tanto em móveis, como na construção civil. Devido ao uso relativamente especializado e nobre que se prevê para as chapas MDF, a matéria-prima preferida para sua fabricação é madeira de florestas plantadas, com características uniformes e,

preferencialmente de baixa densidade de massa e cor clara, sendo favorecido o pinus (IPT, 2009).

No mercado essas chapas são encontradas em três versões: natural; revestida com laminado melamínico de baixa pressão - BP - de acabamento liso ou texturizado em distintos padrões; e revestida com película celulósica do tipo *Finish Foil* - FF -, apresentando superfícies lisas ou texturizadas em vários padrões madeirados. Ainda dentro deste tipo de painel, já são produzidas e utilizadas as HDF - *high density fiberboards* - que são chapas produzidas pelo mesmo processo a seco, como as MDF, exceto que em um valor mais alto de densidade de massa (IPT, 2009).

FIGURA 10 - Chapas MDF



FONTE: MOVELARIA PARANISTA, 2016.

2.3.6.4 Chapas de partículas: aglomerado

O aglomerado é uma chapa de partículas de madeiras selecionadas provenientes de reflorestamento. Essas partículas, aglutinadas com resina sintética termofixa, consolidam-se sob a ação de alta temperatura e pressão. As chapas aglomeradas são encontradas no mercado na sua aparência natural, revestidas com película celulósica do tipo *Finish Foil* - FF - em padrões madeirados, unicolors ou fantasias ou, ainda, revestidas com laminado melamínico de baixa pressão - BP. São chapas estáveis, podendo ser cortadas em qualquer direção, o que permite o seu maior aproveitamento. O aglomerado deve ser revestido, sendo indicado na aplicação de lâminas de madeira natural e laminados plásticos. É amplamente utilizado pela indústria de móveis, construção civil, embalagens, entre outros. Por não apresentar resistência à umidade ou à água, o aglomerado deve ser utilizado em ambientes internos e secos, para que suas propriedades originais não se alterem (IPT, 2009).

FIGURA 11 - Aglomerado



FONTE: MOVELARIA PARANISTA, 2016.

2.3.6.5 Chapas de partículas: MDP - Chapa de partículas de média densidade

São painéis compostos de partículas de madeira ligadas entre si por resinas que, sob ação de pressão e temperatura, polimerizam, garantindo a coesão do conjunto. As partículas são classificadas e separadas por camadas, as mais finas sendo depositadas na superfície, enquanto que aquelas de maiores dimensões são depositadas nas camadas internas (IPT, 2009).

Os MDPs têm a densidade elevada das camadas superiores, o que assegura um melhor acabamento para pinturas, impressão e revestimentos. Apresentam maior resistência à flexão, comparando-se com aglomerados e MDF, ao empenamento e ao arrancamento de parafusos, maior estabilidade dimensional e menor absorção de umidade. São indicados para partes de móveis residenciais e de escritório que não necessitem de usinagens em baixo relevo, entalhes ou cantos arredondados (IPT, 2009).

FIGURA 12 - Chapa MDP



FONTE: MOVELARIA PARANISTA, 2016.

2.3.6.6 Chapas de partículas: OSB - Painéis de partículas orientadas

Os painéis OSB (*Oriented Strand Boards*) foram dimensionados para suprir uma característica demandada: a resistência mecânica exigida para fins estruturais. Eles são formados por camadas de partículas ou de feixes de fibras com resinas

fenólicas, que são orientados em uma mesma direção e então prensados para sua consolidação. Cada painel geralmente é manufaturado em três camadas, com as faces externas alinhadas entre si e perpendiculares ao miolo. A resistência desses painéis à flexão estática é alta, não tanto quanto a da madeira sólida original, mas tão alta quanto a dos compensados estruturais, aos quais substituem perfeitamente. O seu custo é mais baixo devido ao emprego de matéria-prima menos nobre; entretanto, não admitem incorporar resíduos finos (IPT, 2009, e STARK *et al.*, 2010).

Apresenta boa resistência à umidade, algo que, conjugado com a boa resistência mecânica, permite uma eficaz utilização em estruturas de cobertura. Além das propriedades estruturais, devido ao seu padrão natural em madeira, da facilidade de envernizamento e capacidade de adoção de outras texturas, esse produto é muito utilizado para revestimento de pavimentos e paredes (TORRES, 2010).

FIGURA 13 - Chapa OSB



FONTE: MOVELARIA PARANISTA, 2016.

2.3.6.7 *Glued Laminated Timber (Glulam) - Madeira Laminada Colada (MLC)*

A madeira laminada colada (MLC), *Glued Laminated Timber (Glulam)*, é um dos produtos engenheirados de madeira mais antigos, formada por duas ou mais camadas de madeira coladas, originando um conjunto sólido. É produzida a partir de peças de madeira com as grãs paralelas ao eixo longitudinal do membro ou viga (STARK *et al.*, 2010). Na MLC as tábuas são dispostas e coladas com as suas fibras na mesma direção, ampliando o comprimento ou a espessura. Vigas laminadas e coladas, fabricadas com madeiras de reflorestamento - pinus e eucalipto -, preservadas contra o ataque de insetos e fungos, além de protegidas contra o fogo e a umidade, são um produto já encontrado no setor da construção civil neste país (IPT, 2009).

A MLC é usada para fins estruturais na forma de madeira reconstituída em processo industrializado de fabricação, composta por lâminas de dimensões relativamente reduzidas se comparadas às da peça final, coladas umas às outras e dispostas com as fibras paralelas ao eixo longitudinal dessa peça. É fabricada para o uso em vigas e colunas (CALIL JUNIOR, 2013).

FIGURA 14 - *Glued Laminated Timber (Glulam)*

FONTE: HYBRID, 2016.

2.3.6.8 *Cross Laminated Timber (CLT) - Madeira Laminada Colada Cruzada (MLCC)*

A CLT são painéis estruturais constituídos de varias camadas de lâminas montadas de maneira cruzada, com um mínimo de três camadas colocadas perpendicularmente umas com as outras, coladas nas faces largas e, algumas vezes, nas faces estreitas. É fabricado em painéis de grandes dimensões, sendo muito utilizado em paredes, pisos e forros de casas de madeira pré-fabricadas. Sua tecnologia de fabricação permite melhor aproveitamento da matéria-prima, pois é possível usar todas as classes da madeira. Considerando que o sistema de painéis é estruturalmente mais redundante, pode-se utilizar a maioria das peças classificadas em quatro níveis denominados SE, S1, S2 e S3, pois os painéis são formados pelo menos com três camadas de lâminas, sendo a central transversal ao comprimento e as outras duas externas longitudinais (CALIL JUNIOR, 2013).

FIGURA 15 - *Cross Laminated Timber (CLT)*

FONTE: HYBRID, 2016.

A produção dos elementos em fábrica permite a redução dos insumos e o controle para reutilizações da madeira. Além disso, com essa pré-fabricação há uma diminuição do peso dos materiais, tornando a construção simples e rápida e diminuindo custos. No que diz respeito ao comportamento estrutural, a construção maciça, constituída por painéis de grande dimensão, possui um comportamento

monolítico semelhante às estruturas de concreto armado e alvenaria. Além disso, é também um sistema baseado na distribuição de paredes resistentes responsáveis pela distribuição das cargas através de superfícies lineares contínuas, o que resulta numa menor concentração de esforços nos seus componentes estruturais e num conjunto estrutural com maior resistência e rigidez. O ganho de peso associado a uma estrutura de madeira maciça é também um ponto a favor no que respeita à construção em altura, uma vez que este ganho de peso contribui para uma resistência mais eficiente aos efeitos de torção provocados pelas ações horizontais do vento (OLIVEIRA e PINTO, 2015).

O desenvolvimento da CLT se iniciou na Europa e está ganhando muita popularidade em aplicações residenciais. Existem atualmente muitos edifícios no mundo construídos com esse sistema. Nos Estados Unidos e Canadá, para o fortalecimento dessa tecnologia há, inclusive, a publicação de normas e manuais detalhando cálculos e montagem de painéis (CALIL JUNIOR, 2013).

2.3.6.9 Laminated Veneer Lumber (LVL) - Painel de Lâminas Paralelas

O LVL é um material composto de lâminas finas de madeira orientadas na mesma direção e aglutinadas com recurso a produto adesivo, utilizado com grande versatilidade em soluções, principalmente estruturais, onde grande resistência à flexão é requerida. É um derivado que permite a obtenção de elementos de grande secção transversal e comprimento, aliviando assim o abate de árvores com características muito específicas e que, em muitos casos, são impossíveis de obter por limitações naturais do processo de crescimento. Comparado com a madeira serrada, o LVL pode oferecer um espectro maior de dimensões, com espessuras médias variando de 21 mm a 150 mm, larguras de 100 mm a 1.800 mm e comprimentos de 2.500 mm a 25.000 mm. Apresenta também outras vantagens, como: maior uniformidade do material, maior resistência e execução de painéis sem fibras curvas, mais lineares, que se traduz numa maior estabilidade dimensional (TORRES, 2010, e PALMA e BALLARIN, 2011).

O LVL é fabricado principalmente a partir de madeiras de coníferas, com predominância de pinus. Hoje, com a diminuição, ao nível mundial, da oferta de madeira de grandes diâmetros vinda de florestas nativas, seja por razões ambientais ou esgotamento devido à exploração indiscriminada, as indústrias de laminados têm optado por espécies oriundas de reflorestamentos. Assim, na produção de LVL, uma grande variedade de espécies vindas de reflorestamentos e madeira jovem vinda de florestas nativas temperadas está sendo utilizada (PALMA e BALLARIN, 2011).

A fabricação desses painéis é muito semelhante à produção de placas de compensado, sendo diferente na distribuição das folhas ao longo do painel, no adesivo utilizado e, conseqüentemente, na sua utilização, mais direcionada para o uso estrutural. Existem basicamente dois métodos de produção de LVL: descontínuo (produzido em prensas convencionais de até 2,50 m de comprimento) e contínuo (prensagem feita em processo contínuo, podendo-se obter comprimentos superiores a 2,50 m). Os processos de produção de LVL utilizam procedimentos semelhantes àqueles da manufatura de compensado, as lâminas com espessuras entre 2,5 mm e 3,5 mm são obtidas em torno desfolhador; depois de secas, recebem a aplicação de adesivo e os LVL são montados na espessura desejada, pré-prensados a frio e, finalmente, consolidados em prensa quente. O processo de produção descontínua (convencional) possui a vantagem de poder facilmente ser implantado nas fábricas de compensados normais já instaladas, necessitando-se, para isso, de pequenas alterações em sua estrutura original (PALMA e BALLARIN, 2011).

FIGURA 16 - *Laminated Veneer Lumber (LVL)*



FONTE: GOULD DESIGN, 2016.

2.3.6.10 MEL (*Machine Evaluated Lumber*) ou MSR (*Machine Stress Rated*)

A madeira serrada qualificada eletromecanicamente vem a ser madeira serrada, geralmente de coníferas, ensaiada não-destrutivamente (em máquinas de alta velocidade) quanto à flexão estática, e identificada quanto à sua classe de resistência mecânica (IPT, 2009).

2.4 USO MAIS SUSTENTÁVEL DA MADEIRA NA INDÚSTRIA DE AEC

A primeira definição de desenvolvimento sustentável foi cunhada pelo *Brundtland Report* em 1987, classificando-o como aquele que atende às necessidades do presente, sem comprometer o atendimento às necessidades das gerações futuras

(BRUNDTLAND, 1987³, *apud* GONÇALVES e DUARTE, 2006). Apesar de não haver muitos questionamentos por parte de Alexander relacionados à sustentabilidade dos materiais em sua obra, até porque ela é anterior à definição desse conceito, o autor já recomendava o uso de materiais de construção biodegradáveis, de baixa energia embutida (ALEXANDER *et al.*, 2013).

A sustentabilidade de um projeto arquitetônico começa na leitura e no entendimento do contexto no qual o edifício se insere, assim como nas decisões de partido tomadas inicialmente. Nesse sentido, a questão dos materiais é muito presente nas discussões sobre a arquitetura mais sustentável. Certamente, o desafio está em se optar pelo melhor material para um determinado fim. Essa escolha deve levar em conta questões de disponibilidade do material e sua energia incorporada, quais são partes integrantes do conceito de ciclo de vida útil do material ou do componente (GONÇALVES e DUARTE, 2006).

Tavares (2006) comenta que o consumo dos recursos naturais e a geração de resíduos ocorrem em toda cadeia produtiva dos materiais utilizados na construção civil, desde a extração e beneficiamento das matérias primas até a demolição de uma determinada edificação.

A tomada de consciência ecológica e a procura por um ambiente construído confortável e saudável são fatores que estimulam a aplicação da madeira na construção civil. No caso do Brasil, a matéria-prima tropical apresenta diversidade de espécies, densidade e resistência a intempéries e aos ataques biológicos. Pela sua disponibilidade e características, ela foi um dos primeiros materiais a ser utilizado pela humanidade, mantendo, apesar do aparecimento dos materiais industrializados, uma grande variedade de usos diretos e servindo de matéria-prima para outros produtos (SEIDEL, 2008).

Infelizmente, em nosso país, a utilização desse material ainda se dá de forma insatisfatória. Boa parte da madeira é oriunda de áreas nas quais a extração é realizada de forma ilegal e a aplicação na construção civil é muitas vezes feita de forma artesanal, sem que sejam tomadas medidas que assegurem a qualidade e durabilidade do material (GAUZIN-MÜLLER, 2005). Ainda, conforme Bentancor (2005), além do fato da produção nacional ser em significativa parte obtida ilegalmente, uma parcela considerável da madeira certificada acaba indo para o mercado externo, principalmente o europeu.

³ BRUNDTLAND, G. H. **Our common future:** The World Commission on Environment and Development. Oxford: Oxford University, 1987.

Observa-se que essa relativa facilidade de obtenção de madeiras a um baixo custo financeiro ocasionou o atraso tecnológico na sua indústria de processamento mecânico. Felizmente, ela ainda é abundante o suficiente para enfrentar o desperdício que sofre: “de quatro árvores abatidas, menos de uma chega ao consumidor sob forma de produtos valorizados” (BAUER, 2001). Ainda, as atuais pressões ecológicas e uma legislação mais rigorosa ajudam na busca de alternativas que direcionam à exploração ambientalmente correta da matéria-prima, proveniente de um manejo sustentável (MORIKAWA, 2006).

Um ponto importante e que deve ser avaliado é que a madeira requer a ocupação de grandes extensões de terra e o replantio de árvores de forma mal planejada acarreta ainda a supressão da biodiversidade original da região, além do uso de fertilizantes e consumo de energia em equipamentos para preparo do solo e derrubada das árvores (TAVARES, 2006).

2.4.1 Selos de Certificação

Buscando uma forma de controle das práticas produtivas florestais, por meio da valorização, no mercado, dos produtos originados de manejo responsável das florestas, foram criados selos de certificação por organizações que identificam, através de suas logomarcas, produtos oriundos do bom manejo florestal. Essas organizações buscam estabelecer princípios e critérios que tratem das questões ambientais, sociais e econômicas envolvidas nas áreas onde ocorrem as atividades florestais, pretendendo garantir o bom uso dos recursos naturais, além de saúde, segurança no trabalho e bem-estar para as comunidades do entorno.

A certificação é um processo voluntário ao qual se submetem algumas empresas com o objetivo de atestar que seus produtos e sua produção seguem determinados padrões de qualidade e sustentabilidade. A Certificação Florestal baseia-se nos três pilares da sustentabilidade: ecologicamente correto, socialmente justo e economicamente viável. São passíveis de certificação o manejo florestal e a cadeia de custódia, que são os estágios da produção, distribuição e venda de um produto de origem florestal; nesse caso a madeira é rastreada de uma floresta certificada até o produto final.

Os sistemas de certificação florestal de maior reconhecimento são o *Forest Stewardship Council* (FSC) e o Programa Nacional de Certificação Florestal (Cerflor), endossado pelo sistema internacional *Programme for the Endorsement of Forest Certification Systems* (PEFC). Do total de hectares de árvores plantadas no Brasil, 63%

são certificados por essas entidades (IBÁ, 2016). No quadro abaixo (QUADRO 1), encontra-se a descrição desses rótulos que possuem relevante aplicabilidade no território nacional, acrescentando-se também o Imaflora, e, na sequência, relatam-se as principais características de cada um deles.

QUADRO 1 - Rótulos ambientais

Nome	Símbolo	Descrição
Forest Stewardship Council (FSC)		Certificação de explorações florestais para a comercialização de madeira de uma forma sustentável
Cerflor (Programa Brasileiro de Certificação Florestal)		Programa de certificação desenvolvido dentro da estrutura do Inmetro, seguindo critérios e indicadores nacionais
Imaflora		Certificação socioambiental, com estratégia de atuação distribuída em quatro áreas: certificação, desenvolvimento local, políticas públicas e cadeias produtivas

FONTE: O Autor, 2015.

Ressalta-se que há diferenças entre madeira certificada e madeira legal. O lenho legalizado é aquele extraído dentro das exigências legais do país, podendo ser comercializado mediante uma licença ambiental ou atendimento à legislação de exploração. Por sua vez, além de seguir as leis aplicáveis, a madeira certificada considera outros aspectos ambientais, sociais e econômicos na atividade realizada na floresta. Portanto, toda madeira certificada é legal e nem todo lenho legalizado possui um selo de certificação.

2.4.1.1 FSC (Forest Stewardship Council)

O FSC (Forest Stewardship Council) foi criado oficialmente em 1993, como resposta às preocupações sobre o desmatamento global e o destino das florestas mundiais. Reconhecido internacionalmente, o FSC é um sistema de certificação que identifica, através de sua logomarca, produtos oriundos do bom manejo florestal. No Brasil, essa iniciativa se formalizou em 2001 com o Conselho Brasileiro de Manejo Florestal – FSC Brasil. Sua missão, conforme descrita pela própria organização, é “difundir e facilitar o bom manejo das florestas brasileiras conforme Princípios e Critérios que conciliam as salvaguardas ecológicas com os benefícios sociais e a viabilidade econômica” (FSC, 2015).

Conforme dados divulgados pela organização, há no Brasil 6,411 milhões de hectares certificados na modalidade de manejo florestal, envolvendo 103 operações de manejo entre áreas de florestas nativas e plantadas. O país conta com aproximadamente 1518 companhias certificadas pelo FSC, com uma taxa de crescimento de um novo empreendimento certificado a cada dia, assim como uma crescente demanda do mercado consumidor, atualmente predominante na região sudeste (FSC, 2015).

A atuação do FSC Brasil para fomentar o uso da madeira certificada nos segmentos da construção civil e moveleira apontou para a necessidade de elaborar um catálogo voltado para esse setor, no intuito de promover o encontro entre compradores e vendedores e fortalecer as cadeias produtivas.

Em maio de 2014, a primeira versão desse catálogo foi lançada, apresentando organizações que responderam a pesquisa desenvolvida pelo conselho e que divulgaram dados sobre a “oferta de madeira serrada em bruto, madeira beneficiada, pisos, degraus de escada e revestimentos de parede, portas, esquadrias, guarnições e caixilhos, painéis e chapas, móveis e objetos em madeira.” (FSC, 2015). Entretanto, segundo observações do próprio conselho, o recorte do catálogo foi empregado em modo piloto, trazendo informações apenas dos fornecedores que responderam a pesquisa, sugerindo uma consulta complementar na base de dados no seu site onde é possível encontrar todos os fornecedores certificados no Brasil.

2.4.1.2 Cerflor (Programa Brasileiro de Certificação Florestal)

Assim como o FSC Brasil, o Cerflor (Programa Brasileiro de Certificação Florestal) também atua nessa área, tendo sido desenvolvido dentro da estrutura do Sistema Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (Sinmetro), tendo como órgão normativo o Conselho Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial, (Conmetro), seguindo critérios e indicadores nacionais prescritos nas normas elaboradas pela ABNT e integradas ao Sistema Brasileiro de Avaliação da Conformidade (INMETRO, 2015).

O Cerflor tem como desafio principal sensibilizar empresários do setor florestal da importância da certificação. Além disso, busca fomentar e criar mecanismos para que pequenos e médios produtores florestais possam se certificar e disseminar a certificação de cadeia de custódia.

Até a última atualização, em setembro de 2015, havia, no Brasil, 68 processos de certificação de cadeia de custódia para produtos de origem florestal e 24 processos

de certificação de manejo florestal pelo Cerflor, que totalizam 2.468.112,32 hectares de florestas plantadas (CERFLOR, 2015).

2.4.1.3 *Imaflora (Instituto de Manejo de Certificação Florestal e Agrícola)*

O Imaflora (Instituto de Manejo de Certificação Florestal e Agrícola) trabalha com a certificação socioambiental. A associação tem sua estratégia de atuação distribuída em quatro áreas, que são complementares e necessárias para alcançar aos seus objetivos estratégicos: certificação, desenvolvimento local, políticas públicas e cadeias produtivas (IMAFLOA, 2015). Busca estabelecer princípios e critérios que tratem das questões ambientais, sociais e econômicas envolvidas nas áreas onde ocorrem as atividades florestais, pretendendo garantir o bom uso dos recursos naturais, além de saúde, segurança no trabalho e bem-estar para as comunidades do entorno.

2.4.2 Sequestro de Dióxido de Carbono da Atmosfera

O dióxido de carbono (gás carbônico ou CO₂) é o principal responsável pelo aquecimento global, sendo também o gás de maior emissão pelos humanos. O plantio de árvores mostra-se como uma eficiente solução para o sequestro de carbono da atmosfera. Para seu crescimento, as árvores absorvem CO₂ do meio ambiente e fixam carbono para formação de matéria orgânica. Ainda, as árvores são um agente de estocagem de carbono e esse estoque pode ser prolongado utilizando a madeira como matéria prima para construção (BERRIEL, 2009, p. 228).

Buchanan (1993) apresentou um trabalho no qual a seleção da madeira como um material de construção foi considerada em termos de consumo de energia e emissões de dióxido de carbono para a atmosfera. Foram feitos estudos de caso na Nova Zelândia para algumas tipologias de construções, comparando alternativas em madeira, aço e concreto. Suas conclusões indicaram que a fabricação de produtos de madeira requer menos energia e resulta em emissões mais baixas de CO₂ do que outros materiais devido à baixa quantidade utilizada de energia de combustível fóssil. Uma mudança em direção a uma maior utilização de madeira na construção civil resultaria em uma pequena, mas significativa, redução nas emissões de CO₂. Assim, seu estudo mostrou que a madeira é um recurso renovável ambientalmente correto em comparação com os outros materiais; entretanto, somente se o seu uso for acompanhado de um manejo florestal sustentado das florestas existentes.

Atualizando o estudo anterior, Buchanan e Levine (1999) investigaram o impacto global da madeira como material de construção tendo em vista novamente as

emissões de dióxido de carbono para a atmosfera. Primeiramente, esclareceram que a taxa global de colheita florestal e desmatamento é maior do que a taxa de nascimento e replantio global das florestas; portanto, há um fluxo líquido de carbono para a atmosfera oriundo do setor florestal. Além disso, grandes volumes de combustíveis fósseis estão sendo queimados para transporte, produção de eletricidade, uso doméstico e uso industrial. Esse consumo de combustíveis fósseis está drenando reservatórios de carbono a longo prazo e cria um fluxo massivo de carbono para a atmosfera que não pode realisticamente ser corrigido em uma escala de tempo humana.

As florestas do mundo contêm um enorme reservatório de carbono. A madeira e produtos feitos com essa matéria-prima contêm carbono armazenado que está fixado no material até a liberação eventual através de mecanismos como a queima, deterioração bacteriana ou fúngica, ou consumo por insetos. O carbono liberado para a atmosfera pode ser equilibrado através de replantio e regeneração. De modo a quantificar o efeito da armazenagem de carbono em produtos de madeira é necessário estimar a vida dos produtos. As emissões de carbono podem ocorrer dentro de alguns dias da colheita ou depois de muitos anos de utilização em produtos de madeira, papel ou papelão em decomposição (BUCHANAN e LEVINE, 1999).

A maior parte das emissões de carbono relacionados com materiais de construção são resultantes da queima de combustíveis fósseis para fornecer energia ao processo de fabricação, além de serem necessários para o transporte de materiais. A fabricação de alguns materiais libera o dióxido de carbono diretamente para a atmosfera devido à alteração química. Nessa categoria, o material mais significativo é o cimento. À época do estudo, os níveis de liberação de produção de cimento eram de aproximadamente 200 milhões de toneladas de carbono na atmosfera. No caso da madeira, a maior parte das emissões são provenientes da indústria da celulose e do papel, ao passo que a maior parte do armazenamento é em produtos de madeira sólida (BUCHANAN e LEVINE, 1999).

Como conclusão de seu trabalho, primeiramente Buchanan e Levine (1999) ponderaram que as emissões de carbono a partir da fabricação dos materiais de construção são muito mais expressivas do que o carbono armazenado nos materiais. Dada a vida finita de todos os produtos de madeira, o armazenamento total de carbono permanece quase constante ao longo do tempo, ao passo que as emissões cumulativas de carbono na fabricação desses produtos continuam a aumentar. Por fim, os autores apontaram que a mudança na diversidade de materiais de construção, com ênfase crescente na utilização da madeira, poderia trazer implicações significativas ao

mercado da construção civil. Em relação à Nova Zelândia, local de realização do estudo, um aumento de 17% na utilização da madeira como material de construção poderia resultar em uma diminuição de 20% na energia de combustíveis fósseis e uma diminuição de 20% nas emissões de carbono na atmosfera para fabricação de todos os materiais de construção, representando cerca de 1,5% dos totais daquele país. Assim, considerando-se as emissões de carbono, a madeira pode ser vista como um material de construção muito melhor do que outros materiais com alto consumo de energia, por exemplo, tijolos, alumínio, aço e concreto. Entretanto, um aumento no uso dessa matéria-prima só poderia ser justificado se houvesse um incremento correspondente na área de floresta disponível para uma gestão mais sustentável em longo prazo.

Upton *et al.* (2008) estimaram a diminuição de emissões de gases de efeito estufa e do consumo de energia associados ao uso de materiais de construção à base de madeira na construção residencial nos Estados Unidos. Os resultados indicaram que casas com sistemas de parede de madeira exigem 15-16% menos energia total para fins de aquecimento e arrefecimento do que alternativas de casas termicamente comparáveis que empregam sistemas construtivos à base de aço ou concreto. Ao longo de um período de 100 anos, as emissões líquidas de gases do efeito estufa associadas com casas de madeira são 20-50% mais baixas do que as emissões associadas com casas termicamente comparáveis empregando sistemas de construção à base de aço ou concreto. O benefício energético associado aos materiais de construção à base de madeira era de aproximadamente 132PJ ano. A diferença entre os sistemas de construção que utilizavam ou não a madeira representava cerca de 9,6Mt de CO₂ por ano. À época da realização do artigo, essas estimativas significavam cerca de 22% da energia e 27% das emissões de gases do efeito estufa contidos no setor residencial dos EUA.

2.4.3 Avaliação do Ciclo de Vida

A Avaliação do Ciclo de Vida – ACV – é um método de análise desenvolvido para examinar o perfil ambiental de um produto ou atividade. Os fluxos de matéria e energia envolvidos no ciclo de vida de um bem são medidos e relacionados a diversas categorias de impactos ambientais. Ao final, é possível compreender quais danos ou benefícios a fabricação, o uso e o descarte desse bem trazem ao meio ambiente.

Tavares (2006) desenvolveu um método para análise do ciclo de vida energético de edificações residenciais brasileiras visto que, no país, a construção civil

carece de definições quanto aos seus consumos de energia e impactos ambientais associados. Entre as considerações feitas a partir dos resultados, o autor aponta que: os três principais materiais consumidos nas edificações residenciais (cimento, aço e cerâmicas) consomem pelo menos 80% de energia não renovável; os materiais de construção de maior consumo de energia no ciclo de vida da edificação (tintas, cerâmica vermelha, cimento e aço) são respectivamente os de maior geração de CO₂; o cimento tem alta participação em volume, energia embutida e desperdício, além de responder por boa parte dos impactos ambientais gerados no setor da Construção Civil.

Gustavsson *et al.* (2010) conduziram um estudo no qual o ciclo de vida energético e as emissões de dióxido de carbono de um edifício de apartamentos de oito andares com estrutura em *wood-frame* foram analisados. Todas as fases do ciclo de vida foram incluídas, abrangendo a aquisição e processamento de materiais, a construção no local, a operação de construção, demolição e descarte de materiais. O consumo de energia primária calculado incluiu as cadeias inteiras do sistema de energia e os fluxos de carbono foram rastreados, incluindo emissões de combustíveis fósseis, emissões de processo, estoques de carbono em materiais de construção; evitou-se emissões fósseis devido à substituição por biocombustíveis.

Os dados levantados indicaram que o consumo de energia operacional usa a maior parte da energia durante o ciclo de vida do edifício, tornando-se cada vez maior com o aumento da vida útil do edifício. O tipo de sistema de aquecimento influencia fortemente o uso de energia primária e emissões de CO₂; um sistema baseado em biomassa com cogeração de calor à distância e eletricidade atinge baixo consumo de energia primária e emissões muito baixas de CO₂. Ao se usar resíduos de biomassa a partir da cadeia de produtos de madeira para substituir os combustíveis fósseis é possível reduzir significativamente as emissões de CO₂. Durante o ciclo de vida, emissões negativas de CO₂ podem ser alcançadas devido aos materiais de construção à base de madeira e um sistema de abastecimento de energia à base de biomassa. Assim, os resultados mostraram a importância da utilização de uma análise de ciclo de vida quando se avalia de energia primária e os impactos climáticos dos edifícios (GUSTAVSSON *et al.*, 2010).

Dodoo *et al.* (2014) usaram uma análise de ciclo de vida para explorar as implicações das emissões de carbono de três sistemas de construção que utilizam a madeira em edifícios de vários andares. Os sistemas são os seguintes: madeira maciça com elementos em madeira laminada cruzada (*Cross Laminated Timber* - CLT); vigas-pilares, utilizando glulam (madeira laminada e colada) e LVL (*Laminated Veneer Lumber*,

conhecido nacionalmente como Painel de Lâminas Paralelas - PLP); módulos pré-fabricados utilizando estrutura em *light-frame*. A análise abrange as cadeias inteiras dos recursos durante o ciclo de vida dos edifícios, controlando os fluxos de carbono de energia fóssil, reações do processo industrial, mudanças nos estoques de carbono nos materiais e potenciais emissões fósseis evitadas pela substituição de energia fóssil por resíduos de madeira.

Os resultados mostraram que o sistema CLT resultou nas menores emissões de carbono; o sistema de vigas-pilares, nas maiores. Em comparação com os modelos convencionais, os modelos de baixo consumo energético reduzem as emissões totais de carbono (excluindo aquecimento de água da torneira e energia elétrica residencial) de 9%, 8% e 9% para o CLT, vigas-pilares e módulos pré-fabricados, respectivamente, para uma vida útil de 50 anos (DODOO *et al.*, 2014).

3 MÉTODO DE PESQUISA

Este capítulo apresenta a caracterização do método científico utilizado, descrevendo as estratégias e instrumentos de investigação escolhidos e indicando como será feita a coleta e análise dos dados, com o objetivo de responder o problema da pesquisa e alcançar o seu objetivo.

Pode-se dizer que o objetivo da pesquisa científica, seja qual for seu nível ou complexidade, é melhorar o entendimento sobre como as pessoas e as coisas funcionam e se comportam, permitindo aprimorar nossa competência de prever e antecipar soluções, inclusive tecnológicas. A metodologia da pesquisa científica busca, então, aumentar a validade e a credibilidade dessa forma de aquisição de conhecimento (SNYDER e CATANESE, 1984).

3.1 DEFINIÇÃO DO MÉTODO DE PESQUISA

3.1.1 Unidade de Análise

Esta dissertação tem como unidade de análise o conceito linguagem de padrões apresentado por Christopher Alexander em sua obra. Após identificado o problema, cada padrão para o uso da madeira seguirá o seguinte formato de apresentação: declaração resumindo a filosofia sobre o tópico, acompanhada por uma imagem ilustrativa; explanação com a argumentação de suporte ao padrão; prescrição em termos práticos.

3.1.2 Justificativa da Escolha a Partir do Objetivo

Quanto aos objetivos, trata-se de uma pesquisa no campo prescritivo, com conteúdo conhecido e base teórica definida, dentro de uma nova abordagem. Visa-se a identificação, análise, descrição qualitativa de casos e soluções prescritivas. A intenção é proporcionar maior familiaridade com o problema, com a intenção de torná-lo mais explícito e fundamentar os pressupostos. Tem como objetivo principal o aprimoramento de ideias ou a descoberta de intuições. O planejamento é bastante versátil, de modo que possibilita a consideração dos mais variados aspectos relativos ao fato a ser estudado (GIL, 2002).

Quanto à sua forma de abordagem do problema, o caráter desta pesquisa é qualitativo e flexível. Conforme Robson (2002), são características comuns a pesquisas

flexíveis o uso de métodos para os quais as respostas apresentam-se através de dados qualitativos e, em muitos casos, em forma de palavras. O autor ainda esclarece que, quanto menos pré-especificações houver nesse tipo de investigação, mais chances para o projeto evoluir e se desenvolver, além dos procedimentos da pesquisa se desdobrarem.

Quanto ao método de pesquisa, adota-se a pesquisa bibliográfica. Conforme descrito por Yin (2001), identificar na pesquisa o tipo de questão que está sendo apresentada é a primeira e a mais importante condição para se diferenciar as várias estratégias que poderão ser adotadas. Segundo ele, todo pesquisador deve iniciar seu trabalho com uma estratégia analítica geral, estabelecendo prioridades do que deve ser analisado e o porquê.

Segundo Gil (2002), a pesquisa bibliográfica, como qualquer outra modalidade de pesquisa, desenvolve-se ao longo de uma série de etapas. Seu número e seu encadeamento depende de uma diversidade de fatores, tais como a natureza do problema, o grau de conhecimento que o pesquisador dispõe sobre o tema, o nível de precisão que se espera conferir à pesquisa etc. “Assim, qualquer tentativa de apresentar um modelo para desenvolvimento de uma pesquisa bibliográfica deverá ser entendida como arbitrária.”

A principal vantagem da pesquisa bibliográfica reside no fato de permitir ao investigador a cobertura de uma gama de fenômenos muito mais ampla do que aquela que poderia pesquisar diretamente. Essa vantagem torna-se particularmente importante quando o problema de pesquisa requer dados muito dispersos pelo espaço (GIL, 2002).

Esse mesmo autor (GIL, 2002) esclarece que muitas vezes as fontes secundárias oferecem dados coletados ou processados de forma equivocada; dessa forma, um trabalho baseado apenas nessas fontes tenderá a reproduzir ou mesmo a ampliar esses erros. Ele aponta que para minimizar tal possibilidade convém aos pesquisadores certificarem-se de qual foram as condições em que os dados foram obtidos, analisando-os em profundidade para descobrir possíveis incoerências ou contradições e utilizar fontes diversas, cotejando-as cuidadosamente.

Quanto à estratégia de pesquisa, utiliza-se a *design science research*, a qual fundamenta e operacionaliza a condução da pesquisa quando o objetivo do estudo a ser alcançado é uma prescrição, realizado sob o paradigma epistemológico da *design science*. O conceito de *design science*, traduzida como ciência do projeto ou ciência do artificial, foi introduzido por Herbert Simon, pesquisador americano e vencedor do

Prêmio Nobel de Economia. Artificial, segundo esse autor, é algo que foi produzido ou inventado pelo homem ou que sofre a intervenção por parte dele.

As ciências do artificial devem se preocupar com a maneira como as coisas devem ser para alcançar determinados objetivos, seja para solucionar um problema conhecido ou para projetar algo que ainda não existe. Projetar, aliás, é uma função característica das ciências do artificial (SIMON, 1996⁴, *apud* DRESCH *et al.*, 2015, p. 52).

O propósito da *design science* é, portanto, projetar e produzir sistemas que ainda não existem e modificar situações existentes para alcançar melhores resultados. O objetivo da pesquisa é prescrever, sendo orientada à solução de problemas. Assim, seu foco está na solução. Vale destacar que a *design science* tem como finalidade conceber um conhecimento sobre como projetar, e não apenas aplicá-lo. Ou seja, é uma ciência que se ocupa do projeto; logo, não tem como objetivo descobrir leis naturais que expliquem certo comportamento dos objetos que estão sendo estudados, mas, sim, compreender o processo cognitivo através do qual foi elaborado o projeto que os define (DRESCH *et al.*, 2015, p. 15 e 57).

Resumindo, pode-se classificar esta pesquisa como:

- A. Quanto aos objetivos, trata-se de uma pesquisa no campo prescritivo;
- B. Quanto à abordagem do problema, possui caráter qualitativo e flexível;
- C. Quanto ao método de pesquisa, adota-se a pesquisa bibliográfica;
- D. Quanto à estratégia de pesquisa, utiliza-se a *design science research*.

3.2 ARTEFATOS E CLASSE DE PROBLEMAS

Os produtos da *design science research* são os artefatos. O objetivo do estudo a ser alcançado é, portanto, projetar e desenvolver esses artefatos, bem como soluções prescritivas. Primeiramente, deve ser feita a formalização de um problema que seja de fato relevante; na sequência, o pesquisador deve demonstrar que ainda não existem soluções suficientes para resolver o problema ou que podem existir melhores soluções além daquelas apresentadas até o momento.

3.2.1 Artefatos

Artefato pode ser entendido como algo que foi concebido pelo homem, ou seja, é algo artificial. No entanto, embora os artefatos sejam considerados artificiais,

⁴ SIMON, H. A. **The sciences of the artificial**. 3. ed. Cambridge: MIT Press, 1996.

eles se submetem às leis naturais, regidas pelas ciências tradicionais. No contexto desta dissertação de mestrado, o tipo de artefato se refere às contribuições teóricas que podem ser feitas por meio da aplicação da *design science research*, classificados como *design propositions*.

Cada artefato será apresentado como um padrão para o uso da madeira, referindo-se a uma determinada prática projetual de arquitetura para valorização do uso do material, sendo também oferecidas prescrições em termos práticos que ajudariam a incorporá-lo em um projeto real. A intenção de cada um desses padrões é estabelecer propostas de projeto que façam o uso da madeira mais proveitoso e qualificado, tendo no projeto de arquitetura um instrumento de racionalização e otimização do processo de concepção e construção. Uma nova ferramenta que auxilie o projetista a explorar melhor as possibilidades de projeto com a madeira.

3.2.2 Classe de Problemas

O conhecimento gerado a partir da *design science research* é passível de generalização e, conseqüentemente, pode ser enquadrado em uma determinada classe de casos, entendidos como uma classe de problemas. Pode ser definido como a organização de um conjunto de problemas práticos ou teóricos que contenha artefatos úteis para uma ação que propicie soluções.

No contexto desta dissertação de mestrado, a classe de problemas seria a compreensão do processo projetual que faça uso da madeira, propiciando a valorização plástica, técnica e funcional do emprego desse material no ambiente construído, sob o ponto de vista do pensamento arquitetônico sustentável.

Conforme Berriel (2009, p. XXXI e 2011, p. 33-34) no Brasil, ainda que tenhamos um rico patrimônio florestal, há pouca expressividade da arquitetura de madeira, algo que decorre principalmente da deficiente concepção projetual e técnicas construtivas inadequadas, decorrentes da falta de conhecimento por parte dos profissionais e da escassez de pesquisas voltadas para o desenvolvimento de tecnologias que atendam às necessidades e às aspirações da população. A madeira permaneceu à margem das pesquisas e do ensino superior na maior parte das escolas de arquitetura. Há falta de bons projetos de sistemas e obras de madeira que ofereçam qualidades tecnológicas, plásticas e funcionais. A pouca familiaridade com o material, ocasionada pela insuficiente tradição no seu ensino e uso, resulta frequentemente em projetos e obras de baixa qualidade tecnológica e construtiva. Conseqüentemente, são

poucas as obras que fazem o bom uso do material, contribuindo para que o uso da madeira não se difunda e perpetue no Brasil.

Dentro desse contexto, novas abordagens para o uso madeira, um material que é renovável e que possui séculos de familiaridade com o ser humano, revela-se um estudo promissor. A madeira é um material de construção como qualquer outro e, portanto, tem qualidades e limitações que devem ser reconhecidas pelo arquiteto e usadas a favor da arquitetura. Seu uso racional, proveniente de um manejo sustentável, surge como uma alternativa para o desenvolvimento de tecnologias ambientalmente adequadas, socialmente benéficas e economicamente viáveis.

3.3 TESTES DE VALIDADE

Para assegurar a eficácia do método de pesquisa e para que seja possível a sua reprodução, devem ser realizados testes de validade, que objetivam diminuir a quantidade de possíveis erros. Os critérios de validade constituem-se em elementos fundamentais que compõem o rigor metodológico de um estudo científico.

Os artefatos desenvolvidos a partir de uma pesquisa fundamentada em *design science research* são a prova de sua validade. Eles devem provar que têm condições de atingir os objetivos desejados, ou seja, que cumprem plenamente sua função.

No caso desta dissertação, a forma de avaliação utilizada é a descritiva. Dresch *et al.*, (2015, p. 97) propõem os seguintes métodos e técnicas de avaliação: argumento informado, utilizando a informação das bases de conhecimento (por exemplo, das pesquisas relevantes) para construir um argumento convincente a respeito da utilidade do artefato; cenários, trabalhando na construção de cenários detalhados em torno do artefato para demonstrar sua utilidade. Esses métodos e técnicas de avaliação dentro do contexto desta pesquisa estão devidamente explicitados no subcapítulo 3.4 - Método de Análise de Dados.

3.4 MÉTODO DE ANÁLISE DE DADOS

Os dados são analisados com o intuito de se responder ao problema de pesquisa definido neste projeto. Conforme mencionado, o objetivo do presente trabalho é apresentar propostas de projeto de arquitetura para o uso da madeira que propiciem a valorização plástica, técnica e funcional do seu emprego sob o ponto de

vista do pensamento arquitetônico sustentável, tendo como unidade de análise o conceito linguagem de padrões.

Cada prática projetual de arquitetura para valorização do uso da madeira é apresentada como um padrão (artefato). Ao conjunto de práticas projetuais é dado o nome Uma Linguagem de Padrões para a Madeira, definido no título deste trabalho.

O formato proposto para determinar um padrão segue a ordem: a) declaração resumindo a filosofia sobre o tópico, acompanhada por uma imagem ilustrativa; b) explanação com a argumentação de suporte ao padrão; c) prescrição em termos práticos.

3.4.1 Declaração Resumindo a Filosofia Sobre o Tópico

Cada padrão é pensado visando proporcionar a otimização do uso da matéria-prima dentro das seguintes categorias: qualidade plástica e funcional, que podem ser resumidos em bom *design* e capacidade de facilitar o processo de projeto arquitetônico e de construção; qualidade técnica para o emprego da madeira, prezando pelo uso racional do recurso natural.

Toda interpretação dos dados sobre os casos estudados busca, portanto, informações que auxiliem a entender como devem ser caracterizados modelos de padronizações que propiciem essa valorização do uso da madeira, analisados sob o ponto de vista do pensamento arquitetônico sustentável. Além do mais, busca também proporcionar qualidade de vida ao usuário, visto essa ter sido a intenção crucial da obra de Christopher Alexander.

3.4.2 Explanação com a Argumentação de Suporte

Para estabelecer a informação das bases de conhecimento com o intuito de construir um argumento convincente, classificado dentro da *design science research* com o nome de argumento informado, foi conduzida ampla pesquisa bibliográfica, a qual pode ser entendida como um processo que envolve as seguintes etapas: a) escolha do tema; b) levantamento bibliográfico preliminar; c) formulação do problema; d) elaboração do plano provisório de assunto; e) busca das fontes; f) leitura do material; g) fichamento; h) organização lógica do assunto; e i) redação do texto.

É feita uma abordagem metodológica teórico-conceitual baseada em revisão bibliográfica e na compilação de textos de autores que estudam a madeira e princípios de projeto arquitetônico. São realizados agrupamentos de dados de mesma ordem ao

término da pesquisa bibliográfica. Por meio da revisão da literatura, é possível identificar correlações conceituais e sua aplicação sob distintos pontos de vista e os dados aferidos são organizados para identificar as possíveis correlações entre os resultados. Robson (2002) afirma que a análise deve ser coerente e convincente, identificando quais mecanismos estão presentes em cada contexto, buscando várias fontes de evidência e trabalhando na triangulação entre todos os dados coletados, a fim de chegar a conclusões corretas e confiáveis, aferindo credibilidade aos resultados.

Para estudar os dados levantados e propor uma teoria para explicá-los, utiliza-se o modo classificado pela *design science research* como abduutivo. A abdução é um processo de criar hipóteses explicativas para determinado fenômeno/situação, sendo considerado um processo, acima de tudo, criativo. Portanto é o mais indicado para compreender uma situação ou problema, justamente em função do processo criativo intrínseco a esse tipo de raciocínio. Em síntese, o modo abduutivo sugere o que pode ser.

3.4.3 Prescrição em Termos Práticos

Como conclusão, em cada padrão são apresentadas prescrições em termos práticos para ajudar a incorporá-lo em um projeto real, demonstrando a sua utilidade, classificado dentro da *design science research* com o nome de cenários. A natureza de uma pesquisa conduzida através da *design science* costuma ser prática e objetiva, orientada à solução. Um dos seus conceitos fundamentais é justamente a validade pragmática, que busca assegurar a utilidade da solução proposta, considerando seu custo/benefício, particularidades do ambiente em que será aplicada e as reais necessidades dos interessados na solução.

Essa prescrição, assim como na obra de Alexander, será escrita em um parágrafo no modo verbal imperativo, expondo um conselho ao leitor por determinada opção de uso da madeira.

4 UMA LINGUAGEM DE PADRÕES PARA A MADEIRA

4.1 MADEIRA COMO PARTIDO ARQUITETÔNICO

A escolha dos materiais de construção precisa fazer parte do processo de projeto desde sua etapa inicial. Ao se optar pela madeira como partido arquitetônico, é possibilitado ao arquiteto extrair a máxima expressão desse material.

FIGURA 17 - Centro Cultural Jean-Marie Tjibaou em Nouméa, Nova Caledônia. Projeto de Renzo Piano



FONTE: RENZO PIANO BUILDING WORKSHOP, 2016.

O ato de fazer arquitetura deveria ser uma questão de organizar e explorar inteiramente todo o potencial proporcionado por determinado material de construção. Essas intenções projetuais precisariam não só ir ao encontro das exigências funcionais no sentido estrito, mas também fazer com que o objeto construído cumpra mais de um propósito, que possa representar tantos papéis quanto possível em benefício dos diversos usuários individuais. Isso permitiria que cada usuário fosse capaz de reagir a ele à sua própria maneira, interpretando-o e atribuindo-lhe valores estéticos e simbólicos, de modo pessoal para integrá-lo a seu ambiente familiar (HERTZBERGER, 1996, p. 151).

São as discrepâncias que nascem da necessidade individual de cada um de interpretar uma função específica, dependendo das circunstâncias e do lugar, à sua maneira, que acabam fornecendo a cada um de nós uma identidade própria, e, já que é impossível (como sempre foi) adequar todos às mesmas circunstâncias, devemos criar esse potencial para interpretação pessoal,

projetando as coisas de tal maneira que elas possam ser efetivamente interpretadas (HERTZBERGER, 1996, p. 171).

Quando comporta essas determinadas funções representacionais, a arquitetura assume o potencial de ser um substituto, um elemento portador de significados a serem decodificados por seus usuários, como são um cartaz publicitário ou placa de trânsito. A partir dessa leitura, duas posições são possíveis: a forma arquitetônica representa valores simbólicos com significados que lhe são externos - podendo ser lida ou interpretada -, ou ela é relativamente autônoma e seu referente, se possui algum, encontra-se no campo da própria produção arquitetônica (SILVA, 2011).

Todo processo criativo é uma travessia a começar do nada, a partir da folha em branco, das pré-visualizações. Para tanto, há o ato de projetar arquitetura. Projetar significa visualizar o problema e prever as possíveis soluções e, dentre aquelas possíveis, propor uma resposta que se tornará a obra arquitetônica a ser construída. Mais que a representação de ideias, o projeto surge do traço, do desenho, e concretiza-se como o resultado do processo criativo; abandona-se o universo das ideias e passa-se a operar no universo das coisas. Rosso (1980, p. 87) avalia que a concepção é um ato mental, é uma abstração ideal de um objeto. Mas o projeto progride do abstrato para o concreto e esse processo se realiza ilustrando a ideia com palavras, desenhos e símbolos.

Projetar, portanto, significa *lançar* no sentido de *propor*, mas também sugere a ideia de “alcançar com o pensamento”, ou simplesmente pensar; e, para frente, no sentido de futuro. Projetar é o mesmo que alcançar com a visão o problema e as possíveis soluções e, através da escolha de uma das soluções possíveis, propor uma resposta, através de peças gráficas e modelos – que possam ser perfeitamente compreendidos –, algo que se tornará objeto ou artefato arquitetônico a ser construído no futuro (BERRIEL, 2009, p. 85).

Visto que o projeto não se articula dentro de uma lógica linear, o *partido arquitetônico* seria uma maneira de criar uma lógica própria com as suas normas intrínsecas. A ideia de partido refere-se ao estabelecimento de uma escala de prioridades dentro de um processo de projeto, elegendo-se a mais pungente entre todas e desenvolvendo um conceito central ao qual todos os outros elementos permanecem subordinados. “O partido é o cerne do projeto, o fio que conduz e justifica as decisões tomadas durante esse processo laborioso e prazeroso que é o projeto de arquitetura” (BERRIEL, 2002, p. 113).

O arquiteto passa, assim, a tomar partido por aspectos relativos à localização, à orientação e implantação da edificação, à solução estrutural, à disposição dos ambientes e circulações, aos materiais etc; enfim, tomando decisões que determinarão

todo o resto, conferindo uma identidade própria à sua criação. Ainda, tais decisões impactarão também as relações sociais que se desenvolverão naquele local.

Tudo que um arquiteto faz ou deliberadamente deixa de fazer - a maneira como ele se preocupa com a abertura e o isolamento - sempre influencia, intencionalmente ou não, as formas mais elementares das relações sociais (...) há tantos detalhes em cada edifício que, juntos, podem ser tão importantes quanto o gesto grandioso na arquitetura em sua totalidade. Para nós, um edifício é a soma de todos os pequenos gestos que, como os milhares de músculos no corpo de uma bailarina, criam juntos um todo unificado. É esta soma total de decisões, desde que tomadas com a consideração adequada e o devido cuidado, que podem trazer como resultado uma arquitetura realmente hospitaleira (HERTZBERGER, 1996, p. 214).

Tratando-se dos materiais de construção, sua escolha precisa fazer parte do processo de projeto desde a etapa inicial. Não pode ser pensada depois que a maior parte das condicionantes já foi atendida, depois que os desenhos técnicos de plantas e cortes já foram produzidos. Todos os materiais em princípio são bons, quando usados corretamente, desempenhando um papel compatível com suas características. A prática arquitetônica inclui experiências com materiais de construção diversificados, apresentando tecnologias, formas de se projetar e de se construir completamente distintas umas das outras. Ainda, dependendo do lugar onde a obra será edificada, haverá determinados materiais disponíveis em detrimento de outros. O entendimento do comportamento dos materiais, de suas propriedades e capacidades, é fundamental para que se alcance uma boa arquitetura. Além de tudo isso, a eficiência energética das edificações é particularmente afetada por decisões de projeto. Quando o emprego correto dos materiais e da energia necessária para a produção, uso e manutenção são determinantes, os projetos resultam naturalmente mais sustentáveis.

A madeira, pela sua disponibilidade e características, foi um dos primeiros materiais de construção utilizado pela humanidade, mantendo, apesar do aparecimento dos materiais industrializados, uma grande variedade de usos diretos e servindo de matéria-prima para múltiplos outros artefatos arquitetônicos. É um material versátil e que apresenta grande resistência e aplicabilidade na construção civil. A simples opção pela madeira como partido arquitetônico gerará menor impacto ambiental comparativamente a outros materiais tradicionais na construção brasileira, como alvenaria e concreto. Muitos dos fatores que geram desconfiância com relação ao uso da madeira, como resistência, durabilidade, conforto térmico e acústico, segurança em relação ao fogo, são, em essência, um reflexo direto do projeto arquitetônico.

A madeira resistirá muito bem a água se afastada do solo. Pode-se molhar a madeira contanto que ela tenha condições geométricas de secar rapidamente e a água não fique parada nas juntas e interfaces. Posição das peças e pingadeiras na parte inferior das tábuas e peitoris, por exemplo, são responsáveis pela durabilidade. Com relação ao conforto, paredes duplas, com um colchão de ar interno, ou paredes simples com maior espessura garantirão conforto térmico semelhante ao da alvenaria. Para diminuir a passagem de ruídos entre os andares, uma solução já adotada por alguns arquitetos brasileiros é a utilização de lajes mistas, de madeira e concreto. Peças como vigas de madeira maciça, a partir de determinadas seções, têm um comportamento previsível e resistem mais tempo ao fogo do que peças de aço projetadas para os mesmos vãos, permitindo um tempo de fuga maior para os ocupantes. Tanto na arquitetura popular, quanto na arquitetura feita por arquitetos, as soluções aparecem cheias de pragmatismo e poesia. É tudo uma questão de desenho, uma questão de projeto (BERRIEL, 2011, p. 45).

Ao se optar pela madeira como um material de partido arquitetônico, é possibilitado ao arquiteto extrair a máxima expressão formal, plástica, tecnológica e funcional desse material. Ele poderá verificar quais são as espécies mais adequadas para o uso pretendido, suas características plásticas e técnicas, além da disponibilidade no local da obra; estudar as soluções projetuais e estruturais mais apropriadas, as tecnologias disponíveis para a construção; fazer um detalhamento executivo apropriado, consoante às decisões tomadas nas etapas anteriores.

Segundo Berriel (2009, p. 95-102) existe na arquitetura uma prática generalizada, devida mais ao hábito de se atuar assim que à plena consciência do que se faz, de limitar o projeto ao traçado de algumas linhas que satisfaçam as expectativas e intenções do desenhista. Somente na sequência passa-se a resolver efetivamente a construção, optando-se por soluções que não seriam as mais lógicas caso fossem racionadas logo na etapa inicial, demonstrando que, apesar das dificuldades e arbitrariedades do projeto, é possível construí-lo, embora ao custo de grande esforço laboral, desperdício de meios e dinheiro. Para a autora, arquitetura não é coisa suplementar usada para enriquecer mais ou menos o edifício, nem tampouco a simples satisfação de imposições de ordem técnica e funcional; não se trata de sobrepor à precisão de uma obra tecnicamente perfeita a dose julgada conveniente de gosto artístico. É, sim, o ato de controlar a tensão que relaciona o *como se constrói* com o *como se vê*.

Bittencourt e Hellmeister (1995) fazem a seguinte analogia com uma peça de teatro, dizendo que seria impossível a um autor escrevê-la em um idioma que não domina e utilizar uma língua gráfica extrínseca ao meio teatral. Portanto, ao se trabalhar com a madeira, o ato projetual necessita dar ênfase à uma representação gráfica apropriada às características próprias e aos sistemas construtivos desse material. Assim, o arquiteto ou projetista responsável pelo desenvolvimento do trabalho passará

a ter uma nova função conduzindo um ordenamento do ato projetual, quando se torna necessário tomar decisões a níveis de sistema construtivos e apropriar-se de métodos adequados de desenho; logicamente, ele precisará ajustar ou até mesmo mudar sua forma convencional de projetar.

Portanto:

Ao almejar trabalhar com a madeira, qualifique o material como partido arquitetônico; define-se, assim, um conceito central ao qual todos os outros elementos devem permanecer subordinados. Isso garantirá ao projetista uma intenção correta para o uso da madeira ao longo de todo o projeto, evitando a arbitrariedade e o prejuízo que uma escolha em etapa avançada de desenvolvimento acarretaria. Utilize uma representação gráfica apropriada às características próprias e aos sistemas construtivos da madeira.

4.2 VERSATILIDADE PLÁSTICA

Trabalhar com a madeira significa trabalhar com detalhes, com um elemento pleno de significados, versátil e praticamente associável a quaisquer tipos de ambientes, sejam eles clássicos, rústicos ou contemporâneos.

FIGURA 18 - Museu de Arte de Aspen em Colorado, Estados Unidos. Projeto de Shigeru Ban Architects



FONTE: ARCHDAILY, 2016.

O projeto é o ponto de partida que culmina com a obra pronta, contendo as proposições técnicas e funcionais definidas pelo arquiteto e que caracterizarão a edificação. Entretanto, em momento algum, pode-se esquecer que o objeto principal é a própria arquitetura. Além de garantir a eficiência da edificação, há que se ter a intenção plástica que caracterizará essa obra e a plástica ruim é, na realidade, reflexo da ausência de um partido arquitetônico, da inexistência, muitas vezes, de uma conexão entre o pensamento e a materialidade. Para que a madeira seja culturalmente mais aceita como material de construção e seu uso difundido, é necessário que as construções que façam uso do material atendam às expectativas dos usuários, dentre as quais pode-se destacar o conforto, a durabilidade e beleza plástica proporcionada pelo seu emprego (BERRIEL, 2009, p. 58 e BERRIEL, 2011, p. 42-45).

Não há uma regra que define quais são os tipos de madeira mais usuais em arquitetura e *design* de interiores. Tudo depende do projeto e da proposta para o espaço. Atualmente, os profissionais contam com uma variedade muito vasta para cada situação. É um material orgânico e heterogêneo, características que impactam diretamente sobre o projeto e a construção; portanto, é preciso conhecê-lo para determinar sua aptidão e definir seu papel. Desde que seja bem utilizada, a madeira é um material que praticamente não apresenta restrições compositivas.

Mesmo considerando as limitações proporcionais impostas a uma forma pela natureza do seu material, sua função estrutural ou seu processo de fabricação, os projetistas ainda têm a capacidade de controlar a proporção das formas e espaços no interior de um edifício e ao seu redor. A decisão (...) cabe legitimamente ao arquiteto (CHING, 2002, p. 283).

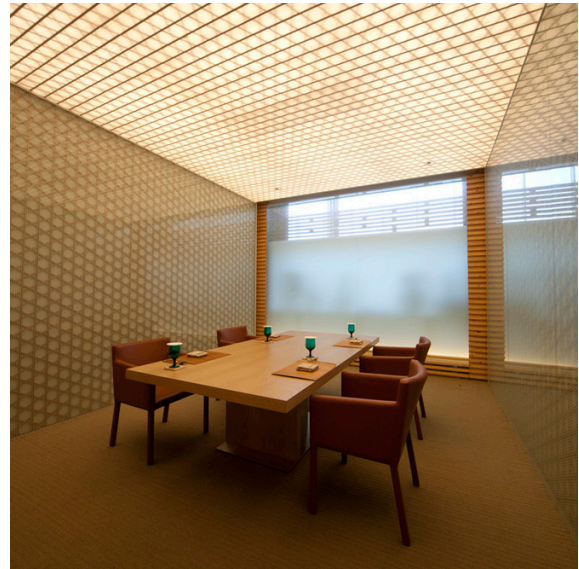
Entre as principais vantagens do uso da madeira está o fato de ser um material que provoca sensação de conforto e é acolhedor. E, em virtude da sua neutralidade, possui fácil adaptação ao estilo de cada ambiente. Ela desempenha um importante papel em quase todos os pontos da construção, detalhamento, decoração e mobiliários das residências. A versatilidade que possui acabou por transformá-la num material comum a praticamente todos os tipos de construções, conforme pode ser observado nas figuras (FIGURAS 19, 20, 21 e 22).

FIGURA 19 - Casa em Lacapelle-del-fraisse.
Projeto de Rouget Simon Teyssou & associés



FONTE: ARCHDAILY, 2017.

FIGURA 20 - Nine Bridges Country Club. Projeto
de Shigeru Ban Architects



FONTE: ARCHDAILY, 2017.

FIGURA 21 - Refúgio de Montanha. Projeto de
Martín Gomez Arquitectos



FONTE: SEIDEL, 2008.

FIGURA 22 - Casa do Riacho. Projeto de James
Lawrence Vianna



FONTE: PROJETO DESIGN 340, 2008.

Essa familiaridade da madeira com o ser humano não a banalizou como um elemento simplório, e sim o contrário. Evidencia-se ser um material imune a mudanças de tendências, sendo bastante utilizado em praticamente todos os períodos da civilização humana e que pode ser igualmente encontrado, tanto em residências luxuosas, como em modestos exemplos de arquitetura vernacular.

É importante também o contato físico com o material para a sua melhor especificação, poder vivenciar suas características, potencialidades e deficiências, analisar visualmente cada peça de madeira de um mesmo lote, se contém nós ou rachaduras, se é mesmo a melhor opção para a proposta plástica pretendida.

Portanto:

A madeira é um material versátil, que possibilita ao projetista idealizar diferentes concepções para o espaço arquitetônico. Examine as características tecnológicas e estéticas do tipo de madeira que será especificada, verificando se são as mais adequadas à proposta plástica pretendida. Tenha contato físico com o material, examinando fisicamente suas características, potencialidades e deficiências.

4.3 RECURSOS SENSORIAIS

Um bom projeto não deve preocupar-se somente com os requisitos de uso ao qual determinado material se destina, mas também com as características subjetivas e sensoriais que poderá proporcionar aos usuários.

FIGURA 23 - Pavilhão da China na Expo Milão 2015, Itália. Projeto de Tsinghua University e Studio Link-Arc



FONTE: ARCHDAILY, 2016.

O ser humano percebe o espaço construído através dos sentidos, vividos ou imaginados, e isto se dá principalmente através dos sentidos do olfato, da visão e do

tato (SCHMID, 2005, p. 54). Ao somar as mais diversas e completas experiências perceptivas, pode-se proporcionar uma rica vivência sensorial ao usuário, capaz de causar frio, calor e até mesmo alegria ou tristeza. Nesse sentido, a apreensão relativa aos sentidos e sensações que se faz de determinado local provavelmente possa ser fator determinante na escolha dos materiais de construção; no caso do estudo em questão, a opção por determinado tipo de madeira.

Nossa arquitetura deve ser capaz de acomodar todas as diversas situações que afetam a maneira como um edifício é entendido e usado (...) O arquiteto deve levar em conta todos esses diversos tipos de usos, assim como os sentimentos e os desejos dos vários tipos de pessoas, cada uma com seu padrão específico de expectativas, suas próprias possibilidades e restrições. O projeto definitivo deve estar harmonizado com todos esses dados intelectuais e emocionais que o arquiteto possa imaginar, e deve relacionar-se com todas as percepções sensoriais do espaço. As percepções do espaço consistem não só no que vemos, como também no que ouvimos, sentimos, e até mesmo no que cheiramos - assim como nas associações que despertam. Desta maneira, a arquitetura também é capaz de mostrar o que não é realmente visível, e despertar associações de que não tínhamos consciência antes. Se conseguirmos produzir uma arquitetura que seja capaz de incorporar diferentes níveis, de tal modo que as diversas realidades, tal como encontradas nas diversas camadas da consciência, possam ser refletidas no projeto, então o ambiente arquitetônico poderá visualizar essas realidades e dizer algo “sobre o mundo” dos usuários (HERTZBERGER, 1996, p. 229-230).

É interessante, primeiramente, compreender como se dá esse processo de percepção pelos sentidos humanos. A visão é o sentido que mais se destaca, por ser especialmente refinado. “Presta-se à generalização do aprendizado do tato, principalmente, e ainda dos outros sentidos” (SCHMID, 2005, p. 55). É a visão que hoje exerce papel de destaque na percepção desse espaço construído, ainda mais considerando que se vive na era dominada pelas imagens. É a era do desenvolvimento científico e tecnológico, marcada por uma cultura audiovisual, pela comunicação globalizada, que possibilita a circulação de imagens e informações, a construção de novos valores e produção de novos conhecimentos.

Porém, não parece ter sido a visão o sentido inicial que fez o homem compreender o espaço em que habita durante a história. O olfato é um sentido ancestral e bastante primitivo. No caso das emoções básicas, a resposta imediata aos odores transmite uma mensagem simples e binária: ou se gosta ou não se gosta; faz aproximar ou evitar. As memórias que incluem lembrança de odores têm tendência para ser mais intensas e emocionalmente mais fortes. É um “sentido preservado na evolução desde os seres mais antigos até o homem, como também é um sentido desenvolvido nas primeiras semanas de vida” (SCHMID, 2005, p. 55). Todavia, tratando-se das experiências sensoriais que a especificação da madeira pode

proporcionar, não há muito a se considerar sobre o olfato, visto que na maioria dos casos o odor proveniente do material necessita ser anulado.

O tato, também ancestral, está relacionado ao nosso aprendizado motor. Esse sentido não se encontra em uma região específica, pois todas as regiões do organismo possuem receptores responsáveis pela percepção do toque, variações de temperatura e terminações nervosas livres responsáveis pela percepção da dor que muda apenas de intensidade. O tato precisa do contato direto com os elementos construtivos, de modo que se perceba qual é sua temperatura, se há rugosidade, lisura, aspereza, maciez ou dureza. Conforme descrito por Schmid (2005, p. 55), o tato permite estabelecer os limites reais das coisas, especialmente quando o ser humano passa a se locomover por conta própria.

Cada pessoa tem uma preferência sensorial, além de sentidos mais desenvolvidos do que outros; entretanto, ao projetar um espaço, é válido tentar aferir quais seriam as características sensoriais mais desejadas por aquelas que o irão habitar ou frequentar, podendo oferecer diferentes oportunidades e experiências. A dimensão subjetiva que leva uma pessoa a escolher um determinado tipo de material está associada a fatores como cultura, gostos e experiências individuais, que muitas vezes não se manifestam conscientemente. Esse conjunto de fatores corresponde ao que Löbach (2001) classificou como funções estéticas e simbólicas, complementares às funções práticas que os objetos possuem.

É importante, tanto na hora de planejar a arquitetura, como o *design* de interiores de um espaço, analisar quais estilos, formas e cores podem ser explorados para que o ambiente expresse uma mensagem por si só. Os materiais utilizados, portanto, precisam ser escolhidos para que estejam em harmonia com todo o resto da proposta e que haja um diálogo entre todos os elementos. A madeira, que sempre teve papel fundamental na história das edificações erigidas pelo homem, é um elemento projetual cujo conhecimento é essencial para arquitetos e *designers* de interiores, pois consegue estimular os sentidos dos usuários de um espaço arquitetônico construído. É o material mais vivo e, simultaneamente, o mais antigo de que a humanidade dispõe.

Os projetos atuais, que interpretam a madeira como um desafio criativo, procuram continuamente a forma correta, a solução simples, a resposta lógica. Fazem-no sempre à sua maneira e no seu próprio contexto, parecendo, por isso, tão diferentes à primeira vista. Contudo, têm todos algo em comum: a madeira utilizada e visível relaciona sempre a obra com a pessoa que a usa ou observa (SEIDEL, 2008, p. 11).

Grande parte do uso que se faz da madeira na arquitetura como material de construção, principalmente como opção de revestimento, está associado às propriedades organolépticas que ela possui, ou seja, características capazes de estimular os sentidos dos seres humanos. Segundo Moreschi (2012), elas são: cor, odor, sabor, grã, textura, brilho e desenho. Tratando-se de respostas sensoriais, uma característica determinante da madeira é decerto a sua textura. Ching (2006, p. 105) descreve a textura como:

A qualidade específica de uma superfície que resulta de sua estrutura tridimensional. A textura é, na maior parte das vezes, usada para descrever a suavidade ou rugosidade relativa de uma superfície. Ela também pode ser usada para descrever as qualidades superficiais características de materiais familiares, como a aspereza de uma pedra, a grã de uma madeira e o trançado de um tecido (CHING, 2006, p. 105).

Pode-se determinar que existam dois tipos básicos de textura. A textura tátil, que é sentida através do contato direto com determinada superfície, e a textura visual, que é percebida pelos olhos.

O tato é sentido pela pele em todo o corpo e permite reconhecer a presença, forma e tamanho de objetos, assim como sua temperatura. Ele não é distribuído uniformemente: os dedos das mãos possuem uma discriminação muito maior que as demais partes, enquanto outras são mais sensíveis ao calor. É através do contato direto com os padrões tridimensionais da textura de uma madeira que o sentido do tato é estimulado, oferecendo informações que apenas o sentido da visão encontraria dificuldades para transmitir. “O caráter concreto do toque dá-lhe uma conotação que não é virtual (como outras sensações), mas física” (SCHMID, 2005, p. 190).

Tendo em vista que a atividade do arquiteto objetiva o bem-estar do usuário, é relevante ao ato de projetar considerar que a percepção tátil que determinado material poderá gerar precisa ser estudada. Assim, as madeiras, que naturalmente já apresentam diversidades de texturas e que são ainda complementadas pelas formas de acabamento que são dadas às suas superfícies, transformam-se em um meio de projeto no que concerne à geração de imagens mentais, emoções e sentimentos, através dos estímulos físicos captados pela pele.

As madeiras podem ter textura grosseira, em que os poros são largos e abertos, ou ter textura fina, o que significa que é muito lisa. “Materiais lisos tendem a ser mais agradáveis ao tato que os materiais rugosos. Mas pequenas ondulações conferem às superfícies algum dinamismo lúdico” (SCHMID, 2005, p. 189). A textura uniforme é consistente numa peça inteira, mesmo que seja grosseira ou fina. A textura

não uniforme é aquela em que as camadas de crescimento se apresentam diferenciadas entre si. “A textura grosseira também é conhecida como textura de poro aberto e a textura fina de poro fechado” (GIBBS, 2005, p. 35).

Todas as texturas táteis também dão textura visual. A textura visual, por outro lado, pode ser real ou ilusória, como é o caso de determinados produtos cerâmicos ou laminados melamínicos que buscam imitar a textura da madeira.

Os sentidos humanos da visão e do tato estão intimamente inter-relacionados. “O tato é a aferição do visual. Se não houvesse o tato, a visão provavelmente não teria o tamanho poder de síntese que tem” (SCHMID, 2005, p. 182). Mesmo quando uma superfície é observada à distância, as qualidades táteis já são perceptíveis, sem que o contato direto seja necessário. “Escala, distância de observação e luz são fatores importantes que modificam nossa percepção da textura e das superfícies que elas articulam” (CHING, 2006, p. 106). Essas reações físicas às qualidades têxteis observadas através da visão são realizadas a partir de associações prévias com materiais similares.

A textura é visual quando explora o sentido da visão para definir superfícies. É a fisiologia do olho humano que a identifica. Para Baxter (1998, p. 25), “a percepção humana é amplamente dominada pela visão, pois o sentido visual é predominante sobre os demais sentidos. A atratividade de um produto depende, então, basicamente do seu aspecto visual”. Ressalta-se que o uso de textura precisa ser pensado para criar um elemento de destaque na composição, tomando-se cuidado na escolha dos demais materiais e elementos para não haver excesso de informação.

“Esse material tátil pode atrair a psique e os sentidos das pessoas” (BELL e RAND, 2006). Isso se dá principalmente pelo fato de que o uso sensorial de determinado objeto depende das experiências anteriores com as suas características estéticas e da percepção consciente das mesmas, tais como forma, cor e superfície. Isso também influi no fato do material ser de fácil aceitação, visto que sua experimentação não é algo novo ao usuário, o que possibilita que o uso da madeira como revestimento em determinado espaço interno tenha um índice de rejeição menor do que, por exemplo, um produto industrializado.

Ainda, há certo consenso que a madeira quando empregada traz sensação de conforto aos ambientes. Além da sensação de aconchego proporcionada pelo seu visual natural, isso se deve ao fato dela ser um material com boas características térmicas, ou seja, tem temperatura agradável ao toque em uma ampla faixa de temperatura. Por exemplo, conforme Fanger (1982, p. 100-102), para pés descalços a

faixa de conforto da temperatura do piso para a madeira de pinus é de 17 a 39 °C, para a madeira de carvalho é de 22 a 35 °C. Mais informações e a comparação com outros materiais podem ser observadas na tabela abaixo.

TABELA 5 - Limites de temperatura para diferentes materiais de revestimento, pés descalços

Material de Revestimento (sem acabamento superficial)	Faixa de Conforto da Temperatura do Piso (°C)	Limites de Dor	
		Mais baixo (°C)	Mais alto (°C)
Aço	29-32	14	45
Concreto	27-34	4	54
Linóleo, borracha	24-35	-12	67
Madeira de carvalho	22-35	-20	74
Madeira de pinus	17-39	-53	84
Cortiça	5-42	-140	150

FONTE: Adaptado de FANGER, 1982, p. 102.

Esse autor (FANGER, 1982) explica que nos espaços onde as pessoas estão descalças, não é apenas a temperatura do piso, mas também o material de revestimento que é importante para o conforto dos pés. Imediatamente após o pé tocar o chão, a sola assume a temperatura de contato, que é função da temperatura do piso e do coeficiente de contato do material de superfície do piso, o qual é definido por $\sqrt{\lambda\rho c}$, em que:

λ = condutividade térmica;

ρ = massa específica;

c = calor específico.

Um piso de concreto tem um coeficiente de contato muito maior do que um piso de madeira e, portanto, ficará mais frio porque a temperatura de contato é menor.

Portanto:

Analise qual é o caráter arquitetônico pretendido, explorando formas e cores para que a obra expresse uma mensagem por si só. Os materiais utilizados precisam ser escolhidos para que estejam em harmonia com todo o resto da proposta e para que haja um diálogo entre todos os elementos. Ao utilizar a madeira, estude precisamente o tipo mais aplicável para cada projeto; essa é a forma mais correta para se alcançar uma determinada intenção projetual. Tire proveito das propriedades organolépticas da madeira para provocar estímulos sensoriais, como sua cor, seu brilho, seu desenho e, principalmente, sua textura. Ainda, quando empregada, a madeira traz uma sensação inata de conforto aos ambientes.

4.4 Uso Estético

A madeira, que já em seu estado natural apresenta diversos padrões atraentes e decorativos, é um importante instrumento na criação arquitetônica esteticamente significativa.

FIGURA 24 - Auditorium del Parco em Áquila, Itália. Projeto de Renzo Piano



FONTE: RENZO PIANO BUILDING WORKSHOP, 2016.

Na arquitetura e *design* de interiores é de fundamental importância que a configuração de um ambiente seja feita com critérios estéticos, contribuindo assim nas relações subjetivas do usuário com o local. Toda a aparência material desse ambiente, percebido através dos sentidos é, dessa forma, acompanhada de sua função estética.

Conforme definido por Löbach (2001, p. 60), “a função estética dos produtos é um aspecto psicológico da percepção sensorial durante o seu uso.” Para esse autor, ela não diz respeito necessariamente à beleza de um material ou produto, mas sim à capacidade de sensibilizar pelo menos um dos sentidos humanos. Dessa forma, é preciso projetar de forma que os elementos estéticos (cores, formas, texturas, entre outros) se relacionem entre si de forma harmoniosa e cumpram a função de atrair a atenção e seduzir os usuários. Pode-se concluir, então, que essa função da madeira se estabelece no nível dos processos sensoriais do usuário, promovendo uma sensação de bem-estar e contribuindo na sua identificação com o ambiente construído.

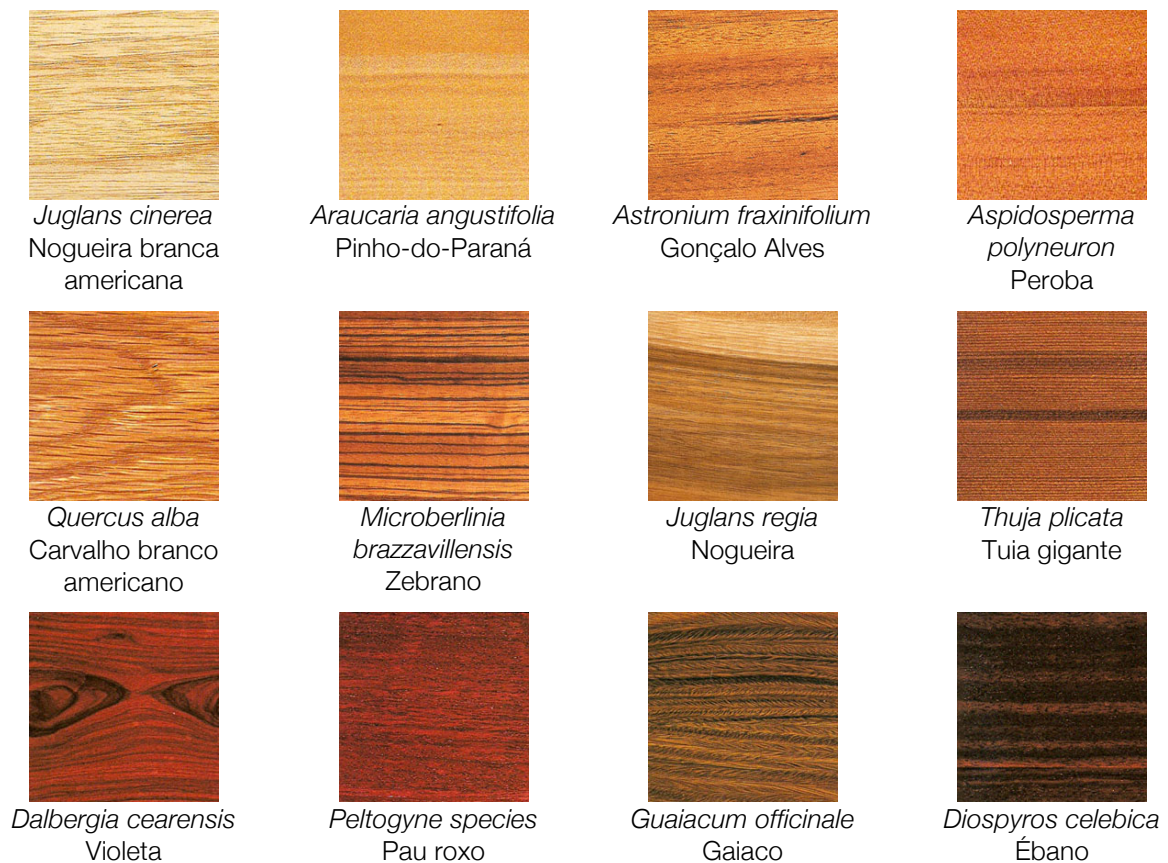
A flexibilidade de uso da madeira permite pluralidade de possibilidades. A diversidade de padrões, cores e texturas desse material qualifica-o em um importante

elemento de composição no espaço construído. Seus elementos configurativos permitem variadas opções de aplicação no espaço, constituindo-se assim em útil ferramenta projetual.

Ela é um material heterogêneo, sendo que a variação ocorre de pedaço a pedaço em que a madeira é cortada. As propriedades relativas às direções dos veios, longitudinais ou diagonais, podem variar muito. Do mesmo modo, dentro de um tipo de madeira, e até mesmo numa secção de madeira, há grandes diferenças causadas pelo tipo de crescimento. Essas características, que de uma forma simplista poderiam ser consideradas até como uma desvantagem do material, é o que a torna especial para o emprego na arquitetura. Uma composição realizada com a madeira é rica em significados estéticos e “as desvantagens da madeira são também parte integrante do seu caráter” (SEIDEL, 2008).

As madeiras variam muito de cor de espécie para espécie, de peça para peça. A intensidade da coloração varia do bege claro ao marrom escuro, quase preto. Existem ainda madeiras amarelas, avermelhadas e alaranjadas. Essa diversidade pode ser exemplificada na figura abaixo (FIGURA 25).

FIGURA 25 - Exemplos de espécies de madeira

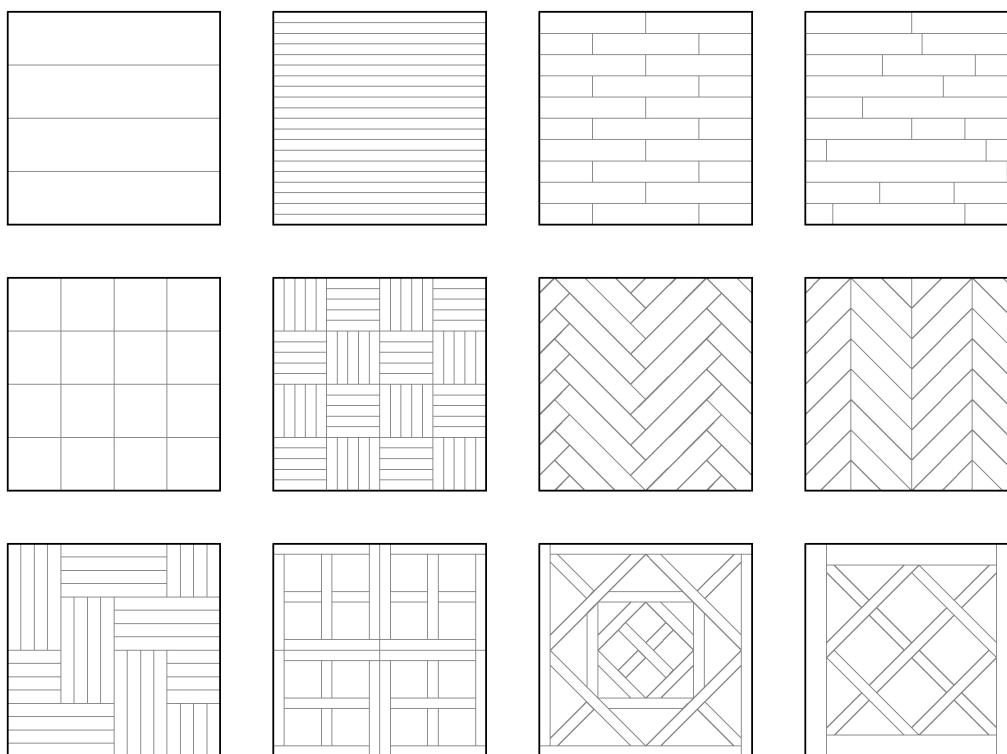


FONTE: GIBBS, 2005.

A cor tende a alterar-se com o passar do tempo, escurecendo devido à oxidação causada principalmente pela luz. Além do mais, essa coloração natural pode mudar significativamente com o tipo de acabamento dado à superfície da madeira, seja aquele que visa a simplesmente protegê-la do desgaste diário ou dar um acabamento estético diferenciado. Pode-se também considerar que as tintas disponíveis no mercado são mais um meio de personalizar qualquer tipo de madeira.

A variedade de cores, texturas e densidade da madeira é ainda complementada por numerosas formas e padrões de aplicação, desde o elemento no seu formato natural até blocos, chapas, ripas, tábuas e mosaicos. O ritmo e a escala de cada formato possuem um impacto diferente na aparência geral do emprego do material. Essa diversidade pode ser exemplificada na figura abaixo (FIGURA 26).

FIGURA 26 - Padrões usuais de aplicação de madeira



FONTE: O AUTOR.

Esteticamente a madeira possui fácil associação a outros materiais e elementos, sejam eles naturais ou sintéticos, tais como: pedras, tijolos, revestimentos cerâmicos, tecidos, vidros, tintas, laminados, concreto, metais, entre outros. Caso sejam utilizados mais de dois tipos de madeira, é necessário tomar o cuidado de que as tonalidades combinem e de que haja equilíbrio entre as texturas e acabamentos, alcançando-se assim uma composição estética mais harmônica.

Portanto:

Valorize, no ato de projetar com a madeira, os aspectos estéticos que já são inerentes a ela, proporcionando respostas sensoriais por parte do usuário. O uso da madeira é um ótimo meio para o arquiteto alcançar efeitos estéticos interessantes no ambiente construído, sendo que esse apelo estético para o usuário se dá, principalmente, por se tratar de um material que já lhe é familiar. Utilize composições que destaquem a heterogeneidade desse material, seus diferentes tons, cores, padrões e texturas. Tome cuidado para que a madeira especificada combine com outros tipos de materiais e para que haja equilíbrio de tonalidades, texturas e acabamentos entre diferentes tipos de madeira.

4.5 Uso SIMBÓLICO

O fato de a madeira provir da árvore e a sua interligação milenar com a história cultural da humanidade, enquanto material de construção, resulta numa relação emocional estreita com o ser humano.

FIGURA 27 - Restaurante Kim Boi Bamboo em Hoa Binh, Vietnã. Projeto de Tran Ba Tiep



FONTE: ARCHDAILY, 2016.

A árvore é um símbolo importante e universal para a humanidade. Desde o início manteve uma estreita relação com o ser humano, proporcionando abrigo, lenha,

sombra e alimento. “Um símbolo é um sinal, um signo que existe para algo. A realidade que é representada por um símbolo está presente no espírito humano pela presença deste símbolo” (LÖBACH, 2001, p. 64). Esse mesmo autor reforça que “a função simbólica dos produtos é determinada por todos os aspectos espirituais, psíquicos e sociais do uso” (LÖBACH, 2001, p. 64).

Entre outros materiais utilizados há séculos na construção, ou dos materiais mais recentes industrializados, é da madeira, quente e orgânica, que o homem se sente mais próximo. Desde a infância, o homem já associa a madeira a características positivas (tanto na forma de brinquedos, como no contato com a natureza) e esse material passará a rodeá-lo em seu cotidiano.

As suas capacidades de transformação e adaptação, que tornam a madeira um material realmente humano, são o símbolo visível e a propriedade mais nobre da madeira. A madeira reflete cada mudança de luz, cada clima e cada estação do ano. A madeira envelhece, mostra o seu caráter e torna a história legível, pressupondo apenas um certo cuidado de conservação (SEIDEL, 2008, p. 11).

Faz parte da natureza humana procurar se cercar de objetos que reflitam a sua autoimagem, o que, muitas vezes, é feita através dos símbolos. A casa na qual habita é uma das principais peças de um enorme conjunto de fatores que, juntos, constituem a imagem visual que o homem projeta nos outros. Dessa forma, a utilização da madeira na arquitetura possibilita uma vasta gama de significados, pois o homem, ao estabelecer ligações com suas experiências e sensações anteriores, tem suas faculdades mentais estimuladas, conferindo à madeira uma função simbólica plena que dificilmente será encontrada na utilização de outros materiais.

A aproximação da arquitetura com o homem através de um material que já é por ele estimado ajuda a criar uma identificação prazerosa e imediata com o lugar. A madeira é um material orgânico, caloroso, e sua utilização cria ambientes acolhedores, que refletem o caráter de lar. Um espaço no qual predomina o uso do material é convidativo à permanência.

Conforme Löbach (2001, p. 64), a função simbólica possibilita ao homem fazer associações com suas experiências passadas, e só será efetiva se for baseada na aparência percebida sensorialmente e na capacidade mental da associação de ideias com outros campos da vida do usuário. É através dos elementos estéticos que o material possui, como forma, cor, tratamento de superfície, entre outros, que a função simbólica se manifesta.

Quando existem dois produtos que se equivalem no valor funcional, a decisão de compra pode recair no valor simbólico. O julgamento sobre aquilo que parece melhor é determinado, em grande parte, de como o produto consegue preencher as expectativas do consumidor (BAXTER, 1998, p. 189).

Löbach (2001, p. 66) destaca também a importância que um determinado produto pode assumir para representar o status de uma classe de usuário. Quando um determinado grupo, o qual participa de uma esfera social bem definida, utiliza exclusivamente um tipo de produto ou material, esse se torna uma forma de representação do próprio status que o grupo possui. Portanto, é comum observar que determinadas companhias buscam nos materiais utilizados nas suas edificações e nos seus interiores uma forma de criação da identidade da empresa.

O simbolismo da madeira está sujeito a múltiplas associações, pelo simples fato de ela ter sido fartamente utilizada, tanto em humildes habitações, como em palácios. E é do arquiteto a tarefa de utilizá-la corretamente em cada caso particular. “O simbolismo do produto deve explorar faixas de consumidores e procurar os valores pessoais e sociais comuns a cada grupo específico de consumidores” (BAXTER, 1998, p. 190).

Portanto:

Valorize no ato de projetar com a madeira os aspectos simbólicos que já são inerentes a ela, proporcionando respostas sensoriais por parte do usuário. Trace uma imagem do estilo de vida dos futuros usuários do local para os quais irá elaborar determinado projeto; essa imagem deve refletir seus valores pessoais e sociais, além de representar o tipo de vida dessas pessoas.

4.6 PRINCÍPIOS E ELEMENTOS COMPOSITIVOS

A força de uma intenção projetual, sua função e a sua mensagem, dependerão dos princípios e elementos compositivos aplicados apropriadamente pelo arquiteto.

FIGURA 28 - Sauna Jordanbad em Biberach, Alemanha. Projeto de Jeschke Architektur&Planung



FONTE: ARCHDAILY, 2016.

Ching (2002, p. 319-320) afirma que uma obra de arquitetura não pode cumprir a sua função e transmitir a sua mensagem a menos que apresente um padrão de ordem, condição em que cada parte de um todo está apropriadamente disposta com referência a outras partes e ao seu propósito, de modo a produzir um arranjo harmonioso. Assim, princípios de ordem são considerados como recursos visuais que permitem que as formas e espaços variados e diversos de um edifício coexistam perceptiva e conceitualmente dentro de um todo ordenado, unificado e coerente.

Urssi (2006) relembra em sua dissertação de mestrado os fundamentos da linguagem visual, que foram elaborados na Bauhaus, como parte do curso de Johannes Itten, para estabelecer um vocabulário de elementos básicos (o ponto, a linha, a forma, a direção, o tom, a cor, a textura, a dimensão e o movimento) organizados em uma gramática compositiva de relações e contrastes (equilíbrio e instabilidade, simetria e assimetria, regularidade e irregularidade, simplicidade e complexidade, unidade e fragmentação, economia e profusão, minimização e exagero, previsibilidade e espontaneidade, atividade e êxtase, sutileza e ousadia, neutralidade e ênfase, transparência e opacidade, estabilidade e variação, exatidão e distorção, planura e profundidade, singularidade e justaposição, sequencialidade e acaso, agudeza e difusão, repetição e periodicidade). Esses elementos são a matéria-prima de toda informação visual que chega até os sentidos dos seres humanos.

Evidencia-se, assim, que a madeira, material orgânico e heterogêneo, com diferentes padrões, formas, tons, cores, texturas e escalas, além de possuir aspectos

simbólicos já inerentes a ela, pode ser aproveitada para desempenhar a função de elemento de composição no ambiente construído. Ela se apresenta como um material apropriado para múltiplas e experimentais relações entre os elementos visuais inerentes a ela, proporcionando ao arquiteto liberdade e diversidade de opções compositivas e criativas. Ao trabalhar com a madeira no espaço arquitetônico, todos os itens elencados nessa gramática compositiva de relações e contrastes oferecem ao arquiteto uma grande variedade de meios para alcançar a sua expressão visual particular.

O arquiteto, ao especificar a madeira, precisa ter em conta essa gramática compositiva, pois a maneira com que ela é trabalhada influi significativamente na percepção tátil e visual do conjunto. O padrão e a textura da superfície dependem da largura, da orientação e do espaçamento das tábuas, inclusive dos detalhes das juntas. Tudo depende da intenção projetual: se o profissional procura unidade, poderá dispor os elementos compositivos em madeira de modo a formarem um conjunto harmônico, sem nenhum componente supérfluo ou em discordância; se procura equilíbrio, poderá utilizar uma mescla de características próximas, como reunir tonalidades, texturas, formas ou cores próximas do material, o que será responsável pela sensação de estabilidade, ou não, oferecida por uma composição presente no campo visual; se procura simetria, poderá trabalhar com a distribuição e disposição igualadas de formas e características equivalentes do material, em lados opostos de uma linha ou plano divisores, ou em relação a um centro ou eixo; e assim por diante.

Pode-se trabalhar também com algum centro de interesse ou elemento dominante, ou seja, um elemento de destaque, de grande peso visual e/ou conceitual, para o qual se deseja atrair a atenção do observador ou mesmo que sobrepuje os demais. Há, ainda, alguns princípios compositivos que requerem atenção especial e que não foram mencionados diretamente por Urssi (2006). São eles: ritmo, proporção e escala.

O ritmo é obtido pela disposição dos elementos como, por exemplo, através da repetição de formas, pela proporção de tamanhos e por movimento de linhas de composição. Berriel (2009, p. 141-142) comenta que para os seres humanos há a necessidade de uma chave rítmica para compreender tempo e espaço, e que o arquiteto pode prever e trabalhar com essa ferramenta em seus projetos. A autora explica que ritmo é uma relação espacial e que não pode ser atingido pela simples repetição aritmética da mesma parte; precisa, no entanto, ser mantido pelos espaçamentos entre partes relacionadas, quer sejam semelhantes ou não, como na música.

Proporção é a correspondência entre os tamanhos dos elementos com o todo ou relacionados entre si. É determinada pela própria proporção humana em relação às coisas; já escala é a relação que se estabelece entre o tamanho dos espaços e as pessoas. Quando se pretende proporcionar uma escala humana ao ambiente construído, supõem-se espaços adequados às dimensões humanas.

O ritmo, a proporção e a escala de cada formato ou elemento possuem um impacto diferente na aparência geral da madeira enquanto material de construção. Nesse sentido, um padrão muito pequeno pode criar textura ao invés de ritmo. O resultado também poderá variar bastante com o uso da madeira na posição vertical ou horizontal, e/ou se foram utilizadas peças largas ou estreitas. As madeiras de resinosas e folhosas usualmente estão disponíveis em todas as classes de larguras e espessuras. “As espécies que não se desenvolvem muito produzem menor gama de tamanhos, e a oferta também pode ser mais limitada no que respeita às espécies exóticas importadas” (GIBBS, 2005, p. 36).

É importante que o profissional tome cuidado com a forma de aplicação do material no espaço, para que o seu efeito estético não seja prejudicado. Ching (2002, p. 284) explica que a percepção do ser humano das dimensões da arquitetura, de proporção e escala, é imprecisa, distorcida pela perspectiva e pela distância, bem como pelas tendências culturais, sendo, portanto, difícil de controlar e prever tal percepção de uma maneira precisa e objetiva.

Assim, dimensões físicas de comprimento, largura e profundidade da madeira utilizada não são as únicas condicionantes da proporção que o material assumirá no ambiente em que será colocado, sendo necessário, portanto, levar em conta que é o tamanho relativo a outras formas do contexto no qual está inserido que determinará a sua escala. A posição de uma composição que utiliza a madeira no ambiente também exige certo cuidado, pois o campo visual dentro do qual é vista permite diferentes perspectivas e variáveis que apresentam aspectos distintos aos olhos do observador, como pode ser observado nas figuras (FIGURAS 29 e 30). E todos esses aspectos precisam ser considerados, visto que cada um deles poderá provocar diferentes estímulos para o usuário.

FIGURA 29 - Composição com a madeira



FONTE: SEIDEL, 2008.

FIGURA 30 - Composição com a Madeira



FONTE: SEIDEL, 2008.

No revestimento de pisos a madeira costuma ser utilizada na forma de assoalho, com lâminas estreitas ou em tábuas largas, assim como no formato de tacos e parquetes, que são montados em diversos padrões geométricos. Para essa utilização, é importante salientar que o padrão visual criado de todo um espaço interno está diretamente relacionado com a textura física da madeira utilizada, tanto quanto a forma com que o material é instalado. É essa textura visual que comunica a natureza do material de piso e o caráter do espaço.

Para Ching (2006, p. 284), as leis da perspectiva também precisam ser consideradas nos revestimento de pisos, na composição dos painéis de vedação, nas tábuas e forros cujas dimensões geram linhas de força, afetando a percepção de seus padrões e tamanhos no ambiente interno, característica exemplificada nas figuras abaixo (FIGURAS 31 e 32). Assim, “um padrão em pequena escala muitas vezes pode ser visto como uma textura fina ou um tom misto e não como uma composição de elementos individuais de projeto”.

FIGURA 31 - Influência da perspectiva



FONTE: SEIDEL, 2008.

FIGURA 32 - Influência da perspectiva



FONTE: SEIDEL, 2008.

Quanto mais larga a tábua, mais visíveis se tornam as deformações da madeira, material que contrai no sentido da largura. Kalil (2011) explica que o coeficiente de dilatação linear das madeiras, na direção longitudinal, varia de $0,3 \cdot 10^{-5}$ a $0,45 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}$, assim, é 1/3 menor do que o coeficiente de dilatação do aço; na direção tangencial ou radial, o coeficiente fica na ordem de $4,5 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}$. Por essa razão, recomenda-se o uso de peças mais estreitas, alinhadas com a maior dimensão do ambiente, medidas que tornam as deformações naturais menos perceptíveis. Revestimentos com uma pequena escala são cheios de detalhes, a ponto de ser uma distração, o que aproxima o olhar. Tábuas largas têm um aspecto robusto e rústico. Faixas estreitas de piso possuem um aspecto inteiriço. E há também a dimensão decorativa. A madeira pode ser simplesmente selada, transmitindo suas características naturais, ou ser posteriormente tratada e pintada.

Portanto:

Utilize os fundamentos da linguagem visual, compostos por elementos básicos organizados em uma gramática compositiva de relações e contrastes, para alcançar sua expressão visual particular para o espaço arquitetônico. Considere a influência das leis da perspectiva, pois elas poderão afetar a percepção espacial de uma composição.

4.7 ASPECTO NATURAL

O uso da madeira permite aproximar o homem e a arquitetura ao ambiente natural, mimetizando características que são comuns a esse universo.

FIGURA 33 - Unilivre em Curitiba, Paraná. Projeto de Domingos Bongestabs



FONTE: UNILIVRE, 2016.

Provavelmente, uma das características simbólicas mais facilmente associada ao uso da madeira é a tentativa da aproximação do homem e da arquitetura com o ambiente natural. Nos edifícios projetados em meio a paisagens naturais a madeira é evidentemente utilizada para esse fim, pois se adapta de forma mais harmoniosa ao que a rodeia. Já num contexto urbano, o seu uso pode ajudar a fazer do espaço interno um contraponto ao caos da metrópole urbana externa, criando naquele ambiente um simulacro que remete a valores naturais não comuns à realidade circundante. Seu uso pode “dar um sentido de conectividade com a paisagem através de seu calor e naturalidade” (BELL e RAND, 2006, p. 109).

Há na prática arquitetônica predileção pelo que costumeiramente chama-se de honestidade dos materiais, situação na qual os elementos construtivos de um edifício são explicitados e não disfarçados. Além do mais, quanto mais o profissional é um entusiasta desse material, mais ele quer que suas particularidades apareçam e se destaquem. A noção de desonestidade, nesse caso, refere-se à falsidade, à farsa ou aos ornamentos desnecessários para se alcançar determinada intenção estética que não é própria àquele material; por exemplo, uma superfície pintada como se fosse madeira, revestimentos cerâmicos ou vinílicos que imitam suas características, entre outros.

Nesse sentido, a madeira em seu aspecto natural apresenta nós, veios, diferentes cores e texturas, atributos de sua heterogeneidade, que permitem ao arquiteto explorá-los diferenciadamente. É comum também empregá-la em uma edificação trabalhando de forma mais brutalista, geralmente no formato de troncos. Tal recurso aproxima o homem e seu espaço habitável à natureza. Ao circular pelo local, o usuário perceberá os signos que tendem a criar uma identificação prazerosa e imediata dos ambientes, remetendo a aspectos naturais. Normalmente tais edificações estão inseridas na proximidade de bosques ou florestas, aproximando o volume da construção à vegetação circundante. A mata acaba, por fim, servindo como pano de fundo para a composição arquitetônica.

Nessas obras o consumo de material costuma ser bastante elevado, visto a grande dimensão das secções das peças de madeira utilizadas. Para minimizar esse impacto, recomenda-se a utilização de elementos construtivos feitos com peças roliças de reflorestamento tratadas. Nas áreas de arquitetura e engenharia civil há amplo espaço para o emprego estrutural realizado com tais elementos. Conforme Brito (2010), a madeira roliça possui grande emprego nas construções civis, desempenhando a função de vigas, colunas, fundações, entre outras, apresentando a vantagem de não ser processada, como é o caso da madeira serrada. Ele esclarece também que a utilização da madeira de reflorestamento conta com espécies mais apropriadas ao mercado da construção civil, devido ao seu rápido crescimento se comparado ao das madeiras de lei, assim como maior adaptação às várias regiões que compõem o território brasileiro. Essa característica possibilita, ainda, o cultivo próximo aos grandes centros urbanos, contribuindo com a diminuição de custos de transporte, e a preservação de florestas nativas.

Uma utilização tecnológica aliada às técnicas construtivas corretas apresenta inúmeras vantagens para a escolha desse elemento construtivo. A resistência da madeira roliça, baixo peso, baixo consumo energético para processamento, sua disponibilidade e seu fácil manuseio fazem com que ela se torne um material competitivo e mais sustentável. Sua baixa densidade, se comparada a outros materiais, traz alívio às estruturas de fundações, permitindo também composições estruturais mais esbeltas devido à resistência do material. Sua disponibilidade, baixo consumo energético e fácil manuseio fazem com que os custos sejam reduzidos, que seja desnecessário o emprego de mão de obra altamente especializada e a execução seja efetivamente rápida (BRITO, 2010).

Brito (2010, p. 35-36) cita as seguintes vantagens para a madeira em sua forma roliça: melhoria da estabilidade, principalmente das espécies reflorestadas;

melhoria das características mecânicas, pois o material é deixado na sua forma natural e as fibras longitudinais não são cortadas como na madeira serrada (as peças apresentam maior resistência média, maior rigidez e menor variação que as peças serradas, devido à utilização eficiente de toda a seção transversal. Como principais desvantagens, devido às características geométricas, o autor cita: garantir a aquisição de peças retilíneas e a variabilidade dimensional (diminuição de 1% a 3%, por metro, da resistência ao momento fletor ao longo da peça referente à conicidade). Além desses cuidados, é recomendável, ao empregar peças roliças, o uso de conectores metálicos para soltar a madeira do piso, assim como tomar especial atenção nas interfaces com os materiais de vedação.

Vale destacar que, atualmente, o setor de preservação de madeiras no Brasil utiliza, sobretudo, o arseniato de cobre cromatado (CCA) e o borato de cobre cromatado (CCB) no tratamento preservativo, elementos nocivos à saúde humana. Métodos alternativos para o tratamento das peças de madeira são abordados em capítulo específico deste trabalho.

Portanto:

Empregue a madeira quando buscar aproximar o ambiente construído do natural, mesmo quando inserido no meio urbano. Considere suas características naturais, como nós, veios, diferentes cores e texturas, para compor esteticamente. Quando utilizar esse material de forma mais brutalista, no formato de troncos, utilize elementos construtivos feitos com peças roliças de reflorestamento tratadas.

4.8 ASPECTOS OPOSTOS

A madeira pode ser associada a aspectos rústicos ou urbanos, tradicionais ou modernos, simples ou requintados; tudo depende da proposta projetual e da forma com a qual ela será trabalhada.

FIGURA 34 - Casa de Campo Macacos em São Sebastião das Águas Claras, Brasil. Projeto de Ana Cristina Faria e Maria Flávia Melo



FONTE: ARCHDAILY, 2016.

Com a aplicação da madeira enfatizando o seu aspecto rústico ou até mesmo na sua forma natural, pode-se dar um efeito simbólico ao ambiente, que remete aos valores da vida no campo, da vida de pessoas simples. Esse conceito é bastante utilizado por ambientes comerciais, como hotéis e restaurantes, que buscam oferecer aos seus clientes um breve escapismo da vida agitada das grandes cidades.

Está, também, bastante presente na arquitetura de interiores, recriado em qualquer ambiente ou em qualquer tipo de habitação. Há diferentes modos de assumir a rusticidade, não é preciso transformar um ambiente urbano numa casa de fazenda. O caráter rústico é antigo, rural e o passado é evidenciado por marcas profundas e gastas, em que as imperfeições são vistas como belas. Nesse estilo, além da presença de outros revestimentos em pedras e tecidos naturais, normalmente há a madeira como um elemento padrão. Ela cumpre com o papel de acolhimento físico, de oferecer calor e bem-estar, pode ser aplicada a diferentes móveis e objetos. Quando combinadas com ambientes envidraçados, aproximam o interno e o externo.

Na obra que ilustra este capítulo (FIGURA 34), as arquitetas contrataram uma equipe de mão de obra especializada em construções com madeira, vinda do sul da Bahia, que seguiu a tradição construtiva das antigas fazendas de cacau e café do interior do Brasil e das construções sem arquitetos do interior do país. Nessa estrutura em madeira, por exemplo, não são encontrados parafusos ou ferragens aparentes:

todo o sistema é feito através de encaixes, entalhes, sambladuras e chapas internas (ARCHDAILY, 2016).

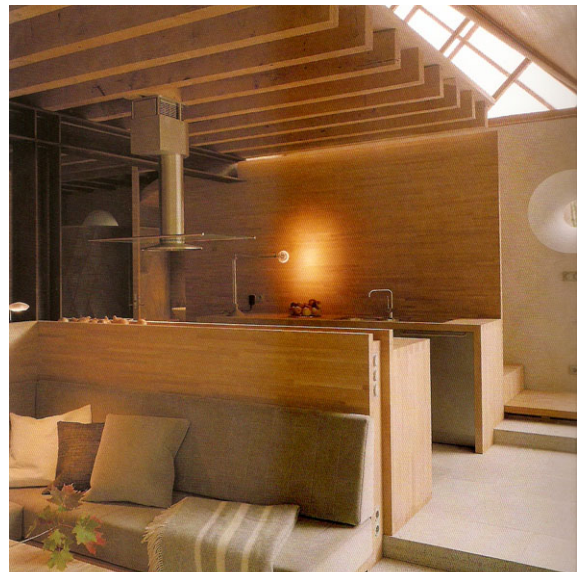
Mas um ambiente executado com o mesmo material também pode remeter a valores aristocráticos, de status, de tradição, através de um desenho que se revele sintomático do caráter de material nobre que a madeira representa. Parte do simbolismo que determinado objeto apresenta é devido justamente ao valor monetário que aparenta ter. Por exemplo, na residência Millhouse, projetada pelo grupo Wingardh Arkitektkontor e construída em Schonen, no sul da Suécia (FIGURAS 35 e 36), a madeira é utilizada em estado quase brutalista. Não apresenta acabamento superficial marcante, o que ajuda a enfatizar ainda mais o seu caráter natural. Mas essas peças, que poderiam transmitir ao ambiente uma característica de rusticidade, oferecem justamente o contrário, por terem sido executadas de forma rigorosa, herança da carpintaria nórdica. “A casa impressiona pela pormenorização perfeita, pelos acabamentos de primeira qualidade e pela combinação harmoniosa de madeira e pedra natural” (SEIDEL, 2008, p. 217).

FIGURA 35 - Millhouse - vista externa



FONTE: SEIDEL, 2008.

FIGURA 36 - Millhouse - vista interna



FONTE: SEIDEL, 2008.

A madeira trabalhada, que demonstra um detalhamento executivo minucioso, é facilmente associada a um custo elevado de produção, o que refletirá no local em que será empregada. Sua estrutura vigorosa e orgânica enobrece uma superfície, ajudada também pela associação do material com as construções e objetos rebuscados utilizados pela aristocracia no passado.

Em conjunto com outros materiais, a madeira revela uma força expressiva especial. Conforme a sua aplicação, pode dar um efeito áspero e tosco ou, como um móvel feito com precisão, ser agradável ao toque; pode transmitir dureza ou revelar as suas qualidades táteis (SEIDEL, 2008, p. 11).

Dentro do ambiente, segundo a forma como a madeira é utilizada, é possível transmitir o caráter final que toda a construção poderá assumir. Peças finas e leves passam a sensação de uma obra efêmera, provisória, sujeita às ações do tempo. Já peças maciças, de grandes dimensões e secções, remetem a uma condição de robustez, o que dá à obra o caráter de objeto perene.

Alexander *et al.* (2013, p. 1012-1013) comentam sobre o desconforto visual que pode ser propiciado por colunas e pilares de pequenas dimensões, pois essa sensação se baseia na realidade estrutural. Uma coluna fina e submetida a uma carga elevada tende a entrar em colapso por flambagem e os usuários do espaço poderiam perceber esse problema instintivamente. Entretanto, os autores alertam para os altos custos monetários (sem, todavia, tratar dos custos ambientais) que pilares maciços de madeira com grandes dimensões teriam.

Para contornar tal problema, podem ser especificados em projetos peças roliças de reflorestamento tratadas; estruturas mistas com outros materiais, como concreto-madeira ou aço-madeira e; revestimento em madeira, conferindo à estrutura a dimensão desejada pelo projetista.

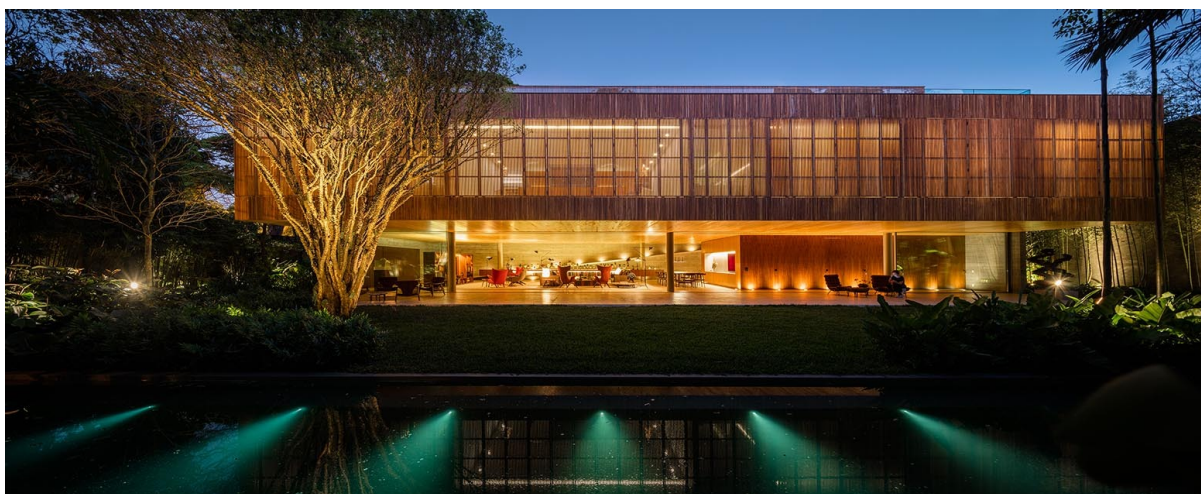
Portanto:

Evidencie seu aspecto rústico ou sua forma natural em projetos que pretendem um efeito simbólico que remeta aos valores da vida no campo, da vida de pessoas simples. Enfatize um detalhamento executivo minucioso do material, peças mais trabalhadas e rebuscadas, em projetos que pretendem um efeito simbólico de nobreza, de valores aristocráticos. Peças finas e leves passam a sensação de efemeridade; já peças maciças, de grandes dimensões e secções, transmitem o caráter de objeto perene.

4.9 ASPECTO CENOGRÁFICO

Uma importante característica estética que o uso da madeira proporciona ao ambiente construído é o aspecto cenográfico que o material traz, que é inerente a ele.

FIGURA 37 - Casa Rampa em São Paulo, Brasil. Projeto de Studio MK27



FONTE: ARCHDAILY, 2016.

A arquitetura cenográfica ou arquitetura cênica se ocupa especificamente do projeto e execução de instalações para espetáculos teatrais ou cinematográficos, gerando cenários internos ou externos. Entretanto, no contexto desta dissertação, será considerada como uma manifestação espacial que transita na linha tênue que existe entre a arquitetura e a arte, dando vida, movimento e, principalmente, conceito aos ambientes.

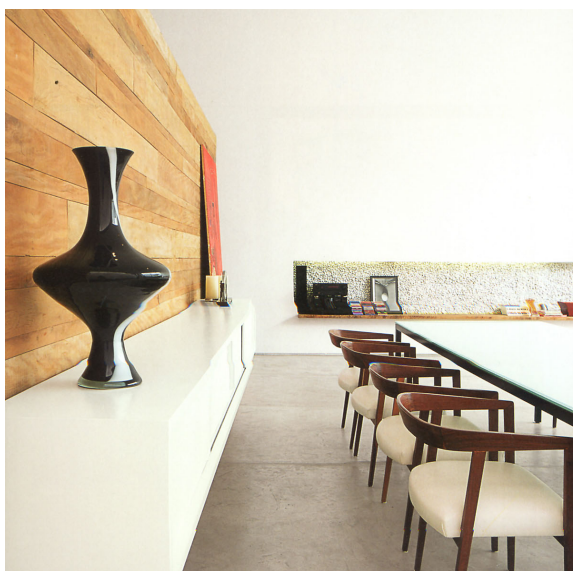
Nesses casos, a composição arquitetônica é definida a partir das concepções espaciais próprias da cenografia e o profissional pode valer-se de uma série de recursos plásticos para provocar os estímulos sensoriais do usuário. Não se busca apenas o décor do espaço, mas o espaço em si. A arquitetura cenográfica baseia-se em criar lugares mantendo a relação entre os signos e seus referentes, ampliando, consideravelmente, a conexão do espaço construído com os seus usuários. Há, nesses locais, a superposição de várias camadas de significação, criando leituras subliminares que ampliam seu próprio sentido, tornando-os mais flexíveis e livres para os vivenciar. A cenografia dos espaços é um recurso, por exemplo, bastante utilizado na arquitetura minimalista; esta se configura como um princípio projetual pelo qual se busca alcançar a máxima expressão formal, o máximo impacto intelectual ou sensorial, utilizando um número mínimo de meios.

Por exemplo, na residência Casa Cinza, projetada pelo arquiteto Isay Weinfeld em São Paulo (FIGURAS 38 e 39), são utilizadas tábuas horizontais de madeira de tombamento para revestir o volume da cozinha. Ao valer-se dessa característica de material rústico, comumente usada para transmitir a imagem de um ambiente simples, entretanto inserida em uma composição arquitetônica de aspecto refinado, além de trabalhar com as sensações que a textura da madeira proporciona, o acabamento

dado ao material acaba funcionando como um recurso plástico que contribui com um processo de conscientização valorativa que qualifica o local. Essa orientação adotada para o acabamento da madeira na concepção do ambiente é claramente de ordem estética, revelando as intenções do arquiteto de criar artifícios cenográficos que impressionem o usuário.

Como um cineasta ou um diretor de teatro, ele quer conduzir o visitante por uma sequência específica de experiências táteis, visuais e espaciais, que vai da introdução contida ao *gran finale* ou, ao menos, a um desenlace satisfatório (BARRENECHE, 2008, p. 4).

FIGURA 38 - Casa Cinza - vista interna



FONTE: BARRENECHE, 2008.

FIGURA 39 - Casa Cinza - vista interna



FONTE: BARRENECHE, 2008.

Assim como no espaço teatral e cinematográfico, a iluminação na arquitetura é peça fundamental. As próprias características naturais da madeira, como texturas e cores, ajudam a determinar se a iluminação artificial será direta ou indireta, qual o tipo de luz a ser utilizada, qual será a temperatura de cor, ou, ainda, se é necessário valorizar ou amenizar a luz natural incidente no local. Outro recurso utilizado para o revestimento de paredes é compor a superfície com diferentes espessuras de madeira, criando texturas, sensações táteis e visuais que podem ser intensificadas através do jogo de sombras e variações da luz natural ou da iluminação artificial direcionada.

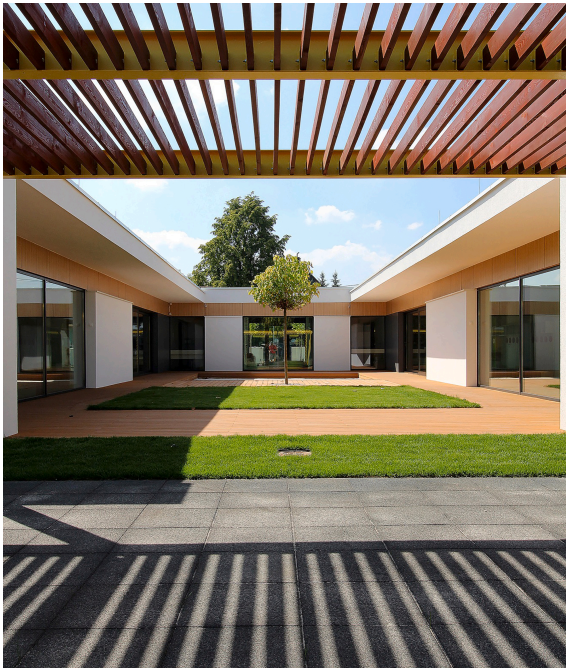
Já a percepção da luz, enquanto dimensão cromática, é sensorial e pode ser usada para expressar e intensificar a informação visual; por exemplo, o uso de iluminação direcionada num ambiente trabalhado com madeira de tom escuro poderá reforçar cenograficamente seu aspecto. O olho humano é sensível às radiações eletromagnéticas; entre o infravermelho e o ultravioleta, ele distingue as cores por seus

respectivos comprimentos de onda, definindo assim o espectro visível. As cores estão impregnadas de informação, agregando diversos significados associativos e simbólicos, os quais poderão contribuir numa determinada intenção cênica.

Relacionando-se à percepção da luz pelos usuários, Alexander *et al.* (2013, p. 1154-1157) comentam que a temperatura das cores de um recinto faz muita diferença em termos de conforto e desconforto e, para esse fim, os tons de terra seriam mais agradáveis. Eles dão essa denominação à cor da luz quente; a madeira natural, a luz do sol, as cores brilhantes são quentes e, por conseguinte, tons de terra. Portanto, os autores orientam para, sempre que possível, deixar os materiais em seu estado natural e adicionar cor suficiente para decorar e tornar a luz do ambiente alegre e aconchegante; ainda, aconselham escolher cores para as superfícies que, em conjunto com a cor da luz solar, da luz refletida e das lâmpadas artificiais, resultem em uma luz quente dentro dos ambientes.

Elementos construtivos executados com madeira espaçada umas das outras, como pergolados, caramanchões e venezianas de madeira, dão abertura e permissão a uma iluminação natural dinâmica, que proporciona um jogo de luzes e sombras, configurando a ambiência. O pergolado geralmente se integra com a aparência arquitetônica do restante da obra, podendo ser coberto por materiais transparentes, para evitar intempéries, ou ornamentados por trepadeiras e outras plantas que irão proporcionar maior sombreamento e conseqüente conforto térmico, além de contribuir ainda mais para o caráter cênico do ambiente que configura. O caramanchão, por sua vez, possui uso essencialmente paisagístico; tem como objetivo principal comportar as plantas e permitir que elas se desenvolvam sem empecilhos, de forma livre e a mais natural possível. Nesse sentido, contribuem para criar um cenário de aproximação com o ambiente natural.

FIGURA 40 - Pergolado estabelecendo jogo de luzes e sombras



FONTE: ARCHDAILY, 2017.

FIGURA 41 - Pergolado ornado com plantas trepadeiras



FONTE: DCOREVOCE, 2017.

Portanto:

Valha-se do aspecto cenográfico que a madeira traz, visto que características inerentes a ela, tanto simbólicas, como estéticas, podem ser aproveitadas para desempenhar a função de elemento de composição cenográfica, dando vida, movimento e, principalmente, conceito aos ambientes. Preocupe-se com a iluminação natural e artificial, tanto direta como indireta, que irá incidir sobre a composição com madeira; ela pode tanto intensificar, como amenizar suas características, como texturas e cores. Escolha cores para as superfícies que resultem em uma luz quente dentro dos ambientes. Elementos construtivos como pergolados, caramanchões e venezianas de madeira podem ser pensados como espaços cênicos.

4.10 FUNCIONALIDADE

As madeiras incorporam um conjunto de características técnicas e econômicas que permitem ampliar o escopo possível de trabalho.

FIGURA 42 - Canteiro de obras de uma construção em *wood frame*

FONTE: FRAME HOMES, 2016.

Durante a história da humanidade, o homem sempre encontrou na madeira um material propício ao desenvolvimento de suas atividades e, de certa forma, algo que facilitou a sua própria sobrevivência.

Conforme a definição de Löbach (2001, p. 58), “são funções práticas de produtos todos os aspectos fisiológicos do uso”. A função prática diz respeito à capacidade em atender a uma determinada necessidade de uso. Uma cadeira, por exemplo, deve ser suficientemente confortável e segura para qualquer um que decida usá-la; já um cortador de grama deve, antes de tudo, cortar bem o gramado. Nesse sentido, a função prática dos produtos pode ser avaliada segundo a sua usabilidade.

Para o homem, é natural associar a madeira a funções práticas, cotidianas. Primeiramente, vale destacar que ela é um material durável, tanto para edificações residenciais, como comerciais e institucionais, sendo, por si só, uma vantagem prática optar por empregá-la. Como Berriel (2009, p. 55) apontou em sua tese de doutorado, grande parcela da população brasileira associa a madeira à ideia de pobreza, transitoriedade e fragilidade, vinculando a imagem que tem do material com os barracos das favelas e com as formas e escoras para concreto, com seu caráter provisório. A madeira, quando sua instalação e manutenção é feita de forma adequada, pode apresentar uma vida útil duradoura. O único fator que deve ser controlado é a sua exposição às intempéries. Além disso, preservativos modernos ajudam a aumentar a sua durabilidade natural. Problemas ocasionados pelo apodrecimento das peças e pela presença de organismos xilófagos são, geralmente, resultantes da falta de atenção aos detalhes construtivos, expondo o material à umidade e à luz solar, ou da inadequada especificação (CEI-BOIS, 2006).

Vale destacar que o processo de escolha e especificação da madeira mais adequada a cada tipo de uso, que na visão deste autor muitas vezes se pauta pelo

conservadorismo e pela falta de informação, necessita ser criterioso; precisa incorporar ao seu dia a dia espécies alternativas, com propriedades semelhantes às das espécies tradicionais. Uma madeira mal especificada pode onerar bastante uma obra, visto que estará sujeita, por exemplo, a esforços ou ao ataque de organismos xilófagos que diminuirão consideravelmente sua vida útil, necessitando posterior substituição de todo o material.

Crítérios econômicos também desempenham importante função prática, já que a madeira apresenta um bom custo-benefício. Em relação a outros materiais industrializados, o valor inicial para a madeira é mais elevado; entretanto, tende a diminuir ao longo da vida útil do material. Além disso, uma obra toda construída em madeira garante um canteiro de obras limpo e a construção é rápida.

Um estudo conduzido por Dunn (2015), Diretor Executivo da *Timber Development Association*, comparando a economia proporcionada por diferentes sistemas *wall framing*, indica que, em termos de despesas diretas de construção, sistemas de madeira foram a solução mais rentável em todo o escopo analisado.

TABELA 6 - Economia de sistemas *wall framing* em madeira

Tipo de Edifício	Custo da Solução Estrutural		Economia dos Sistemas de Madeira
	Madeira	Tradicional	
Edifício de escritórios 7 pavimentos	LVL \$ 6.387.913	Concreto \$ 7.289.508	-\$ 901.595 (-12,4%)
Edifício de apartamentos 8 pavimentos	CLT \$ 5.015.705	Concreto \$ 5.126.183	-\$ 110.478 (-2,2%)
Centro de cuidado ao idoso 2 pavimentos	Wood frame \$ 697.020	Steel frame \$ 809.620	-\$ 112.600 (-13,9%)
Galpão industrial Térreo	Wood portal frame \$ 216.342	Steel portal frame \$ 238.861	-\$ 22.519 (-9,4%)

FONTE: DUNN, 2015.

A madeira é um material estruturalmente eficiente. Comparativamente, a madeira estrutural (no exemplo em questão, utilizando-se *pinus radiata*) possui uma relação resistência / peso 20% maior do que o aço e é de quatro a cinco vezes mais resistente à compressão do que o concreto não armado (FORESTS AND WOOD PRODUCTS RESEARCH AND DEVELOPMENT CORPORATION, 2005). Entretanto, apesar das características que indicam que a madeira é um material de construção funcionalmente vantajoso, cabe ao projetista conhecer, especialmente, suas principais desvantagens, as quais precisam ser cuidadosamente levadas em consideração e

evitadas, na medida do possível, através de inovações técnicas e soluções projetuais, avaliação que é consoante à de Berriel (2011, p. 59).

Madeira é material anisotrópico e higroscópico. Material anisotrópico pois suas propriedades variam significativamente conforme a direção das fibras. Higroscópico pois respira, incha quando está úmido, retrai-se quando o ar está seco, movimenta-se. Tudo isso deverá ser considerado durante o processo de projeto e construção. E, o componente humano, sensível e capaz de tomar decisões, é fundamental nesse processo, o arquiteto, o engenheiro, o mestre de obras e o carpinteiro.

Em seu estado natural possui grande variabilidade, sendo um material fundamentalmente heterogêneo, anisotrópico e higroscópico. Mesmo depois de transformada, quando já empregada na construção, a madeira é muito sensível ao ambiente, aumentando ou diminuindo de dimensões com as variações de umidade. Suas dimensões são limitadas, restritas às particularidades da matéria-prima original. É vulnerável aos agentes externos e a sua durabilidade é limitada, quando não são tomadas medidas preventivas, além de ser um material combustível.

Processos de aperfeiçoamento foram desenvolvidos e permitiram anular as características negativas que a madeira apresenta no seu estado natural, assegurando a ela condições para satisfazer as exigências de técnicas construtivas recentemente promovidas. A degradação das suas propriedades e o aparecimento de tensões internas decorrentes de alterações da umidade são anulados pelos processos desenvolvidos de secagem artificial controlada. A deterioração da madeira em ambientes que favoreçam o desenvolvimento dos seus principais predadores é contornada com os tratamentos preservativos. A marcante heterogeneidade e anisotropia próprias de sua constituição fibrosa orientada, assim com a limitação das suas dimensões, são resolvidas pelos processos de transformação nos derivados da madeira, tais como laminados, contraplacados, Glulam, CLT e LVL.

De acordo Berriel (2009, p. 132-133), uma arquitetura pragmática e funcional buscará entre as técnicas de mercado os sistemas que minimizem o consumo de energia, o uso preciso de materiais leves, junto a recursos passivos que aproveitem as características do terreno, a concepção de sistemas construtivos para montagem a seco, que prevejam o possível desmonte dos componentes, a eliminação de acabamentos aderentes, como vernizes ou pinturas, etc.

Portanto:

Empregue a madeira em estruturas e vedações, não só como um elemento de revestimento; ela é um material de construção bom e econômico, com grande

usabilidade. Conheça as propriedades e características da madeira a ser utilizada, possibilitando especificar corretamente o material mais adequado a cada tipo de uso. Conheça quais são as principais desvantagens da madeira, as quais precisam ser cuidadosamente levadas em consideração e evitadas, na medida do possível, através de inovações técnicas e soluções projetuais.

4.11 EMPREGABILIDADE, TRABALHABILIDADE E MANUTENÇÃO

A madeira é um material acessível, versátil e de fácil manuseio, que permite manipulação através ferramentas simples, tanto por artesãos e carpinteiros, como por usuários.

FIGURA 43 - Diferentes empregos da madeira



FONTE: Adaptado de HERZOG *et al.*, 2008.

Alexander *et al.* (2013) orientam a empregar materiais que sejam fáceis de cortar e modificar no canteiro de obras. A madeira atende a esse requisito, além de apresentar características técnicas que a definem como um material adequado ao uso na construção civil. Conforme Bauer (2001) e Molina e Calil Junior (2010), ela oferece boas condições naturais de isolamento térmico, característica que em um bom projeto é fundamental para assegurar o conforto do usuário. Possui elevada relação resistência/peso e boa resistência mecânica. Foi o primeiro material empregado capaz de resistir tanto a esforços de compressão, como de tração. Resiste excepcionalmente a choques e esforços dinâmicos, sendo que sua resiliência permite absorver impactos que romperiam ou estilhaçariam outros materiais. Além dessas propriedades, é um material apropriado para a pré-fabricação de elementos, facilitando o transporte das peças e posterior montagem na obra. “As construções de madeira são geralmente feitas na oficina, podendo ser transportadas facilmente para locais afastados, onde são montadas em pouco tempo” (SEIDEL, 2008, p. 11).

Tais características definem a madeira como um material apropriado a ser empregado na construção civil. Ela possui também boa durabilidade e, se instalada corretamente, não acarreta despesas excessivas com limpeza, manutenção e reparos, além de permitir ligações e emendas fáceis de executar. “Tem custo reduzido de produção, reservas que podem ser renovadas e, quando convenientemente preservado, perdura em vida útil prolongada à custa de insignificante manutenção” (BAUER, 2001). Além disso, a madeira apresenta uma boa relação custo-benefício. O valor inicial de aquisição e instalação para a madeira é um pouco mais elevado frente a outros materiais industrializados, porém diminui ao longo da vida útil do material.

A madeira é também um elemento construtivo bastante versátil, podendo ser utilizada em diferentes funções na edificação e admitindo diversos usos e acabamentos. Estruturalmente, encontra-se em pilares e vigas ou então no madeiramento de telhados. Desde que possua o devido tratamento preservativo, permite ser empregada em espaços abertos ao tempo, fachadas e áreas externas, assim como aplicada em decks, revestimentos ou pergolados. Pode, ainda, ser usada para a decoração de interiores. Nesse caso, suas possibilidades são as mais variadas. É capaz de ser utilizada como piso, na forração de paredes ou tetos, em mobiliários, portas, janelas e rodapés.

A maior ou menor facilidade em trabalhar com a madeira é denominado trabalhabilidade. Para cada espécie e para cada operação de usinagem ou acabamento mecânico, ou mesmo químico, há um comportamento mais ou menos favorável. Moreschi (2012) explica que a massa específica constitui uma das propriedades mais importantes da madeira, pois dela dependem a maior parte de suas propriedades físicas e tecnológicas, servindo na prática como uma referência para a classificação da madeira. Em regra geral, madeiras pesadas são mais resistentes, elásticas e duras que as leves. Porém, em paralelo a essas vantagens, são de mais difícil trabalhabilidade e apresentam maior variabilidade.

Em geral, a dureza da madeira também é uma propriedade indicadora da sua trabalhabilidade. Dureza pode ser definida como a resistência requerida para um corpo sólido penetrar em outro por meio de esforço, ou como a resistência oferecida pelo material testado à penetração de certo dispositivo (esfera, agulha, cilindro, etc). É uma característica importante para, por exemplo, aparelhos de esporte, entalhes e revestimentos de pisos (MORESCHI, 2012).

Esse autor ainda comenta que o teor de umidade da madeira também está relacionado com a trabalhabilidade. Entretanto, com exceção de melhorar essa característica e da maior resistência ao choque em madeira com maior teor de

umidade, esse material fica mais fraco com o seu aumento. Assim, a influência de defeitos da madeira é acentuada naquelas com altos teores de umidade. Entretanto, um defeito deve sempre ser considerado em relação à utilização final da madeira, pois o que pode ser considerado indesejado em um caso, poderá ser almejado em outro. A exemplo disso, pode ser citada a madeira com grã irregular. Ela é de difícil trabalhabilidade, mas poderá ser valorizada no ponto de vista ornamental, pelos desenhos e variações na reflexão da luz incidente nesse material (MORESCHI, 2012).

Alexander *et al.* (2013) reforçam que os materiais são bem empregados quando podem ser reparados com o mesmo tipo de material e a conservação se torna contínua à edificação original. “Além disso, a conservação das edificações é mais bem-feita se ela for fácil e se os próprios usuários puderem fazê-la, sem precisar contar com trabalhadores especializados ou equipamentos especiais.”

FIGURA 44 - Manipulação da madeira



FONTE: L'ATELIER DES MOULINS, 2016.

Ao definir projetar com a madeira, arquitetos e engenheiros precisam conhecer as espécies mais apropriadas, considerar fatores como a localização do empreendimento e os agentes biológicos aos quais a construção será exposta, assim como se preocupar com os detalhes dos sistemas de proteção e construtivos da obra. Isso é fundamental para evitar futuras deteriorações ocasionadas pela ação do tempo e o ataque de fungos e insetos, diminuir necessidades de manutenção e, conseqüentemente, prolongar a vida útil da edificação.

Uma vantagem que a madeira apresenta é o espaço de manobra que ela dá para a experimentação. O material “tem facilidade de aperfeiçoamento e simplicidade de ligações: pode ser trabalhado com ferramentas simples” (BAUER, 2001, p. 438). Pode ser produzido em peças de grandes dimensões, as quais podem ser

rapidamente desdobradas em peças pequenas e delicadas. Dessa forma, por apresentar custos de processamento mais baixos que outros materiais utilizados na construção civil, ela possibilita um grande número de expedições criativas.

Ainda, optar pelo uso da madeira pode beneficiar trabalhadores locais. Muitas vezes esse tipo de construção é realizado no próprio local da obra ou os componentes pré-fabricados são produzidos localmente. Logo, escolher a madeira significa apoiar o emprego para carpinteiros e artesãos da região. Isso ajudaria, inclusive, na proximidade do usuário com os executores, facilitando o contato quando houver necessidades de reparos ou operações de manutenção.

Para Alexander *et al.* (2013, p. 961), “a filosofia fundamental por trás do uso das linguagens de padrões é que as edificações devem ser adaptadas de maneira única às necessidades de seus usuários e lugares; e que o projeto das edificações deve ser um tanto informal e fluido, de modo a atender a estas sutilezas.”

Um exemplo para a utilização da madeira como material de revestimento, coerente com as diretrizes propostas por Alexander e já bastante difundidas dentro do mercado da construção, é o uso de pisos de madeira do tipo taco e parquet, além de lambris de madeira para forro. Eles são de fácil instalação e manutenção, permitindo a substituição apenas de peças danificadas em pequenas áreas ou a restauração completa com o lixamento do revestimento. Assim, o revestimento poderá receber manutenção de rotina continuamente ou ser completamente restaurado, sem a necessidade de substituição do material.

Essa linha de raciocínio também é compartilhada por Hertzberger (1996, p. 148). Para esse autor, o essencial é chegar a uma arquitetura que não seja perturbada a ponto de perder sua identidade no momento que os usuários decidirem dar-lhe um uso diferente daquele que foi originalmente concebido pelo arquiteto. E, de maneira ainda mais contundente, o autor sentencia que a arquitetura deveria incentivar seus usuários que a influenciassem, sempre que possível, não apenas para reforçar a sua identidade, mas, especialmente, para realçar e afirmar a identidade de seus usuários.

Portanto:

Utilize a madeira em seus projetos, um material que permite operações de manutenção feitas pelos próprios usuários, não sendo necessariamente indispensável contar com trabalhadores especializados ou equipamentos especiais. É um material que dá, também, espaço de manobra para a experimentação criativa. Especifique revestimentos que permitam reparos em pequenas áreas, como pisos de madeira, do

tipo taco e parquet e lambris para forro, facilitando a manutenção de rotina, assim como a recuperação completa do material.

4.12 SISTEMATIZAÇÃO CONSTRUTIVA

É essencial repensar e criar sistemas construtivos que aliem qualidades técnicas e plásticas e, principalmente, estejam comprometidos com o meio ambiente.

FIGURA 45 - Edifício Illwerke Zentrum Montafon em Vandans, Áustria. Projeto de Architekten Hermann Kaufmann



FONTE: ARCHDAILY, 2017.

Antes de abordar diretamente a sistematização construtiva, é necessário analisar criticamente as orientações estabelecidas por Alexander e sua equipe na obra *Uma Linguagem de Padrões*, visto que o conceito linguagem de padrões serve justamente como unidade de análise para este trabalho. Para Alexander *et al.* (2013, p. 943), questões de engenharia jamais deveriam impor a forma de uma edificação, sendo que os elementos estruturais precisam ser distribuídos de acordo com os espaços habitáveis da edificação, nunca o contrário. Um pouco à frente, esses autores são ainda mais rigorosos. Para eles, a prática corrente de se especificar as plantas de uma edificação por meio de um projeto executivo prejudica as edificações, sendo que as

necessidades do próprio desenho alteram as plantas, tornando-as mais rígidas e transformando-as no tipo de projeto que possa ser desenhado e mensurado (ALEXANDER *et al.*, 2013, p. 989). O autor é crítico também às atitudes por vezes bastante impositivas e pretensiosas por parte de arquitetos e urbanistas que tentam condicionar determinado comportamento humano a uma solução de projeto previamente estabelecida, algo que acaba fracassando com a vivência natural do espaço, dada posteriormente. Para ele, a arquitetura não pode ser outra coisa se não o interesse pela vida cotidiana.

Primeiramente, vale destacar que na época que essa obra foi escrita, questões relacionadas ao impacto ambiental do setor da construção civil não eram tão prementes quanto hoje. Além disso, é necessário fazer uma distinção entre o conceito de industrialização e o que aqui intitulo como mecanização da construção. Entende-se que a principal crítica dos autores é direcionada à mecanização dos processos construtivos, no qual os profissionais tornam-se reféns das demandas técnicas e prejudicam o seu trabalho, oferecendo soluções pobres e monótonas, colocando questões de ordem executiva à frente das necessidades humanas dos usuários do espaço. Nesse processo, acabam sacrificando a boa arquitetura.

Berriel (2009, p.189) define a industrialização como um conceito operacional que abrange o volume e a continuidade da produção, a redução da variedade e a pré-fabricação. É todo o processo que resulta na produção de elementos construtivos idênticos e de maneira seriada, ou seja, quando a multiplicidade de um determinado elemento é promovida com o auxílio de máquinas. Existe industrialização quando se supera o erro incontrolado, típico do artesanal, para chegar ao estudo sistemático da montagem e das tolerâncias na elaboração. Portanto, o ato que a define é um ato de vontade, quando se opõe ao objeto único, artesanal, o princípio de série e de multiplicidade. Através do desenvolvimento de sistemas de construção fechados ou abertos, projetos modelo ou projetos-tipo, componentes e sistemas construtivos, é permitida a possibilidade de construir arranjos ricos e variados, perfeitamente adequados às necessidades dos usuários, às funções que acomodam e às aspirações plásticas de seus criadores.

A industrialização na construção é um processo irreversível. Para um desenvolvimento mais sustentável, considerando as necessidades do presente, sem com isso comprometer o atendimento às necessidades das gerações futuras, é necessário haver uma produção sustentável, na qual a utilização e a extração de componentes de matérias-primas sejam realizadas de forma a minimizar, o tanto quanto forem possíveis, o desperdício e a geração de resíduos. Berriel (2009, p. 224)

considera que o “resíduo faz parte de uma maneira de pensar linear, cartesiana, em que se considera para análise apenas parte do processo, sem enxergar o antes e o depois, o que não torna viável a vida humana na terra em condições satisfatórias”. De acordo com Sayegh (2005), o futuro da construção civil “está diretamente ligado a um aumento de qualidade, que pressupõe diminuições de custos, prazo e desperdícios”. Para ela, a resposta para essa questão encontra-se exatamente na industrialização, através do “emprego de pré-fabricados, que são elementos construtivos produzidos de forma industrial e em larga escala, sempre fora de sua posição definitiva de utilização e com economia de tempo e material.”

Tratando-se especificamente da madeira, Bittencourt e Hellmeister (1995) avaliam que o reconhecimento de que um sistema construtivo que faça uso desse material requer uma nova prática técnica, refletindo nas formas e nos produtos da prática arquitetônica e rompendo com os sistemas de construção convencionais e tradicionais em madeira. Berriel (2011, p. 39) e Seidel (2008, p. 10) concluem que essas construções permitem uma fragmentação em partes dissociáveis, portanto precisam ser pensadas (e conseqüentemente montadas) a partir de peças. Um arquiteto que use madeira tem, essencialmente, de construir de forma mais precisa e de ter muita atenção aos pormenores. É necessário enxergar as partes de maneira sistêmica, perceber de que maneira podem ser dispostos os montantes da estrutura, os vãos gerados, a quantidade de peças envolvidas, as ligações entre as partes, o que é diferente do raciocínio necessário para se pensar a arquitetura de concreto e as alvenarias monolíticas por natureza.

Em um sentido mais psicológico, Hertzberger (1996, p. 242-243) analisa a importância de se mostrar como as coisas funcionam, deixando cada elemento falar por si próprio, no que se refere à sua função em um todo maior. Ele diz que, ao dar independências às partes componentes, essas não só adquirem mais identidade, graças à expressão de sua função específica dentro do todo, como ainda se dá mais atenção às suas junções e encontros. A ênfase se desloca dos objetos para aquilo que os liga, para as suas relações. E esse entendimento pode intensificar a consciência dos usuários a respeito dos fenômenos que compõem o ambiente construído.

Sayegh (2005) explica que o projeto de arquitetura que pretenda à produção racionalizada e a pré-fabricação precisa “dispor de subsistemas coordenados entre si e de sistemas abertos de fabricação, que possam gerar inúmeras soluções a partir de coleções restritas de componentes, o que viabiliza a economia de escala”. O pensamento teórico que embasa essa forma sistêmica de projetar é denominado,

segundo Bittencourt (1995), Sayegh (2005) e Berriel (2009), de metaprojeto ou *metadesign*.

Metaprojeto é descrito como planejamento do projeto ou projeto sobre o ato de projetar, sintetizando a ideia de que ele “conduz a um ordenamento do *projetar*, através da apropriação de metodologias adequadas” (BERRIEL, 2009, p. 205). O metaprojeto construtivo organiza e coordena os sistemas e subsistemas e estabelece regras de posição, intercambialidade e interfaces, até entre produtos de fornecedores diferentes. Portanto, o ideal é que o conceito de modulação, repetição e racionalização balize a concepção de um projeto, desde o início, sendo então integradas e devidamente compatibilizadas com as propostas dos especialistas das demais disciplinas. É dessa maneira que o perfil do arquiteto, como coordenador geral do processo, consolida-se. Projetar nos moldes tradicionais para depois transformar uma parte da construção em pré-fabricada, resulta em perdas de dinheiro, tempo e eficiência (SAYEGH, 2005 e BERRIEL, 2009).

Por causa desse princípio básico de fragmentação em partes, passíveis de serem unidas e articuladas entre si, e também por sua leveza, a madeira é um material com vocação para pré-fabricação. Ela permite que se produzam peças ou componentes construtivos em série e, posteriormente, as edificações sejam apenas montadas no canteiro, eliminando a necessidade de cortes e ajustes, e possibilitando obras secas e de montagem rápida, com redução considerável de tempo e do emprego de materiais com dimensões indeterminadas, como as argamassas. Os elementos construtivos pré-fabricados poderiam basicamente ser transportados até o local onde a obra está sendo feita e montados já na posição correta, por uma mão de obra tecnicamente qualificada.

É importante pensar sistemas construtivos vinculados à modulação e à coordenação dimensional, capazes de ordenar e racionalizar a confecção das peças e dos componentes construtivos, aplicando-se ao projeto e à construção de edificações de todos os tipos. A modulação melhora o entrosamento entre projetistas, fabricantes de materiais e executores da obra, pela adoção de parâmetros comuns, facilitando a coordenação do projeto e a manutenção do edifício. Essa ordenação e racionalização efetiva-se, principalmente, pela adoção de uma medida de referência, considerada como base de todos os elementos constituintes do objeto a ser criado e que influencia a concepção do objeto arquitetônico. É essencial, portanto, que essa base e seus múltiplos sejam eficientes para a conformação de espaços arquitetônicos coerentes com a escala humana, que tenham uma relação com o modo de viver e a personalidade das pessoas. Caso esse critério não seja efetivamente alcançado, pode-

se acabar limitando a variedade de projetos e induzindo a uma padronização das soluções, o que se torna um empecilho frente à diversidade de necessidades reais.

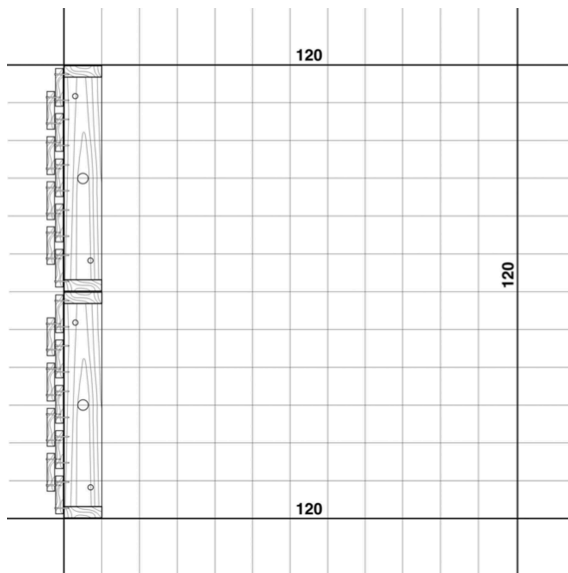
Através da experiência profissional deste autor, considera-se uma medida eficiente o módulo de 120cm. Esse módulo, além de ser útil na configuração de ambientes aprazíveis aos usuários, é adequado à grande parcela dos elementos construtivos fabricados em nosso país, assim como à norma ABNT NBR 15873:2010 - Coordenação modular para edificações -, que especifica como padrão a medida de 100mm (10cm) para módulos básicos, além de definir os termos e os princípios da coordenação modular para edificações. Portanto, sistemas, peças-sistema, componentes e elementos construtivos que tiverem suas medidas (dimensões exatas e tolerâncias) relacionadas a essas bases e que possam ser fornecidos por um grande número de fabricantes, serão mais eficientes e econômicos e permitirão a realização de uma certa variedade de projetos.

Segundo Oliveira e Pinto (2015), sistemas pré-fabricados em madeira são uma das alternativas de menor impacto ambiental vigentes no ramo da construção civil, embora essa técnica construtiva ainda não seja muito difundida em nosso país. Do ponto de vista da concepção arquitetônica, o projeto elaborado fazendo uso da madeira se inclina favoravelmente para a racionalização construtiva, flexibilidade, modulação. Embora ainda pouco conhecida pelos projetistas, tecnologias que fazem uso da madeira possibilitam a execução de obras com grandes vãos, fazendo uso de um menor volume de material, além de apresentar bons indicadores de desempenho térmico e acústico. Por exemplo, painéis em CLT oferecem a mesma resistência que um equivalente de concreto, mas são significativamente mais leves, criando benefícios óbvios.

Adotando essa linha de pesquisa, a tese apresentada por Andrea Berriel (BERRIEL, 2009) teve como objetivo principal investigar e refletir sobre o ato projetual de arquitetura, como um todo, e o metaprojeto construtivo (principalmente o uso de retícula projetual e modelos de categorias). A partir daí a autora propôs soluções de projeto de componentes constituídos por peças curtas (com comprimentos inferiores a 70 cm), de madeira maciça, para paredes, produzidas dentro de um esquema de pré-fabricação aberto que permite, que se construa diversas longitudes e alturas com apenas quatro componentes para paredes de vedação e/ou estruturais, passíveis de serem montadas a seco. Por fim, a viabilidade do sistema foi demonstrada através da construção de protótipos com três espécies: uma nativa local, a bracatinga (*Mimosa scabrella*); uma exótica de reflorestamento, o pinus (*Pinus sp.*); e uma nativa amazônica, o ipê (*Tabebuia sp.*).

Uma breve revisão histórica revela que sempre houve a preocupação em encontrar metodologias de projeto mais eficientes, e como projetar implica em escolher previamente materiais e estes têm tamanhos (longitudes, alturas e espessuras), qualquer tentativa de racionalizar o projeto arquitetônico estará inevitavelmente atrelada à procura por medidas e mais do que isto, relação entre medidas (...) É preciso que se desenvolva a prática de um projeto teórico, crítico e organizativo das possíveis combinações e associações dos componentes existentes e também encarar a possibilidade de interagir com a indústria, propondo novos componentes que agreguem qualidade ao projeto e à construção. Enfim, organizar e catalogar as possibilidades e com isso desenvolver um metaprojeto que colabore de maneira positiva com todos os objetivos de projeto. Este é o passo natural do desenvolvimento industrial da construção (BERRIEL, 2009, p. 219-220).

FIGURA 46 - Exemplo de retícula projetual utilizando os componentes construtivos propostos por Berriel



FONTE: BERRIEL, 2009.

FIGURA 47 - Painéis de bracinga prontos e unidos constituindo 1 m² de parede



FONTE: BERRIEL, 2009.

A madeira é um material renovável e que gera menos impacto ambiental, se comparada com outros materiais de construção, além de apresentar boas características técnicas e se adaptar bem aos processos de pré-fabricação. Entretanto, conforme já mencionado nesta dissertação, há pouca expressividade da arquitetura de madeira no Brasil, decorrente, essencialmente, da ausência de domínio das técnicas, dos métodos e dos processos da tecnologia da madeira por parte dos projetistas; técnicas tradicionais de construção avessas à inovação tecnológica; um corpo normativo capaz de subsidiar o uso da madeira visando a qualidade do produto; e trabalhadores capacitados atuando na área. É essencial, portanto, repensar e criar sistemas construtivos que aliem qualidades técnicas e plásticas e, principalmente, estejam comprometidos com o meio ambiente.

Portanto:

Ao trabalhar com a madeira, reflita o ato projetual e busque otimizar o processo de sistematização construtiva, baseando-se, principalmente, em três critérios: qualidade, inovação tecnológica e sustentabilidade. A madeira é um material renovável com vocação para pré-fabricação de peças e componentes, e o compromisso com a qualidade precisa ser função precípua para o desenvolvimento de tecnologias construtivas.

4.13 CONFORTO TÉRMICO

A madeira é um isolante térmico natural. Composições de painéis de vedação possibilitam o incremento da resistência térmica do conjunto.

FIGURA 48 - Torres de Madeira Moholt em Trondheim, Noruega, executadas em CLT. Projeto de MDH Arkitekter



FONTE: ARCHDAILY, 2017.

O consumo de energia de um edifício é dependente das características da sua envoltória, a qual tem a função de atuar como mediadora entre o exterior e o interior, controlando as condições ambientais internas. Quanto mais eficiente for esse controle, menor será a necessidade de energia adicional para manter internamente condições adequadas de conforto ambiental. Portanto, o desempenho térmico das paredes externas representa fator chave para aumentar a eficiência energética do setor da construção civil e reduzir as emissões de gases de efeito estufa. Nesse sentido, a

envoltória dos edifícios tem que ganhar inteligência: precisam interagir com o ambiente circundante, gerando possibilidades cambiantes de luz, ar e calor.

Schmid (2005, p. 219-220) esclarece que o calor pode ser latente - porção de energia necessária para mudar o estado físico da matéria - ou sensível - aquele transferido entre duas porções de matéria com diferença de temperatura. Existem três mecanismos essenciais de transporte do calor sensível: a radiação, a convecção e a condução. A transmissão de calor por condução é característica do transporte através dos sólidos.

O isolamento térmico é, certamente, uma das melhores maneiras de reduzir o consumo de energia relacionado ao aquecimento no período do inverno e à refrigeração no verão. Os materiais de isolamento desempenham um papel importante nesse cenário, uma vez que a seleção do material correto, a sua espessura e a sua posição, permitem obter boas condições de conforto térmico interior e uma economia de energia adequada.

Uma das características físicas da madeira é apresentar baixa condutividade térmica, logo é um isolante térmico natural, tanto que é comumente utilizada em revestimentos de pisos, em áreas de lazer ao ar livre, ou utensílios que entrarão em contato com temperaturas adversas, como cabos de panelas e palitos de fósforo. De acordo com Mady (2008), basicamente a madeira é um mau condutor térmico em consequência da constituição e organização do seu tecido xilémático. As células que compõem a madeira contêm elevada proporção de celulose, que é caracterizada como um mau condutor. Além disso, a estrutura do xilema permite o aprisionamento de inúmeras massas de ar em seu interior, funcionando como um conjunto isolante. Além disso, a condutividade térmica, para qualquer espécie, depende do peso específico e do teor de umidade contido na peça de madeira. Quanto mais alto o peso específico e a umidade, maior será a capacidade da madeira em conduzir calor. Madeiras secas, a um teor de umidade constante, apresentam melhor desempenho como isolante.

Mady (2008) explica que a propagação do calor na madeira é maior no sentido paralelo às fibras e menor no sentido perpendicular. Portanto, esse é um fator adicional e favorável à confecção de revestimentos de madeira em construções, uma vez que o calor ou frio tenderá a se propagar para o interior ou para fora do ambiente atravessando a madeira. Havendo uma resistência natural das fibras, haverá, conseqüentemente, um incremento de sua capacidade isolante.

Na condição isolante térmico, a madeira é 6 (seis) vezes mais eficiente que o tijolo ou vidro, 10 (dez) vezes, que o concreto, 400 (quatrocentas) vezes, que o aço e

1.770 (um mil setecentos e setenta) vezes, que o alumínio. Além disso, os métodos de construção de estrutura em madeira leve (*light framing*) permitem facilmente a instalação de uma folha de isolamento adicional. Como resultado desse desempenho térmico melhorado, edifícios construídos utilizando a madeira, especialmente com derivados da madeira, tais como CLT, Glulam e LVL, requerem menos energia para aquecer e arrefecer, resultando em contas de energia reduzidas. Ainda, a madeira é higroscópica e tem a capacidade de trocar umidade com o ar circundante, o que fornece proteção contra mudanças bruscas de temperatura e umidade (COMMONWEALTH OF AUSTRALIA, 2010).

A despeito dessas características positivas do material, no Brasil há a tendência cultural de creditar à madeira um status de produto inferior, de associá-la a edificações com baixo conforto térmico. É comum vincular pobreza às casas de madeira e bem-estar e alto padrão de vida às construções de alvenaria. Esse preconceito é motivado pelo uso inadequado do material, problemas de secagem, tratamento, projeto, especificações e execução, além da própria baixa inércia térmica característica dos sistemas construtivos tradicionais. Berriel (2009, p. 63) comenta que todo arquiteto que já teve experiências com arquitetura de madeira reconhece que as paredes são a grande dificuldade nos projetos. Outro fator apontado por Mady (2008) é que a condutividade térmica da madeira é um assunto abordado sinteticamente nas publicações especializadas, sendo que há mais conteúdo disponível em livros que tratam de resistência de materiais, mas ainda assim de maneira superficial. Além disso, há poucos exemplos claros utilizando normas brasileiras e/ou espécies nativas.

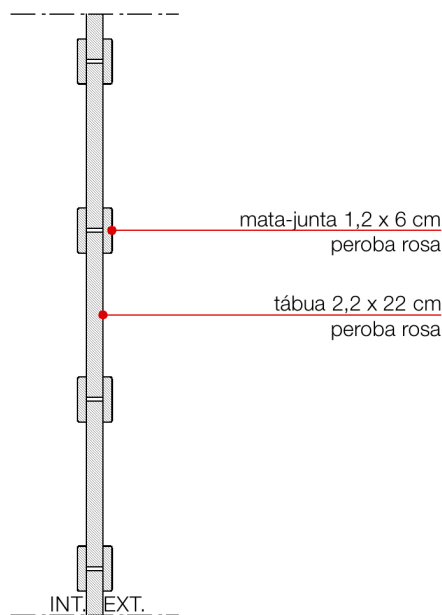
A baixa inércia térmica das construções de madeira, quando avaliada isoladamente, não determina que esses edifícios serão termicamente desconfortáveis ou ineficientes energeticamente; significa, antes, que são necessárias outras técnicas adicionais para compensar tal fato, a depender ainda do clima, do tipo e do horário de uso do edifício.

Uma forma de compensar a baixa inércia térmica dos sistemas construtivos tradicionais é trabalhar com as composições de painéis de vedação, que possibilitem o incremento da resistência térmica do conjunto, como, por exemplo, o sistema *wood frame*. Giglio (2005) comenta que as casas tradicionais construídas com tábuas e mata-juntas, vedações que possuem baixa inércia térmica, além da presença de frestas que prejudicam o conforto dos usuários, possui valores de resistência térmica que variam, em média, de 0,25 (m²K)/W a 0,35 (m²K)/W, dependendo da madeira empregada (FIGURA 49). Então, a autora cita alguns modelos de composições de

painel em madeira, os quais buscam aumentar a inércia térmica dos sistemas construtivos e que serão descritos na sequência.

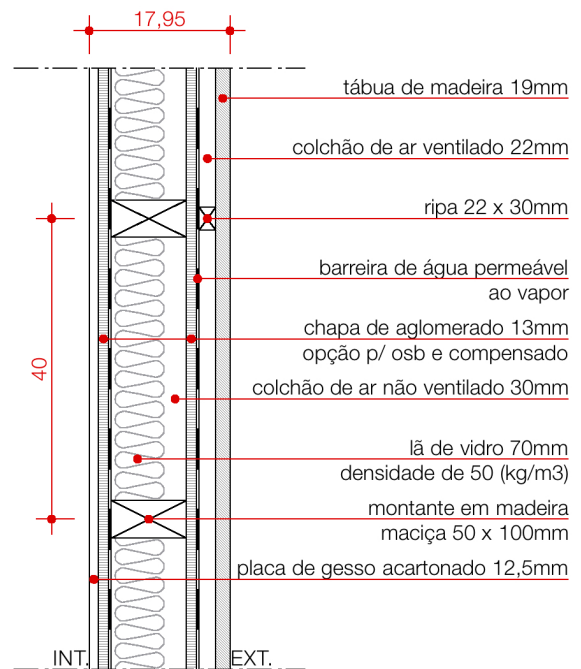
Em composições de painéis de vedação empregados em países de clima frio, os valores de resistência térmica necessitam ser elevados, o que pode ser obtido com o preenchimento com isolante térmico (FIGURA 50). Quanto mais isolante e protegido for o painel de vedação em madeira, menor será perda de calor e, conseqüentemente, menor será o consumo de energia para aquecimento das edificações. Atenção também precisa ser dada para as possíveis perdas de calor pelos elementos do sistema, como montantes e sarrafos, chamados de pontes térmicas. Nessa composição, os valores de resistência térmica dos painéis passam a assumir de 2,50 ($\text{m}^2\text{K}/\text{W}$) a 5 ($\text{m}^2\text{K}/\text{W}$), em média (GIGLIO, 2005).

FIGURA 49 - Parede com tábuas e mata-juntas, vista em planta



FONTE: Adaptado de GIGLIO, 2005.

FIGURA 50 - Painel de vedação empregado em países de clima frio

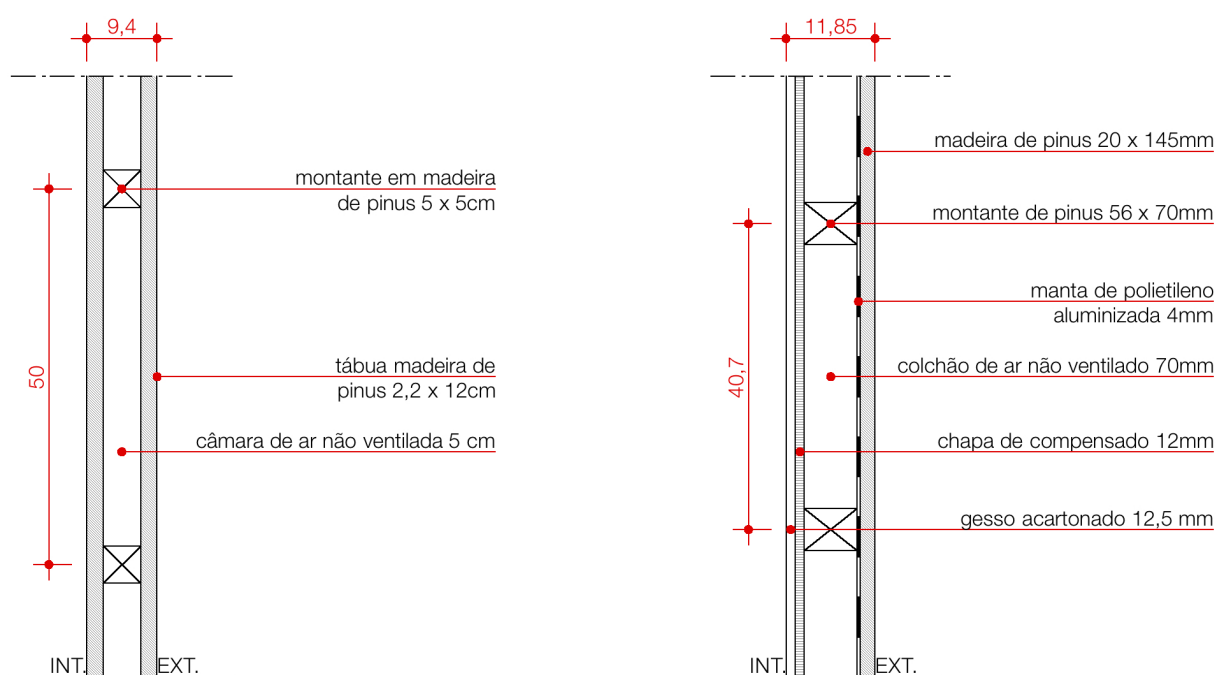


FONTE: Adaptado de GIGLIO, 2005.

As composições de painéis mais simples encontradas no sistema wood frame apresentam câmara de ar entre os montantes e fechamento interno e externo em tábua de madeira ou derivado (FIGURA 51). Seguindo o mesmo princípio, outras variações de painéis foram implantadas em protótipos experimentais, com incremento da resistência térmica. A autora cita o tipo de painel implantado no *campus* da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), com câmara de ar, fechamento externo com madeira de pinus e manta de polietileno aluminizada e fechamento interno de compensado e gesso

acartonado. A manta aluminizada reduz a emissão de calor, aumentando a resistência da câmara de ar (FIGURA 52). Ainda, em termos de variações de painéis, ela menciona o tipo implantado em uma unidade experimental inserida no *campus* da Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo (EESC / USP). A inovação consiste no acréscimo de uma segunda câmara de ar, seguindo os princípios desenvolvidos na América do Norte. Tal acréscimo incrementa a resistência térmica do conjunto (FIGURA 53) (GIGLIO, 2005).

FIGURA 51 - Painel de vedação com câmara de ar FIGURA 52 - Painel de vedação com câmara de ar desenvolvido na UFSC



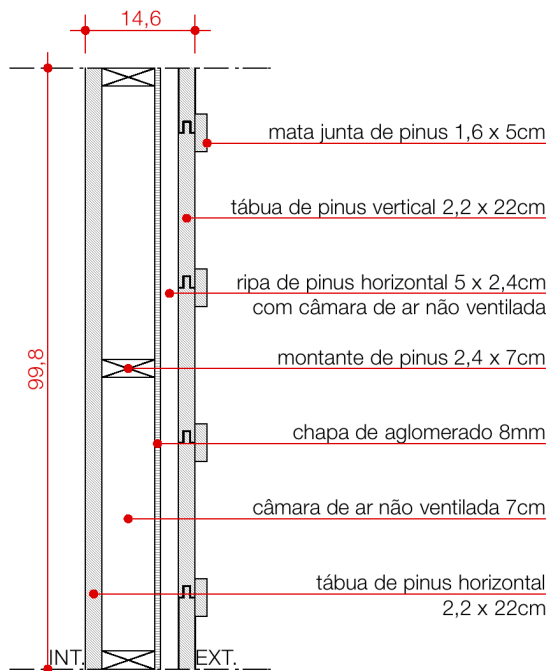
FONTE: Adaptado de GIGLIO, 2005.

FONTE: Adaptado de GIGLIO, 2005.

Em um clima que apresenta invernos amenos e verões quentes, as construções que oferecem melhor desempenho são as pesadas, com paredes grossas de pedra ou alvenaria, funcionando como massas térmicas que asseguram o conforto durante o inverno e absorvem as cargas térmicas no verão. Portanto, um dos problemas com a construção em madeira é justamente sua leveza: é útil para transporte e montagem, mas tem valores de massa aquém da alvenaria tradicional. Nessa lógica, Tonelli e Grimaudo (2014) testaram através de protótipos uma nova composição de parede em madeira, na qual, além de painéis de isolamento, materiais pesados foram colocados em uma camada interna (FIGURA 54). Essa solução deu um valor de massa que é quase o dobro do valor de uma parede normal estruturada em madeira e, portanto, próximo de uma parede tradicional de alvenaria. Ao mesmo

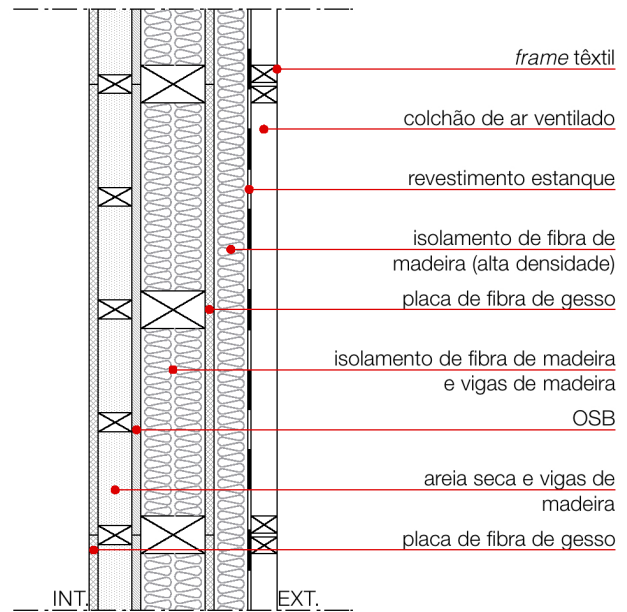
tempo, também aumentou o desempenho acústico, resolvendo um problema que é típico das construções leves.

FIGURA 53 - Painel de vedação com duas câmaras de ar, desenvolvido na EESC / USP



FONTE: Adaptado de GIGLIO, 2005.

FIGURA 54 - Painel de vedação com painéis de isolamento e materiais pesados



FONTE: Adaptado TONELLI e GRIMAUDO, 2014.

Fraisse *et al.* (2010) investigaram a viabilidade de um dispositivo para melhorar o conforto térmico durante o verão em casas em *wood frame*, utilizando uma parede dupla, ventilada internamente por um sistema de ventilação mecânica durante o período noturno. A ventilação noturna pode ser aplicada naturalmente, por ventilação forçada, ou em um híbrido, combinando esses dois sistemas. A ideia dos autores seria aumentar a inércia térmica e eliminar o calor acumulado durante a noite, sistema particularmente vantajoso em casas com estrutura de madeira, pois a massa térmica é pequena e localizada.

Os autores concluíram que o efeito de resfriamento é pronunciado quando a ventilação noturna está dentro da parede dupla; quando a inércia é mais amplamente distribuída entre os vários elementos da casa (chão, parede e teto), a ventilação noturna tradicional permanece favorável porque toda a massa pode ser regularmente compartilhada. A parede dupla ventilada também é vantajosa em ambientes nos quais a temperatura máxima no dia pode ser acentuadamente diminuída, evitando temperaturas desconfortáveis durante a noite; além disso, é possível combinar a

parede dupla ventilada com ventilação natural durante a noite, para acelerar o resfriamento do tecido do edifício. Em termos de *design* e dimensionamento, é necessário ter uma velocidade suficiente (1-1,5 m/s) na camada interna de ar, para facilitar as trocas convectivas, e uma relação acima de 0,9 entre a área da parede a área de piso, condições que efetivamente arrefecem a sala. Eles observaram que a redução da temperatura máxima varia entre 2°C e mais de 5°C, de acordo com a relação área da parede / área de piso (FRAISSE *et al.*, 2010).

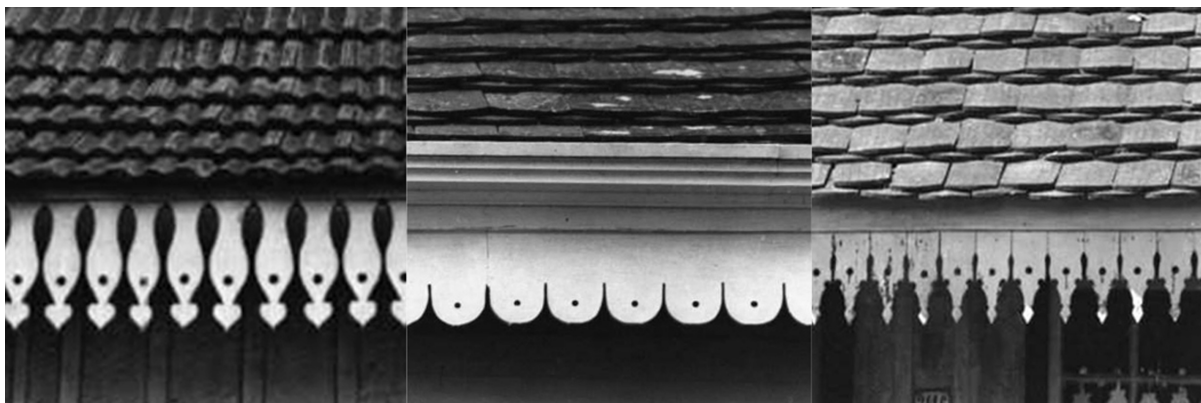
De qualquer forma, ressalta-se que somente a especificação de um material isolante térmico de boa qualidade e soluções técnicas não são garantias de que a edificação trará conforto ambiental aos usuários. Ao projetar, é necessário ter especial cuidado com a orientação da edificação em relação ao sol; favorecer soluções passivas e dispositivos que controlem a entrada de calor, visando empregar a ventilação natural ao máximo, minimizando o uso de equipamentos de ar condicionado e permitindo boas temperaturas médias nos interiores, tanto no inverno, quanto no verão; cuidar da vedação das portas e janelas; proporcionar bom isolamento térmico das coberturas; entre outras.

Portanto:

A madeira apresenta baixa condutividade térmica; logo, é um material que é um isolante térmico natural. Entretanto, os sistemas construtivos tradicionais apresentam baixa inércia térmica. Uma forma de minimizar essa deficiência é trabalhar com a composições de painéis de vedação, que possibilitem o incremento da resistência térmica do conjunto, utilizando, por exemplo, isolantes térmicos, câmaras de ar ventiladas ou não ventiladas ou até materiais pesados, como a areia. Deve-se pesquisar qual é a melhor opção para o clima no qual será inserida a obra e trabalhar com essa solução técnica desde a fase de concepção do projeto, pois irá afetar todo o seu desenvolvimento.

4.14 EVITAR UMIDADE

O princípio básico da construção em madeira é que não se deve deixar a água penetrá-la e, se penetrar, deve ser eliminada rapidamente.

FIGURA 55 - Lambrequins⁵

FONTE: Adaptado do acervo pessoal de IMAGUIRE, K.

Bittencourt e Hellmeister (1995) alertam que a ênfase dada à ação da água, tanto no estado líquido, como em vapor, na construção em madeira não é excessiva; esse fator e o fenômeno físico (variação dimensional) dele decorrente é o ponto principal na concepção e execução em madeira. Nesse trabalho, os autores citam algumas regras ditadas pelo CTBA (1990⁶, *apud* BITTENCOURT E HELLMEISTER, 1995), que podem limitar a incidência da variação dimensional da madeira, e para isso é necessário ter em conta:

- Ao utilizar a madeira e seus derivados, a sua umidade deve ser a mais próxima possível daquela na qual deverá se equilibrar durante uso;
- No canteiro, a estocagem da madeira deve ser protegida das intempéries e ela deve ser utilizada rapidamente, evitando assim a ação das águas;
- Estudar a geometria dos elementos expostos às intempéries e as ligações (junções), permitindo que a água seja sistematicamente eliminada;
- Nos projetos arquitetônicos, prever a proteção das paredes e dos pisos da ação da água;
- Proteger a madeira exposta às intempéries com produtos e acabamentos superficiais (tintas, vernizes, stains) e efetuar a manutenção periódica das partes expostas;
- Assegurar a salubridade no interior da edificação, através da renovação regular do ar;

⁵ Termo originário do holandês *lamperkijm* – os ornamentos em recortes e pendentes, feitos em tecido, madeira ou chapa recortada, que encimam um pavilhão ou tenda; ou são colocados na beira de um telhado para dissimular goteiras ou canos. São utilizados tanto na arquitetura e decoração, como na heráldica, na qual também são chamados de *paquifes* (GRANDE ENCICLOPÉDIA LAROUSSE CULTURAL, 1998).

⁶ CTBA - CENTRE TECHNIQUE DU BOIS ET DE L'AMEUBLEMENT. **Maisons à ossature bois ou à colombage**. Paris, Cahier du CTBA, n. 170, 1990.

- Evitar e eliminar a condensação nas paredes.

Portanto, ao projetar com madeira, é necessário ter em conta a retração e o inchamento do material e dos componentes construtivos. O projetista e o executor precisam assegurar, tanto quanto possível, a durabilidade das partes de madeira, através das soluções construtivas de proteção. Pelos itens listados acima, percebe-se que garantir maior conservação do material ao isolá-lo o máximo possível da umidade pode ser alcançado através de soluções projetuais e detalhamento executivo.

Em relação às soluções projetuais, pode-se portanto: usar madeiras com teores de umidade compatíveis com o meio no qual serão aplicadas; preferir peças cujas dimensões transversais sejam as menores possíveis, porque os problemas de secagem, que comprometem a durabilidade da madeira, crescem na medida em que essas dimensões aumentam; verificar tratamento químico preservativo adequado, tendo em conta os fatores técnicos e físicos, ao lado das considerações estéticas; isolar a construção das fontes de umidade ou, no mínimo, limitar a permanência da água sobre a madeira; evitar pontos de condensação de água; criar barreiras que impeçam a absorção de água por capilaridade; utilizar a madeira, sempre que possível, 20 cm ou mais acima do solo; evitar o represamento e facilitar a drenagem de água; deixar espaço livre entre o assoalho e o solo e entre o forro e a cobertura para ventilação.

Em relação aos detalhes executivos, pode-se: garantir através da geometria das peças que não acumulem água; proteger os topos das peças de madeira e/ou utilizar peças de madeira cujas faces superiores sejam inclinadas; especificar impermeabilizantes nos encaixes e nos apoios; limitar o uso de aberturas e furos por onde a água possa penetrar e infiltrar; criar pingadeiras naturais, como por exemplo os lambrequins, que possuem tanto função prática, como ornamental; quando for o caso, especificar tratamento adequado contra a corrosão para os elementos metálicos que estarão em contato com a madeira.

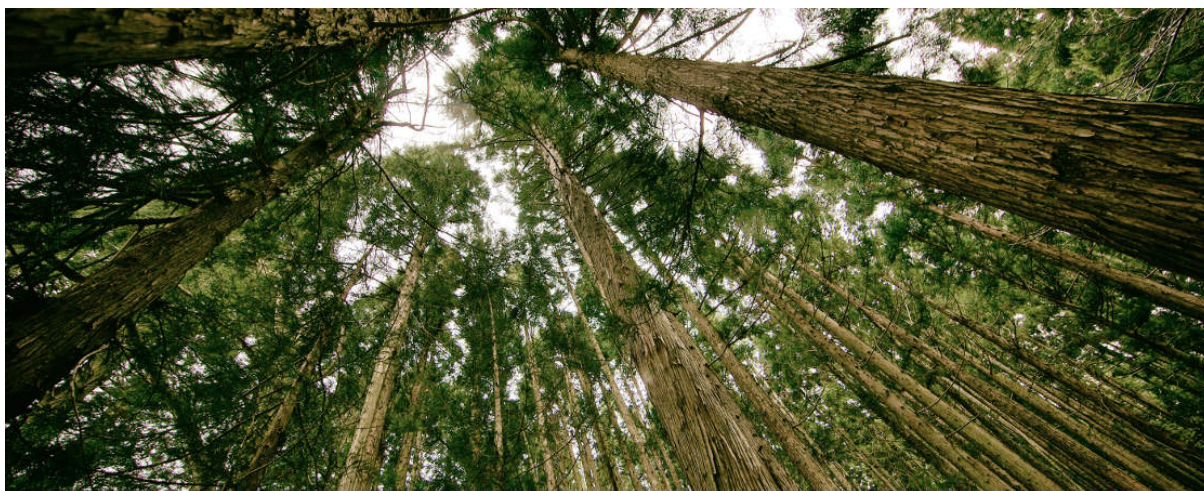
Portanto:

Ao se construir com a madeira, é essencial não deixar a água penetrá-la ou permitir que seja eliminada rapidamente. Em vista disso, reflita sobre soluções projetuais e detalhes executivos que isolem a madeira o máximo possível da umidade, como aqueles descritos na explanação com a argumentação de suporte, diminuindo a necessidade de manutenções e prolongando a vida útil da edificação.

4.15 MADEIRA CERTIFICADA

A madeira é um recurso natural renovável e deve ser explorada racionalmente, garantindo-se que a sua procedência seja fruto de manejo florestal cuidadoso e não-predatório.

FIGURA 56 - Floresta plantada com certificação de manejo florestal



FONTE: DYNAMIC ARCHITECTURAL WINDOWS & DOORS, 2016.

A madeira é um material de construção tradicionalmente utilizado na história da moradia humana, sustentável e renovável, cujo processamento industrial exige baixo consumo de energia. Entretanto, precisa ser utilizada com consciência.

Primeiramente, a opção pela madeira como material de construção já é, por si só, mais sustentável. Conforme Berriel (2009, p. XXV), Gustavsson *et al.*, (2010) e Molina e Calil Junior (2010), ela é um material de construção renovável, que demanda baixo consumo energético para produção e que sequestra carbono da atmosfera. Ao final do processo, volta para a terra sem gerar resíduo - quando a madeira apodrece, o carbono que foi capturado e armazenado durante a vida da árvore volta para o meio. Quando a madeira permanece na forma de elementos construtivos ou mobiliários o carbono permanece fixado, assumindo um duplo papel: o material, de objeto útil e funcional; e o socioeconômico e ambiental, de reservatório de carbono.

Oliveira e Pinto (2015) comentam que, atualmente, os principais problemas encontrados no mercado da construção são as dificuldades em gerir e reduzir os insumos na obra. A maioria dos materiais comercializados necessitam de grandes quantidades de energia para sua manufatura e aplicação. Há, também, dificuldades no manejo dos resíduos gerados pois, muitas vezes, necessitam ser combinados com outros componentes, tornando mais difícil sua reciclabilidade. Ao longo do tempo,

esses materiais poderão deixar de ser competitivos. Dessa forma, a elaboração e transformação da madeira que possui comprovado baixo consumo de energia, quando comparada aos demais materiais utilizados para construção, apresenta características que a transformam em um elemento construtivo competitivo, tais como: relação favorável entre o peso e a resistência; alta resistividade térmica somada à inércia térmica; variedade de espécies com cores e texturas diferenciadas entre si.

Assim, a madeira de reflorestamento, proveniente de um manejo sustentável, surge como uma alternativa para o desenvolvimento de tecnologias mais adequadas à produção de elementos construtivos, visando a um modelo de produção com base em recursos renováveis. Quando as reservas florestais existentes passarem a ser entendidas como locais que devem ser cultivados e renovados, a madeira oriunda desses será praticamente inesgotável. E mais do que qualquer outro recurso natural, é preciso lembrar que as árvores desempenham vital função de suporte biológico a todos os seres vivos.

Ao planejar utilizar determinado tipo de madeira, é recomendado verificar qual é a sua condição em termos de situação de risco ambiental. Podem ser consultados guias em livros de madeiras existentes no mercado, lista de espécies ameaçadas de extinção - como a definida pela Portaria nº 443 de 17 de dezembro de 2014, elaborada pelo Ministério do Meio Ambiente, que reconhece as espécies da flora brasileira ameaçadas de extinção -, listas de organizações e entidades que atuam no setor florestal brasileiro - como as fichas tecnológicas de madeira produzidas pelo IPT (IPT, 2009) -, ou produzidas por grupos ambientais. Se está em risco, pode-se utilizar apenas aquela que possui selo de certificação, ou escolher uma alternativa que não esteja em perigo.

Um ponto de partida seria consultar os catálogos elaborados pelo FSC Brasil para os segmentos da construção civil e moveleira, possibilitando a escolha de uma espécie de madeira adequada ao projeto e que, além disso, permitiria minimizar os impactos ambientais gerados. Eles trazem opções de empresas que fornecem madeira tropical beneficiada, madeira de reflorestamento beneficiada, pisos, degraus de escada, revestimentos de paredes, portas, esquadrias, guarnições e caixilhos, recorte esse que, inclusive, aproxima-se mais do emprego como material secundário de construção, o qual é preferido por Alexander em sua classificação para a madeira.

Na hora de comprar a madeira ou algum produto derivado, pode-se questionar o fornecedor sobre as suas condições de obtenção. Isso reforça a conscientização e encoraja os negociantes a verificar a proveniência dos seus produtos, além de ser útil como modelo de marketing. Pode-se, ainda, ter predileção pelo uso de espécies

extraídas localmente, diminuindo as distâncias para o transporte de toras até a serraria e, posteriormente, de madeira serrada até o mercado consumidor; logo, diminuindo os impactos ambientais gerados pelo transporte dos materiais, o qual consome grande quantidade de combustíveis fósseis e gera resíduos.

Como visto no capítulo da revisão bibliográfica, a maior parte do desmatamento no Brasil para o mercado da construção civil tem por finalidade o beneficiamento de produtos de baixo valor agregado. A madeira é principalmente destinada nos canteiros de obras em nosso país ao uso como um material temporário, correspondendo a praticamente 80% do seu consumo total (IPT, 2009). Considerando-se outros segmentos da indústria, 73% do volume total de madeira nativa explorada é utilizada como lenha e carvão vegetal (SNIF, 2015). Assim, é necessário ter especial atenção ao adquirir esse tipo de produto.

Portanto:

Ao escolher trabalhar com a madeira, é importante verificar a procedência do material e ter certeza de estar adquirindo espécies certificadas. Opte, sempre que possível, pelo uso de espécies extraídas localmente. Consulte qual é a condição da espécie que pretende utilizar, em termos de situação de risco ambiental em guias, listas oficiais e listas de organizações e entidades que atuam no setor florestal brasileiro. Questione fornecedores sobre as condições de obtenção da madeira, reforçando a conscientização e encorajando os negociantes a verificar a procedência dos seus produtos.

4.16 PISOS DE MADEIRA

O revestimento de pisos provavelmente é a finalidade para a qual grande parte do emprego da madeira é especificada. Portanto, alternativas mais sustentáveis necessitam ser ponderadas.

FIGURA 57 - Studio R em São Paulo, Brasil. Projeto de Studio MK27



FONTE: ARCHDAILY, 2017.

O parâmetro dureza Janka é, provavelmente, a característica tecnológica mais importante na escolha de um piso de madeira. O Método Janka, adotado pela Norma COPANT 30: 1-009, 1971 (*Maderas: método de determinación de la dureza*), estabelecida pela *Comisión Panamericana de Normas Técnicas*, “consiste em avaliar o esforço necessário para introduzir uma semi-esfera de 1 cm² de área diametral nas faces laterais e dos topos dos corpos-de-prova, a uma velocidade de 6 mm por minuto, a uma profundidade igual a seu raio” (MORESCHI, 2012). É esse parâmetro que indicará se determinada espécie de madeira é mais suscetível ou não à aparição de marcas e arranhões, e se é resistente ao tráfego intenso.

“Diferentemente das superfícies de paredes e tetos de um ambiente, um piso transmite suas qualidades táteis – sua textura e densidade – diretamente a nós à medida que caminhamos por sua superfície” (CHING, 2006, p. 284). O conforto dos pés está diretamente relacionado com o grau de elasticidade que um material de piso apresenta e, em menor grau, com o seu calor, o que confere à madeira uma condição de uso favorável. Conforme já mencionado para o padrão 3 (Recursos Sensoriais), a faixa de conforto da temperatura de um piso de madeira é ampla (TABELA 5). Schmid (2005, p. 233) avalia a condição de pisos termicamente confortáveis, ponderando que se o corpo está perdendo calor para o ar relativamente frio as solas dos pés compensam, pois há nelas uma reposição de calor no lugar de uma perda adicional.

Especificamente sobre os pisos de madeira, Ching avalia que eles “são admirados por seu calor, sua aparência natural e atraente combinação entre conforto,

elasticidade e durabilidade. Sua manutenção também é relativamente fácil, sob uso moderado, e, quando danificados, podem ser substituídos ou receber novo acabamento” (CHING, 2006, p. 285). Tal apreço também é citado por Alexander *et al.* (2013, p. 1089-1090).

Queremos que os pisos sejam confortáveis, agradáveis ao toque, aconchegantes. Contudo, também queremos que sejam duros o suficiente para resistir ao desgaste e fáceis de limpar. Quando pensamos em piso, automaticamente pensamos em pisos de madeira. Desejamos, quando podemos pagar, ter um piso de madeira.

Os pisos de madeira maciça são aqueles em que a madeira aplicada é pura, natural em sua composição, sendo obtidos através do beneficiamento de madeira serrada, ganhando a forma de assoalhos, tacos, tacões, parquetes etc. Comumente são produzidos com madeiras nobres e, por isso, é preciso sempre conhecer sua origem legal. Apesar da diversidade de madeiras tropicais brasileiras disponíveis no mercado, poucas espécies são destinadas para pisos maciços. Entre essas podem ser citadas: cumaru, jatobá, peroba-rosa e ipê. Uma opção coerente com o pensamento arquitetônico sustentável seria dar preferência a especificações de tacos ou parquetes, produzidos com as sobras de produtos mais nobres, como o assoalho, além de serem comercializados com preços mais baixos.

Outra alternativa seria aumentar a participação de madeiras de reflorestamento no mercado, aliando sua produção a critérios tecnológicos e econômicos. A matéria-prima básica dos pisos de madeira está sendo gradativamente substituída por produtos sólidos e reconstituídos, provenientes de plantios de espécies arbóreas de rápido crescimento, que apresentam, entre outras vantagens, alta produtividade, redução da idade de corte, segurança de abastecimento, homogeneidade de matéria-prima, custo competitivo, produção regionalizada, além da possibilidade de múltiplos usos da floresta e seus produtos. Portanto, as características físicas e mecânicas desses materiais precisam ser devidamente avaliadas, promovendo seu melhoramento e condições adequadas de aplicação, assim como garantindo maior qualidade ao consumidor.

Nesse sentido, Padilha *et al.* (2006) conduziram ensaios para avaliar o comportamento de madeira de sete clones de *Eucalyptus urophylla* para piso, simulando condições de sua utilização em serviço. A clonagem é uma maneira de propagar, em escala comercial, os melhores frutos (produtos) do melhoramento genético, através do desenvolvimento tecnológico para a formação de florestas plantadas. Os ensaios foram processados conforme a norma ASTM (*American Society*

for *Testing and Materials*) D 2394, que descreve como devem ser executados os seguintes ensaios: ensaio de impacto da esfera de aço, que simula o impacto durante a queda de pequenos objetos sobre os pisos; ensaio de endentação, causada por cargas aplicadas em pequenas áreas (ensaio do rolo), que visa simular o desgaste ocorrido no assoalho, provocado por objetos pontiagudos, a exemplo do salto alto de calçados femininos; ensaio de esforço rolante, que simula danos provocados no piso, quando este está sujeito a repetidos esforços de rolagem, como caixas, pianos, cadeiras com rodízios, etc; ensaio de atrito, que visa simular o atrito existente entre o piso de madeira e a sola de calçados, tanto para a situação de saída do repouso, como para o deslocamento uniforme.

Para essa pesquisa, foram utilizados clones de *Eucalyptus urophylla* com idade de oito anos, coletando-se ao acaso cinco árvores por material genético. Após o abate, mediu-se o fuste e foram cortadas três toras de três metros de cada árvore. As toras foram desdobradas, por meio de cortes simultâneos e todos paralelos, classificando-se as tábuas, segundo sua posição nas toras, em centrais e externas. Os resultados mostraram que para os ensaios que simulam o uso de pisos em serviço, ocorreu diferença significativa entre os clones e a posição radial de amostragem, exceto para o ensaio de impacto por esfera de aço, que não apresentou diferenças entre os clones. Verificou-se também que as tábuas externas apresentaram melhores comportamentos. Assim, entre os sete clones e posições de amostragem na tora, pôde-se identificar madeira potencialmente apta para aplicação em pisos (PADILHA *et al.*, 2006).

Outra opção coerente para revestimento de pisos, sob o ponto de vista da sustentabilidade, é utilizar piso de madeira engenheirado, também chamado de piso estruturado. Iwakiri *et al.* (2006) explicam que esse é um produto fabricado a partir de painéis compensados ou painéis de fibras de alta densidade (HDF – *high density fiberboard*), revestidos com lâminas decorativas de madeira ou papéis melamínicos. No processo de fabricação são utilizadas lâminas de madeira coladas, como em painel compensado, formando a base do piso. Na fase seguinte, o compensado passa por processo de calibração e lixamento, para ajuste da espessura, e recebe a camada de lâminas de madeira decorativa na face. A fase final consiste de cortes longitudinais em larguras finais do piso, perfilamento longitudinal e transversal, para encaixes e aplicação de material de acabamento superficial.

Os pisos engenheirados, por serem produtos colados de madeira, apresentam uma série de vantagens em relação aos pisos de madeira maciça. A primeira refere-se ao melhor aproveitamento da matéria-prima no processo de obtenção de lâminas, sem a geração de resíduos, tanto na forma de serragens no processamento primário,

quanto na forma de cepilhos no processo de remanufatura. A segunda, refere-se à maior estabilidade dimensional das peças. O princípio de laminação cruzada, aliada à restrição imposta pela linha de cola às diferentes alterações dimensionais das camadas adjacentes, resulta em produto com maior estabilidade dimensional, quando comparado à madeira maciça sob influência do fator anisotrópico (Iwakiri *et al.*, 2006).

Sob a ótica construtiva de sistemas com estruturas leves (*Lightweight wood-frame construction*), a qual busca viabilizar maior industrialização e padronização do processo construtivo, Santos e Szcüs (2010) conduziram pesquisa com o propósito de inserir, na realidade brasileira, da técnica construtiva de diafragmas de piso confeccionados em sistemas leves de madeira com chapas de OSB (*Oriented Strand Board*) e vigas I, avaliando seu comportamento estrutural e apresentando subsídios para o projeto e a execução de diafragmas de piso com emprego de madeira nacional, oriunda de manejo racional de florestas cultivadas. O objetivo geral foi avaliar a resistência e a rigidez de diafragmas horizontais quando submetidos ao carregamento em seu plano. Para atendimento desse propósito, foram ensaiados protótipos em escala real, com diferentes arranjos construtivos e avaliou-se a influência dos seguintes parâmetros: utilização de dispositivos enrijecedores entre vigas, que constituem a ossatura do diafragma horizontal; rigidez das ligações e o efeito do espaçamento entre pregos na rigidez do conjunto, composto de madeira e chapas de OSB Nacional.

Os autores concluíram que:

- O emprego de madeira nacional oriunda de manejo de florestas plantadas, em particular o *Pinus sp.*, demonstrou ser viável, não somente do ponto de vista estrutural, mas devido a sua adaptação à diversidade na aplicação construtiva;
- Chapas de madeira de *Pinus sp.* reconstituída mecanicamente, em especial o OSB, demonstraram viabilidade para emprego estrutural, por apresentarem características físicas e mecânicas mais homogêneas, em comparação com a madeira maciça;
- Confecção de vigas I, com mesas de madeira de *Pinus sp.* e alma em OSB demonstrou ser uma alternativa estrutural de fácil fabricação, fácil transporte e elevada relação resistência / peso próprio.

Por fim, os autores alertam que a madeira maciça de *Pinus sp.* requer pré-classificação para emprego estrutural, por apresentar elevada variabilidade de suas propriedades mecânicas e necessitar seleção de peças isentas de defeitos ou presença de defeitos de baixo risco, quando de sua utilização (SANTOS e SZCÜS, 2010).

Ressalta-se que, ao empregar pisos de madeira, um importante cuidado a ser tomado está ligado à fase de execução. Além de perfeitamente plano, o contrapiso precisa estar completamente curado antes de receber o revestimento. Isso evita que a umidade perdida no processo de cura venha a danificar o acabamento. Quanto maior o intervalo entre essas duas etapas, menor serão as chances de problemas futuros. A escolha da madeira precisa levar em conta características do material, entre as quais estabilidade dimensional, interação com o contrapiso e com o tratamento preservativo de acabamento, dureza e taxa de abrasão, além de fatores ambientais, tais como exposição ao sol e à chuva.

Portanto:

Avalie se a espécie de madeira a ser especificada é apropriada ao uso como revestimento de piso, através da sua classificação de dureza. Para pisos de madeira maciços, dê preferência a especificações de tacos ou parquetes. É necessário, também, valorizar produtos sólidos e reconstituídos, provenientes de madeiras de reflorestamento, contribuindo com o aumento da sua participação no mercado e incentivando novas pesquisas. Na fase de execução, precisa-se dar especial atenção à realização do contrapiso.

4.17 TRATAMENTO PRESERVATIVO

Produtos tradicionais utilizados para o tratamento preservativo das superfícies de madeira constituem uma ameaça à qualidade do ar interior, à saúde dos ocupantes e ao meio ambiente.

FIGURA 58 - Acabamento de superfície feito com *eco-stain* com várias colorações



FONTE: ORGANIC & NATURAL PAINT COMPANY, 2016.

Madeiras reconhecidamente de alta durabilidade natural não estão mais disponíveis no mercado e, gradualmente, estão sendo substituídas por outras de rápido crescimento. Em contrapartida, exigem maior tratamento preservativo. Segundo Revista da Madeira (2007), tal procedimento é imprescindível para madeiras de baixa durabilidade natural ou para porções permeáveis e passíveis de tratamento, como o alburno. A eficácia do processo é avaliada por meio da retenção e penetração de produtos, garantidas pelos níveis mínimos recomendados pelas normas técnicas.

Vidal *et al.* (2015) publicaram artigo no qual apresentam uma revisão de literatura sobre o setor de preservação de madeiras no Brasil. Comentam que as usinas de preservação utilizam basicamente madeiras dos gêneros *Eucalyptus* e *Pinus*, realizando, principalmente, o tratamento preservativo sob pressão. Em pequena escala, utiliza-se o método de substituição de seiva. Os principais preservativos utilizados são o arseniato de cobre cromatado (CCA), utilizado por basicamente 90% das usinas no ano de 2010, e o borato de cobre cromatado (CCB); o creosoto também é utilizado, mas em reduzida escala. Alguns países possuem restrições totais ou parciais ao uso do CCA, devido à presença de arsênio e cromo na sua formulação - elementos nocivos à saúde humana -, ao grau de lixiviação e ao descarte da madeira tratada. Destacam-se entre eles Estados Unidos, Japão, Indonésia, Suécia, Alemanha e Austrália.

A *United States Environmental Protection Agency* (EPA), órgão responsável pelo gerenciamento ambiental de produtos nos Estados Unidos, concluiu que o elemento arsênico entra na composição do CCA na forma óxida, ou seja, na sua forma mais estável; por isso, não sofreria fácil liberação da madeira. Entretanto, esse é um elemento de reconhecido efeito carcinogênico para o ser humano e, como medida preventiva, restringiu o uso de madeira tratada com CCA destinada para usos residenciais, a partir de 31 de dezembro de 2003 (VIDAL *et al.*, 2015).

Existem também preocupações sobre os impactos desses produtos preservativos no meio ambiente. No caso do arsênio e do cromo, o grau de lixiviação depende de vários fatores. O nível de retenção do preservativo, bem como a espécie e idade da madeira, teor de umidade, processo de tratamento, intemperismo e condição de exposição, são situações que influenciam a eficácia do tratamento químico e a durabilidade da madeira tratada (VIDAL *et al.*, 2015).

Um critério para julgar o desempenho ambiental de um objeto ou elemento construtivo feito à base da madeira é avaliar justamente a presença de poluentes em sua composição, como o formaldeído, um composto orgânico volátil (COV), que pode causar câncer - encontrado em chapas e painéis de madeira e MDF -, preservativos químicos que possuem alta toxicidade, como o próprio arsênio, assim como outros

produtos utilizados para acabamento de superfícies que apresentam emissões de contaminantes em diferentes níveis.

Silva (2012), em sua dissertação de mestrado, apresenta óleos e substâncias naturais que visam substituir os preservativos tradicionais a fim de reduzir seus efeitos colaterais, além de algumas novas tecnologias de modificação da madeira, envolvendo tratamentos alternativos a vapor, sem a necessidade de complementação com produtos químicos ou com o uso mínimo de tais componentes.

Entre as tecnologias de modificação da madeira, a autora (SILVA, 2012) descreve os processos de modificação térmica, modificação química, modificação por impregnação e modificação de superfície. Para produtos naturais para tratamento da madeira, ela exemplifica antimofos naturais à base de taninos, fungicida à base de capsaicina, preservativos naturais à base de resinas e óleos vegetais. Há, ainda, o uso da madeira porosa sem tratamento (alguns exemplos são: álamo, carvalho, pinho, faia e as coníferas em geral), que se devidamente curada e seca, tem efeito bactericida por inibição física.

Entre os produtos naturais para tratamento e acabamento de superfícies, a autora (SILVA, 2012) cita: óleo natural impregnante, também chamado de *eco-stain*, isento de solventes petroquímicos e secantes à base de chumbo; verniz ecológico, produto bicomponente à base de óleos e substâncias vegetais, sem cheiro (não causa reações ao aplicador nem ao usuário) e atóxico após a cura; resina ecológica para piso, com acabamento transparente e de alto brilho, formando uma película resistente a alto tráfego e a produtos químicos sobre pisos em madeira; laca natural, ideal para acabamento de móveis em madeira maciça e madeiramento, em geral, é um produto de origem vegetal à base de resinas naturais solúveis em álcool.

A maior aceitação por parte dos consumidores e disponibilização de informações gera o desenvolvimento de novos produtos, mais seguros e de baixa toxicidade para os seres humanos e de menor impacto ao meio ambiente, em substituição àqueles de reconhecido efeito preservativo da madeira, mas portador de efeitos deletérios à saúde e ao meio ambiente. De forma geral, as pesquisas objetivam a busca de produtos de melhor eficácia e que atendam também esses requisitos.

Portanto:

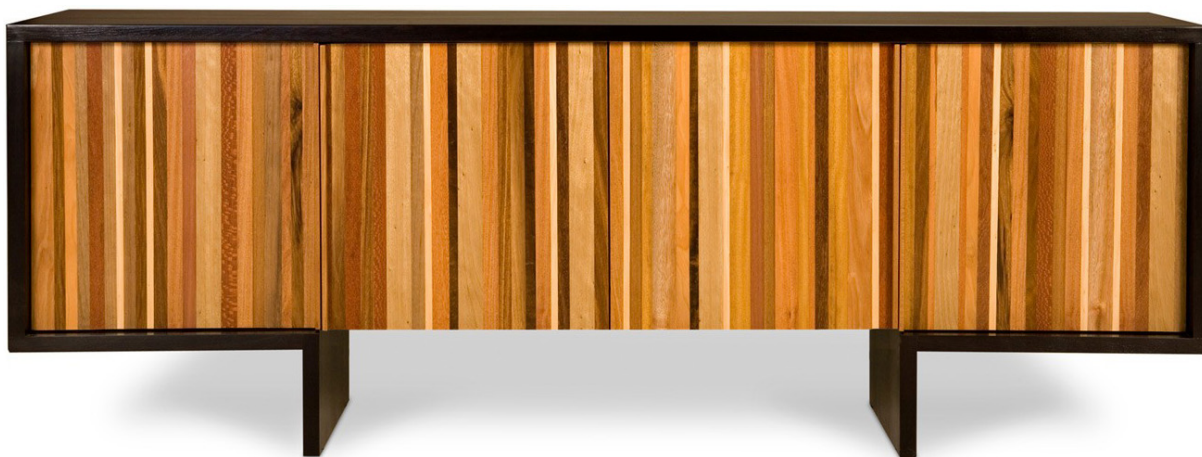
Opte por métodos alternativos para o tratamento preservativo de madeira. Utilize óleos e substâncias naturais, que visam substituir os preservativos tradicionais no acabamento das superfícies, contribuindo com o aumento da sua participação no

mercado e, conseqüentemente, ajudando com as pesquisas e o desenvolvimento desses produtos.

4.18 REDUÇÃO, REUTILIZAÇÃO E RECICLAGEM

A sustentabilidade no setor da construção civil, no tocante ao emprego dos materiais e redução de resíduos, apoia-se em estratégias de projeto que podem ser subdivididas em três pontos de intervenção: redução, reutilização e reciclagem.

FIGURA 59 - Buffet cercadinho feito com reciclagem de madeiras nobres e compensado de reflorestamento. Projeto do Estúdio Paulo Alves



FONTE: ESTÚDIO PAULO ALVES, 2016.

A construção civil causa impactos significativos ao meio ambiente, principalmente em países em desenvolvimento, como o Brasil. Entretanto, esse setor não poderá deixar de seguir atuante, construindo moradias, escolas, obras de infraestrutura, entre outras; nesse processo, irá gerar resíduos. Tavares (2006, p. 30) comenta que o consumo de recursos naturais e geração de resíduos ocorrem em toda cadeia produtiva dos materiais utilizados na construção civil, desde a extração e beneficiamento de matérias-primas, até a demolição. O Art. 9º da Lei nº 12.305 (BRASIL, 2010), que institui a política nacional de resíduos sólidos, estabelece que na “gestão e gerenciamento de resíduos deve ser observada a seguinte ordem de prioridade: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos”. Percebe-se que no tocante aos materiais de construção e geração de resíduos, três pontos podem ser diretamente influenciados por decisões de projeto: redução, reutilização e reciclagem.

A maior sustentabilidade proporcionada pela redução dos materiais está relacionada, de uma forma mais objetiva, com a diminuição na exploração de matérias-

primas. Ao contrário de outras indústrias, o setor da construção civil não permite uma miniaturização dos seus produtos, como por exemplo notebooks menores e mais leves, por isso a redução do consumo precisa ser feita desde o planejamento e propiciada pela inovação tecnológica, além de uma mão de obra qualificada que evite o desperdício no canteiro.

A pré-fabricação de componentes e sistematização construtiva, ou seja, a racionalização da construção, tratada em capítulo específico desta dissertação, atuaria diretamente nesse quesito. Com a industrialização do processo construtivo vai-se além do erro incontrolado, típico do processo artesanal e que é habitual nos canteiros de obra do Brasil. O projeto passa a ser o vínculo entre todos os elementos e componentes da edificação, levando-se em consideração suas dimensões nominais e tolerâncias dimensionais, para que haja o menor número de ajustes e perdas durante a obra. Num cenário ideal, a execução passa a ser apenas um esquema de montagem no canteiro e a obra terminada será exatamente aquela projetada. Entretanto, enquanto esse quadro não está consolidado, cabe ao projetista conhecer peças e componentes com suas medidas usuais de mercado, executando o projeto adequado a elas de forma a reduzir perdas com cortes desnecessários em canteiro.

Indiretamente, a redução de resíduos se relaciona também com a diminuição do peso dos materiais de construção. Os profissionais podem valer-se de elementos estruturais e vedações mais leves e mais finas e que exigem menos matéria-prima sem, com isso, deixar de salvaguardar aspectos de segurança (como resistência ao fogo) e eficiência térmica e acústica. Nesse sentido, as características e o baixo peso da madeira a indicam como um bom material de construção. Comparativamente, a partir de certas seções, a madeira tem um comportamento ao fogo previsível e mais eficiente que o aço quando não revestido. Para uma umidade de 20%, enquanto uma madeira resinosa tem uma densidade (relação entre a massa de certo volume de um corpo e a do mesmo volume de água) em torno de 600kg/m^3 , o concreto tem 2500kg/m^3 e o aço, 7800kg/m^3 , ou seja, aquele quatro vezes e este aproximadamente treze vezes mais elevada (BERRIEL, 2009, p. 230). Em relação ao desempenho estrutural, a madeira (no exemplo em questão, utilizando-se *pinus radiata*) possui uma relação resistência / peso 20% maior do que o aço. Ainda, a maior leveza das estruturas e elementos construtivos em madeira confere vantagens relacionadas à redução das fundações, diminuindo o emprego de materiais e, conseqüentemente, seu custo (FORESTS AND WOOD PRODUCTS RESEARCH AND DEVELOPMENT CORPORATION, 2005). A leveza do material construtivo proporciona também facilidades para o transporte do material, permitindo maior volume de carga e,

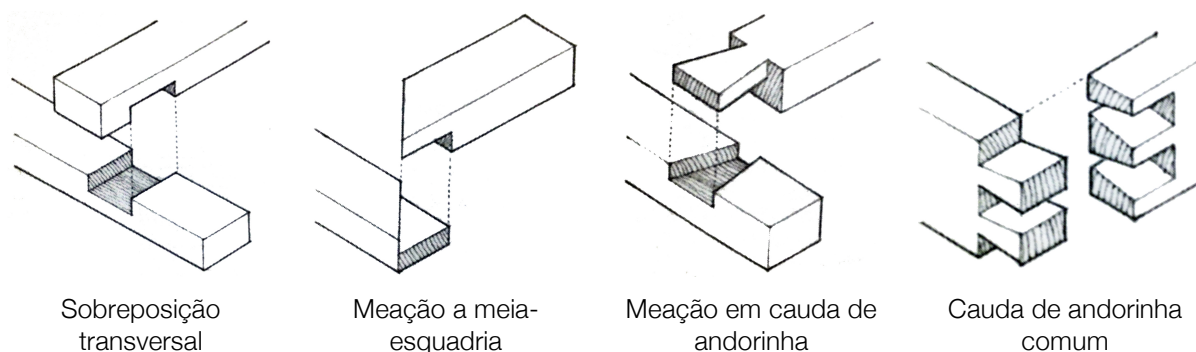
consequentemente, diminuindo o número de viagens necessárias. Tavares (2006, p. 30) esclarece que o transporte dos materiais de construção civil, “cujas distâncias de obtenção aumentam em cidades de grande porte, consomem grande quantidade de combustíveis fósseis e geram resíduos como óleos, fuligem, partículas de borracha e ferrugem”.

O segundo ponto é a reutilização. Novamente, a racionalização construtiva estaria direcionada a potencializá-la em construções que, após desmontadas, permitissem que seus elementos construtivos fossem utilizados em uma nova obra. Nessa definição pode ser feita a distinção entre reúso e reaproveitamento dos elementos construtivos. No reúso, eles desempenhariam a mesma finalidade construtiva imaginada para a construção inicial; no reaproveitamento, há um trabalho de remoção e recolocação em outra função. Assim, estende-se o ciclo de vida dos produtos e, no processo, proporciona-se economia de dinheiro e matéria-prima.

Componentes construtivos e construções inteiramente em madeira já apresentam facilidades para serem desmontados e reutilizados ao fim da vida útil dos edifícios (FORESTS AND WOOD PRODUCTS RESEARCH AND DEVELOPMENT CORPORATION, 2005). O processo de industrialização da construção permitiria um alto grau de adequação dos materiais em diferentes obras, executadas em padronizações modulares, uniformemente dimensionadas e proporcionadas. Esse processo permitiria, por exemplo, que unidades de portas e janelas se ajustassem às aberturas modulares e fossem inteiramente reutilizadas. Mesmo considerando as limitações proporcionais impostas geradas por esse processo de fabricação, os projetistas ainda teriam a capacidade de controlar a proporção das formas e espaços no interior de um edifício e ao seu redor. As decisões sobre a formatação dos ambientes, a escala da construção, a adequação ao programa e fluxograma, às aspirações dos usuários, entre diversas outras particularidades envolvidas em uma construção, cabem legitimamente ao arquiteto (CHING, 2002, p. 282-283).

Podem ser idealizados, também, encaixes das peças através de sambladuras, nomenclatura que se dá a qualquer corte ou entalhe feito em peças de madeira que devam ser unidas entre si, sem o auxílio de cavilhas, pregos, parafusos ou outras ferragens. Geralmente esse tipo de ligação é executado sem projeto, baseando-se na experiência e intuição do carpinteiro ou através de ensaios simples. Um dimensionamento correto e planejado dentro de uma padronização única, por sua vez, forneceria peças que poderiam ser mais facilmente substituídas, recuperadas ou reutilizadas em outras construções.

FIGURA 60 - Exemplos de sambladuras



FONTE: Adaptado de CHING, 2003.

No que se refere às características estruturais das madeiras reutilizadas, Cavalli *et al.* (2016) produziram um artigo no qual são apresentados e analisados os resultados de várias pesquisas sobre as diferenças nas propriedades mecânicas de elementos desse material, com diferentes faixas etárias. Conforme os autores, esse tema é investigado desde os anos cinquenta, mas os resultados relatados na literatura nem sempre são concordantes, em virtude da irregularidade entre os materiais testados: variabilidade das propriedades mecânicas, baixa disponibilidade de material, dúvidas sobre a sua história, propriedades mecânicas originais desconhecidas. Outra fonte de incerteza é consequência das diferentes abordagens utilizadas: alguns têm investigado apenas o efeito do tempo (portanto, o envelhecimento), outros consideram o efeito do envelhecimento juntamente com outros fatores, como o estado de conservação e a duração de cargas aplicadas.

Na pesquisa realizada, os autores (CAVALLI *et al.*, 2016) esclarecem que o efeito da idade nem sempre é um parâmetro importante, quando o material de teste possui até vinte anos de idade. Em todos os casos, a variação das propriedades mecânicas é influenciada por diferentes fatores, tais como a duração da carga aplicada, o envelhecimento, as condições quando em uso e o estado de conservação. Todos os pesquisadores analisados nesse trabalho testaram as propriedades mecânicas de flexão dos materiais reciclados, estabelecendo que a resistência à flexão diminui. Essa é provavelmente uma consequência do efeito de duração da carga aplicada e dos danos devidos às operações de montagem e desmontagem. Apenas um trabalho pesquisado observou uma redução no módulo de elasticidade, testando vigas recuperadas; já os outros pesquisadores não encontraram variações. De qualquer forma, os autores concluem que muitos dos elementos de madeira reciclados podem ser reutilizados estruturalmente, de acordo com as propriedades mecânicas remanescentes e uma seção transversal efetiva do material.

O terceiro ponto é a reciclagem. Ponderar sobre a utilização de madeira reciclada é um excelente caminho para transformar descarte em objeto de valor. Especificar materiais reciclados, comprados em depósitos de móveis ou de madeira de demolição, reaproveitados de peças ou mobiliários que possam ser desmontados, adquiridos em bazares beneficentes, antiquários ou até encontrados em lixeiras de bairros residenciais, é uma opção pertinente aos profissionais que buscam práticas projetuais mais sustentáveis. Gibbs (2005, p. 14-15) considera que a reciclagem de madeira rejeitada proveniente de móveis e de construções antigas, além de sustentável, é sensata e econômica. Caso não esteja apodrecida, essa madeira está seca e adaptada ao seu ambiente. É, também, uma maneira para se encontrar alguns dos tipos mais raros de madeiras. Já em relação aos derivados da madeira, os aditivos e tratamentos químicos podem causar problemas para a reciclagem.

Ainda no tocante à reciclabilidade, produtos de madeiras maciças podem facilmente ser reutilizados na mesma forma ou transformados em outros elementos construtivos ou peças de mobiliário. Móveis antigos, executados com material de excelente qualidade, mas que já não agradam às preferências do consumidor atual, podem ser transformados em peças contemporâneas. Outro exemplo é o caso da madeira de demolição. Mesmo um material que poderia ser considerado como um elemento condenado ao descarte pode ainda ser reutilizado. Empregada de várias formas, ela é normalmente recuperada de construções antigas e, após receber o devido tratamento, transforma-se em um interessante material para emprego na arquitetura de interiores, como revestimento de pisos e paredes, principalmente pelo seu efeito estético marcante. Para fins compositivos, consegue dialogar harmoniosamente entre uma linguagem tradicional ou moderna, rústica ou urbana.

Outro mercado interessante para a reciclagem do material é seu aproveitamento na fabricação de painéis produzidos com madeira sólida e/ou partículas. Inclusive, Bertolini *et al.* (2014) conduziram uma pesquisa para a produção de painéis com partículas provenientes de rejeitos de *Pinus* sp. tratado com preservante CCA. Esse material, proveniente de descarte, passaria a constituir-se em potencial contaminante ambiental. Com o seu reaproveitamento na forma de painéis, um potencial agente contaminante passou a constituir-se elemento útil, gerando outros produtos a serem utilizados na construção civil. Entretanto, é necessário advertir que a reutilização e a reciclagem de madeira tratada, assim como o seu descarte, necessitam ser devidamente avaliados, pois pode haver risco de contaminação de pessoas e do meio ambiente.

Portanto:

Proporcione a redução do uso da madeira na construção civil através da pré-fabricação de componentes e sistematização construtiva, superando o erro incontrolado típico do processo artesanal; nesse processo, as obras poderão ser executadas em maior conformidade com os projetos, diminuindo desperdícios. Utilize elementos construtivos mais leves e mais finos e que exigem menos matéria-prima sem, com isso, deixar de salvaguardar aspectos de segurança, eficiência térmica e acústica, possibilitados pela inovação tecnológica. Essa leveza facilita também o transporte do material. Potencialize a reutilização do material através da racionalização construtiva, em projetos executados em padronizações modulares uniformemente dimensionadas e proporcionadas. Idealize encaixes das peças através de sambladuras facilitando a substituição, recuperação e reutilização das peças. Pondere sobre a utilização de materiais reciclados, comprados em depósitos de móveis ou de madeira de demolição, reaproveitados de peças ou mobiliários que possam ser desmontados.

5 AVALIAÇÃO DO ARTEFATO

No capítulo Uma Linguagem de Padrões para a Madeira, o objetivo foi apresentar um conjunto de práticas projetuais de arquitetura para a valorização plástica, técnica e funcional do emprego desse material, sob o ponto de vista do pensamento arquitetônico sustentável, tendo como unidade de análise o conceito linguagem de padrões. Em cada caso, a proposta foi primeiramente entender a natureza do processo de projeto com a madeira para, na sequência, construir uma linguagem possível para o uso do material, sustentando soluções projetuais, parâmetros de projeto e técnicas construtivas determinando, quando possível, potencialidades relacionadas à sustentabilidade. Pode se dizer, também, que foi feita a investigação e reflexão sobre a concepção da arquitetura de madeira, ao se trabalhar sobre a construção do pensamento projetual, ou seja, ao se elaborar sistemas e práticas de projeto.

Abaixo, encontra-se um quadro (QUADRO 2) no qual são exibidos os padrões estudados, seguidos pelas declarações (que resumem a filosofia sobre cada tópico) e pelas prescrições (orientações em termos práticos, para ajudar a incorporar cada padrão em um projeto real, demonstrando a sua utilidade).

QUADRO 2 - Padrões, Declarações e Prescrições

Padrão	Declaração	Prescrição
1. Madeira como Partido Arquitetônico	A escolha dos materiais de construção precisa fazer parte do processo de projeto desde sua etapa inicial. Ao se optar pela madeira como partido arquitetônico, é possibilitado ao arquiteto extrair a máxima expressão desse material	Ao almejar trabalhar com a madeira, qualifique o material como partido arquitetônico; define-se, assim, um conceito central ao qual todos os outros elementos devem permanecer subordinados. Isso garantirá ao projetista uma intenção correta para o uso da madeira ao longo de todo o projeto, evitando a arbitrariedade e o prejuízo que uma escolha em etapa avançada de desenvolvimento acarretaria. Utilize uma representação gráfica apropriada às características próprias e aos sistemas construtivos da madeira
2. Versatilidade Plástica	Trabalhar com a madeira significa trabalhar com detalhes, com um elemento pleno de significados, versátil e praticamente associável a quaisquer tipos de ambientes, sejam eles clássicos, rústicos ou contemporâneos	A madeira é um material versátil, que possibilita ao projetista idealizar diferentes concepções para o espaço arquitetônico. Examine as características tecnológicas e estéticas do tipo de madeira que será especificada, verificando se são as mais adequadas à proposta plástica pretendida. Tenha contato físico com o material, examinando fisicamente suas características, potencialidades e deficiências
3. Recursos Sensoriais	Um bom projeto não deve preocupar-se somente com os requisitos de uso ao qual determinado material se destina, mas também com as características subjetivas e sensoriais que poderá proporcionar aos usuários	Analise qual é o caráter arquitetônico pretendido, explorando formas e cores para que a obra expresse uma mensagem por si só. Os materiais utilizados precisam ser escolhidos para que estejam em harmonia com todo o resto da proposta e para que haja um diálogo entre todos os elementos. Ao utilizar a madeira, estude precisamente o tipo mais aplicável para cada projeto; essa é a forma mais correta para se alcançar uma determinada intenção projetual. Tire proveito das propriedades organolépticas da madeira para provocar estímulos sensoriais,

Padrão	Declaração	Prescrição
		como sua cor, seu brilho, seu desenho e, principalmente, sua textura. Ainda, quando empregada, a madeira traz uma sensação inata de conforto aos ambientes
4. Uso Estético	A madeira, que já em seu estado natural apresenta diversos padrões atraentes e decorativos, é um importante instrumento na criação arquitetônica esteticamente significativa	Valorize, no ato de projetar com a madeira, os aspectos estéticos que já são inerentes a ela, proporcionando respostas sensoriais por parte do usuário. O uso da madeira é um ótimo meio para o arquiteto alcançar efeitos estéticos interessantes no ambiente construído, sendo que esse apelo estético para o usuário se dá, principalmente, por se tratar de um material que já lhe é familiar. Utilize composições que destaquem a heterogeneidade desse material, seus diferentes tons, cores, padrões e texturas. Tome cuidado para que a madeira especificada combine com outros tipos de materiais e para que haja equilíbrio de tonalidades, texturas e acabamentos entre diferentes tipos de madeira
5. Uso Simbólico	O fato de a madeira provir da árvore e a sua interligação milenar com a história cultural da humanidade, enquanto material de construção, resulta numa relação emocional estreita com o ser humano	Valorize no ato de projetar com a madeira os aspectos simbólicos que já são inerentes a ela, proporcionando respostas sensoriais por parte do usuário. Trace uma imagem do estilo de vida dos futuros usuários do local para os quais irá elaborar determinado projeto; essa imagem deve refletir seus valores pessoais e sociais, além de representar o tipo de vida dessas pessoas
6. Princípios e Elementos Compositivos	A força de uma intenção projetual, sua função e a sua mensagem, dependerão dos princípios e elementos compositivos aplicados apropriadamente pelo arquiteto	Utilize os fundamentos da linguagem visual, compostos por elementos básicos organizados em uma gramática compositiva de relações e contrastes, para alcançar sua expressão visual particular para o espaço arquitetônico. Considere a influência das leis da perspectiva, pois elas poderão afetar a percepção espacial de uma composição
7. Aspecto Natural	O uso da madeira permite aproximar o homem e a arquitetura ao ambiente natural, mimetizando características que são comuns a esse universo	Empregue a madeira quando buscar aproximar o ambiente construído do natural, mesmo quando inserido no meio urbano. Considere suas características naturais, como nós, veios, diferentes cores e texturas, para compor esteticamente. Quando utilizar esse material de forma mais brutalista, no formato de troncos, utilize elementos construtivos feitos com peças roliças de reflorestamento tratadas
8. Aspectos Opostos	A madeira pode ser associada a aspectos rústicos ou urbanos, tradicionais ou modernos, simples ou requintados; tudo depende da proposta projetual e da forma com a qual ela será trabalhada	Evidencie seu aspecto rústico ou sua forma natural em projetos que pretendem um efeito simbólico que remeta aos valores da vida no campo, da vida de pessoas simples. Enfatize um detalhamento executivo minucioso do material, peças mais trabalhadas e rebuscadas, em projetos que pretendem um efeito simbólico de nobreza, de valores aristocráticos. Peças finas e leves passam a sensação de efemeridade; já peças maciças, de grandes dimensões e secções, transmitem o caráter de objeto perene
9. Aspecto Cenográfico	Uma importante característica estética que o uso da madeira proporciona ao ambiente construído é o aspecto cenográfico que o material traz, que é inerente a ele	Valha-se do aspecto cenográfico que a madeira traz, visto que características inerentes a ela, tanto simbólicas, como estéticas, podem ser aproveitadas para desempenhar a função de elemento de composição cenográfica, dando vida, movimento e, principalmente, conceito aos ambientes. Preocupe-se com a iluminação natural e artificial, tanto direta como indireta, que irá incidir sobre a composição com madeira; ela pode tanto intensificar, como amenizar suas características, como texturas e cores. Escolha cores para as superfícies que resultem em uma luz quente dentro dos ambientes. Elementos construtivos como pergolados, caramanchões e venezianas de madeira podem ser pensados como espaços cênicos
10.	As madeiras incorporam um conjunto de características	Empregue a madeira em estruturas e vedações, não só como um elemento de revestimento; ela é um material de construção

Padrão	Declaração	Prescrição
Funcionalidade	técnicas e econômicas que permitem ampliar o escopo possível de trabalho	bom e econômico, com grande usabilidade. Conheça as propriedades e características da madeira a ser utilizada, possibilitando especificar corretamente o material mais adequado a cada tipo de uso. Conheça quais são as principais desvantagens da madeira, as quais precisam ser cuidadosamente levadas em consideração e evitadas, na medida do possível, através de inovações técnicas e soluções projetuais
11. Empregabilidade, Trabalhabilidade e Manutenção	A madeira é um material acessível, versátil e de fácil manuseio, que permite manipulação através ferramentas simples, tanto por artesãos e carpinteiros, como por usuários	Utilize a madeira em seus projetos, um material que permite operações de manutenção feitas pelos próprios usuários, não sendo necessariamente indispensável contar com trabalhadores especializados ou equipamentos especiais. É um material que dá, também, espaço de manobra para a experimentação criativa. Especifique revestimentos que permitam reparos em pequenas áreas, como pisos de madeira, do tipo taco e parquet e lambris para forro, facilitando a manutenção de rotina, assim como a recuperação completa do material
12. Sistematização Construtiva	É essencial repensar e criar sistemas construtivos que aliem qualidades técnicas e plásticas e, principalmente, estejam comprometidos com o meio ambiente	Ao trabalhar com a madeira, reflita o ato projetual e busque otimizar o processo de sistematização construtiva, baseando-se, principalmente, em três critérios: qualidade, inovação tecnológica e sustentabilidade. A madeira é um material renovável com vocação para pré-fabricação de peças e componentes, e o compromisso com a qualidade precisa ser função precípua para o desenvolvimento de tecnologias construtivas
13. Conforto Térmico	A madeira é um isolante térmico natural. Composições de painéis de vedação possibilitam o incremento da resistência térmica do conjunto	A madeira apresenta baixa condutividade térmica; logo, é um material que é um isolante térmico natural. Entretanto, os sistemas construtivos tradicionais apresentam baixa inércia térmica. Uma forma de minimizar essa deficiência é trabalhar com a composições de painéis de vedação, que possibilitem o incremento da resistência térmica do conjunto, utilizando, por exemplo, isolantes térmicos, câmaras de ar ventiladas ou não ventiladas ou até materiais pesados, como a areia. Deve-se pesquisar qual é a melhor opção para o clima no qual será inserida a obra e trabalhar com essa solução técnica desde a fase de concepção do projeto, pois irá afetar todo o seu desenvolvimento
14. Evitar Umidade	O princípio básico da construção em madeira é que não se deve deixar a água penetrá-la e, se penetrar, deve ser eliminada rapidamente	Ao se construir com a madeira, é essencial não deixar a água penetrá-la ou permitir que seja eliminada rapidamente. Em vista disso, reflita sobre soluções projetuais e detalhes executivos que isolem a madeira o máximo possível da umidade, como aqueles descritos na explanação com a argumentação de suporte, diminuindo a necessidade de manutenções e prolongando a vida útil da edificação
15. Madeira Certificada	A madeira é um recurso natural renovável e deve ser explorada racionalmente, garantindo-se que a sua procedência seja fruto de manejo florestal cuidadoso e não-predatório	Ao escolher trabalhar com a madeira, é importante verificar a procedência do material e ter certeza de estar adquirindo espécies certificadas. Opte, sempre que possível, pelo uso de espécies extraídas localmente. Consulte qual é a condição da espécie que pretende utilizar, em termos de situação de risco ambiental em guias, listas oficiais e listas de organizações e entidades que atuam no setor florestal brasileiro. Questione fornecedores sobre as condições de obtenção da madeira, reforçando a conscientização e encorajando os negociantes a verificar a procedência dos seus produtos
16. Pisos de Madeira	O revestimento de pisos provavelmente é a finalidade para a qual grande parte do emprego da madeira é	Avalie se a espécie de madeira a ser especificada é apropriada ao uso como revestimento de piso, através da sua classificação de dureza. Para pisos de madeira maciços, dê preferência a especificações de tacos ou parquetes. É necessário, também,

Padrão	Declaração	Prescrição
	especificada. Portanto, alternativas mais sustentáveis necessitam ser ponderadas	valorizar produtos sólidos e reconstituídos, provenientes de madeiras de reflorestamento, contribuindo com o aumento da sua participação no mercado e incentivando novas pesquisas. Na fase de execução, precisa-se dar especial atenção à realização do contrapiso
17. Tratamento Preservativo	Produtos tradicionais utilizados para o tratamento preservativo das superfícies de madeira constituem uma ameaça à qualidade do ar interior, à saúde dos ocupantes e ao meio ambiente	Opte por métodos alternativos para o tratamento preservativo de madeira. Utilize óleos e substâncias naturais, que visam substituir os preservativos tradicionais no acabamento das superfícies, contribuindo com o aumento da sua participação no mercado e, conseqüentemente, ajudando com as pesquisas e o desenvolvimento desses produtos
18. Redução, Reutilização e Reciclagem	A sustentabilidade no setor da construção civil, no tocante ao emprego dos materiais e redução de resíduos, apoia-se em estratégias de projeto que podem ser subdivididas em três pontos de intervenção: redução, reutilização e reciclagem	Proporcione a redução do uso da madeira na construção civil através da pré-fabricação de componentes e sistematização construtiva, superando o erro incontrolado típico do processo artesanal; nesse processo, as obras poderão ser executadas em maior conformidade com os projetos, diminuindo desperdícios. Utilize elementos construtivos mais leves e mais finos e que exigem menos matéria-prima sem, com isso, deixar de salvaguardar aspectos de segurança, eficiência térmica e acústica, possibilitados pela inovação tecnológica. Essa leveza facilita também o transporte do material. Potencialize a reutilização do material através da racionalização construtiva, em projetos executados em padronizações modulares uniformemente dimensionadas e proporcionadas. Idealize encaixes das peças através de sambladuras facilitando a substituição, recuperação e reutilização das peças. Pondere sobre a utilização de materiais reciclados, comprados em depósitos de móveis ou de madeira de demolição, reaproveitados de peças ou mobiliários que possam ser desmontados

FONTE: O AUTOR.

Inicialmente, os padrões 1 a 9 buscam reconhecer na madeira um caráter de utilização mais subjetivo, de difícil mensuração e intangível. Quando julgadas como uma intenção projetual, esses padrões podem se configurar pelas propriedades inatas que o material traz, sendo utilizados na condição principal de uma proposta plástica. Embora o projetista geralmente disponha de uma ampla gama de escolhas para um determinado intento de projeto, alguns significados podem ser dados pela própria natureza dos materiais. Os padrões 10 a 14 agrupam propriedades da madeira na condição de um elemento construtivo, discutindo técnicas, sistemas e aporte de tecnologia, os quais propiciariam valorização técnica e funcional do material quando adotados pelos projetistas. Os padrões 15 a 18 - e indiretamente os padrões 1, 12 e 13 - abordam a madeira na condição de um material de construção que pode ser obtido diretamente da natureza, pensados para responder aos desafios ambientais, socioeconômicos e tecnológicos da sustentabilidade na construção civil.

Já na introdução desta dissertação, foi dito que há pouca expressividade da arquitetura em madeira no Brasil, uma vez que o entendimento dessa matéria-prima

como material de construção está comumente associado a edificações de baixa qualidade, prejudicado, ainda, pela insuficiente pesquisa e ensino nas escolas de arquitetura, o que resulta em projetos e obras de baixa qualidade construtiva. Nesse sentido, entende-se que para a valorização da arquitetura com madeira alguns padrões se destacariam e deveriam, inclusive, serem considerados indispensáveis para a boa prática arquitetônica. São eles: 1 (Madeira como Partido Arquitetônico), 3 (Recursos Sensoriais), 6 (Princípios e Elementos Compositivos), 12 (Sistematização Construtiva), 13 (Conforto Térmico), 14 (Evitar Umidade), 15 (Madeira Certificada) e 18 (Redução, Reutilização e Reciclagem).

Os padrões 1 (Madeira como Partido Arquitetônico) e 14 (Evitar Umidade) precisariam sempre ser adotados pelos projetistas ao se trabalhar com a madeira. O primeiro, por existirem técnicas construtivas próprias que precisam ser pensadas já no início do trabalho, as quais refletirão em métodos apropriados de desenho e na própria forma de se projetar. Sua adoção só seria dispensável quando a madeira fosse um elemento coadjuvante na construção, como quando na condição de simples revestimento, por exemplo. O segundo, por tratar-se de um princípio básico da construção com material, diminuindo a necessidade de manutenções e prolongando a vida útil das edificações. O padrão 3 (Recursos Sensoriais) refere-se às características subjetivas e sensoriais que um bom projeto poderia almejar proporcionar aos seus usuários, além de meramente atender a requisitos funcionais. O padrão 6 (Princípios e Elementos Compositivos) permitiria que arquitetos aplicassem apropriadamente os fundamentos da linguagem visual. Toda boa arquitetura busca transmitir alguma mensagem, além de organizar as diversas formas e espaços edificados dentro de um todo ordenado, unificado e coerente. Os padrões 12 (Sistematização Construtiva) e 13 (Conforto Térmico) auxiliariam na valorização técnica da madeira, propiciando uma arquitetura mais qualificada e que ajudaria a reverter o quadro de preconceito com que é visto esse material em nosso país enquanto elemento construtivo, quando desempenha uma função estrutural ou de vedação. Os padrões 15 (Madeira Certificada) e 18 (Redução, Reutilização e Reciclagem) assegurariam a exploração racional da madeira, garantindo-se, em primeiro lugar, que a sua procedência seja fruto de manejo florestal cuidadoso e não-predatório, contribuindo para manutenção das funções ecológicas e integridade das florestas, e, em segundo lugar, que a matéria-prima fosse melhor empregada na construção civil, reduzindo a grande quantidade de resíduos gerada atualmente por esse setor.

Os padrões 2 (Versatilidade Plástica), 10 (Funcionalidade) e 11 (Empregabilidade, Trabalhabilidade e Manutenção) não oferecem, por si só, prescrições

em termos práticos para ajudar a incorporá-los em um projeto real. Na realidade, apresentam mais considerações e incentivos acerca do uso material e que necessitam ser ponderados pelos arquitetos durante o ato projetual. Os padrões 4 (Uso Estético), 5 (Uso Simbólico), 7 (Aspecto Natural), 8 (Aspectos Opostos) e 9 (Aspecto Cenográfico) são predominantemente intenções plásticas. Trabalhando cada um deles, permitir-se-ia fazer mais com o mesmo material nos projetos de arquitetura. São formas de pensar, idealizar e organizar a madeira de uma maneira diferente, dando mais proeminência às suas características inatas ou proporcionando uma determinada mensagem ao espaço construído. Ao se pesquisar sobre a madeira, uma dificuldade também percebida por Berriel (2009, p. XXVI) é que existe uma lacuna ainda não satisfatoriamente preenchida dentro do conhecimento científico. É simples encontrar pesquisas que tratam da madeira enquanto material lenhoso, produzem ensaios de suas características físico-mecânicas, comparando espécies e chegando a resultados estatísticos. A lacuna está justamente entre o conhecimento do material e a busca de um método de se projetar eficaz, que propicie criar produtos e obras executados em madeira que contenham qualidades como beleza, conforto, durabilidade, rapidez, leveza e economia; enfim, qualidades que os tornem competitivos no mercado da construção civil atual. Os padrões apresentados neste parágrafo têm como função justamente isso, refletir sobre métodos de se projetar que propiciem a qualificação da madeira enquanto material arquitetônico.

Por fim, os padrões 16 (Pisos de Madeira) e 17 (Tratamento Preservativo) apresentam alternativas mais sustentáveis para o uso da madeira na construção. O primeiro oferece algumas alternativas de produtos sólidos e reconstituídos provenientes de madeiras de reflorestamento para o revestimento de pisos, área na qual há grande destinação do material. O segundo avalia alguns métodos alternativos para o tratamento preservativo de madeira, visto que os produtos tradicionalmente usados constituem uma ameaça à qualidade do ar interior, à saúde dos ocupantes e ao meio ambiente.

Ressalta-se que cada padrão não deve ser pensado como uma intenção projetual única e, por sua vez, excludente dos demais. Determinados aspectos da madeira poderiam facilmente transitar ou serem identificados em padrões diferentes; em alguns casos, elas têm forte destaque; em outros, não. Por exemplo, associar as características naturais da madeira ao 5 (Uso Simbólico) ou ao 7 (Aspecto Natural). Trata-se, então, de ao projetar criar o equilíbrio correto entre todos os padrões, para que cada um deles funcione ao máximo por si próprio, assim como também na sua relação com os outros.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O arquiteto americano Frank Lloyd Wright, que exerceu uma influência ímpar na arquitetura da primeira metade do século XX, considerava a madeira o mais amado de todos os materiais, dizendo “a madeira é de uma beleza universal para o homem, que adora estar associado a ela: gosta de a sentir na mão, é-lhe agradável ao tato e ao olhar” (ARCHITECTURAL RECORD, 1928⁷, *apud* PFEIFFER, 2000, p. 27). E são muitos os arquitetos, designers de interiores, além de outros profissionais e proprietários que partilham dessa admiração pelo material de construção mais antigo de que a humanidade dispõe.

A madeira permanece como o material de construção mais popular do mundo por diversas razões. “É completamente natural, reciclável, infinitamente renovável, e se colhida com responsabilidade, ela não perturba o equilíbrio ecológico do meio ambiente” (BELL e RAND, 2006). Ainda, construir com madeira é construir para o futuro, pois: a madeira é um material de construção renovável; é produzida na floresta, a fábrica mais amigável da sociedade e do meio ambiente; florestas e produtos de madeira armazenam dióxido de carbono; produtos de madeira economizam energia e dióxido de carbono (produção de baixa energia, ganhos de energia a partir de subprodutos e resíduos, a energia utilizada no final do ciclo de vida); todo uso de madeira em vez de fóssil ou materiais não-renováveis alivia o ambiente e contribui para a proteção do clima (HERZOG *et al.*, 2008).

Entretanto, os obstáculos para o desenvolvimento tecnológico da área madeira-construção são inúmeros no Brasil, em diferentes níveis e escalas. Há preconceitos culturais e técnicos em relação à madeira e seu emprego na construção civil, tanto por usuários, como por profissionais; há desconhecimento e pouco desenvolvimento das técnicas e dos métodos construtivos em madeira; há mão de obra pouco qualificada e a inexistência de formação apropriada para os profissionais da área madeira. Dentro desse contexto, pesquisadores e profissionais da área madeira precisam buscar colaborar com as soluções alternativas para a demanda de construções qualificadas no país, visando a maior aceitação dessas habitações pelo meio técnico-profissional e, principalmente, pela comunidade em geral.

“Criar sistemas é fundamentalmente tarefa do arquiteto, pois apenas ele tem formação técnica e humana para compreender a complexidade das contingências socioculturais e tecnológicas e propor respostas em diferentes escalas” (BERRIEL,

⁷ Architectural Record, maio de 1928.

2009, p. 60). Precisa partir desse profissional, portanto, uma disposição maior para refletir, questionar e pensar sobre o projeto de arquitetura. Suas providências necessitam também ser tomadas num sentido pragmático, pois qualquer ideia tem validade apenas se trazer alguma contribuição para a vida das pessoas. Com a devida observação de que, como a realidade é complexa e cheia de nuances, não há como afirmar que todas as pessoas serão beneficiadas igualmente por uma mesma proposta.

A pesquisa e a divulgação de sistemas construtivos alternativos são metas prioritárias para contribuir para o avanço tecnológico no Brasil, principalmente valendo-se de matérias-primas de menor impacto ambiental e procedentes de fontes renováveis. Para uma arquitetura mais qualificada, é crucial despende maior tempo no ato de elaborar sistemas projetuais, seguido pelo ato de projetar e, por último, o próprio ato de construir. Assim, a perspectiva desta pesquisa, ao propor uma linguagem de padrões para a madeira, é buscar, justamente, a formação de uma visão de valorização do seu uso dentro do setor da construção civil. Um material que pode ser extraído e produzido localmente, promovendo educação e conscientização ambiental de forma responsável frente às gerações futuras, que possui séculos de história na moradia humana, que possui uma ampla gama de formas, cores, padrões e texturas e que pode proporcionar sensações agradáveis, conforto e bem-estar ao usuário.

Após a realização deste trabalho, a primeira constatação é a de reconhecer que um sistema construtivo em madeira requer uma nova prática arquitetônica, refletindo nas formas e nos produtos e rompendo com os sistemas de construção convencionais em alvenaria e tradicionais em madeira. Entretanto, ao iniciá-lo, julgava-se que a ligação entre a linguagem de padrões proposta por Alexander e a madeira como material de construção seria mais certa, mais óbvia. Que existiriam exemplos claros dessa utilização a serem colhidos diretamente da obra do autor. Somente com desenvolvimento da pesquisa e o conseqüente aprofundamento na obra do autor, evidenciou-se que essa ligação não era tão direta assim; pelo contrário, pouco se fala da madeira.

Entre duzentos e cinquenta e três padrões, nenhum trata especificamente sobre o seu uso nas construções, mesmo em padrões pertinentes, como os relativos às esquadrias. Em muitos casos ele desaconselha o uso do material, faz apologia ao uso do concreto, coloca-se contra soluções padronizadas e industrializadas, que poderiam reduzir o desperdício, e ainda descarta o uso da madeira nas soluções estruturais, a não ser quando empregada em estruturas aparentes. O trabalho de

Alexander também é difícil de ser interpretado em termos de sustentabilidade. Por mais que esse termo nem existisse na época, não há nenhum padrão dedicado diretamente ao impacto ambiental das construções.

O centro do discurso de Alexander é claramente a qualidade de vida do ser humano no espaço construído. Como dito anteriormente no capítulo sobre sistematização construtiva, entende-se que a principal crítica do autor a respeito da industrialização é direcionada aos profissionais que se tornam reféns das demandas técnicas e prejudicam o seu trabalho, oferecendo soluções pobres e monótonas, colocando questões de ordem executiva à frente das necessidades humanas. E apesar de que a composição de padrões visando construções mais sustentáveis não era evidentemente a proposta original de Alexander, há leituras como a de Kowaltowski e Barros (2013) que buscam relacionar uma possível visão de futuro do autor, no rumo do que se estuda hoje como sustentabilidade.

Além do mais, se há um entendimento que permanece durante a leitura da obra de Alexander é a necessidade de se refletir sobre a concepção e construção do pensamento projetual. O processo de projeto que procura soluções de qualidade necessita, além de conhecimento sólido no campo de atuação profissional, de base crítica interna que auxilie no direcionamento do projeto em desenvolvimento sem, no entanto, mecanizá-lo a ponto de impossibilitar a manifestação da criatividade. E é justamente na formação dessa base crítica que o conceito da linguagem de padrões é vantajoso. Acredita-se que estratégias propostas a partir dele podem constituir um embasamento flexível para a emergência de novas ideias e contribuir para a reflexão e a prática do processo projetivo, visando à melhoria da qualidade do ambiente construído.

Somente com o andamento da pesquisa bibliográfica é que os padrões para a madeira começaram a ser efetivamente vislumbrados; tentativas de enumerá-los logo no início se mostraram arbitrarias. Os próprios critérios de escolha dos padrões para formar uma linguagem são difíceis de serem estabelecidos, sendo, por muitas vezes, subjetivos. Para o desenvolvimento de uma linguagem de padrões para a madeira, o ideal seria contar com mais pesquisadores, com diferentes experiências profissionais e perspectivas, inclusive vindos de outras áreas de conhecimento. E, sobretudo, fica evidente a necessidade de colocar esses padrões em prática para validá-los, verificando se realmente contribuiriam num processo de valorização do ambiente construído.

O objetivo desta dissertação foi, justamente, propor uma linguagem de padrões específica para a madeira, apresentando um conjunto de práticas projetuais

de arquitetura para a valorização plástica, técnica e funcional do seu emprego sob o ponto de vista do pensamento arquitetônico sustentável. Considera-se que ele foi alcançado, concebendo os traços gerais dessa linguagem. Entre enganos e acertos, uma proposta foi apresentada. Agora é preciso ampliar essa linguagem e, principalmente, colocá-la em prática.

6.1 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Assim como Alexander, que declarou não ter tido a pretensão de esgotar os padrões possíveis dada a fonte inesgotável de padrões de acontecimentos da vida, o mesmo poderia ser dito desta dissertação. Há muito a pesquisar na área madeira, projeto e construção. A intenção desta pesquisa não era a de findar as colocações sobre o assunto, nem as discussões que ela possa vir a despertar; pelo contrário, espera-se que os resultados possam motivar novas investigações e trabalhos futuros. Grande parte da dificuldade encontrada para a elaboração deste trabalho decorreu justamente da lacuna existente entre o conhecimento da madeira, enquanto material de construção, e a busca de métodos de se projetar adequados a ela. Portanto, acredita-se que novos estudos sobre métodos e ferramentas projetuais serão sempre bem-vindos, oferecendo suporte conceitual a um processo em que regras, por si só, não conseguem resolver a totalidade dos problemas.

As recomendações para trabalhos futuros foram feitas em dois tópicos separados. O primeiro trata do aperfeiçoamento dos padrões já apresentados assim como da sugestão de outros padrões, que ajudariam a ampliar a linguagem. No segundo, são indicadas linhas de pesquisas relacionadas ao tema desta dissertação.

6.1.1 Especialização da Linguagem de Padrões para a Madeira

A natureza do trabalho desenvolvido nesta dissertação é multidisciplinar. Portanto, a contribuição de outros profissionais, com experiências e visões diferenciadas, é fundamental para a criação de uma linguagem de padrões eficiente para a madeira. Esses pesquisadores poderiam contribuir tanto com a especialização dos padrões já apresentados, assim como pesquisar novos padrões para tornar a linguagem mais abrangente. Alguns conceitos chegaram a ser estudados para esta dissertação, mas acabaram não sendo incluídos por não terem sido desenvolvidos a contento. Entre eles, cita-se:

A. Madeira como elemento estrutural: as estruturas representam cerca de 25% a 30% do impacto de uma construção; portanto, a boa relação entre peso e resistência mecânica da madeira pode gerar impactos ambientais menores, se comparada a outros materiais de construção. A madeira, na natureza, já desempenha uma função estrutural. Depois de serrada, quando utilizada como estrutura de um edifício, pode funcionar como um elemento pré-moldado, leve e de fácil montagem, que não passou por processos de fabricação que determinem sua resistência. Peças de madeira são postas em carga imediatamente nas estruturas, dispensando o tempo de cura necessário para que pilares, vigas e outros elementos de concreto adquiram resistência, por exemplo;

B. Resistência ao fogo: ao se projetar com a madeira, é essencial salvaguardar aspectos de segurança e atender as normas de combate a incêndio. Peças robustas desse material, quando expostas ao fogo, formam uma camada superficial que age como uma espécie de isolante, resultando num aquecimento e degradação do material a uma velocidade menor e, assim, colaborando favoravelmente para melhorar a capacidade de sustentação das cargas da edificação;

C. Isolamento acústico: condição importante para alcançar o bem-estar em um ambiente construído, sendo que sua ausência debilita a saúde e a produtividade dos usuários. Técnicas tradicionais em madeira, como paredes com tábuas e mata-juntas, não propiciam isolamento acústico;

D. Aporte tecnológico: é necessário estudar as contribuições que as inovações tecnológicas já executadas internacionalmente, principalmente nos países nórdicos, poderiam trazer para as construções em madeira no Brasil;

E. Conexões com outros materiais: em uma construção, há grande variedade de elementos a unir. É importante, portanto, considerar as uniões e reforços que permitirão que as conexões trabalhem em conjunto. Esses conectores permitem não somente incorporar madeira com madeira, como possibilitam ancorar elementos de madeira com outros materiais, como alvenaria, concreto e elementos metálicos;

F. Ao projetar estruturas de madeira, é muito importante considerar as uniões e reforços que permitirão que estas mantenham-se efetivamente de pé e trabalhem em conjunto. Esses conectores não somente permitem incorporar madeira com madeira, como possibilitam ancorar elementos de madeira com paredes de alvenaria e concreto.

G. Tratamentos superficiais estéticos: a variedade de cores e texturas naturais da madeira pode ainda ser complementada por tratamentos superficiais estéticos, os quais trarão novos recursos plásticos que podem ser aproveitados pelos profissionais;

H. Dimensões usuais de peças de madeira maciça e de derivados: propor uma sistematização construtiva, a partir das dimensões já existentes no mercado para peças de madeira e seus derivados.

6.1.2 Linhas de Pesquisa Relacionadas ao Tema

Na sequencia, são sugeridas algumas outras linhas de pesquisas relacionadas ao tema abordado:

A. Avaliar a questão da normatização para o uso da madeira: um dos aspectos que mais contribuem para o atraso tecnológico dos setores ligados ao emprego da madeira na construção civil é o desconhecimento, desconsideração ou até inexistência de normas técnicas que regulamentem o seu uso, principalmente tratando-se do mercado interno. Quando destinada à exportação, a produção madeireira acaba tendo de se adequar às elevadas exigências técnicas de normas e compradores internacionais (MELLO, 2007). Ainda, conforme esse autor, a ausência de classificação e de padronização acaba por gerar produtos de baixa qualidade, que contribuem ainda mais com o preconceito, desperdício e má utilização da madeira no setor da construção civil. Características físicas, propriedades mecânicas e durabilidade próprias a cada espécie não são bem definidas e identificadas, prejudicando que o tipo apropriado de madeira para cada uso seja especificado de forma adequada;

B. Realizar Estudos de Caso em ambientes construídos com madeira, avaliando a pertinência dos padrões quando assentados em condições reais;

C. Realizar APO (Avaliação Pós Ocupação) em ambientes construídos com madeira, possibilitando a partir das experiências dos usuários propor padrões que propiciem qualidade de vida ao ser humano, aspecto bastante estimado por Alexander;

D. Extrapolar a linguagem de padrões para outros materiais de construção.

O resultado desses estudos poderia contribuir para um conhecimento mais aprofundado sobre a preferência por determinados padrões, além de garantir uma validade externa maior, visto que para generalizar os resultados da linguagem de padrões seria necessário, primeiramente, realizar outros estudos e comparar os resultados alcançados.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALEXANDER, C. **Notes on the Synthesis of Form**. Cambridge, Massachusetts: Harvard University Press, 1964.

_____. **A cidade não é uma árvore**. Cuadernos Summa – Nueva Visión, n. 9, p. 20–30, abr. 1971.

_____. **El modo intemporal de construir**. Barcelona: Gustavo Gili S.A., 1981.

_____; ISHIKAWA, S.; SILVERSTEIN, M. **Uma linguagem de padrões: a pattern language**. Tradução: SALVATERRA, A.; revisão técnica: KOWALTOWSKI, D. C. C. K.; BARROS, R. R. M. P. Porto Alegre: Bookman, 2013.

_____. Making the garden. **First Things**, Institute on Religion and Public Life, fev. 2016. Disponível em: <<https://www.firstthings.com/article/2016/02/making-the-garden#print>>. Acesso em: 16/11/2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7203**: Madeira serrada e beneficiada. Rio de Janeiro, 1982.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190**: Projeto de estruturas de madeira. Rio de Janeiro, 1997.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15873**: Coordenação modular para edificações. Rio de Janeiro, 2010.

BARRENECHE, R. A. **Isay Weinfeld**. Tradução: SANDLER, D. São Paulo: BEI Comunicação, 2008.

BARROS, R. R. M. P. A Integração de conhecimento qualitativo no processo de projeto. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, vol. 1, n. 3, 2008. ISSN 1980-6809.

BATTAUS, D. M. A. Parâmetros de projeto (patterns) de Christopher Alexander traduzidos para o português. **Risco: Revista de Pesquisa em Arquitetura e Urbanismo**, Instituto de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo (IAU-USP), n. 17, p. 144-146, 2013. ISSN: 1984-4506

_____. O New Urbanism e a linguagem de padrões de Christopher Alexander. **Oculum Ensaios**, v. 12, n. 1. 2015. ISSN 2318-0919

BAUER, L. A. F. **Materiais de construção: novos materiais para a construção civil**. Vol. 2. 5. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 2001.

BAXTER, M. **Projeto de produto: guia prático para o design de novos produtos**. 2. ed. Tradução: Itiro lida. São Paulo: Edgard Blücher, 1998.

BELL, V. B.; RAND, P. **Materials for architectural design**. London: Laurence King Publishing Ltd, 2006.

BENTANCOR, L. Desflorestamento e arquitetura. **Arquitextos**, São Paulo, ano 06, n. 061.06, Vitruvius, jun. 2005. Disponível em: <<http://www.vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/06.061/454>>. Acesso em: 14/04/2015. ISSN 1809-6298.

BERRIEL, A. **Madeira e morada: a habitação de madeira como opção para o século XXI**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo), PUC-PR em convênio com UFRGS: Curitiba, 2002.

_____. **Arquitetura de madeira: reflexões e diretrizes de projeto para concepção de sistemas e elementos construtivos**. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal), Universidade Federal do Paraná: Curitiba, 2009.

_____. **Tectônica e poética das casas de tábuas**. Curitiba, PR: Instituto Arquibrasil, 2011.

BERTOLINI, M. S.; NASCIMENTO, M. F.; CHRISTOFORO, A. L.; LAHR, F. A. R. Painéis de partículas provenientes de rejeitos de Pinus sp. tratado com preservante CCA e resina derivada de biomassa. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.38, n.2, p.339-346. 2014.

BITTENCOURT, R. M. **Concepção arquitetônica da habitação em madeira**. Tese (Engenharia da Construção Civil e Urbana) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995.

_____; HELLMEISTER, J. C. Concepção Arquitetônica da Habitação em Madeira. **Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP**, Departamento de Engenharia de Construção Civil, BT/PCC/155, 1995, 24p.

BRANDÃO, O. C. S. **Sobre Fazer Projeto e Aprender a Fazer Projeto**. 2008. 272f. Tese (Doutorado em Arquitetura) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo: São Paulo, SP, 2008.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. **Diário Oficial [da] Republica Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 2 ago. 2010.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Rede Nacional de Informações sobre o Investimento – RENAI. **Oportunidades de investimento – Setores econômicos: Madeira e Móveis**. 2010. Disponível em: <http://www.mdic.gov.br/sistemas_web/renai/public/arquivo/arq1273166189.pdf>. Acesso em: 03/05/2015.

BRITO, L.D. **Recomendações para o Projeto e Construção de Estruturas com Peças Roliças de Madeira de Reflorestamento**. 2010. 339f. Dissertação (Mestrado

em Engenharia de Estruturas) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, 1999.

BUCHANAN, A. H. Concrete, Steel or Timber: An Environmental Choice. **Wood Design Focus**. V. 21 , N. 3. 1993.

_____; LEVINE, S.B. Wood-based building materials and atmospheric carbon emissions. **Environmental Science & Policy** 2. p. 427-437. 1999.

CAVALLI, A.; CIBECCHINI, D.; TOGNI, M.; SOUSA, H. S. A review on the mechanical properties of aged wood and salvaged timber. **Construction and Building Materials**. 114, p. 681–687. 2016.

CEI-BOIS. **Tackle Climate Change: Use Wood**. Disponível em: <www.cei-bois.org/en/publications>. Acesso em: 11/09/2016.

CALIL JUNIOR, C. **Madeira “engenheirada” na construção do futuro**. jul. 2013. Disponível em: <<http://www.montana.com.br/Comunicacao/Noticias/Mais-noticias/Madeira-engenheirada-na-construcao-do-futuro>>. Acesso em: 23/07/2016.

CASTRO, S. C. L. **O uso da madeira em construções habitacionais: a experiência do passado e a perspectiva de sustentabilidade no exemplo da arquitetura chilena**. 2008. 179 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Construção Civil, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, 2008.

CIB e UNEP-IETC (2002). **Agenda 21 for Sustainable Construction in Developing Countries**. Pretoria, África do Sul: CSIR Building and Construction Technology. [Documento para discussão].

CHING, F. D. K. **Forma, Espaço e Ordem**. 3. ed. Tradução: Alvarar Helena Lamparelli. São Paulo: Martins Fontes, 2002.

_____. **Dicionário Visual de Arquitetura**. 3. ed. Tradução: Julio Fischer. São Paulo: Martins Fontes, 2003.

_____. **Arquitetura de Interiores Ilustrada**. 2. ed. Tradução: Alexandre Ferreira da Silva Salvaterra. Porto Alegre: Bookman, 2006.

COMMONWEALTH OF AUSTRALIA. Your Home: Australia's guide to environmentally sustainable homes. 4. ed. Department of the Environment and Energy. 2010.

CONSELHO BRASILEIRO DE MANEJO FLORESTAL – FSC BRASIL. 2015. Disponível em: <<https://br.fsc.org/index.htm>>. Acesso em: 10/05/2015.

CUNHA, V. Madeira e sustentabilidade, como vai esta relação? **Arquitextos**, São Paulo, ano 11, n. 129.05, Vitruvius, fev. 2011. Disponível em: <<http://www.vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/11.129/3750>>. Acesso em: 26/04/2015. ISSN 1809-6298.

DODOO, A.; GUSTAVSSON, L.; SATHRE, R. Lifecycle carbon implications of conventional and low-energy multi-storey timber building systems. **Energy & Buildings**, Vol.82, p.194-210. 2014.

DRESCH, A.; LACERDA, D. P.; ANTUNES JÚNIOR, J. A. V. **Design science research**: método de pesquisa para avanço da ciência e tecnologia. Porto Alegre: Bookman, 2015.

DUNN, A. **Final Report for Commercial Building Costing Cases Studies**: Traditional Design versus Timber Project. Timber Development Association. Australia: Forest & Wood Products Australia Limited, 2015. Disponível em: <<http://www.fwpa.com.au/>>. Acesso em: 14/09/2016.

EDITORIAL BLUME. **La maderas**. Barcelona: Editorial Blume, 1986.

FANGER, P. O. **Thermal Comfort**: Analysis and Applications in Environmental Engineering. Malabar: Robert E. Krieger Publishing Company, 1982.

FORESTS AND WOOD PRODUCTS RESEARCH AND DEVELOPMENT CORPORATION. **Build in Timber**. Australian Government. 2005. Disponível em: <<http://www.woodsolutions.com.au/Articles/Why-Wood/product-performance-strength>>. Acesso em: 13/09/2016

FRAISSE, G.; BOICHOT, R.; KOUYOUMJI, J. L.; SOUYRI, B. Night cooling with a Ventilated Internal Double Wall. **Energy and Buildings**, 42, p. 393–400. 2010.

GAUZIN-MÜLLER, D. **Madeira como estrutura**: A história da Ita. São Paulo: Paralaxe, 2005.

GIGLIO, T. G. F. **Avaliação do desempenho térmico de painéis de vedação em madeira para o clima de Londrina - PR**. 2005. 135 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós- Graduação em Engenharia de Edificações e Saneamento, Departamento de Construção Civil, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, Paraná, 2005.

GIBBS, N. **Guia essencial da madeira**: um manual ilustrado de 100 madeiras decorativas e suas aplicações. Lisboa: LISMA – Edição e Distribuição de Livros Lda, 2005.

GIL, A. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

GONÇALVES, J. C. S.; DUARTE, D. H. S. Arquitetura sustentável: uma integração entre ambiente, projeto e tecnologia em experiências de pesquisa, prática e ensino **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 6, n. 4, p. 51-81 out./dez. 2006. ISSN 1415-8876.

GUSTAVSSON, L.; JOELSSON, A.; SATHRE, R. Life cycle primary energy use and carbon emission of an eight-storey wood-framed apartment building. **Energy Build.** 42 (2), p. 230-242. 2010.

GRANDE ENCICLOPÉDIA LAROUSSE CULTURAL. São Paulo: Nova Cultural, 1998.

HERTZBERGER, H. **Lições de Arquitetura**. 1. ed. Tradução: Carlos Eduardo Lima Machado. Martins Fontes: São Paulo, 1996

HERZOG, T.; NATTERER, J.; SCHWEITZER, R.; VOLZ, M.; WINTER, W. **Timber Construction Manual**. Tradução: Gerd SÖFFKER, G.; THRIFT, P. Munich: Edition Detail, 2008.

INSTITUTO DE MANEJO DE CERTIFICAÇÃO FLORESTAL E AGRÍCOLA - IMAFLORA. 2015. Disponível em: <<http://www.imaflora.org/index.php>>. Acesso em: 10/12/2015.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura**. Rio de Janeiro: IBGE, 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. **Geo Brasil 2002 – Perspectivas do Meio Ambiente no Brasil**. Brasília: Edições IBAMA, 2002.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO S.A. - IPT. **Madeira: uso sustentável na construção civil**. 2. ed. São Paulo: SVMA, 2009.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA - INMETRO. 2015. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/qualidade/cerflor.asp>>. Acesso em: 10/05/2015.

IWAKIRI, S.; STINGHEN, A. B. M.; NUNES, E. L. S.; ZAMARIAN, E. H. C.; ADRIAZOLA, M. K. O. Utilização de lâminas de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus maculata* como alternativas para produção de piso laminado com montagem direta. **FLORESTA**, Curitiba, PR, v. 36, n. 3, set./dez. 2006.

JUHASZ, J. B. Christopher Alexander and the language of architecture. **Journal of Environmental Psychology**. London, p. 241-246, 1981.

KALIL, S. M. B. **A Madeira Natural e Produtos Transformados**. (Material Didático). Faculdade de Engenharia -FENG-, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, 2011. Disponível em: <http://www.feng.pucrs.br/professores/soares/Topicos_Especiais_-_Estruturas_de_Madeira/A_Madeira_Natural_e_Produtos_Transformados.pdf>. Acesso em: 27/07/2017.

KLOSS, C. L. **Materiais para a construção civil**. 2. ed. Curitiba: Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná, 1996.

KOWALTOWSKI, D.C.C.K.; BARROS, R.R.M.P. Prefácio. In: ALEXANDER, Christopher; ISHIKAWA, Sara; SILVERSTEIN, Murray. **Uma linguagem de padrões: a pattern language**. Tradução: SALVATERRA, A.; revisão técnica: KOWALTOWSKI, D.C.C.K.; BARROS, R.R.M.P. Porto Alegre: Bookman, 2013.

LÖBACH, B. **Design industrial: bases para a configuração dos produtos industriais**. Tradução: Freddy Van Camp. Rio de Janeiro: Edgar Blücher Ltda, 2001.

MADY, F. T. M. A condutividade térmica na madeira. **Revista da Madeira**, Ed. 112. 2008. Disponível em: <http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=1238&subject=E> Acesso em: 07/03/2017.

MELLO, R. L. L. **Projetar em madeira: uma nova abordagem**. 2007. 184 f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, Brasília, 2007.

MOLINA, J. C.; CALIL JUNIOR, C. 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. EISSN 16790375.

MONICH, C. R. **Avaliação ambiental de uma habitação de interesse social pré-fabricada em madeira no sistema wood frame no estado do Paraná**. 2012. 126 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Construção Civil, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, 2012.

MOREIRA, C. A. F. **Biotecnologia e meio ambiente, Ciclo de palestra – Fala USP**. Desenvolvimento Sustentável, SP, USP, jun/1999.

MORESCHI, J. C. **Propriedades da madeira**. (Material Didático). 4. ed. Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, 2012.

_____. **Biodegradação e preservação da madeira: preservativos de madeira**. (Material Didático). Vol. 2. Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, 2013.

MORIKAWA, D. C. L. **Métodos construtivos para edificações utilizando componentes derivados da madeira de reflorestamento**. 2006. 115 f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, São Paulo, 2006.

OLIVEIRA, B. F.; PINTO, E. M. Tecnologia em CLT valoriza madeira. **Revista da Madeira**, Ed. 143. 2015. Disponível em: <<http://pt.calameo.com/read/0022986484ce464a5e7f1>>. Acesso em: 25/07/2016.

REVISTA DA MADEIRA. Tecnologia amplia possibilidades de usos. **Revista da Madeira**, Curitiba, PR, n. 109, dez., 2007. Disponível em: <http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=1187&subject=Preservantes&title=Tecnologia>. Acesso em: 16/09/2016.

PADILHA, C.; LIMA, J. T.; J. R. M.; TRUGILHO, P.F.; ANDRADE, H. B. Avaliação da qualidade da madeira de *Eucalyptus urophylla* para utilização em pisos. **Scientia Forestalis**, n. 71, p. 141-147. 2006.

PALMA, H. A. L.; BALLARIN, A. W. Propriedades físicas e mecânicas de painéis LVL de *Eucalyptus Grandis*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 21, n. 3, p. 559-566, jul.-set., 2011. ISSN 0103-9954

PFEIFFER, B. B. **Frank Lloyd Wright**. Hohenzollernring: Taschen, 2000.

PROGRAMA BRASILEIRO DE CERTIFICAÇÃO FLORESTAL - CERFLOR. 2015. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/qualidade/cerflor.asp>>. Acesso em: 10/05/2015.

QUEIROZ, M. O experimento com a escola de música da UFBA: um processo participativo utilizando a linguagem de padrões de Christopher Alexander. **Cadernos PPG-AU/UFBA**, v.3, n.1, 2004. Disponível em: <<http://www.portalseer.ufba.br/index.php/ppgau/article/view/1410>>. Acesso em: 02/09/2016.

ROBSON, C. **Real World Research**: A resource for social scientists and practioner - researchers. Second Edition. 2002.

ROSSO, T. **Racionalização da construção**. São Paulo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, 1980.

SALINGAROS, N. A. Structure of pattern languages. **Architectural Research Quarterly**, Cambridge University Press, v.4, p. 149-161. 2000.

SANTOS, A. C.; SZCÜS, C. A. Diafragmas horizontais de piso em madeira, confeccionados com chapas de OSB e vigas I, submetido ao carregamento em seu plano. **Acta Scientiarum. Technology**, Maringá, v. 32, n. 4, p. 375-382. 2010.

SAYEGH, S. Pré-fabricação a limpo (Arquitetos desmistificam os sistemas pré-fabricados de construção e contam como utilizar o recurso com criatividade e competência). **Revista AU**, São Paulo: Pini, n. 130, 2005. Disponível em: <<http://www.au.pini.com.br/arquitetura-urbanismo/130/pre-fabricacao-a-limpo-22672-1.aspx>>. Acesso em: 13/03/2017.

SCHMID, A. L. **A idéia de conforto: reflexões sobre o ambiente construído**. Curitiba: Pacto Ambiental, 2005.

SEIDEL, F. **Architecture materials**: maderas, legno, madeira. Tradução: SANTOS, B. Barcelona: LocTeam, 2008.

SILVA, B. A. **Superfícies em madeira e qualidade do ar: um estudo sobre os produtos e tratamentos associados ao uso da madeira no ambiente construído e as práticas de especificação dos arquitetos paranaenses**. 2012. 195 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Construção Civil, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, 2012.

SILVA, F. D. **Teorias do projeto e representação: investigação sobre uma lacuna epistemológica**. 2011. 156 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pesquisa e Pós-

Graduação em Arquitetura, Departamento de Arquitetura, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, 2011.

SILVA, V. G. Indicadores de sustentabilidade de edifícios: estado da arte e desafio para desenvolvimento no Brasil. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 7, n. 1, p. 47-66, jan./mar. 2007. ISSN 1415-8876.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES FLORESTAIS - SNIF. **Produção Florestal**. 2015. Disponível em: < <http://www.florestal.gov.br/snif/producao-florestal/consumo>>. Acesso em: 22/09/2016.

SNYDER, J. C.; CATANESE, A. J. **Introdução a arquitetura**. Rio de Janeiro: Campus, 1984.

TAVARES, S. F. **Metodologia de análise do ciclo de vida energético de edificações residenciais brasileiras**. 2006. 225 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - PPGEC, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

TONELLIA, C.; GRIMAUDO, M. Timber buildings and thermal inertia: Open scientific problems for summer behavior in Mediterranean climate. **Energy and Buildings**, 83, p. 89–95. 2014.

TORRES, J. T. C. **Sistemas construtivos modernos em madeira**. 2010. 166 f. Dissertação (Mestrado) - Especialização em Construções Cíveis, Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2010.

URSSI, N. J. **A Linguagem Cenográfica**. 2006. 122 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós Graduação na Área de Artes Cênicas, Departamento de Artes Cênicas, Escola de Comunicações e Artes, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

UPTON, B.; MINER, R.; SPINNEY, M.; HEATH, L. S. The greenhouse gas and energy impacts of using wood instead of alternatives in residential construction in the United States. **Biomass and Bioenergy**, volume 32, 1. ed., p. 1-10. 2008.

VIDAL, J. M.; EVANGELISTA, W. V.; SILVA, J. C.; JANKOWSKY, I. P. Preservação de madeiras no Brasil: histórico, cenário atual e tendências. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 25, n. 1, p. 257-271. 2015

WANG, L.; TOPPINEN, A.; JUSLIN, H. Use of wood in green building: a study of expert perspectives from the UK. **Journal of Cleaner Production**, 65, p. 350-361. 2014. ISSN 0959-6526.

YIN, R. K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. Tradução: Daniel Grassi. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.

YUBA, A. N. **Análise da pluridimensionalidade da sustentabilidade da cadeia produtiva de componentes construtivos de madeira de plantios florestais**.

2005. 230 f. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.

ZALESKI, C. B. **Materiais e Conforto: Um estudo sobre a preferência por alguns materiais de acabamento e sua relação com o conforto percebido em interiores residenciais da classe média de Curitiba.** 2006. 134 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Construção Civil, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, 2006.

8 FONTES DAS FIGURAS

ALEXANDER, C. **Notes on the Synthesis of Form**. Cambridge, Massachusetts: Harvard University Press, 1964.

_____. **El modo intemporal de construir**. Barcelona: Gustavo Gili S.A., 1981.

ARCHDAILY. Disponível em: <<http://www.archdaily.com.br/>>. Acesso em: 05/08/2016.

BARRENECHE, R. A. **Isay Weinfeld**. Tradução: SANDLER, D. São Paulo: BEI Comunicação, 2008.

BERRIEL, A. **Arquitetura de madeira: reflexões e diretrizes de projeto para concepção de sistemas e elementos construtivos**. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal), Universidade Federal do Paraná: Curitiba, 2009.

CHING, F. D. K. **Dicionário Visual de Arquitetura**. 3. ed. Tradução: Julio Fischer. São Paulo: Martins Fontes, 2003.

DCOREVOCE. Disponível em: <<http://www.dcorevoce.com.br/pergolado/>>. Acesso em: 21/01/2017.

DYNAMIC ARCHITECTURAL WINDOWS & DOORS. Disponível em: <<http://www.dynamicwindows.com/about/fsc-certified/>>. Acesso em: 11/09/2016.

EDITORIAL BLUME. **La madera**. Barcelona: Editorial Blume, 1986.

ESTÚDIO PAULO ALVES. Disponível em: <<http://www.pauloalves.com.br/produto/buffet-cercadinho>>. Acesso em: 09/09/2016.

FRAME HOMES. Disponível em: <<http://www.framehomes.co.uk/timber-frame-south-west/timber-frame-wiltshire/>>. Acesso em: 12/09/2016.

GIBBS, N. **Guia essencial da madeira**: um manual ilustrado de 100 madeiras decorativas e suas aplicações. Lisboa: LISMA – Edição e Distribuição de Livros Lda, 2005.

GOULD DESIGN. Disponível em: <<https://goulddesigninc.wordpress.com/>>. Acesso em: 24/07/2016.

HYBRID BUILD SOLUTIONS LTD. Disponível em: <<http://hybrid-build.co/>>. Acesso em: 24/07/2016.

IMAGUIRE, K. Acervo pessoal. Disponível em: <<http://www.lambrequim.net/>>. Acesso em: 18/09/2016.

L'ATELIER DES MOULINS. Disponível em: <<http://www.atelierdesmoulins.fr/>>. Acesso em: 15/09/2016.

MOVELARIA PARANISTA. Tamburato, MDF, MDP, OSB... A madeira por trás de nomes e siglas. Disponível em: <http://www.movelariaparanista.com.br/index.php?option=com_content&view=article&id=79:tamburato-mdf-mdp-osb-a-madeira-por-tras-de-nomes-e-siglas&catid=23&Itemid=401>. Acesso em: 24/07/2016.

ORGANIC & NATURAL PAINT COMPANY. Disponível em: <<http://www.organicnaturalpaint.co.uk/>>. Acesso em: 09/09/2016.

QUEIROZ, M. O experimento com a escola de música da UFBA: um processo participativo utilizando a linguagem de padrões de Christopher Alexander. **Cadernos PPG-AU/UFBA**, v.3, n.1, 2004. Disponível em: <<http://www.portalseer.ufba.br/index.php/ppgau/article/view/1410>>. Acesso em: 02/09/2016.

RENZO PIANO BUILDING WORKSHOP. Disponível em: <<http://www.rpbw.com/>>. Acesso em: 05/06/2016.

REVISTA PROJETO DESIGN. São Paulo: Arco, n. 340, mar. 2008.

SEIDEL, F. **Architecture materials**: mader, legno, madeira. Tradução: SANTOS, B. Barcelona: LocTeam, 2008.

UNILIVRE. Disponível em: <<http://www.unilivre.org.br/>>. Acesso em: 09/06/2016.