

RECOMENDAÇÕES PROJETAIS PARA EDIFICAÇÕES DE MADEIRA NO CLIMA QUENTE E ÚMIDO

DESIGN GUIDELINES FOR WOODEN BUILDINGS IN A HOT AND HUMID CLIMATE

 Bárbara Laís Felipe de Oliveira ¹

 Aldomar Pedrini ²

 Edna Moura Pinto ³

¹ Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Pau dos Ferros, RN, Brasil.
barbaralfelipe@gmail.com

² Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN, Brasil,
aldomar.pedrini@ufrn.br

³ Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN, Brasil,
edna.moura@ufrn.br

Contribuição dos autores:

BLFO: conceituação, curadoria de dados, análise formal, investigação, metodologia, validação, visualização, escrita - rascunho original e escrita - revisão e edição. **AP:** conceituação, curadoria de dados, metodologia, supervisão, validação. **EMP:** conceituação, curadoria de dados, metodologia, supervisão, validação.

Fomento: Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior

Declaração de conflito: nada foi declarado.

Editor Responsável:

Vanessa Gomes da Silva 

Resumo

Este artigo apresenta diretrizes projetuais para a implementação de construções em madeira, em clima quente e úmido, a partir de um método multicritério aplicado em quatro estudos de caso. A inovação da pesquisa está na cartilha com as recomendações projetuais que abordam os aspectos que devem ser incorporados na fase projetual e de execução das edificações. Para isto, esta pesquisa analisa quatro edificações em madeira construídas no clima quente e úmido, sob a ótica do processo projetual (programação, projeto e execução) e, a partir disso, identifica e caracteriza as diretrizes projetuais na execução da estrutura, piso, envoltória e cobertura. Esta pesquisa visa capacitar projetistas para elaborar projetos arquitetônicos e construir edificações em madeira, nas regiões de clima quente e úmido. E a partir disso, difundir sistemas construtivos em madeira no litoral e nos centros do nordeste do Brasil. Os resultados confirmam a viabilidade de edificações em madeira no clima quente e úmido e as diretrizes são identificadas com base nos aspectos que podem comprometer esta viabilidade, como preço da estrutura, qualidade da madeira, condições de transporte, o impacto ambiental e da relação de custo/benefício.

Palavras-chave: arquitetura em madeira, madeira, pré-fabricação, método multicritério, clima quente e úmido.

Abstract

This paper presents project guidelines for implementing wood constructions in a hot and humid climate from a multicriteria method applied in four case studies. The research innovation is in the project recommendations for wood constructions in a hot and humid climate, from the aspects of the project process (architectural programming, project, and execution) and the structure, floor, envelope, and roof execution constructions. For this purpose, this research analyzed four wooden buildings, a built-in hot and humid climate, and structured a multicriteria method with fourteen criteria that aim to reduce the environmental impact in implementing wood in buildings. However, this research aims to disseminate timber construction systems on the coast and in northeast Brazil's centers through the training of designers to build in this region. The results confirm that wood prefabrication is the key to developing this constructive technique in the Northeast. However, it is necessary to observe the aspects of viability, transport, cost, wood quality, transport conditions, and environmental impact. When promoting wood buildings, it is necessary to propose creative, responsible, and accessible constructive solutions with a light architecture suitable for the hot and humid climate.

Keywords: architecture in wood, wood, prefabrication, multicriteria method, and hot and humid climate.

How to cite this article:

OLIVEIRA, B. L. F. de; PEDRINI, A.; PINTO, E. M. Recomendações projetuais para edificações de madeira no clima quente e úmido. **PARC Pesq. em Arquit. e Constr.**, Campinas, SP, v. 13, p. e022013, 2022. DOI: <http://dx.doi.org/10.20396/parc.v13i00.8655766>



Introdução

As construções de baixo impacto ambiental são baseadas em ações aplicadas aos edifícios que buscam conservar os recursos naturais, a fim de mitigar o impacto no meio ambiente. Estas edificações utilizam métodos de construção fundamentados em atitudes reparadoras à natureza e, principalmente, nos locais que serão construídas. Estas atitudes buscam integrar os sistemas ecológicos durante o ciclo de vida da edificação, por meio da redução dos gastos energéticos provenientes das escolhas dos materiais, componentes e tecnologias construtivas (BARBOSA; INO, 2001). Nesse contexto, a madeira é reapresentada à sociedade como alternativa aos materiais tradicionais, tais como: metais, aço e compostos de cimento ou concreto (ZENID, 2009).

Atualmente, o Brasil possui um quadro favorável para o crescimento do setor construtivo em madeira, porém esbarra no pouco entendimento das potencialidades do material por parte dos projetistas (ESPÍNDOLA, 2010; MELLO; BITTENCOURT, 2009). Então, para que haja a consolidação dos sistemas construtivos em madeira, necessita-se resolver entraves no custo do processo fabril de secagem, no tratamento químico das peças, aprofundar estudos relacionados à segurança contra incêndio e alavancar os cuidados para reduzir a deterioração no ambiente tropical (BENEVENTE, 1995). A madeira, quando utilizada nas construções, deve seguir parâmetros originados de plantios florestais; ou seja, a matéria-prima é oriunda das áreas de manejo e destinada à construção civil. Desse modo, é possível controlar o crescimento da madeira e perpetuar a produção, sem a degradação do equilíbrio ambiental (ESPÍNDOLA, 2010).

A madeira possui propriedades físicas e mecânicas que contribuem com baixo impacto no meio ambiente e a sua produção consome pouca energia, contando com a possibilidade de ser reutilizada ou reciclada. Se pré-fabricada, fornece maior controle da qualidade das peças e gestão total do processo, desde a fabricação até a montagem da obra. Além disso, permite o desenvolvimento com qualidade de soluções criativas para projetos arquitetônicos e estruturais (BRANCO, 2013; HERZOG, 2001; NEUFERT *et al.*, 2007).

No âmbito nacional, historicamente, o uso da madeira na construção civil concentrou-se no Oeste paulista, no norte do Paraná e na região Sul com a colonização inglesa, italiana, alemã, japonesa e polonesa (LAROCCA, 2002; MEIRELLES *et al.*, 2007; ZANI, 2013). Em outros países, como Estados Unidos, Canadá, Japão e Europa, a madeira se destaca por ser um material com qualidades compatíveis ao concreto, o aço e o alumínio. Nesses locais, o desenvolvimento das tecnologias aplicadas aos sistemas construtivos em madeira é subsidiado por incentivos governamentais. Estes incentivos consolidam o processo industrial, assegurando a qualidade a partir do controle na plantação, na usinagem e no beneficiamento da matéria-prima até o produto final (BITTENCOURT, 1995; MELLO; BITTENCOURT, 2009).

Este artigo possui o recorte no Nordeste do Brasil, mais especificamente na faixa do clima quente e úmido, que reflete uma realidade distinta. Nesta região, há um preconceito contra as habitações em madeira, desde os tempos da colonização pelos portugueses. A técnica construtiva dos portugueses era centrada em trabalhos com pedras e tijolos e com baixa qualidade de acabamento (BENEVENTE, 1995).

Para regiões com clima quente e úmido, construções em madeira devem facilitar a troca de calor (externo) com o clima no interior da edificação, ou seja, reduzir o armazenamento de calor durante o dia, para que seja possível ter resfriamento ao anoitecer (BITTENCOURT; CÂNDIDO, 2010). Estas recomendações apoiam-se na Norma Brasileira de Desempenho Térmico das Edificações - NBR 15.220 (ABNT, 2005), que classifica o clima quente e úmido como Zona Bioclimática 8 (ZB8) e indica o uso de

grandes janelas sombreadas, recuo das paredes e pouca massa térmica na envoltória da edificação. Nota-se também que a Norma de Desempenho de Edificações Habitacionais - NBR 15.575 (ABNT, 2013) corrobora estas recomendações e ressalta o uso de cores claras, para edificações localizadas no clima quente e úmido.

Em locais situados na faixa do clima quente e úmido, com disponibilidade de madeira, encontra-se desde o seu uso mais simples da madeira em casas em palafita, suspensas para que haja ventilação e remoção de umidade na madeira, até projetos que demonstram uma arquitetura exemplar. Por exemplo, pode-se citar a CASA MM do Studio MK27, localizada em Bragança Paulista/SP, que possui baixa inércia térmica na envoltória, grandes vãos e balanços na marquise em madeira. Isto favorece os espaços livres, a ventilação, diminui o uso de materiais para sustentação da edificação e corrobora com o enunciado pelas normas.

Na cobertura do Shopping Iguatemi de Fortaleza, outro exemplo de arquitetura em madeira, há beirais amplos para sombrear as paredes e aberturas; bem como o uso de elementos vazados ou transparentes, que contribuem para a permeabilidade da ventilação, como na casa da Bahia do Studio MK27.

Na arquitetura australiana, há o uso de varandas que se assemelha aos alpendres das casas nordestinas, assim como há as grandes aberturas que conectam com o entorno e, com a natureza. Este preceito também remete à arquitetura oriental, onde a aplicação de beirais relaciona-se ao uso milenar da madeira, nos antigos templos japoneses.

Este artigo tem como objetivo indicar diretrizes projetuais para a implementação de construções em madeira em clima quente e úmido (ABNT, 2005), a partir de um método multicritério aplicado em quatro estudos de caso. A contribuição da pesquisa está na cartilha, com as recomendações projetuais que abordam os aspectos que devem ser incorporados na fase de programação arquitetônica, fase projetual e de execução das edificações.

Método multicritério e sistema construtivo em madeira

A implementação de sistemas construtivos em madeira pode apresentar inúmeras vantagens e desvantagens, de acordo com os aspectos ou critérios escolhidos. Desse modo, a fim de ponderar e quantificar estas variáveis, elaborou-se um método multicritério para proporcionar uma solução que concilie todas as variáveis, neutralizando os conflitos existentes da melhor forma possível (FONTENELLE, 2012; MIRANDA; ALMEIDA, 2004). A aplicação de um método multicritério auxilia no processo decisório do projetista e contribui para questões formais, técnicas e funcionais mais refinadas (SHARLIG, 1985, apud CASTRO, 2005).

O estudo sobre métodos multicritério não é recente. Na literatura existem outros termos para designar este conceito, assim é possível encontrar assuntos similares, com a expressão: Apoio Multicritério à Decisão (AMD), ou MCDA (*Multiple Criteria Decision Aid*) ou MCDM (*Multiple Criteria Decision Making*). Ainda nesse sentido, entende-se que há outras abordagens multicritério, como ELECTRE (*Elimination And Choice Translating Algorithm*) e as suas variações como Electre I, II, III, IV, IS e TRI, que compõem a linha francesa de pensamento, bem como a linha de pensamento norte-americano, que destaca os métodos AHP (*Analytic Hierarchy Process*) e MAUT (*Multi-Attribute Utility Theory*).

O uso e aplicação dos métodos multicritério são relevantes quando há diversas variáveis que devem ser analisadas e não podem ser descontextualizadas (SHARLIG, 1985, apud CASTRO, 2005). Os métodos distinguem-se entre si, a partir da inserção (ou entrada)

dos componentes da matriz e como eles são processados no desenvolvimento para obtenção dos resultados. Estes métodos melhoram a transparência do processo de tomada de decisão e facilitam o consenso de um grupo multidisciplinar, caso seja necessário. Assim, com o uso do método multicritério constrói-se apenas uma solução suficiente para ser aceita como base de discussão por todos os envolvidos no processo (MIRANDA; ALMEIDA, 2004; SALOMON, 2010; AMARAL, 2009).

A abordagem multicritério apresenta quatro etapas básicas que devem ser seguidas para uma completa análise do problema. A primeira etapa é escolha dos parâmetros de projeto e definição das alternativas a serem testadas; a segunda é a definição dos critérios de avaliação das soluções e determinação de sua importância relativa (pesos/valores); a terceira etapa são as análises dos critérios, a partir da avaliação de desempenho das soluções, considerando cada um dos critérios separadamente e, por fim, há a aplicação de um método de abordagem multicritério para identificação da solução. É imprescindível que todos os parâmetros, restrições, critérios e análises estejam consolidados para que se encontre um resultado.

Nota-se que as etapas iniciais são similares na maioria dos métodos e constituem a inicialização ou preparação para a aplicação do método propriamente dito e, que a sucessão das etapas pode ser modificada, de acordo com o método adotado. É comum que o processo aconteça de forma cíclica (com refinamento do método), em que constantemente se retorne à etapa anterior ou avance para a etapa seguinte, para que sejam corrigidos possíveis erros ou resolvidas algumas omissões (SHARLIG, 1985, apud CASTRO, 2005).

Por conseguinte, este artigo apresenta um método multicritério que foi estruturado na dissertação de Oliveira (2016), para embasar a análise de quatro estudos de caso de edificações em madeira no clima quente e úmido; a fim de determinar recomendações projetuais para construção e execução de projetos de arquitetura em madeira no clima quente e úmido.

Método

Os estudos de caso foram selecionados a partir da disponibilidade das informações do processo de projeto e da construção. Também foi levado em consideração o contato com os construtores/projetistas. Desse modo, foram selecionadas três edificações construídas (casos 01, 02, e 03) e uma habitação em processo de construção (caso 04), este último foi incluído por ter sido acompanhado desde a fase de programação arquitetônica. O estudo de caso 01 localiza-se em Recife/PE, os casos 02 e 04 em Natal/RN e o caso 03 em São Miguel do Gostoso/RN. Os dados foram sintetizados abaixo com as informações relevantes dos quatro estudos de caso (Quadro 1).

Quadro 1 – Dados dos estudos de caso

Estudo de caso	Local	Projetista	m ²	Preço/m ²	
01.	Casa Derby (2004)	Recife/PE	O’Norte - Oficina de Criação	225	R\$617
02.	Casa Bellini (2013)	Natal/RN	Modo arquitetura	258	R\$1.240
03.	Casa de visitas (2015)	São Miguel do Gostoso/RN	Gostoso Arquitetura	170	R\$915
04.	HabtØ (2015)	Natal/RN	Edifício Eficiente	43	R\$500

Fonte: Oliveira (2016).

Todos os estudos de casos foram construídos em madeira, porém com espécies e sistemas estruturais distintos, conforme Quadro 2.

A elaboração do método multicritério contemplou três temas: aspectos projetuais, construções de baixo impacto ambiental e propriedades da madeira. Desse modo, o método foi estruturado e aplicado a fim de facilitar a análise qualitativa. Para facilitar o

entendimento, os critérios foram divididos em temas e em cores, assim tem-se o tema “propriedades da madeira” que é representado na cor verde e contém os critérios de 1 a 5 (adequação da madeira, durabilidade, corte da madeira, madeira certificada nativa e madeira certificada plantada); o segundo tema é “aspectos projetuais”, na cor azul, que possui os critérios de 6 a 10 (a integração, o aproveitamento da luz natural e da ventilação natural, uso de materiais leves e reflexivos e sombreamento da envoltória) e por fim, o tema “construções de baixo impacto ambiental”, representado na cor amarela, que abarca os critérios de 11 a 14 (pré-fabricação, modulação, tectônica da construção e deposição final dos resíduos), conforme a Figura 1.

Quadro 2 - Estudos de caso de acordo com o sistema construtivo

	Espécie da madeira	Sist. estrutural	Vedação	Piso	Cobertura
01.	Maçaranduba e ipê	Pilar – Viga desmontável	Maçaranduba	Tábuas em maçaranduba	Termoacústica
02.	Pinus tratado CA-C (Cobre Azoles)	Wood Frame	Alvenaria e pinus	Porcelanato	PVC
03.	Maçaranduba e OSB	Pilar – viga	OSB	Piso drenante	PVC
04.	Maçaranduba e Jatobá	Pilar – viga	Painéis móveis	Tábuas maçaranduba	Termoacústica

Fonte: Oliveira (2016).

Figura 1 - Disposição dos critérios nos temas



Fonte: Oliveira (2016).

A composição dos temas no método multicritério foi elaborada a partir do referencial teórico utilizado na pesquisa. Assim, o critério 01 denominado “adequação da madeira à região” refere-se à sustentabilidade cultural dissertada por Sachs (2007), em que deve haver correspondência entre a edificação construída e a região de implantação. Além disso, deve-se utilizar a mão de obra local e a matéria-prima da região, como forma de reduzir o transporte dos materiais em grandes distâncias, o que pode acarretar o aumento das emissões de CO₂ e resultar em um maior impacto ambiental. O critério 2, que aborda a “durabilidade da madeira”, consiste nos cuidados necessários com as peças em madeira e com a construção em si, tais como: teor de umidade e densidade, durabilidade e método de fixação. O critério 3, “corte da madeira”, destaca a uniformidade dimensional nas peças de madeira. Os critérios 4 e 5 de “madeira certificada nativa” e “madeira certificada plantada” certificam a qualidade e a origem da madeira, para que atendam a exigência dos selos ambientais e aos diferentes conceitos de sustentabilidade listados por Sachs (2007).

O segundo tema, denominado “aspectos projetuais” possui os critérios 6 a 10 que foram embasados nos condicionantes apresentados na NBR 15.220 (ABNT, 2005); Holanda (1976); Corbella e Yannas (2009). Com isto, o critério 6 se refere ao grau de interação entre a edificação e o usuário e entre a edificação e o entorno, como aborda Bittencourt (1995). Os critérios 7 e 8 quantificam os recursos de luz e ventilação natural, empregados em edificações em madeira (AMARAL, 2009; LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014; PFEIL; PFEIL, 2003). O critério 9 identifica como o uso da madeira pode melhorar o desempenho térmico. O critério 10 verifica se foram utilizados métodos para abrigá-la da exposição ao sol.

Por fim, no tema “construções de baixo impacto ambiental”, a pré-fabricação (critério 11), investiga a racionalidade construtiva na fabricação das peças, a redução dos componentes e a simplificação das medidas (BITTENCOURT, 1995; ESPÍNDOLA, 2010; GREVEN; BALDAUF, 2007; ISATTO *et al.*, 2000; TRIGO, 1978). O critério 12 aborda a modulação e verifica o emprego da modularidade nos estudos de caso. Já no critério 13, a tectônica da construção destaca o uso dissociado (ou não) entre a estrutura e a envoltória em madeira e é analisado se a estrutura influencia na envoltória, cobertura e fechamentos (AMARAL, 2009; BITTENCOURT, 1995; MELLO; BITTENCOURT, 2009) ou seja, se é possível rearranjar espacialmente os ambientes a partir da remoção e reposicionamento dos painéis em madeira, o que torna a edificação flexível ou não (AMARAL, 2009; BITTENCOURT, 1995). Mateus (2004) e Araújo (2020) embasam o critério de deposição final dos resíduos (critério 14), a partir da quantidade e a destinação dos resíduos produzidos nas edificações.

O método multicritério foi organizado na forma de um checklist, agrupado em três temas: 1-propriedades da madeira; 2-aspectos projetuais; e 3-construção de baixo impacto ambiental, englobando os catorze critérios. Para a análise qualitativa, estes critérios são submetidos aos estudos de caso como forma de embasamento, de acordo com as três fases do processo projetual ou “fases arquitetônicas”: programação arquitetônica, projeto e execução (Quadro 3).

Quadro 3 - Modelo de checklist para avaliação dos critérios

TEMAS	CRITÉRIOS	FASES ARQUITETÔNICAS		
		1 Programação Arquitetônica	2 Projeto	3 Execução
Propriedades da madeira	1	Adequação da madeira na região		
	2	Durabilidade da madeira		
	3	Corte da madeira		
	4	Madeira certificada nativa		
	5	Madeira certificada plantada		
Aspectos projetuais	6	Integração		
	7	Aproveitamento da luz natural		
	8	Aproveitamento da ventilação natural		
	9	Uso de materiais leves e reflexivos		
	10	Sombreamento da envoltória		
Const. de baixo impacto	11	Pré-fabricação		
	12	Modulação		
	13	Tectônica da construção		
	14	Deposição final dos resíduos		

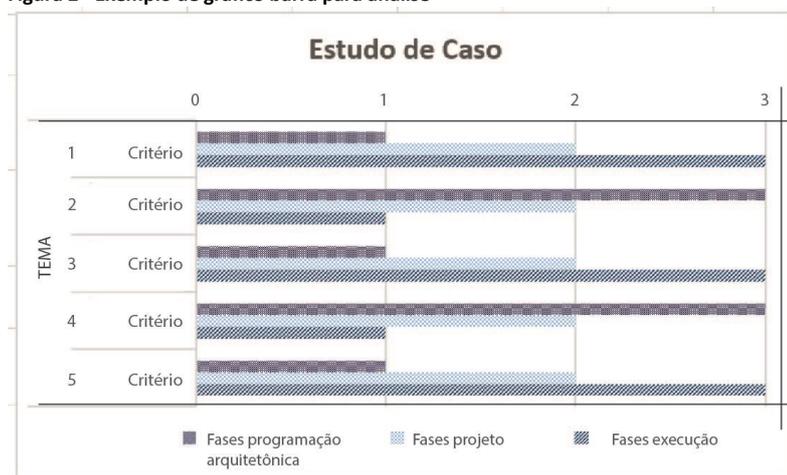
Fonte: Oliveira (2016).

A avaliação dos critérios foi realizada a partir do *checklist* na entrevista efetuada com os projetistas e na análise dos dados dos estudos de caso. Os critérios foram analisados incluindo as três fases arquitetônicas. A fase de “programação arquitetônica” ocupou-se da análise dos aspectos relacionados à programação prévia realizada em conjunto com o cliente, que deveriam ser projetados e executados na edificação. Na fase de

“projeto”, são avaliados os elementos que foram concebidos e programados na fase anterior, explícitos no projeto, seja em desenho ou em serviços para a edificação. No critério “execução”, foram considerados os aspectos construídos na obra, ou seja, os elementos que foram programados na fase 1, e concretizados no projeto (fase 2) e que perduraram na execução da obra. Contudo, os critérios não representados na edificação, mas que porventura se encontram no projeto, mesmo que, por vezes, resultados de decisões tomadas no local da construção, estes aspectos também foram considerados.

Para o preenchimento do *checklist*, os critérios foram valorados com números de 0 a 3, conforme o gráfico do tipo barra (Figura 2). O valor atribuído foi representado pela intensidade de atuação de cada critério, que foi representada por eixos que variam entre: inexistente/ nulo (zero), pequeno (valor 1), intermediário (valor 2) ou muito (valor 3). Além disso, os critérios foram separados por temas (primeira coluna), por numeração e nome (segunda coluna). A “fase de programa” (programação arquitetônica) foi representada pelo padrão bolinhas na cor azul escuro, a “fase de projeto” com o padrão em “X” na cor azul e a “fase de execução” com o padrão em diagonais com a cor azul mais escura.

Figura 2 - Exemplo de gráfico barra para análise



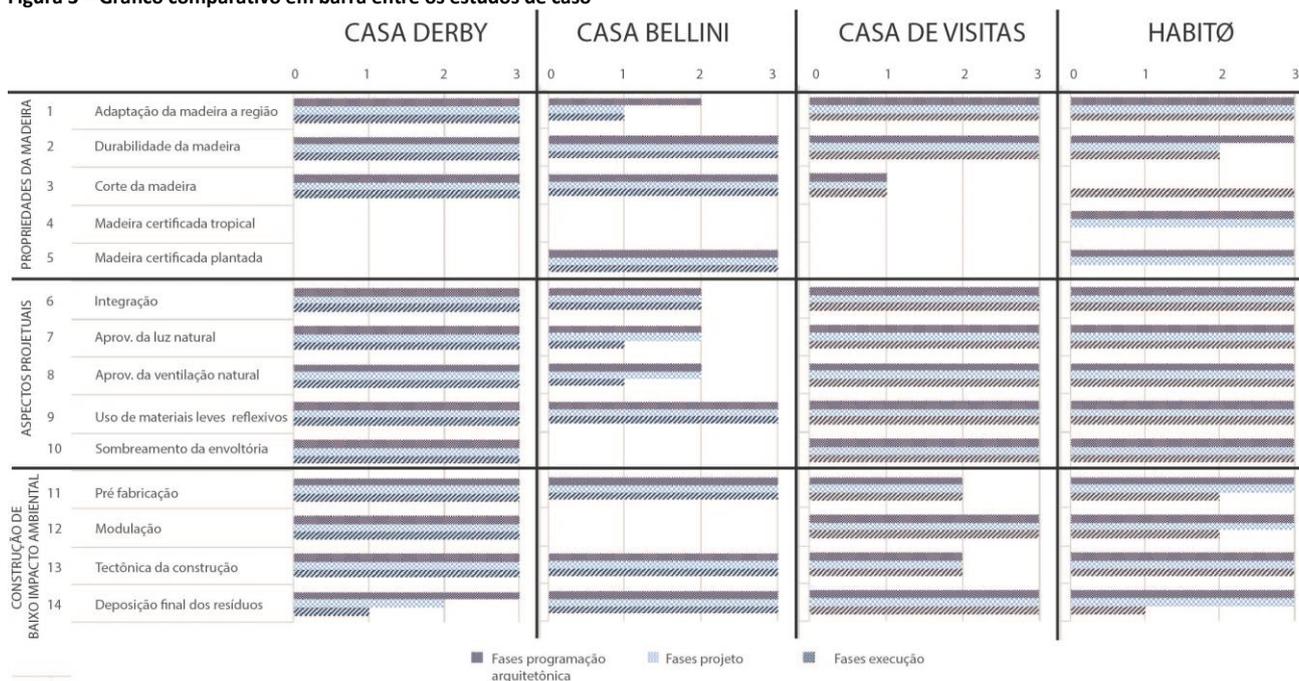
Fonte: os autores.

Com a aplicação do *checklist* nos estudos de caso, foi possível destacar os entraves relativos ao projeto arquitetônico que influenciaram e modificaram a edificação, ao longo do processo de execução. Esta análise foi organizada em forma de cartilha de recomendações projetuais (encontra-se ao fim desse artigo) onde demonstra quais decisões devem ser tomadas em cada fase projetual (programação arquitetônica, projeto e execução) e nas “partes” dos sistemas construtivos em madeira (sistema estrutural, piso, envoltória e cobertura). Estas recomendações foram embasadas na aplicação do *checklist*, nas entrevistas com os projetistas, nos dados das edificações e no embasamento da literatura científica sobre o tema.

Resultados e discussão

A estruturação dos critérios em temas e, em fases arquitetônicas, auxiliou no entendimento do *checklist* aplicado nos estudos de caso. Ao contrastar estes dados no gráfico comparativo, gerou-se análise entre os estudos de caso e os três temas: Propriedades da Madeira; Aspectos de Projeto e Construção de Baixo Impacto Ambiental. Na Figura 3 observa-se a interação entre cada critério em sua determinada fase arquitetônica (representada pela legenda) e por cada caso.

Figura 3 – Gráfico comparativo em barra entre os estudos de caso



Fonte: os autores.

No estudo de caso 01 – Casa Derby - o critério 01 atingiu a classificação máxima nos critérios 1, 3 e 4, uma vez que o projeto foi adaptado à realidade local. Ressalta-se que, antes de projetar a edificação do estudo de caso 01, os arquitetos buscaram no mercado de Recife/PE as dimensões, peças e condições de entrega disponíveis e após isto, conceberam o projeto.

No estudo de caso 03, a madeira comprada é de Natal/RN, no entanto, teve que ser transportada até o município de São Miguel do Gostoso/RN e executada com a mão de obra local. O estudo de caso 04 adaptou o projeto para a realidade do mercado local, porém foi necessário esperar seis meses para que todas as peças fossem beneficiadas.

No estudo de caso 02, a variação dos critérios foi distinta e com valores entre 0 e 2. Para avaliar o critério 1, é necessário saber que um fato decisório para a concepção do projeto foi o desejo do cliente para que a edificação fosse realizada em *Wood Frame*, com pinus tratado em CA-C (Cobre Azoles). No entanto, para isto, foi necessário buscar uma empresa que pudesse produzir as peças e enviar para Natal/RN. O local encontrado, viável financeiramente, para enviar toda a estrutura da edificação encontrava-se no Uruguai e foi necessário enviar em contêiner, por via marítima. Para a montagem da estrutura em madeira, foi necessário deslocar a mão de obra - carpinteiros - do Rio Grande do Sul, cidade do projetista. Com isto, esta foi a solução mais ágil, do ponto de vista do processo projetual e da execução e em comparação com os outros casos.

Os critérios 2 e 3 - durabilidade e o corte da madeira - tiveram classificações variadas em todos os casos. As edificações dos estudos de caso 01 e 02 tiveram a classificação máxima em todas as fases analisadas. No entanto, ressalta-se que, no estudo de caso 01, há algumas particularidades, como pertencer a um mercado diferente e que foi possível obter peças beneficiadas.

O estudo de caso 02, como dito anteriormente, utilizou a madeira importada do Uruguai e as peças foram pré-fabricadas, beneficiadas, tratadas com CA-C. As peças foram fixadas com pregos de poliuretano e isoladas da umidade do solo, por meio de sapatas de concreto.

No estudo de caso 03, foram utilizados longos beirais com aplicação de tintas específicas (contra intempéries e ações fisiológicas), para a proteção das peças em madeira. No estudo de caso 04, o projetista relatou que havia a intenção de comprar toda a estrutura da edificação com tratamento contra intempéries e beneficiada no local da execução, no caso Natal. Porém, isto não foi possível, por não existir, no mercado, empresas que completassem estes requisitos. Assim, a classificação decresceu ao longo das fases.

Para ambos os casos, o critério 3 foi desenvolvido ao longo da obra e o beneficiamento agregou valor ao preço da madeira comprada. Sobre os critérios 4 e 5, o único caso que alcançou o critério máximo foi o caso 02 (madeira certificada tratada contra intempéries importada do Uruguai). O caso 04 recebeu a classificação máxima nas primeiras duas fases, planejar as possibilidades de comprar a madeira tratada e certificada. No entanto, ao realizar as pesquisas no mercado local, foi constatado, por meio de diversos orçamentos, que o valor para o transporte das peças seria superior ou igual ao que seria pago por toda a estrutura; dessa forma o valor decresceu para o (zero) na fase de execução.

No tema 2 “aspectos projetuais” os estudos de casos 01, 03 e 04 conseguiram o nível máximo nos critérios de integração (6), aproveitamento da luz natural (7), aproveitamento da ventilação natural (8), uso de materiais leves e reflexivos (9) e sombreamento da envoltória (10).

No estudo de caso 01, o projeto está totalmente integrado ao terreno da edificação, ao entorno e às árvores existentes. Os ambientes foram dispostos sobre uma estrutura de *pilotis* e entre a cobertura vegetal existente no terreno (critério 6). As aberturas foram distribuídas (de vidro e com molduras em madeira) de forma a aproveitar o potencial de iluminação e ventilação natural (critério 7 e 8). As telhas termoacústicas foram utilizadas para diminuir a sensação térmica dentro do ambiente, como também foram utilizados materiais recicláveis nas paredes do banheiro anexo ao segundo pavimento (critério 9). Os beirais largos e as árvores do terreno serviram para proteger e sombrear a envoltória de assoalho de madeira (critério 10).

No estudo de caso 03, foi construído sobre uma estrutura de alvenaria, que isola o contato da madeira com o solo. Na maioria das fachadas da edificação (em três das quatro fachadas) foi aplicada uma estrutura em ripa feita em madeira de Maçaranduba, visando permitir a ventilação/iluminação natural na edificação. Este diálogo entre a edificação com o entorno possibilitou que os critérios de integração (6), aproveitamento da luz natural (7) e ventilação natural (8) alcançassem a classificação máxima. Os critérios 9 e 10, foram avaliados a partir da escolha do cliente em diminuir os custos da edificação, uma vez que o caso 03 serve de apoio para a casa da proprietária. O projetista sugeriu utilizar OSB na envoltória, mas alertou que seria necessário realizar a manutenção em poucos anos. A fim de diminuir a incidência da radiação direta do sol, as placas de OSB e as telhas em PVC foram pintadas, o que contribuiu para o uso de materiais leves e reflexivos (critério 9). Sobre o sombreamento da envoltória (critério 10), os *brises* e a vegetação existentes contribuíram para a classificação máxima.

No estudo de caso 04, a integração (critério 6) ao terreno é garantida pelo uso de sapatas isoladas, bem como pela instalação de um sistema de reuso de água (sistema leito de raízes) e pela aplicação de painéis móveis, permitindo um diálogo com o terreno. O aproveitamento da luz natural (7) e da ventilação natural (8) justificam-se pela envoltória flexível com aberturas reguláveis. O critério 9 (utilização de materiais leves e reflexivos) está presente na escolha da madeira, como elemento predominante na edificação, e pela escolha das telhas termoacústicas para a cobertura. No

sombreamento da envoltória (critério 10), foram realizadas simulações computacionais com o *software DesignBuilder*, para garantir beirais adequados na proteção da envoltória.

De todos os casos apresentados, apenas o estudo de caso 02 teve um resultado destoante: o critério 6 teve classificação 2, pela implantação ser em um condomínio residencial fechado e não possuir qualquer semelhança com as outras edificações. No entanto, há uma tentativa de se relacionar com o rio (presente no terreno do condomínio) e com a horta que estão nos fundos do lote. Além disso, havia a preocupação em acompanhar o desnível natural do terreno para a construção da edificação. Os critérios 7 e 8 possuem pouca expressão na edificação, pois as aberturas são pequenas e não aproveitam todo potencial da iluminação e da ventilação natural. Constata-se que o escritório do Rio Grande do Sul (RS), que projetou a obra, não considerou o clima, ventilação e a insolação do local. O critério 9 é o único que recebeu a classificação máxima, resultado da envoltória em madeira, com alvenaria pintada de cor clara e a telha em PVC, que garantem o uso de materiais leves e reflexivos na edificação. O critério 10, que aborda o sombreamento da envoltória, não pontuou em nenhuma das fases. A cobertura foi feita com platibandas, o que expôs todas as fachadas de madeira à radiação direta do sol. No entanto, os proprietários, proativamente, plantaram árvores para sombrear a edificação, mas esta solução demorará alguns anos para efetivamente funcionar.

Sobre o tema de “construções de baixo impacto ambiental” os quatro casos tiveram classificações diferentes. Os estudos de casos 01 e 02 alcançaram o valor máximo no critério que aborda a pré-fabricação (critério 11), no entanto utilizaram soluções diferentes. No caso 01, a pré-fabricação (11) e a modulação (12) foram itens elaborados a partir da disponibilidade do mercado e pensados desde a fase de programação arquitetônica. As peças foram compradas nas dimensões exatas e necessárias para a execução, uma vez que o beneficiamento das peças estava incluído no serviço, isto diminuiu os custos e os resíduos dessa obra em Recife/PE.

No estudo de caso 02, a pré-fabricação (11) está presente em todo sistema estrutural, uma vez que as peças em madeira, encomendadas do Uruguai, foram produzidas nas dimensões corretas, com beneficiamento e numeradas para facilitar a montagem. A distinção ocorre no caso 03 e no estudo de caso 04, no qual a pré-fabricação (11) foi feita posteriormente à compra da madeira, em Natal. Na casa de visitas, estudo de caso 03, o beneficiamento da madeira foi feito na obra com corte das peças para produção das tesouras dos telhados e para fechamento da envoltória em OSB. Desse modo, como houve perdas e recortes, o critério obteve a classificação 2.

No caso 04, buscou-se comprar as peças nas dimensões e beneficiadas (como no caso 01), no entanto este serviço não estava disponível no mercado local e, tampouco, o mercado possuía as peças nas dimensões que seriam necessárias para executar o projeto. Para conseguir realizar a obra foi necessário contatar diversos fornecedores a fim de viabilizar a estrutura, mas não foi possível no mercado local. A solução, que o projetista achou viável, foi enviar as peças para uma serraria, realizar o beneficiamento e, posteriormente, utilizá-las na obra. O critério de pré-fabricação teve a classificação de 3 nas duas primeiras fases, por considerar que poderia ser feito pelo mercado local e, depois, este valor decresceu.

Sobre a modulação (12), os estudos de casos 01, 03 e 04 se assemelham, e foi utilizada desde a fase 1 do processo projetual. Nesses três casos, a modulação foi de 5m por 5m; 3,6m por 3,6m e 1,20m por 1,20m, respectivamente. No entanto, no estudo de caso 02, apesar do projeto utilizar o sistema de *Wood Frame*, não houve modulação (12) em

planta. Os ambientes não correspondem entre os pavimentos e não há uma sobreposição das paredes da edificação.

O critério 13, tectônica da edificação, obteve classificação máxima nos casos 01, 02 e 04. Na casa Derby, estudo de caso 01, a tectônica está presente no uso dissociado da estrutura da vedação; também se percebe todos os encaixes entre as peças em madeira, as instalações hidráulica e elétrica. No estudo de caso 02, a tectônica está presente na dissociação da estrutura da vedação da edificação no *Wood Frame* e nas ligações estruturais (entre a madeira/madeira e madeira/alvenaria). No estudo de caso 04 (ainda não finalizado), o projeto arquitetônico indica que a estrutura será aparente e independente da envoltória. A envoltória terá painéis móveis que irão se deslocar nas fachadas com aberturas reguláveis. Por fim, no estudo de caso 03 o resultado foi distinto dos demais e a classificação 2; apesar das três fachadas serem permeáveis e na envoltória dos quartos ser possível observar os encaixes da madeira. Ressalta-se que a estrutura foi ocultada com painéis de OSB, bem como a cobertura com o uso de paredes duplas nos dormitórios. Os forros dos ambientes também utilizaram OSB para esconder o madeiramento das telhas em PVC.

O último critério aborda a deposição final dos resíduos (14) e os casos 02 e 03 tiveram a classificação máxima. No estudo de caso 02 todos os resíduos gerados na obra foram reaproveitados em móveis, servindo para estar em consonância com a madeira da envoltória. No estudo de caso 03, os resíduos de madeiras também foram utilizados como móveis da habitação. Assim, foram construídos armários fixos (cozinha), estantes e mesas (presentes no quarto). Em contrapartida, o projeto do estudo de caso 01 foi feito sob medida, assim, as peças que, teoricamente, teriam sido compradas, iriam executar a estrutura com precisão. Na prática, não foi isto que aconteceu. A estrutura teve que ser reajustada para conseguir ser executada e as peças que restaram não puderam ser reaproveitadas na própria estrutura. Dessa maneira, a avaliação do critério decaiu de 3 para 1. Por fim, no estudo de caso 04, houve resíduos gerados no processo de beneficiamento da madeira na serraria. Nesse estabelecimento o projetista não teve controle do que seria descartado e não pode fazer um planejamento para reutilizar as “sobras” da madeira, como elementos da edificação. Além disso, houve resíduos gerados no ato de descarregar as peças dos caminhões para a serraria, onde diversas vigas foram danificadas, tornando necessária a reposição.

Desse modo, a partir da aplicação do *checklist* nos estudos de caso, foi possível identificar os critérios de maior relevância a serem incorporados no processo projetual e os menos viáveis, que não dependem da capacidade do projetista. Os critérios de “integração”, “aproveitamento da luz natural”, “aproveitamento da ventilação natural”, “uso de materiais leves e refletivos”, “modulação”, “tectônica” e “deposição final de resíduos” são viáveis de serem incorporados no processo projetual, uma vez que dependem da habilidade do projetista em incorporar estes aspectos no projeto arquitetônico, adaptá-los ao terreno e clima da região de implantação. Os critérios com menor interação no processo projetual são os que dependem de terceiros, no caso, do setor industrial madeireiro e da mão de obra local. Não há logística e nem custo viável para entrega de peças pré-fabricadas em madeira. A “adequação da madeira”, “durabilidade da madeira”, “corte da madeira” e “mão de obra especializada” são prejudicados pela falta de industrialização na região. As peças certificadas e tratadas (“madeira certificada nativa”, “madeira certificada plantada”) não são comercializadas a um preço viável e possuem pouca expressão na arquitetura madeireira da região.

Assim, na Figura 4 foram sintetizadas as sugestões em forma de recomendações projetuais para auxiliar os projetistas na execução de edificações em madeira, no clima quente e úmido. Estas recomendações foram caracterizadas a partir da análise dos

estudos de caso e das entrevistas com os responsáveis, onde foram determinados os entraves mais comuns nas fases de programação arquitetônica, processo projetual e execução da obra. Uma dessas recomendações é buscar um fornecedor de madeira tratada e certificada, que possua um preço competitivo e que seja perto do local da edificação, para seja possível a reposição de peças em caso de eventuais avarias.

Figura 4 – Recomendações projetuais para edificações de baixo impacto ambiental em madeira – Fases Arquitetônicas

RECOMENDAÇÕES PROJETUAIS PARA EDIFICAÇÕES DE BAIXO IMPACTO AMBIENTAL EM MADEIRA FASES ARQUITETÔNICAS (Elaborado por Bárbara L. Felipe)					
FASE DE PROGRAMAÇÃO		Conheça o mercado para: - otimizar a execução: tipos de peças, dimensões, madeira, acabamentos, tratamentos, serviços, tempo de entrega, preços; - tirar partido de soluções regionais; - reduzir impacto ambiental com recursos locais; - selecionar os sistemas construtivos disponíveis de acordo com o programa de necessidades; - fomentar o mercado madeireiro local.	FASE DE EXECUÇÃO		Planeje a compra e entrega da madeira de acordo com o tempo, custo financeiro e custo ambiental.
		Evite peças com grandes dimensões devido ao seu custo, transporte, dificuldade de reposição, de manuseio, de logística para construção.			Verifique o teor de umidade da madeira comprada e considere o tempo de secagem antes de utilizá-la com auxílio de equipamentos eletrônicos que medem por contato ou por um instrumento termo higrômetro.
		Considere as estratégias bioclimáticas para preservar a integridade da madeira, reduzindo sua exposição à água/chuva e facilitando sua secagem por meio da ventilação natural.			Prefira mão de obra especializada local e fomente sua capacitação.
PROCESSO PROJETUAL		Se atenha rigorosamente às metas, fatos, necessidades, obstáculos e problemas identificados na fase de programação.	FASE DE EXECUÇÃO		Proteja a madeira exposta da radiação solar direta com brises, cobogós, alpendres, painéis reguláveis, beirais e vegetação.
		Tire partido do(s) sistema(s) construtivo(s): tectônica, estética e flexibilização.			Prefira instalações hidráulicas e elétricas acessíveis para facilitar a alteração e a manutenção.
		Adote a modulação no sistema local escolhido para diminuir tempo e resíduos.			Opte por madeira plantada ao invés de nativa, respeitando as condições de trabalhabilidade de cada espécie.
		Repouse o sistema construtivo em madeira sobre o terreno, sem alterar o local.			Contrate um projetista que realmente entenda de madeira para evitar o super ou subdimensionamento das estruturas.
		Evite o acúmulo de umidade na madeira: afaste a edificação do solo, utilize a ventilação natural, tenha espaços permeáveis e use pingadeiras.			

Fonte: Oliveira (2016).

A partir do embasamento teórico científico, bem como das entrevistas realizadas com os projetistas e dos dados relativos aos estudos de caso, foram sistematizados os detalhes relativos à execução e processo projetual da envoltória, piso, sistema estrutural e cobertura para sistemas construtivos em madeira para região quente e úmida (Figura 5).

Conclusão

A partir das análises dos estudos de caso e da aplicação do método multicritério proposto foi possível sugerir meios, onde a implantação de sistemas construtivos em madeira no clima quente e úmido, possam reduzir o impacto no meio ambiente. O referencial bibliográfico proporcionou a identificação dos critérios com maior potencial de avaliação do impacto ambiental, e possíveis entraves para a construção de edificações em madeira no clima quente e úmido, assim como, as entrevistas com os projetistas e os dados qualitativos e quantitativos auxiliaram na construção e a aplicação do *checklist*. Nessas conversas foram colhidas informações determinantes relativas às fases de programação arquitetônica, processo projetual e execução na avaliação dos

critérios. Este processo contribuiu para refinar o método multicritério e determinar as recomendações projetuais para a zona bioclimática o8.

Figura 5 - Recomendações projetuais para edificações de baixo impacto ambiental em madeira – Sistema construtivo para região quente e úmido

RECOMENDAÇÕES PROJETUAIS PARA EDIFICAÇÕES DE BAIXO IMPACTO AMBIENTAL EM MADEIRA SISTEMA CONSTRUTIVO (Elaborado por Bárbara L. Felipe)					
SISTEMA ESTRUTURAL		Sistema pila-viga com encaixes de: <ul style="list-style-type: none"> - conectores metálicos galvanizados; - barra rosqueada; - parafusos e espaçamentos adequados de acordo com a NBR7190. - as espécies de maçaranduba ou angelim vermelho pela disponibilidade no mercado local 	PISO		Utilizar: <ul style="list-style-type: none"> - peças de fácil encaixe para facilitar a remoção e manutenção; - peças em madeira com encaixe macho-fêmea; - tábuas em madeira em forma de deck;
		Adequado projeto as dimensões disponíveis no mercado local para agilizar a entrega e reposição das peças			Suspensão do solo para preveni-lo da umidade do terreno
		Utiliza a mão de obra local e busca fomentar a capacitação de outros carpinteiros.			Tratamentos para prevenir o desgaste excessivo da madeira
ENVOLTÓRIA		Combinações de: <ul style="list-style-type: none"> - painéis móveis para uma fachada flexível; - molduras em madeira com fechamento opaco, translúcido ou transparente, tais quais: madeira plantada ou maciça, OSB, Madeirit, compensado naval, vidro ou policarbonato; - painéis bipartidos na horizontal com fechamento independente, podendo servir como peitoril ventilado; - parede dupla para embutir as instalações elétricas e hidráulicas e isolante térmico nas paredes; 	COBERTURA		Telhas leves para que diminuir o madeiramento;
		Todas as opções devem ter tratamento contra intempéries e devem estar abrigadas da radiação direta do sol			Telhas termo-acústicas brancas para aumentar a refletividade da incidência solar e prover mais conforto térmico ao ambiente
					Pé direito alto para facilitar a ventilação natural e a retirada do calor do ambiente.

Fonte: Oliveira (2016).

As recomendações projetuais foram caracterizadas a partir da análise dos critérios, considerando o desempenho dos sistemas estruturais, cobertura e piso e quanto às fases de programação, projeto e construção nos quatro estudos de caso. Assim, o desenvolvimento das recomendações foi embasado na identificação dos obstáculos na viabilidade para se construir em madeira, no clima quente e úmido. Uma das características intrínsecas a este mercado, localizado no nordeste do Brasil, é o déficit de estabelecimentos com variedades de espécies de madeira certificadas e destinadas à construção civil (em especial de madeira plantada) ou ainda, a baixa diversidade das espécies nativas da região. Isto é resultado do limitado abastecimento no mercado local, onde as madeiras são prioritariamente originadas do estado do Pará, também a falta do plantio de espécies nativas e a redução considerável no número de estruturas em madeira que justifiquem o investimento. As madeiras originadas do Pará foram obtidas a partir da extração e venda de espécies nativas da Amazônia, onde não há um processo de certificação para estes produtos. O outro motivo identificado é a distância, a zona bioclimática o8, em especial Natal/RN, dos grandes centros produtores de estruturas de madeiras (Sul e Sudeste), que resulta no encarecimento do valor final pelo custo do transporte da madeira. O frete, na maioria das vezes, possui um valor semelhante, ou superior, ao que seria pago apenas pelas peças em madeira a serem transportadas. Além disso, deve-se analisar o risco de avaria no processo de deslocamento da madeira, onde são acrescidos taxas e cuidados que não precisam ser agregados em outros materiais. Assim, necessita-se buscar fornecedores perto do local da obra, que possibilitem fornecer o produto em um custo mais competitivo. Uma vez que, caso seja necessário devolver uma peça em madeira, isto acarretará o acréscimo no valor final, bem como no

tempo da obra, decorrente do custo adicional do transporte, além do aumento na emissão de CO₂ e no conseqüente impacto ao meio ambiente.

Ressalta-se que, na execução de estruturas em madeira, é preferível utilizar peças beneficiadas, ou seja, usar peças que possam ser submetidas a um processo que retire as avarias e uniformize as dimensões. Este processo alinha e retira as imperfeições naturais da madeira, possibilitando encaixes milimétricos (com conectores metálicos ou entre si). A partir das análises dos estudos de caso, observa-se que este serviço gera um valor adicional de aproximadamente 20% no preço da estrutura. Assim, indica-se comprar madeira em dimensões maiores para que, ao beneficiá-la, seja possível ter rigor nas medidas das peças. Para este processo, recomenda-se também adicionar uma estimativa no tempo gasto na serraria ao cronograma da obra. Ressalta-se também que é necessário utilizar a madeira tratada ou ainda no estado seco, a madeira “verde” é suscetível à variações dimensionais, o que aumenta o risco de avarias.

Por fim, necessita-se que os custos das edificações em madeira sejam competitivos frente aos sistemas convencionais, havendo uma relação favorável entre o preço, o metro quadrado e o tempo de construção para facilitar a viabilidade. A pré-fabricação em madeira é a chave para a difusão dessa técnica construtiva. No mercado do Nordeste brasileiro há potencial para a difusão, mas pouco investimento no setor industrial. Necessita-se incentivar que os projetistas utilizem madeira, fomentando o aumento na demanda e modificando gradativamente o mercado. Uma alternativa é a instalação de polos de desenvolvimento de tecnologia madeireira para diminuir os custos de produção e agilizar o processo construtivo. Ao divulgar o uso da madeira é imprescindível a proposição de soluções construtivas criativas, responsáveis e acessíveis, com uma arquitetura leve e adequada ao clima quente e úmido característicos desta região.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) – CGC 00.889.834/0001-08, ao Programa de Pós-graduação de Arquitetura e Urbanismo da UFRN e Laboratório de Conforto Ambiental – LabCon / UFRN.

Referências

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.220-3 Desempenho Térmico de edificações** - Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.575-1 - Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos** - Desempenho - Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

AMARAL, Izabel. Quase tudo que você queria saber sobre tectônica, mas tinha vergonha de perguntar. PosFAUUSP, n. 26, p. 148-167, 1 Dec. 2009. DOI: <https://doi.org/10.11606/issn.2317-2762.v0i26p148-167>.

ARAÚJO, Márcio Augusto. A moderna construção sustentável. **Revista Digital**: conteúdo especializado para profissionais da Construção Civil, São Paulo: AECweb, 2020. Disponível em: https://www.aecweb.com.br/cont/a/moderna-construcao-sustentavel_589. Acesso em: 1 set. 2020.

BARBOSA, Juliana Cortez; INO, Akemi. Madeira, material de baixo impacto ambiental na construção civil: análise do ciclo de vida. 2001. In: ENCONTRO NACIONAL E I ENCONTRO LATINO AMERICANO SOBRE EDIFICAÇÕES E COMUNIDADES SUSTENTÁVEIS, 2., Canela, 2001. **Anais [...]**. Canela: ANTAC, 2001.

BENEVENTE, Varlete Aparecida. **Durabilidade em construções de madeira:** uma questão de projeto. 1995. 231 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1995.

BITTENCOURT, Leonardo; CÂNDIDO, Chisthina. **Ventilação Natural em Edificações.** Rio de Janeiro: PROCEL EDIFICA - EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES, 2010. Disponível em: <https://labcon.ufsc.br/anexosg/425.pdf>. Acesso em: 25 out. 2017.

BITTENCOURT, Rosa Maria. **Concepção arquitetônica da habitação em madeira.** 1995. 257 f. Tese (Doutorado em Engenharia) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995.

BRANCO, Jorge M. Casas de madeira: da tradição aos novos desafios In: LOURENÇO, Paulo B.; BRANCO, Jorge M.; CRUZ, Helena; NUNES, Lina (ed.). **Casas de madeira:** livro de Atas. Lisboa: Universidade do Minho, 2013. p. 75-86. Disponível em: http://www.hms.civil.uminho.pt/events/casas_madeira/fulltext_casas_madeira.pdf. Acesso em: 25 out. 2017.

CASTRO, Eduardo Breviglieri Pereira. **Método de auxílio à concepção arquitetônica baseado na análise multicritério e em dados simulados dos comportamentos da edificação.** 2005. Tese (Doutor em Ciências em Engenharia Mecânica) - Programas de Pós-graduação de Engenharia, COPPE/ Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2005.

CORBELLA, Oscar; YANNAS, Simos. **Em busca de uma arquitetura sustentável para os trópicos:** conforto ambiental. 2. ed. rev. e ampl. Rio de Janeiro: Revan, 2009. 308 p.

ESPÍNDOLA, Luciana da Rosa. **Habitação de interesse social em madeira conforme os princípios de coordenação modular e conectividade.** 2010. 147 f. Dissertação (Mestre em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/93836>. Acesso em: 17 ago. 2017.

FONTENELLE, Marília Ramalho. **A abordagem multicritério na concepção arquitetônica: um estudo sobre as aberturas laterais em edifício de escritórios no Rio de Janeiro.** 2012. 151 f. Dissertação (Mestre em Arquitetura) - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012. Acesso em: <http://objdig.ufrj.br/21/teses/776621.pdf>. Acesso em: 17 ago. 2017.

GREVEN, Hélio Adão; BALDAUF, Alexandra Staudt Follmann. **Introdução à coordenação modular na construção no Brasil:** uma abordagem atualizada. ANTAC. Porto Alegre: ANTAC, 2007. (Coleção Habitare, 9). Disponível em: http://www.habitare.org.br/pdf/publicacoes/arquivos/colecao10/livro_completo.pdf. Acesso em: 17 ago. 2017.

HERZOG, Thomas. ¿Por qué la madera? **Revista Tectónica**, n. 13, Madera (II) Estructuras, 2001. Disponível em: <http://www.tectonica.es/arquitectura/madera/estructuras/madera.html>. Acesso em: 17 ago. 2017.

HOLANDA, Armando de. **Roteiro para construir no nordeste:** arquitetura como lugar ameno nos trópicos ensolarados. Recife: UFPE, 1976. 48 p.

ISATTO, Eduardo Luís; FORMOSO, Carlos T.; CESARE, Claudia Monteiro de; HIROTA, Ercília. **Lean Construction: diretrizes e ferramentas para o controle de perdas na construção civil.** Porto Alegre: SEBRAE/RS, 2000. 177 p. (Construção Civil, 5).

LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano; PEREIRA, Fernando Oscar Ruttkay. **Eficiência energética na arquitetura.** 3. ed. Rio de Janeiro: ELETROBRAS/PROCEL, 2014. 361 p. Disponível em: https://labeee.ufsc.br/sites/default/files/apostilas/eficiencia_energetica_na_arquitetura.pdf. Acesso em: 1 set 2020.

LAROCA, Christine. **Habitação social em madeira:** uma alternativa viável. 2002. 93 f. Dissertação (Mestre em Ciências Florestais) - Escola de Ciências Agrárias, Programa de Pós Graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/3461/R%20-%20D%20-%20CHRISTINE%20LAROCA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 2 jul. 2020.

MATEUS, Ricardo. **Novas tecnologias construtivas com vista à sustentabilidade da construção**. 2004. Dissertação (Mestre em Engenharia Civil) - Escola de Engenharia, Universidade do Minho, Minho, 2004. Disponível em: <http://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/817>. Acesso em: 2 jul. 2020.

MEIRELLES, Célia Regina Moretti; DINIS, Henrique; SEGALL, Mario Lasar; SANT'ANNA, Silvio Stefanini de. Considerações sobre o uso da madeira no Brasil em construções habitacionais. In: FÓRUM DE PESQUISA FAU MACKENZIE, 3., 2007, São Paulo. **Anais [...]**. São Paulo: PPGAU/FAU Mackenzie, 2007.

MELLO, Lecomte Roberto; BITTENCOURT, Rosa Maria. Projetar em madeira. In: PROJETAR, 4., 2009. São Paulo. **Anais [...]**. São Paulo: FAU UPM, 2009.

MIRANDA, Caroline Maria Guerra de; ALMEIDA, Adiel Teixeira de. Visão multicritério da avaliação de programas de pós-graduação pela CAPES: o caso da área engenharia III baseado no ELECTRE II e MAUT. **Gestão & Produção**, v. 11, n. 1, p. 51-64, Apr. 2004. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0104-530X2004000100005>.

NEUFERT, Peter; NEFF, Ludwig; NEUFERT, Cornelius; FRANKEN, Corinna. **Casa, apartamento, jardim**. 2. ed. atual. amp. e rev. Barcelona: Gustavo Gilli, 2007. 255 p.

OLIVEIRA, Bárbara Laís Felipe. **Edificações de baixo impacto ambiental em madeira para o clima quente e úmido**. 2016. 130 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2016. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/handle/123456789/21565>. Acesso em: 31 ago. 2020.

PFEIL, Walter; PFEIL, Michele. **Estruturas de Madeira**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2003. 240 p.

SACHS, Ignacy. **Rumo à ecossocioeconomia: teoria e pratica do desenvolvimento**. São Paulo: Cortez, 2007.

SALOMON, Valerio Antonio Pamplona. **Contribuições para validação de tomada de decisão com múltiplos critérios**. 2010. 16 f. Tese (Livre Docente em Engenharia de Produção) - Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2010. Disponível em: https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/106720/salomon_vap_ld_guara.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 2 jul. 2020.

SCHARLIG, Alan. **Décider sur plusieurs critères: panorama de l'aide à la décision multicritère**. Lausanne: Presses Polytechniques et Universitaires romandes, 1985. 304 p. *apud* CASTRO, Eduardo Breviglieri Pereira. **Método de auxílio à concepção arquitetônica baseado na análise multicritério e em dados simulados dos comportamentos da edificação**. 2005. Tese (Doutor em Ciências em Engenharia Mecânica) - Programas de Pós-graduação de Engenharia, COPPE/ Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2005.

TRIGO, J. A. T. **Tecnologias da construção de habitação**. Lisboa: LNEC, 1978.

VILAS BOAS, Cintia de Lima. Análise da aplicação de métodos multicritérios de decisão na gestão de recursos hídricos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 16., 2005, João Pessoa. **Anais [...]**. João Pessoa: ABRH, 2005.

ZANI, Antonio Carlos. **Arquitetura em madeira**. Londrina: Eduel, 2013. (livro digital). Disponível em: uel.br/editora/portal/pages/arquivos/arquitetura_em_madeira_digital.pdf. Acesso: 20 ago. 2015.

ZENID, Geraldo José. **Madeira: uso sustentável na construção civil**. 2. ed. São Paulo: IPT, 2009. 99 p. (Publicação IPT, 3010). Disponível em: http://www.ipt.br/centros_tecnologicos/CT-FLORESTA/livros/3-madeira_uso_sustentavel_na_construcao_civil.htm

1 Bárbara Laís Felipe de Oliveira

Arquiteta e Urbanista formada pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Mestrado em Arquitetura e Urbanismo na UFRN e Doutoranda no Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade

Federal da Paraíba. Professora assistente no Curso de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA/RN). Endereço postal: BR-226, s/n, Pau dos Ferros, RN – Brasil. 59900-000

2 Aldomar Pedrini

Engenheiro Mecânico pela Universidade Federal de Santa Catarina. Mestre em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Santa Catarina. Doutor em Arquitetura pela University of Queensland. Professor Associado na Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Tecnologia, Departamento de Arquitetura e Urbanismo. Endereço postal: R. da Tecnologia, Natal, RN – Brasil. 59072-970

3 Edna Moura Pinto

Arquiteta e Urbanista pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita. Mestre em Arquitetura e Urbanismo pela Universidade de São Paulo. Doutorado em Ciências e Engenharia de Materiais pela Universidade de São Paulo. Professora na Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Tecnologia. Endereço postal: R. da Tecnologia, Natal, RN – Brasil. 59072-970