

ESTUDO COMPARATIVO DOS SISTEMAS LEVES EM MADEIRA E DAS CONSTRUÇÕES EM PALAFITAS

Pedro R. A. Rebouças (IC) e Célia Regina Moretti Meirelles (Orientador)

Apoio: PIBIC Mackenzie

RESUMO

O objetivo desta pesquisa é comparar três sistemas construtivos em madeira, no intuito de suscitar possíveis discussões futuras de otimização de desempenho e vida útil das habitações sobre palafitas em áreas de várzea, na Bacia Amazônica. O trabalho apresenta o contexto geográfico e o modo de vida das comunidades tradicionais palafíticas, e também realiza uma breve introdução aos tipos de madeira e seus produtos destinados à construção civil. Os métodos estudados são o *Platform frame (Wood frame)*, o *Frame construction* (Pilar-viga) e a palafita tradicional da região, e são situadas na história as primeiras incidências documentadas destes procedimentos, com os adventos da industrialização, modularidade, pré-fabricação e a interface entre *high tech* e *low tech*. O método foi realizado por meio da leitura de bibliografias teóricas e técnicas, de uma visita a uma comunidade ribeirinha em Rondônia, da modelagem 3D dos sistemas estudados e de modelos físicos em escala reduzida, foi realizada essa investigação comparativa a partir de parâmetros conceituais pré-definidos, como origem geográfica, outros nomes populares, características marcantes, vantagens, fragilidades, nome das peças, elementos estruturais verticais, elementos estruturais horizontais, conexões, contraventamento, modulação, piso, pé direito, beirais, elevação do solo, cobertura, telhas, forro, madeiras usadas, tratamento da madeira, sequência de montagem, nível de pré-fabricação/industrialização, mão de obra, maquinário, fundação, parede e vedação.

Palavras-chave: Arquitetura em Madeira, Sistemas Construtivos, Bacia Amazônica

ABSTRACT

The aim of this research is to compare three wooden construction systems, with the intention of generating possible future discussions on performance optimization and lifespan of stilt-based dwellings in floodplain areas within the Amazon Basin. The work presents the geographical context and way of life of traditional stilt-dwelling communities and also provides a brief introduction to the types of wood and their products used in civil construction. The studied methods are the Platform frame (Wood frame), Frame construction (Post and beam), and the traditional stilt dwelling of the region. The earliest documented instances of these procedures are placed within historical context, considering the advents of industrialization, modularity, prefabrication, and the interface between high tech and low tech. The method was carried out through the examination of theoretical and technical

bibliographies, a visit to a riverside community in Rondônia, 3D modeling of the studied systems, and physical models at a reduced scale. This comparative investigation was conducted based on pre-defined conceptual parameters, such as geographical origin, other common names, distinctive features, advantages, vulnerabilities, component names, vertical structural elements, horizontal structural elements, connections, bracing, modulation, flooring, ceiling height, eaves, ground elevation, roofing, tiles, ceiling, types of wood used, wood treatment, assembly sequence, level of prefabrication/industrialization, workforce, machinery, foundation, wall, and enclosure.

Keywords: Wood Architecture, Building Systems, Amazon Basin

1. INTRODUÇÃO

O ambiente amazônico, com clima quente e úmido, caracteriza o modo de vida dos povos ribeirinhos. O clima em zona tropical é definido por uma forte influência do regime pluvial e pelas florestas, bem como sobre as formas que assumem os seus rios. Este contexto complexo define a dinâmica e as atividades realizadas pelas comunidades ao longo do ano, como a pesca, o plantio de alimentos e a criação de animais. Pereira (2007) observa que variações sazonais das chuvas são definidas em quatro períodos: a enchente do começo de janeiro ao fim de abril (chuva intensa e subida das águas), a cheia do começo de maio ao meio de agosto (nível máximo, quando a vegetação se torna anfíbia), a vazante do meio de agosto ao fim de setembro (descida das águas) e a seca do começo de outubro ao fim de dezembro (nível mais baixo) (BITTENCOURT; AMADIO, 2007).

Portanto, em função da época do ano, certas regiões tornam-se inacessíveis e inóspitas, com índices pluviométricos significativamente altos, e o período de chuvas é muito mais longo que o de estiagem. As comunidades tradicionais vivem em um habitat de vulnerabilidade ambiental, com variações climáticas que transformam dramaticamente a paisagem. Neste contexto, segundo os Boletins Hidrometeorológicos do Estado do Amazonas, o intervalo de variação entre os níveis da água na época da seca e da cheia pode estar entre 4 e 16 metros, a depender do local, e os limites históricos vêm sendo superados devido ao aquecimento global. A opção pela moradia próxima aos rios se dá pela possibilidade de locomoção, pois os pequenos barcos são a principal forma de transporte, e a disponibilidade de alimento pela pesca. Brugnera (2015) explica que os “rios são cenários que dirigem a história dos ribeirinhos, e estes se apropriam de uma paisagem cultural em comum”. A autora destaca que existe “uma forte dependência das atividades de construção, da pequena agricultura e uma relação direta com o meio ambiente.”

Os povos da região Amazônica são compostos por uma pluralidade de imigrantes, quilombolas, seringueiros, madeireiros, castanheiros, ribeirinhos e babaqueiros (RICARDO; CAMPANILI, 2008). É comum nessas regiões a prática do extrativismo vegetal e comercialização de produtos como borracha, óleo de copaíba, castanha e malva (FERREIRA, 2009). O autor observa que apesar da classificação geográfica de área de proteção ambiental, o uso do solo pelas comunidades ribeirinhas é, com frequência, sustentável e não predatório.

De acordo com Meirelles; Celuppi (2020), as comunidades tradicionais destinam seus esforços produtivos na direção do desenvolvimento da região das várzeas, e os espaços comunitários têm muita relevância, como as escolas, igrejas, campos de futebol, postos de saúde e as casas de farinha. A construção de espaços comunitários, é geralmente executada por homens em mutirões, assim como o plantio e a colheita das roças, às vezes contando até

com moradores das proximidades e localidades próximas. O ribeirinho constrói sua casa com auxílio dos filhos, amigos e vizinhos (OLIVEIRA JUNIOR, 2009). Marcondes *et al.* (2017) observa que é comum que os trabalhos sejam desenvolvidos com ferramentas manuais como arco de pua, machado, enxó, serra braçal e martelo, e em núcleos urbanos mais centrais são utilizadas as serras elétricas, furadeiras, entre outras. O uso de madeiras nativas para as construções locais tende a ser sustentável.

Os tipos de habitações tradicionais têm relação direta com o rio, como o flutuante (localizado nos pontos mais fundos dos rios) e as palafitas (fixadas nos pontos rasos das várzeas ou igarapés, onde a fase cheia é mais branda). O escritório modelo da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Presbiteriana Mackenzie (Mosaico) realizou, em visitas antecedentes às comunidades do Rio Solimões, pesquisas que observaram que ocorre uma progressiva dissipação da qualidade das técnicas construtivas tradicionais, visto que muitas casas edificadas em períodos mais recentes não apresentam beirais e varandas, têm pé direito baixo, diferentemente das edificações mais antigas, que dispunham de beirais maiores, varandas generosas e detalhamentos nos frontões (MARCONDES *et al.*, 2017). Outros aspectos são a falta de investimento público na região, que acelera o empobrecimento das comunidades, com carência de transporte, acessibilidade, trabalhos associados à cultura e natureza local, e a escassez de recursos estruturadores da cadeia especializada para a construção em madeira.

Apesar de existir um certo grau adaptação das edificações ribeirinhas ao nível dos rios, elas apresentam baixo desempenho em termos de ciclo de vida, além de não proporcionarem conforto térmico para o clima úmido e quente. A rápida degradação destas construções em madeira gera altos custos de manutenção, como afirma Meirelles *et al.* (2017). Por exemplo, é comum que o morador erga um assoalho novo acima do antigo piso após uma enchente ultrapassar o nível do primeiro, e os estreitos beirais não protegem as vedações das casas, que são com frequência compostas por tábuas verticais, fazendo com que durante constantes períodos chuvosos paredes inteiras precisem ser trocadas. O desgaste das estruturas dos barrotes na fundação traz à tona a dualidade entre a água e a madeira.

Por meio de pesquisas recentes, sabe-se que cada habitação de 40 m², construída em madeira, possui em média 8 toneladas de CO₂ estocadas, de acordo com Marcondes *et al.* (2017). Por meio da fotossíntese da árvore, o oxigênio é devolvido ao entorno, e o gás carbônico é fixado, permanecendo ali mesmo após a extração da madeira. Dessa forma, a construção civil com este material (em oposição ao aço e o concreto) se mostra sustentável por mitigar os efeitos do aquecimento global e reduzir a queima de combustíveis.

A baixa quantidade de pesquisas acerca das habitações de madeira em áreas de várzea, sobretudo no universo da arquitetura e da engenharia civil, dificulta a aplicação de normativas já conhecidas em outros países da América do Norte, dos países nórdicos, da Europa central (COSTA, 2019).

Pela importância da problemática da deterioração da moradia ribeirinha, o objetivo desta pesquisa é que uma breve revisão comparativa de 3 sistemas construtivos em madeira seja subsídio para futuras discussões de otimização das construções em área de várzea. Em sumo, o intento é eleger um uso ainda mais racional e consciente de materiais e técnicas para as edificações em palafitas, a fim de melhorar as condições de moradia e qualidade de vida da população tradicional, além de apoiar a inserção do tema em campos de estudo acadêmico, com o contexto da aprovação da nova norma brasileira para estruturas de madeira em 2022 (NBR 7190) e para as construções em sistemas leves de madeira (NBR 16.936) proposta pela empresa TecVerde (2020) na DATec 020D aprovada em 2023.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

A partir de uma breve imersão na gênese e evolução das práticas construtivas em madeira, com base em Kolb (2008), é possível identificar diversas técnicas. Espíndola (2017), destaca oito sistemas, entre eles *Log construction*, *Timber frame*, *Braced frame*, *Balloon frame*, *Platform frame*, *Panel construction*, *Frame construction*, *Solid timber construction* e unidades modulares tridimensionais.

Nos primórdios da construção em madeira, grande parte das obras dependia de uma carpintaria especializada para realizar entalhes e sambladuras com precisão. Após a Revolução Industrial estes limites foram superados, época na qual a perícia artística foi substituída pela sistematização dos processos, otimização dos projetos (pela via econômica de uma simplificação mais eficiente) e industrialização de componentes para montagem a um custo mais baixo. Os sistemas mais antigos como o enxaimel (*Timber frame*) apresentavam peças pesadas e conexões por encaixes, além de serem caros devido aos esgotamentos das madeiras duras. Portanto, a busca por sistemas mais leves era premente, com elementos mais delgados, unidos por pregos e conectores metálicos, criando espaços vazios (entre as peças do entramado) que facilitam as instalações elétricas, hidráulicas, de isolamento térmico e acústico (ESPÍNDOLA, 2017).

Ao decorrer do tempo a industrialização dos elementos construtivos se consolidou, mediante processos mecanizados sequenciais, e a pré-fabricação de peças padronizadas se tornou mais eficiente no ambiente fabril, seguida da logística de transporte e montagem que aceleraram o processo no canteiro de obras. Nesse sentido, buscava-se reduzir a mão de obra, acarretando menos desperdício de material, e um ganho de qualidade nos acabamentos das edificações,

fatores obtidos pelo *offsite building* ("construção fora do sítio"), prática que busca o uso racional e sustentável da madeira, aplicada em países como Canadá, Estados Unidos, Áustria, e Finlândia (SMITH, 2010). Outros aspectos desta nova ordem de produção foram as estatísticas de 33% de redução do custo inicial e global de projetos e 50% a menos emissões de gases-estufa nas atividades desenvolvidas (HAIRSTANS, 2014).

Nas mesmas linhas, Generalova; Generalov; Kuznetsova (2016) explicam que o processo construtivo racionalizado se dá por meio de uma coordenação modular, com um projeto arquitetônico flexível para a configuração de diferentes espaços. A arquitetura modular promove a repetição de elementos semelhantes em tamanho, forma e função, criando uniões simplificadas entre componentes. Além do peso reduzido da edificação que será transferido à fundação, a obra é seca, limpa, e com a menor pegada ecológica (BERTRAM *et al.*, 2019).

Durante os séculos XVIII e XIX, nos Estados Unidos, os sistemas leves apresentavam influências inglesas e francesas, como o *Braced frame*, *Balloon frame* e *Platform frame*. Estes chegaram a ser vendidos em kits prontos para a construção de casas, e eram comercializados com base em catálogos. Com exceção do *Braced frame*, tais construções foram possíveis devido a dois importantes produtos industriais: pregos produzidos mecanicamente e madeira serrada (ESPÍNDOLA, 2017).

O sistema *Braced frame* foi encontrado em documentos das construções na Nova Inglaterra por volta de 1800, apresentando grandes seções de peças estruturais limitadas aos pilares e vigas. Os montantes de fechamento eram mais esbeltos, pois não tinham função estrutural, e peças diagonais eram aplicadas para dar estabilidade e rigidez à ossatura destes. O *Balloon frame* foi um dos primeiros sistemas leves, que surgiu por volta de 1830 em Chicago. O nome diz respeito à leveza da estrutura ou à rapidez da montagem. Neste sistema os montantes de fachada tinham dupla função estrutural e de vedação, seus elementos apresentavam a altura do gabarito total da edificação (montados no chão e depois levantados à sua posição final). Para a execução do entepiso, travessas eram fixadas na parte interna dos montantes e ali eram apoiadas as vigas. Os montantes dos painéis externos iam da soleira inferior até o apoio dos caibros da cobertura (rafters), independentemente do número de pavimentos (ESPÍNDOLA, 2017).

A dificuldade de montagem fez com que o *Balloon frame* fosse substituído pelo sistema chamado de *Platform frame*, que recebe o nome genérico de *Wood frame*, pela grande difusão de sua prática na América do Norte. Os montantes dos painéis de parede passaram a ter o comprimento delimitado pela altura de cada pavimento. A função estrutural de "laje" é desempenhada por vigas que se apoiam nas paredes portantes, formando plataformas. Este sistema se resume a sequências de plataformas de piso e painéis de parede até a sustentação

da cobertura em treliças e caibros. Os painéis de parede são compostos por uma travessa horizontal sobre a qual são fixados os montantes, espaçados a cada 50 a 60 cm, e sobre estes são fixadas duas travessas superiores. A segunda travessa tem função de união dos painéis. Cardoso (2015) observa que as aberturas em painéis de parede são delimitadas por montantes chamados *king studs*, que recebem montantes adicionais em sua face interna para reforçar a estrutura, e estes são os umbrais. Acima da abertura estão as vergas, e abaixo está a contraverga, assumindo o papel de parapeito no caso de janelas. Os espaços abaixo de contravergas e acima de vergas são preenchidos com montantes menores que se chamam *cripples*. Os montantes de paredes internas têm seções de 5 x 10 cm ou 4,5 x 9 cm e os de paredes externas têm a seção de 4,5 x 14 cm (ESPÍNDOLA, 2017).

O contraventamento em diagonal é aplicado em edifícios altos, mas em projetos térreos eles foram substituídos por painéis de *Oriented Strand Board* (OSB), que são fixados à ossatura em ambos os lados dos painéis de parede. Nos espaços internos (entre montantes) está o material do isolamento termoacústico, como a lã de vidro ou lã de rocha. Sobre a chapa de OSB, nas paredes externas, são aplicadas as membranas hidrófugas que permitem a evaporação da umidade interior das edificações, mas bloqueiam a entrada da água. Os revestimentos finais do edifício devem ser impermeáveis, e entre os mais utilizados estão o *siding* horizontal ou vertical com régua de madeira (ou PVC), tijolos cerâmicos, painéis cimentícios, estuque, entre outros. Nos espaços internos, em geral, é utilizado o gesso acartonado. (ESPÍNDOLA, 2017).

A fundação das casas em *Wood frame* é geralmente executada em radier (laje de concreto armado), e após a impermeabilização deste, podem ser fixadas as soleiras de base das plataformas de piso que recebem os painéis de parede. Já as coberturas são compostas por treliças pré-fabricadas e unidas por chapas metálicas dobradas a frio. Estas treliças geralmente não têm diagonais nem pendurais, somente as empenas ligadas pelo banzo inferior (geralmente composto por duas peças), e ambas se apoiam nos painéis de parede (ESPÍNDOLA, 2017).

Segundo Cardoso (2015), nos sistemas leves como o *Wood frame*, utilizam-se madeiras de fácil trabalhabilidade como o Pinus, que precisa ser tratado com Arsenato de Cobre Cromatado CCA (substância que impede a manifestação de organismos xilófagos), por exemplo. Entretanto, alguns autores observam que este tratamento pode acarretar problemas de contaminação ambiental.

A revisão da materialidade em questão é abordada por Herzog *et al.* (2004) e Pfeil e Pfeil (2021). Os autores iniciam seus livros explicando a diferença das madeiras por classificação de dureza: as madeiras duras são as dicotiledôneas, e as macias são as coníferas. As dicotiledôneas são provenientes das árvores Angiospermas frondosas, com folhas achatadas e

largas, com um crescimento lento, sendo chamadas madeiras de Lei; e as coníferas são as Gimnospermas, com folhas de agulhas ou escamas, sementes em formas de cone e crescimento rápido, como o Pinus. As dicotiledôneas perdem suas folhas no outono, e as coníferas mantêm a folhagem verde o ano todo.

Entre os produtos de madeira maciça e os industrializados, existem madeira bruta ou roliça, falquejada, serrada, laminada, entre outras dezenas de tecnologias inovadoras que surgiram nos últimos anos. A madeira bruta é em forma de tronco; a falquejada tem as faces laterais aparadas por machado; e a serrada é cortada em serrarias nas seções padronizadas para o comércio, em formatos retangulares ou quadrados. (PFEIL; PFEIL, 2021).

A madeira lamelada colada MLC é utilizada para vencer grandes vãos, de 12 a 24 metros em vigas retas e de 24 a 60 metros em arcos. Segundo o site Archweb, esta tecnologia foi descoberta no início do século XIX, quando o carpinteiro suíço de Weimar chamado Otto Hetzer, que produzia estruturas curvas com lâminas travadas por chaves, introduziu o adesivo à base de caseína. O conceito seguiu seu curso de evolução e no meio do século surgiram as colas sintéticas de alta resistência. Atualmente algumas fábricas produzem o MLC em lâminas de 38 mm, que após a secagem e aplainamento têm 35 a 30 mm, estas são unidas em uma prensa com colas do tipo ureia-formaldeído (para produtos destinados a áreas internas) e resorcinol (para produtos que ficarão expostos ao tempo).

Kolb (2008) explica que a partir do momento histórico em que a importância de construções em madeira passou e englobar estruturas volumosas e de múltiplos pavimentos, o uso da madeira lamelada colada foi um grande aliado no desenvolvimento de um novo sistema construtivo que repete o arranjo estrutural praticado em aço e em concreto, o pilar-viga, ou *Frame construction*. Em oposição ao *Wood frame*, há uma definitiva separação entre a estrutura portante e os painéis de vedação (que não transmitem esforços).

Neste sistema, pilares, vigas e contraventamentos (estrutura portante primária) são alocados em um grid regular para sustentarem a estrutura de piso, ou lajes pré-fabricadas (estrutura portante secundária). Nos sistemas aporticados podem existir grandes janelas e fachadas de vidro independentes em relação à estrutura, além de os grandes vãos darem uma liberdade maior para o planejamento do layout interno (KOLB, 2008).

Os esforços transmitidos pela força do vento ou pela atividade sísmica resultam em vetores horizontais que agem de maneira heterogênea sobre a estrutura da edificação como um todo. O resultado é que a excentricidade e imprevisibilidade dessas forças causam torção na estrutura, e é necessário contraventar ambos os planos horizontais e verticais da construção. O contraventamento horizontal pode ser feito em pisos, telhados ou até mesmo vigas diagonais, e

o contraventamento vertical pode ser constituído por tirantes de aço ou peças de madeira (KOLB, 2008).

O grid modular a ser utilizado depende principalmente das demandas de projeto de arquitetura, e é geralmente definido a partir da regra de divisibilidade pelo módulo mínimo, a largura comercial típica de elementos de revestimento, no intento de evitar excesso de recortes ou exposição de retalhos, detalhes que encarecem e dificultam a exceção da obra (KOLB, 2008).

Somando os princípios construtivos de Herzog *et al.* (2004) aos de Kolb (2008), existem 6 possíveis sistemas para a configuração do encontro entre vigas, pilares e suas conexões. O primeiro sistema é típico de edificações com um pavimento, e nele a viga primária se apoia sobre o pilar, e ela sustenta as vigas secundárias acima; O segundo é o de pilares únicos e vigas duplas, e este é considerado econômico, pois não existe a necessidade de conectores de aço; O terceiro é o de pilares duplos e vigas principais únicas, e neste é necessário incluir almofadas em madeira para preencher os intervalos entre os pilares, principalmente no intento de apoiar a viga; O quarto é o de pilares e vigas únicas, com vigas primárias e secundárias niveladas por sua face superior: neste método as vigas chegam “de topo” nos pilares, e suas faces receberão conectores de aço para sustentá-las, e por este motivo é o sistema mais caro; O quinto é o de pilares únicos com entalhes para receber as vigas primárias: neste caso o pilar não é contínuo, ele é composto por duas partes, e recebe um entalhe em seu topo por onde passa a viga primária, para logo acima receber um pilar de igual seção que faz o arremate, continuando para o pavimento de cima; O sexto não está descrito pelos autores, mas é praticado tradicionalmente na arquitetura vernacular japonesa como um entre inúmeros arranjos, e consiste em pilares quádruplos com entalhes para receberem peças de preenchimento, e tirando partido do vão central em forma de cruz para o encaixe das vigas contínuas. Um exemplo deste último é o Pavilhão Kazuo Harasawa em São Roque, São Paulo, criado pelo arquiteto japonês Eiji Hayakawa e executado pela Ita Construtora.

Um estudo de caso paralelo que pode ser considerado um híbrido entre os dois sistemas construtivos supracitados são as palafitas, que segundo a Unesco já são encontradas no lago de Zurique, na Suíça, desde 1854, com estudos que datam estas estruturas entre os anos de 1800 e 5000 a.C. Trazendo o foco para a Amazônia brasileira, de acordo com Marcondes *et al.* (2017), a arquitetura ribeirinha de edificações flutuantes (nos rios) e palafitas (nos igarapés) se constitui com influências vernaculares indígenas misturadas ao modo de construir típico urbano, a habitação retangular com telhado de duas águas, e o processamento de materiais é quase que integralmente local, como a seleção e extração da madeira correta para cada componente pelos carpinteiros, o tratamento com óleo queimado, a secagem, a cobertura de folhas de palmeira ou palha, o uso do barro, do cipó, e o corte de cada peça no meio da mata,

dado que nem todas as regiões possuem serrarias ou eletricidade. Calor (2012) também indica que outra herança cultural relevante são as palafitas em Portugal, conhecidas como “palheiro”.

Segundo Meirelles *et al.* (2017), o passo a passo para a construção de uma palafita inicia com o preparo do terreno e a marcação das estacas, esquadreamento da construção, e então são cravadas no solo duas categorias de peças: os esteios e os barrotes, ambos assumindo a função de pilares, mas os esteios se localizam nas bordas das construções, e os barrotes são os do interior do perímetro. Tecnicamente, nenhum esteio é contínuo desde seu cravamento no solo até o apoio das treliças de cobertura, existem emendas Gerber acima do vigamento de piso. Em seguida, é executado o contraventamento provisório destes pilares em diagonal, ligando barrotes aos esteios, para serem fixadas as vigas principais, chamadas madres. Nelas se apoiam as vigas secundárias, e antes que seja executado o piso, a construção segue para a montagem das tesouras de cobertura. Marcondes *et al.* (2017) destaca que nas construções ribeirinhas do Amazonas, o telhado deve ser finalizado primeiro, permitindo que os trabalhadores tenham a sombra a seu favor e isso também impede a secagem excessiva das tábuas de piso. Nas casas com vãos de 4 a 6 metros se utilizam tesouras para suportar a cobertura, e nas casas mais simples não há uma treliça, mas sim uma cumeeira elevada sobre a qual se apoiam os caibros, e nesse caso existem pilares internos no meio da casa.

Nestas construções, os revestimentos finais em cobertura de palha ou com franjas de palmeira (com durabilidade média de 3 anos até a primeira manutenção), vem sendo substituídos por telhas metálicas ou de fibrocimento. Meirelles *et al.* (2017) observam que telhas metálicas e baixo pé direito produzem calor excessivo no interior da edificação, apesar de serem mais comuns. O piso em tábuas é então alocado, e começa-se a fixar as travessas inferiores dos painéis de vedação. A estrutura das vedações é composta por um quadro com montantes nas laterais e travessas horizontais superiores, inferiores e médias. A fachada consiste em tábuas verticais de 22 cm, e sobre estas são pregadas as ripas mata-juntas. Após serem fixados os painéis de fechamento, é retirado o contraventamento entre barrotes, na parte inferior da construção.

Nas comunidades ao longo do Rio Solimões existem aspectos que marcam a forte herança de cultura indígena, como o uso de cores fortes e contrastantes para a pintura da fachada, a decoração dos frontões e o ripamento dos guarda-corpos, elementos que remetem às pinturas corporais e vestuários desses povos, segundo Brugnera *et al.* (2016). As técnicas construtivas em madeira praticadas na Amazônia ainda são rudimentares quando comparadas às de alguns países do hemisfério norte, onde essa materialidade se enraizou fortemente ao longo da história, ou mesmo da cultura filosófica secular acerca da construção.

Os paradigmas da sustentabilidade de construções em madeira atualmente mostram a relevância do estudo a partir do universo *high tech* disponível para a arquitetura, que engloba realidades como a modelagem 3D, a fabricação digital, simulações de conforto ambiental, possibilidade de visitas virtuais, prevenção de erros, rápidos experimentos norteadores de decisões projetuais e alterações centralizadas pelo sistema BIM. De outro lado está o conceito da metodologia *low tech*, que parte de considerar os materiais locais, integrando a mão de obra menos qualificada em busca de um design intuitivo, com uma redução ao essencial e menos componentes. Os autores Locatelli *et al.* (2018) observam que o processo clássico de projeto apresentava as etapas de análise, síntese, avaliação e decisão, e comentam como ele foi atravessado pelo método digital, composto pelas fases de geração, representação, avaliação e desempenho. Então, surge o questionamento acerca da possibilidade de que estas novas ferramentas sejam utilizadas para colaborar na produção de peças estruturais e componentes de vedação, em alinhamento aos conceitos da pré-fabricação e modularidade, mas direcionados à sustentabilidade e ao trabalho local.

Locatelli *et al.* (2018) discorrem a respeito da fusão do tecnológico com o tradicional, em concordância com a materialidade e a cultura. A ideia é que as novas tecnologias devem atender às demandas das comunidades de modo a proporcionar o aumento da qualidade e durabilidade das habitações, e por consequência gerar mais bem-estar social, além do estímulo à economia local, definindo o conceito de *high-low*. Esse artifício de aproximação entre a tradição e a ciência carrega em si a possibilidade de uma complementação mútua e benéfica entre os procedimentos comparados, com intercâmbio de ideias entre o projetista do design digital e o carpinteiro tradicional, a partir de estudos como as proposições realizadas por Meirelles *et al.* (2017) para as edificações em palafitas com o intuito de ampliar seu ciclo de vida. Entre outras soluções, os autores sugerem fundações em concreto sob os barrotes (para não haver transferência de umidade para as peças de madeira), cobertura em *shed* ou lanternim (para a convecção do ar quente e resfriamento evaporativo), beirais maiores (para afastar o alcance das chuvas em relação às paredes), módulos de vedação em tábuas horizontais sobrepostas e inclinadas com encaixe (que facilitam a manutenção apenas das inferiores quando podres pela umidade, e impedem o escoamento vertical da água), e mãos francesas na fundação e na cobertura (para dar mais estabilidade às construções).

3. METODOLOGIA

Foi feito um levantamento inicial dos autores e da bibliografia para uma revisão dos conceitos e palavras-chave envolvidas no estudo seja feita. O primeiro tema da investigação foi a cultura, história e modo de vida das comunidades tradicionais em áreas de várzea, com ênfase na Bacia Amazônica. Nesta etapa, houve um estudo da arquitetura local por meio das

técnicas construtivas ribeirinhas para que fossem identificadas as problemáticas do curto ciclo da vida das edificações.

Em seguida foi apresentado um breve contexto dos sistemas leves e suas contribuições para a construção civil. Revisando autores que definem os diversos produtos comercializados a partir da madeira, foi situada a descoberta da madeira lamelada colada e os desdobramentos deste fato que se expressam no surgimento de novos sistemas, como o pilar-viga. Ambos os métodos foram estudados em termos técnicos a partir dos textos selecionados.

Na sequência, foram desenvolvidos modelos virtuais 3D (a partir do *software Sketchup*) que exemplificam os sistemas construtivos em madeira conhecidos como *Platform frame* (“*Wood frame*”), o *Frame construction* (“pila-viga”), a habitação ribeirinha típica e a habitação ribeirinha com revisões de conforto térmico e de sustentabilidade.

Foi realizado um estudo comparativo destes sistemas construtivos, com ênfase na estrutura e nos métodos de fechamento. Para tal fim, foram utilizadas imagens em perspectiva, tabelas e parâmetros conceituais pré-selecionados.

Com apoio da maquetaria da Universidade Presbiteriana Mackenzie foram produzidos 5 modelos em escala 1:25 da ossatura e fechamento dos sistemas *Platform frame* (*Wood frame*), *Frame construction* (*Pila-viga*) e da habitação ribeirinha para a avaliação das soluções.

Também ocorreu uma visita a uma comunidade tradicional do Rio Madeira, em Rondônia, para realizar entrevistas, tirar fotos e coletar informações objetivas do contexto geográfico e das condições de moradia.

4. RESULTADO E DISCUSSÃO

A visita em uma comunidade tradicional às margens do Rio Jamari (cidade de Ariquemes) em Rondônia evidenciou aspectos culturais e construtivos das palafitas que complementam a bibliografia estudada. O povoado era composto por dezenas de construções sobre palafitas ao longo de um breve trecho da BR-364, com uma configuração espacial de comércios nivelados com a estrada, e pontes (por vezes largas, para a passagem de carros e motos), que desciam a encosta até a várzea, onde se localizavam as habitações correspondentes a estes comércios, que vendiam açaí, peixes, guaraná, cupuaçu e castanhas. As construções ao nível da estrada eram pintadas de cores fortes e vibrantes, e as casas não receberam pintura. A cobertura predominante é duas águas, com uma água somente praticada nas menores edificações, e é comum que a varanda frontal ou em formato de L seja coberta por um anexo, com inclinação diferente do corpo principal da casa.

Nestas edificações (imagens 1 e 2) os elementos estruturais verticais são os esteios e barotes, peças dimensionadas a partir da experiência de carpinteiros locais que são cravadas

no solo. Barrotes de pequena seção (localizados no centro da edificação) acabam abaixo do piso com o entalhe para as *madres* (vigas principais), e os esteios de maior seção (nos cantos) seguem do solo à cobertura. Os elementos estruturais horizontais são vigas de média seção também dimensionadas pelo saber vernacular, e as conexões são feitas com pregos nos casos em que só há força de compressão (tábuas de piso, acima das vigas secundárias que se apoiam nas *madres*), e barras roscadas ou parafusos autobrocantes (resistem à tração) nas junções mais importantes. O contraventamento entre esteios e pilares é ausente, pois na concepção popular os painéis de vedação já assumem essa função, e a cobertura típica é de 2 águas, com tesouras simples de empenas, banzo inferior e pendural. As telhas costumam ser de fibrocimento, mas também há grande incidência do material zinco, e não há forro. A respeito da modulação desta tipologia, há grande variação, sendo que a distância entre barrotes costuma ser menor do que a distância entre esteios, e os valores vão de 1,5 a 3 m, havendo relação com a largura das tábuas de vedação e piso. O pé direito costuma ser alto (maior que 3 m), os beirais têm em torno de 60 cm. A parede típica são painéis compostos por uma soleira/travessa inferior, montantes espaçados a cada 90 cm e uma travessa superior, além de travessas em altura média. A vedação é simples, tábuas de 22 cm verticais justapostas com ou sem mata-junta fixadas em travessas médias, inferiores e nas vigas de sustentação da cobertura.

Imagem 1 - Visita à comunidade ribeirinha em Ariquemes, Rondônia



Fonte: do autor

Imagem 2 - Visita à comunidade ribeirinha em Ariquemes, Rondônia



Fonte: do autor

Segundo os construtores locais, as madeiras mais utilizadas para a construção de casas são a Maçaranduba, Louro-pardo, Cumaru, Copaíba, Mogno, Paricá e Ipê-Amarelo, e a impermeabilização após a construção é realizada com óleo diesel. A sequência de montagem se inicia com os barrotes, seguindo para as *madres* (vigas principais) e secundárias que sustentam as tábuas de piso. Sobre os esteios são colocados as tesouras, ripões e telhas.

Finalizando, se executam os painéis de parede e então divisórias internas e esquadrias. O nível de industrialização das palafitas é baixo, e o trabalho é executado com ferramentas manuais.

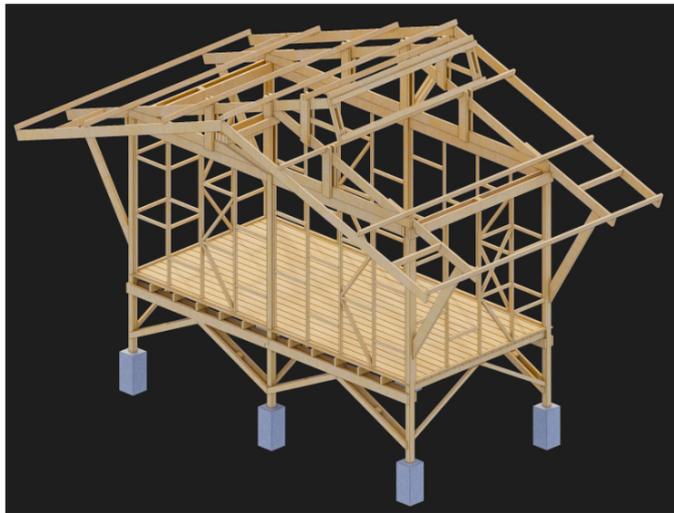
Após a comparação da palafita tradicional (imagem 3) com a proposta por Meirelles *et al.* (2017), pode-se perceber importantes adaptações de sustentabilidade destacados no texto da autora, como mostra na imagem 4: beirais e varandas mais generosas para proteger a vedação externa (com tabeiras para a proteção dos caibros), sapatas de concreto na base dos barrotes para que eles não estejam repetidamente expostos à umidade e secagem, contraventamentos de base com peças de madeira, vedação em tábuas horizontais sobrepostas, a abertura em *shed* na cobertura para o resfriamento evaporativo, a permeabilidade dos painéis de vedação para ventilação cruzada e a altura em relação ao solo que prevê a possibilidade de cheias recorde.

Imagem 3 - Palafita tradicional



Fonte: do autor

Imagem 4 - Palafita com adaptações de sustentabilidade

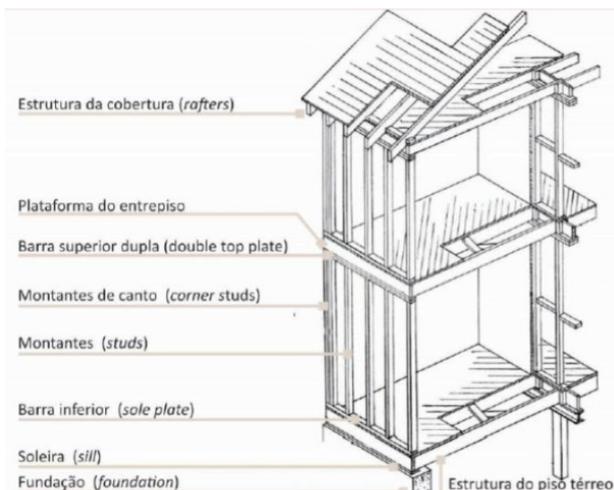


Fonte: do autor

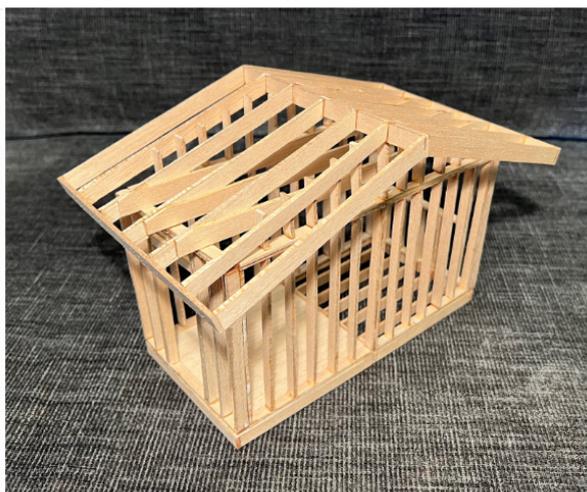
Foram construídos a mão cinco modelos físicos em madeira que ilustram os outros dois sistemas construtivos estudados e 3 métodos de vedação empregados. O primeiro foi o do *Platform frame* (imagem 6), e o exercício conferiu maior aderência aos conceitos já estudados a partir de Espíndola (2017) e Cardoso (2015). No *Wood frame* (imagem 5), os elementos estruturais verticais são os montantes de 45 x 90 mm (paredes internas), de 45 x 140 mm (paredes externas), e os elementos estruturais horizontais são as travessas de 45 x 90 mm (paredes internas) e 45 x 140 mm (paredes externas). Na cobertura as travessas têm 45 x 220 mm. Inicialmente as conexões eram feitas só com pregos, e com a evolução do sistema passaram a ser utilizados parafusos (resistem à tração), chapas finas (<12 ou 15 mm) e grampos. O contraventamento era aplicado em diagonais, mas atualmente nas casas de um pavimento se utiliza a chapa de OSB, e o painel de entrepisso têm barrotes de 27 a 32 cm de altura (a depender do vão) travados com peças menores e a chapa de OSB de 18,3 mm. A

cobertura típica tem 2 ou 4 águas e as treliças só têm empenas e o banzo inferior (sendo geralmente composto por duas peças). As telhas mais utilizadas são shingles, taubilhas, telhas de ardósia ou metal, e o forro é o espaço interno do painel de entepiso fechado em cima e embaixo por chapas de OSB e depois com o forro escolhido por critério estético. Os painéis de parede têm 1,2 m de comprimento e as chapas de OSB tem 1,2 x 2,4 m, portanto a modulação mais praticada segue a divisibilidade por estas distâncias, e os montantes são espaçados a cada 60 cm nos *frames* de parede, sendo 40 cm no caso de uma edificação com mais pavimentos. As edificações costumam ter por volta de 2,6 m de pé direito, com cerca de 60 cm de beirais e a fundação é feita em radier, sapata ou sapata corrida, e acima desta está a soleira que apoia a plataforma de piso térreo. As paredes são painéis compostos por uma travessa inferior, montantes espaçados a cada 60 cm e dupla travessa superior, podendo haver guias em altura média que contraventam os painéis ou não, e as camadas dos painéis de parede têm, de fora para dentro, a ordem: 5 mm chapa cimentícia ou 10/20 mm de *siding* de madeira, 5 mm de membrana hidrófuga, 11.1 cm de OSB, 90 mm de quadros de madeiramento de pinus preenchido de lã de rocha, 11.1 mm de OSB e 12.5mm de gesso acartonado. Observa-se que o sistema *Wood frame* não é difundido na Amazônia Brasileira.

Segundo os autores Cardoso (2015), Kolb (2008) e Espíndola (2017), a madeira utilizada neste sistema pode ser o Pinus, e para seu tratamento, ela passa por secagem em estufa e depois autoclave (vácuo inicial para a saída do ar, pressão para penetração do material preservativo, e vácuo final para remover excesso). O nível de pré-fabricação e industrialização nestas construções é alto, com mão de obra que não necessariamente tenha conhecimento prévio ou habilidades na área, e o maquinário típico completo de serras, lixadeiras e plaina. A sequência de montagem é: fundação, soleira (sills), painel de barrotes para a plataforma de piso, barra inferior (sole plate), montantes de canto (corner studs), barra superior dupla (double top plate), montantes (studs), barrotes de teto (ceiling joist), caibros (rafters), chapas de OSB, telhas, esquadrias e forro.

Imagem 5 - Estrutura principal do Platform frame (Wood frame)

Fonte: adaptado de APA, 2015 apud
ESPÍNDOLA, 2017

Imagem 6 - Modelo físico do Platform frame (Wood frame)

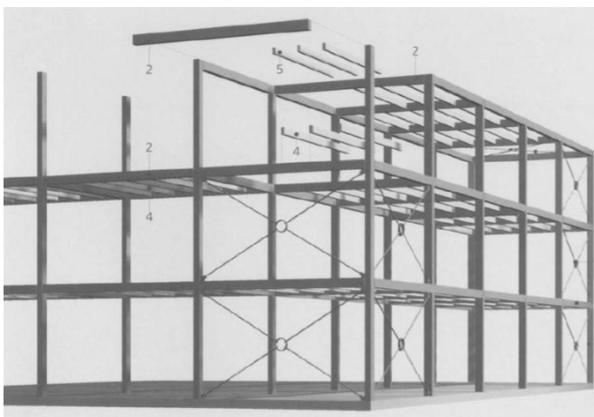
Fonte: do autor

A respeito do sistema do *Frame construction* (Pilar-viga) (imagens 7 e 8), segundo os autores Herzog *et al.* (2004), Pfeil e Pfeil (2021), Kolb (2008) e o site Archweb, os elementos estruturais verticais são os pilares únicos, duplos, triplos ou quádruplos, e apresentam seções mais expressivas dimensionadas de acordo com a NBR 7190, assim com os elementos estruturais horizontais, as vigas únicas ou duplas. São utilizados conectores de aço com chapas de maior bitola (<12 ou 15 mm), barras roscadas e parafusos especializados de carpintaria nas junções, e o contraventamento tende a ser feito com tirantes de aço ou peças de madeira. A laje é composta por vigas principais, secundárias e painéis de piso cujo peso próprio não sobrecarregue a estrutura (exemplos: painel wall, cross laminated timber, tábuas), e a cobertura típica é de 1, 2 ou 4 águas (vigas principais, terças, caibros e ripas), podendo não haver a treliça como grupo separado. O forro é pregado acima ou abaixo dos caibros, com o contra caibro por cima na mesma projeção, seguido da manta de subcobertura e as ripas que prendem as telhas, que podem ser de qualquer tipo que atenda as demandas particulares do projeto. Não há uma modulação típica ou pé direito fixo, só a noção de que um módulo mínimo tende a ter relação com a largura mínima dos elementos de piso e fachada. Os beirais podem exceder 1,2m a depender do clima e do arranjo estrutural empregado, e a fundação pode ser em radier, sapata ou estaca pré-moldada. As paredes podem ser feitas com qualquer tipo de vedação e não têm função estrutural, portanto podem ser em *wood frame*, *steel frame*, tijolos cerâmicos, tijolos de concreto, pedras naturais ou adobe.

De acordo com Herzog *et al.* (2004), Kolb (2008) e Pfeil e Pfeil (2021), o *Frame construction* (Pilar-viga) utiliza predominantemente pinus e eucalyptus grandis para a produção de madeira lamelada colada, mas o sistema também é executado em madeiras nativas maciças. O tratamento da madeira se inicia com a secagem em estufa, depois o autoclave para a aplicação

de CCA (arsênico) ou CCB (boro) é feita para preservar e proteger a madeira de microorganismos, e depois o verniz stain penetra as fibras da madeira mantendo a textura e torna a madeira hidrorrepelente. O nível de pré-fabricação e industrialização é alto, a mão de obra é especializada e o maquinário é o mesmo do *Wood frame*, com o acréscimo de máquinas de usinagem CNC, prensas, entre outras. A sequência de montagem tende a seguir a ordem: ferragens de aço de base de pilar, pilares, vigas principais, contraventamentos, vigas secundárias (barrotes), vigas principais superiores, contraventamentos superiores, caibros, ripas.

Imagem 7 - Partes da construção e estrutura primária do Frame construction (Pilar-viga)



Fonte: KOLB, 2018

Imagem 8 - Modelo físico do Frame construction (Pilar-viga)



Fonte: do autor

Foram construídos três modelos físicos que ilustram as camadas de parede e a técnica de vedação empregada nos seguintes sistemas: *Wood frame*, palafita tradicional e palafita proposta por Meirelles *et al.* (2017), respectivamente (imagens 9 e 10).

Imagem 9 - Painéis de vedação (face externa) do wood frame, da palafita tradicional e da palafita com adaptações de sustentabilidade, na ordem disposta



Fonte: do autor

Imagem 10 - Painéis de vedação (face interna) do wood frame, da palafita tradicional e da palafita com adaptações de sustentabilidade, na ordem disposta



Fonte: do autor

As referências utilizadas para a elaboração das tabelas são Espíndola (2017), Kolb (2008) e Cardoso (2015) para o sistema *Platform frame (Wood frame)*, o site Archweb, Herzog *et al.* (2004), Pfeil e Pfeil (2021), Kolb (2008) para o sistema *Frame construction*, e Marcondes *et al.* (2017), Brugnera (2015), Calor (2012) e Meirelles *et al.* (2017) para as palafitas.

Tabela 1 - Parâmetros de comparação iniciais

	Origem geográfica	Outros nomes	Característica marcante	Vantagens	Fragilidades	Peças de madeira
Platform frame (Wood frame)	Chicago, Estados Unidos	<i>Western frame, two by four</i> , dois por quatro	Paredes portantes, plataformas de piso, painéis de vedação e peças de pequenas seções	Baixo custo, montagem rápida, mão de obra menos especializada	Aberturas limitadas na vedação, altura limitada da edificação, beirais curtos	Montantes, travessas, umbrais, vergas, contravergas, <i>king studs</i> , barrotes e vigas
Frame construction (Pilar-viga ou Post and beam)	Weimar, Alemanha	Sistema aporticado	Pilares e vigas como estrutura independente em imediato destaque	Vedação só sustenta seu peso próprio, maior liberdade de layout, fachada de total transparência	Custo elevado, mão de obra especializada	Pilares, vigas principais, barrotes, terças, caibros, ripas, contraventamentos
Palafita tradicional	Zurique, Suíça	<i>Pile dwellings, lake dwellings, stilt house</i> , palheiro	Edificação suspensa acima de pilares, com varandas e telhados duas águas	Superação dos limites terrestres, proximidade à pesca	Instalações hidráulicas, esgoto, madeira em contato com água	Esteios, barrotes, madres, vigas secundárias, treliças (ou caibros), ripas, montantes e travessas

Fonte: Elaborado pelo autor

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A extensa e sistemática comparação dos três sistemas construtivos selecionados proporcionou a percepção de inúmeros hibridismos como a própria palafita tradicional, que é uma intermediária entre o *Platform frame (Wood frame)* e o *Frame construction (Pilar-viga)*, e diluiu a concepção de “técnicas puras”, que servem à discussão da pesquisa mais como referências históricas de inovação e transição de funções e prioridades na construção civil. Os dados obtidos têm o potencial de constituir parâmetros e possibilidades para a resolução de demandas de projetos futuros em madeira. Observa-se novamente que a adequação de técnicas americanas não é uma realidade na Amazônia Brasileira.

A revisão bibliográfica permitiu uma aproximação maior ao contexto geográfico da Bacia Amazônica, e a visita à comunidade ribeirinha em Rondônia não só validou o estudo teórico feito a partir de artigos científicos, mas incorporou a importância da observação direta dos

detalhes e complexidades ainda não abordados na bibliografia explorada, como emendas entre peças estruturais, instalações e variações tipológicas.

Verificou-se que a elaboração de modelos físicos evidencia desafios construtivos reais em pequena escala que permaneceriam ocultos no ambiente virtual, e isto permite a antecipação de ideias de resolução que aprofundam a compreensão da estática de uma estrutura. Paralelamente, a modelagem digital permite uma ágil e fluida visualização de possibilidades projetuais, e a racionalização e organização de um fluxo de trabalho por esta via consegue poupar dias de improdutividade em obras reais a partir de poucas horas manipulando Softwares 3D.

A partir do intercâmbio de soluções entre os métodos estudados, foi possível destacar coincidências e divergências que constituem o exercício proposto pela pesquisa. Amplas varandas e beirais, mãos francesas, contraventamentos, orientações de tábuas de vedação, aberturas, desenho de treliças, fundações e outros fatores oriundos das técnicas estudadas são conceitos que figuram como possibilidades de melhora da qualidade das habitações em áreas de várzea.

6. REFERÊNCIAS

ARCHWEB. The historical background of laminated wood. Disponível em: <https://www.archweb.com/en/design/page/Laminated-wood/>. Acesso em: 5 junho 2023.

BITTENCOURT, Maria Mercedes; AMADIO, Sidinéia Aparecida. Proposta para a identificação rápida dos períodos hidrológicos em áreas de várzea do Rio Solimões-Amazonas nas proximidades de Manaus. 2007. Acta Amazonica, Vol. 27 (2), São Paulo, 2007.

BRUGNERA, Ana Carolina. Meio ambiente cultural da Amazônia Brasileira: dos modos de vida a moradia do Caboclo Ribeirinho. 2015. Mestrado em Arquitetura e Urbanismo - Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2015.

BRUGNERA, Ana Carolina *et al.* A Relação da Morada dos Ribeirinhos da Costa do Canabuoca, Manacapuru - AM: Processos construtivos da Costa do Canabuoca. 2016. 40 Colóquio Ibero-Americano Paisagem Cultural, Patrimônio e Projeto. Belo Horizonte, 2016.

BERTRAM, Nick. *et al.* Modular construction: From projects to products. Nova York: Editora Mckinsey & Company, 2019.

CALOR, Inês Alhandra. Técnicas Construtivas Aviera: Tradição e inovação no sistema palafítico. Arquitectos Sem Fronteiras. Portugal, 2012.

CARDOSO, Larriê Andrey. Estudo do método construtivo wood framing para construção de habitações de interesse social. 2015. Trabalho de conclusão de curso em Engenharia Civil - Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2015.

CELUPPI, Maria Cristina.; MEIRELLES, Célia Regina Moretti. A construção das configurações espaciais das comunidades ribeirinhas da Amazônia Brasileira: o estudo de caso da comunidade Cristo ressuscitado em Manacapuru - AM. 2020. Caderno de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo Mackenzie, São Paulo, 2020.

COSTA, Diana Soares. Escola tipo palafita inclusão de tecnologias sustentáveis Anamã-Amazonas. 2019. Encontro Nacional da Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Planejamento Urbano e Regional. Natal, 2019.

ESPINDOLA, Luciana da Rosa. *O wood frame na produção de habitação social no Brasil*. 2017. Doutorado em Arquitetura, Urbanismo e Tecnologia - Instituto de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo. São Carlos, 2017.

FERREIRA, Idenor Da Silva. *Trabalhadores da malva: (re) produção material e simbólica da vida no baixo rio Solimões*. 2009. Dissertação de Mestrado em Sociedade e Cultura na Amazônia - Universidade Federal do Amazonas, 2009.

GENERALOVA, Elena; GENERALOV, Viktor; KUZNETSOVA, Anna. *Edifícios modulares em construção moderna. XXV Seminário Polonês - Russo - Eslovaco "Theoretical Foundation of Civil Engineering"*. Samara, 2016.

HAIRSTANS, Robert. *Building offsite: An Introduction*. Edimburgo. 2014. Disponível em: <https://www.napier.ac.uk/research-and-innovation/research-search/outputs/building-offsite-an-introduction>. Acesso em: 5 maio 2022.

KOLB, Josef. *Systems in Timber Engineering. Load Bearing Structures and Component Layers*. Zurique: Editora Lignum, 2008.

OLIVEIRA JUNIOR, Jair Antônio. *Arquitetura Ribeirinha sobre as águas da Amazônia: o habitat em ambientes complexos*. Dissertação de mestrado em Arquitetura e Urbanismo - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

PEREIRA, Henrique dos Santos. *Comunidades Ribeirinhas Amazônicas: Modos de Vida e Uso dos Recursos Naturais*. In: Fraxe, T. J. Pereira, H. S., & Witkoski, A. C. (Eds.). (2007). *Comunidades ribeirinhas Amazônicas*. PIATAM. Manaus, 2007.

PFEIL, Walter; PFEIL, Michèle. *Estruturas de Madeira*, 6 ed. Rio de Janeiro: LTC 2013

MARCONDES, Flávio *et al.* *Registro da moradia Ribeirinha do Amazonas: A Análise das técnicas construtivas em palafitas*. 2017. VI Encontro internacional arquiememória: Sobre a preservação do patrimônio edificado, Salvador, 2017.

MEIRELLES, Célia Regina Moretti *et al.* *Processo Construtivo em habitação na Madeira: Interfaces e rebatimentos nas populações ribeirinhas do Amazonas*. Relatório Técnico Científico, Mackpesquisa, São Paulo, 2017.

HERZOG, Thomas *et al.* *Timber Construction Manual*. Berlim, Germany: Editora Detail, 2004.

LOCATELLI, Daniel *et al.* *High-Low as Expression of the Brazilian Digital Fabrication*. 2018 XXII Congresso da Sociedade Iberoamericana de Gráfica Digital, São Carlos, 2018.

RICARDO, Beto; CAMPANILI, Maura. 2008. *Almanaque Brasil socioambiental*. São Paulo: ISA – Instituto Socioambiental, 2008.

TECVERDE Sistema Estruturado em Peças Leves de Madeira Maciça Serrada - light wood framing. 2020. Disponível em: https://www.tecverde.com.br/wp-content/uploads/2021/10/pbqph_d2906-1.pdf Acesso em: 5 maio 2022.

SMITH, Ryan. *Prefab Architecture: A Guide to Modular Design and Construction*. Nova Jersey: Editora John Wiley & Sons Inc., 2010.

Contatos: pedro1rar@gmail.com e celiaregina.meirelles@mackenzie.br