

Habitação de Interesse Social (HIS) em Bambu: Projeto e Construção de um Protótipo Experimental

Social Housing in Bamboo: Design and Construction of an Experimental Prototype

Alexandre Oliveira Vitor

ale.o.vitor@gmail.com

Lisiane Ilha Librelotto

Lisiane.librelotto@gmail.com

Resumo

Os impactos ambientais provenientes da má gestão dos recursos naturais, do desmatamento e da poluição são resultados da ocupação desrespeitosa do homem na Terra. Condizente a esta realidade, verifica-se que grande parcela da população brasileira não possui moradia adequada, tornando-se necessária a busca de alternativas de construção menos impactantes ambientalmente para suprir o déficit habitacional do país. Nesse sentido, o bambu se mostra como possível alternativa para reduzir o impacto ambiental associado à construção de residências por ser um material com baixa energia incorporada, resistente e comumente encontrado no Brasil. O estudo da viabilidade construtiva de estruturas de bambu é fundamental para o projeto e construção de moradias populares. Com este objetivo, foi projetado e construído um protótipo experimental na Universidade Federal da Santa Catarina e registrada, através de fotografias, o passo a passo das etapas construtivas relatando a experiência em ordem cronológica de execução. Além de promover a ampliação da cadeia produtiva do bambu no Brasil, o estudo comprovou o potencial do bambu como matéria prima sustentável para construir moradias nos aspectos econômico, ambiental e social.

Palavras-chave: Bambu. Protótipo de moradia. Habitação de Interesse Social

Abstract

The environmental impacts from unhealthy management of the natural resources, due deforestation and pollution, are results of disrespectful occupation of man on Earth. Consistent with this reality, it is known that a large portion of the Brazilian population does not have adequate houses, making it necessary the search for environmentally-friendly alternatives of construction to meet the country's housing deficit. In that sense, bamboo is an important option to reduce the environmental impact associated with the construction of houses, since it is a material with low energy incorporated, resistant and commonly found in Brazil. The constructive feasibility study of bamboo structures is fundamental for the design and construction of social housing. With this objective, an experimental prototype was designed and built in the Federal University of Santa Catarina and recorded, through photographs, the step by step of the construction, reporting the experience in chronological order of execution. Besides promoting the expansion of the bamboo production chain in Brazil, the study confirmed the potential of bamboo as a sustainable raw material to build houses in economic, environmental and social aspects.

Keywords: Bamboo. Prototype of housing. Social Housing

1. Introdução

Este artigo apresenta uma pesquisa aplicada que assume como tema o uso do bambu em construções que possam ser mais sustentáveis, com menor impacto ambiental. Foi conduzida como parte do Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Civil (VITOR, 2018).

Grande parcela da população brasileira não possui uma casa para morar, seu nível de renda dificulta ou impede o acesso à moradia através dos mecanismos normais do mercado imobiliário. Frente a esta realidade, políticas habitacionais vêm sendo desenvolvidas e implantadas, através dos anos, de maneira a reduzir o número de pessoas sem acesso à moradia.

Estima-se, através de dados estatísticos emitidos pela Fundação João Pinheiro (FJP, 2015), que o Déficit Habitacional brasileiro para o ano de 2015 foi de aproximadamente 6,2 milhões.

Dentre as atividades humanas realizadas sobre a Terra, o setor da indústria da construção é o que mais consome recursos naturais e utiliza energia de forma intensiva (Ministério do Meio Ambiente, 2012). Isso ocorre devido ao ciclo de vida dos produtos utilizados na construção e à grande amplitude industrial, que se estende desde a extração da matéria prima para sua fabricação até o seu descarte sob forma de resíduo. Segundo o Diagnóstico dos Resíduos Sólidos da Construção Civil (IPEA, 2012), estima-se que mais de 50% dos resíduos sólidos gerados pelo conjunto das atividades humanas sejam provenientes da construção.

Assim, torna-se necessário buscar alternativas de construção menos impactantes. O bambu, por ser um material ecológico, resistente e comumente encontrado no Brasil, apresenta-se como possível solução construtiva de baixo custo e ambientalmente correta. A técnica *bahareque*, muito utilizada em países como Colômbia e Venezuela, utiliza prioritariamente bambu para criar o sistema estrutural de uma parede, reduzindo, portanto, a quantidade de aço e extinguindo o uso de tijolos de alvenaria na construção de habitações. Este método foi identificado pelo autor como tecnologia de construção promissora com potencial de reduzir o impacto ambiental associado à construção de residências.

Esta pesquisa teve como objetivo avaliar a viabilidade construtiva para uma moradia popular em estrutura de bambu através da construção de um protótipo experimental. Para tanto propôs-se à: - Quantificar as emissões de gás carbônico e de energia embutida necessárias a produção de alguns dos materiais convencionalmente utilizados na construção de um projeto padrão sugerido pela NBR12721:2006 (ABNT, 2006); - Projetar e executar módulo de protótipo em estrutura de bambu; - Elucidar o potencial do bambu como material construtivo nos aspectos econômicos, sociais e ambientais; - Descrever o método construtivo através de registros fotográficos.

2. Referencial teórico

2.1. A Sustentabilidade na Construção

Grande parte dos materiais empregados na construção civil não são renováveis e produzem impactos no ambiente desde a fabricação até o descarte sob forma de resíduo. A escolha dos materiais de construção possui um peso expressivo sobre o impacto ambiental de um empreendimento. O posicionamento de fachada em relação à nascente/poente do sol, uso de aparelhos energeticamente eficientes, adoção de equipamentos economizadores de água, o aproveitamento da iluminação natural e estratégias de ventilação natural também são técnicas de uma arquitetura sustentável e de extrema importância na manutenção e ocupação da residência. A produção de energia através de fontes renováveis, assim como a redução da demanda, tem como resultado a otimização do desempenho energético da edificação, tendo como consequência a redução do consumo mensal de energia.

O relatório de Brundtland (1987) define o desenvolvimento sustentável como aquele que atende às necessidades das gerações atuais sem comprometer a possibilidade das futuras gerações de atenderem às suas próprias necessidades. Portanto, é indispensável que o crescimento econômico do país seja alcançado com responsabilidade ambiental e justiça social.

A construção civil é um ótimo catalisador de empregos e, portanto, possui notável importância social. Alguns dos impactos sociais negativos ocasionados pelo setor são verificados nas comunidades e nas relações de trabalho. Parte da culpa do imenso déficit habitacional do país está atribuída à incapacidade do setor em acompanhar o crescimento da demanda por novas habitações, o que resulta em um crescimento não organizado e de baixa qualidade habitacional nas regiões periféricas da cidade. Nas relações de trabalho provenientes da construção civil, nota-se que muitos colaboradores não possuem carteira assinada.

O Conselho Internacional para Pesquisa e Inovação em Construção (CIB/UNEP-IETC, 2002) define a construção sustentável como um processo holístico para restabelecer e manter a harmonia natural em conjunto com o ambiente construído, criando estabelecimentos que confirmem a dignidade humana e estimulem a igualdade econômica.

2.2. O bambu como material construtivo para Habitações de Interesse Social mais sustentáveis

Tendo em vista que a indústria da construção civil exerce impacto significativo sobre a economia de uma nação e o efeito devastador de sua produção industrial, cabe ao consumidor a escolha consciente dos materiais empregados em seu empreendimento, respaldado pelos profissionais projetistas. A escolha de materiais de construção representa um importante campo da engenharia ambientalmente responsável.

Originalmente desenvolvida a partir dos princípios da indústria ecológica, a aplicação da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é reconhecida como de grande valia para o setor da construção civil. A ACV rastreia a quantidade de emissões para a natureza (p. ex. kg de carbono, dióxido e metano) e as extrações da natureza (por exemplo o quilograma de minério de ferro) para um produto ou processo estudado em todo o seu ciclo de vida.

A análise do ciclo de vida das edificações requer a compreensão de que não se trata de um objeto estático que está terminado quando a construção acaba e os donos a ocupam. Ao invés disto, as edificações sofrem constantes mudanças, elas são dinâmicas e causam impacto na sociedade e no ambiente durante sua vida. As operações de construção são responsáveis por uma grande parcela do consumo de energia do mercado global. Em contrapartida, o aumento da eficiência energética nas edificações tem sido um forte foco da indústria da construção, ótimo fator que tende a reduzir o consumo mensal de energia nas habitações.

Devido à alta complexidade em se realizar a Análise do Ciclo de Vida completa, como auxílio no projeto e para se ter uma ideia dos impactos ambientais associados a seleção de materiais, pode ser realizada uma análise simplificada do ciclo de vida com o intuito de evidenciar impactos potenciais de alguns materiais utilizados atualmente na construção. Em outras palavras, podem ser levantados os quantitativos de energia embutida e de dióxido de carbono emitido, por exemplo, para produção do aço, concreto, areia, cimento, tijolos, bambu ou outros. Esta análise auxilia a avaliar a pressão do consumo de tais materiais sobre os recursos naturais em função da quantidade de materiais necessários à execução de uma habitação.

A solução de moradia voltada para a população de baixa renda é definida pelo termo genérico Habitação de Interesse Social (HIS). A conceituação de HIS é muito complexa e amplamente discutida entre os autores da área. Para Bonduki et al. (2003), o termo Interesse Social está ligado ao princípio básico da Constituição Federal que, no artigo 6º, define o direito à moradia como um dos direitos sociais (BRASIL, 1988, art.6). Deste modo, a HIS deve ser definida como aquela necessariamente induzida pelo poder público. Conforme Denaldi (2003), existe uma série de variáveis que definem o termo, ele não é de cunho unicamente social, mas também econômico e ambiental, garantido constitucionalmente como um direito e condição de cidadania.

Evidencia-se, portanto, o grande desafio de se construir um grande número de unidades habitacionais de baixo custo, boa qualidade e com menor impacto ambiental para suprir o déficit habitacional do país.

A arquitetura vernácula, pelo resgate de soluções projetuais e das tecnologias construtivas empregadas, pode ser uma importante estratégia para a produção de moradias com um ciclo de vida de menor impacto. Dotada de técnicas bioclimáticas passivas e com utilização de materiais locais em suas construções, a arquitetura vernácula baseia-se em métodos construtivos tradicionais que adotam tipologias regionais adequadas ao ambiente no qual se encontram. Diferentemente dos sistemas construtivos tradicionais, que consagram a arquitetura universal, a arquitetura vernácula pode ser chamada de sustentável pois utiliza materiais com baixa energia incorporada.

Este tipo de arquitetura é resultado dos conhecimentos passados de geração a geração e suas práticas, consideradas milenares, continuam a ser estudadas por profissionais contemporâneos. No âmbito científico, com o propósito de elucidar a potência construtiva dos materiais naturais e evitar a correlação atribuída à utilização dos mesmos nas chamadas “casas de pobre”, muitos artigos e teses científicas vêm sendo desenvolvidas.

No contexto de infraestrutura civil, materiais convencionais como o aço e o concreto foram aceitos através de décadas de análises e experiências, as quais evoluíram para a padronização das práticas. Ainda hoje estes materiais continuam sendo testados e refinados

pelo trabalho contínuo de universidades, laboratórios e organizações profissionais. (Harries et al., 2012)

Para adaptar e implementar o bambu como um material de construção, normas construtivas precisam ser redigidas. Para tanto, a necessidade de estudos acadêmicos e de engenharia vêm crescendo e, com isso, gerando um novo campo de estudo com ênfase na caracterização do material e de suas propriedades mecânicas. A padronização e a codificação internacional de normas construtivas têm como intuito promover o uso do bambu de maneira segura e eficaz, classificando-o como um produto estrutural renovável.

2.3. Normas de construção com bambu

Em 2004, a International Organization for Standardization (ISO), em cooperação com o INBAR, desenvolveu e publicou três padronizações para construções de bambu, o qual representou o primeiro passo para uma padronização internacional do material (ISO, 2004a, 2004b, 2004c). Apesar da existência de tais normas, elas não proveem fundamentação teórica suficiente sobre o verdadeiro potencial do bambu, para que construtores, engenheiros e arquitetos possam desenhar e construir com este material (Harries et al., 2012).

Em contrapartida, países como China, Colômbia, Equador, Índia e Peru, que possuem o bambu como matéria-prima local e notável conhecimento tradicional sobre sua utilização, tomaram a frente criando um campo de normas construtivas para estruturas em bambu (Gatão et al. 2014).

No Brasil, segundo Beraldo (2018), a elaboração de norma técnica específica para o bambu está em andamento, conforme publicado no Boletim 161 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Para tanto, reuniões bimestrais têm ocorrido nas instalações da Universidade Presbiteriana Mackenzie, contando com a participação de representantes de universidades, de institutos de pesquisa, de produtores rurais e de setores envolvidos com a comercialização de artigos derivados do bambu. Devido à falta de normas regulamentadoras brasileiras quanto à utilização do bambu roliço, sua prática, atualmente, é restrita a propriedades rurais.

A padronização de normas estruturais e códigos construtivos reflete o crescente interesse da sociedade e do governo em promover o desenvolvimento industrial do bambu como um material sustentável. A implantação de políticas que incentivem o cultivo do bambu nas comunidades locais de países tropicais em vias de desenvolvimento é essencial, porque representam os primeiros passos no processamento e criação da cadeia produtiva do bambu como material estrutural.

Além do desenvolvimento de códigos padronizados mundiais, é necessária uma crescente demanda por materiais fabricados a partir do bambu. Para tanto, a coordenação participativa do governo com a indústria, através de experimentações e análises acadêmicas, é fundamental para a implantação do bambu como material construtivo. A congruência e participação destes agentes garante, com agilidade e eficiência, a transformação do bambu em um produto industrial de valor comercial, possibilitando a utilização deste recurso vegetal e removendo a conotação pejorativa do bambu na construção civil.

3. Procedimentos Metodológicos

A pesquisa científica de um novo modelo construtivo para moradias populares foi prática e experimental através da construção de um protótipo em estrutura de bambu localizado no Campus Reitor João David Ferreira Lima, sede da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). A pesquisa foi exploratória, tentando identificar os fatores necessários para construir uma habitação em estrutura de bambu. Para isto, a pesquisa esteve diretamente relacionada ao método experimental, gerando conhecimento e servindo para dar continuidade às pesquisas exploratórias e descritivas sobre o uso do bambu como material construtivo

Foi realizado um levantamento bibliográfico sobre o ciclo de vida dos materiais comumente utilizados na construção, sobre Habitação de Interesse Social (HIS) de maneira vernácula e sua caracterização como uma moradia flexível, adaptável e modular e também sobre a utilização do bambu como material construtivo através de normas construtivas internacionais. Os principais autores que contribuíram com o trabalho foram John Elkington (1998) no tema sustentabilidade, Alex Kenya Abiko (1995) para as definições e explicações sobre HIS, Hidalgo Lopez (1981), Gernot Minke (2012), Jorge Morán Ubdia (2016) e a norma Colombiana de Desenho e Construção Sismo Resistente (NSR /98) para as pesquisas sobre o bambu e modelos construtivos.

3.1. Materiais e técnicas

As ferramentas, materiais e técnicas utilizadas na construção do protótipo foram fundamentais para controle temporal, técnico e metodológico para execução da obra. A metodologia construtiva seguiu o memorial descritivo e os projetos necessários à execução do protótipo, naquilo que foi possível detalhar antes da execução, sob controle temporal estabelecido pelo cronograma de obra.

A técnica de análise de impacto ambiental utilizada foi o estudo de emissões e energia incorporada para fabricação de alguns dos materiais mais representativos para construção de um projeto de baixo padrão sugerido pela ABNT NBR 12721:2006 para posterior comparação à construção hipotética de moradias popular em estrutura de bambu.

Para a documentação do preparo da matéria prima e da construção do protótipo foram utilizadas fotografias e os relatos de experiência gerados a partir delas. Todas as fotografias foram registradas pelo próprio autor com o intuito de evidenciar a sequência temporal de execução do protótipo e, devido a este fato, o trabalho propriamente dito foi dividido em etapas cronológicas de construção conforme a estrutura analítica do projeto.

O protótipo, com 2,4 metros quadrados de área construída, foi projetado de forma modular, utilizando três espécies de bambu diferentes. A fundação foi isolada, feita com troncos roliços de pinus auto clavado e a superestrutura composta por quatro modelos de painéis de vedação pré-moldados em bambu (ao estilo bahareque). Todos os serviços foram executados em sistema de mutirão sob coordenação do pesquisador, em parceria com a Machetaria e Grupo de Pesquisa VirtuHab/ Labrestauro/ MATEC da UFSC. A construção foi realizada nas dependências do Departamento de Arquitetura da UFSC, servindo como um modelo de estudo para a comunidade universitária. Este protótipo fez parte do Trabalho

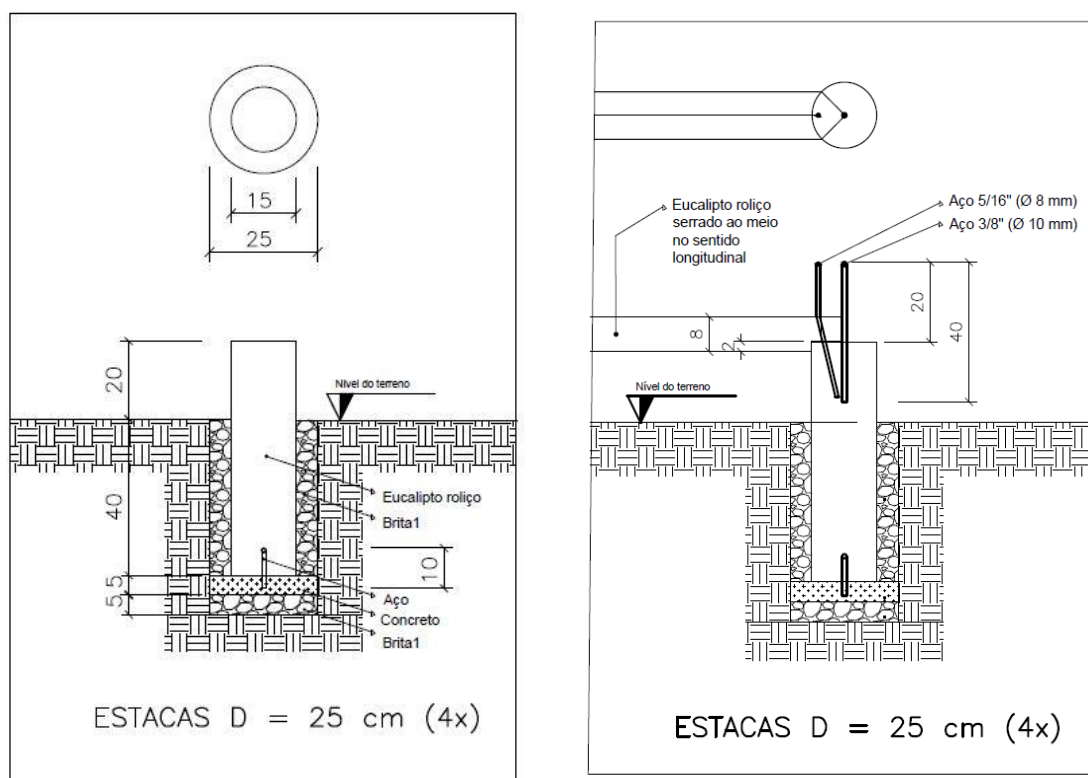
de Conclusão de Curso (TCC) de graduando em Engenharia Civil (Vitor, 2018). Foi realizado detalhamento da estrutura em bambu para o protótipo e um memorial descritivo sucinto.

Para execução do protótipo foram realizados serviços complementares de locação, escavação, corte e preparo de materiais. Procedeu-se com a locação da obra pelo método de gabarito com reutilização de madeiras de caixaria, envolvendo todo o perímetro da obra. As escavações foram executadas manualmente com a utilização de ferramentas manuais simples, como pás, enxadas e cavadeira. O terreno foi compactado com socador manual.

Os pinus autoclavados foram impermeabilizadas com três demãos de tinta asfáltica respeitando o tempo de secagem recomendado pelo produtor, sob os quais executou-se um lastro com 5 centímetros de brita e 5 centímetros de concreto para fundação (traço 1:2:3). Foi fixado, como espera para amarração, antes de atingir a pega do concreto, um vergalhão de aço CA 50 com 3/8" (\varnothing 10 mm) de 10 centímetros no centro da escavação, conforme delimitado pelo gabarito, para posterior travamento das sapatas (figura 1a).

No centro de cada sapata foi fixado 1 vergalhão de 0,40 m em aço CA 50 com 3/8" (\varnothing 10 mm), sendo 0,20 m inserido na sapata e 0,20 m em espera para os pilares dos painéis pré-moldados. Para fixação das vigas baldrame às sapatas foi utilizado vergalhões de 0,40 m em aço CA 50 com 5/16" (\varnothing 8 mm) conforme o projeto de fundações (figura 1b).

Figura 1a e 1b: Detalhes das fundações.



Fonte: Elaborada pelo autor

Seguiu-se a colocação e corte das vigas baldrame, pré-fabricação dos painéis compostos por duas variedades de bambu: *Dendrocalamus asper* para os pilares e *Bambusa tuldoides* para as outras peças dos painéis modulares de bambu. Para confecção dos painéis foram utilizadas barras roscadas 5/16" (Ø 8 mm), arruelas e porcas e aplicação de três demãos de stain impregnante em todos os bambus aparentes da estrutura de vedação, obedecendo o tempo de secagem do produto. Nos painéis pré-moldados de bambu serão fixados comprimentos de bambu planificado (*Bambusa oldhamii*) com a face interna do bambu voltado para o exterior. O bambu planificado será instalado somente no exterior da casa com auxílio de parafusos espaçados em no máximo 8 centímetros e interligado com arame

A estrutura de cobertura foi realizada com bambu *Dendrocalamus asper* para as empenas e *Bambusa tuldoides* para caibro, ambos fixados com barras roscadas 5/16" (Ø 8 mm), arruelas e porcas.

Os bambus foram selecionados, colhidos, tratados e estocados para secagem conforme especificações técnicas. Para tanto, empregou-se três espécies diferentes para cada função (*Bambusa oldhamii* - para fechamento das paredes em forma de esterilhas ou esteirinhas; *Dendrocalamus asper* - para a estrutura principal e *Bambusa tuldoides* - para composição dos painéis). Os materiais utilizados para o tratamento dos bambus, para os serviços preliminares e para a execução da infraestrutura foram: tanque para tratamento (tonel soldado), tonel para tratamento horizontal por inundação dos entrenós com bórax e ácido bórico, piscina horizontal para tratamento por imersão em octaborato de sódio, pá de corte, cavadeira, carrinho de mão, fita métrica, madeira de caixaria, mangueira de nível, nível de bolha, fio de nylon, prumo de centro, martelo, marreta, esmerilhadeira, serra circular, serra fita, plaina, pincel, furadeira, lápis, jogo de serra copo, broca de mourão, serra de arco, grossa, formão, martelo, marreta, alicate, barra roscada, arruela e porca. Os softwares utilizados para os projetos de fundação e arquitetônico foram, respectivamente, AutoCAD e Revit.

O estudo de viabilidade econômica foi feito através da divisão do valor total de execução do protótipo pela área construída a fim de retratar o investimento necessário para executar 1 m² de uma estrutura em bambu.

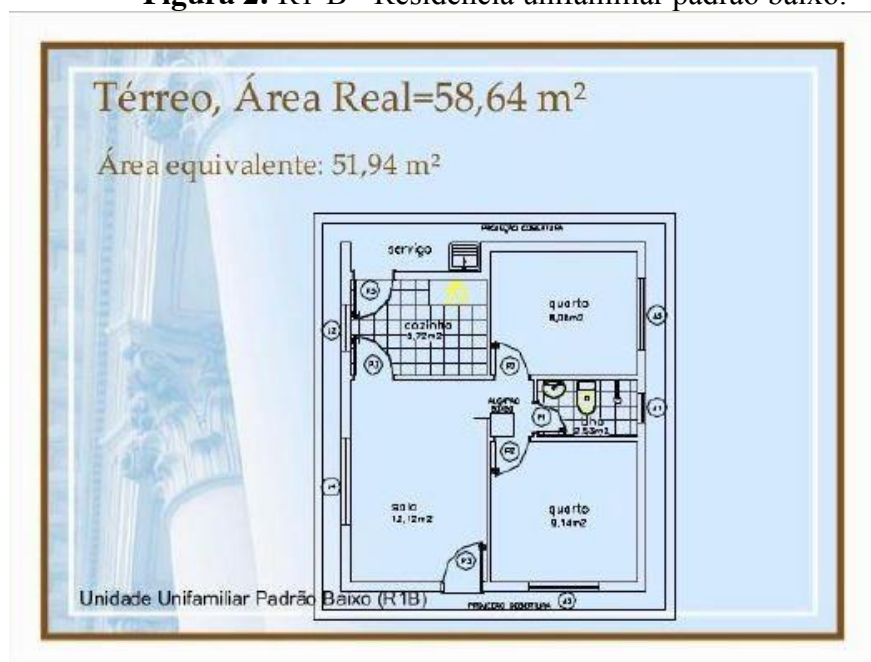
O estudo social foi realizado com base nas experiências e resultados obtidos através da construção do protótipo.

4. Resultados

4.1. Emissões de gás carbônico e de energia embutida necessárias a construção de habitações com materiais convencionais

O projeto-padrão R1-B, conforme a ABNT NBR 12721:2006, normalmente é edificado para suprir as demandas habitacionais do país. A sigla R1-B se refere a uma residência unifamiliar de baixo padrão de 1 pavimento, com 2 dormitórios, sala, banheiro, cozinha e área para tanque (Figura 2).

Figura 2: R1-B - Residência unifamiliar padrão baixo.



Fonte: ABNT NBR 12721:2006

Este projeto possui área real de 58,64 m² e sua construção é sugerida em concreto armado e alvenaria de vedação, sistema construtivo mais empregado na construção atual brasileira. Os impactos ambientais gerados ao se empregar este modelo construtivo podem ser parcialmente elucidados através de uma análise simplificada delimitando-a às produções do aço, concreto, areia, cimento e tijolos de alvenaria.

A tabela 1 expõe as quantificações de consumos básicos, por unidade habitacional, de energia embutida e de emissões de CO₂ para produção do aço, concreto, areia, cimento e tijolos. Tais dados encontram-se nos três primeiros blocos à esquerda da tabela. A análise de energia embutida e de emissões de CO₂ para edificação de uma unidade habitacional encontram-se nos dois blocos à direita da Tabela 1.

Tabela 1: Quantificações e análise de energia embutida e de emissões de CO2 por unidade habitacional.

Consumos básicos por unidade habitacional		
Aço	1072	kg
Concreto	15	m ³
Areia	10	m ³
Cimento	66	sacos
Tijolos	3435	tijolos

Energia embutida		
Aço	30	MJ/kg
Concreto	2760	MJ/m ³
Areia	80	MJ/m ³
Cimento	210	MJ/saco
Tijolos	4060	MJ/un

Emissões de CO2		
Aço	1,45	kg/kg
Areia	22,62	kg/m ³
Cimento	48,44	kg/saco
Tijolos	0,98	kg/un

Energia embutida por unidade habitacional		
Aço	32160	MJ
Concreto	41400	MJ
Areia	800	MJ
Cimento	13860	MJ
Tijolos	13946100	MJ
TOTAL	14034320	MJ

Emissões de CO2 por unidade habitacional		
Aço	1554,4	kg
Areia	226,2	kg
Cimento	3197,04	kg
Tijolos	3366,3	kg
TOTAL	8343,94	kg

Fonte: Elaborada pelo autor.

Portanto, observando-se as tabelas, conclui-se que para a construção de uma unidade habitacional do lote básico NBR 12721 em concreto armado e alvenaria de vedação, são emitidas 8,34 toneladas de dióxido de carbono para a atmosfera e consumidos 14 milhões de Megajoules para produção de tais materiais.

Multiplicando-se os valores obtidos para a construção de um projeto-padrão R1B pelo número representativo do déficit habitacional brasileiro (6,2 milhões de habitações) chega-se ao total de 51,7 milhões de toneladas de CO2 emitidas para a atmosfera e 87 trilhões de Megajoules despendidos. (Tabela 2).

Tabela 2: Impactos potenciais relacionados ao déficit habitacional brasileiro

Energia embutida para construção de 6,2 milhões de HIS			
14034320 MJ	X	6,2 milhões	= 87012784 milhões de MJ
TOTAL			= 87 trilhões de MJ

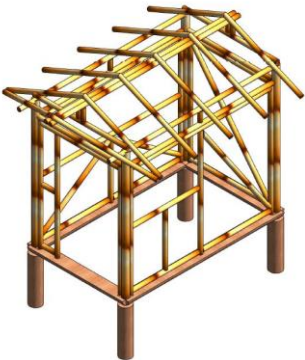
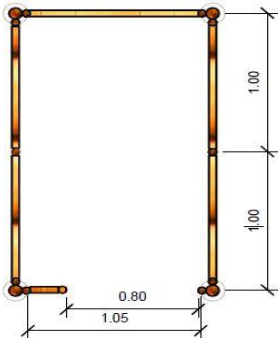
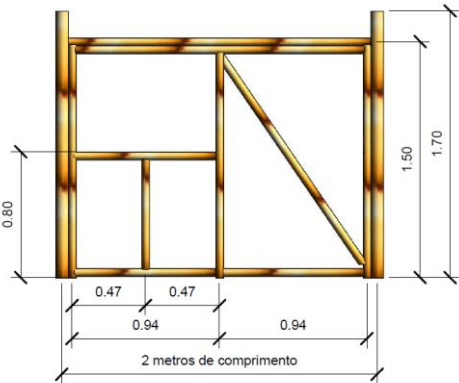
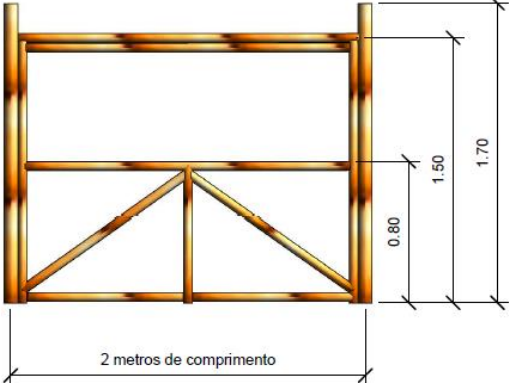
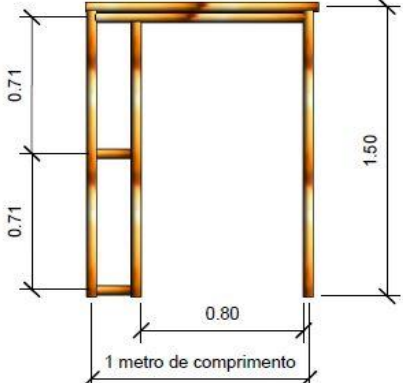
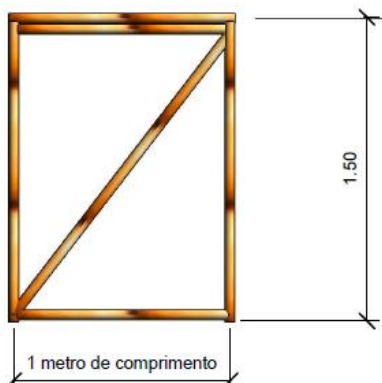
Emissões de CO2 para construção de 6,2 milhões de HIS			
8343,94 kg	X	6,2 milhões	= 51732,43 milhões de kg
TOTAL			= 51,73 milhões de toneladas de CO2

Fonte: Elaborada pelo autor.

4.2. Projeto e Construção do Protótipo

A Tabela 3 apresenta o detalhamento da estrutura de bambu do protótipo.

Tabela 3: Detalhamento da estrutura.



<p>Perspectiva</p> 	<p>Módulo em planta</p> 
<p>Painel oeste</p> 	<p>Painel leste</p> 
<p>Painel Norte</p> 	<p>Painel sul</p> 

Devido a necessidade de se proteger o bambu contra a umidade do solo e também à água da chuva, o tipo de fundação escolhida foi a de sapata simples amarrada com viga baldrame, elevando a construção a 0,30 metro acima do nível do terreno.

A matéria prima utilizada para execução das sapatas e das vigas baldrame é pinus e, por estar exposta à umidade e às intempéries, alguns cuidados foram tomados a fim de prolongar a vida útil da fundação: todas as peças de pinus foram compradas já tratadas em autoclave; as quatro sapatas a serem enterradas foram impermeabilizadas com 3 demãos de tinta asfáltica impermeabilizante e apoiadas sobre lastro fino de concreto.

A tabela 4 apresenta as imagens da execução do protótipo in loco, com todas as suas etapas. Toda a execução exigiu um trabalho minucioso de preparação dos materiais, cortes e encaixes, assim como a pré-montagem utilizando um gabarito para posterior montagem in loco.

Tabela 4: Procedimentos executivos

<p>Seleção do bambu de acordo com as idades</p> 	<p>Locação do protótipo pelo método do gabarito</p> 
<p>Locação da fundação</p> 	<p>Camada de brita sob lastro fino de concreto</p> 

Execução da fundação: sapatas e vigas baldrame em madeira



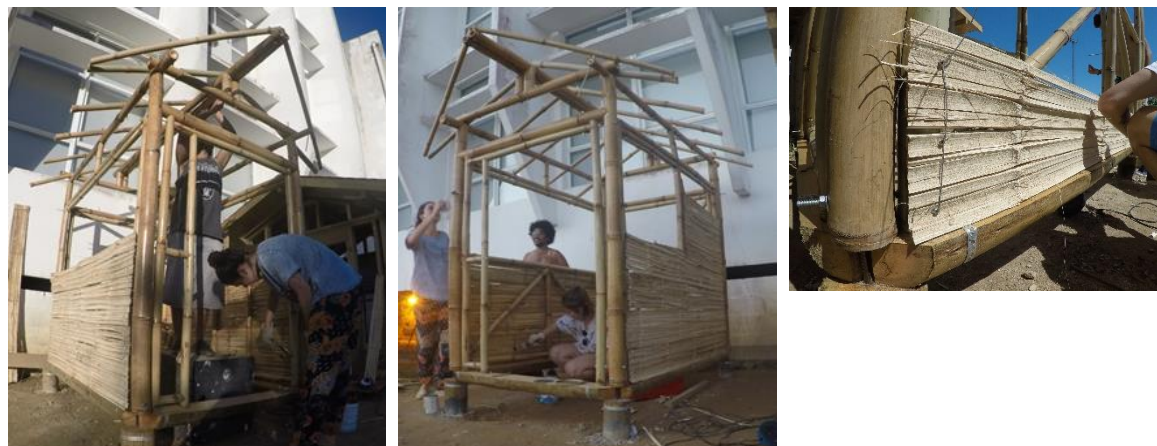
Confecção das ligações entre as peças de bambu.



Fixação dos painéis sobre a fundação



Cobertura, impermeabilização e fechamento dos painéis



O fechamento dos painéis foi realizado com esteirinhas da espécie *Bambusa oldhami*. Devido à má aderência entre a parte externa do colmo e o reboco, o bambu planificado foi fixado às paredes (utilizando parafusos e arame galvanizado) com sua parte interna aparente (do lado externo do protótipo), deixando o interior do colmo aberto para a futura aplicação do reboco à parte externa da casa.

Com a altura final da cumeeira calculada para que a cobertura tenha 20 graus de inclinação, os caibros foram fixados às terças e às vigas da cumeeira conferindo um telhado de duas águas. A opção por haver projetado duas vigas da cumeeira ao invés de uma foi justamente pensando na fixação dos caibros à estrutura de cobertura. Ao optar por duas terças, tornou-se possível o encontro do topo de cada caibro, eliminando o conflito entre o cruzamento de barras roscadas e facilitando a fixação do futuro tapume de OSB. Os caibros foram fixados através de comprimentos de barra roscada e travados com porcas e arruelas.

4.3. Potencial econômico, social e ambiental do bambu para construção de habitações

4.3.1. Econômico

O gasto total para a execução do protótipo em bambu de 2.4 m² foi de R\$434,64.

Através da análise do orçamento, observa-se que os gastos com a fundação são extremamente baixos, sendo a compra e o corte das madeiras para a fundação os subitens mais caros. Interpreta-se, também através do orçamento, que os gastos dispendidos com a infraestrutura chegam a quase 50% do valor total da obra.

O valor de execução do protótipo, quando dividido pela sua área, retrata o investimento necessário para se executar 1 m² do empreendimento. O custo unitário por metro quadrado para construção do protótipo, sem considerar as etapas de reboco, cobertura e piso, foi de 181 reais e 10 centavos. É esperado, por se tratar de um protótipo o qual o autor ainda não terminou sua execução e que, além disso, no próprio orçamento não estão incluídos os gastos com o tratamento dos bambus nem com o reboco, piso e cobertura, o resultado do custo unitário por metro quadrado seja baixo.

O valor do produto utilizado para tratar os bambus não foi incorporado ao orçamento devido ao potencial de ser reutilizado diversas vezes sem diminuir a eficiência de tratamento. Quando necessário o reuso, basta apenas adicionar uma pequena quantidade do mesmo produto e diluí-lo junto à antiga solução. O autor considera, através de sua experiência e com base em estudos sobre a eficiência do tratamento, que 1 saco de octaborato de sódio de 25 kg seria o suficiente para tratar todos os bambus necessários para construção de 20 protótipos iguais, totalizando 48 m² construídos em estrutura de bambu. A obtenção deste resultado seria possível com a utilização de um tanque de tratamento de 200 litros com concentração de 6% do produto, ou seja, seriam diluídos no tanque 12 kg de octaborato de sódio e reservados mais da metade do saco, 13kg, para realizar ajustes à concentração quando necessário. O preço de mercado de 1 saco de octaborato de sódio de 25 kg é, em média, 200 reais.

Para fabricação dos painéis modulares em bambu, foram gastos apenas 71 reais e 28 centavos, referentes à quantidade de fixações realizadas através de peças metálicas, barra roscada, arruelas e porcas. Os painéis do protótipo foram projetados e construídos para uma altura de 1,50 metro, no entanto poderiam ter sido fabricados com 2 metros de altura sem alterar o preço total. Isto porque seriam realizadas a mesma quantidade de encaixes e fixações, consequentemente o mesmo número de peças metálicas.

Nota-se, portanto, o elevado potencial econômico em utilizar o bambu como material construtivo quando o mesmo pode ser colhido e tratado próximo ao empreendimento, sem gastos na aquisição da matéria prima e nem com transporte.

4.3.2. Social

A proposta de Habitação de Interesse Social (HIS) em questão, além de cumprir com o requisito social de produzir moradias àqueles que não as possuem, tem como ideal a capacitação da comunidade através de cursos, exposições e, principalmente, através do trabalho na construção de suas próprias moradias em sistema de mutirão. Ao construir a própria casa, o morador aprende sobre sua manutenção e a utilizá-la adequadamente, eliminando a necessidade de contratar um profissional para realizar as futuras ampliações da habitação.

O uso do bambu como material construtivo é de cunho social por se tratar de um material comum e de fácil acesso. Em adição, o usuário, além de construir sua própria casa, torna-se mão de obra especializada e capacitada, gerando, portanto, nova fonte de renda. O empoderamento da comunidade, através de oficinas e cursos de capacitação sobre o uso do bambu, proporciona a criação de artesãos capazes de transformar peças de bambu em móveis e utensílios domésticos com alto valor agregado. Uma vez conhecidos os cuidados básicos e necessários à correta manipulação e utilização deste recurso vegetal, o artesão torna-se livre para novas ideias e possibilidades para o uso do bambu.

4.3.3. Ambiental

Ao utilizar uma matéria prima natural como o bambu, também conhecida como “aço vegetal”, reduz-se a necessidade da utilização de materiais processados semelhantes àqueles convencionalmente empregados na construção civil. Ao construir através do método proposto, extingue-se a necessidade dos tijolos de alvenaria para vedação e diminui-se drasticamente a quantidade de aço, cimento e areia empregada na construção. Estes materiais

resultam de diferentes tipos de processamento, que utilizam muita energia para sua fabricação e emitem grande quantidade de gás carbônico para a atmosfera.

Com o intuito de verificar através do mesmo tipo de análise se o uso do bambu como matéria prima principal pode reduzir a pegada ecológica do empreendimento, será quantificado o consumo básico para produzir uma residência em estrutura de bambu com a mesma metragem do projeto padrão sugerido pela NBR 12721.

A Tabela 5, a seguir, expõe as quantificações de consumos básicos por unidade habitacional em estrutura de bambu, de energia embutida e de emissões de CO₂ para produção do aço, concreto, areia, cimento e tijolos de alvenaria. Tais dados encontram-se nos três primeiros blocos à esquerda da tabela. A análise de energia embutida e de emissões de CO₂ para edificação de uma unidade habitacional em estrutura de bambu de 58,64 m² (área equivalente ao projeto-padrão R1-B, conforme a ABNT) encontram-se nos dois blocos à direita da Tabela 5.

Tabela 5: Quantificações e análise de energia embutida e de emissões de CO₂ por unidade habitacional em estrutura de bambu de 58,64 m²

Consumos básicos por unidade habitacional em estrutura de bambu		
Aço	684,04	kg
Concreto	2,443	m ³
Areia	0	m ³
Cimento	7,329	sacos
Tijolos	0	tijolos

Energia embutida		
Aço	30	MJ/kg
Concreto	2760	MJ/m ³
Areia	80	MJ/m ³
Cimento	210	MJ/saco
Tijolos	4060	MJ/un

Emissões de CO ₂		
Aço	1,45	kg/kg
Areia	22,62	kg/m ³
Cimento	48,44	kg/saco
Tijolos	0,98	Kg/un

Energia embutida por unidade habitacional em estrutura de bambu		
Aço	20521,2	MJ
Concreto	6742,68	MJ
Areia	0	MJ
Cimento	1539,09	MJ
Tijolos	0	MJ
TOTAL	28802,97	MJ

Emissões de CO ₂ por unidade habitacional em estrutura de bambu		
Aço	991,858	kg
Areia	0	kg
Cimento	355,0168	kg
Tijolos	0	kg
TOTAL	1346,875	kg

Fonte: Elaborada pelo autor.

Para a quantificação de aço levou-se em consideração o total de barras roscadas, arruelas, porcas, arame, parafusos e vergalhões de ferro (sapatas) utilizados na construção do protótipo e estipulou-se a quantidade necessária de aço para executar dois metros lineares de parede (ao estilo bahareque). Além do consumo de aço na superestrutura, também fez parte da quantificação a quantidade do material utilizado para se executar a fundação, levando em consideração a necessidade de uma sapata isolada a cada dois metros.

5. Considerações finais

Frente à realidade habitacional brasileira, onde a carência por moradias é comum, a proposta de construção como alternativa sustentável para a problemática atual. Uma moradia edificada em estrutura de bambu, quando utilizado material local e sem custos elevados de extração, restringe a utilização de materiais convencionalmente empregados na construção civil e diminui o valor total do empreendimento. Além de baratear a obra, reduz-se o emprego de materiais cujo processamento e descarte impactam negativamente o meio ambiente. A quantidade de aço, cimento, concreto e areia foi reduzida ao optar-se pela madeira como elemento principal da infraestrutura e o uso de tijolos de alvenaria foi eliminado ao selecionar o bambu para a construção da superestrutura.

O potencial do bambu como material construtivo foi elucidado e demonstrado na construção do protótipo experimental através da prática. A viabilidade construtiva da técnica foi comprovada e facilmente compreendida durante a confecção das paredes modulares em bambu pelos trabalhadores voluntários.

A arquitetura proposta nesta pesquisa utilizou prioritariamente matéria prima local e teve como ideal a construção do protótipo de moradia em sistema de mutirão. O bambu, por ser um material de fácil manipulação e presente em todo território brasileiro, pode ser facilmente incorporado aos costumes da comunidade. Cursos e oficinas pontuais sobre construção com bambu são capazes de introduzir e capacitar os trabalhadores quanto ao uso adequado deste recurso vegetal e possibilitam a replicabilidade da técnica para futuras manutenções e ampliações de suas próprias habitações. Além de ambientalmente adequado, este método construtivo, em conjunto com a proposta de fundação, indica uma possibilidade de modularidade, flexibilidade e adaptabilidade ao tipo de habitação em questão.

O estudo de viabilidade aponta para o potencial do bambu como matéria prima sustentável para construir moradias populares. Aspectos como a durabilidade da estrutura e a eficiência dos tipos de tratamento e secagem não puderam ser comprovados, no entanto a obra terá continuidade e tais aspectos poderão ser observados posteriormente. O fato da edificação estar situada nos domínios da Universidade Federal de Santa Catarina está devidamente relacionado ao tipo de pesquisa que, por ser experimental, pode servir como subsídio a futuras pesquisas que comprovem a viabilidade construtiva do material e que possam fomentar a ampliação da cadeia produtiva do bambu no Brasil.

Referências

ABNT. NBR 12721. **Avaliação De Custos Unitários e Preparo de Orçamento de Construção para Incorporação de Edifícios em Condomínio**. Rio de Janeiro, 2006.

BONDUKI, N. G.; ROLNIK, R.; AMARAL, A. **São Paulo: Plano Diretor Estratégico - Cartilha de Formação**. São Paulo: Caixa Econômica Federal, 2003.

BRUNDTLAND. **NF Comum - Our Common Future: United Nations, 1987**

ABIKO, Alex Kenya. **Introdução à gestão habitacional, 1995**. Texto Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia da Construção Civil, TT/PCC/12. São Paulo: EPUSP. Disponível em: <http://www.pcc.usp.br/files/text/publications/TT_00012.pdf> Acesso em: 12 julho 2018.

BRASIL. **Constituição (1988)**. Constituição da República Federativa do Brasil. Brasília: Senado Federal, 1988. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Constituicao.htm> Acesso em: 11 julho 2018.

BERALDO, Antonio. **A vez do bambu na construção civil – Normas para ensaios e estruturas, 2018**. Disponível em: <<http://apuama.org/vez-do-bambu-na-construcao-civil-normas-para-ensaios-e-estruturas/>> Acesso em: 30 agosto 2018.

CIB/UNEP-IETC. **Agenda 21 for Sustainable Construction in Developing Countries: A discussion document, 2002**. Boutek Report No Bou/E0204, Pretória.

DENALDI, Rosana. **Política de urbanização de favelas: evolução e impasses, 2003**. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, São Paulo. Disponível em: <http://www.pucsp.br/ecopolitica/downloads/tes_2003_Politicar_urbanizacao_impasses.pdf> Acesso em: 12 julho 2018.

FJP - FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO. **Déficit Habitacional no Brasil - 2015**. Belo Horizonte, 2018.

GATÓO, A., Sharma, B., Bock, M., Mulligan, H., Ramage, M.H., 2014. **Sustainable structures: bamboo standards and building codes**. Proceedings of the ICE – Engineering Sustainability 167, 189-196

Harries, Kent A. ; Sharma, Bhavna ; Richard, Michael. **Structural use of full culm bamboo : the path to standardization, 2012**. In: International Journal of Architecture, Engineering and Construction. 2012 ; Vol. 1, No. 2. pp. 66-75

LOPEZ, Oscar Hidálgo. **Manual de construcción com bambú**, 1981. Universidad Nacional de Colombia. Estudios Técnicos Colombianos, Ltda. 71p.

ISO (2004a). **ISO 22156: 2004 (E): Bamboo – structural design**. ISO, Geneva, Switzerland.

ISO (2004b). **ISO 22157-1: 2004 (E): Bamboo – determination of physical and mechanical proprieties – part 1: requeriments**. ISO, Geneva, Switzerland.

ISO (2004c). **ISO 22157-1: 2004 (E): Bamboo – determination of physical and mechanical proprieties – part 2: laboratory manual**. ISO, Geneva, Switzerland.

ISO (2009). **ISO 8375: 2009: Timber structures – glued laminated timber – tests methods for determination of physical and mechanical properties**. ISSO, Geneva Switzerland.

Ministério do Meio Ambiente. **Construção Sustentável**, 2012. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/urbanismo-sustentavel/item/8059>> Acesso em: 07 julho 2018

MINKE, Gernot. **Building with Bamboo: Design and Technology of a Sustainable Architecture, 2012**. Walter De Gruyter Incorporated, 2012 - 159 páginas

Norma técnica E. 100 Bambú. Reglamento Nacional de Edificaciones (2012). Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. Republica de Perú. NSR, Norma Sismo Resistente. Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010.

UBIDIA, Jorge Morán. **Construir com Bambú (Caña de Guayaquil): Manual de construcción**, 2016. Disponível em: <http://www3.vivienda.gob.pe/dnc/archivos/Estudios_Normalizacion/Manual-Construccion-Bambu.pdf> Acesso em: 30 agosto 2018.

VITOR, Alexandre. Oliveira. **PROPOSTA DE HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL (HIS) EM ESTRUTURA DE BAMBU: PROJETO E CONSTRUÇÃO DE UM PROTÓTIPO EXPERIMENTAL**. Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Civil. UFSC. Florianópolis, 2018.

Agradecimentos

Aos arquitetos Jaime Pena, Mauro Tosta e a todos os bambuzeiros participantes do curso de construção em bambu da “Casa Colméia”, que possibilitaram a fundamentação prática deste trabalho.

Aos “mutirantes”: Alan Guimarães, Amadeus Novaes, Arthur Leite de Barro, Catarina Kasten, Felipe Nascimento, Fernando Pacheco, Gabriel Sala, Geórgia Scarabelot Bergamin, Gustavo Kath Ackermann, Henrique Back, João Pedro Alves de Lima, João Marcos Nicolodi, Jonas de Castro e Carvalho, Letícia Dalpaz, Rachel Sarreta, Rodrigo Franco, Rômulo de Lima, Sumara Lisboa, Thiago Cardoso, Thiago Mendonça e Tainá Hillesheim, que possibilitaram a realização prática deste trabalho.

Ao grupo de pesquisa VIRTUHAB, Machetaria UFSC e Marcelo Venturi, Marcos Marques e ao Rafael Trevisan pelo apoio na execução e provimento de recursos.