

APRIMORAMENTO DO SOFTWARE BAMBUCALC PARA O DIMENSIONAMENTO DE ESTRUTURAS DE BAMBU

MOTA, Ian Tiago Santos da² (*ianmotabr@gmail.com*); SILVA, Jorge Luis Oliveira¹ (*jorge.oliveira@ctec.ufal.br*); SILVEIRA, Evilly Raquel Henrique da¹ (*evilly.silveira@ctec.ufal.br*); SANTANA, Nora Nei Jesica Oliveira¹ (*nora.santana@ctec.ufal.br*); PASTOR, Thauany Alves¹ (*thauany.pastor@delmiro.ufal.br*); TEODORO, Antonio Peroba de Oliveira¹ (*antonio.teodoro@ctec.ufal.br*); BARROS, Kycianne Rose Alves de Goes¹ (*kycianne.barros@ctec.ufal.br*); NUNES, Jonathan Henrique Cordeiro¹ (*jonathan.nunes@ctec.ufal.br*); SILVA, Celiane Mendes da¹ (*celiane.silva@ctec.ufal.br*); SOUZA, Adysson André Fortuna de² (*adysson.souza@ifs.edu.br*); LIMA, Yuri de Oliveira¹ (*yuri.oliveira@ctec.ufal.br*); CRUZ, Antônia Karla da Silva² (*antoniaksilva08@gmail.com*); SILVA, Maria Luiza Malta da Rocha² (*maria.rocha@ctec.ufal.br*); MORAES, Karoline Alves de Melo² (*kamm@ctec.ufal.br*).

¹Universidade Federal de Alagoas (UFAL), Brasil

²Instituto Federal de Sergipe (IFS), Brasil

Palavras-chave: Bambu, Dimensionamento, Linguagem de programação

Resumo

A indústria da construção civil tem sido impulsionada pelo aumento populacional e por uma urbanização acelerada das cidades. Todavia, as tecnologias empregadas nesse processo são responsáveis pela geração de grandes impactos ambientais, principalmente no que diz respeito à extração de minérios para produção do aço e do cimento. Com isso, faz-se necessária a adoção de alternativas que reduzam esse impacto, atendendo os objetivos de desenvolvimento sustentável. Dentre as possíveis soluções sustentáveis, destaca-se o uso do bambu como elemento estrutural, sendo um material renovável, de alta produtividade quando comparado com a madeira, além de apresentar propriedades mecânicas adequadas para o uso na construção civil. Apesar disso, o uso desse sistema construtivo é pouco difundido no Brasil, onde a primeira norma brasileira referente ao seu uso como elemento estrutural foi a ABNT NBR 16828 (2020). Frente ao exposto, o presente trabalho tem como objetivo o aprimoramento do *software* BambuCalc desenvolvido por Cruz, Mota e Souza (2022), com o intuito de tornar automatizado o processo de dimensionamento e verificação de segurança de pilares de bambu. Para isso, foram implementadas as melhorias sugeridas a partir da aplicação de um questionário de experiência do usuário, sendo aperfeiçoada a sua interface gráfica, além da inserção das preconizações da ABNT NBR 16828-1 (2020) sobre esse sistema construtivo e a implementação de verificações no tocante ao dimensionamento de pilares com colmos múltiplos de bambu. De modo geral, os objetivos supracitados foram alcançados, sendo realizadas melhorias significativas com relação a primeira versão do *software*, contribuindo para a disseminação do sistema construtivo na comunidade acadêmica.

1 INTRODUÇÃO

Com a globalização e a conseqüente expansão contínua das cidades, a indústria da construção civil vem acompanhando tal desenvolvimento, exercendo um papel crucial no crescimento socioeconômico. Desde sempre, essa atividade visa aprimorar as condições de vida dos seres humanos. No entanto, ao longo da sua evolução, a construção civil nem sempre demonstrou preocupação com os impactos ambientais resultantes.

Como citado por Brasileiro e Matos (2015), calcula-se que essa indústria consuma entre 20% e 50% dos recursos naturais do planeta, tornando-se um dos principais consumidores individuais. Além disso, a construção civil é responsável por uma considerável porção dos resíduos sólidos produzidos globalmente a cada ano, gerando cerca de 400 kg de entulho por habitante durante construções e reformas.

O rápido consumo dos recursos naturais poderia conduzir à incapacidade de atender às necessidades da população. No entanto, sabe-se que os recursos naturais são limitados e fundamentais para a vida humana. Neste sentido, é crucial a investigação de medidas que minimizem os impactos negativos da construção civil no ambiente. Alcançar a construção sustentável representa um desafio significativo para equilibrar as exigências ambientais com as necessidades da indústria da construção.

O conceito de desenvolvimento sustentável assume a premissa de satisfazer as necessidades das gerações atuais, sem comprometer a habilidade das futuras gerações de satisfazerem as suas próprias demandas (CASSA, 2001). Ao longo dos anos, a indústria tem se esforçado para adotar estratégias que respondam a essas preocupações, as quais incluem a substituição de materiais tradicionais por opções mais sustentáveis e a implementação de práticas de gerenciamento de resíduos e reciclagem.

A noção de sustentabilidade precisa estar integrada a todas as fases dos projetos de construção. Atualmente, é evidente que a maioria das construções está considerando os princípios de sustentabilidade e viabilidade econômica, sinalizando um período de transição no processo construtivo. Estas mudanças podem envolver a adoção de práticas inovadoras tanto no uso de materiais quanto nos processos e na gestão de projetos, sempre visando a concepção de edifícios mais ecologicamente saudáveis, eficientes em termos de custo e que promovam um maior bem-estar social.

Na busca por materiais sustentáveis, o bambu emergiu como uma alternativa valiosa para materiais convencionais como aço e concreto, consolidando-se como uma escolha equilibrada no uso de recursos. A exploração do potencial do bambu na construção civil tem sido objeto de estudos contínuos, já que é caracterizado por baixo consumo energético em sua produção e processamento, podendo suprir as necessidades humanas sem infligir impactos ambientais adversos.

Ademais, conforme Delgado (2011), durante a fotossíntese, o CO₂ retirado do ar é utilizado para o crescimento do bambu, liberando oxigênio em troca. O rápido crescimento da planta resulta em maior acumulação de biomassa, tornando-a um ator vital na purificação do ar. Em razão de sua flexibilidade, leveza, versatilidade, resistência e rápidos crescimento e regeneração, tem conquistado um espaço significativo na construção (FLANDER e ROVERS, 2009).

O bambu oferece diversas aplicações na construção civil, principalmente em elementos estruturais, como vigas e pilares. De acordo com Carbonari et al. (2017), estudos realizados com o bambu indicaram que as resistências à tração e à compressão podem superar o concreto e o aço, justificando o apelido de “aço vegetal” e “planta de mil usos” atribuídos ao material. Porém, algumas espécies da planta suportam, facilmente, grandes cargas com apenas uma vara de bambu, enquanto outras espécies não apresentam grande resistência se utilizadas sozinhas. Com isso, a aplicabilidade específica de cada espécie deve ser cuidadosamente analisada.

A utilização do bambu na construção civil é amplamente difundida na Ásia e em outros países da América Latina, onde, segundo Santos (2021), exemplos de edifícios confirmam sua eficácia. Apesar de suas vastas possibilidades, a utilização do bambu no Brasil ainda é limitada, resultado da falta de conhecimento técnico e científico dedicado a esse campo, além da ausência de uma abordagem estratégica para sua exploração econômica sensata (BERALDO e AZZINI, 2004).

Este problema foi minimizado no final de 2020, com a publicação da NBR 16828, a qual estabelece os requisitos essenciais para projetos de estruturas de colmos de bambu. A norma é dividida em duas partes: a primeira, aborda as especificações para análise e dimensionamento de estruturas de bambu (NBR 16828: Parte 1- Projeto), e a segunda, as propriedades físicas e mecânicas (NBR 16828: Parte 2- Determinação das propriedades físicas e mecânicas do bambu).

Um dos tópicos abordados na ABNT NBR 16828-1 (2020) é o dimensionamento de pilares utilizando bambu. O estudo desses elementos estruturais é indispensável para garantir sua resistência aos esforços, visto que suportam as cargas das vigas e as transferem para as fundações. Bortolussi (2019) enfatiza que o bambu possui áreas de alta resistência à compressão devido às fibras longitudinais entrelaçadas nos nós, podendo substituir os elementos que estão sujeitos predominantemente a cargas axiais, como os pilares. Conforme a NBR 16828-1, para utilização do bambu como elemento comprimido, é recomendável escolher colmos retos (ABNT, 2020).

No entanto, devido à sua recente criação, ainda não existem *softwares* disponíveis para auxiliar no dimensionamento de estruturas de bambu. Com isso, Cruz, Mota e Souza (2022) desenvolveram um *software* baseado na linguagem Python, que possibilita a elaboração de programas por meio de códigos simples e possui bibliotecas gratuitas que permitem desde a criação de interface gráfica até a realização dos tratamentos de erros do programa.

Esse programa desenvolvido foi nomeado de BambuCalc e teve como objetivo o desenvolvimento de um sistema que permitisse fazer o dimensionamento e a verificação de segurança em pilares de bambu. Ao finalizar o *software*, observou-se a necessidade de melhorias relacionadas à interface gráfica, aos botões informativos e ao dimensionamento com colmos múltiplos. Assim sendo, o objetivo deste estudo é aprimorar o *software* BambuCalc, automatizando de maneira mais eficiente o procedimento de dimensionamento e a avaliação da segurança de pilares feitos de bambu.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Sugestões obtidas nos questionários

Para a concepção da metodologia desta pesquisa, foram levantados os resultados obtidos por meio dos questionários aplicados por Cruz, Mota e Souza (2022), a fim de investigar as melhorias mais relevantes para o público alvo. Diante disso, por se tratar de um *software* educacional, o questionário foi aplicado pelos autores nas turmas de Engenharia Civil e Técnico em Edificações do Instituto Federal de Sergipe campus Estância.

A partir desse estudo, foram determinadas as melhorias a serem aplicadas como: geração de relatório e alteração na interface gráfica. Além disso, foi discutido as possíveis melhorias que

poderiam ser aplicadas, a fim de trazer uma análise mais profunda acerca do dimensionamento de pilar de bambu.

Nessa perspectiva, foram incluídos ao BambuCalc botões com função informativa sobre o *software*, informações construtivas, imagens e o responsável por salvar o memorial com todos os dados de entrada e saída.

2.2 Aprimoramento do Software

O aperfeiçoamento do *software* foi realizado através da linguagem que o mesmo foi desenvolvido (Python), uma linguagem criada para possibilitar a elaboração de programas por meio de códigos simples, além disso, possui bibliotecas gratuitas que permitem desde a criação de interface gráfica até a realização dos tratamentos de erros do programa.

Para o aprimoramento do BambuCalc foi necessário passar por algumas etapas de processo, sendo elas a de concepção que é responsável em levantar as melhorias relevantes e filtrá-las para que sejam transformadas em requisitos computacionais; a de elaboração que é responsável pela criação de novos botões e melhorias sugeridas na etapa anterior, e por fim, a finalização, que é uma etapa de prevê avanços futuros para um novo aprimoramento do *software*.

Partindo dos requisitos computacionais já existentes foram propostas a inclusão de um botão com informações normativas sobre os sistemas construtivos e inclusão de um novo requisito computacional, conforme mostrado na Figura 1.

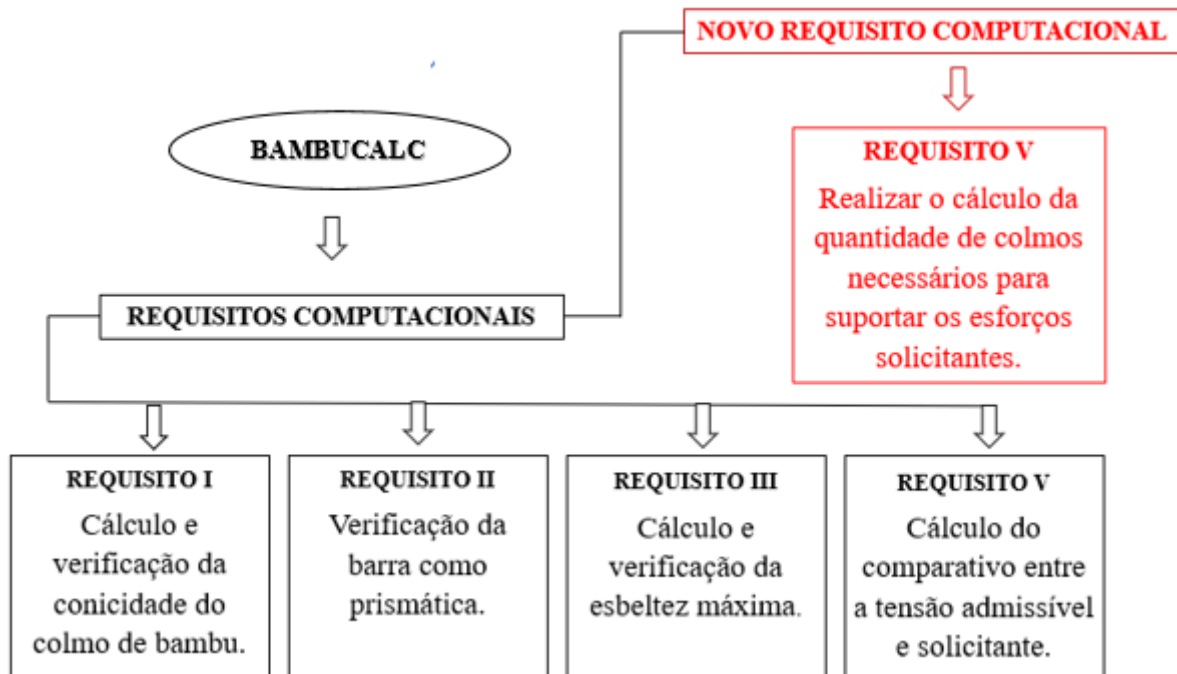


Figura 1. Implementação de novo requisito computacional, Autores (2023).

A Figura 1 apresenta o objetivo geral do *software* desenvolvido, os requisitos computacionais e o novo requisito computacional inserido, que se refere ao cálculo da quantidade de colmos necessários para suportar os esforços solicitantes.

2.3 Validação do requisito computacional V

Para o cumprimento do requisito V foi utilizada as recomendações normativas da ABNT NBR 16828-1 (2020), subitem 10.2.6.1, no qual o código foi construído de acordo com as equações e condições previstas para o dimensionamento de pilar composto. Posteriormente, foi realizada uma análise comparativa para avaliar a eficiência do *software*, relacionando os resultados gerados pelo BambuCalc e aqueles obtidos através de cálculos manuais auxiliado pelo programa *SMath Studio*, uma ferramenta de resolução matemática. Para tanto, foram considerados os dados da Tabela 1.

Tabela 1. Dados de entrada

PARÂMETROS	VALORES	PARÂMETROS	VALORES
Diâmetro externo maior	14 cm; 11 cm	$f_{c0,k}$	5 kN/cm ²
Diâmetro externo menor	13 cm; 10 cm	Carga permanente	10 kN
Comprimento do bambu	250 cm	Carga acidental	5 kN
Espessura maior	3 cm; 2 cm	Tipo de carregamento	PERMANENTE
Espessura menor	2 cm; 1 cm	Umidade relativa do ambiente	Menor que 75%
Carga de projeto	30 kN		

3 RESULTADOS

3.1 Interface do *Software*

Primeiramente, foi implementado o botão “Informações” na interface inicial do *software*, como pode ser visualizado através da Figura 2. Este botão tem a função de fornecer informações acerca do objetivo geral do *software*, bem como inteirar o usuário sobre a norma técnica adotada e as limitações de casos executivos abordados pelo programa BambuCalc.



Figura 2. Interface principal do software, Autores (2023).

Ao clicar no botão “INICIAR CÁLCULO”, é aberta a interface que permite a entrada dos dados por parte do usuário, sendo informadas suas respectivas unidades de medida para compatibilização dos resultados. Nesta tela foram adicionados os botões “Inf. Construtivas” e “Imagens”, conforme mostrado na Figura 3.



Figura 3. Interface que indica os parâmetros de entrada, Autores (2023).

O botão “Inf. Construtivas” apresenta informações normativas sobre o sistema construtivo, como os conceitos gerais para projeto de estruturas de bambu, requisitos de qualidade básicos da estrutura e requisitos de projeto. Já no botão “Imagens” são apresentados aspectos construtivos referentes

aos tipos de ligações e de cortes que podem ser executados em estruturas contendo bambus, conforme o exemplo da Figura 4.

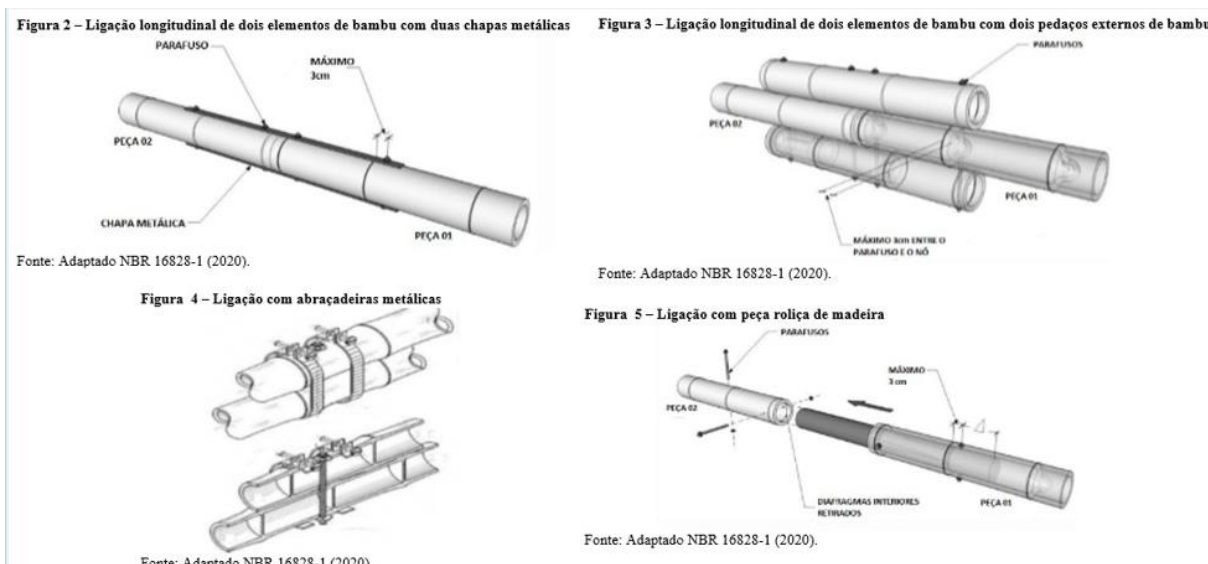


Figura 4. Exemplo de ligações longitudinais entre bambus, Autores (2023).

Além disso, foi inserido o botão “Salvar Memorial”, que permite ao usuário gerar um relatório com os resultados relacionados a conicidade do colmo do bambu, a verificação da barra como prismática, a classificação da esbeltez do pilar, a verificação de segurança em relação aos esforços e o valor da tensão admissível e tensão solicitante. Para o exemplo da Figura 3, o software gerou o seguinte memorial de cálculo:

HISTÓRICO DE CÁLCULO													
DADOS DE ENTRADA													
De1	Di1	te1	ti1	De2	Di2	te2	ti2	Fc0k	L	Ur	Nd	Ng	Nq
14	13	2	3	11	10	1	2	5	250	ur<75	30	10	5
RESULTADOS													
Conicidade(%)		Llim	Esbeltez	Felim	Tensãod		Tensãolim		Qnt. Colmos				
0.4		780.00	69.34	87.96	1.51		1.40		2.0				
FIM													

Figura 5. Exemplo de relatório exportado, Autores (2023).

Por fim, foi implementada a função de verificação relacionada ao dimensionamento de pilares com colmos múltiplos de bambu. Dessa forma, o software avalia a capacidade resistente do

colmo de bambu por meio do cálculo da tensão admissível e solicitante, informando ao usuário a quantidade de colmos necessários para suportar os esforços solicitantes. A Figura 6 mostra a saída de dados do *software* para os valores observados na Figura 3. É importante ressaltar que as atualizações supracitadas e os resultados numéricos podem ser comparados com a versão anterior do software através do website <https://github.com/ianmota/BambuCalc#ianmota>, de modo que o usuário consiga replicar os procedimentos de cálculo.

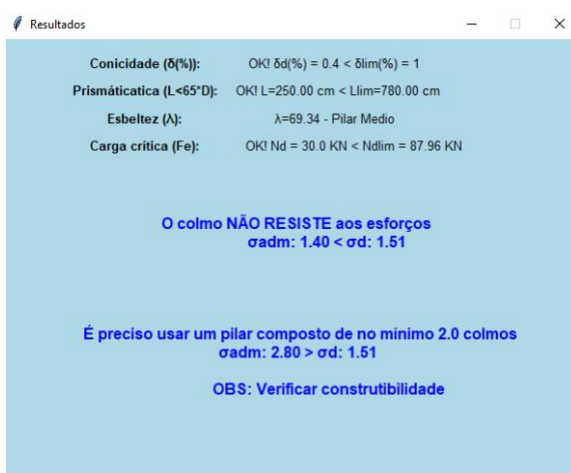


Figura 6. Exemplo de relatório exportado, Autores (2023).

3.2 Estudo de caso de dimensionamento com colmos múltiplos

Com o intuito de validar a implementação do requisito V no programa, foi elaborado um estudo de caso com um pilar classificado como médio. Os dados de entrada do problema estão resumidos na Tabela 1, sendo utilizados para comparação entre os resultados obtidos pelo *software* com os valores calculados manualmente com o auxílio do *SMath Studio*, conforme as preconizações da norma ABNT NBR 16828-1 (2020). Um resumo desses resultados é apresentado na Tabela 2.

Tabela 2. Comparativo dos resultados obtidos pelo BambuCalc e pelo cálculo manual

PARÂMETROS	Método de Cálculo	
	Software	Manual
Conicidade	0,40% < 1%	0,40% < 1%
Verificação do colmo como prismático	250 cm < 780 cm	250 cm < 780 cm
Tensão admissível	1,40 kN/cm ²	1,40 kN/cm ²
Tensão solicitante	1,51 kN/cm ²	1,514 kN/cm ²
Quantidade de Colmos	2	2

A partir dos resultados apresentados na Tabela 2, valida-se a implementação do requisito computacional V referente ao dimensionamento com colmos múltiplos, sendo evidenciada a eficiência do software por meio da comparação com os resultados encontrados de modo manual.

4 CONCLUSÕES

Tendo em vista os resultados obtidos, conclui-se que as melhorias foram implementadas conforme planejado e estão funcionando corretamente, possibilitando a sua utilização para o dimensionamento e a verificação de segurança em pilares de bambu. Com isso, foi aprimorada a interface gráfica do software com a introdução de novos botões informativos, além da inclusão de um novo requisito computacional referente ao dimensionamento com colmos múltiplos para a situação de pilar composto. Para validação das novas funcionalidades, foi comparado o resultado gerado pelo software com o cálculo manual a partir das expressões preconizadas pela norma ABNT NBR 16828-1 (2020), no qual foi observado a compatibilidade dos resultados. Em trabalhos posteriores, sugere-se a aplicação de um novo questionário de experiência de usuários, a fim de coletar possíveis melhorias para implementação no software, além de estudos para inserção de outros elementos estruturais no software, como vigas ou o caso de pilares com ligações. Nesse contexto, espera-se que o presente trabalho contribua para a disseminação desse sistema construtivo, evidenciando-o como uma alternativa para o desenvolvimento sustentável.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Associação brasileira de normas técnicas. NBR 16828-1 - Estruturas de bambu. Parte 1: Projeto. Rio de Janeiro, 2020.

Associação brasileira de normas técnicas. NBR 16828-2 - Estruturas de bambu. Parte 2: Determinação das propriedades físicas e mecânicas do bambu. Rio de Janeiro, 2020.

Beraldo, A. L.; Azzini, A. Bambu: características e aplicações. Guaíba: Editora Guaíba – Agropecuária, 2004.

Bortolussi, J. S.. Diretrizes para o emprego de elementos estruturais em bambu na Construção Civil. Monografia (Especialização em Engenharia de Materiais de Construção). Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, Brasil, 2019.

Brasileiro, L. L.; Matos, J. M. E.. Revisão bibliográfica: reutilização de resíduos da construção e demolição na indústria da construção civil. Cerâmica, v. 61, p. 178-189, 2015.

Carbonari, G; Junior, N. S.; Pedrosa, N. H.; Abe, C. H.; Scholtz, M. F.; Acosta, C. C. V.; Carbonari, L. T.. Bambu - o aço vegetal. Mix Sustentável, v. 3, n. 1, p. 17-25, 2017.

Cassa, J. C. S.; Carneiro, A. P.; Brum, I. A. S.. Reciclagem de entulho para produção de materiais de construção – Projeto entulho bom. Salvador: EDUFBA, 2001.

Cruz, A. K. S.; Mota, I. T. S.; Souza, A. A. F.. Desenvolvimento de *software* para o dimensionamento de estruturas de bambu conforme a ABNT NBR 16828-1. Projeto voluntário de pesquisa, extensão e inovação. Pró-reitoria de pesquisa e extensão – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Sergipe, 2022.

Delgado, P. S.. O bambu como material eco eficiente: caracterização e estudos exploratórios de aplicações. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais). Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, Brasil, 2011.

Flander, K.; Rovers, R. One laminated bamboo-frame house per hectare per year. Construction and Building Materials, v. 23, p. 210-218, 2009.

Santos, C. R. B. E. A Potencialidade do bambu como material de construção civil. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil). Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, Brasil, 2021.