

CONSTRUÇÕES COM BAMBU

CONSTRUCTIONS WITH BAMBU

GUEDES PINTO, João Luis¹
ROCHA, Pedro Felipe da²
BASTOS, Cristiane Cruxen Daemon d'Oliveira e³

Resumo: O presente trabalho apresenta o Bambu como material sustentável a ser utilizado na construção civil, e para isso foram descritos alguns cuidados que devem ser tomados no seu manejo. Também foi estudada a aplicação da Norma Colombiana de construção com o Bambu Guádua (G-NSR-10) para o dimensionamento de um prédio simples de 2 pavimentos, através do método das tensões admissíveis. Os esforços solicitantes neste exemplo numérico foram obtidos utilizando o programa freeware de elementos finitos MASTAN2.

Palavras-Chave: Estruturas de bambu; Construção Civil; Modelagem Numérica.

Abstract: The present work presents Bamboo as a sustainable material which may be used in civil construction, and was described some important things to pay attention about the way to handle the material. It was also studied the application of the Colombian Standard of construction with Guádua Bamboo for the design of a simple 2 store building, adopting the allowable stress method. The acting efforts were obtained using the finite element freeware program MASTAN2.

Keywords: Structures with bamboo; Civil Construction; Numerical Modeling.

¹ Graduando Engenharia Civil; Universidade Santa Úrsula; Estruturas; jltmguedespinto@gmail.com.

² Graduando Engenharia Civil; Universidade Santa Úrsula; Estruturas; pedrorocha.flp@gmail.com.

³ Doutoranda Engenharia Civil UFRJ / Professora Universidade Santa Úrsula – cristiane.daemon@usu.edu.br

1. INTRODUÇÃO

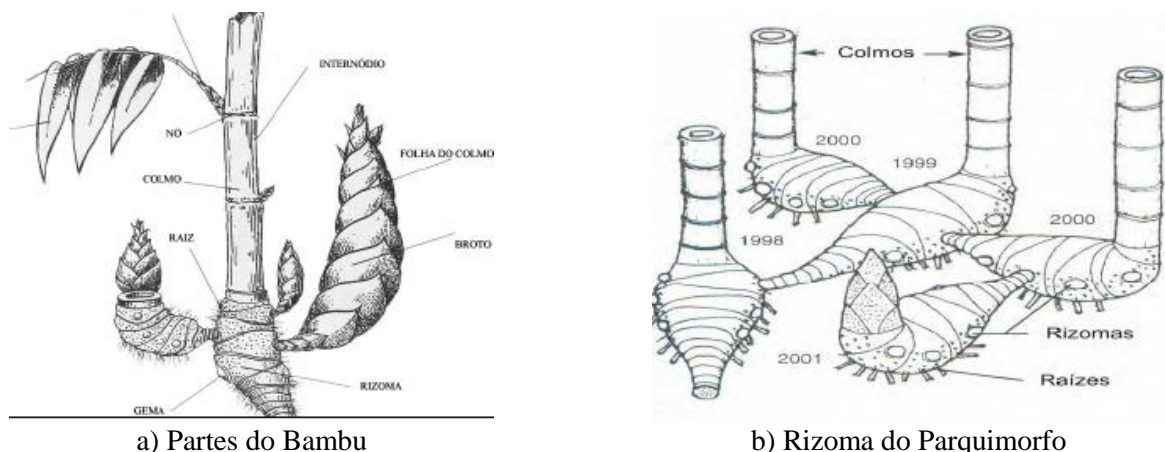
Pensando em uma alternativa de desenvolvimento sustentável, o bambu é considerado como um excelente material para construções. Ao contrário de outros materiais industrializados como o aço e o concreto, que geram grandes quantidades de resíduos e entulhos, difíceis de serem descartados, o bambu faz da construção algo mais limpo, gerando resíduos que podem ser reaproveitados, conforme mostram as pesquisas de Beraldo (1987), Da Gloria (2015) e Andreola (2017).

O bambu é uma planta da família das gramíneas que possui uma das maiores taxas de crescimento do planeta⁴, com colheitas de material com ótimas qualidades mecânicas realizadas com aproximadamente 3 anos de idade⁵(Pereira, 2012). Algumas espécies tem a possibilidade de atingir 30 m de altura. Diante disso, o bambu se torna um material altamente atraente para os mais diversos usos pelo homem.

A cultura do bambu trás benefícios socioambientais, evitando o desmatamento ao utilizá-lo como madeira de reflorestamento, contribuindo para o sequestro de carbono pelo seu rápido crescimento, uso na culinária, e gerando renda com os mais diversos produtos: artesanatos, móveis, ferramentas e elementos da construção civil.

O bambu é constituído de duas partes: uma subterrânea, que são os rizomas, e a outra aérea, que são os colmos, folhas e ramificações (JANSSEN, 2000, *apud* BOOGAARD, 2016). Sua morfologia pode ser vista na Figura 1, nas quais podem ser observados dois tipos de rizoma presentes nas espécies de bambu.

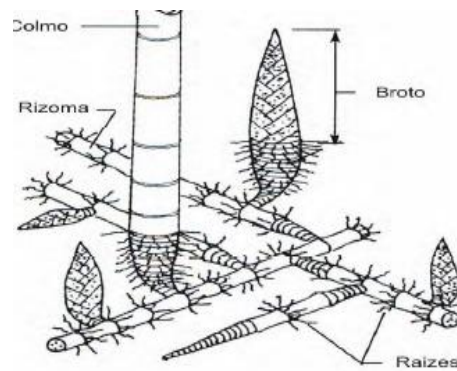
Figura 1 - Morfologia Bambu



⁴ A produtividade pode ser da ordem de 10t/ha a 60t/ha a depender da espécie, espaçamento, região, condições climáticas e manejo (Pereira, 2012).

⁵ A maior resistência dos colmos de bambu ocorre entre os 3 e os 7 anos, antes que seque a própria moita (Pereira, 2012). Para controle a idade pode ser calculada a partir de marcações colocadas anualmente.

ENGENHARIAS



c) Rizoma do Leptomorfo ou Alastrante

Fonte: HIDALGO-LÓPEZ (2003) *apud* PADOVAN (2010)

O colmo é a parte lenhosa do bambu e é composto, de modo geral, por cerca de 50% de parênquima, 40% de fibra e 10% de tecidos condutores (PEREIRA, 2012). A fibra é o elemento principal responsável pela resistência dos colmos e sua densidade é maior na casca (60%) do que em sua área interna (10%) (JANSSEN, 2000 *apud* PADOVAN, 2010).

Quanto ao comprimento das fibras, geralmente, aumentam da periferia ao centro do colmo, ou seja, são maiores nos internos e menores na área dos nós. O material tem sido estudado no Brasil há mais de 30 anos pelo pesquisador Khosrow Ghavami, professor do Departamento de Engenharia Civil da PUC-RJ. Afirma o professor: “Estudei 14 espécies e três delas, em especial, tem mais de 10 cm de diâmetro e são excelentes para construção” (Revista Arquitetura & Construção, abr. 2007). Essas três espécies são o Guadua (*Guadua angustifolia*), Bambu -gigante (*Dendrocalamus asper*⁶, Pereira e Beraldo, 2016) e o bambu-mossô (*Phyllostachys pubescens*).

É possível encontrar o bambu em quase todos os continentes, exceto na Europa. Todas as espécies citadas acima podem ser encontradas no Brasil. O estado do Acre tem boa parte de suas terras cobertas pelo bambu, existindo assim grande diversidade⁷ do material e quantidade de matéria prima em nosso país. No entanto, ainda existem no Brasil muitas florestas inexploradas, principalmente devido à dificuldade de acesso a estes bambuzais que não foram manejados e se encontram fechados e densos.

Pelo fato de ainda não existirem normas regulamentadoras no Brasil, além da escassez de fornecedores e maquinário apropriado, o bambu ainda não é usado em larga escala e existe resistência ao uso do material na construção civil. Em diversos países já existe normatização para o uso deste material, conforme revisado por Gatoó et al. (2014) *apud* Boogaard, (2016) e pode ser visto na Figura 2.

⁶ No Brasil acreditava-se que o Bambu-Gigante aqui presente, frequentemente assim descrito em pesquisas anteriores, era da espécie *Deantrocalamus Giganteus*. Porém hoje em dia reconhece-se a espécie aqui presente como *Dendrocalamus Asper* como descrito por Pereira e Beraldo (2016).

⁷ São encontradas 4 espécies nativas: *GuaduaWeberbaueri*; *GuaduaSarcoperpa*; *GuaduaSuperba*; *Guadua angustifolia* (Drumond e Wiedman, 2017)

Figura 2 - Normas para uso do Bambu por País

País	Código	Norma
China		JG/T 199: Testing method for physical and mechanical properties of bamboo used in building (PRC MoC, 2007)
Colombia	Reglamento Colombiano de Construcción Sismoresistente – capítulo G12 Estructuras de Guadua (Guadua structures) (ICONTEC, 2010)	NTC 5407: Uniones de Estructuras con Guadua angustifolia Kunth (Structural unions with Guadua angustifolia Kunth) (ICONTEC, 2006) NTC 5525: Métodos de Ensayo para Determinar las Propiedades Físicas y Mecánicas de la Guadua angustifolia Kunth (Methods and tests to determine the physical and mechanical properties of Guadua angustifolia Kunth) (ICONTEC, 2007)
Equador	Norma Ecuatoriana de la Construcción – capítulo 17 Utilización de la Guadua Angustifolia Kunth en la Construcción (Use of Guadua angustifolia Kunth in construction) (INEN, 2011)	INEN 42: Bamboo Caña Guadua (bamboo cane Guadua) (INEN, 1976)
India	National Building Code of India, section 3 Timber and bamboo: 3B (BIS, 2010)	IS 6874: Method of tests for round bamboos (BIS, 2008) IS 15912: Structural design using bamboo – code of practice (BIS, 2012)
Peru	Reglamento Nacional de Edificaciones, Section III. Code E100 – Diseño y Construcción con Bamboo (ICG 2012)	
USA		ASTM D5456: Standard specification for evaluation of structural composite lumber products (ASTM, 2013)
Internacional		ISO 22156: Bamboo – structural design (ISO, 2004a) ISO 22157-1 Bamboo – determination of physical and mechanical properties – part 1: requirements (ISO, 2004b) ISO 22157-2: Bamboo – determination of physical and mechanical properties – part 2: laboratory manual (ISO, 2004c)

Fonte: GATOÓ et al (2014) *apud* BOOGARD (2016).

Além de peças estruturais, o bambu também pode ser usado na construção com várias outras finalidades como, por exemplo, construção de paredes, coberturas, laminados de bambu para acabamentos, pisos, e forros.

O bambu pode ajudar a combater o aquecimento global, pois absorve uma grande quantidade de CO₂. Trata-se de uma planta da família das gramíneas, como a cana de açúcar. Tais plantas são chamadas de “C₄”. Durante o processo de fotossíntese das plantas comuns, ocorre o processo de respiração, absorvendo O₂ e liberando uma quantidade de CO₂, chamado de “foto respiração”. Nas plantas conhecidas como C₄, o processo de foto respiração é praticamente ausente, pois estas armazenam em suas fibras o CO₂ liberado pela foto respiração de plantas comuns.

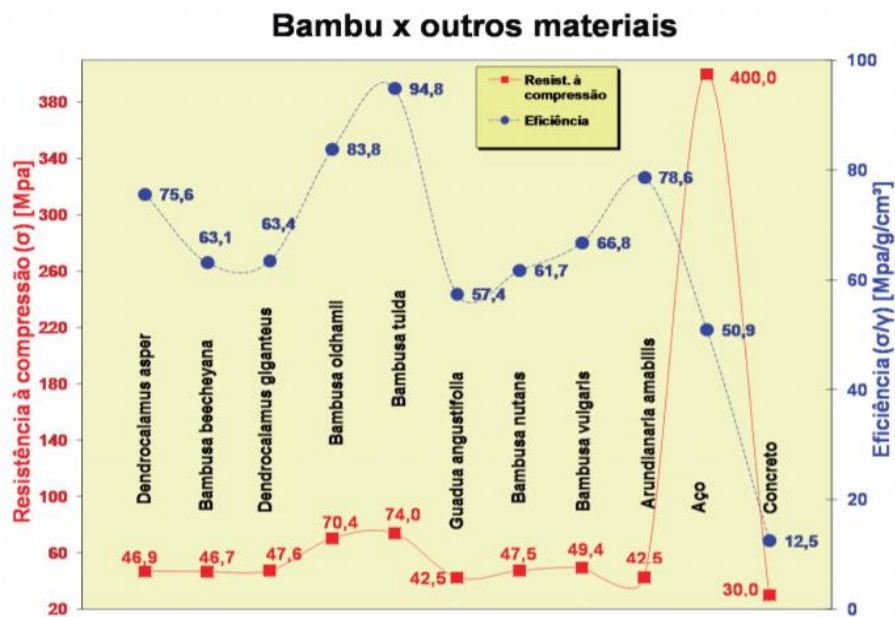
Segundo Oprins (2006), pesquisador Belga, durante o crescimento de uma árvore ou bambu, é retirado da atmosfera certa quantidade de carbono que fica retido na planta. O bambu gera mais O₂ do que o equivalente a três árvores. Oprins (2006) afirma que na Bélgica o bambu tem a capacidade de reciclar doze toneladas/hectare de CO₂ da atmosfera, produzindo 35% mais oxigênio do que as árvores na mesma situação, além do fato de ser a planta que apresenta a maior taxa de crescimento da terra. Em média, no primeiro ano, o bambu alcança 70% de seu tamanho final. Em uma moita brotam, em média, 10 colmos, o que significa um grande potencial de captação de carbono.

Segundo Maoyi; Yiping (2002), a “Biomassa da floresta de bambu armazena uma grande quantidade de carbono. Avalia-se que a percentagem de carbono é de 40% a 45%, quase a metade da biomassa total”. Diversos especialistas em função do mercado de crédito de carbono têm pesquisado a competitividade das espécies de reflorestamento com o bambu. Constatou-se que algumas espécies de bambu, como o *Phyllostachyspubescens* e a *Bambusa*, podem ter uma produção de biomassa igual ou superior à de algumas espécies de *Eucalyptus*. Portanto, o bambu, como elemento vegetal, oferece o que nenhuma outra planta pode propiciar: um grande potencial na captação de CO₂, em uma área plantada de menor extensão do que outras espécies botânicas (OSSE e MEIRELLES, 2011).

O material apresenta excelentes características mecânicas como leveza, força, dureza, conteúdo de fibras, flexibilidade e facilidade de trabalho, ideais para diferentes propósitos tecnológicos (NOGUEIRA, 2009 *apud* GHAVAMI, 2005).

O fato de o aço poder ser empregado de diversas formas e com grande facilidade na construção civil, aceitando variadas solicitações de cargas, fez dele um material muito utilizado nas construções. Estudando mais a fundo o bambu, notamos que ele possui características muito parecidas com as do aço, possuindo alta resistência às forças de tração e compressão. Na Figura 3 pode ser visto a alta eficiência do bambu na sua relação resistência a compressão/massa específica.

Figura 3 - Eficiência do bambu em relação ao concreto e ao aço por meio da relação Resistência à compressão / Massa Específica



Fonte: CARBONARI, et al (2017)

O bambu é conhecido como aço verde pela sua facilidade de obtenção em algumas regiões, tendo como vantagem a taxa de rebrota anual, que possibilita a colheita periódica sem prejudicar a plantação. Quanto mais manutenções são realizadas na touceira para retirada do colmo, mais saudável será o bambuzal, com possibilidades de rebrotas anuais.

O bambu pode reduzir em até 50% o custo da obra quando comparado a uma estrutura convencional, mas isso depende muito da qualidade do material fornecido. O Brasil ainda carece muito de produtores e fornecedores da matéria prima que possuam qualidade e quantidade capazes garantir um padrão nas construções.

2. BAMBU COMO MATERIAL DE CONSTRUÇÃO

O trabalho consiste primeiramente em entender o Bambu como material útil à construção civil. Para isso, como o Bambu é um material natural, é importante o conhecimento de todo o processo de manejo desta planta, desde seu cultivo aos tratamentos necessários para que se atinja a qualidade desejada para seu uso como elemento estrutural, ou seja, em suas propriedades mecânicas e de durabilidade. Algumas das patologias comuns do bambu são as seguintes:

suscetibilidade ao ataque de fungos e insetos, degradação da lignina quando exposto aos raios UV e à variação de umidade e temperatura, baixa resistência ao cisalhamento e imperfeições geométricas. Estes fatores, isolados ou combinados, com o tempo, geram trincas ao longo das fibras longitudinais do material, induzindo falhas prematuras à flexo-compressão, quando submetidos a carregamento. (Krause, 2009)

2.1. Colheita

A época de colheita recomendada pela maioria dos autores já citados no trabalho é durante os meses mais frios e secos, sendo muito importante que seja no inverno. No Brasil recomenda-se que a colheita seja feita nos meses sem “r” (maio, junho, julho, agosto), pois nessa época os colmos tem teor de umidade mais baixo e estão mais leves. Nesse período os colmos estão com menos seiva, logo não são muito apetitosos para insetos e fungos.

As fases da lua podem afetar o teor de umidade e amido, influenciando conseqüentemente na durabilidade. A lua minguante é conhecida, popularmente, como a melhor lua para se cortar os colmos.

O processo de tratamento deverá começar no máximo de 8 a 12 horas após o corte da touceira, pois após esse período as fibras se fecham, impedindo a introdução do líquido conservante. Na maior parte dos casos, não sendo possível iniciar imediatamente o tratamento, será necessário cortar as extremidades quando se tratar (GOI, 2006). Segundo Espelho e Beraldo (2008): “quanto maior for o tempo decorrido entre o corte do colmo e o início do seu tratamento, maior também será o grau de dificuldade para a penetração da solução preservativa através dos vasos”.

2.2. Tratamento

Buscando combater as patologias, existem atualmente diversas formas de tratamento, fazendo com que o bambu tenha uma maior durabilidade.

Caso não seja aplicada nenhuma forma de tratamento no bambu, a sua durabilidade pode chegar de 1 a 3 anos, se em contato com o solo e descoberto, de 4 a 6 anos se coberto e não tocando o chão, e de 10 a 15 anos se estiver em condições muito favoráveis (JANSSEN, , 2000). O mesmo autor diz que a durabilidade do bambu ao natural é bastante reduzida, portanto se faz necessário o seu tratamento.

Logo após a colheita, os colmos de bambu devem ser submersos em água corrente (riachos) ou estagnada (lagoa, piscina etc.), visando-se reduzir ou eliminar o teor de amido existente nos mesmos, por meio da fermentação biológica anaeróbica (ausência de ar). A duração do tratamento pode variar de 4 a 7 semanas.

O bambu, ao ser atacado por organismos xilófagos, apresenta na maioria das espécies uma baixa durabilidade natural, pois a presença de amido nas suas células parenquimáticas faz dele alvo de ataque do caruncho (*Dinoderus minutus*). Além disso, o bambu torna-se alvo do ataque de fungos quando exposto às intempéries e quando em permanente contato com a umidade dos solos.

A maneira como o bambu é tratado pode ser dividida em duas formas: tradicional ou química. A escolha do método a ser utilizado é influenciada por diversos fatores, como o fim para que será usado, se está verde ou seco, a quantidade de canas a serem tratadas, etc.

Deve haver muito cuidado do projetista, não somente com o dimensionamento, mas também certo cuidado com chuvas, umidades (respingo de água na fundação), raios solares, etc. Pois a estrutura de bambu não pode ser exposta de qualquer forma a essas intempéries, por exemplo, os colmos não podem ser fixados diretamente no solo, é necessário um bloco para evitar que a umidade do solo passe para o bambu. Isto porque não há tratamento químico que seja bom suficiente para resolver uma solução incorreta de projeto (JANSSEN, 2000).

Os métodos tradicionais, usados há milhares de anos, são simples e não carecem de grande equipamento. Métodos como a lixiviação, a lavagem com cal, a cosedura em forno aberto e a utilização de corantes, vernizes e tintas naturais são alguns destes métodos tradicionais.

Hoje a maneira mais adequada para que se garanta que o bambu tenha uma duração mais longa é o tratamento com químicos. Devido à sua camada externa ser “encerada”, a entrada dos produtos por aí é muito difícil, logo a sua introdução se faz pelas extremidades. Alguns dos tratamentos existentes são os “Butt treatment”, método Boucherie, método Boucherie modificado, método do tanque aberto para imersão a frio, tratamento à pressão e processo banho quente e frio, entre outros (SOARES, 2013).

Uma das maneiras de tratar o bambu quimicamente é o tratamento com Bórax, que é a mistura do ácido bórico, borato de sódio (bórax) e água, como mostrado nas Figuras 4 e 5. Estas substâncias são misturadas na seguinte proporção, 1kg : 1kg : 100 litros, em um tanque ou grande recipiente que consiga comportar os bambus, assim como no tratamento por afogamento, método que consiste em deixar os colmos inteiramente imersos em um grande recipiente com água durante um período de 20 dias. Deve-se retirar os tímpanos do colmo. Os colmos devem ficar imergidos durante um período de 8 a 10 dias. Não há comprovação em pesquisas científicas desse método de tratamento com Bórax, apesar de ser amplamente utilizado.

Figura 4 - Borato de Sódio (BÓRAX)



Figura 5 - Ácido Borico



3. METODOLOGIA DE CÁLCULO SEGUNDO A NORMA COLOMBIANA - TENSÕES ADMISSÍVEIS

Para efeito desse trabalho, como ainda não existe norma brasileira para dimensionamento de estruturas de bambu, foi adotada a metodologia de cálculo constante na norma colombiana e descrita a seguir.

A norma colombiana adota o método das tensões admissíveis para avaliação dos esforços resistentes de elementos estruturais. Os esforços resistentes são obtidos através de ensaios de laboratório e tratados estatisticamente (f_{ki}). A Tabela 1 apresenta as tensões características a flexão, tração, compressão e cisalhamento para o Bambu *Guadua angustifolia* segundo a norma Colombiana (G-NSR-10, 2010). Nesta tabela também são mostradas as equações com fatores para redução das tensões características para se obter as tensões admissíveis (Equações (1) e (2)).

Tabela 1 - Tensões características do Bambu *Guadua angustifolia* segundo a norma Colombiana e equações com fatores de redução para se obter as tensões admissíveis

TENSÕES CARACTERÍSTICAS (CH=12%)					
TIPO:	Fb Flexão (MPa)	Ft Tração (MPa)	Fc Compressão Paralela (MPa)	Fp* Compressão Perpendicular (MPa)	Fv Corte (MPa)
f_{ki}	15	18	14	1,4	1,2
EQUAÇÕES DE REDUÇÃO PARA OBTENÇÃO DAS TENSÕES ADMISSÍVEIS					
Redução dos valores característicos	$F_i = \frac{FC}{F_s \cdot FDC} f_{ki} \quad \text{Eq. 1}$				
FC	-	0,5	-	-	0,6
Fs	2	2	1,5	1,8	1,8
FDC	1,5	1,5	1,2	1,2	1,1
Coefficientes de modificação de acordo com a condição do elemento	$F'_i = F_i C_D C_m C_t C_L C_F C_r C_p C_c \quad \text{Eq. 2}$ <p>Aplicando os coeficientes de modificação especificados abaixo chega-se ao valor de 0,94</p>				
CD	Cm	Ct	CL	CF	Cr
duração da carga = 0,9	teor de umidade = 1	Temperatura = 1 ⁸	estabilidade lateral das vigas = 0,95	Forma = 1,10 d = 150mm l = 3m	redistribuição de cargas, ação conjunta = 1
Cp	Cc	Fi		Fi'	
estabilidade de colunas = 1 ⁹	Cortante = 1 l/De > 15 3000/150	esforço admissível na solicitação i		esforço admissível modificado para a solicitação i	

⁸ Este valor pode ser muito significativo pois em condições de temperatura maior que 37°, o que é possível em algumas regiões do Brasil, inclusive no Rio de Janeiro, este valor pode ser de 0,6.

⁹ Quando o membro sujeito a compressão é suportado em todo seu comprimento e nas direções principais, para evitar deslocamentos laterais em qualquer direção: Cp = 1.

Onde: CH = coeficiente de umidade do bambu; f_{ki} = valor característico em uma solicitação i ; i = tem o mesmo significado que o numeral anterior; C_D = coeficiente de modificação por duração da carga; C_m = coeficiente de modificação pelo teor de umidade; C_t = coeficiente de modificação pela temperatura; C_L = coeficiente de modificação pela estabilidade lateral das vigas; C_F = coeficiente de modificação por forma; C_r = coeficiente de modificação por redistribuição de cargas, ação conjunta; C_p = coeficiente de modificação por estabilidade de colunas; C_c = coeficiente de modificação por cortante; F_i = esforço admissível na solicitação i ; F_i' = esforço admissível modificado para a solicitação i

Na Tabela 2 apresentam-se os módulos de elasticidade do Bambu *Guadua angustifolia* a serem adotados no dimensionamento, recomendados pela norma colombiana.

Tabela 2 - Módulo de Elasticidade do Bambu *Guadua angustifolia*

MÓDULO DE ELASTICIDADE ¹⁰		
E0,5	E0,05	E _{min}
Médio (MPa)	Percentil 5 (MPa)	Mínimo (MPa)
9500	7500	4000

As tensões admissíveis de projeto, no caso do exemplo numérico desse trabalho, são as especificadas na Tabela 3. As equações para cálculo das tensões solicitantes e comparação com as tensões admissíveis são apresentadas na Tabela 4.

Tabela 3 - Tensões Admissíveis

Esforço	Redução Norma Colombiana	f_{ki} (MPa), CH=12%	$(FC * f_{ki} / (Fs * FDC)) * 0,94$ (MPa)
Fb; Flexão	0,333	15,0	4,47
Ft; Tração	0,167	18,0	2,82
Fc; Compressão Paralela às fibras	0,556	14,0	7,31
Fp; Compressão Perpendicular às fibras	0,463	1,4	0,61
Fv; Cortante	0,303	1,2	0,34

¹⁰ Para as análises de elementos estruturais deve-se utilizar E_{0,5} como módulo de elasticidade do material. O E_{min} deve ser utilizado para calcular os coeficientes de estabilidade de vigas (C_L) e colunas (C_p). O E_{0,05} deve ser utilizado para calcular as deflexões quando as condições de serviço sejam críticas ou que requeiram um nível de segurança superior à média. Em todo caso, a escolha do módulo de elasticidade dependerá do critério do engenheiro calculista.

Tabela 4 - Equações para cálculo das tensões solicitantes e comparação com as tensões admissíveis

Tipo		Tensões solicitantes	Equações	
Flexão		$f_b = \frac{M}{S} \leq F'_b$	Módulo de Resistência da seção circular vazada	
		Eq. 3	$S = \frac{\pi(D_e^4 - [D_e - 2t]^4)}{32 D_e}$ Eq. 4	
Cortante		Paralelo as fibras *(1)		
		$f_v = \frac{2V}{3A} \left(\frac{3D_e^2 - 4D_e t + 4t^2}{D_e^2 - 2D_e t + 2t^2} \right) \leq F'_v$ Eq. 5		
Axial		$f_p = \frac{3RD_e}{2t^2 l} \leq F'_p$ Eq. 6		
Compressão	Equações	Raio de giração e Índice de Esbeltez	$i = \sqrt{\frac{I}{A}}$ Eq. 7 $\lambda = \frac{l_{cr}}{i}$ Eq. 8	
			Comprimento Efetivo *(2) $l_e = l_u k$ Eq. 9	
	Classificação quanto à flambagem	Curto	$f_c = \frac{N}{A_n} \leq F'_c$ Eq. 10	$\lambda < 30$
		Intermediário	$f_c = \frac{N}{A_n \left(1 - \frac{2}{5} \left[\frac{\lambda}{C_K} \right]^3 \right)} \leq F'_c$ Eq. 11	$30 < \lambda < C_k$
Longo		$f_c = 3.3 \frac{E_{0.05}}{\lambda^2} \leq F'_c$ Eq. 12	$C_k < \lambda < 150$	
Flexo-Compressão/Tração	Flexocompressão	$\frac{f_t}{F'_t} + \frac{f_b}{F'_b} \leq 1.0$ Eq. 13		
	Flexotração	$\frac{f_c}{F'_c} + \frac{k_m f_b}{F'_b} \leq 1.0$ Eq. 14	Coefficientes de Magnificação de Momentos $N_{cr} = \frac{\pi^2 E_{0.05} I}{l_e^2}$ Eq. 15 $k_m = \frac{1}{1 - 1.5(N_a/N_{cr})}$ Eq. 16	
(1) Na medida do possível deve-se evitar os projetos nos quais os elementos estruturais de <i>Guadua agustifolia</i> estejam submetidos a esforços de tensão perpendicular a fibra, devido a sua baixa resistência a esse tipo de solitação. No entanto, caso apresentem estes esforços, deve-se garantir a resistência do elemento proporcionando reforço na zona comprometida, através de estribos ou chapas.				
(2) Ambos os extremos articulados (os deslocamentos perpendiculares a seu eixo devem estar restringidos em ambos os extremos do elemento).			K = 1	
(3) Um extremo com restrição a rotação e ao deslocamento e o outro livre.			K = 2,1	

Onde: f_b = tensão de flexão atuante, em MPa; M = momento atuante sobre o elemento em N.mm; F_b' = tensão de flexão admissível modificado, em MPa; S = módulo de resistência da seção em mm^3 ; D_e = diâmetro médio exterior do colme em mm; t = espessura média da parede do colmo em mm; f_v = tensão de cisalhamento devido ao cortante atuante paralelo as fibras, em MPa; A = área da seção transversal do elemento de guadua redonda, em mm^2 ; F_v' = tensão de cisalhamento admissível para o corte paralelo as fibras, modificado pelos coeficientes ao quais hajam no local, em MPa; V = força cortante na seção considerada, em N; f_t = tensão normal de tração atuante na tensão, em MPa; R = força de tração aplicada, em N; l = comprimento do vão de apoio em mm; F_t' = tensão normal de tração admissível, modificada pelos coeficientes, em MPa; C_k = esbeltez que marca o limite entre as colunas intermediárias e longas; λ = índice de esbeltez do elemento; l_e = comprimento efetivo do elemento, em mm; r = raio de giração da seção transversal, em mm; K_m = coeficiente de magnificação de momentos; N_a = carga de compressão atuante, em N; N_{cr} = carga crítica de Euler; I = momento de inércia da seção, em mm^4 .

4. APLICAÇÃO NUMÉRICA

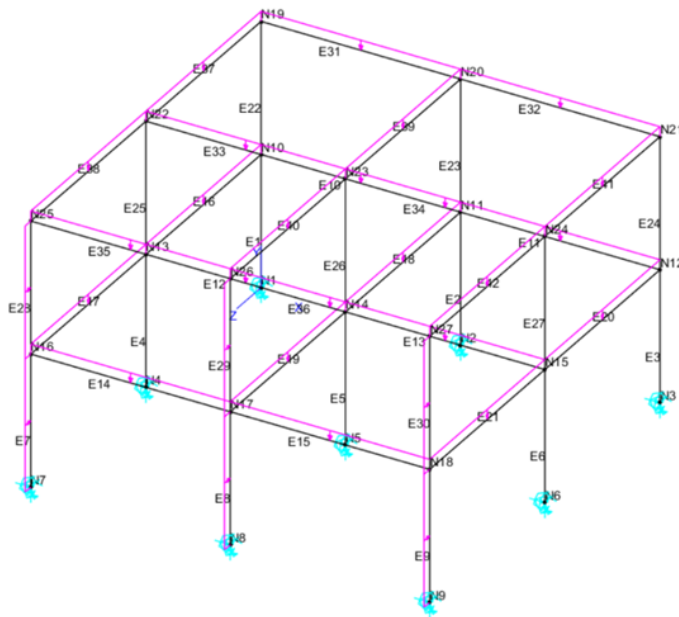
A título de ilustração da aplicação da metodologia de cálculo proposta na norma colombiana, será apresentado nesse item um exemplo numérico de dimensionamento de uma edificação de 2 andares utilizando elementos estruturais de bambu.

Os esforços solicitantes foram obtidos com auxílio do software freeware de análise estrutural MASTAN2, que é baseado no código MATLAB. O programa realiza tanto análises lineares quanto não lineares e possui uma interface simples e de fácil aprendizagem. Outra grande vantagem deste é que foi escrito de forma modular e provê ao usuário a oportunidade de desenvolver e adicionar rotinas alternativas ao código.

4.1. Geometria e condições de contorno

A geometria utilizada para a análise foi uma estrutura modular representando uma edificação de dois andares, com modulação de 3,00 m, tanto para as vigas como para os pilares (Figura 6). Foi realizado um modelo tridimensional no MASTAN2, conforme ilustrado na 6. Os pilares foram considerados engastados nas fundações (ou seja, com as 3 translações e 3 rotações restringidas). Todas as ligações das vigas com os pilares foram consideradas como rígidas, para prover estabilidade global à estrutura para carregamentos laterais (como a carga de vento).

Figura 6 - Modelo estrutural tridimensional desenvolvido no software MASTAN2. Geometria e condições de contorno.



4.2. Material e seções transversais

O material utilizado para essa edificação foi o bambu *Guadua angustifolia*, cujas propriedades mecânicas foram apresentadas nas Tabelas 1 a 3. As seções típicas usualmente adotadas para as estruturas de bambu estão apresentadas na Figura 7. A Tabela 5 apresenta as propriedades geométricas dessas seções típicas, onde n é o número de elementos de bambu utilizados para a composição da seção transversal.

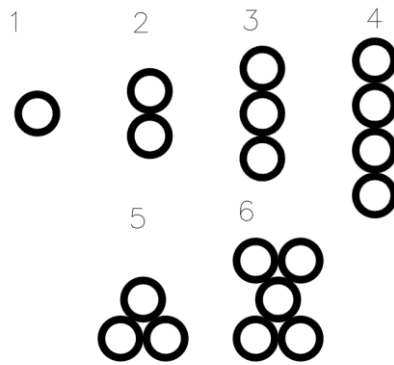


Figura 7 – Seções típicas

Tabela 5 - Propriedades Geométricas das seções típicas para elementos estruturais de bambu com diâmetro externo de 150mm e parede de 15mm

Seções	Tipo	n	A (mm ²)	r _z (mm)	S (mm ³)	I _z (mm ⁴)
Vigas	1	1	6361,7	48,02	1,96E+05	1,5E+07
Vigas	2	2	12723	89,0576	6,73E+05	1E+08
Vigas	3	3	19085	131,55	1,47E+06	3,3E+08
Ambivalente	4	4	25447	230	2,58E+06	7,7E+08
Pilares	5	3	19085	77,82	7,15E+05	1,2E+08
Pilares	6	5	255881	125,71	2,45E+06	5E+08

Para efeito desse exemplo numérico foi adotada a seção 4 para as vigas e a seção 6 para os pilares. O detalhamento e cálculo das ligações das vigas com os pilares não faz parte do escopo desse trabalho. A título de ilustração, a Figura 8 apresenta exemplo de ligação semi-rígida e flexível das vigas com os pilares de bambu. Nesse tipo de ligação o colmo central é de menor comprimento e serve como apoio para as vigas. Isto dificulta a torção das vigas, mas não exige a solidarização das colunas por parafusos e ou estribos. Cabe lembrar também que a resistência do bambu à compressão transversal é muito baixa e, portanto, nestes casos deve-se preencher os apoios com calda de cimento. Para o caso do modelo estrutural adotado nesse trabalho, deverá ser estudada uma ligação rígida entre as vigas e pilares.

Figura 8 - Exemplo de coluna apresentada na Norma Equatoriana NEC-SE-GUADUA

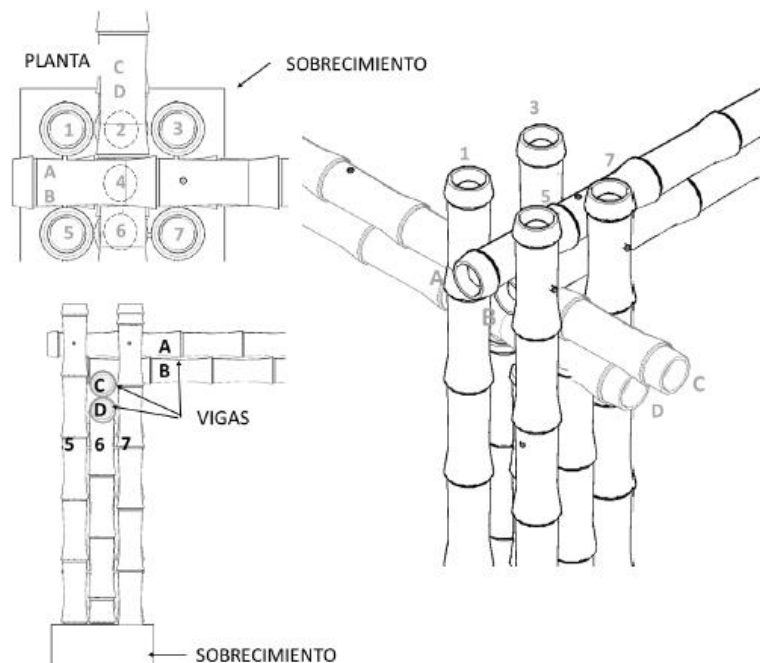


Figura 9 - Exemplo de ligação - viga e pilar

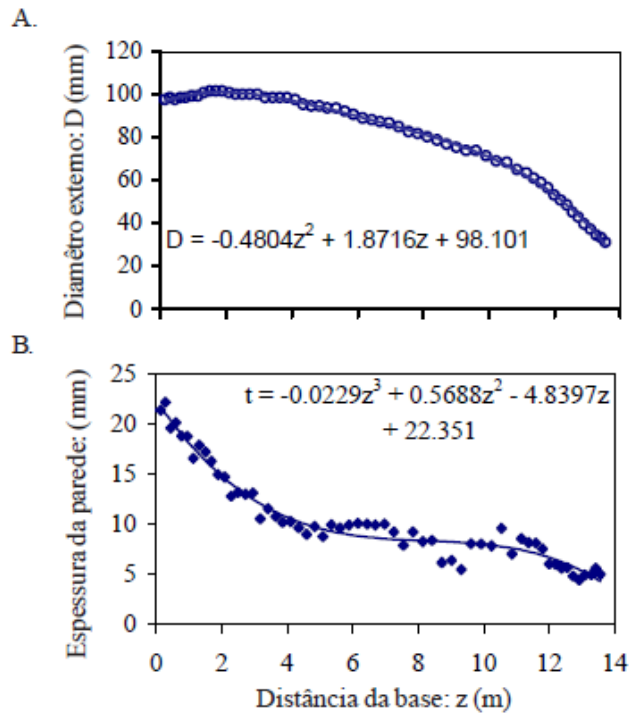


Os parâmetros de diâmetro externo e espessura média dos elementos estruturais podem seguir as curvas de regressão do estudo de Ghavami (2005) de modo que haja otimização de peças¹¹ estruturais a partir de um único colmo, conforme ilustrado nos gráficos da Figura 10 e na

¹¹ O primeiro metro do colmo foi desprezado de modo que, durante a colheita, o corte favoreça o rebrotamento e condições de preservação do rizoma (ex: corte perto do primeiro diagrama para evitar acúmulo de água).

Tabela 6.

Figura 10 -Diâmetro externo (A) e espessura da parede (B) ao longo do comprimento do colmo



Fonte: GHAVAMI, 2005

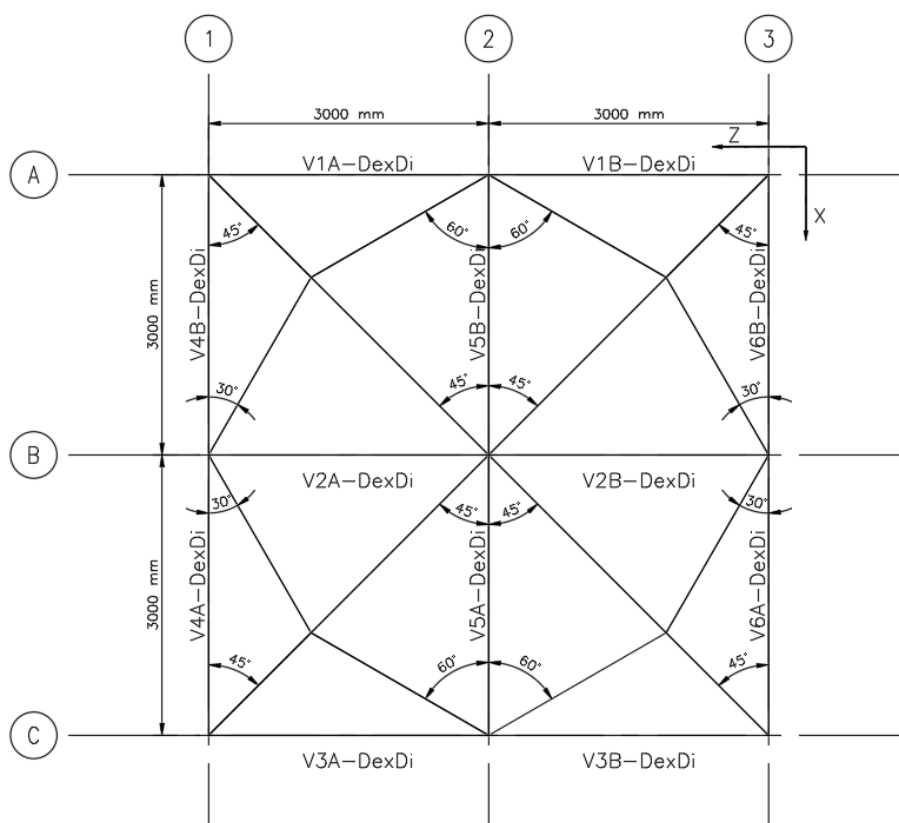
Tabela 6 -Diâmetro médios e possíveis usos de diferentes partes do colmo para a fabricação das peças estruturais

Peça	z (m)	D (mm)	t (mm)	Média	
				D (mm)	t (mm)
1	1	99,5	18,1	98,7	14,3
	4	97,9	10,6		
2	4	97,9	10,6	92,8	9,6
	7	87,7	8,5		
3	7	87,7	8,5	78,2	8,2
	10	68,8	7,9		
4	10	68,8	7,9	55,0	6,6
	13	41,2	5,3		

4.3. Carregamentos

Os carregamentos considerados foram: peso próprio da estrutura de bambu, peso próprio das lajes, peso das telhas, peso do forro, sobrecarga de utilização e carga de vento. Os carregamentos provenientes das lajes foram aplicados às vigas de acordo com a teoria das charneiras plásticas, conforme a divisão de áreas apresentada na Figura 11.

Figura 11 – Eixos e Divisão de áreas - planta baixa



A laje foi considerada como de concreto armado, com peso específico de 25kN/m³ e 0,12 m de espessura. A Tabela 7 apresenta um resumo dos carregamentos aplicados nas lajes dos primeiro e segundo pavimentos.

Tabela 7 – Resumo dos carregamentos aplicados

	kN/m ²		kN/m ²
Peso Próprio	3	Peso Próprio	3
Peso das telhas	0,15	Peso do forro	0,1
Peso do forro	0,1	Residencial	1,5
Corredor sem acesso ao público	2	Total Laje – 1º Pavimento	4,6
Total Laje – 2º Pavimento	5,25		

O fechamento de vedação externo foi adotado com paredes de alvenaria (1,2kN/m²), apesar de não ser recomendado na norma Colombiana¹², e de dry-wall (0,42kN/m²) como parede interna (2º Pavimento). Considerando a altura de 3 m entre os pavimentos, o carregamento linear aplicado para a alvenaria foi de 3,6 kN/m enquanto de dry-wall foi de 1,26 kN/m.

O carregamento de vento foi calculado de acordo com a norma brasileira de carregamento de vento em edificações NBR6123-88 (ABNT, 1988). A velocidade característica de vento é dada pela fórmula:

$$V_k = V_0 * S1 * S2 * S3 \quad \text{Eq. 17}$$

Onde:

Fator topográfico: S1 = 1,00. Foi considerado terreno plano ou pouco acidentado.

Fator de rugosidade do terreno: S2 = 1,10. Foi considerada categoria 1 (superfícies lisas), classe A (maior dimensão da edificação inferior a 20m) e altura acima do terreno inferior a 10m (z(m) < 10m).

Fator estatístico: S3 = 1,00. Foi considerado que a edificação será utilizada como residência.

A velocidade básica de vento V₀ é obtida do mapa das isopletras constante na NBR6123-88 (ABNT, 1988). Consultando-se as curvas das isopletras para a cidade do Rio de Janeiro, a velocidade básica de vento obtida foi V₀ = 37m/s. Logo,

$$V_k = \frac{37m}{s} * 1,00 * 1,10 * 1,00 = 40,70m/s \quad \text{Eq. 18}$$

¹² Esta recomendação se deve por dois motivos: devido ao peso elevado dos elementos de alvenaria e segundo pela ineficiência da transmissão de cargas horizontais a fundação. Na norma Colombiana recomenda-se o uso de muros de corte treliçados.

A pressão dinâmica de vento é dada pela fórmula:

$$q = 0,613 * V_k^2 = 0,613 * 40,70^2 = 1,015 \text{ kN/m}^2 \quad \text{Eq. 19}$$

Para a obtenção da força de arrasto do vento utiliza-se a expressão da norma NBR6123-88 (ABNT, 1988):

$$F_a = C_a * q * A_e \quad \text{Eq. 20}$$

C_a = coeficiente de arrasto; por simplificação assumido igual a 1;

A_e = área frontal efetiva, área de projeção ortogonal da edificação sobre um plano perpendicular à direção do vento.

Para a simplificação dos cálculos, verificou-se apenas a condição de pressão positiva de vento com $C_a = +1$. O cálculo será apresentado ao final do item 4.4.

4.4. Combinações de carregamentos

A norma Colombiana (B.2.3.1) define as combinações básicas de carregamento que as estruturas de bambu Guadua devem estar submetidas, para o dimensionamento através do método das tensões admissíveis. A Tabela 8 apresenta as combinações de carregamentos constantes na norma de sismos colombiana (NSR-98), seguindo as recomendações da norma colombiana para construções com bambu Guádua, NSR-10 item 12.6.1.1.

Tabela 8- Tabela NSR 98 - B2.3.1

1	D + F
2	D + H + F + L + T
3	D + H + F + (Lr ou G ou Le)
4	D + H + F + 0,75(L + T) + 0,75(Lr ou G ou Le)
5	D + H + F + W
6	D + H + F + 0,7E
7	D + H + F + 0,75W + 0,75L + 0,75(Lr ou G ou Le)
8	D + H + F + 0,75(0,7E) + 0,75(L) + 0,75(Lr ou G ou Le)
9	0,6D + W + H
10	0,6D + 0,7E + H

Onde: E e Ed = forças sísmicas de projeto; F = cargas devidas a pressão de fluidos; Fs = forças sísmicas (Requisitos da norma); G = Carga de chuva ou granizo; Lr = carga viva sobre a cobertura;

H = cargas devidas ao empuxo lateral do solo ou pressão hidrostática; P = cargas devidas ao empoçamento; R e R0 = coeficientes de capacidade de dissipação de energia básico; T = forças e efeitos devido à expansão ou retração,

Para efeito deste trabalho foram adotadas as combinações 2, 5 e 7 da Tabela 8, já que a estrutura não estará submetida a cargas sísmicas, pressão de fluidos e empuxo lateral. Também não foram considerados forças e efeitos devido à expansão ou retração. Portanto a seguir estão as combinações consideradas:

$$2: D + L \quad (\text{COMBINAÇÃO 1}) \quad \text{Eq. 21}$$

$$5: D + W \quad (\text{COMBINAÇÃO 2}) \quad \text{Eq. 22}$$

$$7: D + 0,75W + 0,75L \quad (\text{COMBINAÇÃO 3}) \quad \text{Eq. 23}$$

Onde: D = “dead load” (carga permanente); L = “live load” (sobrecarga); W = “wind” (carga de vento).

O peso próprio da estrutura de bambu foi gerado automaticamente pelo programa. A seguir se encontra um resumo dos carregamentos aplicados na estrutura de bambu e a área de contribuição para cada viga:

$$PpL = \text{Peso próprio da laje} = 25 \text{ kN/m}^3 * 0,12\text{m} = 3 \text{ kN/m}^2;$$

$$PpT = \text{Peso próprio da Telha} = 0,15 \text{ kN/m}^2;$$

$$PpF = \text{Peso próprio do Forro} = 0,1 \text{ kN/m}^2;$$

$$PpP1 = \text{Peso próprio da Parede Interna Drywall dupla 90 mm} = 0,42\text{kN/m}^2 * 3\text{m} = 1,26 \text{ kN/m};$$

$$PpP2 = \text{Peso próprio da Parede Externa de Alvenaria} = 12 \text{ kN/m}^2 * 3\text{m} = 3,6 \text{ kN/m};$$

$$ql1 = \text{Sobrecarga: Corredor sem acesso ao público} = 2 \text{ kN/m}^2;$$

$$ql2 = \text{Sobrecarga: Residencial} = 1,5 \text{ kN/m}^2;$$

$$A1 = \text{Área de contribuição das vigas - Externas V1, V3, V4, V6, V7, V9, V10, V12} = 1,65\text{m}^2;$$

$$A2 = \text{Área de contribuição das vigas – Internas V2, V5, V8, V11} = 5,70\text{m}^2;$$

$$Lv = \text{Largura do vão} = 3\text{m};$$

$$W = \text{carga de vento no pilar de borda, cuja a área de influência é a face do edifício de } 3 \text{ m} = 1 * 3 = 3 \text{ kN/m}.$$

Nas Tabelas 9 e 10 abaixo se encontram os valores dos carregamentos na seção 2 de maior esforço (Figura 11). Para as seções 1 e 3 a carga de vento é a metade: 1,5 KN/m e $0,75 \cdot 1,5 = 1,125 \text{KN/m } \hat{i}$. (Figura 12 – Disposição dos Carregamentos)

Onde:

\hat{j} = carregamentos verticais;

\hat{i} = carregamentos horizontais

Figura 12 – Disposição dos Carregamentos

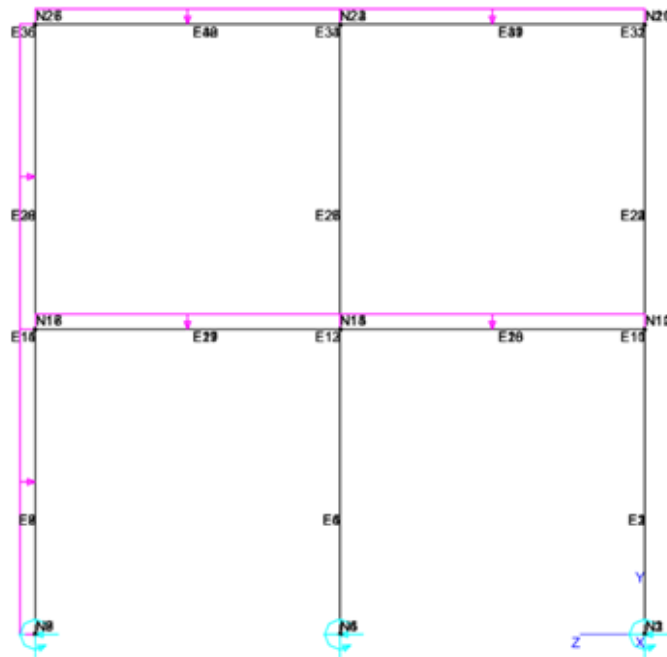


Tabela 9 - Carregamento linearmente distribuídos nas vigas por combinação (2º PISO)

2º PISO VIGAS COBERTURA	COMB. 1 D + L	COMB. 2 D + W	COMB. 3 D + 0,75W + 0,75L
V1, V3, V4, V6	$-2,88 \frac{KN}{m} \hat{j}$	$-1,78 \frac{KN}{m} \hat{j} + 3 \frac{KN}{m} \hat{i}$	$-2,61 \frac{KN}{m} \hat{j} + 2,25 \frac{KN}{m} \hat{i}$
V2, V5	$-9,97 \frac{KN}{m} \hat{j}$	$-6,18 \frac{KN}{m} \hat{j} + 3 \frac{KN}{m} \hat{i}$	$-9,02 \frac{KN}{m} \hat{j} + 2,25 \frac{KN}{m} \hat{i}$

Tabela 10 - Carregamento linearmente distribuídos nas vigas por combinação (1º PISO)

1º PISO	COMB. 1 D + L	COMB. 2 D + W	COMB. 3 D + 0,75W + 0,75L
V7, V9, V10, V12	$-6,48 \frac{KN}{m} \hat{j}$	$-5,38 \frac{KN}{m} \hat{j} + 3 \frac{KN}{m} \hat{i}$	$-6,21 \frac{KN}{m} \hat{j} + 2,25 \frac{KN}{m} \hat{i}$
V8, V11	$-11,23 \frac{KN}{m} \hat{j}$	$-7,43 \frac{KN}{m} \hat{j} + 3 \frac{KN}{m} \hat{i}$	$-10,28 \frac{KN}{m} \hat{j} + 2,25 \frac{KN}{m} \hat{i}$

4.5. Esforços solicitantes

Os esforços solicitantes máximos obtidos do MASTAN2 estão apresentados para as vigas na Tabela 11 e pilares na Tabela 12.

Tabela 11 – Esforços máximos atuantes nas vigas encontrados na edificação

	Comb1	Comb2	Comb3
Momento (KN.m)	6	8,8	8,7
Cortante (KN)	10,1	12	12,5

Tabela 12 – Esforços máximos atuantes nos pilares encontrados na edificação

		Comb1	Comb2	Comb3
Flexo compressão	compressão (KN)	83	58	78
	compressão (KN)	83	58	78
	momento (KN.m)	2,4	7,9	6

A partir destes esforços atuantes obtidos pelo programa MASTAN2 foram calculadas as tensões solicitantes através das equações da

ENGENHARIAS

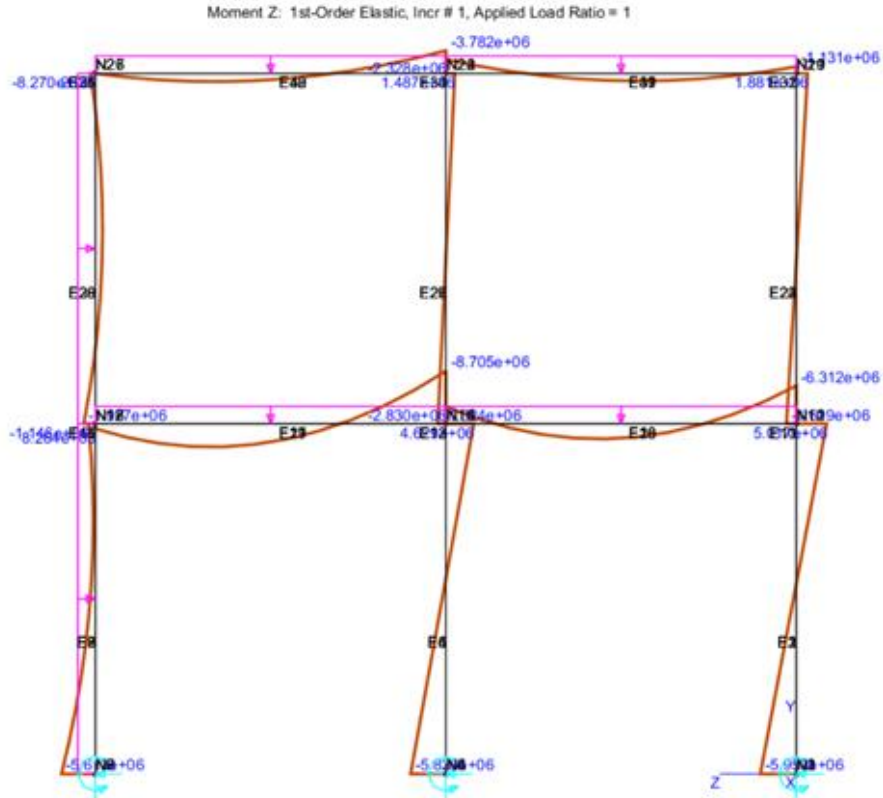
Tabela 4 e comparadas com as tensões admissíveis constantes na Tabela 3. Estas verificações serão apresentadas no próximo item.

4.6. Comparação das tensões solicitantes com as tensões admissíveis

4.6.1. Flexão simples

A viga com a maior solicitação a flexão é a viga V8, no primeiro piso, na seção 2 para a combinação 3 (Figura 13).

Figura 13 – Momentos (N.mm) em Z na combinação 3



A seção escolhida para o dimensionamento foi a tipo 4, composta por 4 bambus em linha ($\Phi=150$ mm; $t=15$ mm) e a equação utilizada foi a Eq. 3. O coeficiente de forma (Figura 13) aplicado a relação foi de 0,91 segundo a

Tabela 13.



Figura 14 – Dimensões para cálculo do coeficiente de forma

Tabela 13 - Coeficiente de forma para vigas

d/b	CL
1,00	1
2,00	0,98
3,00	0,95
4,00	0,91
5,00	0,87

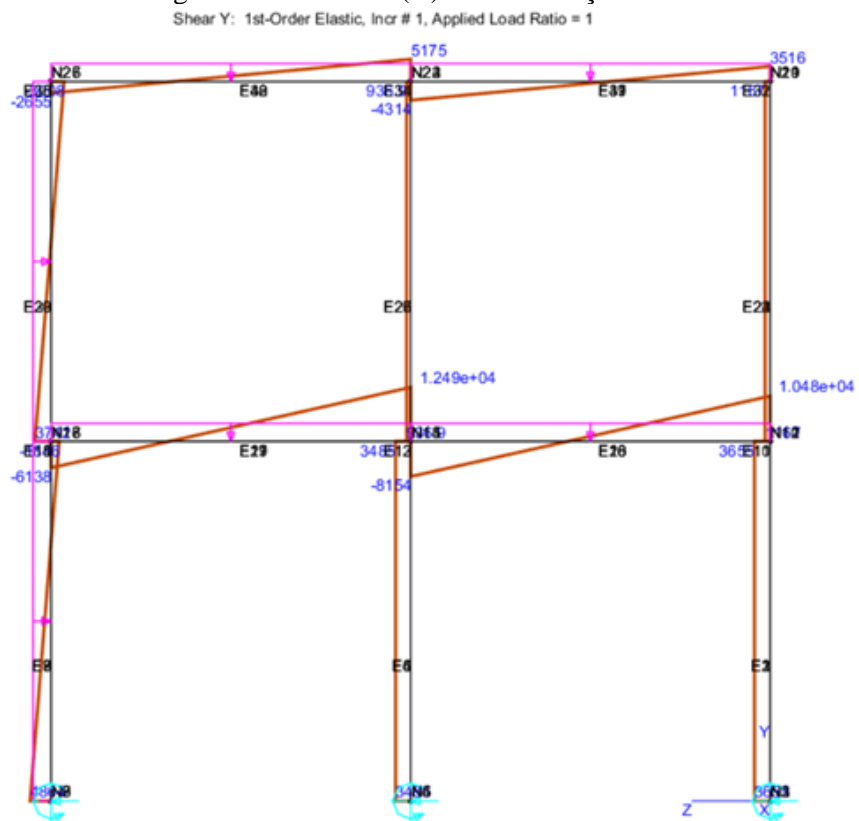
$$f_b = \frac{M}{S} \leq F_b'$$

$$\frac{8700000Nmm}{2580000mm^3} = 3,37MPa < 4,55MPa \quad \text{Eq. 24}$$

4.6.2. Cortante

A viga com a maior solicitação ao cisalhamento é a viga V8, no primeiro piso, na seção 2, para a combinação 3 (Figura 15).

Figura 15 – Cortante (N) na combinação 3



A seção escolhida para o dimensionamento foi a tipo 4, composta por 4 bambus em linha ($\Phi=150\text{ mm}$; $t=15\text{ mm}$) e a equação utilizada foi a Eq. 5.

$$f_v = \frac{2 * V}{3 * A} * \left(\frac{3 * D_e^2 \text{ mm} - 4 * D_e * t + 4 * t^2 \text{ mm}}{D_e^2 - 2 * D_e * t + 2 * t^2 \text{ mm}} \right)$$

$$2 * \frac{12500\text{ KN}}{3 * 25447\text{ mm}^2} * \left(\frac{3 * 150^2 \text{ mm} - 4 * 150\text{ mm} * 15\text{ mm} + 4 * 15^2 \text{ mm}}{150^2 \text{ mm} - 2 * 150\text{ mm} * 15\text{ mm} + 2 * 15^2 \text{ mm}} \right) \quad \text{Eq. 25}$$

$$= 0,13\text{ MPa} < 0,34\text{ MPa}$$

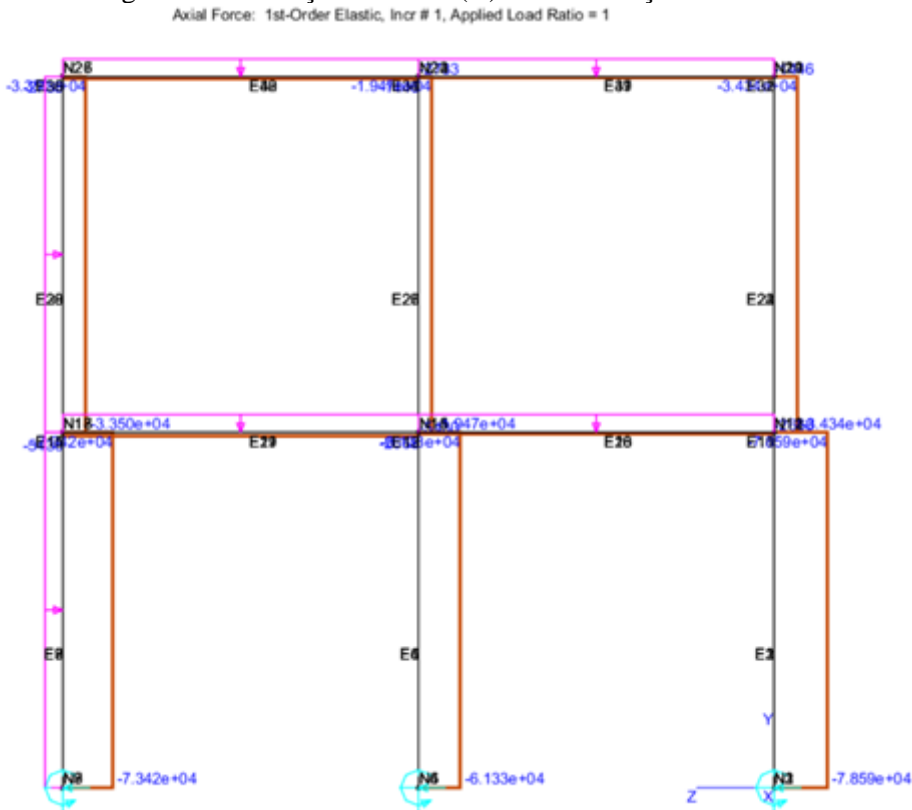
4.6.3. Esmagamento

Não há peça de bambu que suporte o esmagamento perpendicular às fibras, todas as seções as quais este esforço estiver presente devem ser preenchidas com concreto.

4.6.4. Flexo-Compressão

O pilar com a maior solicitação a flexo-compressão fica no primeiro piso, na seção 2, para a combinação 3 (Figura 13 e Figura 16).

Figura 16 – Esforços Normais (N) na combinação 3



CONSTRUÇÕES COM BAMBU

A seção escolhida para o dimensionamento foi a tipo 6, composta por 5 bambus em arranjo (

Figura 9) ($\Phi=150$ mm; $t=15$ mm) e foram utilizadas as equações Eq. 15. Para o par (7900000Nmm; 58000N) foram verificados então se satisfazem a Eq. 14:

$$\frac{f_c}{F_c'} + \frac{k_m * f_b}{F_b'} \leq 1$$

Para a flexão:

$$f_b = \frac{7900000Nmm}{2450000mm^3} = 3,21MPa$$

$$F_b' = 5 MPa \text{ Eq. 26}$$

Onde:

$$k_m = \frac{1}{1 - 1,5 * \frac{58000N}{4135159}} = 1,02$$

Para a compressão:

Considerando a flambagem, para a condição de colunas curta $\lambda < 30$, já que $k = 1$ (livre), $l_e = 3m$, $C_k = 82,15$.

Onde,

$$c_k = 2,565 * \sqrt{\frac{E_{0,05}}{F_c'}} = 2,565 * \sqrt{\frac{7500}{7,31}} = 82,15$$

$$\lambda = \frac{3 * 1000mm}{125,71mm} = 23,86$$

Logo a equação a ser utilizada é para colunas curtas (Eq. 10)

$$f_c = \frac{58000N}{255881} = 0,22MPa$$

$$F_c' = 7,13MPa \quad \text{Eq. 27}$$

Logo satisfaz a inequação Eq. 14 de modo que:

$$\frac{0,22MPa}{7,13MPa} + \frac{1,02 * 3,21MPa}{4,47MPa} = 0,67 \leq 1$$

O dimensionamento, portanto, foi realizado com vigas com 4 colmos de ($\Phi=150$ mm; $t=15$ mm) em linha conforme o tipo 4 e as colunas foram dimensionadas com 5 colmos de ($\Phi=150$ mm; $t=15$ mm) com arranjo tipo 6.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O trabalho apresentou a metodologia de dimensionamento segundo a norma Colombiana de Construção com a espécie de bambu *Guadua angustifolia*. A título de exemplo do uso da norma colombiana, foi realizado o dimensionamento de uma edificação de 2 andares. Esta etapa permitiu constatar que o uso do bambu na construção civil é viável e segura como atestado na própria Norma analisada: “Uma estrutura de guadua (bambu) projetada de acordo com esta Norma, terá o nível de segurança equivalente a estruturas projetadas com outros materiais” (G-NSR-10, 2010).

Foi utilizado o software de análise estrutural MASTAN2 para obtenção dos esforços solicitantes e posterior obtenção das tensões solicitantes. As tensões solicitantes foram comparadas aos valores das tensões admissíveis obtidas seguindo a metodologia apresentada na norma colombiana.

Uma sugestão para continuidade desse trabalho seria a verificação das deformações admissíveis dos elementos estruturais de bambu, que é um aspecto importante e deve ser levado em conta no dimensionamento de toda estrutura. Devido à baixa rigidez do bambu, as deformações costumam ser condicionantes.

Outra sugestão de continuidade desse trabalho seria o dimensionamento e detalhamento das ligações das vigas com os pilares. Para efeito deste trabalho as ligações foram consideradas rígidas para garantir a estabilidade global das estruturas para as cargas laterais (cargas de vento). As ligações rígidas em geral não são muito utilizadas, pois são mais caras e difíceis de executar. Poderiam ser estudados outros sistemas estruturais com bambu adotando-se ligações flexíveis, utilizando-se, por exemplo, contraventamentos para garantir a estabilidade da estrutura para cargas laterais. Além disso, outra forma de continuidade do trabalho seria uma análise de viabilidade comparando com uma edificação de concreto armado ou de outro tipo de material, ao qual poderia incluir orçamento, cronogramas, métodos construtivos, etc.

Um aspecto importante em relação às construções com bambu é o correto tratamento dos colmos aos quais dará longevidade e qualidade aos elementos da estrutura.

Acredita-se que este trabalho poderá contribuir com a atual tendência de crescimento do uso deste material na construção civil, o qual já vem sendo utilizado em diversos setores e nacionalidades. No Brasil isto pode ser constatado no esforço da Comissão de Estudos de Estruturas de Bambu que trabalha desde julho de 2016 para a criação de uma norma de construção com o material e que deverá estar concluída ainda este ano (ABNT, 2018). Além disso, em consonância

com a criação da Norma, a Embrapa lançou digitalmente o Livro *Bambus no Brasil da Biologia a Tecnologia* em novembro de 2017 que possui conteúdo relativo ao manejo e outros assuntos sobre a planta, e é fruto do memorando de entendimento bilateral Brasil e China assinado em 2011 (EMBRAPA, 2018). Este acordo gerou a Lei Federal nº 12.484/2011 que dispõe sobre a política e o manejo sustentável e o cultivo do Bambu (PNMCB). Há também diversos outros agentes defensores deste material, tais como ABMTEC¹³, APROBAMBU¹⁴, RBB¹⁵, EBIOBAMBU¹⁶, BAMBUSC¹⁷, EMBRAPAVERDE¹⁸, CERBAMBU¹⁹, Bambu Carbono Zero, APUAMA, TIBÁ.

Assim, aos futuros trabalhos, sugere-se acompanhar o desenrolar da criação da norma técnica brasileira, além de estudar outros sistemas estruturais com bambu e dimensionamento e detalhamento das ligações, conforme citado anteriormente nessa conclusão.

REFERÊNCIAS

- ABNT, Excelência Reconhecida, *Boletim*, ABNT, V.15, nº161, Jan/Fev2018
- ABNT, Forças devidas ao vento em edificações, NBR-6123-88, Jun1988
- ANDREOLA, V. M. *Caracterização física, mecânica e ambiental de bio-concreto de bambu*, Rio de Janeiro, COPPE, 2017
- B-NRS-98, *Normas colombianas de diseño y construcción sismo resistente, Cargas*, Colombia
- BERALDO, A. L. *Bambucreto: o uso do bambu como reforço do concreto*. In: Congresso Brasileiro De Engenharia Agrícola, 16., 1987. Jundiaí. Anais... Jundiaí: Sociedade Brasileira Engenharia Agrícola, 1987. v. 2, p.521-530
- BOOGAARD, R. V. D., *Estudo da viabilidade técnica do uso do bambu laminado colado na construção civil*, Campo Mourão, UTFPR, 2016
- BRAGA, D.C.; ARRANZ, F.A.; CAMINHOLA, *Construções de bambu: análise estrutural de um edifício de bambu*, IMT, São Caetano do Sul, 2011
- CARBONARI, Gilberto et. al, *Bambu – O aço vegetal. Mix Sustentável*, UEL, Londrina, Ed.05V3N.1, 2017
- DA GLORIA, M. Y. R., 2015, *Desenvolvimento e caracterização de painéis sanduíches de concreto com núcleo leve e faces em laminados reforçados com fibras longas de sisal*. Tese de Mestrado, Programa de Pós graduação em Engenharia Civil – Universidade Federal do Rio de Janeiro, RJ.
- DELGADO; Patrícia Santos. *Bambu como material eco-eficiente: caracterizações e estudos exploratórios de aplicações*.Ouro Preto: REDEMAT, 2011.

¹³ Associação Brasileira de Materiais não Convencionais (Ghavami)

¹⁴ Associação dos Produtores de Bambu

¹⁵ Rede Brasileira de Bambu

¹⁶ Escola Nacional de Construção com Bambu

¹⁷ Associação Catarinense de Bambu

¹⁸ Energia Verde de Bambu

¹⁹ Centro de Referência do Bambu e das Tecnologias Sociais (LaucioVentaina)

- EMBRAPA. Livro reúne conhecimentos científicos sobre bambu. *Notícias*, 2018 Disponível em Acesso: 10 jun. 2018: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/34301883/livro-reune-conhecimentos-cientificos-sobre-bambu>
- ESPELHO, Jean C. C.; BERALDO, Antonio L. - *Avaliação físico-mecânica de colmos de bambu tratados*. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. Vol. 12. (2008). p. 645-652.
- GHAVAMI, Khorsow. *Propriedades físicas e mecânicas do colmo inteiro do bambu da espécie Guadua angustifolia*. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v9, n.1, 2005
- G-NSR-10, *Estructuras de Madera e Estructuras de Guadua*. Cap. 12. Colombia: 2010
- GOI, Department of Science and Technology, Government of India - Preservation of Bamboo.2006.
- JANSSEN, Jules JA - *Designing and building with bamboo*.International Network for Bamboo and Rattan, 2000. 8186247467
- KRAUSE, J. Q., *Desenvolvimento de elementos especiais de bambu para treliças especiais*, Rio de Janeiro, PUC-RJ, 2009
- MAOYI, Fu; YIPING, Lou. 2002. *Prospects of research on sustainable management techniques*. In: Bamboo for Sustainable Development. In: Proceedings of the Vth International Bamboo Congress and the VIth International Bamboo Workshop, San José, Costa Rica, November 1998.
- MASTAN2, <http://www.mastan2.com/download.html>, v.3.5.4, acesso 06/2018.
- NEC-SE-GUADÚA, *Estructuras de Guadúa (GaK) – Norma Ecuatoriana de laConstrucción*, Agosto 2016.
- PADOVAN, R.B., *O bambu na arquitetura: design de conexões estruturais*, Bauru, UNESP, 2010.
- PEREIRA, *Projeto bambu: introdução de espécies, manejo, caracterização e aplicações*, Bauru, UNESP, 2012
- RAVEN, J. In: Botanical Research. *Incorporating Advances in plant pathology*. J. A. Calow. School of Biology in Science University of Birghman, BirghmanUk v 27 Academic Press, Boston, 1997.
- REVISTA ARQUITETURA &CONSTRUÇÃO, edição abr. 2007.
- OPRINS, Jan. Trier, Harry van et al. *Bamboo: A material for Landscape and Garden Design*. Birkhauser- publishers for Architecture Basel- Berlin-Boston, 2006.
- OSSE, V. C.; MEIRELLES, C. R. M.. *O potencial do bambu na minimização dos problemas climáticos nos espaços urbanos*. Labverde, São Paulo, p.36-53, nov. 2011.
- SOARES, S. F. B. de S.. *Estructuras em bambu*. 130 f. Tese (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia Universidade do Porto, Porto, 2013