

Utilização de Bambu de Diferentes Origens em Substituição ao Aço na Região Tractionada de Vigas de Concreto Submetidas à Flexão

Fernanda Menegazzi¹, Jhulis Marina Carelli², Maiara Foiato³

¹Universidade do Oeste de Santa Catarina/ Menegazzi_nanda@hotmail.com

^{2,3}Universidade do Oeste de Santa Catarina/ jhulis.carelli@unoesc.edu.br; maiara.foiato@unoesc.edu.br

Resumo

A construção civil está em constante processo de desenvolvimento, buscando por novas tecnologias, materiais e processos de execução, procurando melhores resultados, custos reduzidos, aliados à preservação do meio ambiente, para assim conseguir atender as exigências de mercado. Diante disso, inúmeras pesquisas são realizadas diariamente com o propósito de verificar a possibilidade de se empregar diferentes materiais nas construções, tendo um olhar cada vez mais voltado para construções sustentáveis. O bambu tem sido estudado, por apresentar boas características mecânicas, ser um material renovável de baixo custo e de fácil obtenção, podendo substituir totalmente ou parcialmente o aço utilizado nas estruturas em concreto armado. O objetivo desta pesquisa é estudar a utilização de taliscas de bambu de diferentes origens em substituição ao aço na região tracionada de vigas de concreto submetidas à flexão. Primeiramente colheu-se bambus de mesma espécie em diferentes locais no oeste catarinense e verificou-se a resistência mecânica de taliscas ensaiadas à tração, a partir dos resultados obtidos, realizou-se o dimensionamento de vigas de concreto com a utilização de taliscas de bambu como substituição ao aço na região tracionada, avaliando o desempenho dos bambus das diferentes localidades. Por fim, concretou-se quatro vigas, sendo duas com reforço de bambu de uma localidade e duas com reforço de bambu de outra região, as quais foram ensaiadas à flexão, onde avaliou-se a carga de ruptura das vigas, as fissuras e os deslocamentos máximos.

Palavras-chave

Bambu; Vigas; Resistência à tração; Sustentabilidade.

1 Introdução

A indústria da construção civil é uma das atividades humanas que mais consome recursos naturais e gera uma enorme quantidade de resíduos e poluição todos os dias. Há anos vem surgindo a preocupação pelo estudo e pesquisa de novas técnicas, processos, materiais alternativos, renováveis, com baixo custo, que possam ser empregados nas construções, voltando a nossa atenção cada vez mais para a preservação ambiental, através de construções sustentáveis e ecológicas, a fim de se reduzir aos poucos os grandes impactos ambientais gerados pela construção civil.

O bambu por apresentar boas características mecânicas, ser um material renovável, com crescimento rápido, de baixo custo e de fácil obtenção, vem sendo estudado por muitos pesquisadores e tem se demonstrado um material alternativo para as construções, podendo substituir totalmente ou parcialmente o aço utilizado nas estruturas em concreto armado, em função da sua boa resistência à tração.

Apesar de muitas pesquisas já terem sido realizadas, poucas conclusões se tem com relação à utilização do bambu nas construções, o que o torna pouco difundido no ramo e limita o seu uso, pela falta de normatização e resultados claros que permitam e incentivem o seu emprego.

Essa pesquisa tem por objetivo estudar vigas em concreto armado, substituindo o aço da região tracionada por taliscas de bambu, a fim de avaliar o comportamento estrutural desses elementos, comparando com o comportamento de vigas convencionais em concreto armado, e verificar qual a possibilidade e viabilidade do seu uso em estruturas de concreto armado.

2 Referencial Teórico

Bambu é o nome que se dá às plantas da subfamília Bambusoideae, da família das gramíneas. Essa subfamília se subdivide em duas; a Bambuseae (os bambus chamados de lenhosos) e a Olyrae (os bambus chamados de herbáceos). É um material eco sustentável, possui facilidade de cultivo, manejo e produção de insumos, bem como possibilita a diminuição considerável com gastos de energia (NOGUEIRA, 2009).

As principais características do bambu são sua alta produtividade e rápido desenvolvimento, em menos de três anos, elevada mecânica estrutural, forma tabular acabada, estabilidade estrutural, baixa massa específica e geometria circular oca (BOCHNIE, 2013).

De acordo com Silva (2007), o bambu é constituído pelo colmo (tipo de tronco, parte aérea da planta) e na parte subterrânea por rizomas (também tipo de caule) e raízes.

Segundo Murad (2011), as experiências realizadas mostram que o bambu se combina a qualquer outro tipo de material, sendo possível seu uso na construção de lajes, vigas e pilares de concreto leve, como uma alternativa para a substituição do aço e reduzindo assim o custo da obra. As principais vantagens do bambu quando empregado como reforço ao concreto são: baixa energia por unidade de tensão (comparado com o aço) e alta resistência à tração.

Para uso na construção civil, o bambu maduro é o que apresenta melhores características de resistência e é, portanto o apropriado para ser utilizado com fins construtivos. O grau máximo de sazonalidade é atingido em um período que varia de 3 a 5 anos após seu nascimento. Apresentam-se certas características na planta por meio das quais se reconhecem os colmos maduros e levando-as em consideração se procede ao corte. A maioria dos bambus imaturos apresentam cor verde forte, superfície macia, brácteas (folhas originadas nos nós que envolvem o broto como proteção) ainda aderidas, uma fina penugem branca cerosa que se desprende facilmente e poucos galhos no talo (MURAD, 2011).

Para o bom desempenho do bambu na construção, é necessário tomar certos cuidados. No caso de uma concretagem com bambu, é preciso evitar a presença de ar no interior da massa, o que evitará rachaduras após a secagem. Depois, todo processo é idêntico ao tradicional. Os caules do bambu podem ser empregados inteiros ou em lascas. (BACH et al, 2009).

De acordo com Murad (2011), os bambus, quando ainda nas touceiras, têm umidade elevada, devido à seiva ou líquido condutor das substâncias nutritivas. Esta umidade deve ser reduzida até um valor de 10 a 15%, minimizando a contração ou

dilatação pela variação da umidade, ocorrendo melhora das propriedades mecânicas do bambu devido à difícil sobrevivência de organismos nocivos.

Murad (2011) mostra que para realizar a secagem do bambu existem alguns métodos que podem ser utilizados, tais como a secagem ao ar (2 a 8 semanas), secagem em estufa e secagem ao fogo.

Como todo material natural o bambu tem alterações em suas características mecânicas devido a uma infinidade de fatores como a espécie, idade da planta, tempo de corte e fatores que fogem ao controle humano, como condições climáticas, teor de umidade e solo do bambuzal. A idade, a espécie e região do colmo são as variáveis mais importantes para a determinação de suas propriedades (MURAD, 2011).

Pesquisadores já estudaram as propriedades mecânicas do bambu. Na literatura, é possível encontrar muitos valores, no entanto, dificilmente encontra-se o mesmo resultado para dois autores diferentes. A divergência entre valores se dá, principalmente, por não existir normas para a realização dos ensaios, ficando a cargo de cada pesquisador executar o ensaio, de acordo com o que achar mais apropriado e pelo fato do bambu ser um material natural, ele é, conseqüentemente, um material heterogêneo (FERREIRA, 2002).

Devido a sua alta resistência à tração, Ghavami (1995, apud FERREIRA, 2002) recomendou o uso do bambu como um material alternativo, substituindo o aço, como reforço em peças de concreto. Para o autor, as melhores espécies para este fim são *Bambusa vulgaris* e *Dendrocalamus giganteus*, com 170 MPa e 135 MPa de resistência a tração.

Segundo Beraldo et al (2003, apud MURAD, 2011), a resistência à tração axial do bambu, em algumas espécies, pode atingir 370 MPa, tornando atrativo o uso do bambu como substituto ao aço. Em geral a resistência à tração axial do bambu, com e sem nó, situa-se entre 40 MPa e 215 MPa.

De acordo com Ghavami e Hombeck (1981, apud MURAD, 2011), com a realização de ensaios observou-se que, na maioria dos testes à tração, a ruptura ocorreu próximo ao nó, e que a parte basal apresentou maior carga de ruptura por ter maior seção transversal.

3 Materiais e Métodos

Para a realização desta pesquisa, confeccionou-se 4 vigas em concreto reforçado na região tracionada, sendo 2 com bambu da cidade de Joaçaba – SC (Localidade A) e 2 reforçadas com bambu da cidade de Jaborá – SC (Localidade B).

Os materiais utilizados para a confecção do concreto das vigas foram CP V – ARI RS, pois sua elevada resistência inicial favorecem a redução de tempo para desforma das peças, areia natural e pedrisco. O concreto empregado foi produzido com traço 1:3:3:0,70, sendo respectivamente, cimento, areia, pedrisco e água, objetivando atingir a resistência mínima de 20 MPa.

3.1 Bambu

Para a coleta dos bambus, realizaram-se todas as prescrições citadas pelas bibliografias. No mês de junho fez-se a coleta dos colmos, com idade maior que três anos, avaliação feita observando sua coloração mais amarelada e pela não presença de

folhagens nos nós. Na Figura 1 (a) é possível observar colmos com a presença de algumas folhagens nos nós e outros com a cor um pouco mais amarelada e que não apresentam nenhum tipo de folhagem. Para a coleta dos colmos, procurou-se realizá-la antes do amanhecer, com corte ligeiramente acima do primeiro nó, como pode ser observado pela Figura 1 (b).

Após a colheita, cortou-se os colmos em talos de aproximadamente 3,5 m e realizou-se a secagem ao ar até obter a umidade desejada, em torno de 12 a 20%, que foi controlada através de pesagens ao longo da secagem. Ambos os bambus foram classificados como da família Poaceae, gênero *Bambusa*.

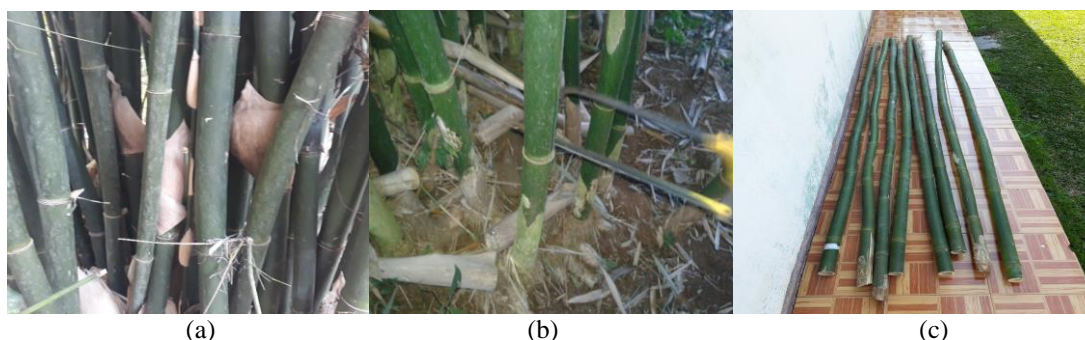


Figura 1: Coleta dos bambus – (a) presença de folhagens em colmos novos; (b) corte dos colmos; (c) secagem ao ar das amostras

3.1.1 Resistência à tração do bambu

Para a realização do ensaio de tração foram analisados 3 corpos de prova para cada região do colmo (base, meio e topo) em 3 corpos de prova com nó, situados entre a base e o meio e entre o meio e o topo.

Para a confecção do corpo de prova, cortou-se os colmos com o comprimento do interno, e em seguida cortou-se os bambus em taliscas com seção variada. A largura na parte central foi reduzida a fim de direcionar a provável ruptura durante os ensaios e impedir que houvesse antes a ruptura por esmagamento das extremidades em contato com a prensa, como pode ser visto na Figura 2 (a).



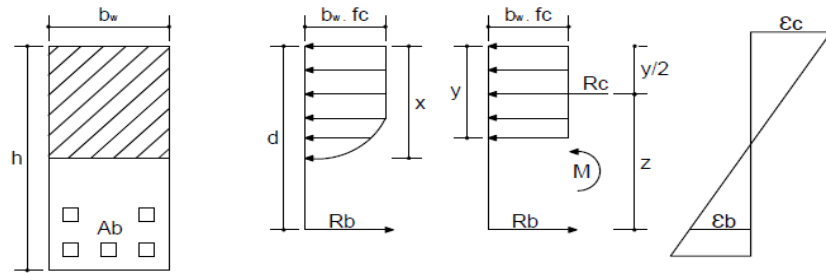
Figura 2: Ensaio de tração – (a) corpos de prova de bambu; (b) rompimento do corpo de prova

O equipamento utilizado para a realização dos ensaios permitia apenas a extração da carga de ruptura, não tendo sido possível coletar nenhum dado relacionado à deformação do material durante o ensaio. Por esta razão, para a determinação de

capacidade de carga teórica das vigas, a deformação de ruptura do bambu considerada nos cálculos foi de 2,63‰, determinado em estudo realizado por Lima Jr et al. (2010).

3.2 Dimensionamento

As hipóteses apresentadas seguem os critérios definidos no item 17.2.2 da NBR 6118 (ABNT, 2014).



b_w = largura da viga
 h = altura da viga
 A_b = área de bambu
 ϵ_c = deformação do concreto

ϵ_b = deformação do bambu
 d = altura útil da viga
 f_c = resistência a compressão do concreto

R_c = Resultantes de força no concreto
 R_b = Resultante de força no bambu
 M = Momento fletor atuante

Figura 3: Esforços internos e deformações de uma seção retangular submetida à flexão simples

Através dos ensaios de tração realizados com as espécies de bambu, obteve-se a resistência à tração média de cada origem, que foi utilizada nos cálculos para determinar a área necessária de bambu capaz de gerar uma deformação do concreto que ficasse próxima a 2‰, ou seja, em escoamento.

3.3 Vigas

Para a confecção das vigas adotou-se como seção 12 cm de largura, 25 cm de altura e 200 cm de comprimento. Como porta estribos foram utilizados $2\phi 5.0$ mm e os estribos foram espaçados a cada 12,5 cm, para que não ocorresse a ruptura por cisalhamento.

A partir dos resultados obtidos com o ensaio de resistência à tração dos bambus foi possível fazer o dimensionamento das vigas. O reforço à tração das vigas foi composto de 5 taliscas de bambu com seção transversal de 1,5 cm de largura e 1,5 cm de espessura, com a parte externa do colmo posicionada para baixo, pois esta é a parte mais resistente.

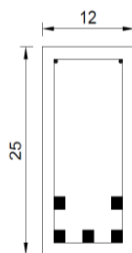


Figura 4: Detalhe posicionamento das armaduras

Após a concretagem das vigas realizou-se o adensamento utilizando uma mesa vibratória com tempo idêntico de vibração para todas. Confeccionou-se dois corpos de prova para cada viga realizada, com o intuito de avaliar a resistência à compressão do concreto empregado. O rompimento dos corpos de prova deu-se no dia em que as vigas foram ensaiadas à flexão. Não foi realizada nenhuma técnica para o incremento de aderência entre o concreto e o bambu, visto que os nós deixados nas taliscas contribuem para a aderência concreto/bambu.



Figura 5: Confeção das vigas – (a) formas posicionadas sobre a mesa vibratória; (b) detalhe da armadura com bambu

Todas as vigas foram desmoldadas 2 dias após a concretagem e submetidas ao ensaio de flexão a 4 pontos aos 9 dias de idade. Com este ensaio pode-se obter a carga da primeira fissura visível e a de ruptura das vigas. Pode-se ainda visualizar a fissuração em estágios de carga pré-estabelecidos e medir os deslocamentos máximos através de leitores de deslocamentos - LVDT's - acoplados no centro das vigas, em ambos os lados, dispostos de maneira a não considerarem os deslocamentos dos apoios (Figura 6).

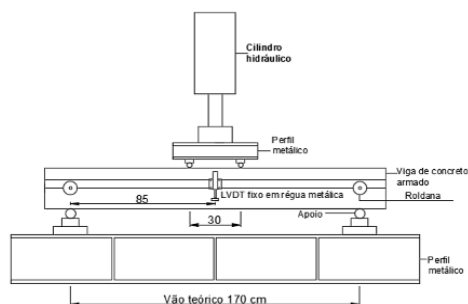


Figura 6: Esquema representativo do ensaio à flexão

4 Análise dos Resultados

Com os ensaios realizados no bambu foi possível a obtenção da sua resistência à tração, sendo esta essencial para o dimensionamento das vigas, objeto deste estudo. Dividiu-se os bambus das duas diferentes origens em: Localidade A e Localidade B.

Na Tabela 1 apresentados os valores médios referentes ao ensaio de tração, na região com nó e sem nó dos colmos, além da resistência média obtida com todos os corpos de prova.

	Com nó (MPa)	Sem nó (MPa)	Média Geral (MPa)
Localidade A	138,05	177,37	161,05
Localidade B	118,00	198,30	166,02

Tabela 1 - Resistência à tração dos bambus

Para as vigas utilizou-se a mesma nomenclatura dos bambus. As vigas V1A e V2A possuem reforço de bambu extraídos da localidade A, já as vigas, V1B e V2B, referem-se à localidade B.

Os resultados de resistência à compressão do concreto, as cargas de fissuração e de ruptura teóricas, assim como o carregamento em que surgiu a primeira fissura visível e a carga de ruptura das vigas ensaiadas estão expostos na Tabela 2 e Tabela 3.

Viga	Carga da primeira fissura real (kgf)	Carga de fissuração teórica (kgf)	Carga de ruptura real (kgf)	Carga de ruptura teórica (kgf)	Resistência à compressão (MPa)
V1A	1270		6463		
V2A	1280	1381	6474	9086	25,2
Média	1275		6468		

Tabela 2 - Resultado das vigas da localidade A

Nota-se que a carga da primeira fissura visível foi similar para todas as vigas, divergindo em média 7% da carga de fissuração teórica. Quanto à carga de ruptura nas vigas V1A e V2A o resultado foi muito próximo, havendo variação menor do que 0,2% de uma viga para outra.

Viga	Carga da primeira fissura real (kgf)	Carga de fissuração teórica (kgf)	Carga de ruptura real (kgf)	Carga de ruptura teórica (kgf)	Resistência à compressão (MPa)
V1B	1300		5765		
V2B	1230	1462	5542	9438	27,5
Média	1265		5653		

Tabela 3 - Resultado das vigas da localidade B

A carga da primeira fissura visível, das vigas V1B e V2B, da mesma forma que as vigas (V1A e V2A), também apresentaram valores muito próximos, resultando em 12% de diferença em relação à carga de fissuração teórica. Com relação à carga de ruptura das vigas, estas apresentaram uma diferença entre si, com diminuição de aproximadamente 4% da V1B para a V2B, já a variação da carga de ruptura real com a carga de ruptura teórica apresentou diferença de aproximadamente 40%.

Realizando uma comparação entre as duas localidades, as vigas da localidade A apresentaram melhores resultados do que a localidade B, indicando uma diferença de 12% quanto à carga de ruptura média real, demonstrando-se inversamente proporcional aos resultados dos bambus à tração. Esta diferença pode ser explicada por não se ter os dados de elasticidade de cada bambu, visto que um pode ser mais elástico do que o outro, o que pode ter impactado nos resultados finais.

Todas as vigas atingiram a ruptura por alongamento excessivo do reforço de bambu, sempre com capacidade teórica superior à capacidade de ensaio. Essa variação entre a capacidade teórica e a real, pode se dar em função de ter sido utilizado valores

aproximados, no que diz respeito à deformação do bambu, e ainda existe a variabilidade da resistência das taliscas de bambu ao longo do colmo, sendo que para fins de cálculo utilizou-se a média geral.

4.1 Propagação das fissuras

Para marcações de aberturas e da propagação de fissuras nas vigas durante o ensaio, foram estabelecidos pontos de carregamento, a cada 350 kgf, identificados por números sequenciais, iniciando com o número 2 correspondente à carga de 1500 kgf. A primeira fissura foi numerada como 1 assim que sua visualização ocorreu.

A Figura 7 refere-se a fissuração das vigas V1A e V2A, obtida logo após o término do ensaio.

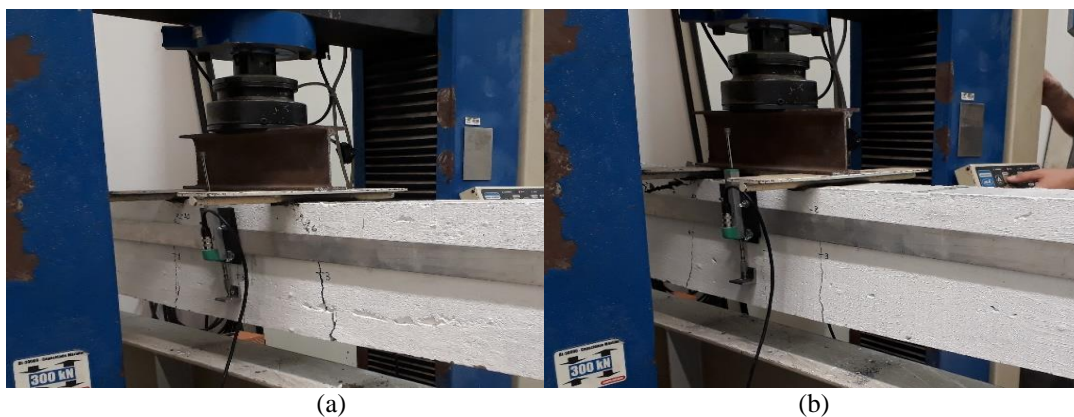


Figura 7: Fissuras após o término do ensaio

Analisando as vigas entre si, com relação à fissuração, pode-se observar que todas tiveram comportamento semelhante. As fissuras se deram em três pontos, uma no centro do vão (1ª fissura), onde ocorre o maior momento fletor e as outras duas, próximas aos locais de aplicação da carga.

As vigas V1B e V2B também, apresentaram um comportamento de fissuras muito similar entre si, que pode ser observado na Figura 8.



Figura 8: Fissuras após o término do ensaio

Pode-se notar que a primeira fissura visível apareceu próximo ao centro do vão, como pode ser visto pelos pontos destacados na Figura 8 e na sequência, com um carregamento mais elevado, surgiram as outras duas fissuras presentes nas vigas, logo

abaixo do ponto de aplicação das cargas. Esse comportamento similar das fissuras entre as vigas, demonstra o desempenho uniforme do bambu, o que confirma sua viabilidade de utilização como material alternativo em construções.

Na Figura 9 é possível visualizar os bambus após o rompimento das vigas.

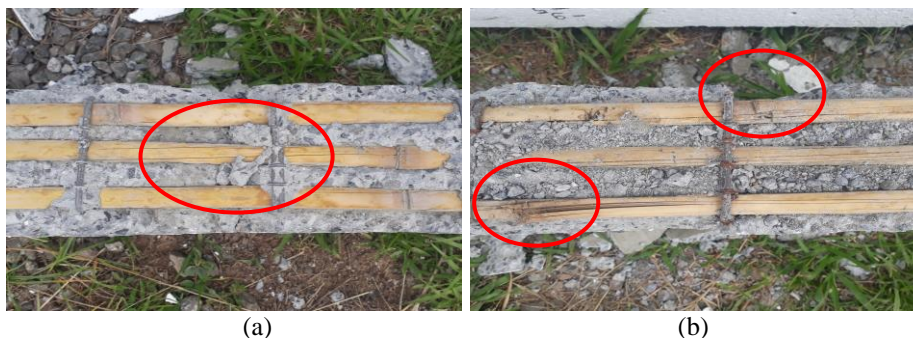


Figura 9: Rompimento do bambu – (a) Localidade A; (b) Localidade B

O rompimento do bambu deu-se próximo aos locais de abertura das fissuras, sendo que em praticamente todas as vigas da localidade A não houve o rompimento no nó, mas sim um alongamento excessivo das fibras do bambu, indicando possivelmente maior elasticidade desse bambu. Já para a localidade B o rompimento ocorreu no nó, parte mais frágil do colmo, demonstrando-se menos elástico portanto.

4.2 Deslocamento

Os valores dos deslocamentos entre os dois lados de cada viga apresentaram-se muito semelhantes, sendo então, para fins de comparação, considerado apenas o deslocamento em um dos lados de cada uma das vigas.

Na Figura 10, observa-se o comportamento dos deslocamentos no centro de todas as vigas em função da carga aplicada durante o ensaio.

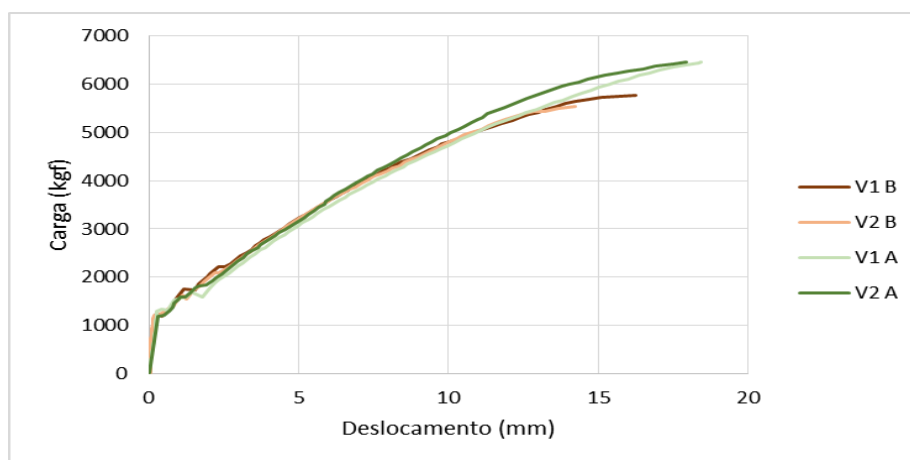


Figura 10: Carga x Deslocamento de todas as vigas

É possível notar que o comportamento das vigas V1A e V2A, foram muito parecidos quanto ao deslocamento. Para a mesma aplicação de carga, observa-se, que a

V1A tem um deslocamento ligeiramente maior do que V2A, em praticamente todo o tempo.

O desempenho das vigas V1B e V2B foram praticamente idênticos, não havendo variação a partir dos 2000 kgf até próximo aos 5500 kgf, sendo que a V1B apresentou maior deslocamento final pois teve maior capacidade de carga.

Avaliando os resultados em um ponto de carregamento específico (em uma carga intermediária do ensaio, em torno de 3500 kgf), a maior diferença entre as deformações de todas as vigas foi de 4%, demonstrando um comportamento quanto ao deslocamento muito similar entre todas as vigas, não existindo variação significativa que interferisse no resultado final. A maior variação no deslocamento ocorreu a partir dos 5000 kgf, mais próximo ao final do ensaio.

5 Considerações Finais

Este estudo permite concluir, diante das condições avaliadas, que o bambu realmente pode ser utilizado como material alternativo às construções em concreto armado, pois apresentou comportamento resistente à tração, contribuiu para que a fissuração e o deslocamento fossem contidos ao longo do carregamento.

Pode-se observar também, que o comportamento das vigas foi semelhante com relação aos deslocamentos e fissuração, todavia a capacidade de carga teve variação de 12 % entre as localidades, indicando assim, que as diferentes origens dos bambus influenciam nas propriedades de elasticidade e resistência, mesmo sendo de uma mesma espécie.

Contudo, as vigas ensaiadas nesta pesquisa apresentaram capacidade de carga de aproximadamente 40 % inferiores às capacidades teóricas. Uma hipótese para este fato é a utilização de valores aproximados referente à deformação do bambu, por não se ter dados exatos de deformação desta espécie de bambu, além da não homogeneidade da resistência à tração ao longo do colmo, por se tratar de um material natural e que apresenta variabilidade nas suas propriedades.

Essa variação entre a capacidade de carga real e teórica, no entanto, poderia ser diminuída com a utilização de coeficientes de segurança, que não foram utilizados neste estudo.

É importante ressaltar também, que o bom desempenho do bambu depende da boa aderência entre a armadura de bambu e o concreto, que foi conferida através dos nós presentes nas taliscas, o que dispensou a utilização de outros meios.

6 Referências

- BACH, Camila et al. **Uso do Bambu na Construção Civil**, Curitiba, 2009. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAayasAA/uso-bambu-na-construcao-civil>>. Acesso em: 17 de janeiro de 2018.
- BOCHNIE, Lucas L. BRUN, Mateus G. **O Bambu em Substituição ao Aço: Notas de Aulas**. Universidade Federal do Paraná. 2013.
- FERREIRA, Gisleiva Cristina dos Santos. **Vigas de Concreto Armadas com Bambu**. 2002. 164f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, Faculdade de Engenharia Civil, Campinas, 2002.



LIMA JR, Humberto C. et al. **Análise Mecânica de Pilares Mistos Bambu – Concreto.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.14, n.5, 2010. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662010000500013> Acesso em: 24 de novembro de 2017.

MURAD, José Roberto de Lima. **Estudo Experimental das Propriedades Físicas, Mecânicas e Aplicações Estruturais do Bambu *Guadua Spp* de Assis Brasil – AC.** 2011. 203f. Tese (doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2011.

NOGUEIRA, Fernanda de Melo. **Bamnucon – Bambu Reforçado com Microconcreto Armado.** 2009. 42f. Monografia (Especialização em Construção Civil) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009.

SILVA, Osvaldo Ferreira. **Estudo Sobre a Substituição do Aço Liso pelo Bambusa Vulgaris, como Reforço em Vigas de Concreto, para o Uso em Construções Rurais.** 2007. 167f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2007.