

ESTUDO PRELIMINAR DO USO DE BAMBU COMO ELEMENTO ESTRUTURAL EM PAVIMENTAÇÃO COM CONCRETO

Antônio Ludovico Beraldo¹, Gisleiva C. S. Ferreira², José L. P. Brittes³, Eduardo Nunes⁴

RESUMO: No presente trabalho apresenta-se um estudo desenvolvido para avaliar a aplicação de bambu como elemento estrutural em pavimentação de concreto. A proposta foi aplicar peças de bambu na estrutura da pavimentação, reduzindo-se o consumo de cimento. Além disso, buscou-se obter resistência adequada à compressão e a redução do peso, que é também um benefício complementar, em termos de custos e logística de transporte. Os resultados obtidos no ensaio de compressão, com fator de substituição de 8,9%, situaram-se próximos àqueles obtidos nas testemunhas, de modo que o estudo aponta para a viabilidade técnica da utilização do bambu com elemento estrutural para a confecção de bloquetes de concreto.

Palavras-chave: Pavimentação, bambu, bloquetes.

A PRELIMINARE STUDY OF THE USE OF BAMBOO AS A STRUCTURAL ELEMENT IN CONCRETE PAVING

ABSTRACT: *This paper presents a study developed to evaluate the use of bamboo peaces as a structural element in concrete paving. The proposal was to use pieces of bamboo in the structure of the pavement , reducing the consumption of cement. In addition, it was attempted to obtain an adequate resistance to compression and the reduction of weight, which is also an additional benefit in terms of cost and transportation logistics. The compression test results, with a replacement factor of 8,9%, was close to the ones obtained in the control group, therefore the study indicates the technical viability for the utilization of the bamboo as a structural element for the confection of concrete blocks.*

Key words: Paving, bamboo, blocks.

1 INTRODUÇÃO

O uso de materiais alternativos para a construção civil tem sido foco de estudos e aplicações nos últimos anos, principalmente devido ao impacto ambiental causado por materiais convencionais, como o cimento e o aço. Neste contexto, o bambu tem se mostrado uma alternativa interessante, devido às suas características físicas e por ser um recurso renovável, com alta capacidade de sequestro de carbono.

De acordo com Oliveira (2006), o Brasil tem grande potencial para o cultivo e a exploração de bambus, haja vista que todas as espécies que foram trazidas para o país se adaptaram bem e se comportam como se fossem nativas, formando bosques que se espalham por todo o país. As espécies mais importantes pertencem aos gêneros *Bambusa*, *Dendrocalamus* e *Phyllostachys* e outras

menos comuns, como as *Gigantochloa*, *Melocanna* e *Guadua*.

Na literatura, encontram-se estudos voltados para a aplicação do bambu, como o bambu laminado colado (BLC) (BARELLI, 2009; OSTAPIV, 2007; RIVERO, 2003), o uso estrutural na construção civil (FERREIRA, 2007; OLIVEIRA, 2006; RIBEIRO, 2008) e formas de tratamento (ESPELHO, 2007). Entretanto, o uso de peças de bambu para compor blocos de pavimentação ainda carece de trabalhos.

Segundo Ferreira (2007), a resistência à compressão axial do bambu situa-se entre 31 MPa a 72 MPa, sendo os valores mais elevados observados em colmos maduros. Por outro lado, a norma brasileira NBR 9781 (ABNT, 1987) afirma que a resistência à compressão dos blocos deve ser de 35 MPa para tráfego de veículos comerciais de linha e, para solicitações de

¹Engenheiro Agrícola, Professor Dr. em Materiais e Estruturas – Laboratório de Materiais e Estruturas/LME – Universidade Estadual de Campinas/Unicamp – 19 35212900 – Campinas, SP – beraldo@feagri.unicamp.br

²Engenheira Agrícola, Professora Dra. em Materiais e Estruturas – Laboratório de Materiais e Estruturas/LME – Universidade Estadual de Campinas/Unicamp – 19 35211050 – Campinas, SP – gisleiva@feagri.unicamp.br

³Engenheiro Eletricista, Dr. em Automação – Companhia Paulista de Força e Luz, 19 – 37565234 – Campinas, SP – jlpbrittes@cpfl.com.br

⁴Engenheiro Eletricista, Msc. em Automação Agrícola – Universidade Estadual de Campinas/Unicamp, 19 – 92144486 – Campinas, SP – eduardo@expertise-eng.com.br

veículos especiais, 50 MPa, devendo o método de cálculo deve seguir a NBR 9780 (ABNT, 1987). Ou seja, a princípio, o uso do bambu como elemento estrutural de blocos de pavimentação pode ser uma alternativa viável para tal aplicação.

Este trabalho foi realizado com o objetivo de estudar a aplicação do bambu gigante (*Dendrocalamus giganteus* Munro) como elemento estrutural para a confecção de pavimentação (bloquetes), a fim de se verificar potenciais vantagens técnico-econômicas dessa aplicação em razão da redução de volume de cimento, em comparação aos bloquetes convencionais de concreto. Verificaram-se, neste trabalho, os diferentes arranjos construtivos e a diminuição da densidade dos elementos versus o desempenho mecânico e o desempenho desses arranjos com e sem substância aderente.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Para um primeiro estudo prospectivo da viabilidade técnica de redução do volume de concreto de bloquetes de pavimentação, definiu-se elaborar arranjos diferentes de peças de bambu *D. giganteus*, maduro (5 anos), cortadas em anéis ao longo de todo o colmo, a partir de um certo diâmetro compatível com a largura do bloquete, que é de 10 cm. Foram selecionados dois tipos de peças com diâmetro médio de 7 cm e 2,5 cm; um grupo foi cortado nos internós e outro nos nós, com o diafragma faceando a peça.

Foram propostas quatro configurações típicas (Figura 1), com arranjos distintos da peças, no intuito de distribuir o volume de bambu ao longo do volume de concreto e garantir área ortogonal ao esforço para se

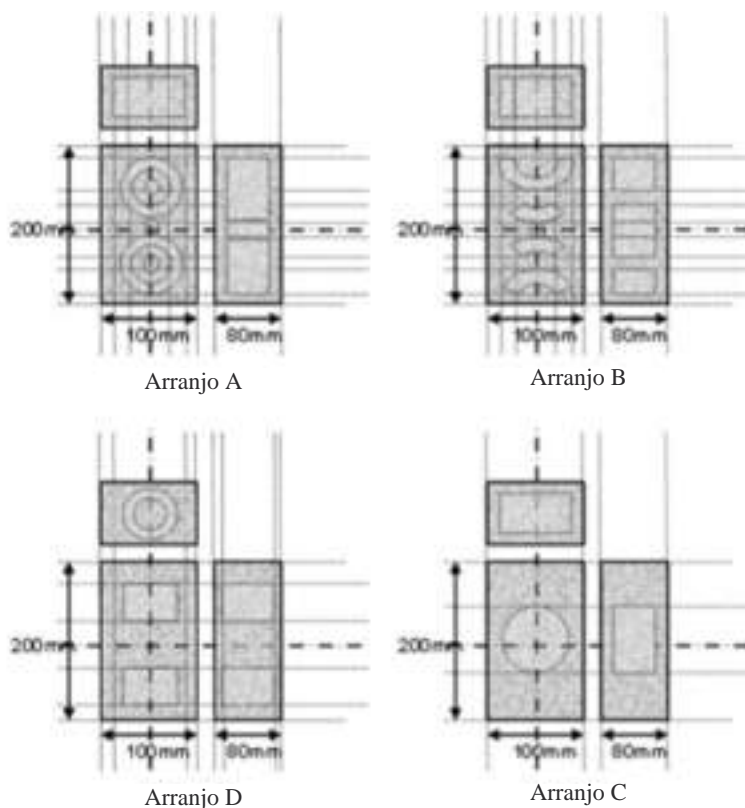


Figura 1 – Arranjos de peças de bambu como elementos estruturais redutores do volume de concreto em bloquetes.

Figura 1 – Arrangements of pieces of bamboo as structural elements in reducing the volume of concrete in blocks

testar o desempenho com peças nas direções transversal e longitudinal. Procurou-se deixar sempre, no mínimo, 2 cm de concreto de recobrimento entre o bambu e a face do bloquete.

Na preparação das peças (Figura 2) definiu-se produzir oito grupos assim classificados:

- Grupo 0 – bloco inteiro de concreto (testemunha);
- Grupo 1 – arranjo A, com reforço aderente utilizando adesivo estrutural à base de epóxi com areia média para envolver as peças, pré-ligadas por fita adesiva e passar o conjunto ainda molhado em areia média. Total de 6 unidades;
- Grupo 2 – arranjo B, com mesmo tratamento do grupo 1. Total de 6 unidades;
- Grupo 3 – arranjo A, sem aderente. Total de 6 unidades;
- Grupo 4 – arranjo B sem aderente. Total de 6 unidades;
- Grupo 5 – arranjo C com mesmo tratamento do grupo 1. Total de 4 unidades;
- Grupo 6 – arranjo C sem aderente. Total de 4 unidades;
- Grupo 7 – arranjo D com mesmo tratamento do grupo 1. Total de 1 unidade;
- Grupo 8 – arranjo D sem aderente. Total de 1 unidade.

A razão de se reduzir o número de peças nos grupos 5, 6, 7 e 8 deve-se ao caráter prospectivo da

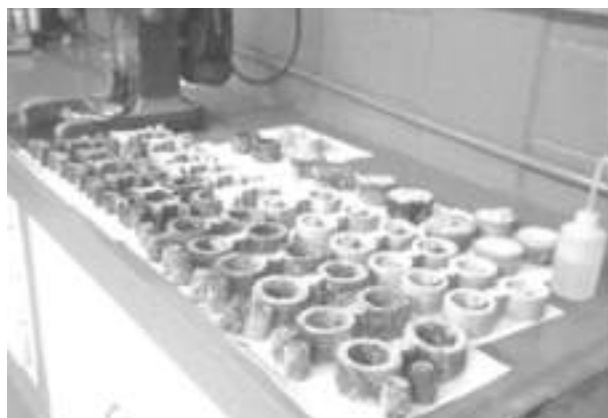


Figura 2 – Preparação das peças de bambu para inserção nos bloquetes.

Figura 2 – Preparation of pieces of bamboo for inclusion in blocks

pesquisa e esses arranjos, em princípio menos eficientes do que os grupos anteriores, deveriam servir apenas para uma investigação preliminar.

O concreto utilizado foi determinado para que se evidenciasse o trabalho conjunto concreto/bambu. É sabido que o traço para pavimentação intertravada deve ser tal que o bloquete suporte, no mínimo, 35 MPa de compressão (tráfego convencional). No entanto, neste experimento, o traço foi determinado para uma compressão da ordem de 15 a 20 MPa, uma vez que, segundo Ghavami e Marinho (2001) apud Souza et al. (2007), o módulo de compressão do *D.giganteus* é da ordem de 20 MPa a 170 MPa. Assim, o traço (em massa) foi de 1:3:2:0,6 – (cimento:areia:bambu:água/cimento).

No processo de concretagem das unidades, empregou-se betoneira sobre mesa vibratória com forma dormida (Figura 3). Foi utilizado Cimento Portland ARI, com areia fina e pedrisco basáltico.

Na forma confeccionada para a concretagem, utilizou-se compensado de reflorestamento sem resina, o que prejudicou a estrutura do bloquete pela absorção de água da mistura, mesmo após a aplicação de várias demãos de Desmol. Observou-se também que os bloquetes ficaram com a superfície um pouco desagregável, possivelmente causado pela interação de compostos da madeira com o concreto.

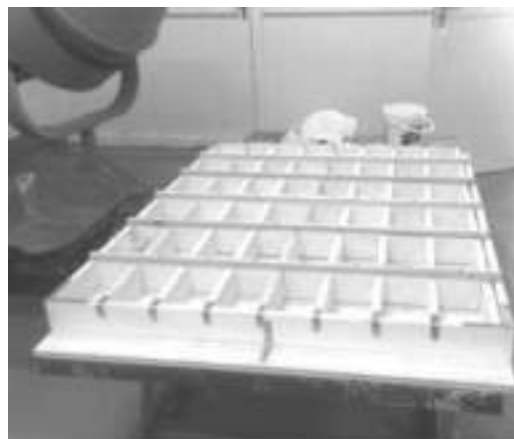


Figura 3 – Mesa vibratória e fôrma para a confecção dos corpos-de-prova.

Figura 3 – Vibrating table and mold for making specimens

A concretagem dos corpos-de-prova foi realizada simultaneamente para as 42 unidades. Neste processo, recomenda-se muito cuidado na vibração do concreto, devido à grande diferença de densidade entre o concreto e o bambu, que tende a subir com a vibração.

Na Figura 4, observa-se a identificação dos corpos-de-prova (CP) e a disposição na forma. Os arranjos em preto representam os bambus que foram embebidos no aderente; já em marrom estão aqueles confeccionados sem aplicação de aderente.

No sétimo dia de cura, os bloquetes foram retirados da fôrma; em seguida, aplicou-se uma camada de enxofre, para a homogeneização da face superior, antes de realizar-se o ensaio de compressão axial. O ensaio foi conduzido em uma prensa hidráulica, modelo Emic DL3000N, utilizando-se placas de transferência circular com diâmetro de 8,8 cm, para distribuir homogeneamente os esforços.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Fator de substituição

Inicialmente, determinou-se o volume dos quatro arranjos de bambu, a fim de se obter o fator de substituição de concreto. Na Tabela 1, têm-se os volumes para os arranjos, sendo que o tipo 1 (arranjo A) apresenta fator de substituição de 5,1%; o tipo 2 (arranjo B), 8,9%; o tipo 3 (arranjo C), 10,2% e, por fim, o tipo 4 (arranjo D), 20,4%.

Os arranjos C e D apresentam, além do volume do bambu, o volume de ar no interior dos colmos. Também é importante ressaltar que os bloquetes de arranjos com geometria idêntica com aderente e sem aderente foram considerados com volumes idênticos, pois se verificou que a camada da substância epóxi é muito menor em relação às espessuras das peças de bambu.

Nota-se que o arranjo D foi confeccionado de tal forma que as solicitações de compressão são perpendiculares às fibras do bambu, além de permitir alto fator de substituição do concreto, pois o interior desses colmos ficou vazio (com ar).

Dessa forma, calculou-se o fator de substituição de densidade total a partir dos valores do fator de substituição de volume, considerando a seguinte premissa: como a densidade específica do concreto (2,2)

é muito maior do que a do bambu (0,75), assumiu-se que o peso final dos corpos-de-prova deve-se exclusivamente à massa de concreto, desconsiderando por completo a contribuição da massa de bambu. Logo, a densidade total dos corpos-de-prova é função apenas do volume de concreto remanescente.

3.2 Ensaios de compressão

As curvas de tensão versus deformação são apresentadas na Figura 5.

A tensão de ruptura característica de cada corpo-de-prova foi considerada no ponto da primeira inflexão de derivada zero da tensão no decorrer da deformação. Este trabalho foi realizado com o objetivo de avaliar a resposta do conjunto coeso concreto-bambu. Nota-se, em alguns gráficos, que, após a ruptura inicial, alguns corpos-de-prova continuaram a trabalhar elasticamente, porém, acredita-se que isso se deve somente ao trabalho do bambu, não representando mais a resposta do conjunto.

Os dados da Tabela 2 referem-se à média da tensão de ruptura à compressão e o desvio-padrão, seguido do fator de redução de volume e da densidade relativa, normalizada em relação os corpos-de-prova testemunhas.

Na Figura 6, apresentam-se curvas de correlação entre a densidade relativa e a tensão de ruptura.

Os valores seguidos de asteriscos não representam a média, pois ensaiou-se apenas um corpo-de-prova dentro do grupo, devido ao caráter exploratório dos experimentos com os grupos 7 e 8.

Nos grupos 1 e 3 obtiveram-se os melhores resultados, do ponto de vista da proximidade da média da tensão aplicada com o grupo 0 (testemunha). Esses dois grupos representam as variações do arranjo A, com aderente e sem aderente. Entretanto, apresentam uma densidade relativa menor do que a do grupo B, ou seja, mesmo com um volume maior de bambu substituindo o concreto, os corpos-de-prova do arranjo A apresentaram melhor resistência à compressão do que aqueles do arranjo B.

Essa evidência supracitada evocou a investigação da área ortogonal à força aplicada. Recorrendo-se à Tabela 1, tem-se, para o arranjo A, uma área ortogonal de 35,6 cm²; por sua vez, o arranjo B tem uma área de 20,6 cm². Aparentemente, a análise da substituição de

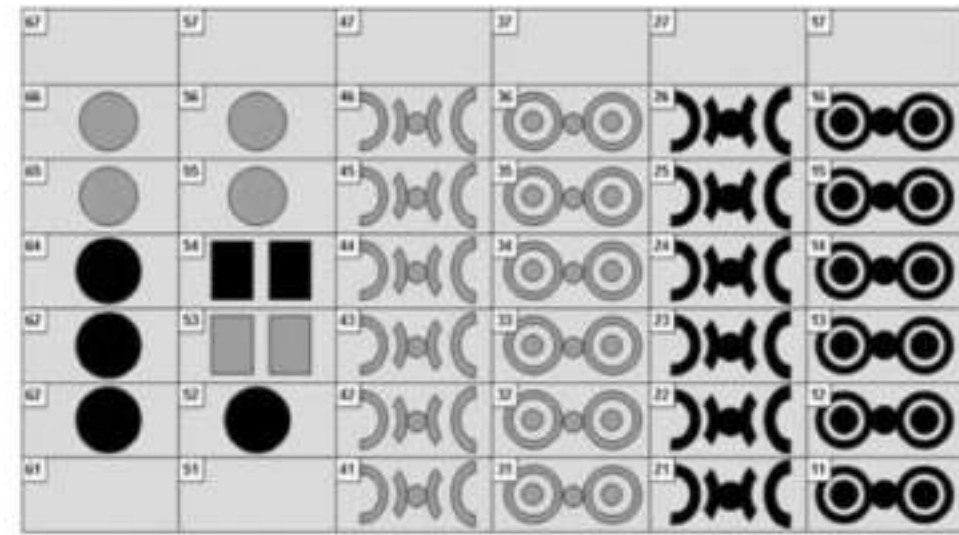


Figura 4 – Identificação dos corpos-de-prova na forma.

Figura 4 – Identification of specimens in the mold

Tabela 1 – Cálculo do fator de substituição bambu versus concreto.

Tabela 1 – Calculation of the substitution bamboo versus concrete

CÁLCULO DA REDUÇÃO DE VOLUME DOS BLOQUETES DE VÁRIOS TIPOS (Dimensões em cm)											
			Tipo 1		Tipo 2		Tipo 3		Tipo 4		
Comprimento Médio do Bloquete	0,2										
Largura Média do Bloquete	0,1 0,0016										
Altura Média do Bloquete	0,08										
Altura Média da Peça	0,04										
Diâmetro Externo Médio do Bambu	0,072 0,000163										
Espessura Média do Bambu	0,0099										
Diâmetro Interno Médio da Peça	0,0621 0,000121										
	0	0,000163	0	0	0	0	1	0,000163	2	0,000326	
	1	4,17E-05	0	0	2	8,34E-05	0	0	0	0	
	0,5	2,09E-05	2	4,17E-05	0	0	0	0	0	0	
	0,25	1,04E-05	2	2,09E-05	0	0	0	0	0	0	
	0,025	1,96E-05	1	1,96E-05	3	5,89E-05	0	0	0	0	
	0,04										
Volume Total do Arranjo			9,21962E-05		0,00014232		0,00016298		0,00032572		
Volume em % de Concreto Retirado do Bloquete			5,1%		8,9%		10,2%		20,4%		

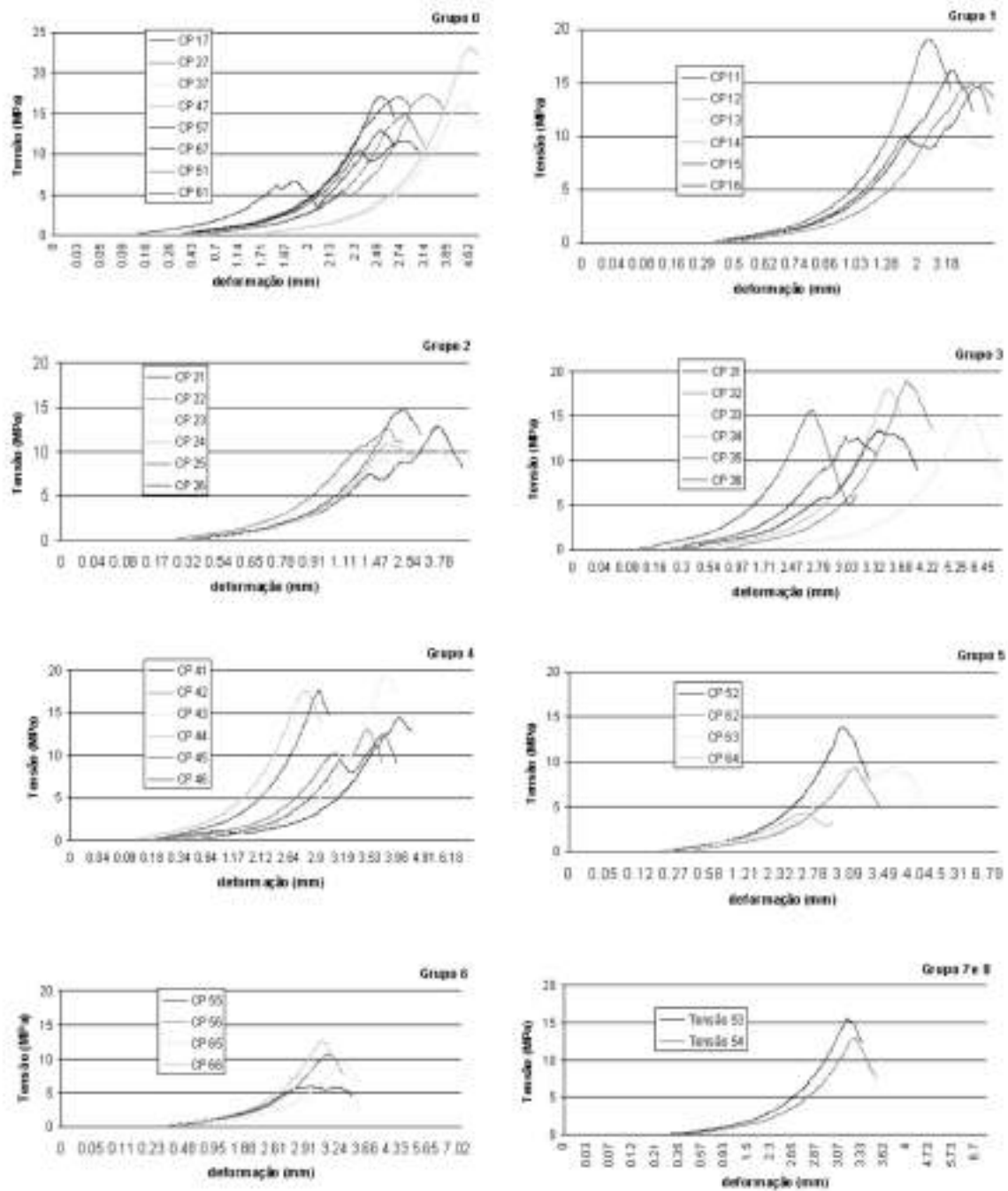
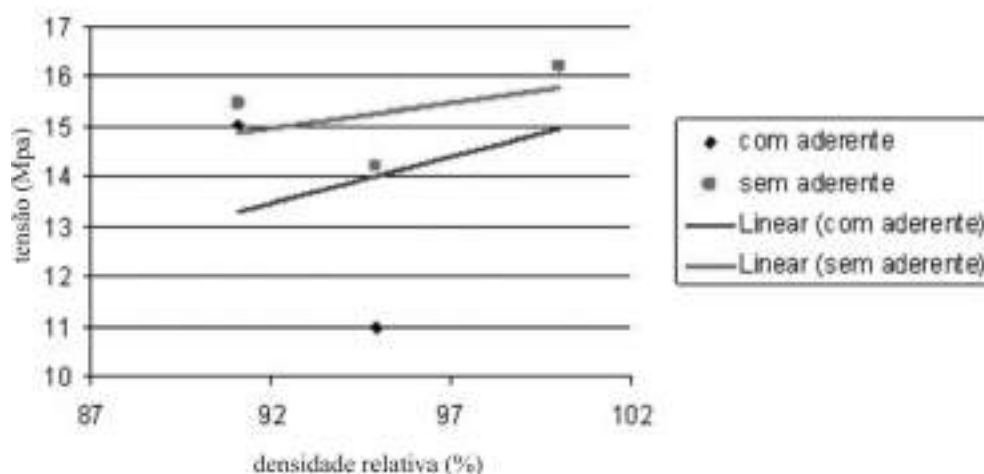


Figura 5 – Gráficos de tensão versus deformação.

Figura 5 – Graphics of stress versus deformation

Tabela 2 – Média da tensão, desvio padrão, redução do volume e densidade relativa para os 8 grupos ensaiados.**Tabela 2** – Average stress, standard deviation, reduction of volume and relative density for eight tested groups

média (MPa)	desvio padrão (MPa)	redução de volume (%)	densidade relativa (%)
16.23	3.46	0.00	100.00
15.03	2.47	8.90	91.10
10.98	2.78	5.10	94.90
15.48	2.46	8.90	91.10
14.21	4.38	5.10	94.90
9.05	3.97	10.20	89.80
9.65	2.79	10.20	89.80
12.87*	-	20.40	79.60
15.54*	-	20.40	79.60

**Figura 6** – Regressão linear da tensão de ruptura pela variação da densidade relativa.**Figura 6** – Linear regression of the ruptures stress against relative density variation

concreto por bambu é mais bem compreendida pela área ortogonal substituída do que pelo volume de concreto substituído.

Por fim, os dados da Tabela 2 evidenciam também que os grupos sem aderente apresentaram melhor resistência em relação aos seus pares de geometria semelhante e com aderente. Se, por um

lado, essa constatação possibilita novas investigações com este mesmo traço utilizado sem a necessidade de aplicar substâncias aderentes, por outro lado fica a ressalva de que, em novas experimentos com traços que proporcionem suportabilidade próxima aos 35 MPa exigidos pela norma, o uso do aderente possivelmente faria diferença, aumentando o desempenho dos bloquetes.

4 CONCLUSÕES

Diante dos resultados e discussões apresentados, pode-se concluir que:

- a substituição de parte do concreto por bambu mostrou-se viável devido ao desempenho dos grupos 1 e 3 em relação à testemunha;

- aparentemente, a resistência à compressão do bloquete encontra-se mais relacionada com a área de bambu ortogonal à força aplicada do que com o volume de concreto substituído;

- para este traço utilizado, o aderente epóxi não influenciou a resistência à compressão.

5 REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9780:** peças de concreto para pavimentação, Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9781:** peças de concreto para pavimentação, determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1987.

BARELLI, B. G. P. **Design para a sustentabilidade:** modelo de cadeia produtiva do bambu laminado colado (BLC) e seus produtos. 2009. 152p. Dissertação (Mestrado em Design) - Universidade Estadual de São Paulo, Bauru, 2009.

ESPELHO, J. C. C. **Tratamento químico de colmos de bambu pelo método de Boucherie modificado.** 2007.

130p. Dissertação (Mestrado em engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007.

FERREIRA, G. C. S. **Vigas de concreto armadas com taliscas de bambu *Dendrocalamus giganteus*.** 2007. 195p. Tese (Doutorado em Arquitetura e Construção) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007.

OLIVEIRA, T. F. C. S. **Sustentabilidade e arquitetura:** uma reflexão sobre o uso do bambu na construção civil. 2006. 136p. Dissertação (Mestrado em Dinâmica do Espaço GHabitado) - Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2006.

OSTAPIV, F. **Análise e melhoria do processo produtivo de tábuas de bambu (*Phyllostachys pubescens*) com foco em pisos.** 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

PEREIRA, M. A. R.; BERALDO, A. L. **Bambu de corpo e alma.** Bauru: Canal6, 2007.

RIBEIRO, M. G. S et al. **Projeto CasaEco:** cartilha da obra da Vila Ecológica. Manaus: HABITARE, 2008.

RIVERO, L. A. **Laminado colado e contraplacado de bambu.** 2003. 99p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade estadual de Campinas. Campinas, 2003.

SOUZA, J. M. F. et al. Resistência à tração e compressão do bambu *Dendrocalamus giganteus* após tratamento de mineralização. In: SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA. UNIVERSIDADE ESTADUAL DE GOIÁS, 5., 2007. Anápolis. **Anais...** Anápolis: UEG, 2007. CD-ROM.