Unisanta Science and Technology, **2018, 3, December**
Published Online 2018 Vol.7 N°2 http://periodicos.unisanta.br/index.php/sat)

UNISANTA
Science and Technology
ISSN 2317-1316

Aplicação do MatLab em Análise de Resistência Mecânica de Compressão Axial do Bambu no Concreto

Greice Hellen de Novaes Barbalho, Dorotea Vilanova Garcia e Juarez Ramos da Silva

UNISANTA–Universidade Santa Cecília–Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica-PPGEMec

Rua Oswaldo Cruz, 266 - Santos-SP, Brasil - CEP: 11045-100

E-mail*: greiceengenharia@gmail.com*
Received august, 2018

Resumo: A aplicação do bambu como suplemento ao concreto vem sendo levado em conta desde o início do século, os resultados alcançados nos trabalhos coordenados em vários países, tem comprovado sua viabilidade como material alternativo de construção. Essa busca por alternativas que degradem menos ou minimizem os impactos ambientais no planeta Terra, tem se tornado uma prática comum em países que estão preocupados com as agressões que ocasionam lesões no Meio Ambiente, onde a exploração de recursos naturais, desmatamento, poluição, contaminação do solo, ar e das águas, contribuem para com esses acometimentos. Nesse sentido há um movimento crescente da sociedade civil, em prol da preservação do meio ambiente, buscando por alternativas e novas técnicas que não apenas minimizem os impactos ambientais, mas também atenuem a exploração exacerbada de insumos, cooperando para um desenvolvimento socioeconômico justo e equilibrado. O emprego do bambu nos diversos campos da Engenharia é uma alternativa para o trajeto deste desenvolvimento, pois esta planta é um excelente sequestrador de carbono, é um material resistente, leve, versátil e com extraordinárias características mecânicas, físicas e químicas, que lhe permitem várias formas de aplicações ao natural ou processadas. Entretanto o maior problema é a falta de parâmetros de cálculo para que essas obras possam ser regulamentadas e, deste modo, serem melhor projetadas e desenvolvidas pelos profissionais responsáveis.
Palavras chave: Viabilidade, Sustentabilidade, Construção civil.

Application of MatLab in Mechanical Strength Analysis of Axial Compression of Bamboo in Concrete

Abstract: The application of bamboo as a supplement to concrete has been taken into account since the beginning of the century, the results achieved in coordinated work in several countries, has proven its viability as an alternative construction material. This search for alternatives that degrade less or minimize environmental impacts on planet Earth has become a common practice in countries that are worried about the aggressions that cause injuries in the environment, where the exploitation of natural resources, deforestation, pollution, soil, air and water, contribute to these problems. In this sense there is a growing movement of civil society, in favor of preserving the environment, seeking alternatives and new techniques that not only minimize environmental impacts, but also reduce the exacerbated exploitation of inputs, cooperating for a fair and balanced socioeconomic development. The use of bamboo in the various fields of Engineering is an alternative to the path of this development, as this plant is an excellent carbon sequestrator, is a durable, lightweight, versatile material with extraordinary mechanical, physical and chemical characteristics that allow it several forms of natural or processed applications. However the biggest problem is the lack of calculation parameters so that these works can be regulated and, in this way, better designed and developed by the responsible professionals.

Keywords: Feasibility, Sustainable, Civil construction
.

1. Introdução

O bambu é predominantemente uma planta adaptada às condições tropicais, sendo um recurso renovável, sua produção é anual, seu crescimento é rápido, pode ser aplicado em diversos setores e possui centenas de espécies alastradas ou entouceiradas. É um dos materiais mais antigos utilizados nas habitações, mas, como material de engenharia civil e arquitetura, seu início ocorreu a partir de 1987. No Brasil podemos dizer que o ano de 2011 foi um marco na linha do tempo do bambu, pois ocorreu a criação da Lei n° 12.484/2011, que descreve sobre a (PNMCB) Política Nacional de Incentivo ao

Copyright © 2018 ISESC.

Manejo Sustentado e ao Cultivo do bambu, que incentivou os produtores rurais a designar terras para cultivar esse vegetal, que até então já era há anos amplamente utilizado na Índia, Colômbia e China. No Brasil é considerado um material de pouco valor, não sendo apreciado nas construções de alto padrão.

Muito embora ainda no Brasil não se considere o bambu como uma saída para problemas relacionados ao meio ambiente e à redução relevante dos recursos florestais, este pode ser considerado e analisado como uma opção ou material alternativo de baixo custo a ser empreendido, sendo que a cadeia produtiva pode favorecer ao Meio Ambiente, gerar empregos no campo e consequentemente renda, bem como evitar a extração e corte de outras espécies de madeira e materiais aos quais pode substituir.

A construção civil é um dos campos mais que empregam recursos naturais, tornando-se um dos maiores emissores de gases que geram o aquecimento global, como por exemplo os processos de fabricação e aplicação do cal, cimento e aço que emitem os gases causadores do efeito estufa, assim surge a necessidade de materiais renováveis e sustentáveis, nesse caso o bambu adequa-se perfeitamente as condições atuais, pois é um rápido sequestrador de carbono atmosférico e ainda possui características físicas e mecânicas, que o torna capaz de ser empregado em estruturas que normalmente são produzidas e construídas com madeira de reflorestamento ou nativa.

Riscala, 2010 descreve por que o bambu é um sequestrador CO2, pois "o bambu gera mais O2 que o equivalente a 3 árvores. Algumas espécies de bambu chegam a absorver mais de 12 toneladas/hectare de CO2 da atmosfera e é a planta que tem a maior taxa de crescimento da terra, isso contribui para o bambu ser um importante sequestrador de carbono".

A primeira menção à arquitetura no Brasil foi encontrada na expedição de Cabral, citada na carta de Pero Vaz de Caminha ao rei de Portugal, onde essas primeiras habitações descobertas pela expedição de Cabral apresentavam um bom desempenho ambiental, pois eram construídas com matérias-primas renováveis, ajustadas de acordo com o ambiente natural.

O bambu por ser uma matéria-prima renovável possui grande desempenho no desenvolvimento sustentável, e com a demanda por utilização de recursos naturais renováveis como fonte de matéria-prima na construção civil, surgem as buscas por soluções de novos sistemas ecológicos.

É fundamental destacar que devido às propriedades botânicas e físicas, o bambu mostra-se muito resistente a esforços de compressão e tração, o que permite sua aplicação em pontes, estruturas de habitações: vigas, lajes, forros, paredes, móveis e etc.

As propriedades mecânicas do bambu sofrem influência da umidade externa do ar, que tem relação direta com a idade e a densidade da vara. O percentual de fibras do bambu é responsável por sua resistência física. Enquanto seco o bambu é mais resistente do que verde, com três anos de idade a vara atinge sua maturidade, e é quando pode alcançar sua resistência máxima, as fibras são irrigadas pela seiva, que é rica em amido (tipo de açúcar) que se perde com a idade.

2. Materiais e Métodos

Neste trabalho científico serão estudados e ensaiados bambu *Phyllostachys Pubescens*, mais conhecido como (Moso, Mosô ou Mosó). A escolha deu-se pela facilidade de localização, além do que este gênero se habitua aos mais distintos climas e altitudes do nosso país, mesmo sendo nativo da China, chegou ao Brasil através da colonização, o comportamento do Mosô é alastrante. Essa é uma das espécies mais indicadas para construção civil, pois possui excelente resistência.

Utilizou-se 8 varas colhidas durante o mês de fevereiro em 2017, na fazenda Fabergê localizada no bairro Biritiba Ussu, na cidade de Mogi das Cruzes no Estado de São Paulo, Brasil.

O corte foi efetuado rente ao solo conforme é indicado a para espécies alastrantes, pois seu rizoma fica protegido abaixo do solo. Para a realização deste método utilizou-se um facão e cordas. O bambu Mosô recebia frequentemente manejos para limpeza, corte de varas maduras e produção de novas mudas.

Para tornar o processo mais sustentável, durante a extração cada colmo foi dividido em três varas, sendo que cerca de 1/3 da parte superior foram reutilizados para produzir mudas com as galhadas sobrantes, as folhas que caíram foram separadas do caule para produção de chá de folha de bambu, onde é são secas naturalmente para manter as propriedades e capacidades medicinais do bambu.

Assim como os outros materiais utilizados na construção civil, para uma maior durabilidade é necessário realizar um tratamento preservativo. Dado ao fato do bambu ser um material biológico, fica submisso a arruinar pela ação dos insetos e fungos, pois o bambu possui amido de milho e algumas espécies em maior quantidade.

Existem dois tipos de tratamentos: tradicionais e químicos, porém em prol da engenharia sustentável optou-se pelo método tradicional sob imersão em água.

A metodologia é simples, logo após a colheita foi necessário manter os colmos submersos em água estagnada por seis semanas, com o objetivo de diminuir o amido presente, dessa forma ocorre uma fermentação

Copyright © 2018 ISESC

biológica, isso funciona como processos oxidativos, ou seja, através da ausência de ar.

Após a cura em água é necessário realizar a secagem da madeira, que pode ser ao ar livre ou em estufas. Nas amostras a secagem foi natural onde a umidade variou entre 12% e 15%, pois existe um equilíbrio com a umidade do meio ambiente.

Para ensaiar o bambu foi necessário utilizar todo o comprimento, de forma que possibilitasse verificar todos pontos fortes e fracos da madeira. Procurou-se usar as peças com pelo menos um colmo ou nó, conforme a Figura 1.



Figura 1. Determinação dos cortes.

A resistência do concreto é realizada pela técnica do ensaio de compressão axial, que deve ser embasada pela NBR 5739:2007 - Concreto: Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos.

Para a moldagem dos CP é necessário seguir a NBR 5738:2015 - Moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos ou prismáticos de concreto - Método de ensaio.

O armazenamento também é uma parte importante no processo, por isso é fundamental seguir a NBR 9479:1993 - Câmaras úmidas para cura de corpos-de-prova de cimento e concreto – Especificação.

Para o ensaio específico de compressão é essencial seguir os passos da NBR 6156:1983 - Máquina de ensaio de tração e compressão - Verificação - Método de ensaio. Após o laboratório receber o corpo de prova da obra, ele é armazenado em câmara úmida por um tempo determinado de acordo com o pedido do cliente, sempre lembrando que o concreto atinge a sua resistência característica no 28º dia. Percorrido este prazo o CP (corpo de prova), segue para outro setor do laboratório onde ele passa por um nivelamento das superfícies para que encaixe perfeitamente na máquina que irá fazer o ensaio, e finalmente ele é encaminhado para a última fase, chamada de rompimento.

A máquina exerce uma força gradual de compressão sobre o CP até que o mesmo venha a romper, a força exercida é dividida pela área de topo do CP em cm², temos então a relação de kgf (exercido pela máquina) por cm², que, para chegarmos ao MPa, basta dividir este valor por 10 conforme explicado anteriormente.

Baseado nos resultados obtidos nas fibras do Bambu nos ensaios de compressão axial, tração e flexão, observou-se a possibilidade de utilizar o bambu dentro do concreto, pois ao analisar o bambu para uso total confirmou-se a eficiência deste material construtivo, então agora foi necessário testá-lo parcialmente com concreto de 22,5 MPa.

Para confecção dos Corpos de Prova aplicou-se o traço do concreto foi de 1: 2,37: 3,19 com fator água cimento de 0,75. Onde utilizou-se 12 Kg de cimento CPII F32, 38,28 kg de pedrisco de 4,8 mm a 9,5 mm e 28,44 kg de areia seca e 9 litros de água. Utilizou-se a betoneira metalúrgica zanooni série 03 modelo 120.

Com a betoneira molhada e úmida colocou-se metade do volume de água 4,5 litros com os 19 kg de pedrisco na betoneira para misturar por 1 minuto, após acresceu os 6 kg de cimento e misturou-se os 3 materiais por mais 1 minuto, logo depois acrescentou-se os 14 kg de areia seca e deixou mais 1 minuto batendo e por fim colocou-se a metade final de 4,5 litro de água e deixou misturar por mais 3 minutos.

Passou-se óleo mineral nas formas cilíndricas de 20x10 cm para que os CP's (corpos de prova) pudessem ser desformados sem comprometer o concreto, conforme a Figura 2.



Figura 2. Corpos de Prova confeccionado.

Copyright © 2018 ISESC

Para o experimento confeccionou-se 24 corpos de prova, onde para cada tipo de material utilizado foi necessário 4 corpos de prova, no intuito de avaliar esses CP's com 7, 14, 21 e 28 dias de idade. Então tem-se seis tipos corpos de provas, sendo todos com concreto de 22,5 Mpa, mais os materiais:

4 CP's de Ripa de bambu,
4 CP's de Vara de bambu,
4 CP's de Aço (CA 50),
4 CP's de Mix aço + bambu,
4 CP's de Cavaco de bambu e
4 CP's de Concreto simples, conforme as Figuras 3 e 4.



Figura 3. Confecção dos CP's.



Figura 4. Confecção dos CP's.

A montagem dos corpos de prova, foi conforme determina a NBR 5738:2015, respeitando as extremidades da borda em 2,5 cm na parte inferior e superior, onde os materiais bambu e aço ficaram com 15 cm de comprimento somado as duas bordas de 2,5 cm, tem-se a altura total do CP que é 20 cm, conforme a Figura 5.



Figura 5. Moldagem dos CP's.

3. Resultados e Discussão

3.1CP de concreto com ripas de bambu

Para a análise foi utilizado o programa MATLAB, que se trata de um *software* interativo de alta *performance* voltado para o cálculo numérico, na versão R2017b.

A curva média de tensão x deformação do corpo de prova situou na faixa de 10,035 MPa. Processou-se uma diminuição de resistência ao longo dos 28 dias, onde a hipótese mais provável para tal fato é a higroscopia do bambu no seu processo de exsudação, desse modo houve absorção da água durante o processo de cura.

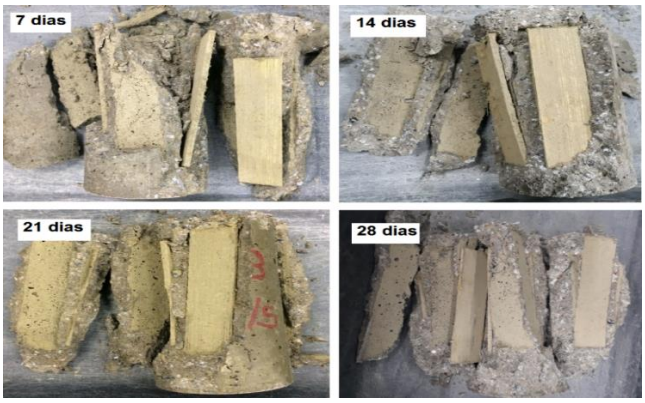


Figura 6. Ensaios de compressão axial em ripas de Bambu.

3.2. CP de concreto com varas de bambu:

A curva média de tensão x deformação do corpo de prova situou na faixa de 10,507 MPa. Com esse CP também sucedeu uma diminuição de resistência ao longo dos 28 dias, a diferença é que esse bambu estava tratado e fora envernizado, contudo também houve absorção da

Copyright © 2018 ISESC

água durante o processo de cura, esse fato impossibilitou a aderência da vara de bambu no concreto, é possível observar na Figura 7.

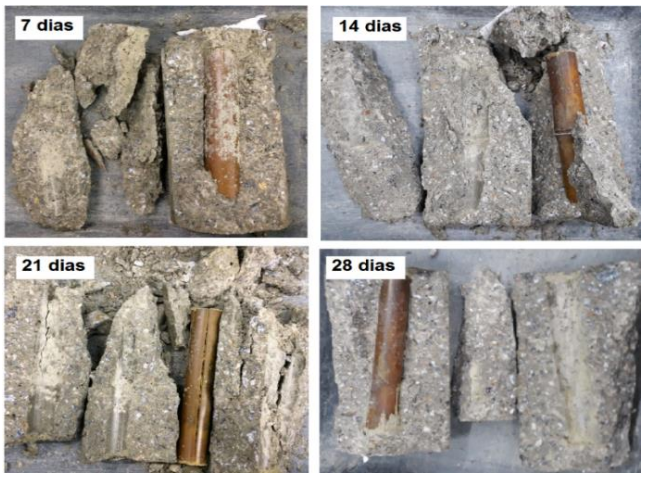


Figura 7. Ensaios de compressão axial em varas de Bambu.

3.3. CP de concreto com aço CA-50:

A curva média de tensão x deformação do corpo de prova situou na faixa de 15,845 MPa. Verificou-se um aumento de resistência ao longo dos 28 dias, onde a aderência assegurou a armadura no concreto que as abrange. Tal comportamento é determinante em relação à capacidade de cargas na estruturas em concreto armado, mesmo que a característica principal do aço não seja tão propícia para compressão axial, ainda sim, o fato de aderir ao concreto assegurou a evolução da resistência, é demonstrado na Figura 8.

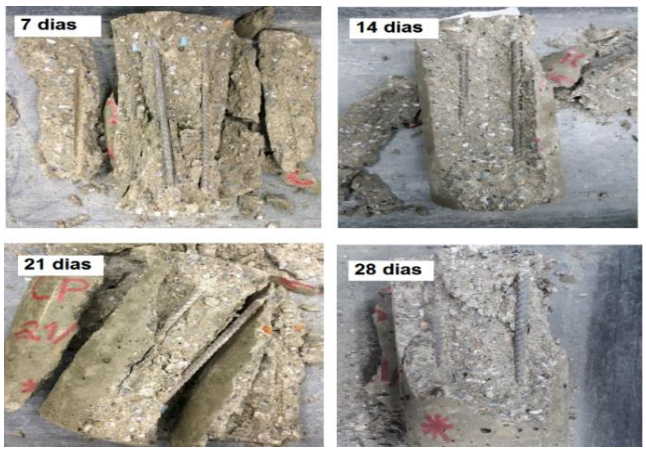


Figura 8. Ensaios de compressão axial em aço CA-50.

3.4. CP de concreto mix com bambu + aço CA-50

A curva média de tensão x deformação do corpo de prova situou na faixa de 12,810 MPa. Nesse CP ocorreu a diminuição de resistência ao longo dos 28 dias, onde a combinação do aço + o bambu, mesmo possuindo a vantagem da aderência do aço no concreto. Conforme a Figura 9.



Figura 9. Ensaios de compressão axial em mix de bambu + aço CA-50.

3.5. CP de concreto com 5% de cavaco de bambu

A curva média de tensão x deformação do corpo de prova situou na faixa de 12,500 MPa. Nesse CP houve um aumento de resistência ao longo dos 28 dias, nesse caso se faz necessários mais estudos sobre as proporções ideais de cavaco de bambu, onde será possível determinar uma quantidade ideal para aumentar a resistência, nesse caso o cavaco possuía granulometrias que variaram de 0,06mm a 2mm. Como mostra a Figura 10.

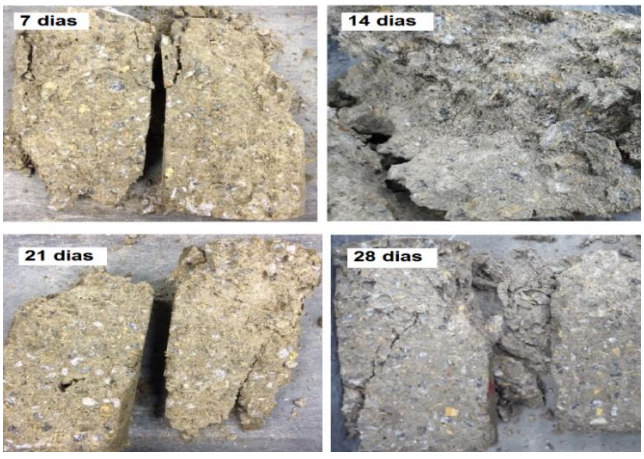


Figura 10. Ensaios de compressão axial em cavaco de Bambu.

Copyright © 2018 ISESC

3.6. CP de concreto simples

A curva média de tensão x deformação do corpo de prova situou na faixa de 16,392 MPa. Observou-se um aumento de resistência ao longo dos 28 dias como era o esperado, onde o comportamento do fck é determinante para à capacidade de cargas axial. Esses CPs de concreto simples foram confeccionados para servir de parâmetros, para os demais corpos de prova experimentais com bambu é possível verificar na Figura 11.



Figura 11. Ensaios de compressão axial em concreto simples.

Para analisar e comparar os seis CP's de (Ripa de bambu, Vara de bambu, Aço, Mix aço + bambu, Cavaco de bambu e o Concreto simples), elaborou-se o gráfico abaixo, pois permite a fácil visualização e compreensão dos resultados obtidos ao longo dos 28 dias de vida dos CP's, conforme demonstra a Figura 12.

Sabendo-se do peso do setor da construção civil na economia, e a importância da diminuição do custo das obras, mantendo-se a qualidade esperada. O bambu pode contribuir para esse tipo de construção, porém são necessários mais ensaios sistemáticos até a obtenção do corpo de prova ideal.

4. Considerações Finais

Ao longo deste trabalho científico foi possível ter uma real compreensão, de como é trabalhar com um material construtivo natural. A escolha do bambu não se aplica somente por este ser um material ecológico, mas também devido ao comportamento da planta quando aplicada como material construtivo.

O estudo das propriedades físicas e mecânicas, devem estar em primeira ordem na elaboração e execução do projeto com bambu, para que assim obtenha-se os resultados desejados e esperados.

A potencialidade desse material construtivo vem sofrendo um progresso que perdura por milhares de anos, tornando o bambu resistente ao próprio peso da estrutura, aos esforços do vento e das cargas acidentais, por este motivo o bambu é considerado por muitos pesquisadores a madeira do século XXI, pois colabora para a Arquitetura e Engenharia sustentável.

Ainda que os estudos abordados não sejam conclusivos, quanto as propriedades mecânicas e físicas do bambu, os valores iniciais obtidos vão de encontro com valores expostos em literaturas da China e Colômbia. O bambu pode ser aplicado em colunas, pilares, estruturas, treliças e peças que sejam solicitadas aos esforços de compressão axial, flexão na tração e tração simples.

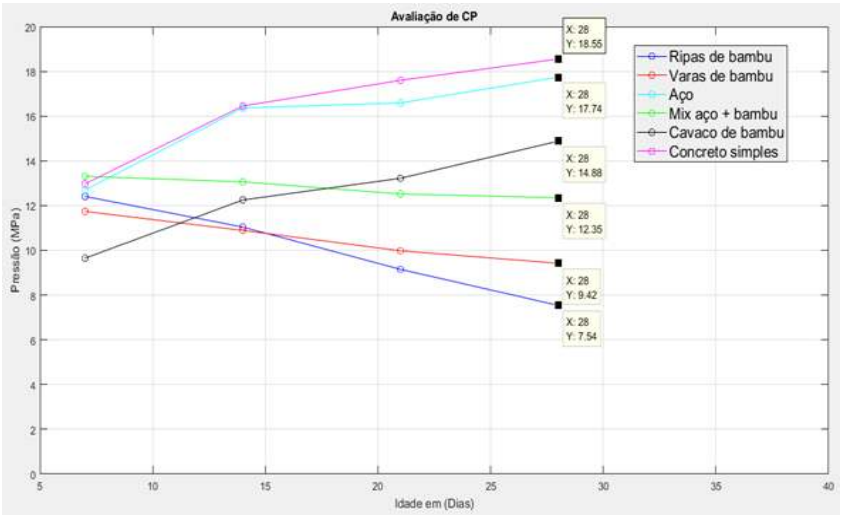


Figura 12. Gráfico comparativo dos ensaios.

Copyright © 2018 ISESC

O bambu por ser um material poroso e com alta capilaridade, e isso faz com que os líquidos possam subir em tubos capilares ou de fluir através de corpos porosos, causada pela tensão superficial. Nos Corpos de Prova, foi possível observar esse fator, onde o concreto ficou muito seco, enquanto que o bambu permaneceu úmido, ou seja, considera-se que o bambu sugou a água do concreto.

Essa planta considerada um material de cunho sustentável pois apresenta baixo consumo de energia em sua produção e gerando poucos resíduos, bem como é renovável devido seu crescimento ser muito rápido após corte, e possuindo alta produtividade por hectare (10.000 m²), com a vantagem de adaptar-se aos mais variados climas e solos brasileiros.

É um material construtivo que permite a preservação do meio ambiente, pois sequestra o gás carbônico (CO_2) que é um dos gases responsáveis pelo aumento significativo do efeito estufa.

Com os resultados adquiridos é possível comprovar cientificamente, que o bambu pode ser utilizado como material construtivo na Engenharia Civil e Arquitetura, pois seus resultados estão próximos ao concreto e ao aço, tendo sempre o panorama de que o Bambu atua em prol do desenvolvimento sustentável e a não degradação ao meio ambiente. O emprego do bambu em escala mercantil como matéria-prima, é técnica e economicamente viável, mas requer estudos científicos sistemáticos.

Referencias

CULZONI, R.A.M. **Características dos bambus e sua utilização como material alternativo no concreto.** Rio de Janeiro: PUC, 1986. p.205. Dissertação Mestrado.

FILGUEIRAS, T.S. e SANTOS GONÇALVES, A.N. **A Checklist of the Basal Grasses and Bamboos in Brasil (POACEAE).** 18(1):7-18. 2004.

GILAT, A. **MATLAB com aplicações em engenharia** - Editora Bookman, (2012). THE MATHWORKS, Inc., **Matlab for Student Use**, (2015).

NBR 5738:2015 - Moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos ou prismáticos de concreto - Método de ensaio.

NBR 5739:2007 - Concreto: Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos.

NBR 6156:1983 - Máquina de ensaio de tração e compressão - Verificação - Método de ensaio.

NBR 9479:1993 - Câmaras úmidas para cura de corpos-de-prova de cimento e concreto – Especificação.

Anexo *Script* em Matlab

```
clear
clc;
A=readtable('dadoscp.csv');
figure;
x=A{:,1};
y=A{:,2};
y1=A{:,3};
y2=A{:,4};
y3=A{:,5};
y4=A{:,6};
y5=A{:,7};
plot(x,y,'bo-');
hold on;
plot(x,y1,'ro-');
plot(x,y2,'co-');
plot(x,y3,'go-');
plot(x,y4,'ko-');
plot(x,y5,'mo-');
xlabel('Idade em (Dias)');
ylabel('Pressão (MPa)');
title('Avaliação de CP')
grid on
xlim([5,40]);
ylim([0,20]);
legend('Ripas de bambu','Varas de bambu','Aço','Mix aço + bambu','Cavaco de bambu','Concreto simples');
```


Copyright © 2018 ISESC