

## Monografia



**"BAMBUCON - BAMBU REFORÇADO COM MICROCONCRETO ARMADO"**

Autor: Fernanda de Melo Nogueira

Orientador: Prof. Edgar Mantilla Carrasco

Novembro/2009

FERNANDA DE MELO NOGUEIRA

**"BAMBUCON - BAMBU REFORÇADO COM MICROCONCRETO ARMADO"**

Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Construção Civil  
da Escola de Engenharia UFMG

Ênfase: Tecnologia e produtividade das construções

Orientador: Prof Prof. Edgar Mantilla Carrasco

Belo Horizonte

Escola de Engenharia da UFMG

2009

## **AGRADECIMENTOS**

Aos meus pais e irmãos por tudo que representam em minha vida.

A todos os colegas pelo incentivo constante.

A Precon pelo apoio na realização dos ensaios experimentais.

## SUMÁRIO

|   |    |
|---|----|
| 1. INTRODUÇÃO.....  | 8  |
| 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....                                   | 10 |
| 2.1 <i>O cultivo do bambu</i> .....                             | 10 |
| 2.2 <i>Características do bambu</i> .....                       | 12 |
| 2.3 <i>Tratamentos aplicados ao bambu</i> .....                 | 13 |
| 2.4 <i>Associação do bambu com o microconcreto armado</i> ..... | 18 |
| 2.5 <i>Considerações gerais sobre o bambu</i> .....             | 19 |
| 2.5.1 <i>Utilização do bambu na construção civil</i> .....      | 19 |
| 2.5.2 <i>O problema habitacional e o bambu</i> .....            | 22 |
| 3. OBJETIVOS  |    |
| 3.1 <i>Objetivo geral</i> .....                                 | 24 |
| 3.2 <i>Objetivos específicos</i> .....                          | 25 |
| 4. METODOLOGIA EXPERIMENTAL .....                               | 26 |
| 4.1 <i>Material e métodos</i> .....                             | 26 |
| 4.2 <i>Ensaio à flexão</i> .....                                | 30 |
| 4.3 <i>Ensaio à compressão</i> .....                            | 31 |
| 5. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS .....                     | 33 |
| 6. CONCLUSÃO.....   | 37 |
| 7. BIBLIOGRAFIA.....  | 38 |
| 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....                             | 40 |

## LISTA DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| Figura 2.1: Anatomia do bambu .....  | 12 |
| Figura 2.2: <i>Dinoderus minutus</i> , inseto xilófago que alimenta-se do amido do bambu ..... | 14 |
| Figura 2.3: Método de boucherie .....  | 17 |
| Figura 2.4: Terminal do Aeroporto Internacional de Barajas, em Madri.....                      | 21 |
| Figura 2.5: Modelo de construção popular da Fundação Hogar de Cristo .....                     | 23 |
| Figura 3.1: Viga de bambu preenchida com microconcreto e apoios metálicos .....                | 27 |
| Figura 3.2: Prensa hidráulica para aplicação de carga na viga .....                            | 28 |
| Figura 3.3: Desenho esquemático da viga para desenvolvimento do ensaio.....                    | 28 |
| Figura 3.4: Prensa hidráulica para aplicação de carga no pilar .....                           | 29 |
| Figura 4.1: Deformação da viga ocasionada pela aplicação de carga .....                        | 33 |
| Figura 4.2: Viga de bambucon rompida com carga máxima aplicada .....                           | 34 |
| Figura 4.3: Ruptura explosiva registrada no centro do pilar.....                               | 35 |
| Figura 4.4: Detalhe da ruptura no pilar .....  | 35 |

## LISTA DE TABELAS

|   |    |
|---|----|
| Tabela 3.1: Ensaio de resistência à flexão na viga.....         | 30 |
| Tabela 3.2: Ensaio de resistência à compressão nos pilares..... | 32 |

## LISTA DE NOTAÇÕES, ABREVIATURAS

$P$  = carga aplicada numa determinada área para ensaio à flexão e à compressão em viga e pilar de bambu respectivamente, Kgf

$\varnothing$  = diâmetro de barra para ensaio à flexão e à compressão em viga e pilar de bambu, cm respectivamente

$\varepsilon$  = deformação específica, cm

tf= tonelada-força; força aplicada pela prensa hidráulica nos corpos de prova da viga e pilares

MPa= resistência média do microconcreto utilizado para preencher a viga e os pilares

KN= Quilonewton (1 kN = 1000 N)

NBR = Norma Brasileira

## **RESUMO**

Este estudo tenta mostrar a relevância do uso do bambu como material ecologicamente correto. Trata-se da investigação de uma possibilidade aplicativa deste material através do desenvolvimento de um sistema construtivo misto (bambu e concreto).

Com o objetivo de avaliar o desempenho estrutural deste novo material realizou-se os ensaios em pilares e vigas afim de verificarem seus resultados e obter um referencial teórico que possibilitasse maior segurança para sua utilização em construções em todo país.

O bambu se revela como um material de grandes potencialidades, sendo comprovadas nesta pesquisa, as suas propriedades físicas e mecânicas.

Concluiu-se que o bambucon é um material seguro que poderá ser utilizado na construção civil levando em consideração principalmente, o desenvolvimento sustentável e a não agressão ao meio ambiente.

## 1. INTRODUÇÃO

Uma vantagem em se utilizar este material inclusive na construção civil é que além de ser um grande gerador de matéria prima, é também responsável por 54% das emissões de carbono do mundo. Com um sistema radicular de sucessivas brotações, permite infinitos cortes possibilitando uma cultura sustentável, resistente e adaptável, de simples cultivo e manejo.

Segundo o engenheiro e advogado Francisco Maia Neto, o bambu gera mais de 7 bilhões de dólares na economia mundial na produção de papel, compensados, laminados, pisos, revestimentos, construção civil, alimento, artesanato, movelaria, dentro dos mais de 1500 usos catalogados.

Ainda segundo Maia, a utilização do bambu remonta, à origem da espécie. Pesquisas arqueológicas seguem na descoberta de usos do bambu por culturas humanas há pelo menos 5000 anos quando o homem passou a utilizar estes materiais da natureza para construir seus abrigos e até como ferramentas.

Das cerca de 1600 espécies conhecidas distribuídas em 121 gêneros, há pelo menos 400 espécies no Brasil. A carioca Celina Lierena, coordenadora da Escola de Bioarquitetura e Centro de Pesquisa e Tecnologia Experimental em Bambu (Ebiobambu), é uma das entusiastas que experimentam o bambu em seus projetos apesar de as técnicas construtivas que utilizam essa espécie vegetal ainda ser muito pouco explorada. Isso se deve a falta de cultura de uso, a falta de normalização e conseqüente certificação.

Suas propriedades estéticas são diferentes dos outros materiais convencionais além disso a vinculação do projeto arquitetônico sustentável a utilização de materiais renováveis é imprescindível; por isso a idéia de desenvolver um material



misto composto de bambu preenchido com microconcreto armado (bambucon); as vantagens dos dois materiais num só elemento.

Dentre as espécies mais utilizadas no setor da construção civil, destacam-se: guadua, gigante e mossô; as varas sempre devem ter mais de 10 cm de diâmetro.

Embora muitos estudos vêm sendo feitos, as dificuldades são grandes de se obter resultados definitivos em ensaios; o bambu é um material natural e cada colmo é único e sua forma tronco-cônica apresenta variação de secção ao longo do colmo.

O bambu possui baixa durabilidade natural, possui variações consideráveis em presença de umidade, baixa aderência a aglomerantes e outros materiais, seções reduzidas, conexidade e variabilidade das propriedades físico-mecânicas dos colmos em função da amostragem. Possui, também, presença inibidora a pega do cimento e dificuldade de efetuar ligações.

A partir de alguns ensaios com vigas e pilares de bambucon estimaremos a resistência à compressão e à flexão deste material. A idéia é difundir e desenvolver nova tecnologia aplicada aos múltiplos usos do bambu; neste caso associado ao microconcreto armado.

Para atingir seu máximo desempenho, alguns cuidados devem ser tomados com a colheita, cura, secagem, proteção contra inimigos naturais e tratamento.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 O cultivo do bambu

Uma das vantagens da cultura do bambu é a sua pouca exigência com relação ao solo, uma vez que produz bem em quase todos os tipos. Solos muito úmidos ou com lençol freático alto podem inibir o seu bom desenvolvimento, enquanto solos salinos não são adequados ao seu cultivo.

Segundo Salgado (2001), o bambu, apresenta melhor desenvolvimento em regiões de altas temperaturas, livres de mudanças bruscas e frios prolongados. No entanto, esses fatores naturais não impedem o seu cultivo, apenas inibem ou promovem o seu desenvolvimento. De uma maneira geral, porém, a maioria das espécies se adapta bem ao clima tropical com bom desenvolvimento entre 8 e 36°C de temperatura.

Os bambus se distribuem naturalmente entre as latitudes 46° Norte e 47° Sul, desde os trópicos até as regiões temperadas. Pereira (2001) observa que são encontrados desde o nível do mar até as elevações alpinas, como as espécies *Arundinaria* que é encontrada na Índia a 3.800 metros de altitude. porém, a maioria ocorre em áreas quentes e com chuvas abundantes.

Segundo Salgado (2001), a velocidade de propagação de uma plantação de bambu, depois de estabelecida, é muito grande. O tempo de estabelecimento de uma plantação varia de cinco a sete anos, e o amadurecimento de um bambu acontece de três a quatro anos, quando atingem as dimensões características da sua espécie, sendo assim mais rápido para a colheita do que a mais rápida árvore. A partir do terceiro ou quarto ano já se pode coletar colmos e brotos. A média de produção de biomassa num bambuzal é de 10 toneladas por hectare

por ano. O bambu pode substituir a madeira em diversas aplicações, e com isso diminuir o impacto ambiental através do desmatamento. O bambu não exige técnicas complexas para o seu estabelecimento como plantação. A irrigação só é necessária em regiões de pluviosidade muito baixa, e não é necessária a aplicação de produtos agrotóxicos. A colheita fortalece o bambuzal e é feita com instrumentos manuais. O transporte é facilitado pelo seu peso leve em comparação às madeiras.

O cultivo do bambu pode se dar associado a outras funções que este pode exercer no meio ambiente. Bambus alastrantes, de rizoma leptomorfo, segundo Pimentel (1997), através da rede formada por suas raízes, apresentam propriedades muito eficientes na contenção de encostas, podendo funcionar ao longo das bacias hidrográficas como auxiliar na recuperação de matas ciliares, na contenção de encostas dos rios evitando os assoreamentos, ao mesmo tempo em que pode ser colhido como produto agrícola. O bambu pode e tem sido utilizado, ainda que em pequena escala, como substituto agrônomico em áreas marginais, para otimizar produções que recebem mais atenção do mercado externo, como o café e o cacau, podendo ser também introduzido nos plantios em consórcios e nos sistemas agroflorestais sucessionais.

A produtividade de colmos de uma plantação de bambu varia consideravelmente de acordo com as espécies, condições de cultivo e intensidade de manejo empregada.

Dependendo da idade do colmo, este pode ter variados usos e aplicações, podendo servir como alimento através do broto comestível nas primeiras semanas de vida, até usos na arquitetura e construção civil quando este atinge três ou mais anos.

## 2.2 Características do bambu

Bambu é o nome que se dá às plantas da subfamília Bambusoideae, da família das gramíneas (Poaceae ou Gramineae). Essa subfamília se subdivide em duas; a Bambuseae (os bambus chamados de lenhosos) e a Olyrae (os bambus chamados 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.

De acordo com Frederico Menezes Régis, O bambu é constituído basicamente por rizoma e colmo (galhos e folhas) e se tratado adequadamente, apresenta durabilidade superior a 25 anos.

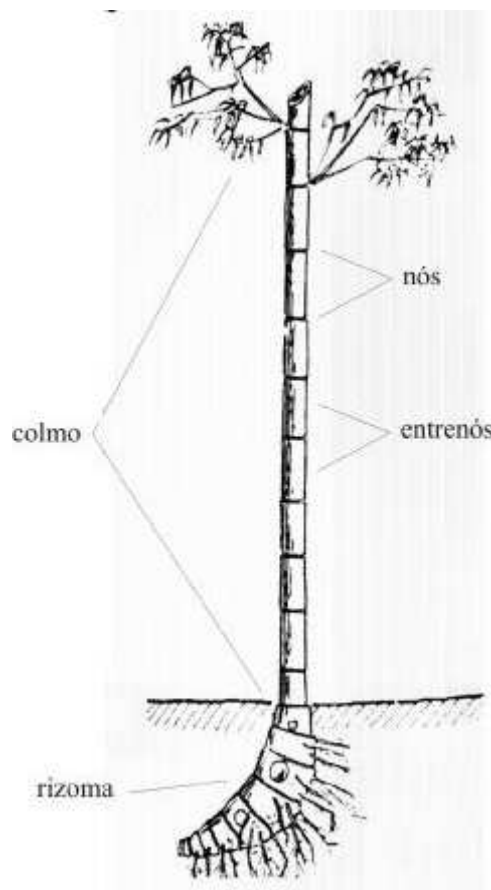


Figura 2.1: Imagem extraído do livro HIDALGO-LÓPEZ, Oscar. Bamboo-The gift of the Gods, Bogotá, D'Vinni,2003,p. 55

A característica tubular desta gramínea agrega funções e adequações inerentes à forma. Composto basicamente de longas fibras vegetais, pode ser moldado ou desfiado para diferentes aplicações.

Positivamente, após dois anos e seis meses, ter brotado, o bambu possui resistência mecânica estrutural. Trata-se de uma forma tubular acabada, estruturalmente estável, baixa massa específica, geometricamente circular, oca, otimizada (em termos da razão, resistência mecânica pela massa do material). Os nós conferem maior resistência estrutural pela amarração transversal, porém neste estudo considerarei o bambu armado com aço, sem o miolo dos nós e totalmente preenchido com o microconcreto.

### ***2.3 Tratamentos aplicados ao bambu***

A susceptibilidade do bambu à mudança de volume na presença de água é considerada como a mais séria desvantagem para seu uso como reforço do concreto. Na tentativa de minimizar os efeitos da absorção de água pelo bambu, alguns métodos têm sido estudados e empregados por pesquisadores.

Deve-se usar os bambus maduros, com cerca de três a quatro anos, que é quando atingiram sua resistência ideal. Estudos mostram que a resistência à compressão e a tração do bambu aumenta quando ele possui por volta de seis anos e a resistência à flexão máxima em torno dos oito anos (30MPa a 170MPa).

Quando cortado, o colmo ainda estará úmido por dentro, deve-se secá-lo, eficazmente, para aumentar o ganho mecânico e para evitar a perda de massa por insetos que acontece quando a seiva presente no interior do bambu esta úmida.

Segundo Antônio Ricardo Sampaio Nunes, os bambus cortados antes de atingirem o ponto máximo de maturação tornam-se mais vulneráveis aos insetos e fungos e sua vida útil será menor. O teor de umidade no colmo, ao ser colhido, tem relação direta com suas propriedades físicas e mecânicas após a secagem. Teores de umidade muito altos aumentam consideravelmente as possibilidades de fissuras e rachaduras nas peças quando secas. A quantidade de amido e açúcares nos colmos se relaciona diretamente com a quantidade de água, e quanto mais amido contenha o colmo, mais vulnerável este será ao ataque de insetos, principalmente o *Dinoderus minutus*, broca do bambu ou caruncho do bambu que se alimenta de amido e pode causar grandes danos às peças colhidas.



Figura 2.2: *Dinoderus minutus* ou broca do bambu. López (2003)

Segundo publicações das NAÇÕES UNIDAS (1972), para reduzir ao mínimo os ataques de insetos deve-se efetuar o corte dos bambus com níveis mais baixos de concentração de amido. No inverno o bambu guarda a maior parte de suas reservas nas raízes (rizomas), e nesta época do ano os insetos e fungos aparecem com menos frequência, portanto época ideal para corte. Segundo MARTINEZ & GONZALEZ (1992), se não for executado desta forma, ou seja, o corte dos bambus durante o inverno, o teor de umidade pode ser muito alto

provocando alguns defeitos na secagem, como fissuras, rachaduras e deformações. As fissuras ocorrem somente nos entrenós, e são menores que as rachaduras e podem inutilizar a peça toda. Já as deformações são as torceduras do bambu no sentido longitudinal da peça.

Para tornar o material menos propenso ao ataque de insetos ocorre nesta etapa de cura a expulsão da seiva. Há dois tipos de cura:

- A cura na mata que consiste em colocar os talos cortados verticalmente sem remover as ramas e as folhas, ficando devidamente isolados do solo, sobre pedras ou suportes. Representa o processo mais adequado de cura, pois conserva a cor natural do bambu evitando manchas de fungos e rachaduras. HIDALGO, (1981). A etapa de cura na mata é 4 a 8 semanas.

- A cura por imersão que consiste em submergir os talos na água, retirando a seiva do interior das paredes do bambu. A cura por imersão tem uma duração de 4 semanas.

Zaira Tirelli explica que a operação que determina as etapas seguintes é a secagem; é neste momento em que existem variações dimensionais e de massa específica. Quando recém cortado apresenta 80% de umidade, após 4 meses de secagem ao ar a umidade cai para 10% a 15%, dependendo da espessura da parede do colmo. A secagem correta permite reduzir consideravelmente a massa do colmo e proporciona melhoria nas propriedades mecânicas. Existem 3 processos de secagem:

- Secagem ao ar livre - De acordo com as NAÇÕES UNIDAS (1972), o período de secagem do bambu ao ar livre é de 6 a 12 semanas para se atingir maior resistência e evitar fissuras. Os bambus armazenados devem estar cobertos e isolados do solo em plataformas elevadas de 30 cm, ou na vertical, permitindo inspecionar o material.

- Secagem ao fogo - Com fogo podem-se obter resultados mais rápidos, mesmo com climas mais frios e úmidos. Segundo Johan Van Lengen,

fundador e professor de Bio-Arquitetura e Tecnologia Intuitiva do Instituto Tibá: "faz-se um buraco pouco profundo e cobre-se o solo e as esquinas com tijolos, para que não perca calor. O bambu deve ser colocado a uns 50 cm acima do fogo. Para que seque de maneira uniforme. Deve-se virar os troncos de vez em quando. Com este método, a parede do tronco fica mais resistente aos insetos. É necessário, ter muito cuidado, pois se o fogo é muito forte pode abrir ou deformar os troncos."

- Secagem em estufa – neste processo são utilizadas estufas convencionais semelhantes às empregadas para a secagem da madeira. Este sistema é mais rápido e eficiente para se obter teores de umidade desejados, porém envolve custos mais elevados. Este processo pode ser feito em 2 a 3 semanas. Porém existe a possibilidade de ocorrerem mais defeitos nas peças devido à velocidade de secagem.

O tratamento é muito importante para assegurar o desempenho, resistência e longevidade da peça e consiste em utilizar produtos químicos preservativos para proteger o bambu, pois a falta de tratamento compromete o desempenho favorecendo o apodrecimento por fungos, o ataque de insetos e as rachaduras.

A substituição da seiva deve ocorrer sem cortar as folhas e as ramas. Depois de ter verificado se a seiva parou de sair pela parte inferior, colocar as peças dentro de um recipiente de 30 cm a 60 cm, na vertical com preservativo, que será absorvido pela transpiração das folhas. O processo de substituição (por pressão hidrostática) deverá iniciar após a eliminação, de excesso, de seiva, pelo extremo do bambu. Segundo publicação das NAÇÕES UNIDAS (1972) , para se conseguir uma penetração adequada necessitam-se 1 ou 2 semanas. A duração do tratamento leva de 5 a 6 semanas.

Uma outra forma de substituição da seiva denominada boucherie caracteriza-se pelo aumento de pressão do líquido e redução do tempo de tratamento. Aplica-se no bambu logo que ele é cortado, devendo retirar as ramas e as folhas. A



pressão aplicada no reservatório de produto químico pode atingir 10 a 15 libras. O tratamento dura de 2 a 3 semanas.

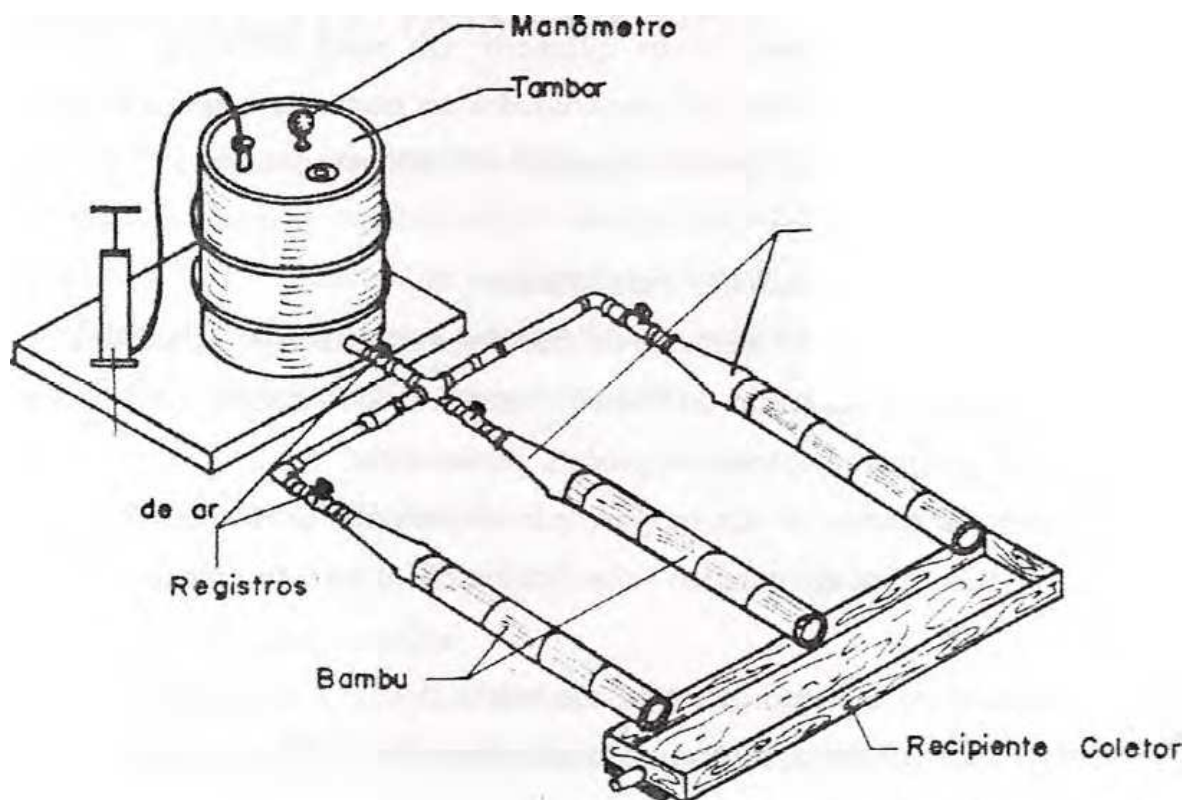


Figura 2.3: Figura 3.10: Método boucherie. Pereira (2002)

Um dos métodos mais econômicos consiste em submergir total ou parcial as peças de bambu num depósito com preservativo. Ainda segundo Zaira Tirelli, quanto mais tempo permanecer submerso melhor será a eficácia. Um dos inconvenientes é que a imersão é feita em produtos como pentaclorofenol (GALVÃO, 1967) e inseticida DDT ou BHC-ALDRIN- (SALGADO, 1985) combinados a óleo diesel que são produtos altamente tóxicos.

De acordo com as NAÇÕES UNIDAS (1972), no processo de banho quente, os bambus secos ao ar são imersos em tanques abertos (processo similar ao processo da madeira) com solução de substâncias preservantes. Eleva-se a temperatura a 90° C, aproximadamente, durante certo tempo e depois se deixa

esfriar. No caso da utilização de substâncias preservantes que não suportam altas temperaturas, os bambus devem ser aquecidos anteriormente e logo depois de submergidos na solução química.

Diversas pesquisas com produtos químicos foram desenvolvidas, BOURNE (1978), AZZINI & SALGADO (1992b), OHKE (1989), PLINIO DE SOUZA FERNANDES E CLÓVIS RIBAS (1995), TAMOLANG et al (1980<sup>a</sup>), E FANG & MEHTA (1978) e comprovaram, em geral, que a variação da resistência ao ataque de insetos do bambu em peças tratadas e sem tratar, foram sempre da ordem 3:1; isto é que a resistência das peças tratadas é três vezes maior que nas não tratadas.

CAMBONERO et al (1991) – indica como melhor preservativo produtos a base de boro, por suas características a base de difusão, atingindo boa retenção e baixa toxicidade para humanos. Para se aumentar a retenção do líquido preservativo é necessário eliminar a maior quantidade de ar das paredes do bambu, pois o ar bloqueia os dutos por onde o líquido flui. A lavagem em água corrente proporciona melhores resultados (ONU 1972).

#### ***2.4 Associação do bambu com o microconcreto armado***

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.

Como o bambu possui baixa aderência com o concreto e argamassas, alguns experimentos foram realizados onde se constatou algumas medidas que devem ser tomadas para aumentar a eficiência. Uma delas é a impermeabilização para evitar variações dimensionais, pela absorção de água no bambucon.

BERALDO (1987)- Quando se utiliza bambus imaturos, em geral, surgem fissuras no microconcreto antes que se desenvolva a aderência. Os colmos tratados unicamente desenvolvem uma maior aderência do que os não tratados.

Segundo BAUMANN e BARMAK (1938), o impermeabilizante deverá satisfazer as seguintes exigências: que a impermeabilização se faça por meio de untamento ou revestimentos; o produto impermeabilizante não deve produzir reações químicas prejudiciais, nem ao bambu, nem ao concreto; deve secar o mais rápido possível e quando a impermeabilização se fizer por meio de revestimento deve aderir fortemente ao bambu.

Já CHEMBI & NIMITYONGSKUL (1989) indicam que os problemas de absorção de água e mudança de volume dos colmos de bambus, em vários países da Ásia, foram solucionados com a utilização de uma mistura de látex de seringueiras e cal virgem, como material enrijecedor. A mistura foi utilizada, no Asian Institute of technology, na impermeabilização da parede dos bambus para a produção de tanques.

Bambus tratados com negrolin, areia e arame aumentam a resistência de aderência em até 90% , portanto adotarei este método de tratamento para os estudos das peças de bambu (vigas e pilares ) reforçadas com concreto armado.

## ***2.5 Considerações gerais sobre o bambu***

### ***2.5.1 Utilização do bambu na construção civil***

O bambu pode ser utilizado de diversas formas na construção civil, apresentando estilos e propósitos funcionais diferentes. A força e resitênca deste material são

identificadas diante das grandiosas construções encontradas em países como a Colômbia e Equador.

Os resultados plásticos-espaciais das construções com bambu produzem um partido arquitetônico singular. Em paralelo à ousadia das construções contemporâneas, existem trabalhos sociais importantes para a população carente de moradia em alguns países em desenvolvimento. No Equador, a Fundação Viviendas Hogar de Cristo financia e constrói casas populares de bambu. As casas são rapidamente pré-fabricadas e montadas. São construções leves e até resistentes à inundações.

Os conhecimentos sobre a técnica de utilização do bambu vem ganhando espaço no mercado. O bambu tem sido apresentado como a madeira do século 21, devido às suas características de grande resistência mecânica, beleza e multiutilidades. Apesar de tantas características positivas, o potencial arquitetônico e as possibilidades de industrialização do bambu enquanto material construtivo, ainda não se encontra devidamente analisadas. Os estudos sobre o bambu necessitam passar por uma normalização científica, fato que gerará maior credibilidade sobre o material.

Buscando sempre novas descobertas sobre o bambu, arquitetos como Simon Vélez, Renzo Piano, Frei Otto, entre outros têm usado o bambu em combinação com outros materiais construtivos, principalmente com o concreto (figura 2.4).



Figura 2.4: Terminal do Aeroporto Internacional de Barajas, em Madri projeto de Richard Rogers, [WWW.vitruvius.com.br](http://WWW.vitruvius.com.br)

A combinação de soluções simples aliadas a alta tecnologia na busca de resultados plásticos diferenciados exploram o limite da resistência físico-mecânica do material.

O fácil manejo e o cultivo deste material têm proporcionado a disseminação das técnicas e dos conhecimentos relativos a este material em diversas partes do mundo. Em contrapartida a todas as aparentes vantagens do uso deste material, existem também algumas desvantagens que se pretende avaliar neste trabalho, como por exemplo, os produtos e os processos de tratamento para conservação do material às intempéries e ao ataque de insetos.

### **2.5.2 O problema habitacional e o bambu**

Segundo a Secretaria Nacional de Habitação, o déficit habitacional do país apurado pelo Ministério das Cidades (MCidades) em parceria com a Fundação João Pinheiro (FJP), tendo como base Pesquisa Nacional por Amostras de Domicílios (PNAD/IBGE) de 2007, foi calculado em 6,273 milhões de domicílios.

O quadro de déficits habitacionais elevados, de ausência de alternativas adequadas para os pobres e moradores das periferias urbanas e a degradação ambiental despertam a necessidade de pesquisa e aplicação de novos materiais e novas tecnologias baseadas nos recursos naturais e humanos de cada região, podem também representar um incremento significativo para o equacionamento do déficit de moradia com qualidade, ambientalmente correto e economicamente viável.

A inserção e a disseminação do bambu como material de construção em larga escala no Brasil, apoiadas por políticas públicas de interesse comunitário, poderá promover uma considerável redução de custo na auto-construção de interesse social, a geração de novos empregos e renda a partir da criação de uma nova cadeia produtiva para esse material. Além do bambu como material predominante a utilização de materiais convencionais como o concreto, aço e madeira conferem facilidade de trabalho e preços acessíveis às construções.

Na Colômbia, Equador e Bolívia , a utilização do bambu na construção civil é barata e fruto do conhecimento popular. É uma prática já consolidada, apresenta considerável diversidade de técnicas, grande resistência das construções às intempéries e boa adequação a diversos tipos de terrenos.

A Fundação Viviendas Hogar de Cristo, conforme mencionado anteriormente, realiza um trabalho admirável sob a coordenação do arquiteto Dr. Jorge Morán; constrói e financia casas populares pré-fabricadas de bambu para uso emergencial com um custo de 385 dólares americanos por unidade.



Figura 2.5: Modelo de construção popular da Fundação Hogar de Cristo, [www.iadb.org](http://www.iadb.org)

No trabalho desenvolvido a seguir serão abordados dados científicos que servirão de maior aprofundamento teórico sobre o potencial de uso do bambu, principalmente na construção civil sobre o ponto de vista sustentável.

O bambu pode ser usado de diversas formas na arquitetura, apresentando estilos e propósitos funcionais diferentes.

A diversidade de técnicas de eficácia já cientificamente comprovadas pode dar uma enorme contribuição às demandas de oferta de habitação, reunindo

comunidades em torno da discussão das questões que podem dar solução para a construção da moradia, tais como difusão de tecnologias apropriadas, treinamento e capacitação da mão-de-obra através do apoio profissional e científico que possam gerar a organização de sistemas comunitários de produção utilizando o potencial de gestão local, o que sistematicamente denomina-se ecotécnicas.

### **3 . OBJETIVOS**

#### ***3.1 Objetivo geral***

Esta pesquisa tem por objetivo avaliar o desempenho na construção do material misto composto por bambu e concreto armado (BAMBUCON) sob o ponto de vista da sustentabilidade e desempenho estrutural. Além disso tenta contribuir para o melhor equacionamento possível de um dos piores problemas considerado como ponto da pesquisa, ou seja, a baixa durabilidade natural do bambu, com levantamento de soluções e proposta de ações correspondentes às soluções.

Embora muitos estudos vêm sendo feitos, as dificuldades são grandes de se obter resultados definitivos em ensaios; o bambu é um material natural e cada colmo é único e sua forma tronco-cônica apresenta variação de secção ao longo do colmo.



### **3.1 Objetivos específicos**

Em se tratando de material composto, a eficaz aderência dentre os diversos materiais envolvidos, é um fator primordial para o bom desempenho do produto.

Será verificado experimentalmente o comportamento à flexão de uma viga de bambu com através de um protótipo em escala natural e o comportamento do pilar de bambu com quando solicitado a compressão também através de um protótipo.

É urgente estabelecer uma relação menos agressiva entre a produção do habitat humano e o meio ambiente natural. Em virtude disso, diversas pesquisas em tecnologia têm sido desenvolvidas, com o objetivo de amenizar os impactos negativos das construções sobre o meio ambiente, em especial, utilizando materiais alternativos de baixo custo, como por exemplo, o bambu.

De maneira mais específica, este trabalho pretende avaliar as vantagens, dificuldades e desvantagens de implantação deste sistema construtivo.

## 4. METODOLOGIA EXPERIMENTAL

### 4.1 *Material e métodos*

Para coleta, tratamento e preparo das peças de bambu e do microconcreto armado utilizados na confecção dos corpos-de-prova do bambucon, foram usados os mesmos procedimentos, tanto para o ensaio de compressão do pilar quanto para o ensaio de flexão da viga.

Empregou-se a espécie de bambu-mossô (*Phyllostachys pubescens*), cujos colmos foram retirados de touceiras uniformes, colhidos na Fazenda Fidalgo, na cidade de Lagoa Santa, Estado de Minas Gerais. Para a coleta dos colmos, foram escolhidas touceiras sujeitas às mesmas condições agronômicas de cultivo, supondo-se que fossem idênticas. Os colmos foram selecionados ao acaso, com idade superior a três anos e cortados no mesmo dia, com a utilização de motosserra, para o corte, e facão para a retirada das brotações.

Logo após o corte, os colmos foram transportados para a empresa Precon Industrial SA para que fossem preparados para os ensaios e nenhum tratamento como os descritos anteriormente foram aplicados ao bambu, fato que será analisado posteriormente.

Foram retirados os miolos com serra-copo da viga ensaiada e de duas amostras de pilar para que fossem injetados microconcreto em seu interior. A técnica de corte previa um diâmetro da serra igual ao diâmetro do bambu; lembrando que em função da forma tronco-cônica do bambu apresentar variação de secção ao longo do colmo, o diâmetro adotado em cada peça foi o de menor medida.

Para o ensaio de flexão, foi confeccionada 1 viga de bambucon com 6m de comprimento e com diâmetro externo de 16cm numa extremidade e 14cm na outra (Fig. 3.1). Para o ensaio foi realizada uma adaptação que consistiu na colocação de um suporte metálico nos apoios da viga. O carregamento de flexão foi aplicado no centro da peça disposta horizontalmente (Fig. 3.2 e Fig 3.3).



Figura 3.1: Viga de bambu preenchida com microconcreto e apoios metálicos



Figura 3.2: Prensa hidráulica para aplicação de carga na viga

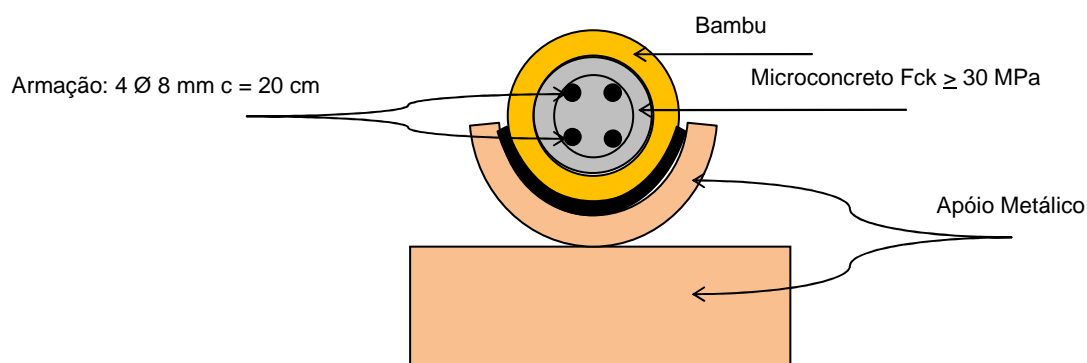


Figura 3.3: Desenho esquemático da viga de bambucon para desenvolvimento do teste

Para o ensaio de compressão, foram confeccionadas três amostras de pilares, todas com comprimento de 2,15m e diâmetros externos variando entre 13cm e 14cm nas extremidades. Foram ensaiadas três amostras de pilares, sendo a primeira amostra com núcleo em microconcreto armado (Fig. 3.4), a segunda com

o bambu com o miolo (nós) e o terceiro sem o miolo (nó). O carregamento foi aplicado no centro dos corpos de prova dispostos verticalmente.



Figura 3.4: Prensa hidráulica para aplicação de carga no pilar, carga máxima de 42,6MPa

O microconcreto utilizado foi preparado com cimento CPV ARI, areia artificial gnaise e pedrisco calcário. Foi adicionado um aditivo à base de poliacarboxilato. Os corpos de prova foram curados em condições úmidas durante 28 dias antes de serem ensaiados.

Os ensaios foram realizados em um pórtico provido de cilindro hidráulico com capacidade para 100 tf e célula de carga digital, com capacidade para 5 tf e 100 tf, ambas calibradas, para os ensaios de viga e pilar respectivamente.

## 4.2 Ensaio à flexão

No ensaio à flexão foi aplicada carga a uma velocidade constante de 100N/min. e leituras de deslocamento à cada 200N. A tabela 3.1 apresenta o resultado dos ensaios de resistência à flexão em 3 pontos na viga.

Tabela 3.1 – Resultado do ensaio de resistência à flexão em 3 pontos na viga

| Viga                                 |                   |   |        |
|--------------------------------------|-------------------|---|--------|
| Comprimento:                         | 6,0 m             | Peso:   | 240 kg |
| Diâmetro das extremidades – interno: | (13,0 e 12,0) cm  |   |        |
| Diâmetro das extremidades – externo: | (16,0 e 14,5) cm  |   |        |
| Carga (N)                            | Deslocamento (mm) | Observações   |        |
| 100                                  | 8,6               | O bambu manteve-se integro durante todo o ensaio, apresentando ruptura de suas fibras na parte inferior com a carga de 1891N. |        |
| 200                                  | 16,5              |   |        |
| 400                                  | 34,9              |   |        |
| 600                                  | 61,8              |   |        |
| 800                                  | 84,7              |   |        |
| 1000                                 | 110,1             |   |        |
| 1200                                 | 125,0             |   |        |
| 1400                                 | 148,6             |   |        |
| 1600                                 | 173,9             |   |        |
| 1800                                 | 191,3             |   |        |
| 1891                                 | 209,0             |   |        |

Gráfico – Resultado do ensaio de resistência à flexão em 3 pontos na viga



### 4.3 Ensaio à compressão

Para o ensaio à compressão em pilar foi aplicado carga constante a uma velocidade de 10KN/min. até a ruptura. A tabela 3.2 apresenta o resultado dos ensaios de resistência à compressão nos pilares.

Tabela 3.2 – Resultado do ensaio de resistência à compressão nos pilares

| Pilar  |                   |  |       |
|--|-------------------|--|-------|
| Amostra 1 (Bambu com núcleo em microconcreto armado) |                   |  |       |
| Comprimento:   | 2,15 m            | Peso:  | 92 kg |
| Diâmetro das extremidades – interno:                 | (13,0 e 12,0) cm  |  |       |
| Diâmetro das extremidades – externo:                 | (14,5 e 13,0) cm  |  |       |
| Carga (KN)   | Deslocamento (mm) | Observações  |       |
| 56.500   | 42,6              | O pilar apresentou ruptura explosiva na carga citada, rompendo-se no centro. |       |
| Amostra 2 (Bambu com miolo – nó)                     |                   |  |       |
| Comprimento:   | 2,15 m            | Peso:  | 23 kg |
| Diâmetro das extremidades – interno:                 | (13,0 e 12,4) cm  |  |       |
| Diâmetro das extremidades – externo:                 | (14,5 e 13,6) cm  |  |       |
| Carga (KN)   | Deslocamento (mm) | Observações  |       |
| 17.200   | 53,1              | O pilar apresentou ruptura na carga citada, rompendo-se no centro.           |       |
| Amostra 3 (Bambu sem miolo – nó)                     |                   |  |       |
| Comprimento:   | 2,15 m            | Peso:  | 21 kg |
| Diâmetro das extremidades – interno:                 | (12,8 e 12,2) cm  |  |       |
| Diâmetro das extremidades – externo:                 | (14,3 e 13,3) cm  |  |       |
| Carga (KN)   | Deslocamento (mm) | Observações  |       |
| 18.200   | 57,0              | O pilar apresentou ruptura na carga citada, rompendo-se no centro.           |       |



## 5. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

O princípio básico do concreto armado consiste no aproveitamento da capacidade do concreto resistir aos esforços de compressão, e o reforço aos esforços de tração. O bambu apresenta resistência à tração suficiente para trabalhar como reforço em estruturas de concreto armado.

Na viga de bambucon foi registrada uma deformação máxima de 209,0mm (Fig 4.1) até que o bambu e o microconcreto se rompessem com uma carga de 189,1Kgf (Fig 4.2).



Figura 4.1: : Deformação da viga ocasionada pela aplicação de carga, deformação máxima de 209mm



Figura 4.2: Viga de bambucon rompida com carga de 189,1Kgf

Em se tratando do pilar de bambucon foi aplicada uma tensão máxima até que o mesmo apresentasse uma ruptura explosiva registrada no centro da peça (Fig 4.3 e 4.4).

Para que uma estrutura de concreto armado responda adequadamente às solicitações impostas, a transferência de forças entre o concreto e o reforço deve ser eficiente. O elemento responsável por essa transferência é a aderência concreto-reforço, que é ativada após a fissuração do concreto. Este mecanismo garante a compatibilidade de deformações entre os dois materiais e, conseqüentemente, que a estrutura continue a resistir aos esforços solicitantes, mesmo para estágios avançados de fissuração do elemento estrutural.



Figura 4.3: Ruptura explosiva registrada no centro do pilar



Figura 4.4: Detalhe da ruptura no pilar, as fibras do bambu romperam-se longitudinalmente

Em ensaios de resistência à compressão em corpos-de-prova de bambu com nó e sem nó, os bambus apresentaram resistências semelhantes, ou seja, proporcionalmente as cargas aplicadas. Porém, o bambu com nó suportou uma carga maior do que o bambu sem nó até que se rompesse.

A hipótese não comprovada mais plausível para explicar tal comportamento das peças; tanto da viga quanto dos pilares é a de que a resistência do bambu à compressão é 30% menor do que sua própria resistência à tração, com a vantagem de que o bambu é mais flexível que o aço.

## 6. CONCLUSÃO

A necessidade de repensar o consumo de materiais na construção para torná-la mais sustentável do ponto de vista ambiental atrai olhares para a exploração de novas alternativas que tirem partido da anatomia e potencialidades formais do bambu.

Em termos econômicos o bambucon se mostra muito favorável, pois o bambu é de mais fácil aquisição e transporte que a maioria dos materiais de construção civil, além de oferecer boa resistência a flexão e a tração.

Estas propriedades, somadas às estéticas originais, que são mantidas mesmo após o seu beneficiamento, são opções bastante atrativas para a fabricação de produtos de maior valor agregado.

Com os resultados obtidos fica claro que o bambu pode ser de fato usado como material confiável na construção civil, o bambu trabalhou muito bem como reforço das estruturas de concreto. Ele apresentou uma dependência estreita com a resistência do concreto, motivo pelo qual concluímos que o bambu trabalhou efetivamente como fôrma deste material, mesmo apresentando boa flexibilidade a compressão e flexão.

## 7. BIBLIOGRAFIA

Argollo Ferrão, A.M; Freire, W.J. Aderência entre bambu e concreto: teste de arrancamento com taliscas de *Bambusa tuldoides*. In: Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira, 5, 1995, Belo Horizonte. Anais...Belo Horizonte: IBRAMEM, v.2, p.389-398. 1995.

Beraldo, A.L. Bambucreto - o uso do bambu como reforço do concreto. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 16, 1987, Jundiaí. Anais... Jundiaí, SP: SBEA, 1987, v.2, p.521-530.

Geymayer, H.G.; Cox, F.B. Bamboo reinforced concrete. Journal of the American Concrete Institute, v. 67, n.10, p.841-846, 1970

Ghavami, K. Bambu: um material alternativo na engenharia. Engenharia n.492, p.23-27. 1992.

Ghavami, K; Hombeek, R.V. Mechanical properties and water-repellent treatment of bamboo. In: Latin American Symposium Rational Organization of Building Applied to Low Cost Housing. 1981, São Paulo. Proceedings... São Paulo, v.1, p.49-55. 1981.

HIDALGO-LÓPEZ, Oscar. Bamboo-The gift of the Gods, Bogotá, D´Vinni,2003,p. 55.

Janssen, J.J.A. building with bamboo. 2. ed. London: Intermediate Technology Publications, 1995.

Kurian, N.P.; Kalam, A.K. A. Bamboo reinforced soil-cement for rural use. Indian Concrete Journal. n. 51, p.382-389, 1977.

Leonhardt, F.; Mönnig, E. Construções de concreto. 1 ed. Rio de Janeiro: Editora Interciência Ltda. 1977. 305p.

Lima Jr., H.C.; Dalcanal, P.R.; Willrich, F.L.; Barbosa, N.P. Características mecânicas do bambu *Dendrocalamus giganteus*:análise técnica e experimental. In: Sustainable construction into the next millenium environmentally, friendly and

innovative cement based materials. 2000, João Pessoa. Proceedings... João Pessoa: Federal University of Paraiba and The University of Sheffield. 2000. p.394-406.

Lima Jr, H.C.; Xavier, A.C.; Toledo Filho, R.D.; Barbosa, N. P. Aderência bambu-concreto. In: Congresso de Engenharia Civil, II, 1986, Juiz de Fora. Anais...Juiz de Fora: Universidade Federal de Juiz de Fora. 1996. v.2. p.312-323.

LOPEZ, O. H. *Bamboo, The Gift of the Gods*. Bogotá, Colômbia: Lopez Editor, 2003. 553 p.

NUNES, Antonio Ricardo Sampaio N972c Construindo com a natureza bambu : uma alternativa de ecodesenvolvimento / Antonio Ricardo Sampaio Nunes. São Cristóvão, 2005. 131p. : il.

PEREIRA, M. A. *Bambu: espécies, características e aplicações*. Bauru . SP: Editora da UNESP, 2001. 58 p.

Recht, C.; Wetterwald, M.F. *Bamboos*. London: B.T. Batsford Ltd. 1994. 128p.

Salgado, A.L. de B. Resistência a la extracción de astillas de bambu enclavadas en concreto. In: Sustainable construction into the next millenium environmentally, friendly and innovative cement based materials. 2000, João Pessoa. Proceedings... João Pessoa: Federal University of Paraiba and The University of Sheffield. 2000. p.407-412.

Sussekind, J. C. Curso de concreto: concreto armado I. Rio de Janeiro: Globo, vol. 1, 5º edição, 1987.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR11578 Cimento portland composto especificação, Rio de Janeiro. 1991. 8p.

Certificado de calibração de Célula de Carga 5000 kg, nº 2520/09, emitido por Solocap em 03/04/2009, com validade até 04/2010.

Certificado de calibração de Célula de Carga 100000 kg, nº 5235, emitido por Prestécnica Balanças em 10/07/2008, com validade até 07/2010.

LENGEN, Johan Van. Manual do Arquiteto Descalço. Porto Alegre. Livraria do Arquiteto, 2004.

Mestranda Arquiteta Zaira Tirelli – PPGEC – NORIE – Prof: Sattler & Bonin. - 22/06/2007

Salgado, A.L. de B. Resistência a la extracción de astillas de bambu enclavadas en concreto. In: Sustainable construction into the next millenium environmentally, friendly and innovative cement based materials. 2000, João Pessoa. Proceedings... João Pessoa: Federal University of Paraiba and The University of Sheffield. 2000. p.407-412.

SAS - Statistical analysis system. SAS System for linear models. Cary: SAS Institute, 1986. 211p.

Toledo Filho, R.D.; Barbosa, N.P. Aplicação de bambu e de fibras naturais nas construções rurais. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 19, 1987, Piracicaba. Anais... Piracicaba: SBEA, 1990, v.1, p.81-91.

Torres Cruz, L.A. Modelo anisótropo de elementos finitos para el análisis



mecánico del bambú y su verificación experimental. Santiago de Cali, 2005. 133p.  
Trabalho Final - Escuela de Ingeniería Civil y Geomática, Universidad del Valle.  
INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. Determination  
of physical and mechanical properties of bamboo,ISO N314. 1999.

## Sítios da rede global citados

<http://www.bambubrasileiro.com.br/>

<http://www.ambientebrasil.com.br/>

<http://www.cef.gov.br>

<http://www.ecoagencia.com.br/>

<http://www.ecocentro.org/site.htm>

<http://www.infohab.org.br/>

<http://www.mma.gov.br>

<http://www.inbar.int/>

<http://www.abmtenc.civ.puc-rio.br/>

<http://www.bambubrasil.org/>

<http://botanica.org.br/>

<http://guadua.org/>

<http://vhc.org.ec/>

<http://bambootechnologies.com/>

<http://agenciabambu.com.br/>

[http:// www.labeee.ufsc.br/](http://www.labeee.ufsc.br/)

<http://www.cidades.gov.br/>

<http://www.vitruvius.com.br/>

[www.iadb.org](http://www.iadb.org)