

ARGAMASSA DE CIMENTO, AREIA E PARTÍCULAS DE BAMBU

Antonio L. Beraldo¹, Sandra C. F. Martins²

Copyright 2006, ABENDE

Trabalho apresentado no I Seminário sobre a aplicação de Ensaio Não-Destrutivo na Madeira e em Materiais a Base de Madeira, Itatiba, São Paulo.

As informações e opiniões contidas neste trabalho são de exclusiva responsabilidade do (s) autor(es).

RESUMO

O bambu é uma matéria-prima renovável e disponível no meio rural, prestando-se para modificar matrizes cimentícias. No entanto, a exemplo de outras biomassas vegetais, o bambu apresenta extrativos, os quais são inibitórios à pega e ao endurecimento do cimento. Visando minimizar a incompatibilidade entre dois tipos de cimento Portland (CP II-E-32 e CP V-ARI) e partículas de bambu, foram aplicados diversos tratamentos à biomassa vegetal. Moldaram-se corpos-de-prova cilíndricos, os quais foram avaliados diariamente por meio do ensaio não destrutivo por ultra-som. Posteriormente os corpos-de-prova foram submetidos ao ensaio de compressão simples. Os resultados obtidos indicaram a adequação do uso do END e da correlação entre a velocidade de propagação do pulso ultra-sônico (VPU) e a resistência à compressão simples. O melhor tratamento foi obtido quando do uso do cimento CP V-ARI e 8% de partículas de bambu tratadas em água quente.

PALAVRAS-CHAVES: compósitos de biomassa vegetal, partículas de bambu, END.

1. INTRODUÇÃO

O bambu é uma matéria-prima renovável, de baixo custo, e com grande disponibilidade no meio rural. Várias são as aplicações possíveis para esse material, variando desde seu uso estrutural, até seu emprego na fabricação de compósitos à base de cimento Portland.

Segundo AGOPYAN et al. (1990), está se observando, internacionalmente, um aumento no emprego de materiais reforçados com fibras naturais. Fatores como o menor custo, a baixa energia consumida tanto para a fabricação como para o transporte, a indisponibilidade dos materiais convencionais no local e o conseqüente aumento nos preços fazem com que esta busca se torne incessante. Os efeitos de adição de fibras às matrizes estão relacionados ao comportamento de ambas. Basicamente, existem três conjuntos fibra-matriz na construção civil: **matriz frágil**, como pastas, argamassas, concretos e plásticos com estrutura cristalina ou ligações cruzadas, com reforço de fibras de vidro, aço, amianto e alguns tipos de plásticos; **matriz frágil reforçada com fibras** de módulo de elasticidade similar ou até inferior ao da matriz, como as fibras plásticas comuns e as fibras vegetais; **matriz dúctil**, como os plásticos e os metais, com fibras de módulos de elasticidade geralmente superior ao da matriz (AGOPYAN, 1993).

¹ Doutor. Professor Associado. Faculdade de Engenharia Agrícola – Unicamp. beraldo@agr.unicamp.br

² Mestre em Engenharia Agrícola. sancfm@terra.com.br

Um dos grandes avanços obtidos nos últimos anos na caracterização de materiais, tanto do ponto de vista mecânico quanto de qualidade, é a aplicação de técnicas não destrutivas, denominadas internacionalmente como NDT – Non Destructive Testing e NDE – Non Destructive Evaluation, destacando-se, dentre elas, o uso do ultra-som, principalmente em pesquisas sobre os materiais à base de cimento.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Tratamento das partículas de bambu com hidróxido de sódio

Tomando-se como referência o trabalho de Azzini & Gondim Tomaz (1996), adicionaram-se partículas secas de bambu a uma solução aquosa de 5% de hidróxido de sódio. Uma quantidade de partículas foi pesada e deixada imersa por períodos de 6 h, 12 h, e 24 h, após os quais se lavava as partículas em água corrente.

2.2 Tratamento das partículas de bambu com água quente

De acordo com a metodologia proposta por Beraldo & Rolim (1996), o tratamento consistiu na imersão das partículas de bambu em água à temperatura de 80 °C, durante um período de 2 h.

2.3 Determinação do traço

O traço utilizado foi de 1:3 em massa (cimento : areia), para a confecção do compósito. As porcentagens de fibras foram fixadas em 8%, 16% e 24% (em relação à massa de cimento). A razão água/cimento foi definida através de ensaio de trabalhabilidade da norma NBR 7215, anexo B, ABNT - mesa flow table, e ajustada durante o processo, iniciando-se com 0,60, 0,75 e 0,90. Na Tabela 1 apresentam-se os tratamentos combinando-se as partículas vegetais com os cimentos CP-II-E-32 (NBR 11578) e CP-V-ARI (NBR 5733).

Tabela 1. Descrição dos tratamentos aplicados aos corpos-de-prova.

T 1	CPII + areia + água	T 14	CPII + 16% fibras lavadas em água quente
T 2	ARI + areia + água	T 15	ARI + 16% fibras 6 h em soda cáustica
T 3	CPII + 8% fibras 6 h em soda cáustica	T 16	ARI + 16% fibras 12 h em soda cáustica
T 4	CPII + 8% fibras 12 h em soda cáustica	T 17	ARI + 16% fibras 24 h em soda cáustica
T 5	CPII + 8% fibras 24 h em soda cáustica	T 18	ARI + 16% fibras lavadas em água quente
T 6	CPII + 8% fibras lavadas em água quente	T 19	CPII + 24% fibras 6 h em soda cáustica
T 7	ARI + 8% fibras 6 h em soda cáustica	T 20	CPII + 24% fibras 12 h em soda cáustica
T 8	ARI + 8% fibras 12 h em soda cáustica	T 21	CPII + 24% fibras 24 h em soda cáustica
T 9	ARI + 8% fibras 24 h em soda cáustica	T 22	CPII + 24% fibras lavadas em água quente
T 10	ARI + 8% fibras lavadas em água quente	T 23	ARI + 24% fibras 6 h em soda cáustica
T 11	CPII + 16% fibras 6 h em soda cáustica	T 24	ARI + 24% fibras 12 h em soda cáustica
T 12	CPII + 16% fibras 12 h em soda cáustica	T 25	ARI + 24% fibras 24 h em soda cáustica
T 13	CPII + 16% fibras 24 h em soda cáustica	T 26	ARI + 24% fibras lavadas em água quente

2.4 Moldagem dos corpos-de-prova cilíndricos

A moldagem dos corpos-de-prova cilíndricos de 5 cm de diâmetro e 10 cm de altura, seguiu os procedimentos indicados pela norma NBR 7215 (ABNT, 1996), no que diz respeito aos moldes, capeamento e determinação da carga de ruptura.

2.5 Cura dos corpos-de-prova

Os corpos-de-prova foram desmoldados depois de 24 h e dispostos em câmara úmida por 7 dias. Em seguida, foi efetuada a cura ao ar livre (21 dias), até a data dos ensaios. Foram retirados três corpos-de-prova de todos os tratamentos no 3º, 7º e 28º dias, os quais foram capeados e ensaiados à compressão simples.

2.6 Determinação da velocidade de propagação da onda ultra-sônica

Na medição do tempo de propagação da onda ultra-sônica através dos corpos-de-prova cilíndricos, utilizou-se o equipamento Ultrasonic Tester, modelo BP-7, da STEINKAMP, com transdutores de seção exponencial com frequência de ressonância de 45 kHz. O ensaio de ultra-som foi realizado nos corpos-de-prova durante 7 dias consecutivos e também no 28º dia, antes da realização do ensaio de compressão.

2.7 Determinação da resistência à compressão simples

A resistência à compressão simples foi calculada individualmente dividindo-se a carga de ruptura pela área da seção transversal do corpo-de-prova, conforme os procedimentos da norma NBR 7215 da ABNT.

3. RESULTADOS

3.1 Ensaios efetuados em corpos-de-prova cilíndricos

Os dados obtidos foram analisados e comparados estatisticamente pelo programa SAS. As médias foram analisadas pelo teste de Tukey a 95% de probabilidade estatística.

3.2 END – Ensaio Não Destrutivo- Ultra-Som

Nas figuras 1 e 2 foram apresentados apenas os tratamentos das testemunhas (T1 e T2, respectivamente, para os cimentos CII e ARI), e aqueles nos quais se combinou o uso do tratamento de 6 h de imersão das partículas em solução de soda cáustica, e para teores variáveis de fibras (8%, 16% e 24%). Percebe-se claramente que as curvas de evolução da velocidade de propagação da onda ultra-sônica (VPU), após sofrerem uma forte aceleração nas idades iniciais, ou seja, mostrarem a maior evolução na pega e no endurecimento da mistura, tenderam a se estabilizar em torno do 7º dia. Desse modo, pôde-se mostrar que o método utilizado permitiu diferenciar alguns tratamentos entre si, e, sobretudo, em relação às testemunhas (T1 e T2).

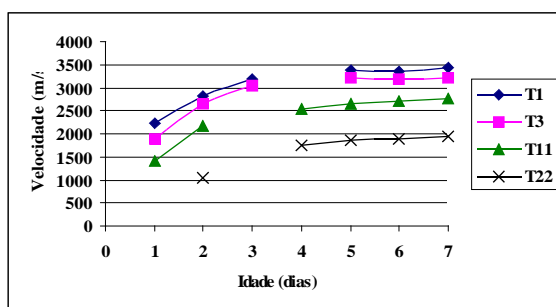


Figura 1. Compósitos de CP-II-E-32

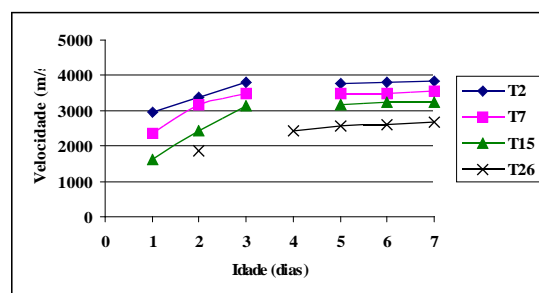


Figura 2. Compósitos de CPV-ARI

O tratamento T5 não diferiu estatisticamente do tratamento testemunha T1, quando foram comparadas as respectivas VPU. Quanto aos compósitos à base de CP-V-ARI cinco deles (T9, T7, T8, T18 e T10) indicaram, provavelmente, as boas possibilidades dos compósitos

em testes mecânicos, visto que as VPU foram superiores estatisticamente às dos demais tratamentos.

3.3 Resistência à compressão simples

A análise das médias da resistência à compressão simples (tabelas 2 e 3), com o auxílio do teste de Tukey indicou, a exemplo de outros materiais à base de cimento, que a resistência à compressão foi sempre maior aos 28 dias do que aos 7 dias e aos 3 dias, independentemente do tipo de tratamento aplicado às partículas, de sua dosagem e do tipo de cimento utilizado. Dentro do mesmo tipo de tratamento, os compósitos à base de CP-V-ARI sempre apresentaram resultados superiores àqueles de CP-II-E-32, no ensaio de compressão simples, denotando a menor sensibilidade desse cimento à ação dos extrativos presentes nas partículas de bambu. Quanto maior foi o teor de fibras adicionadas menor foi a resistência à compressão obtida para o mesmo tipo de tratamento adotado.

Para compósitos à base de CP-II-E-32 os melhores resultados no ensaio de compressão foram apresentados pelos tratamentos T6, T3 e T5, os quais não diferiram estatisticamente da testemunha (T1). Para os corpos-de-prova à base de CP-V-ARI, observou-se que os melhores tratamentos foram T9, T10, T8 e T7, os quais não diferiram estatisticamente da testemunha (T2).

Tabela 2. Resultado de compressão simples para o CP-II-E-32.

CP-II-E-32		8%					16%				24%			
Idade		T1	T3	T4	T5	T6	T11	T12	T13	T14	T19	T20	T21	T22
	CS	-	7,31	7,80	9,46	10,76	5,25	6,07	6,79	6,50	3,14	4,21	3,80	2,60
3 d	DP	-	0,18	0,67	0,99	0,42	0,33	0,22	0,23	1,05	0,23	0,30	0,21	0,06
	CV	-	2,46	8,59	10,47	3,90	6,29	3,62	3,39	16,15	7,32	7,13	5,53	2,31
	CS	15,08	10,24	7,94	12,64	14,36	7,79	9,57	7,84	9,72	5,31	5,42	4,69	4,46
7 d	DP	4,40	1,33	0,56	0,54	0,75	0,27	0,59	0,99	0,87	0,03	0,22	0,28	0,61
	CV	29,18	12,99	7,05	4,27	5,22	3,47	6,17	12,63	8,95	0,56	4,06	5,97	13,68
	CS	24,74	15,95	18,01	18,53	16,91	9,43	10,30	11,27	10,58	6,21	6,61	6,13	6,27
28 d	DP	2,25	0,71	0,23	1,33	0,72	0,65	0,55	1,32	1,30	0,54	1,11	0,61	0,54
	CV	9,09	4,45	1,28	7,18	4,26	6,89	5,34	11,71	12,29	8,70	16,79	9,95	8,61

CS = resistência (MPa); DP = desvio-padrão (MPa); CV = coeficiente de variação (%).

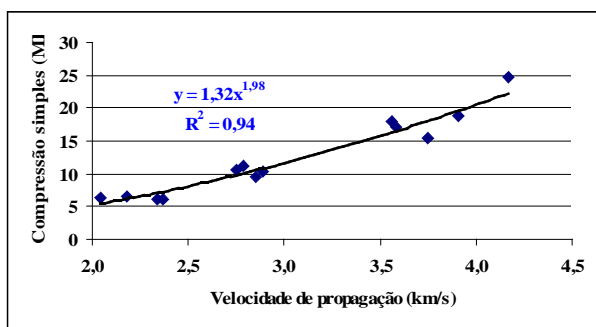
Tabela 3. Resultado de compressão simples para o CP-V-ARI.

CP-V-ARI		8%					16%				24%			
Idade		T2	T7	T8	T9	T10	T15	T16	T17	T18	T23	T24	T25	T26
	CS	-	13,15	11,23	16,59	16,27	8,63	6,92	8,28	7,56	3,62	3,43	3,73	3,28
3 d	DP	-	1,07	0,78	0,76	1,02	0,38	0,68	1,64	0,86	0,25	0,11	0,45	0,23
	CV	-	8,14	6,95	4,58	6,27	4,40	9,83	19,81	11,38	6,91	3,21	12,06	7,01
	CS	24,71	17,33	17,64	17,00	16,61	11,26	9,57	10,58	10,26	4,39	4,43	4,80	4,56
7 d	DP	5,91	1,72	2,12	3,05	4,60	1,10	0,23	0,72	1,50	0,35	0,29	0,34	0,40
	CV	23,92	9,92	12,02	17,94	27,69	9,77	2,40	6,80	14,62	7,97	6,55	7,08	8,77
	CS	33,48	20,72	22,81	19,52	19,01	12,63	11,75	12,28	12,57	6,14	6,46	6,32	6,79
28 d	DP	7,72	1,06	2,15	3,83	5,13	1,72	0,06	0,43	0,75	0,79	1,18	0,89	0,55
	CV	23,06	5,11	9,43	19,62	26,99	13,62	0,51	3,50	5,97	12,87	18,27	14,08	8,10

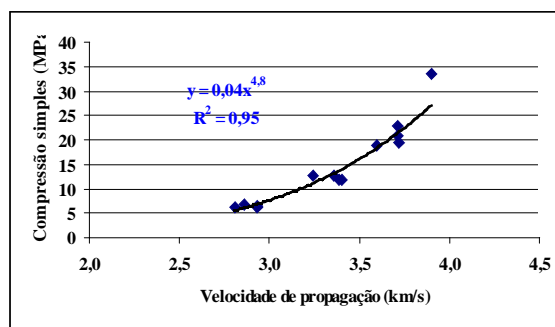
CS = resistência (MPa); DP = desvio-padrão (MPa); CV = coeficiente de variação (%).

3.4 Correlação entre a resistência à compressão simples e a velocidade de propagação da onda ultra-sônica (idade 28 dias)

Nas figuras 3a e 3b apresentam-se as curvas de tendências e os respectivos coeficientes de correlação para análise do comportamento da resistência à compressão simples versus VPU, para compósitos de partículas de bambu e cimentos CP-II-E-32 e CP-V-ARI, respectivamente. Pode-se observar que a curva de potência mostrou-se adequada para ajustar os dados experimentais, corroborando informações na literatura empregadas em ensaios não destrutivos aplicados ao concreto de cimento Portland (NEVILLE, 1982).



(a) CP-II-E-32



(b) CP-V-ARI

Figura 3. Curvas de VPU e de resistência à compressão simples para os compósitos.

4. CONCLUSÕES

A velocidade de propagação da onda ultra-sônica (VPU) através dos corpos-de-prova tendeu a estabilizar-se após o 7º dia, sendo o incremento da velocidade mais significativo nas primeiras idades. O END por ultra-som permitiu detectar o efeito de diferentes porcentagens das fibras de bambu adicionadas aos dois tipos de cimento, e também indicou claramente a adequação do cimento CP-V-ARI na fabricação dos compósitos com partículas de bambu. Os resultados indicaram uma forte correlação matemática entre a magnitude da VPU e a resistência à compressão simples, sendo a curva de potência o modelo de regressão que melhor se adequou aos resultados.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGOPYAN, V. O emprego de materiais fibrosos na construção civil. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE MATERIAIS REFORÇADOS COM FIBRAS PARA CONSTRUÇÃO CIVIL, 1, 1993, São Paulo. **Anais...** São Paulo: EPUSP, p. 11-25.

AGOPYAN, V.; JOHN, V. M.; DEROLLE A. **Construindo com fibras vegetais.** Instituto de Pesquisas Tecnológicas / Divisão de Construção Civil. Encarte Técnico IPT/PINI. Construção São Paulo 2200, Abril 1990.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **ABNT**, Rio de Janeiro. NBR.

_____ **NBR 5733** – Cimento Portland de alta resistência inicial. Rio de Janeiro, 1991. 5p.

_____ **NBR 7215** - Cimento Portland: Determinação da resistência à compressão, método de ensaio. Rio de Janeiro, 1996. 8p.

_____ **NBR 11578** – Cimento Portland composto, especificação. Rio de Janeiro, 1991. 8p.

AZZINI, A.; GONDIM-TOMAZ, R. M. A. Extração de amido em cavacos de bambu tratados com solução diluída de hidróxido de sódio. **Bragantia**, Campinas, 55(2): p. 215-219, 1996.

BERALDO, A. L.; ROLIM, M.M. Efeitos de tratamento sobre a resistência à compressão de compósitos cimento-madeira de reflorestamento. In CADIR 96 – IV CONGRESO ARGENTINO Y II CONGRESO INTERNACIONAL DE ENGENHARIA RURAL, 10, 1996, Neuquén. **Memórias...** Neuquén: Argentina, 1996. p. 773-778.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto**. São Paulo: PINI, 2ª edição, p. 149-153, 1982.