

BAMBU-CIMENTO: ALTERNATIVA PARA CONSTRUÇÕES RURAIS

Antonio Ludovico Beraldo, Eng. Agrícola, Docteur en Sciences du Bois
Prof. Ass. Doutor- DCONRU- Faculdade de Engenharia Agrícola-Unicamp
Caixa Postal 6011, CEP 13083-970, Campinas, SP. E-mail: beraldo@agr.unicamp.br

RESUMO

Neste trabalho são apresentados resultados de ensaios de compressão simples de compósitos à base de partículas de bambu (*Bambusa tuldoides*) e cimento Portland. A biomassa vegetal (fitomassa) foi submetida a diversos tratamentos: natural, lavagem (água a 80 °C-2 horas), acelerador (CaCl_2 a 3% em relação à massa de cimento) e mineralização (Na_2SiO_3 em solução aquosa a 5%, seguida da imersão em $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ a 30%). Verificou-se, igualmente, o efeito da composição do cimento, adotando-se como matriz os cimentos CP II E 32 e CP V ARI. O uso do cimento ARI permitiu sobrepujar o efeito nocivo dos constituintes químicos do bambu.

ABSTRACT

The compression strength of the bamboo particles Portland cement composites was evaluated. Several physical and chemical treatments of the bamboo particles shows the importance of the Brazilian type V Portland cement choice (quick setting cement) for the composite manufacture. Bamboo chemical compounds are very inhibitory to the Brazilian type II Portland cement setting. However, the washing-up of the bamboo particles or the utilization of a Brazilian type V Portland cement are very interesting to enhance the bamboo-cement composite performance.

PALAVRAS-CHAVE

Bambu, compósitos, materiais alternativos, construções rurais

Introdução. O uso de materiais não-convencionais ou sua composição com materiais convencionais pode tornar-se uma solução adequada para construções de baixo custo, principalmente para países em vias de desenvolvimento. A opção por um material não-convencional, ou pela tecnologia apropriada para a construção, dependem da disponibilidade de recursos naturais. Dentre as matérias primas adequadas, a biomassa vegetal (fitomassa), compreendendo uma larga gama de possibilidades de suprimento, tais como, resíduos agroindustriais, da indústria de transformação da madeira, ou materiais disponíveis localmente (bambu, capim napier, etc) pode ser uma alternativa adequada para construções, sobretudo rurais.

O bambu, por apresentar uma série de vantagens em relação aos materiais convencionais de construção, pode ser utilizado diretamente em construções, ou então, combinado com o cimento Portland, buscando-se a substituição do aço, ou dos agregados minerais. A exploração desenfreada das jazidas minerais (portos de areia e pedreiras) acarreta um grande transtorno ambiental, sendo objeto de severas restrições na Europa. A fitomassa pode reduzir, em certos casos, o consumo dos agregados minerais, tornando-se, ainda, uma grande alternativa para a substituição das fibras de amianto, cujos efeitos nocivos à saúde humana acarretaram sua proibição em vários países europeus.

Revisão bibliográfica. Embora sobejamente conhecido e utilizado intensamente em grande parte dos países do Oriente, o bambu não tem merecido a devida atenção em nosso país. Facilmente trabalhável, o bambu apenas é utilizado no Brasil, em artesanato, no fechamento de cercas ou na confecção de paredes protegidas com argila. Vários pesquisadores buscaram alternativas para a adequada utilização do bambu, propondo a utilização de colmos secos (1 a 2 meses) e maduros (2 a 3 anos), tratamento em água fria, quente ou em solução alcalina diluída, corte durante o inverno, pré-secagem dos colmos, dentre outras.

O reforço do concreto por colmos de bambu data de muito tempo, tendo sido intensivamente utilizado por ocasião da Segunda Guerra. Enquanto o concreto protege o bambu de contacto com o meio exterior, o bambu, por sua vez, pode melhorar a resistência do concreto à flexão, desde que sejam adotadas medidas adequadas para a junção íntima dos dois materiais. As principais recomendações relacionam-se com o carácter higroscópico dos colmos e com a baixa aderência entre o bambu e o concreto. A eficiência da ligação melhora com a pré-saturação dos colmos, com o envolvimento dos mesmos por fios metálicos, pelo recobrimento dos colmos por betume, seguido de aplicação de areia grossa.

A falta de aderência entre o bambu e o concreto torna-se mais evidente quando se utilizam colmos inteiros de bambus de grande diâmetro, que não apresentam as brotações laterais. Além disso, a camada externa dos colmos é recoberta por um tipo de cêra protetora que, se por um lado dificulta a interação química entre o bambu e o cimento, impede uma boa aderência entre os componentes. No entanto, não é recomendável a eliminação dessa capa protetora, devido à ocorrência na mesma de maior concentração de feixes de fibras.

A utilização de porções de colmos (taliscas) se mostra uma alternativa interessante para construções, permitindo utilizar colmos de maior diâmetro, além de melhorar a aderência com o concreto, devido à presença de porções de diafragma. Por outro lado, a exposição mais importante de células de parênquima à ação da solução alcalina de cimento pode, em parte, explicar a falta de aderência e a conseqüente fragilidade da interface bambu-concreto. Essa constatação torna-se mais evidente quando se propõe o uso do bambu, sob forma de partículas, em substituição aos agregados minerais. A exemplo de outras fitomassas, as partículas naturais de bambu podem se mostrar extremamente inibitórias à pega do cimento Portland comum, devido à sua constituição química rica em açúcares (Beraldo, 1994).

Os compósitos fitomassa-cimento apresentam vantagens importantes que os qualificam para fins de construção. Baseiam-se em matéria prima disponível e renovável, apresentam boas características físico-mecânicas, fornecem um produto final leve, resistente a impactos, e que é um bom isolante térmico e acústico. Por outro lado, os compósitos dependem fortemente das características da fitomassa; raras são aquelas que proporcionam a fabricação de produtos de qualidade quando são misturadas, sob forma de partículas naturais, com o cimento. Vários autores evidenciaram o fenómeno da incompatibilidade química entre a fitomassa e o cimento, deduzindo tratar-se de um

fenômeno cujo efeito é facilmente detectável (curva de hidratação, velocidade ultrasônica, resistência mecânica) porém, cuja explicação não se torna tão evidente. Reações químicas extremamente complexas desenvolvem-se entre os constituintes do compósito.

As alternativas propostas para minimizar o efeito nocivo da fitomassa na hidratação do cimento referem-se à escolha adequada da fitomassa (geralmente as coníferas são compatíveis com o cimento, enquanto que as folhosas raramente o são) e aos tratamentos físicos e químicos necessários para minimizar o efeito nocivo à pega do cimento. Em certos casos, a lavagem simples da fitomassa em água corrente, ou em solução alcalina diluída, permite eliminar uma parcela significativa dos constituintes nocivos à pega do cimento. A temperatura e o tempo de tratamento podem influenciar de forma importante a eficiência da extração. No entanto, tratamentos muito agressivos podem, igualmente, acarretar um efeito adverso ao esperado, liberando maior quantidade de substâncias nocivas ao cimento.

Várias pesquisas desenvolvidas sobre o efeito de aceleradores evidenciaram a sensibilidade de cada um em relação à constituição química da espécie vegetal. O cloreto de cálcio, na maior parte dos estudos, mostrou-se eficiente para anular os efeitos adversos da presença da fitomassa (Zhengtian e Moslemi, 1985).

Outra alternativa buscando favorecer a reação de hidratação do cimento foi efetuada por Furuno et al. (1991). Os autores testaram o efeito da mineralização de partículas vegetais efetuando a imersão das mesmas em solução de silicato de sódio ("water glass") e, a seguir, em sulfato de alumínio. Os resultados obtidos permitiram evidenciar o efeito benéfico de tal tratamento, fornecendo, inclusive, melhor proteção da fitomassa contra o fogo. A penetração dos sais formados na reação com os constituintes do cimento, no lúmen das células, além do recobrimento das partículas vegetais por um filme impermeável, melhorou de forma significativa a estabilidade dimensional do compósito.

Materiais e Métodos. Cavacos, com cerca de 5 cm, obtidos de colmos de bambu (*Bambusa tuldoides*) foram secados durante uma semana e, a seguir, desintegrados em moinho-de-martelos. A secagem mostrou-se necessária para evitar o entupimento da peneira do picador, ocasionado pela presença de partículas úmidas, embora aumente consideravelmente o surgimento de finos. Escolheu-se, na sequência do trabalho, partículas de bambu na faixa granulométrica passante na peneira 2,40 mm. Partículas de maior dimensão foram reprocessadas, enquanto que os finos (passantes na peneira 200) foram descartados por acarretarem problemas na homogeneização da mistura e elevação no consumo de água de amassamento, embora melhorem o acabamento superficial dos produtos.

Tratamentos das partículas de bambu. As partículas de bambu, secas ao ar durante uma semana, foram submetidas a tratamentos físicos e químicos visando melhorar sua compatibilidade química com o cimento. Os tratamentos físicos foram: Natural (testemunha) e Lavado (2 h a 80 °C); tratamentos químicos consistiram na utilização de cloreto de cálcio (3% em relação à massa de cimento) e na mineralização (imersão das partículas em solução aquosa a 5% de silicato de sódio, seguida de nova imersão em solução saturada a 30% de sulfato de alumínio).

Escolha da matriz. Buscou-se avaliar o efeito dos diversos tratamentos sobre a natureza da matriz empregada (cimentos CP II E 32 e CP V ARI). Para ambos avaliou-se a influência das interações (Natural x Mineralizado e Lavado x Mineralizado) sobre a resistência dos compósitos em compressão simples.

Fabricação dos corpos-de-prova (50 mm e altura 100 mm). Embora existam referências na literatura sobre a adequação em se efetuar a pré-umidificação das partículas vegetais, visando diminuir a competição pela água de amassamento entre elas e a matriz, adotou-se o procedimento de se confeccionar inicialmente a nata de cimento para, em seguida, adicionarem-se, cuidadosamente, as partículas vegetais para que absorvessem parte da nata de cimento, tendo em vista as dimensões importantes dos elementos anatômicos do bambu, sobretudo os vasos.

O traço adotado foi de 1:0,375:x=0,750 (em massa). A mistura foi distribuída em pequenas quantidades nas fôrmas e ligeiramente compactada com uma espátula.

Desmoldagem, cura, capeamento e ensaio de compressão. Após 24 horas os corpos-de-prova foram cuidadosamente desmoldados, pesados, e envoltos por sacos plásticos durante uma semana. A seguir, foram deixados para secar ao ar ambiente durante mais uma semana. Procedeu-se, então, ao capeamento com enxofre. O ensaio, efetuado ao 14º dia em máquina universal Versa Tester, tinha uma duração de cerca de três minutos. Para cada tratamento foram efetuadas três repetições.

Resultados e discussão. Os resultados dos ensaios de compressão simples evidenciaram o caráter altamente inibitório das partículas naturais de bambu (*Bambusa tuldoides*), sobretudo em presença do cimento CP II E 32 (figura 1). Essa constatação confirma estudos anteriores realizados com partículas da mesma espécie vegetal e cimento francês CPA 55 (Beraldo, 1994).

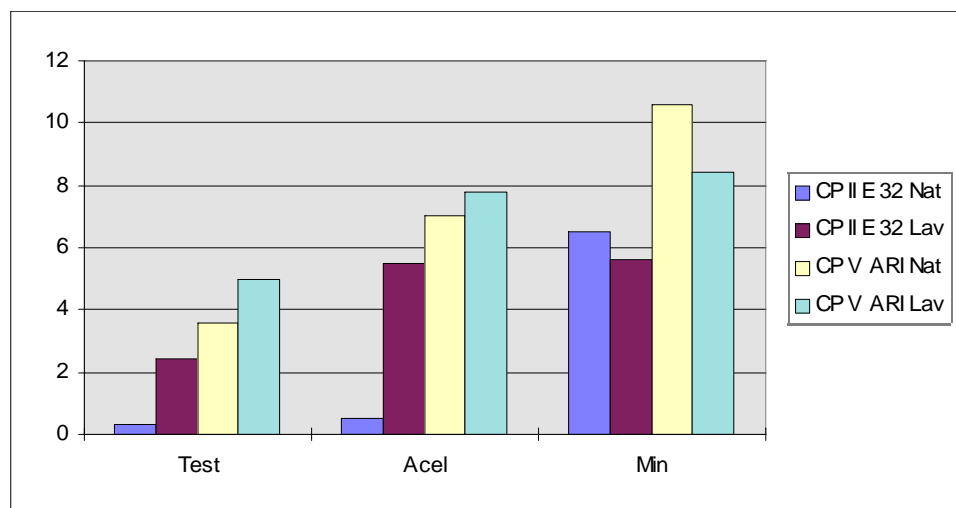


Figura 1. Resultados do ensaio de compressão simples de compostos bambu-cimento

A análise estatística ao nível de 5% de significância aplicada aos dados do módulo de ruptura dos corpos-de-prova, e o Teste de Tukey para as médias, permitiram evidenciar as diversas interações entre os fatores Lavagem (Natural ou Lavado), Cimento (CP II E 32 ou CP V ARI) e Tratamento (Natural ou Cloreto de Cálcio ou Mineralização).

* O cimento CP V ARI foi estatisticamente diferente e mais eficiente do que o CP II E 32, independentemente do tratamento efetuado sobre as partículas vegetais, apresentando resultados médios à compressão de, respectivamente, 7,1 e 3,4 MPa;

* A lavagem das partículas vegetais foi estatisticamente diferente e mais eficiente do que a adoção de partículas naturais, independentemente do cimento empregado e do tratamento químico utilizado, com resultados médios de resistência à compressão de, respectivamente, 5,8 e 4,7 MPa;

* Dentre os tratamentos químicos realizados, observaram-se diferenças significativas estatisticamente, independentemente do tipo de cimento empregado, com resultados médios nos

ensaios de compressão para mineralização, acelerador e natural de, respectivamente, 7,7; 5,2 e 2,9 MPa. A mesma tendência foi verificada para o cimento CP II E 32 (valores de 6,0; 3,0 e 1,4 MPa), independentemente de ter sido efetuada ou não a etapa de lavagem. No entanto, verificou-se o efeito inibidor das partículas naturais (0,30 MPa), parcialmente anulado pela lavagem (2,4 MPa). Para o CP V ARI a mineralização (9,5 MPa), o uso de acelerador (7,4 MPa) e de partículas naturais (4,4 MPa) foram estatisticamente diferentes, independentemente de ter sido efetuada ou não a etapa de lavagem. As partículas naturais podem ser consideradas como moderadamente inibidoras do CP V ARI (3,6 MPa), sendo melhoradas pela lavagem (5,1 MPa);

* O uso do acelerador cloreto de cálcio mostrou-se mais eficiente para partículas lavadas (6,6 MPa) do que para partículas naturais (3,7 MPa), independentemente do cimento empregado. Contrariamente às informações contidas na literatura especializada, a adição de 3% de cloreto de cálcio não conseguiu anular os efeitos nocivos das substâncias contidas nas partículas naturais de bambu (variação de 0,3 para 0,5 MPa) quando se utilizou o CP II E 32. Para o CP V ARI, no entanto, notou-se grande variação (de 3,6 para 7,0 MPa);

* A mineralização das partículas naturais de bambu permitiu aumentar de forma significativa a resistência dos corpos-de-prova à compressão, tanto para o cimento CP II E 32 (de 0,3 para 6,5 MPa) como para o cimento CP V ARI (de 3,6 para 10,6 MPa);

* Embora tenham sido observados os efeitos individuais benéficos da lavagem e da mineralização das partículas vegetais, a combinação dos dois tratamentos não apresentou o resultado esperado. Com efeito, para os cimentos CP II E 32 e CP V ARI os valores obtidos no ensaio de compressão para os tratamentos Natural e Mineralizado foram, respectivamente, 6,5 e 10,6 MPa, enquanto que, para Lavado e Mineralizado, os valores correspondentes foram, respectivamente, 5,6 e 8,4 MPa. A explicação desse fenômeno pode ser relacionada com a modificação na distribuição granulométrica das partículas de bambu, visto que, parte dos finos acaba sendo eliminada durante a etapa de lavagem e posterior peneiramento, o que pode modificar a eficiência de compactação na moldagem dos corpos-de-prova. Outra possibilidade é a de que ocorram reações químicas entre os açúcares contidos nas partículas de bambu (sacarose, glicose, frutose e glucoheptose) com os constituintes do cimento, culminando com a formação de complexos (Pimienta et al., 1994). Tal constatação foi, inclusive, verificada durante os ensaios de compósitos a partir de partículas de capim elefante-variedade Napier (*Pennisetum purpureum*) com os mesmos cimentos (Beraldo e Nakasaki, 1977).

Conclusão. Devido às suas características peculiares o bambu é uma excelente fonte de matéria prima para a fabricação de compósitos à base de cimento. A análise dos resultados do ensaio de compressão simples permitiu concluir que o efeito da matriz inorgânica empregada (CP II E 32 ou CP V ARI) influi de forma decisiva na qualidade do compósito obtido. Desse modo, quando do emprego do CP II E 32, a etapa de lavagem das partículas de bambu torna-se de fundamental importância para eliminar parcialmente as substâncias nocivas à pega do cimento. O tratamento alternativo de mineralização pode, igualmente, suplantiar de forma importante a inibição do cimento. Para o CP V ARI, no entanto, mesmo as partículas naturais podem proporcionar a obtenção de compósitos adequados, embora os tratamentos empregados (lavagem, acelerador e mineralização) aumentem notavelmente a resistência do compósito à compressão.

Os requisitos tecnológicos necessários ao material estudado, assim como o custo dos tratamentos propostos, devem ser analisados para se indicar a escolha mais adequada para o uso desse versátil material.

Referências

BERALDO A.L. *Généralisation et optimisation de la fabrication d'un composite biomasse végétale-ciment à variations dimensionnelles limitées vis-à-vis des variations d'humidité*. Thèse de Doctorat. Université de Nancy I, Nancy, France, 222 p.

BERALDO, A.L; NAKASAKI E.H. Estudo da viabilidade técnica da fabricação de compósitos cimento e capim elefante-variedade Napier (*P. purpureum* Schum.). In: *II Congreso Chileno de Ingeniería Agrícola*, Chillán, Chile, Edit. eletrônica, Maio, 1997.

Furuno T.; UEHARA T; JODAI S. Combinations of wood and silicate. Impregnation by water glass and applications of aluminum sulfate and calcium chloride as reactants. *Mokuzai Gakkaishi*, Vol. 37, n° 5, p. 462-472, 1991.

PIMIENTA, P.; CHANDELIER, J., RUBAUD, M., DUTRUEL, F. NICOLE, M. Étude de faisabilité des procédés de construction à base de béton de bois. *Cahiers du CSTB*, Cahier 2703, Janv.-Février 1994, 45 p.

ZHENG TIAN N.L.; MOSLEMI A.A. Influence of chemical additives on the hydration characteristics of Western Larch wood-cement-water mixtures. *Forest Products Journal*, 35(7), p. 37-43.