

COMPÓSITO LIGERO CON PARTÍCULAS DE *GUADUA*

Antonio L. Beraldo y Flávia V. Freitas

*Facultad de Ingeniería Agrícola, Universidad de Campinas – UNICAMP
CEP 13083-970 Campinas – SP - Brasil*

RESUMEN

El bambú *Guadua* es una materia prima muy utilizada para construcciones en algunos países de Latino América. Los residuos del procesamiento industrial del bambú y las partes superiores del tallo, hasta ahora no han sido explotados adecuadamente.

El objetivo de este trabajo es la evaluación de la compatibilidad química entre los residuos del bambú *Guadua* y tres tipos de cementos brasileños (CP II, CP III y CP V - ARI). Las partículas de bambú en su forma natural y también después de sometidas a diferentes tratamientos fueron empleadas en la fabricación de compósito ligero.

La evaluación del desempeño del compósito ligero fue efectuada por medio de ensayos indirecto (ultra-sonido) y directo (medida de resistencia a la compresión).

Los resultados obtenidos con los diferentes tratamientos aplicados a las partículas de bambú mostraron efectos favorables sobre la resistencia mecánica del material ligero con bambú utilizando los tres tipos de cementos.

Palabras-claves: bambú, mortero ligero, *Guadua*

LIGHT CONCRETE FROM GUADUA PARTICLES

ABSTRACT

Guadua bamboo is widely utilized as a raw-material for building constructions in many countries of Latin America. Bamboo process production generates waste materials which, for instance, are not properly employed.

The aim of this research was the evaluation of the *Guadua* particles and Portland cement (three Brazilian types: CP II, CP III and CP V – ARI) chemical compatibility. Natural and treated bamboo particles were mixed with Portland cement looking for a light concrete production.

Composite performance was evaluated by means a non destructive test (ultrasonic speed wave) and a compression test.

Results showed the chemical treatments effects applied to bamboo particles on composite properties and its interaction with Brazilian Portland cement type.

Keywords: bamboo, light concrete, *Guadua*

1. INTRODUCCIÓN

En la mayor parte de Latino América el bambú no es considerado como un material de construcción confiable. Por su susceptibilidad a los hongos e insectos, las construcciones con bambú son consideradas como de baja durabilidad o el material es indicado, apenas, para obras de pequeña responsabilidad.

La selección de las especies adecuadas con tallos que hayan alcanzado su grado máximo de madurez son exigencias que deben ser buscadas para que el bambú sea aprovechado de forma racional. La baja durabilidad de algunas especies puede ser mejorada por una serie de medidas, tales como: el curado en la floresta, o, entonces, la utilización de métodos adecuados para realizar su preservación química. Esta última alternativa, por ejemplo, es adoptada en Brasil para el eucalipto, cuya gama de aplicaciones es muy extensa en el sector de la construcción civil.

Entre las especies de bambú que presentan gran potencial de uso en la construcción se destacan aquellas pertenecientes al género *Guadua*. Diferentes especies existen en Colombia y Ecuador, con las cuales fueron realizadas las más diversas aplicaciones, principalmente en viviendas. En algunas regiones brasileñas (Pantanal y Amazônia) también existen especies de *Guadua*, denominadas de taquaruçú (caña + gigante); mientras, el empleo de este bambú en construcciones es todavía muy limitado.

El objetivo de este trabajo fue la evaluación del comportamiento del compósito ligero con partículas de bambú *guadua* en función de sus características para ser aplicado en la construcción rural.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

El empleo de materiales vegetales para reforzar matrices frágiles es muy antiguo. Actualmente, tales materiales son empleados en combinación con el cemento.

La combinación de la biomasa vegetal con el cemento presenta, una particularidad cuando es comparada con materiales similares pero a base de resinas orgánicas. Llamando la atención al surgimiento de una reacción desfavorable entre los dos componentes, denominada genéricamente de incompatibilidad química biomasa vegetal-cemento (Beraldo, 1997).

De este modo, es fundamental, cuando se refiere a la introducción de una especie vegetal en mezclas con cemento, la evaluación del carácter inhibitorio y, principalmente, que sean buscadas alternativas que minimicen este gran inconveniente. Estas alternativas pueden ser:

- extraer las sustancias inhibitorias al fraguado del cemento;
- impedir su migración en dirección a la superficie de las partículas.

Cada biomasa vegetal presenta características diferenciadas que dependen de la constitución química e obviamente, de la concentración de determinadas sustancias. De este modo, no existe una solución única para el problema, cada especie vegetal debe ser analizada separadamente para que se consiga encontrar el tratamiento más adecuado en cada caso. Así como analizar también, que dentro de la especie vegetal diversos factores todavía pueden influir en su comportamiento cuando ésta sea mezclada con el cemento. Entre estos factores se

pueden destacar: edad de la especie, época de su corte, localización en la floresta, tipo de almacenamiento que recibió, posición en el árbol o en el tallo, entre otros.

La naturaleza del cemento también desempeña un importante papel en las características del compósito. Existen tipos de cemento que son más adecuados para determinada biomasa vegetal. Entre ellos, el cemento de fraguado rápido se muestra, en la mayor parte de los casos, menos sensible a la acción de las sustancias inhibitorias. Mientras que, determinadas biomasa vegetales presentan tal concentración de estas sustancias inhibitorias, que el uso de estos cementos también no se muestra adecuado. En estos casos, se deben buscar otras alternativas y, entre ellas, los tratamientos físicos y/o químicos aplicados a las partículas vegetales se muestran como los más propicios (Pimienta *et al.*, 1994).

La curva de hidratación de la mezcla biomasa vegetal-cemento ha sido el método más adoptado en la evaluación del efecto inhibitorio (Moslemi *et al.*, 1983), representando el aumento del tiempo necesario para alcanzar la temperatura máxima, o el valor de la temperatura máxima alcanzado por ésta.

El método de ensayo no destructivo por ultrasonido también presenta un gran potencial para efectuar la evaluación del comportamiento del compósito y ya en las primeras edades, se puede detectar la incompatibilidad entre los constituyentes, traducida por el elevado tiempo requerido para la propagación de la onda de ultrasonido. Para el material envejecido las correlaciones entre la velocidad de propagación de la onda de ultrasonido y la resistencia mecánica indican la eficacia del método.

La evolución de la velocidad de la propagación obedece a una ley exponencial; en las primeras edades el incremento en la velocidad es acentuado (para probetas cuyos tratamientos fueron adecuados), tendiendo esta velocidad a estabilizarse al final de la primera semana (Beraldo, 1999).

El bambú puede ser empleado en diversas aplicaciones en las cuales son producidos residuos que generalmente son quemados o descartados. El objetivo de este trabajo es evaluar el comportamiento del compósito de partículas de bambú *Guadua* y tres tipos de cemento Portland, cuando éste fue sometido a los ensayos de compresión y de ultrasonido.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Partículas de bambú

Tallos de bambú *Guadua*, con edad superior a 5 años, fueran recolectados en el Instituto Agronómico de la ciudad de Campinas (IAC – SP) y desintegrados en un equipamiento específico en el Campo Experimental de la Facultad de Ingeniería Agrícola de la UNICAMP. Las partículas fueran secadas al sol y después fueron tamizadas, seleccionándose el material más pequeño que 2,4 mm.

3.2. Tratamientos aplicados en las partículas

Las partículas de bambú fueron inicialmente empleadas en su forma natural y, por presentar un efecto inhibitorio muy fuerte al fraguado del cemento (Beraldo, 1997), fueron sometidas a diferentes tratamientos: lavado en agua caliente (2 h a 80 °C); inmersión en solución a 5% de cal (24 h); inmersión en solución a 5% de hidróxido de calcio (24 h); mineralización (inmersión durante 5 minutos en solución de silicato de sodio, seguido de la inmersión durante 5 minutos en la solución de sulfato de aluminio a 20%). Se utilizaron también dos aceleradores

de fraguado (cloruro de calcio y sulfato de aluminio, ambos a 3% en relación a la masa de cemento) para las partículas naturales y lavadas en el agua caliente.

3.3. Cementos

Fueron empleados tres tipos de cementos en la fabricación de los compósitos: CP II-E- 32-E - Votoran (NBR 11578/91 – cemento con adición de escoria); CP III-32-RS - Votoran (NBR 5737/92 – cemento de alto-horno) e CPV-ARI – Cauê (NBR 5733/91 – cemento de fraguado rápido).

3.4. Confección de las probetas

La dosificación en masa fue 1:0,375:0,68 (cemento: partículas de bambú: agua). La mezcla fue realizada de manera mecánica e inicialmente se efectuó la mezcla en seco y después, fue colocada la cantidad de agua (en la cual, para determinados tratamientos, se diluía el acelerador de fraguado). Fueron moldeadas tres probetas cilíndricas (NBR 7195/96) para cada tratamiento y cada tipo de cemento, totalizando 27 tratamientos, como aparece mostrado en la tabla 1.

Tabla 1. Descripción de los tratamientos efectuados.

CP II - E - 32		CP III - 32- RS		CP V - ARI	
T1	Natural	T10	Natural	T19	Natural
T2	Nat. + Cloruro de calcio	T11	Nat. + Cloruro de calcio	T20	Nat. + Cloruro de calcio
T3	Nat. + Sulf. de aluminio	T12	Nat. + Sulf. de aluminio	T21	Nat. + Sulf. de aluminio
T4	Lavado	T13	Lavado	T22	Lavado
T5	Lav. +Cloruro de calcio	T14	Lav. +Cloruro de calcio	T23	Lav. +Cloruro de calcio
T6	Lav.+ Sulf. de aluminio	T15	Lav.+ Sulf. de aluminio	T24	Lav.+ Sulf. de aluminio
T7	Cal	T16	Cal	T25	Cal
T8	Hidróxido de calcio	T17	Hidróxido de calcio	T26	Hidróxido de calcio
T9	Mineralizado	T18	Mineralizado	T27	Mineralizado

Leyenda: Nat. = Natural; Sulf. = Sulfato; Lav. = Lavado en agua caliente.

3.5. Cura

Las probetas fueron desmoldadas después de 24 h, seguidamente permanecieron durante 7 días en cámara húmeda, y después de estos 7 días fueron puestas a secar al aire.

3.6. Ensayo no destructivo – END

Se midió el tiempo de propagación de la onda de ultrasonido a través de las probetas durante 14 días, buscando obtener una correlación entre la resistencia mecánica y la velocidad de propagación del ultrasonido. Se utilizó un equipamiento Ultrasonic Tester, modelo BP 7 de la Steinkamp, con transductores de sección exponencial de 45 kHz de frecuencia de resonancia. La constante elástica fue obtenida por el producto de la densidad (en kg/m³) por el cuadrado de la velocidad de propagación de la onda de ultrasonido (en m/s), para los diferentes tratamientos ensayados.

3.7. Ensayo de compresión axial

A los 14 días, las probetas fueron capeadas con una pasta de azufre (75%) y caolín (25%) y ensayadas a la compresión axial (NBR 7215/96), en una máquina universal de ensayos Dinatest, obteniéndose la tensión de ruptura.

3.8. Análisis estadístico

Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) de los datos obtenidos en el experimento totalmente casualizado, en esquema factorial 3 x 9 (con 3 tipos de cemento, 9 tratamientos) y con 3 repeticiones. Los valores medios de los valores de la velocidad de propagación de la onda de ultrasonido y la tensión de ruptura para los diferentes tratamientos fueron comparados a través del teste de Tukey (software Statgraphs) al nivel de 5% de significación estadística.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Evolución de la velocidad del ultrasonido a través de las probetas

En las Figuras 1, 2 y 3 son presentadas las curvas de edad-velocidad del ensayo de ultrasonido para los compósitos de partículas de bambú con cementos CP III, CP II y ARI, respectivamente.

Los valores alcanzados de velocidades de propagación del ultrasonido en las probetas con los diferentes tratamientos fueron muy diferentes, indicando, probablemente, la situación en las cuales había una buena interacción entre las partículas de bambú y el cemento.

El método de propagación del ultrasonido se mostró como herramienta apropiada para efectuar la evolución de la velocidad en función de la edad de las probetas. En casi todos los casos estudiados fue posible observar una tendencia de estabilización de la velocidad con la edad y también los efectos negativos, principalmente, de las partículas naturales del bambú. No fue posible detectar la señal del ultrasonido en las primeras edades; apenas después de algunos días la señal fue detectada, todavía el aspecto de la probeta denotaba una pobre interacción química entre las partículas de bambú y el cemento.

Los resultados también indicaron que el lavado en agua caliente de las partículas de bambú *Guadua* no produjo ninguna ventaja. La señal del ultrasonido se quedó aún muy débil y no trajo el resultado esperado. O sea, las partículas de bambú *Guadua*, probablemente tienen una alta concentración de sustancias inhibitorias las cuales impiden que haya una adecuada reacción de hidratación del cemento.

Por otro lado fue posible verificar una interacción entre el tipo de cemento y los tratamientos más adecuados.

Cemento CP III: pueden ser observadas 3 categorías de comportamientos de las curvas: la primera, referida a los tratamientos Nat (partículas naturales) y Ncc (partículas naturales y tratadas con cloruro de calcio) para las cuales las señales del ultrasonido solamente fueron detectadas después de decorridos 12 días de la elaboración de las probetas. La segunda categoría estuvo constituida por los tratamientos Nsa (partículas naturales y tratadas con sulfato de calcio), Lav (partículas lavadas en agua caliente) y Lso (partículas lavadas en soda cáustica). La tercera categoría estuvo constituida por los tratamientos Lsa (partículas lavadas y tratadas con sulfato de calcio), Lmi (partículas mineralizadas), Lcc (partículas lavadas y tratadas con cloruro de calcio) y Lca (partículas lavadas en cal). El mejor desempeño del

tratamiento Lca puede ser explicado por una posible acción favorable del calcio interactuando con constituyentes específicos de este cemento de alto horno.

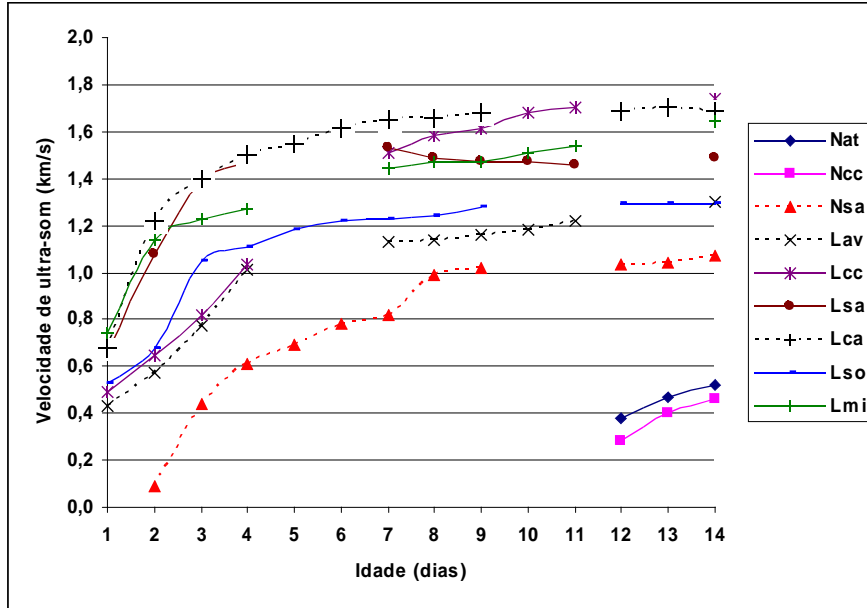


Figura 1. Curvas del ultrasonido en compósitos de bambú y cemento CP III.

Cemento CP II: tres tipos de tratamientos presentaron evidencias de que no existieron interacciones favorables entre el bambú y este cemento: Nat, Ncc, Nsa, Lav y Lcc. En segundo lugar los tratamientos que presentaron una compatibilidad media entre los constituyentes del compósito fueron Lsa, Lso y Lmi. Sólomente el tratamiento Lca (como ya había ocurrido para el cemento CP III) permitió el fraguado del cemento.

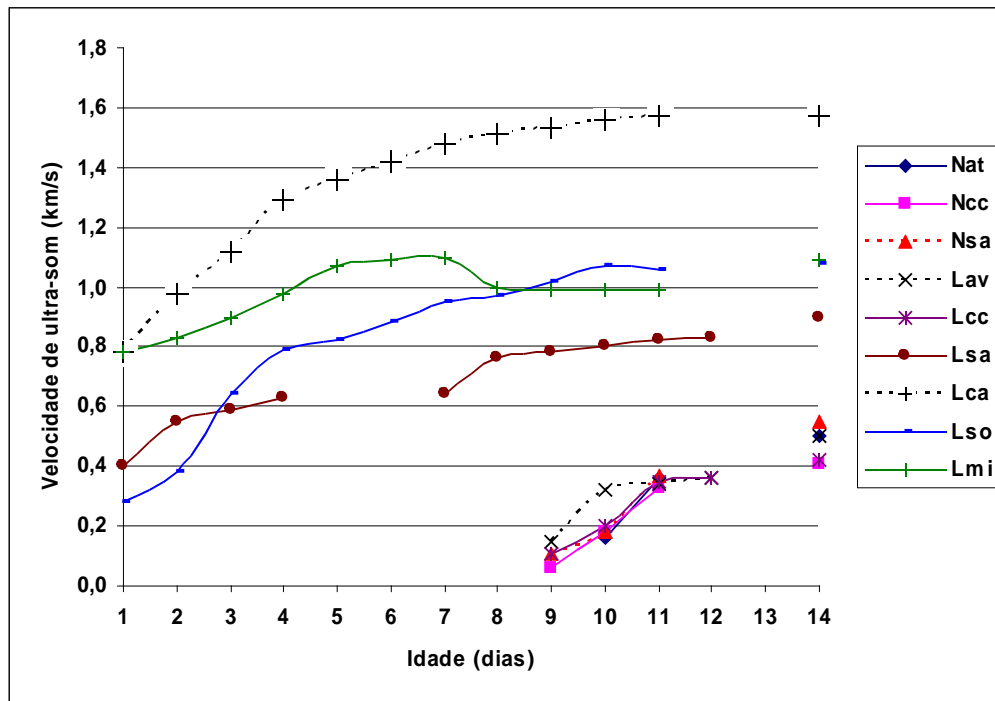


Figura 2. Curvas del ultrasonido en compósitos de bambú y cemento CP II.

Cemento ARI (de fraguado rápido): En algunos casos la liberación de las sustancias inhibitorias, contenidas en las partículas del bambú, puede ser más lenta que las reacciones de la hidratación del cemento, entonces, se puede crear una lámina envolvente la cual impide la salida de estas sustancias en dirección a la superficie de las partículas. Los comportamientos de las curvas de ultrasonido fueron muy diferentes en comparación con las curvas de los ensayos precedentes. Hasta las mismas partículas naturales de bambú se mostraron medianamente compatibles con el cemento ARI. Tres tratamientos (Lmi, Lsa y Lcc) permitieron obtener las mayores velocidades de propagación del ultrasonido a través del compósito. En segundo nivel se pueden ubicar los tratamientos Lca y Lso; el primero también se había destacado en el tipo de cemento anterior estudiado en este trabajo.

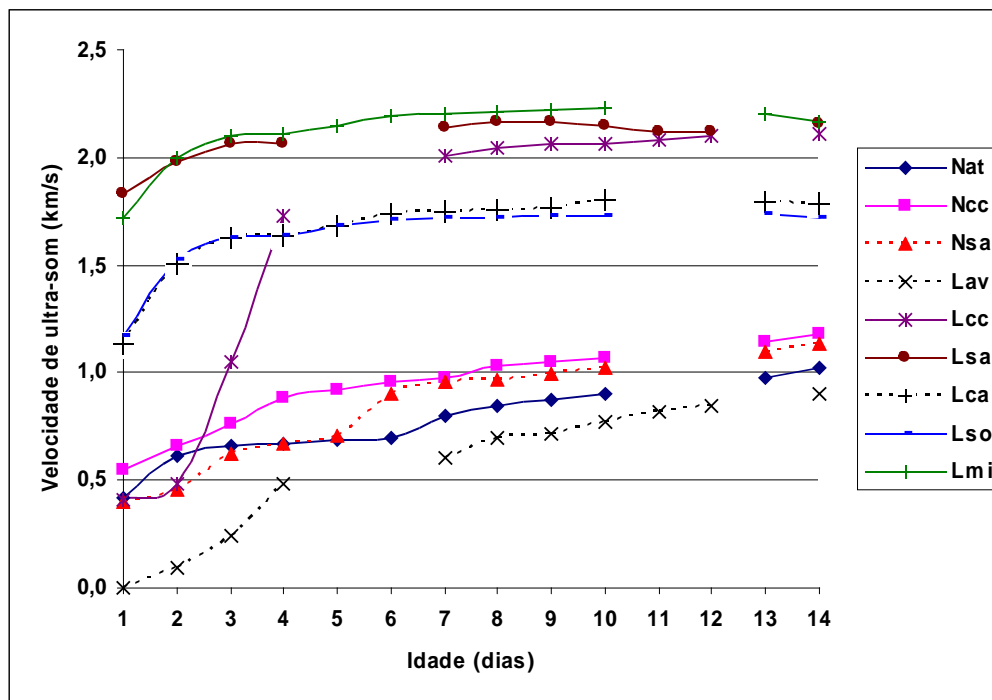


Figura 3. Curvas del ultrasonido en compósitos de bambú y cemento ARI.

Compresión axial

El análisis estadístico de los resultados de la resistencia de los compósitos a la ruptura indicó la gran influencia de los factores: tipo de cemento, tratamientos aplicados a las partículas de bambú, así como la interacción entre estos dos factores (Tabla 2).

Tabla 2. Análisis de varianza (ANOVA) y suma de cuadrados tipo III.

Fuente	Suma de Cuadrados	GL	Cuadrado Medio	F-Ratio	P- value
Efectos principales					
A: Cemento	497,372	2	248,686	984,40	0,0000
B: Tratamiento	916,938	8	14,617	455,54	0,0000
A X B	726,715	16	45,420	180,52	0,0000
Residuos	13,587	54	0,252		
Total (Corregido)	2154,61	80			

Aplicándose el *Multiple Range Test* (al nivel de 5% de probabilidad estadística) y analizando el efecto del factor A, la evaluación fue la siguiente: los cementos fueron diferentes entre sí, iniciando con: ARI (con valor medio de resistencia a la ruptura de 8,28 MPa), seguido por el CP II (con valor medio de resistencia a la ruptura de 4,66 MPa) y por último, el CP III (con valor medio de resistencia a la ruptura de 2,45 MPa). Con la misma prueba, y analizando el efecto del factor B, fue posible separar dos rangos de tratamientos: el primero constituido por

los tratamientos Lca (9,04 MPa), Lcc (8,49 MPa), Lso (8,26 MPa), Lsa (8,01 MPa) y Lmi (6,06 MPa); y en el segundo rango se encuentran los tratamientos menos efectivos: Lav (2,42 MPa), Nsa (1,41 MPa), Ncc (0,99 MPa) y Nat (0,88 MPa).

Interacciones posteriores fueron analizadas y referidas a los tres cementos empleados, donde, al considerar los valores de cementos separadamente, algunos cambios en los rangos pudieron ser verificados. Para los cementos CP III y CP II el tratamiento más adecuado fue el lavado en solución de cal (Lca).

Las siglas están colocadas en orden decreciente de resistencia a la ruptura (el signo = indica que no hay diferencia estadística entre los valores o, simplemente, que son iguales estadísticamente)

- a) CP III: Lca (8,80 MPa) > Lso (4,80 MPa) > Lsa (1,73 MPa) >= Lmi (1,13 MPa) > Nsa (0,90 MPa) = Lcc (0,83 MPa) = Lav (0,80 MPa) = Ncc (0,73 MPa) = nat (0,50 MPa).
- b) CP II: Lca (10,47 MPa) > Lso (8,10 MPa) > Lcc (6,63 MPa) > Lav (5,00 MPa) = Lsa (4,80 MPa) = Lmi (4,10 MPa) > Nsa (1,63 MPa) > Nat (0,70 MPa) = Ncc (0,50 MPa).
- c) ARI: Lcc (18,00 MPa) = Lsa (17,50 MPa) > Lmi (12,93 MPa) = Lso (11,87 MPa) > Lca (7,87 MPa) > Ncc (1,73 MPa) = Lsa (1,70 MPa) = Lav (1,47 MPa) = Nat (1,43 MPa).

En la Figura 4 son presentados los resultados obtenidos en el ensayo de compresión de los compósitos, confeccionados con partículas de bambú sometidas a diferentes tratamientos y utilizados tres tipos de cementos brasileños.

Los resultados obtenidos en este ensayo destructivo confirmaron las evidencias encontradas durante el ensayo de ultrasonido, o sea, las partículas naturales (Nat) de bambú *Guadua* son muy inhibitorias al fraguado de los cementos utilizados; los aceleradores del fraguado también no fueron eficientes cuando son utilizados en las partículas naturales (Ncc y Nsa). Mientras que los tratamientos (Lav y Lcc) produjeron resultados sorprendentes para el cemento CP II pues las resistencias a la ruptura fueron de 5,0 y 6,3 MPa, respectivamente. Para tales tratamientos el ultrasonido no había detectado señales. Una posible explicación para este factor puede estar relacionada con la ductilidad del compósito. Las partículas de bambú pueden resistir aún después de que el compósito sufra una gran deformación, observándose, entonces, un deslizamiento en la probeta.

Para el cemento ARI los tratamientos Lcc y Lsa presentaron las mayores tensiones de ruptura; en segundo rango y para el mismo cemento, los tratamientos Lso y Lmi ofrecieron tensiones con valores de 12 MPa. Tensiones de valores entre 8 a 10 MPa fueron obtenidas con varias combinaciones entre los tratamientos y los tipos de cementos empleados. Los resultados indican que el aspecto económico debe ser analizado, pues el consumo del cemento fue muy elevado en estos compósitos y es posible hacer nuevas dosificaciones reduciendo el cemento (o aumentando el porcentaje de las partículas del bambú).

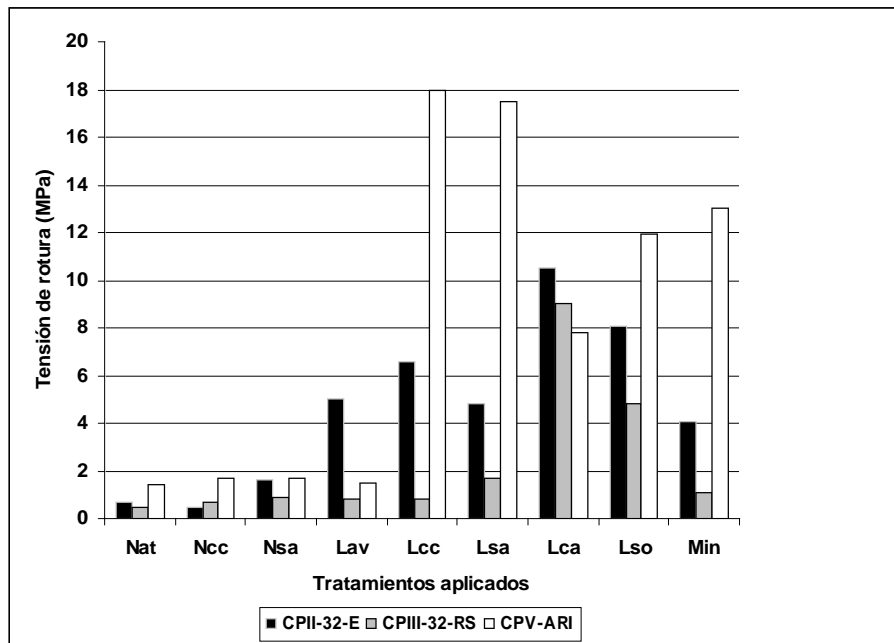


Figura 4. Resistencia a la ruptura (MPa) de los diferentes compósitos estudiados.

Correlación entre la resistencia a la ruptura y la velocidad del ultrasonido

La velocidad de propagación de la onda de ultrasonido a través de las probetas presentó una buena correlación con la resistencia a la ruptura para los cementos CP III, CP II y ARI, respectivamente (Figuras 5, 6 y 7). El modelo matemático de potencia fue aplicado a los datos y calculados coeficientes de determinación de 0,61 a 0,92.

Para los diferentes cementos fue posible seleccionar rangos de velocidad de propagación del ultrasonido. Para el cemento CP III los tratamientos Lso y Lca, con velocidad medias del ultrasonido de 1,08 km/s y 1,57 km/s indicaron resistencias medias a la ruptura de 4,8 MPa y 9,0 MPa, respectivamente (Figura 5). Para el cemento CP II en los tratamientos Lso y Lca, la velocidad promedio del ultrasonido fue de 1,29 km/s y 1,69 km/s, indicando resistencias medias a la ruptura de 8,1 MPa y 10,5 MPa, respectivamente. Otros tres tratamientos (Lsa, Lcc y Lav) ofrecieron velocidades de 1,49 km/s, 1,74 km/s y 1,30 km/s, con valores medios de resistencia a la ruptura de 4,8 MPa, 6,6 MPa y 5,0 MPa, respectivamente (Figura 6). El cemento ARI (de fraguado rápido) confirmó las expectativas mostrando varias posibilidades de utilización (tratamientos Min, Lso, Lca, Lsa y Lcc). Con la particularidad de no ser recomendado su empleo cuando las partículas de bambú *Guadua* sean empleadas en su forma natural (Nat) o con los aceleradores cloruro de calcio o sulfato de aluminio (Ncc y Nsa). Igualmente, las partículas de bambú *Guadua* lavadas en agua caliente (Lav) no fueron compatibles con este cemento (Figura 7).

En la Figura 8 es presentado un modelo matemático para estimar la resistencia a la ruptura en función de la velocidad teórica del ultrasonido. Para cada tipo de cemento se adoptó un rango distinto por la velocidad del ultrasonido: para el cemento CP II se adoptó un rango de

0,5 km/s hasta 1,5 km/s; para el cemento CP II la velocidad máxima fue considerada como 1,75 km/s, y para el cemento ARI el rango fue de 1,25 km/s hasta 2,25 km/s.

Las curvas permiten estimar las resistencias teóricas para los diferentes cementos empleados. Sobre el punto de vista de una industrialización la resistencia de valor de 5,0 MPa puede ser interesante para una aplicación no estructural del compuesto; entonces hay que seleccionar el tipo de cemento deseado admitiéndose una velocidad mínima de 1,5 km/s para el ultrasonido.

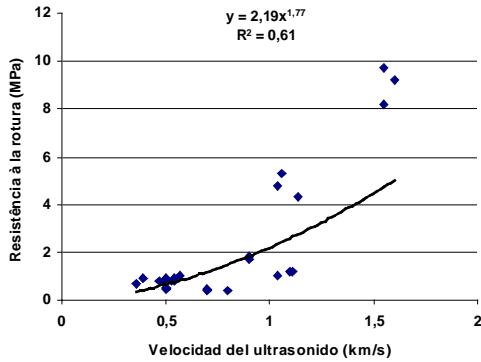


Figura 5. CP III

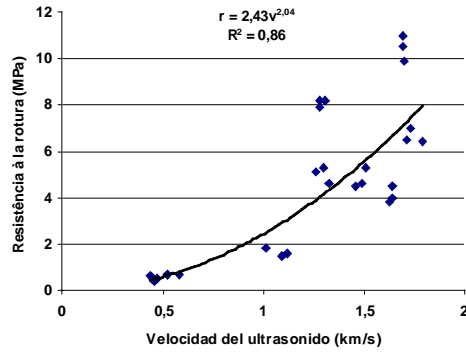


Figura 6. CP II

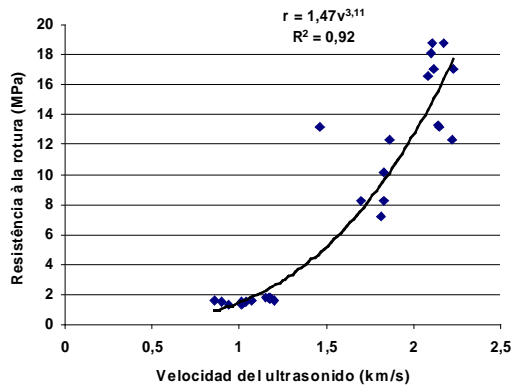


Figura 7. ARI

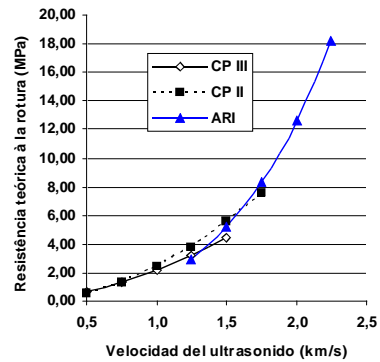


Figura 8. Modelos

CONCLUSIONES

Las partículas naturales de bambú *Guadua* mostraron una elevada incompatibilidad química con tres tipos de cementos brasileños estudiados. Los tratamientos aplicados en las partículas naturales de *Guadua* tampoco fueron eficaces para mejorar el desempeño con los cementos estudiados.

El lavado en agua caliente no produjo los resultados esperados; solamente cuando se combinó el lavado con productos químicos (cloruro de calcio y sulfato de aluminio) o se sometieron las partículas a una solución de cal, soda o al proceso de mineralización fue posible de obtener una buena resistencia a la ruptura.

El cemento de fraguado rápido (ARI) presentó los mejores resultados para casi todos los tratamientos aplicados a las partículas de bambú. En algunos casos la resistencia a la ruptura fue superior a 10 MPa indicando la posibilidad de reducir la cantidad de cemento para tornar el compuesto más atractivo económicamente.

El método del ultrasonido posibilitó acompañar la etapa de fraguado de las mezclas bambú-cemento y al mismo tiempo, fue posible preconizar el comportamiento mecánico del compuesto.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. NBR 5733. Cimento Portland de alta resistência inicial, especificação. 1991, 5p.

NBR 5737. Cimento Portland de alto-forno, especificação. 1992. 4p.

NBR 7215. Cimento Portland: determinação da resistência à compressão, método de ensaio. 1996, 8p.

NBR 11578. Cimento Portland composto, especificação. 1991, 8p.

BERALDO A. L. Compósitos biomassa vegetal-cimento. In: TOLEDO FILHO R. D.; NASCIMENTO J. W. B.; GHAVAMI K. (Organizadores). Materiais não Convencionais para Construções Rurais. Cap. 1, p. 1-48, 1997, Campina Grande, PB, Brasil, Editora Gráfica Marcone.

BERALDO A. L. Ultrasonic speed wave: cure type influence on wood-cement composite compression strength. Proceedings of the International Symposium on Nondestructive Testing Contribution to the Infrastructure Safety Systems in the 21st Century, Torres, RS, Brasil, 1999, p. 86-90.

MOSLEMI A. A.; GARCIA J. F.; HOFSTRAND A. D. Effect of various treatments and additives on wood-Portland cement-water systems. Wood Fiber Science, 15(2), 1983, p. 164-176.

PIMIENTA P.; CHANDELLIER J.; RUBAUD M.; DUTRUEL F.; NICOLE H. Étude de la faisabilité des procédés de construction à base de béton de bois. Cahiers du CSTB, 1994, 2073, 45 p.