

END (ULTRA-SOM) APLICADO A ARGAMASSA COM ADIÇÃO DE FIBRAS DE CASCA DE EUCALIPTOAntonio L. Beraldo¹, Gisleiva C. S. Ferreira² e Flávia F. Vieira³

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

Este trabalho avaliou a aplicação do método do ultra-som em argamassa com adição de fibras de casca de eucalipto, buscando-se um melhor conhecimento da cinética da reação de hidratação do aglomerante. Partículas da casca foram submetidas a diferentes tratamentos: natural; lavagem em água fria (imersão por 24 h); lavagem em água quente (2 h a 80 °C); imersão durante 24 h em soluções a 5% de cal e de soda cáustica. Foram confeccionados três corpos-de-prova cilíndricos (5 cm de diâmetro e 10 cm de altura) para cada tratamento, além de corpos-de-prova sem adição de fibra (Testemunha). A argamassa foi confeccionada utilizando-se a proporção de 1:1,5 (cimento:areia), sendo adicionado 5% de fibras, em relação à massa do cimento. Durante 28 dias mediu-se a velocidade de propagação da onda ultra-sônica através dos corpos-de-prova. A velocidade de propagação da onda ultra-sônica tendeu a estabilizar-se em torno de 7 dias. Por meio da análise da curva da velocidade de propagação do pulso ultra-sônico (VPU) tornou-se possível observar que não houve diferença significativa entre os tratamentos, fato este justificado pela baixa porcentagem de fibras adicionadas. Detectou-se uma redução da VPU quando os compósitos foram comparados com a VPU da testemunha, denotando que mudanças estruturais (maior porosidade) foram introduzidas pela presença da biomassa vegetal.

PALAVRAS-CHAVE: ultra-som, casca de eucalipto, argamassa.

1. INTRODUÇÃO

Os Ensaio Não Destrutivo - END são ensaios realizados em materiais, acabados ou semi acabados, para verificar a existência ou não de descontinuidades ou defeitos, através de princípios físicos definidos, sem alterar suas características físicas, químicas, mecânicas ou dimensionais e sem interferir em seu uso posterior (site ABENDE, Março-2006). Modificações nas características de diversos materiais à base de cimento são passíveis de serem obtidas por meio de ensaios não destrutivos. Dentre eles destaca-se o uso da velocidade de propagação do pulso ultra-sônico (VPU), a partir da qual pode-se efetuar o acompanhamento temporal do estágio de endurecimento de materiais cimentícios (BERALDO, 1999). A análise da evolução da VPU ao longo do tempo permite detectar os efeitos deletérios causados pela presença de matéria-prima incompatível quimicamente com o cimento, ou de adições que modifiquem acentuadamente as características da pega e do endurecimento do aglomerante. O conhecimento da constituição química de uma determinada matéria-prima é de grande importância para que se possa avaliar adequadamente seu comportamento quando se efetua sua mistura com aglomerantes minerais. Segundo Beraldo (1997), há várias formas de avaliar a compatibilidade química entre a biomassa vegetal e o cimento Portland. Dentre elas pode-se citar: o teste da curva de hidratação e o comportamento do compósito

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

² Doutoranda. Pesquisadora. LME - Faculdade de Eng. Agrícola - Unicamp. gisleiva@agr.unicamp.br

³ Graduanda em Eng. Civil. Técnica de Laboratório. LME – Faculdade de Eng. Agrícola - Unicamp. flavia@agr.unicamp.br

quando submetido a ensaios destrutivos ou não destrutivos. Na maioria dos casos, a VPU apresenta boa correlação com a resistência mecânica do material e, por exemplo, em determinadas situações não se observa sequer o sinal acústico por não haver o surgimento de uma estrutura mínima de ligação entre os constituintes, fato este que dificulta ou impede a formação de caminhos preferenciais para a VPU (BERALDO & VIEIRA, 2003). Geralmente as matérias-primas de origem vegetal são inibitórias à pega e à hidratação do aglomerante, sendo necessário o emprego de tratamentos aplicados às fibras a fim de minimizar esse problema. Assim, através da utilização do END (ultra-som), buscou-se avaliar o efeito da adição de fibras de eucalipto em argamassa de cimento e areia buscando compreender-se a perturbação detectada pelo END, de acordo com os tratamentos aplicados às fibras.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Caracterização das fibras

A casca de eucalipto foi fornecida pela empresa Suzano Bahia Sul (SBS). O material original foi fornecido já cortado em fibras com cerca de 1 cm de comprimento, originárias de desmembramento em moinho-de-martelos. Foram produzidos compósitos à base de argamassa de cimento Portland (CPII-E32 – NBR 11578) e areia fina (granulometria determinada de acordo com a NBR 7217), obtendo-se para esse agregado mineral módulo de finura igual a 1,71 e dimensão máxima característica de 2,4 mm (de acordo com a NBR 7211).

2.2 Tratamentos aplicados às fibras

As fibras de casca de eucalipto foram inicialmente empregadas na condição natural e, por apresentarem efeito inibitório à pega do cimento (ensaio preliminar da curva de hidratação das misturas), as fibras foram submetidas a diferentes tratamentos: lavagem em água fria (imersão por 24 h); lavagem em água quente (2 h a 80 °C); imersão em solução a 5% de cal e imersão em solução a 5% de soda cáustica.

2.3 Preparação dos corpos-de-prova

Foi adicionada à argamassa 5% de fibras de casca de eucalipto em relação à massa do cimento. Adotou-se para a argamassa a proporção em massa de 1:1,5 (cimento:areia). Foram confeccionados três corpos-de-prova cilíndricos (5 cm de diâmetro e 10 cm de altura, de acordo com a NBR 7215) para cada tipo de tratamento com relação água/cimento de 0,44. Também foram feitos corpos-de-prova sem adição de fibras (testemunha) com relação água/cimento de 0,40. Os corpos-de-prova foram desmoldados 24 h após a fabricação. A seguir, os corpos-de-prova permaneceram em câmara úmida por 7 dias, seguido de 21 dias de exposição ao ar livre.

2.4 Ensaio não-destrutivo

Buscando-se obter maiores informações sobre a cinética da reação entre os constituintes do compósito, além de obter-se uma correlação entre a resistência mecânica e a VPU, os corpos-de-prova foram submetidos a medições do tempo de propagação da onda ultra-sônica durante 28 dias. Para isso, foi utilizado o aparelho Ultrasonic Tester, modelo BP7 da STEINKAMP (Figura 1), com transdutores de seção exponencial de 45 kHz de frequência de ressonância.



Figura 1. VPU através dos corpos-de-prova. Ultrasonic Tester, modelo BP7 da STEINKAMP.

Foram obtidos dois gráficos para cada tipo de tratamento efetuado, sendo um deles o gráfico auxiliar, necessário para a obtenção da curva do comportamento teórico da propagação do sinal, e o outro apresentando as curvas obtidas experimentalmente. O gráfico auxiliar foi obtido de acordo com Beraldo (1999):

$$v = v_{\max} (1 - \exp(A - Bt)) \quad (1)$$

Em que: v = velocidade teórica de propagação da onda através do corpo-de-prova em determinada idade; v_{\max} = velocidade máxima de propagação obtida experimentalmente. Adotou-se a idade de 7 dias como sendo esse limite, fazendo-se:

$$\left(\frac{v - v_{\max}}{v_{\max}}\right) = -\exp(A - Bt) \quad (2)$$

Tem-se,

$$\ln\left(\frac{v_{\max} - v}{v_{\max}}\right) = A - Bt \quad (3)$$

Os coeficientes A e B, determinados por regressão, permitiram obter a equação que rege o comportamento da velocidade de propagação da onda ultra-sônica através dos corpos-de-prova originários dos diferentes tratamentos realizados. O coeficiente A pode ser considerado como um certo valor de "retardo" podendo, em alguns casos, assumir um valor nulo. O coeficiente B (sempre negativo), por sua vez, pode ser associado a um tipo de "aceleração de endurecimento" da mistura, ou seja, em misturas mais adequadas sob o ponto de vista da compatibilidade química, a velocidade máxima geralmente é obtida em um menor intervalo de tempo após a fabricação.

2.5 Ensaio de compressão axial

Aos 28 dias, os corpos-de-prova foram capeados (mistura de 75% de enxofre e 25% de caulim) e ensaiados à compressão simples, segundo as recomendações da norma NBR 7215. Os ensaios foram realizados em máquina de ensaio universal, marca Dinatest.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Ensaio não-destrutivo

Na Tabela 1 apresentam-se os coeficientes A e B, e os coeficientes de determinação (R^2) obtidos para os diferentes tratamentos realizados nas fibras de casca de eucalipto. Os coeficientes foram obtidos com o auxílio do gráfico auxiliar (Figura 2), para cada tratamento, o qual é utilizado para efetuar-se a análise do comportamento teórico da VPU do material analisado.

Tabela 1. Coeficientes obtidos para os diferentes tratamentos. Modelo : $v = v_{\max}((1-\exp(A+Bt))$

Tratamento	A	B	R ²
Natural - Nat	-0,55	-0,65	0,97
Água fria - AF	-0,66	-1,15	0,97
Água quente - AQ	-0,83	-0,20	0,86
Cal	-0,65	-0,52	0,96
Soda cáustica	-0,53	-1,04	0,91
Testemunha - T	-0,98	-0,46	0,97

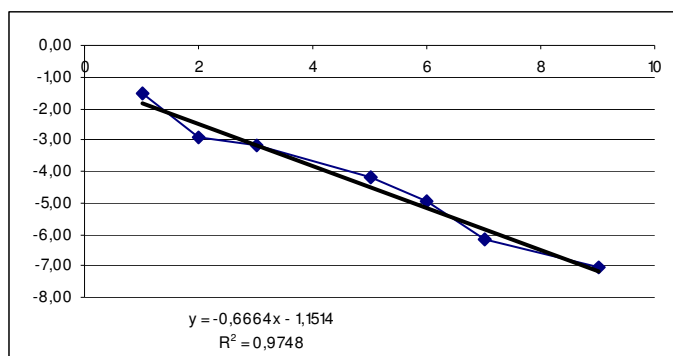


Figura 2. Gráfico auxiliar obtido para argamassa com adição de 5% de fibra de casca de eucalipto tratada em água fria. Eixo das abscissas: idade (em dias); eixo das ordenadas (logaritmo neperiano apresentado na equação 3).

Na Figura 3 apresentam-se as curvas de VPU em função das idades dos corpos-de-prova, para os diferentes tratamentos efetuados nas fibras de casca de eucalipto. Para todos os casos analisados, verificou-se um comportamento similar para as diferentes curvas: observa-se que para o período inicial de endurecimento da mistura (1 a 2 dias) a inclinação da curva é elevada, seguindo-se de uma segunda região (3 a 5 dias) na qual a inclinação da curva diminui, tendendo à estabilização da VPU, que ocorre em torno de 7 dias. Por meio da análise da curva VPU torna-se possível observar que não houve diferença significativa entre os tratamentos, fato este justificado pela baixa porcentagem de fibras adicionadas (5%). Detectou-se uma diminuição na VPU quando os compósitos foram comparados com o comportamento da testemunha, indicando que a incorporação dos resíduos afetou negativamente a estrutura do compósito.

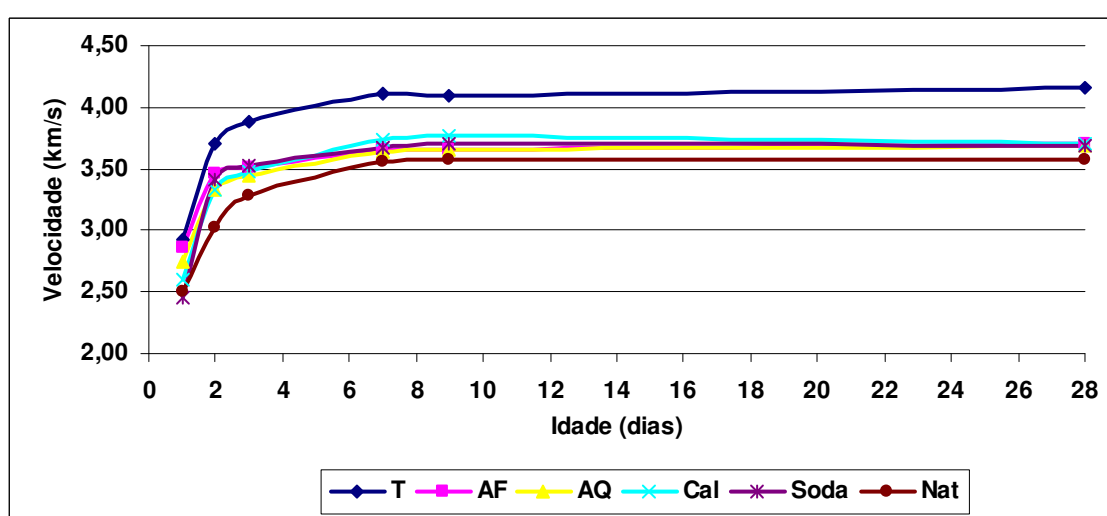


Figura 3. Velocidade de propagação da onda ultra-sônica nos corpos-de-prova.

3.2 Módulo de Elasticidade Dinâmico, Tensão de Ruptura e Análise Estatística

Efetuu-se o cálculo do módulo de elasticidade dinâmico pela Equação 4.

$$Ed = dV^2 \cdot 10^{-6} \quad (4)$$

Em que: E_d = Módulo de elasticidade dinâmico, em MPa; d = densidade, em kg/m^3 ; V = velocidade, em m/s.

A análise de variância mostrou diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos ao nível de 1% de significância, para as variáveis resposta módulo de elasticidade dinâmico (MPa) e tensão de ruptura (MPa). Em seguida, procedeu-se uma comparação das médias dessas variáveis pelo teste de Tukey (Tabela 2).

Tabela 2. Valores médios da densidade, velocidade, módulo de elasticidade dinâmico e tensão de ruptura dos corpos-de-prova.

Tratamento	Densidade (kg/m^3)	Velocidade (m/s)	Módulo de elasticidade dinâmico (MPa)*	Tensão de ruptura (MPa)*
Testemunha - T	2182	4160	37766 a	41,6 a
Natural - Nat	1916	3580	24558 c	25,3 b
Água fria - AF	2049	3701	28066 b	25,3 b
Cal	2007	3700	27488 b	22,8 b
Água quente - AQ	2033	3691	27696 b	20,2 b
Soda cáustica	2003	3694	27335 b	19,2 b

* Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 1% de probabilidade

Observa-se pela Tabela 2 que a testemunha proporcionou a obtenção do maior valor de tensão de ruptura. O tratamento prévio das fibras, quer seja ele químico ou obtido por meio da lavagem em água, não apresentou diferenças significativas entre si. A Figura 4 ilustra o efeito dos tratamentos sobre a resistência à compressão simples dos corpos-de-prova.

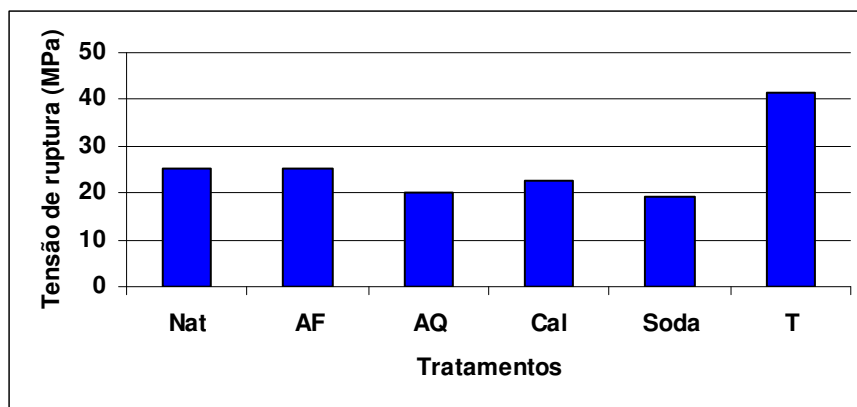


Figura 4. Efeito dos tratamentos na resistência à compressão simples em argamassas de areia e cimento com adição de fibras de casca de eucalipto.

4. CONCLUSÕES

Através dos resultados obtidos pode-se afirmar que a adição de fibras promoveu uma diminuição nos valores médios de tensão de ruptura dos corpos-de-prova. Os tratamentos aplicados às fibras não promoveram efeitos significativamente diferentes entre si para o teor de fibra estudado (5% em relação à massa do cimento), fato este denotado através do uso do END e comprovado pelos resultados do ensaio destrutivo. No entanto, a importância do tratamento prévio das fibras é destacada ao analisar-se que o módulo de elasticidade dinâmico das fibras tratadas foi superior ao da fibra natural ao nível de 1% de significância, mostrando a possibilidade de utilização deste material com adição de fibras de casca de eucalipto desde que as fibras recebam tratamento adequado.

Novos teores de adições de fibras devem ser estudados em trabalhos futuros, a fim de apontar o teor de adição ideal, bem como o tratamento mais adequado a ser aplicado às fibras, sem que ocorra, no entanto, diminuição nas reações de hidratação do aglomerante.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABENDE, www.abende.org.br, acesso em 14/03/2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, ABNT. Rio de Janeiro

NBR 7211 Agregados para Concreto, especificação, 1983. 5p.

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

NBR 7217 Agregados: Determinação da composição granulométrica, método de ensaio, 1987, 3p.

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

BERALDO, A. L. “Compósitos Biomassa vegetal–cimento”. In: Simpósio sobre Materiais Não Convencionais para Construções Rurais, Campina Grande, UFPB, Editores Romildo Dias Toledo Filho, José Wallace Barbosa do Nascimento, Khosrow Ghavami. p. 01-48, 1997.

BERALDO A. L. Ultrasonic speed wave: cure type influence on wood-cement composite compression strength. In: Proceedings of the NDTISS'99 – International Symposium on Non Destructive Testing Contribution to the Infrastructure Safety Systems in the 21st Century, UFSM, Torres, RS, p. 86-90, 1999.

BERALDO, A. L. e VIEIRA, Flávia de Freitas. Ensaios não destrutivos (END) aplicados à argamassa com adição de fibras de sisal. In: Congresso Panamericano de ensaios não destrutivos-PANNDT, 2003, Rio de Janeiro. Anais dos Trabalhos Técnicos. Rio de Janeiro. ABENDE, v. 1. p. 1-8, 2003