

COMPÓSITO DE CIMENTO PORTLAND E PARTÍCULAS DE EUCALIPTO

BERALDO, A.L.¹, RODRIGUES, M.S.², MENDES, A.³

1. Professor Doutor, Faculdade de Engenharia Agrícola – Universidade Estadual de Campinas. Cx. Postal 6011. Campinas-SP. CEP 13083-970. beraldo@agr.unicamp.br.
2. Mestranda, Faculdade de Engenharia Agrícola – Universidade Estadual de Campinas, m002222@dac.unicamp.br.
3. Doutoranda, Faculdade de Engenharia Agrícola – Universidade Estadual de Campinas, angelica.Mendes@agr.unicamp.br.

Escrito para apresentação no
SIMCRA 2006 – Simpósio de Construções Rurais e Ambientes Protegidos
FEAGRI/UNICAMP - SP, 28 a 30 de junho de 2006

RESUMO: No Brasil e nos demais países onde o agronegócio é uma das principais atividades, os subprodutos podem ser utilizados na construção civil, com o intuito de agregar valor aos resíduos. Esse trabalho teve como objetivo a fabricação de compósitos à base de cimento e de dois tipos de serragens de Eucalipto (*Eucalyptus* sp). Essas serragens foram utilizadas na sua forma natural e após serem submetidas a diversos tratamentos, com o intuito de melhorar sua compatibilidade química com os cimentos Portland (CPII e CPV-ARI). Foram realizados os seguintes ensaios: curva de hidratação; compressão simples e comportamento da velocidade de propagação do pulso ultra-sônico (VPU). Os melhores resultados foram obtidos nos tratamentos de mineralização. Observou-se que o resíduo do corte em serra circular (C) apresentou melhores resultados do que os resíduos de serra-fita (F) nas propriedades do compósito.

PALAVRAS-CHAVE: compósitos, material alternativo, compatibilidade química

EUCALYPTUS PARTICLES PORTLAND CEMENT COMPOSITE

ABSTRACT: In Brazil and the countries where agribusiness is one of the main activities, by-products can be employed in building construction, aiming to aggregate value to the residues. This work had as objective manufacture the cement composites with two types of Eucalyptus particles (*Eucalyptus* sp). These particles were employed as its natural form and also after submitted them to several treatments, searching to improve its chemical compatibility with two Portland cements types (CPII and CPV-ARI). Physical-mechanical tests were conducted: hydration curve; axial compression and ultrasonic pulse velocity (UPV). Mineralization applied to wood particles show the best results. Circular saw residues (C) was better than rubber saw residues (F) in composite properties.

KEYWORDS: composites, alternative material, chemical compatibility

INTRODUÇÃO: Os países tropicais apresentam significativas oportunidades para a produção de compósitos de fibras vegetais (GUIMARÃES, 1990), especialmente porque é possível a utilização de subprodutos das principais atividades agrícolas desses países. Compósitos formados de fibras vegetais e cimento, preparados com cimentos que possuam baixa alcalinidade, mostram-se uma alternativa para a construção de edifícios de um baixo custo, visto que, reduz-se a preocupação com a degradação da fibra em um ambiente alcalino (AGOPYAN e JOHN, 1992).

O uso de compósitos formados por resíduos vegetais permite um campo vasto de estudo da produção e da aplicação destes compósitos na construção civil. É importante a aplicação destes elementos, entre outros aspectos, devido ao aproveitamento de resíduos da indústria madeireira, visto que, estes são materiais facilmente reutilizáveis, disponíveis e de baixo custo. A viabilidade do uso dos resíduos vegetais em compósitos de cimento depende de um tratamento químico

apropriado para cada espécie (STANCATO et al., 2005). Este estudo visa avaliar a fabricação de compósitos com a adição de partículas de madeira, na forma de serragem, quanto às suas propriedades físico-químicas e avaliar a compatibilidade química entre a madeira e os cimentos utilizados.

MATERIAL E MÉTODOS: A madeira analisada foi fornecida pela Madeireira Santa Cruz, localizada no município de Taubaté, São Paulo. Tratou-se de uma mistura de *Eucalyptus sp*, devido à dificuldade na separação dos dois tipos de resíduos gerados nesse estabelecimento. A produção mensal da serraria é de cerca de 200 m³, gerando resíduos estimados em 40% a 50% desse montante. Um dos resíduos utilizados é originário da serragem primária das toras (F - serra fita) e o outro da obtenção das peças estruturais de madeira (C - serra circular). O resíduo mais fino, do tipo **F**, foi 100% passante na peneira de 1,20 mm, enquanto que o resíduo tipo **C** situou-se entre as aberturas 2,40 mm e 1,20 mm.

Ensaio de curva de hidratação: foi realizado para avaliar a compatibilidade química entre os dois tipos de cimento utilizados e a espécie de madeira analisada. A interação entre o Eucalipto e o cimento foi expressa por meio da curva de hidratação das misturas. Para a realização desses experimentos foram utilizados 200 g de cimento, 15 g de madeira seca e 85 g de água. O cálculo da massa de água foi expresso pela seguinte equação (SANDERMANN et al., 1960): $Ma = (0,25 \times Mc) + (K \times Mms)$, onde: Ma = Massa de água (g); Mc = Massa do cimento (g); Mms = Massa da madeira seca (g) e K = coeficiente empírico. Adotou-se então o coeficiente $K = 2,2$ para a multiplicação da massa da madeira, devido à “granulometria” do material. Os seguintes tratamentos foram avaliados: **t1** - Pasta de cimento ARI (cimento Portland tipo V-ARI e água); **t2** - Pasta de cimento CII (cimento Portland tipo II e água); **t3** - Mistura de ARI com Eucalipto natural (além da pasta com cimento foi adicionada a madeira analisada na sua forma natural); **t4** - Mistura de CP II com Eucalipto natural; **t5** - Mistura de ARI, água e chá extraído da madeira (com porcentagens de 5% e 10% em relação à massa do cimento); **t6** - Mistura de CII, água e chá extraído da madeira (5%); **t7** - Mistura de ARI com Eucalipto lavado em água quente; **t8** - Mistura de CII com Eucalipto lavado em água quente; e **t9** - Mistura de ARI com Eucalipto lavado em água quente e acréscimo de 3% de cloreto de cálcio na mistura (em relação à massa do cimento).

Corpos-de-prova: foram produzidos três corpos-de-prova para cada tratamento utilizando-se de dois tipos de cimento Portland CP II-E-32 (NBR 11578) e CP V-ARI (NBR 5733). Os corpos-de-prova (5 cm de diâmetro e 10 cm de altura, de acordo com a NBR 7215) foram moldados segundo os seguintes procedimentos: relação cimento: madeira – 1: 0, 40, fator água/cimento: 0,60 para todas as adições. Os tratamentos realizados para os dois tipos de resíduos foram: **T1** (mistura de cimento ARI com madeira natural), **T2** (mistura de cimento CII com madeira natural), **T3** (ARI com imersão da madeira em 3% de CaCl₂), **T4** (CII com imersão da madeira em 3% de CaCl₂), **T5** (ARI+ madeira lavada em água quente), **T6** (CII+ madeira lavada em água quente), **T7** (ARI+ madeira lavada em cal), **T8** (CII+ madeira lavada em cal), **T9** (ARI+ madeira lavada em soda), **T10** (CII+ madeira lavada em soda), **T11** (ARI + madeira imersa em sulfato de alumínio), **T12** (CII + madeira imersa em sulfato de alumínio), **T13** (ARI + madeira imersa em silicato de sódio), **T14** (CII + madeira imersa em silicato de sódio) e os tratamentos de mineralização **T15** (ARI + madeira lavada em Silicato de Sódio a 5% e Sulfato de Alumínio a 10%) e **T16** (CII + madeira lavada em Silicato de Sódio a 5% e Sulfato de Alumínio a 10%), **T17** (ARI + madeira lavada em Silicato de Sódio a 5% e Cloreto de Cálcio a 3%) e **T18** (CII + madeira lavada em Silicato de Sódio a 5% e Cloreto de Cálcio a 3%).

Ensaio não destrutivo (END): foi realizado durante a etapa de endurecimento da mistura, tendo sido feita a medição do tempo de propagação da onda ultra-sônica através dos corpos-de-prova. Os corpos-de-prova foram submetidos a essas medições durante 14 dias; nos sete primeiros dias enquanto estavam sob cura úmida e nos sete dias subsequentes de cura ao ar livre. Para isso, foi utilizado o aparelho *Ultrasonic Tester*, modelo BP7 da *STEINKAMP*, dispondo de sensores de

seção exponencial com 45 kHz de frequência de ressonância. Foram obtidos dois gráficos para cada tipo de tratamento efetuado, sendo um o gráfico auxiliar, necessário para a obtenção da curva do comportamento teórico da propagação do sinal, e outro comparando as curvas obtidas experimentalmente com o modelo teórico (BERALDO, 1999). O gráfico auxiliar foi obtido por meio da seguinte equação: $v_t = v_{\max} (1 - \exp(-A-Bt))$, sendo: v_t = velocidade teórica de propagação da onda através do corpo-de-prova na idade t ; v_{\max} = velocidade máxima de propagação obtida experimentalmente. Adotou-se o valor correspondente à idade de sete dias por não haver mudanças significativas em idades posteriores; A e B = coeficientes obtidos por regressão. Esses coeficientes permitem obter a equação que rege o comportamento da velocidade de propagação do pulso ultrassônico (VPU), através dos corpos-de-prova originários dos diferentes tratamentos realizados; t = idade do corpo-de-prova em dias.

O ensaio de compressão simples foi realizado aos 14 dias, sendo os corpos-de-prova 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 universal de ensaios, marca *Versa Tester*. Adotou-se uma velocidade de carregamento de modo que a ruptura do corpo-de-prova ocorresse em até 5 minutos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO: No ensaio de curva de hidratação verificou-se os maiores valores de temperatura para as misturas com cimento CPV-ARI, principalmente para a mistura de cimento ARI e 10% de chá extraído da madeira (**t5**). E para o cimento CP-II-E-32 a maior temperatura alcançada foi para a mistura com 5% de chá (**t6**). Os resultados indicaram a maior inibição dos extrativos presentes na madeira na hidratação do cimento CP-II-E-32.

O ensaio não destrutivo (END), permitiu obter as curvas das VPU em função das idades dos corpos-de-prova, para os diferentes tratamentos efetuados nas serragens de eucalipto. Foi feito um comparativo (figura 1) com o tratamento que não apresentou um resultado satisfatório, como o tratamento **T1** (compósito de ARI, com madeira C e partículas naturais). Nas partículas naturais, sem tratamento, e com adição de 3% de cloreto de cálcio (**T3**), verificou-se VPU mais elevadas, quando do uso de partículas do tipo **C** (mais grosseiras) do que para as partículas **F**. Entre os tratamentos referentes às partículas lavadas verificou-se que as VPU mais elevadas foram obtidas quando do uso do cimento tipo V-ARI. Porém, o tratamento **T10**, com cimento tipo II e madeira tipo **C** lavada em soda, forneceu resultados similares aos dos compósitos produzidos com cimento tipo V-ARI. Devido à inadequação nas curvas da VPU, tratamentos de lavagem das partículas da madeira em cal não se mostraram satisfatórios, como se observa no tratamento **T8**. Os tratamentos de mineralização das partículas da madeira propiciaram a obtenção de VPU mais elevadas, para os tratamentos **T15**, **T16** e **T18**, sobretudo para as madeiras do tipo **C** e para os tratamentos com o uso do cimento tipo V-ARI. Em geral observou-se a estabilização das VPU em torno dos 7 dias para a maioria dos tratamentos aplicados aos resíduos.

No ensaio de compressão axial (figura 2) verificou-se que os compósitos de cimento ARI mostraram-se superiores àqueles produzidos com cimento tipo II. O uso das partículas de madeira **C** também forneceu os melhores resultados com relação à madeira **F**, com exceção ao tratamento **T5**. Verificou-se que o uso de partículas de madeira em sua forma natural não permitiu atingir valores satisfatórios quanto à resistência a compressão, confirmando a necessidade de realizar-se tratamentos preliminares das partículas. Por outro lado, os tratamentos de mineralização forneceram as tensões de ruptura mais elevadas.

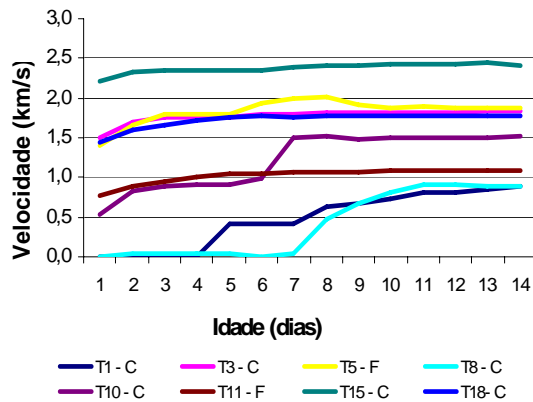


Figura 1. VPU para os compósitos.

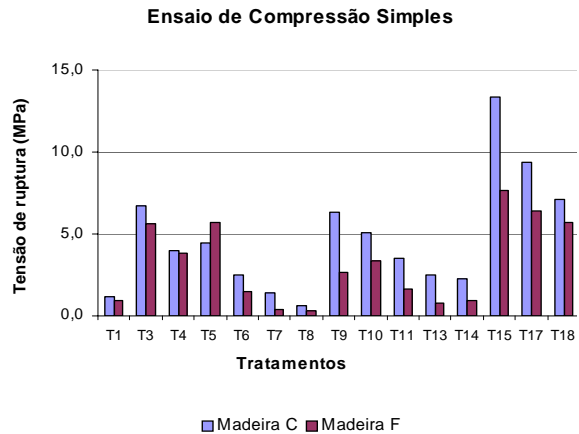


Figura 2. Compressão simples dos compósitos.

CONCLUSÕES: De acordo com os ensaios realizados observou-se que as partículas de madeira F (mais finas) apresentaram maior efeito inibidor ao cimento do que as partículas C. Observou-se também a ineficiência das misturas com partículas de eucalipto em sua forma natural (ou seja, sem sofrer nenhum tratamento), principalmente ao produzir-se compósitos com o cimento CP-II-E-32. Os compósitos produzidos com o cimento CP-V-ARI mostraram desempenho superior ao dos compósitos de cimento CP-II-E-32. Mesmo sendo necessário efetuar o tratamento das partículas de madeira, a fabricação dos compósitos é uma forma de aproveitar racionalmente os resíduos gerados, evitando que os mesmos sejam simplesmente queimados, liberando o gás carbônico e contribuindo para a contaminação ambiental.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGOPYAN V., JOHN V. M. Durability evaluation of vegetable fibre reinforced materials. *Building Research Information*. 20(4):233-235. 1992.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, ABNT. Rio de Janeiro.
- NBR 5733 Cimento Portland de alta resistência inicial, especificação, 5 p., 1991.
- NBR 7215 Cimento Portland: Determinação da resistência à compressão, método de ensaio, 8p., 1996.
- NBR 11578 Cimento Portland composto, especificação, 8p., 1991.
- 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.
- GUIMARÃES S. S. Vegetable fiber-cement composites. In: Sobral HS, editor. *Proceedings of the Second International RILEM Symposium on Vegetable Plants and their fibres as Building Materials*. London: Chapman & Hall. p. 98-107. 1990.
- SANDERMANN W., PREUSSER H. J., SCHWIENS W. The effect of wood extractives on the setting of cement-bonded wood materials. *Holzforschung*. 14(3):70–7. 1960.
- STANCATO, A. C., BURKE, A .K., BERALDO, A. L. Mechanism of a vegetable waste composite with polymer-modified cement (VWCPMC). *Cement & Concrete Composites*. 27, p. 599–603. 2005.