

EFEITO DA CURA E DA DOSAGEM EM CIMENTO SOBRE A RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE COMPÓSITOS DE PARTÍCULAS DE *Pinus caribaea* E CIMENTO PORTLAND

A.L. BERALDO¹

RESUMO: Resíduos do processamento mecânico da madeira *Pinus caribaea* foram utilizados na fabricação de corpos-de-prova e de blocos vazados à base de cimento. O resultado dos ensaios de corpos-de-prova indicou a influência da dosagem e do tipo de cura realizada (ao ar, em saco plástico e em câmara úmida) sobre a resistência à compressão dos compósitos. A velocidade de propagação de onda ultrasônica, através dos corpos-de-prova, ao longo do tempo, estabilizou-se em torno de 11 dias, sendo sua magnitude um bom indicativo da resistência do material. Blocos vazados mostraram-se, igualmente sensíveis ao tipo de cura realizada. A carbonatação artificial dos blocos vazados foi mais eficiente quando realizada 7 dias após a fabricação.

PALAVRAS-CHAVE: compósitos, cura, ondas ultrasônicas

TYPE OF CURE AND CEMENT RATIO: EFFECT ON COMPRESSION STRENGTH OF *Pinus caribaea* CEMENT COMPOSITE

ABSTRACT: Wood residues from *Pinus caribaea* was used for wood cement composite fabrication. The results enhanced the influence of the cure type and cement ratio on compression strength of the samples. Ultrasonic speed wave was important to evaluate the strength change in the samples across the time. Hollow blocks carbonation was most important after three days of aging.

KEYWORDS: wood-cement composites, cure, ultrasonic speed wave

INTRODUÇÃO

Buscando diminuir a pressão exercida sobre a floresta nativa foram introduzidas, no Brasil, espécies vegetais exóticas, principalmente, aquelas pertencentes aos gêneros *Pinus* e *Eucalyptus*. Enquanto este último tem sido utilizado de forma intensa para geração de energia, sob forma de carvão, e na produção de celulose, espécies de *Pinus* têm sido empregadas na produção de resina, em mobiliários e caixotaria leve. No entanto, cabe destacar a espécie *P. caribaea*, que tem apresentado grande interesse na fabricação de lápis, de acordo com a indústria Faber Castell, situada em São Carlos-SP.

Como resultado das operações desenvolvidas em serraria, origina-se grande quantidade de resíduos que, embora sejam utilizados parcialmente na produção de briquetes, poderão ser de grande interesse na fabricação de compósitos à base de cimento Portland.

As propriedades físico-mecânicas de tais compósitos dependem do grau de interação obtido entre seus constituintes fundamentais- a fitomassa e a matriz (BERALDO, 1997). A madeira *P. caribaea*, por ser uma conífera, provavelmente apresenta um bom comportamento em presença do cimento. No entanto, outros fatores, tais como, a época de corte da árvore e a região donde se efetuou a amostragem das partículas, em relação à altura da árvore (base, meio e topo), podem afetar significativamente o comportamento do compósito, por apresentarem diferentes concentrações de açúcares. Os açúcares e demais extrativos solúveis em água são reputados como retardadores da pega do cimento.

Exercem um efeito inibidor diferenciado a casca, cerne e alburno de uma árvore, assim como, de diferentes proporções entre eles (WEATHERWAX e TARKOW, 1964). No presente trabalho, no entanto, não foi possível efetuar uma análise sistemática da origem da fitomassa, visto que, se trabalhou com resíduos do desdobra de toras, coletados em serraria.

A presença de fitomassa, moderada ou altamente inibitória, faz com que o tempo da pega da pasta de cimento Portland seja prolongado. O grau de inibição depende, de forma acentuada, da cinética das reações desenvolvidas no seio da mistura. Se a velocidade de formação dos silicatos for superior àquela da saída para a superfície da madeira dos extrativos solúveis, ocorrerá a pega. Caso contrário, constata-se, geralmente, a fragilidade da matriz, traduzida pela limitada resistência do compósito em compressão simples.

¹ Professor Doutor, Dep. de Construções Rurais, Faculdade de Engenharia Agrícola, Unicamp. CP 6011, CEP 13083-970, Campinas-SP. E-mail: beraldo@agr.unicamp.br

Diversas formas tem sido buscadas para eliminar/minimizar tal inconveniente. O uso de aceleradores de pega é o exemplo mais clássico. No entanto, mesmo em condições favoráveis à pega da pasta de cimento, torna-se importante analisar o desenvolvimento da resistência do compósito ao longo do tempo. De forma idêntica, mesmo quando se utilizam materiais lignocelulósicos compatíveis com o cimento, operações de cura podem tornar mais eficiente a formação dos silicatos, traduzindo tal efeito pelo aumento na resistência mecânica do compósito.

A carbonatação artificial é outra alternativa adotada para contrabalancear os efeitos da presença de uma biomassa vegetal incompatível com o cimento. Baseia-se na reação intensa entre o anidrido carbônico e a cal, que é liberada durante a reação de hidratação dos constituintes do cimento. A intensidade dessa reação química depende de uma série de fatores. Dentre eles podem ser citados: a porosidade do material, a concentração de anidrido carbônico, a umidade relativa do meio ambiente, as dimensões da peça, dentre outros.

A carbonatação artificial pode ser utilizada, inclusive, durante a fabricação de compósitos à base de cimento, sobretudo de chapas prensadas (DE SOUZA, 1992 a, b) e de blocos vazados (HOENE, 1993). O gás, injetado sob pressão, atravessa as paredes do material formando um arcabouço, relativamente sólido, que permite manipular, em poucos instantes, o material recém-fabricado.

No presente trabalho, buscou-se analisar o efeito de três dosagens em cimento e de três tipos de cura sobre a resistência do compósito madeira-cimento. Avaliou-se, igualmente, a adequação do uso de método não destrutivo (ultrassom) no acompanhamento da evolução da velocidade ao longo do tempo. Em etapa posterior, observou-se o efeito de seis tipos de cura, realizadas para blocos vazados, constituídos de argamassa reforçada por partículas da mesma espécie de madeira.

MATERIAIS E MÉTODOS

Dois tipos de resíduos de partículas de *P. caribaea*, provenientes de serraria localizada em Prata-MG, pertencente à indústria Faber Castell, foram utilizadas no experimento. O primeiro deles, de coloração escura (MC), continha certa porcentagem de resíduos de casca, ao passo que, o segundo, de coloração clara (MC), continha resíduos de madeira, da qual não foi possível verificar-se a proporção de cerne e de alburno. Os dois resíduos sofreram, posteriormente, redução de tamanho, após passagem por picador de forragem. Selecionou-se o material passante na peneira ABNT nº 8 (2,4 mm).

Corpos-de-prova: adotou-se, como aglomerante, o cimento Portland composto CP II-E-32, de marca Votoran. As partículas vegetais foram adicionadas ao cimento. Após a homogeneização, adicionou-se, lentamente, a água de amassamento. A mistura foi colocada em fôrmas metálicas (ϕ 50 mm e 100 mm de altura), compactada com o auxílio de uma espátula, confeccionando-se três repetições por tratamento.

O tipo de cura exerce grande influência nas características do compósito. Desse modo, foram utilizados três tipos de cura, a saber: cura ao ar livre, cura em saco plástico e cura em câmara úmida.

A resistência de um material à base de cimento depende, em grande parte, da sua idade. Então, buscando-se avaliar a evolução da resistência do compósito em compressão, ao longo do tempo, foram efetuados testes aos 7, 14 e 28 dias. Utilizou-se, igualmente, um método não destrutivo na avaliação da taxa de endurecimento do compósito, baseado na medida da velocidade de propagação de onda ultrasônica, obtida através do equipamento Ultrasonic Tester BP-5.

Blocos vazados: a fabricação de blocos vazados foi utilizado o traço (em volume) de 1:3:2:1 (cimento:areia média:biomassa vegetal:água). A mistura foi realizada manualmente, após a colocação do aglomerante (CP II-E-32) e dos agregados, seguido da adição da água de amassamento. Com o auxílio de uma pá, colocou-se a mistura em máquina Permaq MBM 050, dispondo de um sistema vibratório, permitindo a fabricação de três blocos vazados (9x19x39 cm) a cada vez. Os blocos apresentavam duas cavidades, espessura da parede de 2 cm, com volume de 6669 cm³ (3534 cm³, eliminando-se as cavidades).

Os blocos, logo após a desmoldagem, foram aspergidos com água duas vezes ao dia, durante dois dias quando, então, foram submetidos a 6 tipos de cura (Tabela 1).

Tabela 1- Tipos de cura dos blocos vazados

Tipo	Cura inicial	Carbonatação	Cura final
T1	2A+I10'+4U+1A	C10'	9U+12A
T2	2A+I10'+4U+3A	C10'	7U+12A
T3	2A+I10'+4U+6A	C10'	4U+12A
T4	2A+I10'+4U+3 ^A +I10'+7U	-	I10'+7U
T5	2A+I10'+4U+10A	-	12A
T6	2A+I10'+4U+10U	-	12A

A= ar (dias) I= imersão (minutos) U= câmara úmida (dias) C= carbonatação (minutos)

A carbonatação foi conduzida em um reator metálico com capacidade de 60 l. Após fechar-se o reator, introduzia-se o gás carbônico durante 5 minutos e, a seguir, abria-se a válvula para expulsar o oxigênio. Após fechar-se novamente a válvula, introduzia-se o gás carbônico durante 10 minutos. Observou-se uma ligeira elevação na temperatura dos blocos vazados, indicando a ocorrência de reação entre o gás carbônico e a cal liberada pelo cimento. Após a carbonatação, os blocos eram retirados do reator e seguia-se os procedimentos detalhados na Tabela 1, para os tratamentos T1, T2 e T3.

Os blocos, após serem capeados com pasta de enxofre e caulim (traço 1:0,25) foram ensaiados à compressão, aos 28 dias, em prensa manual EMIC. Considerou-se, para efeito do cálculo da tensão de ruptura, a área total do bloco (361 cm²).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Testes preliminares indicaram não haver diferença significativa na utilização de resíduos úmidos provenientes de madeira clara (MC) e de madeira escura (ME), na resistência do compósito em compressão. No entanto, considerou-se que a resistência dos compósitos em compressão aos 14 dias apresentou um valor relativamente baixo (1,0 MPa), embora a massa específica aparente tenha sido da ordem de 900 kg/m³. A baixa resistência obtida deveu-se, provavelmente, à presença de importante concentração de extrativos solúveis, que inibiram parcialmente a pega do cimento. A velocidade de propagação da onda ultrasônica elevou-se ao longo do tempo, situando-se em torno de 1000 m/s, aos 11 dias. Após essa idade, ocorreu uma tendência à estabilização, denotando que a taxa de formação de silicatos atingiu seu valor máximo, limitado, provavelmente, pela baixa umidade das amostras.

Dosagens: utilizando-se partículas de madeira secas ao ar (12%), buscou-se analisar o efeito da dosagem em cimento sobre a resistência à compressão de compósitos, ensaiados aos 14 dias (Figura 1). No entanto, no caso do uso de dosagens reduzidas em cimento (200 kg/m³) optou-se por realizar o ensaio aos 28 dias, devido à fragilidade dos corpos-de-prova. Partículas de *P. caribaea*, secas ao ar, mostraram-se, dessa forma, retardadoras da pega do cimento CP II-E-32. Para dosagens mais elevadas de cimento a resistência dos compósitos fabricados com os dois tipos de resíduos, foi equivalente àquela de tijolos maciços (mínimo de 2,0 MPa e média de 2,5 MPa).

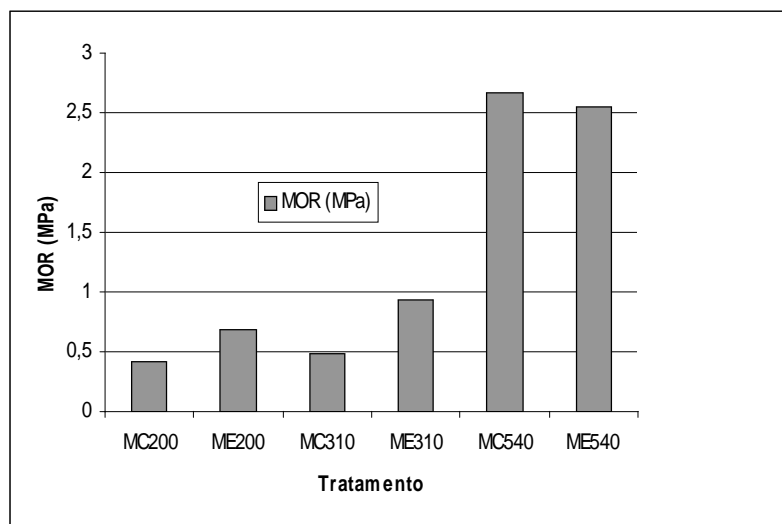


Figura 1- Efeito da dosagem em cimento (kg/m³) sobre a resistência dos compósitos em compressão

Observou-se que, para menores dosagens em cimento, compósitos à base de madeira escura (ME) mostraram-se menos problemáticos em relação à pega do cimento, enquanto que, para dosagem mais elevada (540 kg/m³), os valores não foram diferentes para os dois tipos de madeira. De forma inversa em relação ao consumo de cimento e à resistência em compressão, a massa específica aparente apresentou valores médios de 540, 800 e 1000 kg/m³. Compósitos mais leves, embora não possam ser utilizados em locais onde sejam

submetidos a esforços importantes, podem ser utilizados, por exemplo, na confecção de tubetes biodegradáveis, em plantio de sementes florestais.

Ensaio não destrutivo: a velocidade de propagação da onda ultrasônica variou de 580 a 1300 m/s, na dependência da dosagem empregada (Figura 2). A velocidade obedeceu uma lei exponencial, do tipo:

$$V = V_{\max} (1 - \exp(-kt))$$

onde, v_{\max} = velocidade máxima de deslocamento (m/s), enquanto que, k , corresponde à taxa de variação da velocidade ao longo do tempo. Para o caso do tratamento ME540 (madeira escura, com dosagem de 540 kg de cimento por m³ de compósito, os valores foram de, respectivamente, 1264 m/s e 0,24. No entanto, cabe ressaltar a necessidade de ter que se efetuar um acabamento na superfície dos corpos-de-prova, para melhorar o contacto com os transdutores.

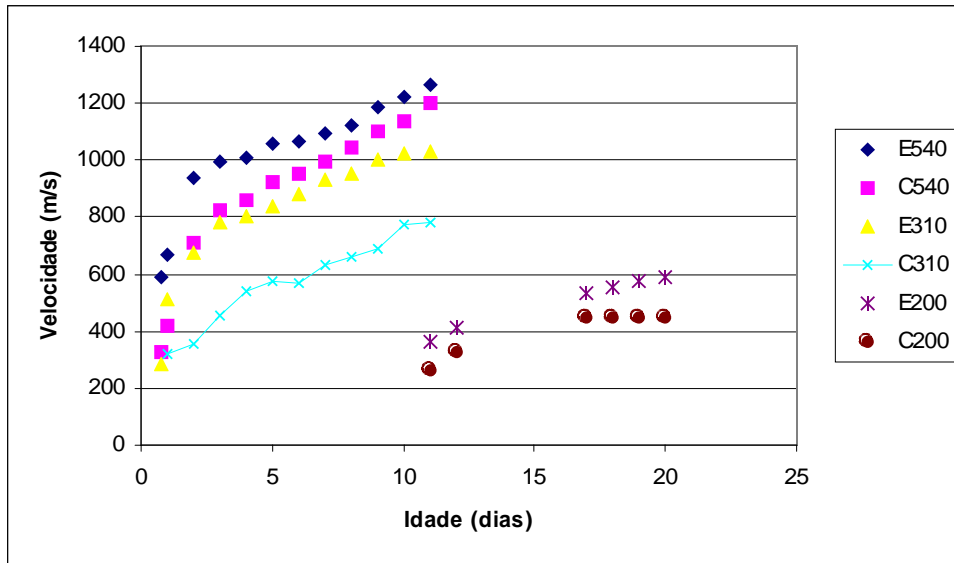


Figura 2- Evolução da velocidade de propagação da onda ultrasônica ao longo do tempo

Cura: embora o tipo de cura utilizada tenha influenciado a resistência do compósito em compressão, não se tornou evidente o benefício da utilização da cura úmida (Figura 3). Cabe esclarecer que, para testar os corpos-de-prova, os mesmos foram ensaiados com o teor de umidade correspondente ao final de período de estocagem, sendo, portanto, diferentes os teores de umidade dos corpos-de-prova. A maior parte dos materiais tem seu desempenho prejudicado quando é ensaiado em condições de umidade elevada.

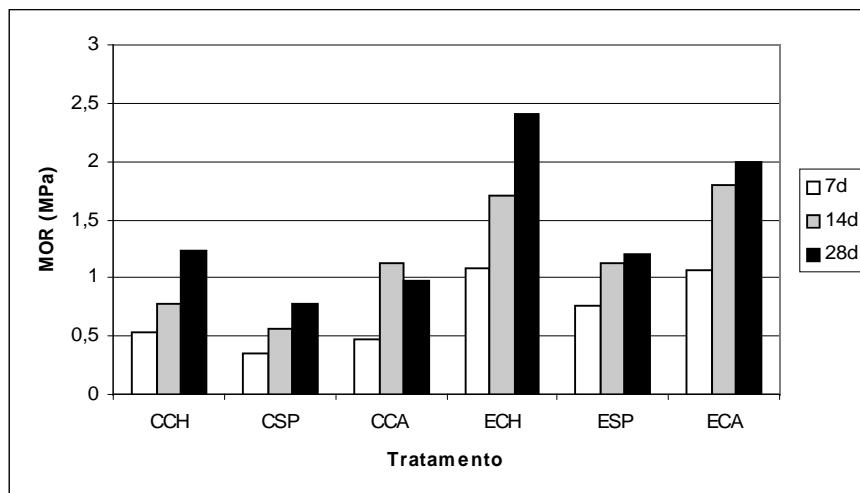


Figura 3- Efeito da cura sobre a resistência dos compósitos à compressão

Legenda: CCH= clara (câmara úmida); CSP= clara (saco plástico); CCA= clara (ar livre)

Para os dois tipos de resíduos de madeira utilizadas (clara e escura) verificou-se que não houve diferença significativa entre a resistência à compressão aos 14 e aos 28 dias, quando a cura foi realizada ao ar livre. A cura úmida, sobretudo para a madeira escura, mostrou-se superior aos demais tratamentos, para a idade de 28 dias.

Blocos vazados: observou-se a presença de porções escurecidas na superfície dos blocos, indicando a presença de material proveniente da casca. A massa específica aparente dos blocos vazados situou-se entre 0,88 a 0,95 g/cm³, descontando-se o volume das cavidades. Trata-se, portanto, de um material leve, perfeitamente adequado para a maioria das instalações agrícolas, onde não se requerem carregamentos estruturais.

A umidade dos blocos, após 2 dias de fabricação, situou-se entre 2,0% e 4,0%. Após 10 minutos de imersão em água o teor de umidade situou-se entre 10,8 e 15,8%, denotando alta absorção do material, o que pode limitar seu uso em locais sujeitos à umidade.

Por ocasião da carbonatação pôde-se constatar elevação na temperatura durante a carbonatação. Posteriormente, verificou-se que os blocos carbonatados apresentavam ganhos ponderais de 0,7 a 1,2%, confirmando a ocorrência de reação entre o gás carbônico e a cal livre.

Na Figura 4 são apresentados os valores obtidos no teste de compressão dos blocos vazados, de acordo com o tipo de cura efetuada.

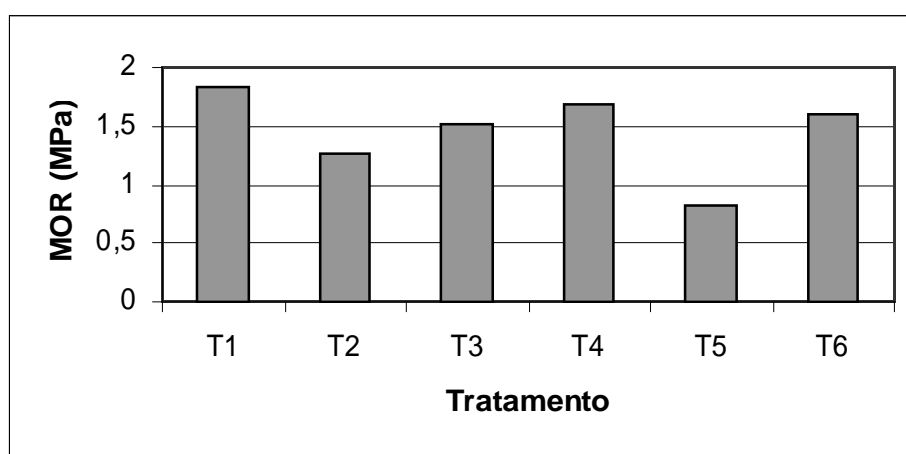


Figura 4- Efeito do tipo de cura sobre a resistência à compressão dos blocos vazados

A análise estatística aplicada aos resultados do ensaio de compressão dos blocos vazados indicou não haver diferença significativa entre os tratamentos T1 (1,83 MPa), T4 (1,69 MPa) e T6 (1,59 MPa), sendo todos superiores aos tratamentos T3 (1,51 MPa) e T2 (1,27 MPa). O tratamento menos indicado foi o T5 (0,83 MPa), consistindo do maior período de cura ao ar, sofrido pelos blocos vazados.

Os resultados evidenciaram a importância de se escolher a idade adequada para a execução da carbonatação dos blocos vazados. De acordo com os resultados obtidos, considerando-se a dosagem adotada e a forma de fabricação, a carbonatação deve ser efetuada ao 7º dia (2A+110'+4U+1A).

Embora os blocos vazados tenham suportado cargas superiores a 5 toneladas, a tensão obtida não permite que os mesmos atendam às exigências técnicas (mínimo de 2,0 e média de 2,5 MPa). No entanto, existe uma larga gama de possibilidades de utilização de tais materiais, principalmente em construções rurais, sob forma de materiais para vedação.

CONCLUSÃO

A madeira *P. caribaea* mostrou-se moderadamente inibitória à pega do cimento composto CP II-E-32. Não se observou diferença significativa entre o comportamento da madeira clara (cerne + alburno) e da escura (inclusão de porções de casca) na resistência dos compósitos em compressão. O tipo de cura influenciou os resultados, sendo mais indicada a sua realização em meio úmido. Método não destrutivo, com a utilização de onda ultrasônica, evidenciou a estabilidade estrutural do compósito em torno do 11º dia após a fabricação. Blocos vazados também se mostraram susceptíveis ao tipo de cura realizada. A carbonatação efetuada sobre os blocos vazados mostrou-se mais eficiente, quando realizada sete dias após a fabricação. Tais materiais podem ser indicados para uso em instalações rurais, onde não desempenhem uma função estrutural.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos às indústrias Faber Castell e Votorantim pelo fornecimento de, respectivamente, resíduos de madeira e cimento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BERALDO A. L. Compósitos Biomassa vegetal-cimento. In: TOLEDO F^o, R.D.; NASCIMENTO, J.W.B.; GHAVAMI K. Materiais não convencionais para construções rurais. Campina Grande, UFPb/SBEA, 1977.
- DE SOUZA M.R. Cement-bonded particleboard made with carbon dioxide gas: an exploratory study. MSc Thesis, University of Idaho, Paper 1, 1992.
- Effect of carbon dioxide gas in manufacturing cement-bonded particleboard. MSc Thesis, University of Idaho, Paper 2, 1992.
- HOENE M. Wood cement block technology. In: Inorganic-bonded wood and fiber composite materials Conference, Spokane, USA, 1993, Vol 3, p. 51-53.
- WEATHERWAX R.C.; TARKOW H. Effect of wood on setting of Portland cement. Forest Products Journal, 14(2), 1964, p. 567-570.