

**EFEITO DE TRATAMENTOS SOBRE A RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE COMPÓSITO PINUS-
CIMENTO¹**

L. L. PIMENTEL², A. L. BERALDO³

Escrito para apresentação no
XXIX Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2000
Imperial Othon Palace, Fortaleza - Ceará, 4 a 7 de julho de 2000

RESUMO: Neste trabalho analisou-se o efeito de diversos tratamentos efetuados sobre a resistência à compressão de compósitos madeira-cimento. Foram testados dois tipos de resíduos (serragem e parafinado) provenientes da indústria de lápis Faber Castell, dois tipos de cimento (CP II-E-32 e CP V-ARI), duas formas de cura (úmida e à vapor) e cinco tratamentos físico-químicos (testemunha, cloreto de cálcio e sulfatos de alumínio puro e comercial e lavagem em água quente). A característica mecânica observada para a avaliação dos compósitos foi a resistência à compressão aos 28 dias e após 9 horas de cura à vapor. Os resultados da tensão na compressão simples indicaram, na maior parte dos tratamentos, o efeito favorável do uso do cimento CP V-ARI; do cloreto de cálcio como acelerador, o melhor comportamento do resíduo serragem, e a melhor adequação da cura úmida. No entanto, a cura à vapor permitiu o manuseio do material logo após um período de 9 horas de cura, o que pode vir a agilizar a produção de elementos fabricados com este compósito. A lavagem das partículas não apresentou os resultados esperados.

PALAVRAS-CHAVE: cimento, partículas de madeira, compósito madeira-cimento

¹ Apoio Faber Castell

² Eng. Civil, Mestre em Engenharia Agrícola, Feagri, Unicamp.
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Unimep, Santa Bárbara d'Oeste, SP.

³ Prof. Ass. Doutor, Faculdade de Engenharia Agrícola, Unicamp, CP 6011.
13083-970, Campinas, SP. E-mail: beraldo@agr.unicamp.br

TREATMENT EFFECTS ON COMPRESSION STRENGTH OF *PINUS*-CEMENT COMPOSITES

SUMMARY: This paper analyzed the influence of several parameters as cement type (CP II-E-32 and CP V-ARI); wood/cement/sand/water ratio; chemical treatments (calcium chloride and aluminum sulfate); cure type (humid and steam); raw material type (sawmill and paraffin coated particles) and interactions among this parameters over compression strength of cylindrical specimens at 28 days age and 9 hours before steam cure.

Results showed the best influence of type V Portland cement; calcium chloride, sawdust and humid cure, therefore, the steam cure possibilities handle this material before 9 hours of cure.

KEYWORDS: cement, wood particles, wood cement composite

INTRODUÇÃO

A utilização de resíduos de agroindústrias como, por exemplo, partículas de madeira e casca de arroz, na obtenção de compósitos à base de aglomerantes, vêm sendo estudada desde a década de 30. Inicialmente as técnicas propondo o uso de aglomerantes orgânicos desenvolveram-se mais rapidamente do que aquelas direcionadas para o uso dos inorgânicos. Mas, nos últimos anos, com o encarecimento dos aglomerantes orgânicos, pesquisas voltaram-se para o desenvolvimento de produtos à base de cimento.

Compósitos biomassa vegetal-cimento (CBVC) podem ser utilizados nas mais diversas finalidades, em vista de suas características físico-mecânicas. As principais vantagens no uso do CBVC são: disponibilidade de matéria-prima em grandes quantidades; baixa massa específica - variando de 400 a 1500 kg/m³, o

que permite sua utilização como painel de fechamento, forros, telhas, etc; isolamento termo-acústico; impermeabilidade; resistência mecânica- sua resistência à compressão é inferior à de outros concretos leves, mas a relação entre tração e compressão passa de 1/10 no concreto convencional para 1/2 a 1/4 no CBVC (BERALDO, 1997).

Como desvantagem principal, pode ser citada a incompatibilidade química entre a biomassa vegetal e o cimento. A constituição química da biomassa, devido à presença de açúcares, resinas, fenóis e amido, pode afetar de forma adversa a hidratação do cimento. No entanto, diversos tratamentos vêm sendo estudados afim de minimizar este problema; é possível minimizar ou mesmo evitar os efeitos da incompatibilidade química, através de tratamentos físico-químicos aplicados sobre as partículas vegetais, tais como, a lavagem das partículas em água quente e a utilização de aceleradores de pega (cloreto de cálcio, sulfato de alumínio e silicato de sódio). Alguns destes tratamentos são citados por PIMIENTA et al. (1994).

Uma das alternativas utilizadas para reduzir o tempo necessário para a desmoldagem é o uso da cura a vapor. Essa técnica tem sido amplamente utilizada por empresas de pré-moldados. Este processo visa acelerar o endurecimento do cimento e, conseqüentemente, propicia um aumento da resistência do concreto, permitindo o manuseio do produto com menores idades, aumentando a produtividade (NEVILLE, 1982).

O resíduo a ser utilizado nesta pesquisa é proveniente da indústria Faber Castell, cujo reflorestamento em Prata-MG, tem uma área de 6 mil hectares onde a espécie utilizada é o *Pinus caribaea* var. *hondurensis*. Do processo de fabricação resultam dois tipos de resíduo: 2 mil toneladas/mês de serragem sem tratamento químico, em Prata-MG, e 160 toneladas/mês de resíduo

tratado com impregnação de parafina e corante, em São Carlos-SP. Esse processo garante melhor apontabilidade do lápis e melhor aspecto de cor. Atualmente estes dois tipos de resíduo estão sendo utilizados, parcialmente, como "cama" de frango e na fabricação de briquetes para queima em caldeira da própria indústria. Visando novas aplicações para estes resíduos, este trabalho busca definir parâmetros ótimos para a dosagem de compósito à base dessas matérias-primas e de cimento Portland, tornando viável futuramente a produção de elementos construtivos.

MATERIAIS E MÉTODOS

Caracterização dos materiais: A caracterização dos agregados, vegetal e mineral, foi feita através da determinação da curva granulométrica, segundo a NBR 7217. Para o agregado de origem vegetal, o resultado foi obtido através da média de três determinações e, para o agregado mineral, foi efetuada uma única determinação. Ambos apresentaram módulo de finura de 2,70 e diâmetro máximo do agregado de 4,80 mm.

Traço: Baseado em estudos preliminares adotou-se os seguintes traços em massa (cimento:areia:partículas:a/c):

T1 (1:1:0,15:0,75)

T2 (1:1,25:0,15:0,79)

Através do ensaio para a determinação da consistência da argamassa para fabricação de telhas conforme orientação do manual suíço da SKAT "Document Normatif" (1991) foi definido o fator a/c. Quando do uso do material parafinado, o fator a/c reduziu-se para 0,63 (traço T1) e 0,65 (traço T2), por apresentarem as partículas vegetais menor capacidade de absorção de água.

Tipos de cimento: Optou-se pela utilização dos cimentos CP II-E-32, facilmente encontrado no comércio, e do cimento CP V-ARI. Os cimentos apresentaram características tais que atendessem às normas NBR 11578 e NBR 5733, respectivamente.

Origem: Foram utilizados dois tipos de resíduos da referida indústria, a saber: Serragem (S), que é um material sem tratamento químico, e outro, denominado Parafinado (P), que é um material que sofreu impregnação de parafina e corante. Ambos os materiais foram submetidos aos mesmos tratamentos, exceção feita à lavagem, aplicada somente ao material proveniente de serraria.

Cura: A cura úmida (U) foi definida como sendo constituída de um período de 7 dias, logo após a moldagem, em câmara úmida com 95% de umidade relativa, seguidos de cura ao ar livre até a idade de 28 dias. A cura a vapor (V) consistiu em submeter o corpo-de-prova a um aquecimento que se iniciava 2 horas após a moldagem e atingia a temperatura de 60 °C em 3 horas após o início do aquecimento. Essa temperatura era mantida por 2 horas, após o que, resfriava-se o corpo-de-prova ao ar livre por período de 1 hora. Para este ensaio foram moldados 6 corpos-de-prova por série sendo 3 deles rompidos com 9 horas de idade, e os demais colocados em câmara úmida até a idade de 7 dias, seguindo os mesmos em cura ao ar livre até atingirem a idade de 28 dias.

Os resultados de resistência à compressão foram analisados separadamente pelo programa SANEST, para as idades de 9 horas e 28 dias, buscando-se concluir qual seria a combinação dos fatores: Traço, Cimento, Origem e Tratamento, que resultaria em melhor desempenho.

Tratamentos: Foram utilizados cinco tipos de tratamento visando minimizar os efeitos negativos provocados pelos extrativos da madeira sobre a reação de hidratação do cimento:

T- Testemunho- sem tratamento;

CC - Cloreto de Cálcio, em concentração de 3% em relação à massa de cimento;

SA- Sulfato de Alumínio, em concentração de 1,5% em relação à massa de cimento (produto à base de sulfato de alumínio encontrado no comércio, para tratamento de água de piscinas);

SAP- Sulfato de Alumínio Puro Analítico em concentração de 1,5% em massa de cimento

Lavado- Lavagem em água quente por período de 1 hora a 80 °C, seguido de lavagem em água fria. Este tratamento foi aplicado somente para partículas de madeira denominadas Serragem. O material Parafinado não foi submetido a este tipo de tratamento pois a extração da parafina ocorreria juntamente com a dos extrativos da madeira levando a resultados não satisfatórios.

Os dados referentes ao tratamento Lavado foram analisados separadamente pelo programa SANEST, pois não houve a confecção de corpos-de-prova à base de material parafinado e lavado.

Estes tratamentos físico-químicos visam minimizar a interferência negativa da biomassa vegetal em mistura com a argamassa de cimento. Os aceleradores utilizados foram diluídos na água de amassamento, e aplicados sobre a mistura das partículas madeira e cimento, preparada na seguinte ordem de colocação: [(CIMENTO + AREIA) + MADEIRA] + ÁGUA. Os corpos-de-prova foram moldados colocando-se o material em três camadas, compactadas com auxílio de uma espátula; posteriormente foram submetidos a um dos processos de cura previstos neste trabalho.

Ensaio de compressão simples: Para cada combinação de tratamentos foram moldados três corpos-de-prova cilíndricos (ϕ 5 X 10 cm). Efetuou-se o capeamento dos corpos-de-prova, após o qual, realizou-se o ensaio de compressão, aos 28 dias de idade, em Prensa hidráulica marca Dinateste, de capacidade 200 KN, da FEAGRI-UNICAMP.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Uma avaliação estatística foi feita pelo programa SANEST, aplicando-se o teste de Tukey para a comparação das médias a um nível de 5% de significância, para a avaliação de cada fator e combinação de fatores.

Resistência à compressão aos 28 dias: Os valores de variância mostraram que os fatores responsáveis pelas principais variações da resistência são o Cimento ($F=926,18$), seguido dos fatores Tratamento ($F=131,13$) e, com menor intensidade, a Cura, Origem, Traço e a combinação dos fatores Cimento e Cura.

A média geral encontrada para a resistência aos 28 dias foi de 9,02 MPa, com coeficiente de variação de 9,35%. Estes resultados podem ser considerados bons para um material cuja finalidade venha a ser produzir elementos construtivos para vedação.

Efeito do fator Traço: Em uma análise global, considerando os demais fatores misturados, o **T1** (9,5 MPa) foi estatisticamente superior ao **T2** (8,53 MPa). Esta tendência se manteve quando foram analisados o fator traço dentro dos fatores cimento, origem, cura e tratamento. A única exceção ocorreu para o tratamento SA, onde o T1 (9,38 MPa) foi estatisticamente igual ao T2 (8,93

MPa). Quando foi analisado o fator traço, para cada combinação dos demais fatores, observou-se que o T2 apresentou melhor desempenho que o T1 em algumas situações como pode-se observar na figura 1, para a combinação de uso do CP II-E-32; material Parafinado e curas Úmida (U) ou Vapor (V). Outra exceção foi a combinação de ARI+P+CURA+SA e SAP. Esta tendência superior do T1 era esperada pois nele o consumo de cimento foi maior do que no T2; esta diferença foi mais evidente quando do uso do cimento CP V do que para o CP II-E-32.

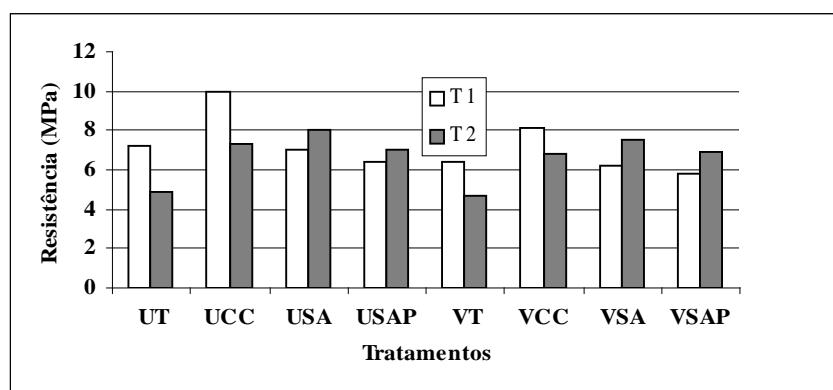


FIGURA 1- Influência do traço na resistência à compressão do compósito. Cimento CP II-E-32 e material parafinado.

Efeito do fator Cimento: Em uma análise global, o cimento **ARI** (10,45 MPa) foi estatisticamente superior ao CP **II-E-32** (6,75 MPa). Esta tendência se manteve quando o fator cimento foi analisado dentro dos demais fatores, sem exceção. A figura 2 mostra o desempenho dos dois tipos de cimento quando combinados T1 com Serragem, curas Úmida e Vapor e todos o Tratamentos efetuados (T, CC, SA e SAP). Embora o cimento ARI apresente maior custo do que o CP II, em termos de produtividade, essa diferença tende a desaparecer, tanto que o ARI é o cimento mais utilizado por empresas de pré-moldados.

Apesar dos cimentos ARI e CP II apresentarem, a partir dos 28 dias de idade, resistências praticamente iguais, quando se estuda argamassas, o melhor desempenho do ARI neste experimento evidenciou a sua não

susceptibilidade em sofrer a ação dos extrativos da madeira, contrariamente ao que ocorreu com o CP II.

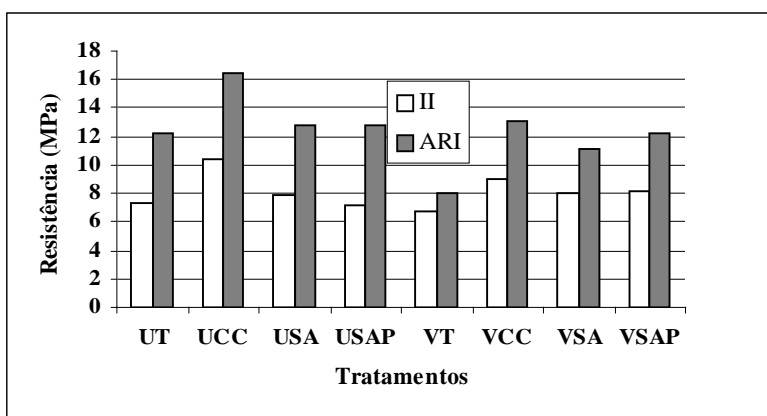


FIGURA 2- Influência do cimento na resistência à compressão do compósito. Traço 1 e material de serraria.

Efeito do fator Origem: Em uma análise global o desempenho do material Serragem (9,51 MPa) foi estatisticamente superior ao do material Parafinado (8,53 MPa). Esta tendência se manteve quando o fator Origem foi analisado dentro dos demais fatores em separado. Observou-se algumas exceções, quando o fator origem foi analisado para cada uma das combinações dos demais fatores (9 dentre 32 possibilidades de combinação), para as quais o material serragem foi estatisticamente igual ao material parafinado. Isto significa que, em algumas situações, seria possível produzir compósito com a mistura dos dois materiais. A figura 3 mostra o desempenho de cada um dos materiais frente à combinação T1 + ARI + Tratamentos + Curas.

Esperava-se que o material Parafinado apresentasse melhor desempenho devido à impregnação de parafina, o que promoveria uma impermeabilização das partículas e, conseqüentemente, diminuiria a dissolução dos extrativos. No entanto, isso não ocorreu, podendo dois fatores terem sido responsáveis por tal fato:

- menor aderência entre a matriz e as partículas;

- reações adversas entre o cimento e o corante ou com a própria parafina durante a reação de hidratação.

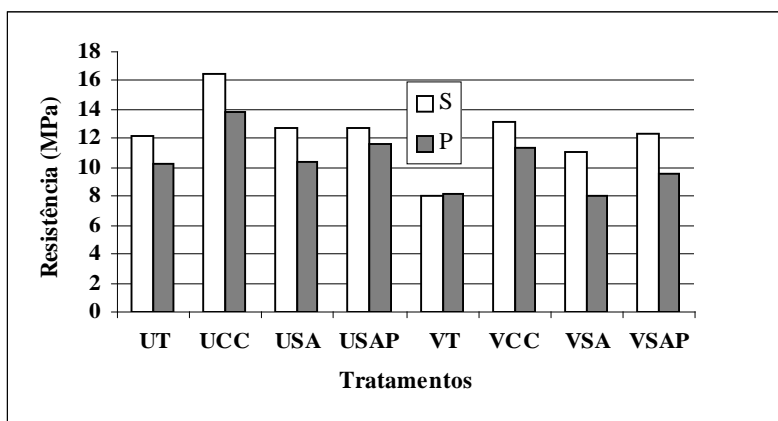


FIGURA 3- Influência da origem do material na resistência à compressão do compósito. Traço 1 e cimento CP V-ARI.

Efeito do fator Cura: Em uma análise global a cura úmida apresentou melhor desempenho do que a cura à vapor (**U** (9,52 MPa) > **V** (8,51 MPa)), para resistência aos 28 dias. Essa tendência se manteve quando se analisou o fator Cura dentro dos demais fatores: Traço, Origem, ARI do fator Cimento e dentro dos níveis T, CC e SA do fator Tratamento. Para o CP II do fator cimento e SAP do fator tratamento, não houve diferença estatística entre os tipos de cura. A figura 4 apresenta o desempenho de cada tipo de cura frente à combinação dos fatores: T1 + CP II + Origem (S ou P) + Tratamentos. Um dos fatores que propiciam a menor resistência dos concretos curados a vapor é a pressão desenvolvida nos poros de ar durante o aquecimento, pois o ar tem um coeficiente de dilatação térmica maior do que o material que o envolve (NEVILLE, 1982).

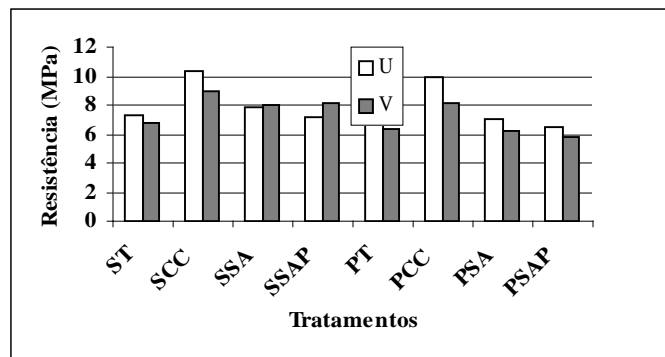


FIGURA 4- Influência do tipo de cura na resistência à compressão do compósito. Traço 1 e cimento CP II-E-32.

Efeito do fator Tratamento: Não se considerando os demais fatores envolvidos, o tratamento cloreto de cálcio (**CC**) foi superior aos demais, sendo seguido pelos tratamentos à base de sulfato de alumínio (**SA** e **SAP**), entre os quais não ocorreu diferença e do tratamento testemunho (**T**) sempre classificado como o pior tratamento ($CC > SA = SAP > T$). Dentro do fator Traço, o T2 mostrou uma situação de igualdade entre os tratamentos CC e SA, ambos superiores ao SAP o qual, por sua vez, mostrou-se superior ao T. Dentro do fator Cimento, ocorreu uma inversão no desempenho dos tratamentos à base de sulfato de alumínio ($CC > SA > SAP > T$) quando utilizado o CP II. Dentro do fator Origem, o CC foi superior ao SA, o qual, por sua vez, foi superior ao SAP para os dois níveis desse fator (serragem e parafinado). Dentro do fator Cura a tendência se manteve. Em apenas quatro situações das dezesseis possibilidades de combinação, o tratamento à base de SA conduziu a resultados próximos aos de CC (T2 + CP II + Origem + Cura). Em sete outras combinações analisadas, constatou-se que o uso do tratamento SA não forneceu melhoria significativa quando comparado ao T. Neste caso, indica-se que se utilize o CC como tratamento. A figura 5 apresenta os resultados das combinações T1 + ARI + Origem (serragem e parafinado) + Cura (úmida e vapor).

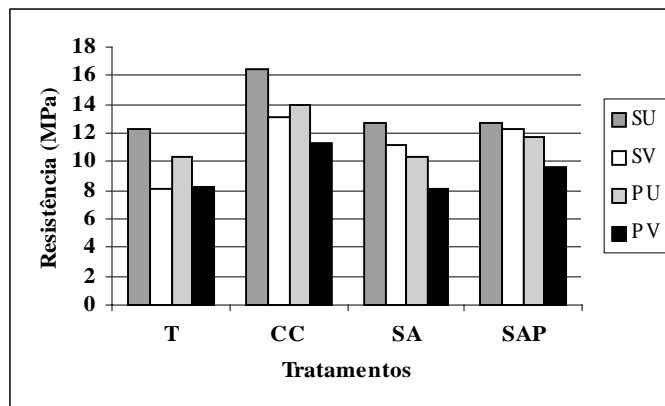


FIGURA 5- Influência do tipo de tratamento na resistência à compressão do compósito. Traço 1 e cimento CP V-ARI.

Efeito da Lavagem das partículas (Serragem): nas figuras 6 e 7 apresentam-se os resultados obtidos com o uso de partículas lavadas, para o material proveniente de serraria, submetendo o compósito aos dois tipos de cura (úmida e a vapor). Na figura 6, relativa ao uso do traço T1, não foi notado um efeito favorável da lavagem das partículas. Porém, quando do uso do traço T2 (figura 7), a lavagem mostra substancial elevação da resistência do compósito em compressão.

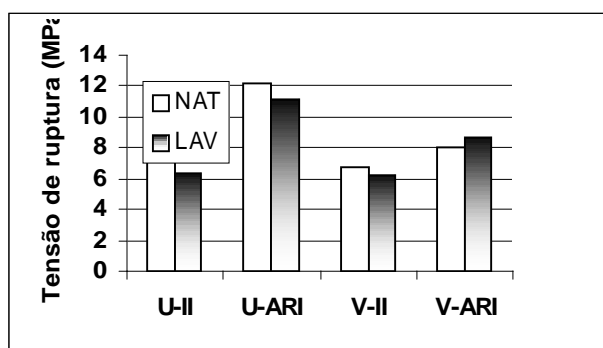


FIGURA 6- Influência da lavagem das partículas para o traço T1

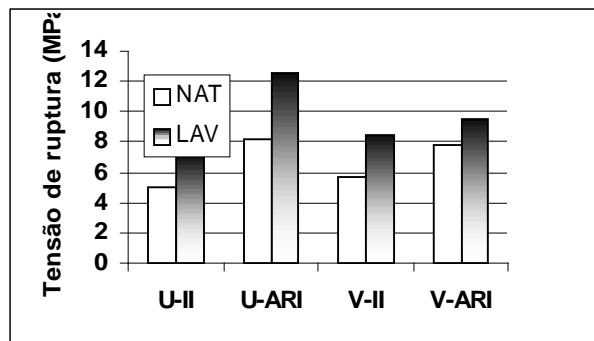


FIGURA 7- Influência da lavagem das partículas para o traço T2

Resistência à compressão na idade de 9 horas

A resistência média obtida após o período de 9 horas da cura à vapor foi de 3,0 MPa, com coeficiente de variação de 7,58%. Esse valor correspondeu a quase 1/3 do valor médio obtido aos 28 dias, o que permite o manuseio do produto.

Efeito do fator Traço: De maneira geral, não houve diferença estatística entre T1 (2,98 MPa) e T2 (3,01 MPa). Quando analisado dentro dos demais fatores, o T2 mostrou-se superior ao T1 principalmente quando da utilização dos tratamentos T e CC, como pode-se verificar na figura 8.

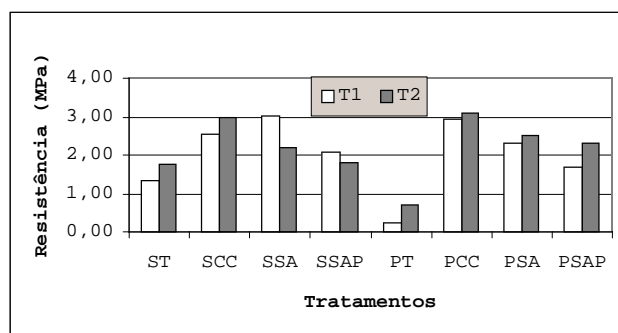


FIGURA 8 - Influência do traço na resistência à compressão do compósito. Cimento CP II-E-32.

Efeito do fator Cimento: Em geral, o cimento ARI apresentou resultado superior ao do CP II, sem exceções (ARI=3,90 MPa > CP II=2,09 MPa). Em algumas combinações o desempenho do cimento CPII chegou a se igualar ao desempenho do cimento ARI, como pode-se verificar na figura 9.

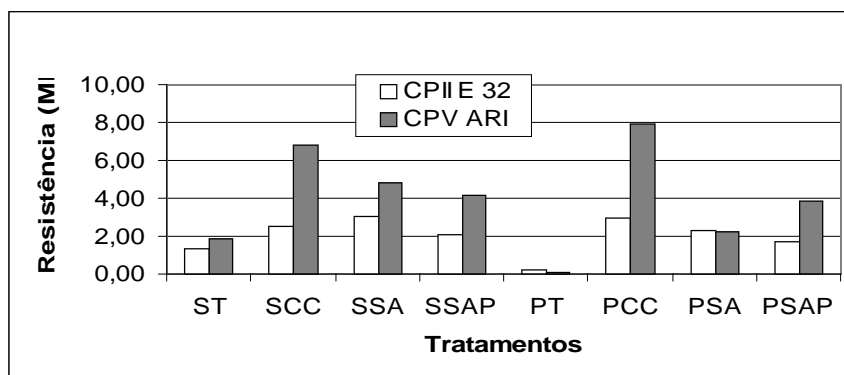


FIGURA 9 - Influência do cimento na resistência à compressão do compósito. T1 e resíduos serragem e parafinado.

Efeito do fator Origem: Em geral, o material serragem (3,28 MPa) apresentou resultado superior ao parafinado (2,72 MPa). No entanto, em todas as situações onde foi utilizado o tratamento cloreto de cálcio, a situação se inverteu (P>S), como pode-se verificar na figura 10.

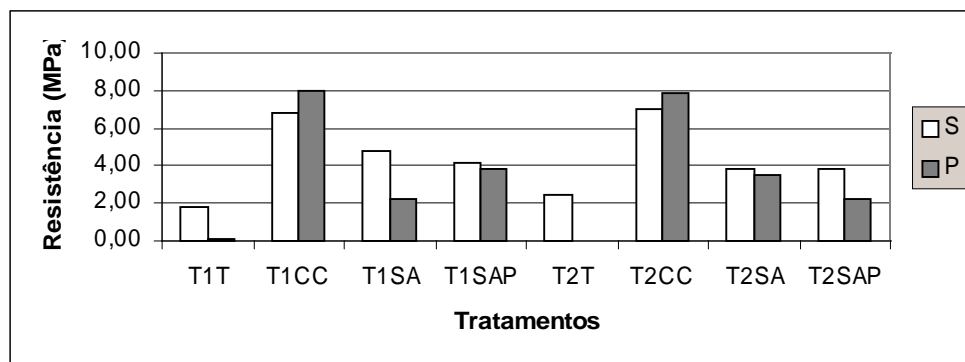


FIGURA 10 - Influência da origem na resistência à compressão do compósito

Efeito do fator Tratamento: Em uma análise global, o tratamento CC (5,14 MPa) foi superior ao tratamento SA (3,05 MPa), o qual, por sua vez, foi superior ao tratamento SAP (2,75 MPa) e este superior ao T (1,05 MPa). Essa tendência se manteve quando o fator Tratamento foi analisado, dentro dos demais fatores, ocorrendo uma única situação de igualdade entre os tratamentos CC e AS (figura 11).

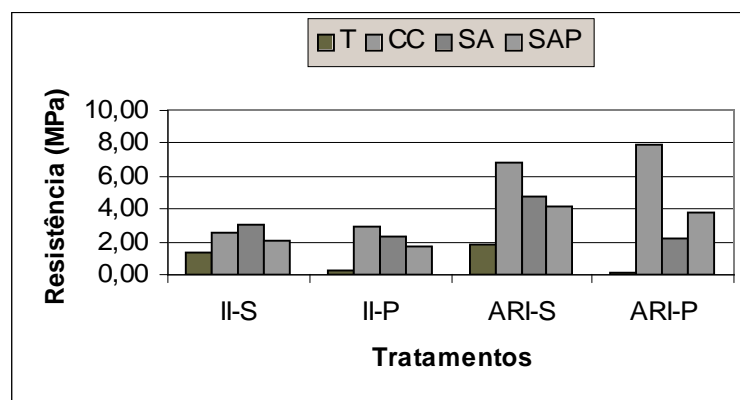


FIGURA 11 - Influência do tipo de tratamento na resistência à compressão do compósito utilizando o T2.

CONCLUSÕES

Partículas naturais ou parafinadas da madeira *P. caribaea* mostraram-se moderadamente inibitórias à pega do cimento. Na avaliação da resistência à compressão do compósito madeira-cimento, aos 28 dias, concluiu-se que a melhor opção para a produção deva ser a utilização do traço T1, com cimento CP V-ARI, utilizando o material serragem, aplicando-se o tratamento com o cloreto de cálcio, e submetendo o compósito à cura úmida. No caso de ser necessário agilizar a produção de artefatos à base de tal compósito, a cura à vapor

também poderá ser utilizada; neste caso, o T2 é mais indicado bem como o uso do cimento ARI e do material parafinado combinado com o uso do cloreto de cálcio. A lavagem das partículas vegetais pode apresentar um resultado favorável sobre a resistência à compressão, na dependência do traço que seja utilizado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, ABNT. Rio de Janeiro.

NBR 5733. Cimento Portland de Alta Resistência Inicial, especificação, 1991, 5p.

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: *Materiais não convencionais para construções rurais*. TOLEDO FILHO, R. D.; NASCIMENTO, J W B.; GHAVAMI, K. (Ed). Cap. 1, p. 01-48, 1997. Campina Grande, SBEA, XXVI CONBEA, UFPb, 1997.

NEVILLE, A. M. *Propriedades do concreto*. São Paulo. Editora PINI, 1982. p. 309-312.

PIMIENTA, P.; CHANDELLIER, J.; RUBAUD, M.; DUTREL, F.; NICOLE, H. *Étude de faisabilité des procédés de construction à base de béton de bois*. CAHIERS DU CSTB, Paris, 1994. 45p.

SKAT- Centre de Coopération Suisse pour la technologie et le management
Document Normatif. Tuiles en fibro et vibro-mortier, 1991. 44p.

