

## **CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA DE COMPÓSITOS CIMENTO-MADEIRA DE REFLORESTAMENTO ( *Cunninghamia lanceolata* )**

Cristiane Inácio de Campos, Prof. Dr. Antonio Ludovico Beraldo, Prof. Dr. João Cesar Hellmeister (*in memorian*)

**RESUMO:** Resíduos de processamento mecânico da madeira ainda não têm aplicação adequada. Assim, uma alternativa para diminuir o impacto ambiental durante a exploração da madeira refere-se ao uso resíduos na fabricação dos compósitos à base de cimento Portland. Neste trabalho foi avaliada a resistência à compressão simples dos compósitos à base de dois tipos de cimento (CP II E-32 e CP V-ARI) e partículas de reflorestamento (*Cunninghamia lanceolata*). Foram adotados tratamentos físicos e químicos sobre a fitomassa vegetal, visando melhorar a compatibilidade química com o cimento. A espécie vegetal estudada mostrou ser moderadamente inibidora à pega do cimento, quando combinada com ambos os tipos de cimento, pois apresentou uma resistência média à compressão de 4,0 MPa para o CP II E-32 e 6,4 MPa para o CP V-ARI. As aplicações possíveis para tal tipo de compósito se assemelha àquelas recomendadas para o concreto celular.

**Palavras-chave:** madeira, cimento, compósitos, resíduos

## **MECHANICAL CHARACTERIZATION OF CEMENT-WOOD COMPOSITES OF REFLORESTATION ( *Cunninghamia lanceolata* )**

**ABSTRACT:** Residues of the mechanical wood processing do not have yet an appropriate application. So, an alternative for to decrease the environmental impact during the wood processing refers to use of these residues for Portland cement composite production. In this work, it was evaluated the compression strength of the composite based on two Portland cement types (CP II E32 and CP V ARI) combined with particles from a reforestation wood (*Cunninghamia lanceolata*). Physical and chemical treatments were applied to the residues aiming to improve its chemical compatibility with the cement. The wood specie showed to be moderately inhibitory to the cement setting, when it was combined with both cement types, because the composites showed a medium compression strength (4,0MPa for CP II E 32 and 6,4MPa for CP V ARI). The possible applications for such composite type are similar to the cellular concrete.

**Keywords:** wood, cement, composites, residues

### **1 INTRODUÇÃO**

Compósitos madeira-cimento são constituídos por misturas dosadas de cimento, partículas de madeira e água. Tais materiais aparecem como uma alternativa viável para o Brasil, face ao grande desperdício de material lignocelulósico, resíduos de serraria, árvores de baixa classificação, provenientes de desbastes, que encontram-se disponíveis e sem um uso adequado.

Na utilização de compósitos pode-se consumir cerca de 80% do material original de uma árvore, além de ser também viável o uso dos desperdícios gerados durante o processamento

mecânico da madeira. Tais resíduos, quando deixados na natureza, geram um problema ecológico e econômico, pois é preciso dispor de recursos para a retirada ou tratamento desse material, que não apresenta, via de regra, uma destinação atual. A fabricação do compósito torna-se, então, muito interessante, pois utiliza-se um material normalmente deixado na natureza, e sem nenhuma aplicação e, principalmente, passa-se a dar um emprego viável a esse material, sem implicar, contudo, em custos importantes durante o processo de fabricação.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Por volta de 1920 iniciou-se o estudo do uso de materiais lignocelulósicos impregnados com cimento, denominados genericamente por compósitos madeira-cimento. Tal compósito mostrou-se interessante por apresentar baixo custo, bom desempenho de suas atividades isolantes (térmica e acústica), excelente resistência a fungos, boa aderência a estuques, argamassas, pinturas, papéis de parede, e revestimentos em geral, podendo ser amplamente empregado na construção civil.

A partir da década de 60, verificou-se uma maior dedicação ao estudo de tais compósitos. Alguns pesquisadores alemães passaram a desenvolver estudos isolados, procurando obter resultados que permitissem uma análise mais precisa das características do material.

A seguir estão apresentados trabalhos para a elaboração deste artigo, onde foram considerados estudos que permitem verificar relações entre a madeira e o cimento, como mostradas a seguir. Em 1984 MOSLEMI e LIM, estudaram 12 espécies de madeira folhosas, verificando a influência da madeira no monitoramento da curva de hidratação e do tempo necessário para alcançar a temperatura máxima onde foi determinado o índice inibitório para cada espécie. Segundo estes autores a extração de componentes em água quente, provocou a diminuição no tempo requerido para se alcançar a temperatura máxima de hidratação do corpo-de-prova.

Em 1987 LEE, PHILLIPS e HSE, estudaram 6 espécies de madeira com dosagens de cimento variando de 13/1 a 4/1. Neste estudo foram feitas estocagem ao ar livre e o armazenamento em ambiente frio. Os resultados mostraram que as misturas com alta relação cimento/madeira, usadas geralmente na pesquisa, pode não refletir verdadeiramente a compatibilidade madeira/cimento, quando se utilizam razões próximas daquelas empregadas na produção comercial das chapas.

MILLER e MOSLEMI, em 1991 desenvolveram produtos de compósitos madeira-cimento limitados pela incompatibilidade do cimento com numerosas espécies de madeira que inibem a pega e o endurecimento do cimento. Neste estudo foram investigados o efeito relativo de modelos de componentes especificamente encontrados na madeira, sobre as características de hidratação do cimento Tipo I e sobre a resistência à tração. A glucose diminui a resistência à tração do cimento em cerca de 50%.

Segundo HACHMI e CAMPBELL, a adição de outros materiais a mistura água-cimento, tais como partículas de madeira e aditivos químicos (orgânicos ou inorgânicos), afeta a reação de hidratação, o tempo para atingir as diferentes etapas e a resistência da pasta de cimento. De acordo com a Conference of fiber and particleboard bonded with inorganic binder são apresentadas algumas *interações madeira-cimento*, *interações físico-químicas* e *interações químicas*.

Segundo autores como SANDERMANN, PREUSSER, SCHWIENS LANGE, KASIM e SEDDING, diversos fatores podem aumentar de forma significativa o tempo normal de pega da mistura madeira-cimento. Dentre os fatores pode-se destacar: a madeira atacada, em especial o cerne da madeira, e se a época de corte é a primavera. Outros fatores que podem ser destacados são os teores de amido, taninos, açúcares e certos fenóis. Segundo estudos realizados, a madeira cortada na primavera pode ser altamente inibitória. A ação dos ataques fúngicos pode ser altamente inibitória também, porque os fungos aumentam a permeabilidade na estrutura da madeira, além do fato de que os fungos diminuem o grau de polimerização dos constituintes da madeira. No decorrer do tempo, pesquisadores de diversos países, passaram a estudar a mistura madeira-cimento.

Compósitos de madeira-cimento, em geral, tem apresentado um bom desempenho quando submetidos a esforços mecânicos, podendo assim ser empregados estruturalmente. Com os compósitos pode-se constituir diversos materiais empregados na construção, como por exemplo: blocos, pisos, telhas, painéis, dentre outros.

### **3 MATERIAIS E MÉTODOS**

A madeira utilizada nesta experimentação foi obtida da Companhia Melhoramentos, situada no município de Caieiras/SP. A espécie de madeira utilizada foi a *Cunninghamia lanceolata*, (China fir), espécie de origem chinesa. As toras utilizadas tinham, aproximadamente, 1 m de comprimento. Inicialmente essas toras foram descascadas, para eliminar-se o efeito dos constituintes da casca na qualidade dos compósitos. Em seguida, o material foi fragmentado em cepilhadeira Volpato. Após o corte, a madeira foi colocada para secar e, a seguir, processada em forrageira Nogueira.

### **4 MATERIAIS E MÉTODOS**

#### **4.1 Peneiramento do material**

Inicialmente foram separados 50 g de material, (*Cunninghamia lanceolata* – China fir). O material foi colocado em conjunto de peneiras da série normal e deixou-se o equipamento funcionando por dez minutos. Após este período, foram retiradas as peneiras do conjunto e pesado o material retido em cada uma delas. A tabela 1 apresenta as massas e porcentagens obtidas, no caso do material que já havia sido processado na cepilhadeira Volpato. Na tabela 2 apresenta-se as massas e porcentagens retidas em cada uma das peneiras do conjunto da série normal, após o processamento na forrageira Nogueira.

Observa-se, na comparação entre as duas tabelas, que houve modificação significativa na distribuição granulométrica do material. Inicialmente cerca de 90% encontrava-se retido acumulado na peneira de abertura 2,38 mm. Após o segundo processamento tal valor deslocou-se para a peneira de abertura 0,59 mm.

Tabela 1 – Distribuição granulométrica do material após passagem na cepilhadeira.

Peneiras (mm)	Tara (g)	Tara + Material (g)	Massa Retida (g)	% Retida	% Retida Acumulada
19,1	365,28	365,76	0,48	0,96	0,96
9,52	567,10	574,40	7,30	14,60	15,56
4,76	409,01	439,23	30,22	60,44	76,00
2,38	491,52	498,60	7,08	14,16	90,16
1,19	475,83	479,43	3,60	7,20	97,36
0,59	406,98	407,80	0,82	1,64	99,00
0,297	448,93	449,13	0,20	0,40	99,40
0,149	367,90	368,06	0,16	0,32	99,72
Fundo	314,57	314,76	0,19	0,38	100,10
Total			50,05		

Tabela 2 – Distribuição granulométrica do material após passagem na forrageira

Peneiras (mm)	Abertura da Peneira #	Massa de Material (g)	% de Material Retido	% Retida Acumulada
4,76	# 4	0,60	1,20	1,20
2,38	# 8	15,01	28,82	30,02
1,19	# 16	39,08	48,14	78,16
0,59	# 30	46,91	15,66	93,82
0,297	# 50	46,87	3,92	97,74
0,149	# 100	49,42	1,10	98,84
Fundo		50,0	1,16	100,00

#### 4.2 Teor de Umidade

O teor de umidade médio das partículas vegetais foi de 6,82%, determinado a partir de três repetições. O material foi, então, armazenado em saco plástico, para que a mudança no teor de umidade, devido às variações nas condições ambientais, não interferisse nos resultados.

#### 4.3 Massa Específica Aparente ( $\rho$ )

Essa característica física do material pode influenciar de forma importante a etapa de fabricação dos compósitos, sobretudo quando se utiliza a dosagem volumétrica dos constituintes da mistura. O material, na condição de seco e não compactado, foi colocado em um béquer com 1,8 l de capacidade. Descontado-se a tara do recipiente, obteve-se o valor médio de 113 g/l.

#### 4.4 Tratamentos efetuados nas partículas vegetais

Na maior parte dos casos estudados a matéria-prima vegetal não se mostra adequada, em sua forma natural, para ser misturada ao cimento. Várias alternativas, propostas por diversos pesquisadores, foram buscadas no presente trabalho, dentre elas:

4.4.1 Lavagem: utilizou-se o banho em água quente (80 °C) durante 2 h.

4.4.2 Acelerador: cloreto de cálcio de cálcio ou o sulfato de alumínio eram misturados à água de amassamento, a qual era, a seguir, adicionada à mistura de cimento-madeira. Para ambos os aceleradores adotou-se a dosagem de 3% em relação à massa de cimento.

4.4.3 Mineralização: adotou-se procedimentos baseados em FURUNO et al. (1991).

4.4.3.1- M1- material colocado em solução de silicato de sódio PA (5%), seco durante 24 h, colocado em solução de sulfato de alumínio (20%) e novamente seco, antes de se efetuar a mistura.

4.4.3.2- M2- idem ao anterior, porém sem efetuar a etapa de secagem entre os tratamentos.

4.4.3.3- M3- uso de outro tipo de silicato de sódio, proveniente de resíduo industrial, diluído a 17% em água, sem uso de sulfato de alumínio.

4.4.3.4- M4- idem ao anterior, com uso também do sulfato de alumínio.

## 4.5 Tipos de matriz

Compósitos madeira-cimento, a exemplo de outros materiais constituídos por duas “fases” distintas, refletem as características intrínsecas de seus constituintes primários, além de, evidentemente, evidenciar os problemas causados na região limítrofe- a interface. Para verificar-se o comportamento do material vegetal, foram adotados dois tipos de cimento: CP II-E-32 (NBR 11578) e CP V-ARI (NBR 5733). O primeiro apresenta maior disponibilidade na região de Campinas, enquanto que o segundo é amplamente utilizado na fabricação de pré-moldados.

## 4.6 Dosagem cimento-madeira

Na dosagem deve-se levar em conta as características físicas do material, tais como: massa específica aparente e teor de umidade. O local de amostragem do material, ao longo da altura da tora, também pode influenciar nos resultados. Devido à inadequação do uso do slump test e, mesmo, do flow table, procurou-se adotar o critério de buscar-se as massas de madeira e de água que, combinadas com uma quantidade fixa de cimento, proporcionassem a confecção de três corpos-de-prova (diâmetro 50 mm e altura de 100 mm), considerados repetições dos tratamentos. A massa de cimento adotada foi de 400 g, que correspondeu, no presente caso, a um consumo de 680 kg/m<sup>3</sup> de compósito.

### Determinação da massa de água

De acordo com recomendações de WEATHERWAX & TARKOW (1964), apresenta-se, na equação 1, a massa de água ( $m_h$ ) a ser utilizada, quando da realização de testes de hidratação da mistura madeira-cimento.

$$m_h = 0,25 m_c + 2,7 m_m \quad (1)$$

onde

$m_m$  = massa de madeira passante na peneira #200

$m_c$  = massa de cimento.

No entanto, na confecção dos compósitos, adotou-se material passante na peneira de abertura 2,38 mm. Por apresentarem menor superfície específica, do que a fração granulométrica utilizada no experimento precedente, após testes preliminares adotou-se a seguinte correção:

$$m_h = 0,25 m_c + 1,23 m_m \quad (2)$$

A partir do uso da expressão (2) e de quantidades pré-fixadas de cimento (400 g) e madeira (150 g) obteve-se o traço (em massa) de **1 : 0,375 : 0,71**.

#### **4.7 Fabricação dos corpos-de-prova**

Efetuuou-se, inicialmente, a mistura do cimento (CP II-E-32 ou CP V-ARI) e da madeira, em um recipiente plástico. Em seguida, acrescentou-se a água gradualmente. Misturou-se todo o conjunto com uma espátula, até se obter uma mistura homogênea.

#### **4.8 Cura e secagem dos corpos-de-prova**

Após 24 horas efetuava-se a desmoldagem dos corpos-de-prova. Durante 21 dias acompanhou-se a perda de massa devido à secagem dos corpos-de-prova.

#### **4.9 Ensaio de compressão dos corpos-de-prova**

No 21º dia, os corpos-de-prova eram capeados com pasta de enxofre e caulim, e rompidos em Máquina de Ensaio Universal AMSLER. O tempo de carregamento adotado foi de aproximadamente 4 minutos.

### **5. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Para efeito de análise estatística foram considerados dois fatores (cimento e tratamento). O primeiro fator dividiu-se em dois níveis (CP II e CP V); o segundo em dez níveis: tratamentos com material natural (N, NCC, NSA), com material lavado (L, LCC, LSA) e mineralizado (M1, M2, M3, M4). A análise de variância efetuada com o auxílio do programa SANEST (ZONTA & MACHADO) evidenciou a preponderante influência do tipo de cimento, seguido do tipo de tratamento adotado. A interação entres dois fatores também foi significativa.

Efeito do tipo de cimento: a média geral de resistência à compressão dos compósitos foi de 5,63 MPa; o coeficiente de variação foi de 3,63%. No entanto, cabe ressaltar que, no cômputo geral da média, as contribuições foram muito diferentes. Com efeito, na média dos dez níveis de tratamentos o cimento CP V ARI foi estatisticamente diferente e sempre superior ao CP II-E-32, ao nível de 0,05% de significância, pelo teste de Tukey. Enquanto que a média global para o CP V foi de 6,77 MPa, para o CP II-E-32 tal valor reduziu-se para 4,50 MPa.

Efeito do tipo de tratamento: na análise global dos tipos de tratamento efetuados (não se considerando o tipo de cimento adotado) as médias, comparadas pelo teste de Tukey (0,05% de significância), permitiram delimitar 5 categorias distintas: NCC (natural + cloreto de cálcio); NSA e M4; M2, LSA e Lavado; M1 e M3; LCC e Natural. O tratamento Lavado

situou-se na interface entre duas categorias. Sob o ponto de vista prático, visando uma aplicação industrial para o compósito madeira-cimento, os dois primeiros tratamentos (NCC e NSA) são os mais indicados, pois dispensam a etapa de lavagem das partículas vegetais. Cabe esclarecer, no entanto, que mesmo o tratamento Natural permitiu atingir 4,43 MPa em compressão, o que coloca o compósito em situação favorável face aos demais materiais de construção, tais como tijolos e blocos cerâmicos.

Interação entre os tipos de cimento e de tratamento: nas figuras 1 e 2 apresentam-se os resultados obtidos para, respectivamente, os cimentos CP II-E-32 e CP V-ARI. Para o cimento CP II-E-32 a etapa de lavagem não melhora o desempenho do compósito submetido à compressão (N=L). Provavelmente, a espécie vegetal em estudo não apresenta, em sua constituição química, substâncias que sejam nocivas à pega desse tipo de cimento. Por outro lado, de forma surpreendente o tratamento LSA foi o menos indicado. A hipótese mais provável é que tenha havido degradação biológica por fermentação ocorrida durante a secagem das partículas. Quanto ao cimento CP V-ARI, a etapa de lavagem permitiu aumentar em 36% a resistência do compósito, quando comparado com o tratamento Natural. Tal fato explica, provavelmente, por que o tratamento LSA tenha sido um dos dois melhores. Dentre os tipos de mineralização adotados o M4 foi superior e estatisticamente diferente dos demais. Embora a mineralização seja uma técnica que necessite mais tempo para a sua execução, não se deve desprezar, de acordo com as conclusões de FURUNO et al. (1991), o ganho significativo da madeira em resistência ao ataque de fungos e contra o fogo.

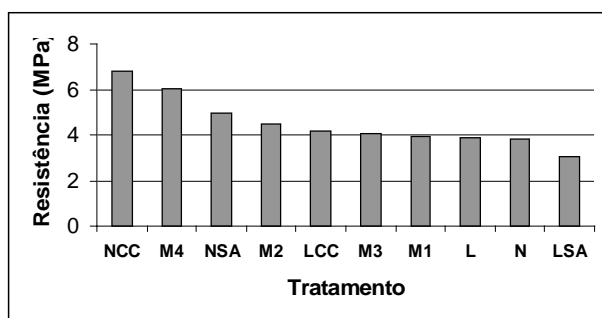


Figura 1- Compósito madeira- CP II-E-32

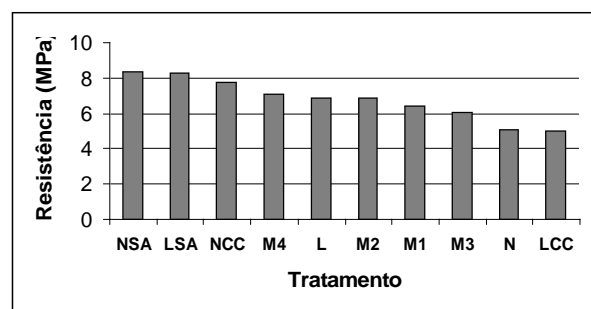


Figura 2- Compósito madeira- CP V-ARI

## 5 MÓDULO DE ELASTICIDADE PARA DOS TRATAMENTOS REALIZADOS

A seguir estão apresentados gráficos referentes aos valores médios obtidos para os dois tipos de cimento, correspondente ao módulo de elasticidade, para cada um dos tratamentos efetuados.

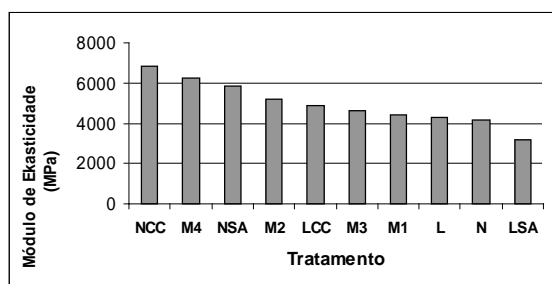


Figura 3- Compósito madeira- CP II-E-32

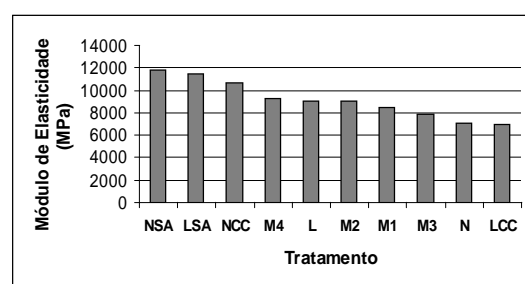


Figura 4- Compósito madeira- CP V-ARI

Como pode-se verificar no gráfico 3, no caso do CP II E-32 o maior Módulo de Elasticidade obtido foi para a madeira natural tratada com cloreto de cálcio, seguido pela madeira mineralizada no tratamento de número 4. Já no gráfico 4, no caso do CP V ARI o maior Módulo de Elasticidade obtido foi para a madeira natural tratada com sulfato de alumínio, seguido pela madeira lavada e tratada com sulfato de alumínio.

## 6 CONCLUSÕES

Baseado nos resultados obtidos e interpretados estatisticamente pôde-se concluir que:

- a madeira *Cunninghamia lanceolata* é compatível quimicamente com os dois tipos de cimento utilizados;
- houve diferença significativa quando do uso dos dois tipos de cimento para a fabricação dos compósitos. O cimento CP V-ARI sempre proporcionou compósitos cujos resultados foram mais elevados em teste de compressão, para todos os tipos de tratamentos utilizados;
- os melhores tratamentos para o cimento CP II-E-32 e CP V-ARI foram, respectivamente, NCC, NSA e M4; NSA, LSA e NCC. Por questão de disponibilidade de matéria-prima recomenda-se o uso do sulfato de alumínio como acelerador para esse compósito.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BIBLIS E.J. e LO C. Sugars and others wood extratives: Effect on the setting of southern-pine cement mixtures – Forest Products Journal 18 (8), p. 28-34 (1.968);
- FISCHER, F.; WIENHAUS, O.; RYSSEL, M., OLBRECHT, J. Die wasserlöslichen Kohlenhydrate des Holzes und ihr Einflub auf die Herstellung von Holzwolle-Leichtbauplatten – Holztechnologie 15 (1974) 1, p. 12-19.
- HACHMI, M.; CAMPBELL, A. G. Wood- Cement Chemical Relationships – International Conference of fiber and particleboard bonded with inorganic binder, Spokane – Idaho. 1.988 – p. 43-47.
- LEE. A.W.C.; PHILIPS D.R., HSE C.Y. Effect of cement/wood ratios and wood storage conditions on hydration temperature, hydration time, and compressive strength of wood-cement mixtures. – Wood and Fiber Science, 19 (3), (1.987), p.262-268.
- LEE A.W.C e HONG, Z. Compressive strength of cylindrical as an indicator of wood-cement compatibility - Forest Products Journal, 36 (11/12) – p. 87-90 - (1986)
- MILLER D.P., MOSLEMI A.A. Wood-cement composites: Effect of model compounds on hydration characteristics and tensile strength – Wood and Fiber Science, 23 (4), p. 477-482 - 1991.
- MOSLEMI A.A., GARCIA J.F., HOFSTRAND A.D. Effect of various treatments and additives on wood-portland cement-water system. – Wood and Fiber Science (1.983), p 164-76.
- MOSLEMI A.A., LIM Y.T. Compatibility of southern hardwoods with portland cement – Forest Products Journal – Vol. 34, nº 718, p. 22-26 (1.984)
- SANDERMANN, W., PREUSSER, H.J., SCWIENS, W. The effect of wood extratives on the setting of cement-bonded wood materials – Holzforschung (1.960) 14(3), p. 70-77.
- WEATHERWAX R.C., TARKOW H. Effect of wood on setting of Portland Cement – Forest Products Journal (1964) – 14 (12), p. 567-570.
- WEATHERWAX R.C. e TARKOW H. - Effect of wood on the setting of Portland Cement: decayed wood as an inhibitor - Forest Products Journal - (1967).