



**ENTAC2006**

A CONSTRUÇÃO DO FUTURO | XI Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído | 23 a 25 de agosto | Florianópolis/SC

## **CASA MODELO DE PLACAS CIMENTÍCIAS DE MADEIRA MINERALIZADA: SOLUÇÕES DE PROJETO E RESULTADOS EXPERIMENTAIS**

**Lúcio Flávio da Silveira Matos(1); Ademar Cordero(1); Ralf Klein (1); Clarisse Odebrecht(2); Sheila Elisa Scheidemantel Klein(3); Márcia Cristina Sardá(3)**

(1) Depto. Engenharia Civil – Universidade Regional de Blumenau/ FURB – Brasil  
e-mail: [lucius@furb.br](mailto:lucius@furb.br); [cordero@furb.br](mailto:cordero@furb.br); [klein@furb.br](mailto:klein@furb.br)

(2) Depto. Engenharia de Produção – Universidade Regional de Blumenau/ FURB – Brasil  
e-mail: [clarisse@furb.br](mailto:clarisse@furb.br)

(3) Depto. Arquitetura e Urbanismo – Universidade Regional de Blumenau – Brasil  
e-mail: [scheidemantel@furb.br](mailto:scheidemantel@furb.br); [marcia@furb.br](mailto:marcia@furb.br)

### **RESUMO**

As placas de madeira mineralizada - lã e/ou fibras de madeira tratada, gesso e água - foram patenteadas na Alemanha em 1880. Com o advento e predomínio do cimento Portland, as placas de fibras de madeira mineralizada passaram a ser fabricadas quase exclusivamente com este aglomerante hidráulico. O artigo pretende contribuir para que as placas cimentícias de fibras madeira ocupem um nicho próprio no mercado brasileiro de construção, principalmente, destinado à habitação social. Os grandes questionamentos que se colocam à adoção destas placas em paredes externas são: a metodologia de montagem de forma a suprimir o uso de pilaretes aparentes entre placas, a durabilidade das próprias placas para ciclos de molhagem e secagem e a existência de projetos padronizados e detalhados que permitam uma rápida execução com grande confiabilidade, quanto à adequação ao uso. São expostas soluções de projeto e experimentais já alcançadas no âmbito do programa HABITARE, convênio FINEP/FURB, que visam dar resposta satisfatória aos questionamentos levantados. Os resultados alcançados na atual fase do projeto de pesquisa são uma contribuição significativa para o domínio da tecnologia de execução de construções de baixo custo com placas cimentícias de madeira mineralizada.

Palavras-chave: placas cimentícias de madeira; construções de baixo custo.

### **ABSTRACT**

Mineralized wood boards - treated wood wool and/or fibers, gypsum and water - were patented in Germany in 1880. With the advent and prevalence of the Portland cement, mineralized wood fiber boards become being made preferably with this agglomerant. The paper aims to contribute to wood cement-bonded boards find their own niche in the Brazilian building construction market, mainly, for social dwelling purposes. The problems for the use of these boards in external siding are related to the assembly methodology, in way to suppress the use of salient pillars among panels, the durability of the own boards and the existence of standardized projects that allow a fast execution with great reliability, in terms of the quality in use. Design solutions and experimental results already reached are presented, in the extent of the program HABITARE, FINEP/FURB contract, which aim to answer the exposed problems. The results in the present phase of the research project are a significant contribution to the execution technology in low cost constructions with wood-cement panels.

Keywords: wood cement-bonded particleboards; low cost constructions.

## 1 INTRODUÇÃO

O imenso débito com os brasileiros carentes de moradia – um dos principais itens da dívida social brasileira - vem-se acumulando principalmente entre as famílias mais pobres, residentes em áreas urbanas e se apresenta com maior gravidade na região Nordeste, seguida das regiões Sudeste, Sul, Centro-Oeste e Norte. Famílias que ganham até três salários mínimos são as mais atingidas, correspondendo a 83,2% do déficit habitacional urbano. Estes e outros dados reveladores de um dos mais graves problemas do Brasil estão definidos no estudo “Déficit Habitacional no Brasil 2000”, realizado pela Fundação João Pinheiro (Informativo CEI, 2002).

As placas de madeira mineralizada são constituídas de fibras longas de madeira de boa qualidade, misturadas ao cimento Portland, são prensadas sob a forma de chapas, obtendo-se, assim, um novo material de construção com resistência e durabilidade satisfatórias. A tecnologia de fabricação dos painéis de fibra de madeira mineralizada foi patenteada na Alemanha em 1880, difundindo-se rapidamente na América e em países europeus antes e após a Segunda Guerra Mundial. Desde a década de 60 são fabricados no Brasil com a utilização de fibras, pinos resinosos mineralizados e envolvidos em cimento Portland (CLIMATEX, 2006).

Estas placas têm sido usadas muito no Brasil, em ambientes secos tal como forros de supermercados, igrejas, etc. onde têm apresentado bons desempenhos, térmico, acústico e de durabilidade de modo geral. Testes neste sentido foram realizados pelo IPT/SP, já na década de 90 (CLIMATEX, 2006). No entanto, a utilização destas placas em ambientes úmidos e em paredes de residências constitui um desafio a ser ultrapassado no Brasil, pois isso já ocorre em outros países. Por exemplo, nos Estados Unidos, os produtos de fibra de madeira mineralizada têm uma aceitabilidade crescente no mercado da construção civil, principalmente, com três finalidades: paredes internas e externas, forros e lambris (SOROUSHIAN et al., 2004). Segundo estes pesquisadores, a produção americana total de placas cimentícias era quase zero no início dos anos 1990 e aproximou-se de 120 milhões de metros quadrados em 2002, tomando por base uma espessura média de 8mm. Também, no Japão, registra-se um uso crescente de painéis compósitos de madeira-cimento na edificação, mesmo, em paredes exteriores (KUROKI et al., 1998).

A revisão bibliográfica que foi feita, com maior acuidade nas publicações internacionais sobre compósitos de madeira-cimento dos últimos dez anos, permite organizar os assuntos de pesquisa em seis (6) grandes tópicos: 1) compatibilidade entre cimento e espécies de madeira; 2) métodos de fabricação e propriedades exibidas pelos compósitos comuns; 3) técnicas especiais para acelerar a cura do cimento e melhorar as propriedades do compósito madeira-cimento; 4) inclusão de resíduos ou adições vegetais e não vegetais no compósito madeira-cimento; 5) durabilidade face às intempéries e os fungos; e 6) produtos para a construção civil. Os parágrafos abaixo desenvolvem alguns destes assuntos.

### 1.1 Compatibilidade entre espécies de madeira e cimento

Em termos gerais, se o processo químico da pega da pasta de cimento não é perturbado pela contato com as partículas de madeira diz-se que o cimento e a madeira são compatíveis; caso ocorra o contrário, eles são considerados incompatíveis (JORGE et al., 2004).

Um método analítico comumente utilizado para avaliar a compatibilidade de dada espécie de madeira com o cimento, uma vez que a pegado cimento é exotérmica, é medir o calor liberado na mistura madeira+pasta de cimento e compará-lo com o calor liberado na pasta do mesmo cimento, isoladamente. A relação é denominada de *fator*  $C_A$  (SEMPLE & EVANS, 1998). Têm sido sugeridas três classes de compatibilidade: “compatível” -  $C_A > 68\%$ ; “moderadamente compatível” -  $28\% < C_A < 68\%$ ; “não compatível” -  $C_A < 28\%$  (HACHMI & MOSLEMI, 1989). Outros métodos foram propostos para avaliar a compatibilidade de dada espécie de madeira com o cimento, baseados no grau de hidratação do cimento, em °C/h (SANDERMANN & KOHLER, 1964), na cinética térmica da pega do cimento (WEATHERWAX & TARKOW, 1964; HOFSTRAND et al., 1984), e na resistência mecânica à compressão (LEE & HONG, 1986) ou à flexão e tração (WEI et al., 2000).

As pesquisas têm detectado que a compatibilidade madeira-cimento tanto pode ser influenciada pelas

características da espécie de madeira utilizada no compósito como pelas propriedades do cimento. Assim, as partículas das madeiras de folhosas (*hardwood*) tendem a ser menos compatíveis com o cimento Portland do que as de coníferas (*softwood*) (MILLER & MOSLEMI, 1991). A alcalinidade do cimento também afeta a compatibilidade, pois os cimentos mais alcalinos tendem a formar interfaces com as partículas de madeira com menores resistências mecânicas (ROFFAEL & SATTLER, 1991).

O potencial de compatibilidade madeira-cimento pode ser melhorado com alguns procedimentos. Por exemplo, o tratamento preservativo com o produto CCA (cobre – cromo - arsênio) torna madeira de pinus mais compatível com o cimento, aumentando também a resistência mecânica do compósito (SCHMIDT et al., 1994). A adição de produtos químicos aceleradores da cura – SnCl<sub>2</sub>, FeCl<sub>3</sub>, AlCl<sub>3</sub>, CaCl<sub>2</sub> –, geralmente, favorecem a compatibilidade (ZHENG TIAN & MOSLEMI, 1985). O carvão ativado em conjunto com o cloreto de cálcio é um agente de compatibilização madeira-cimento (SAUVAT et al., 1999).

## **1.2 Fabricação e propriedades físicas do compósito madeira-cimento**

O processo mais comum e eficaz de fabricar um compósito madeira-cimento é misturar de forma bastante homogênea as partículas de madeira, o cimento e a água. Na produção de painéis, a mistura é prensada até ao tempo de fim de pega da pasta de cimento.

Uma previsão teórica das características produto final é quase impossível, pois elas são influenciadas por várias variáveis: espécie da madeira, propriedades físicas e químicas da madeira, tamanho e geometria das partículas, tipos de aditivos (e.g., aceleradores de pega), dosagem água:cimento:madeira, temperatura do ambiente (JORGE et al., 2004). As melhores proporções cimento:madeira para espécies tipo *Pinus* situam-se de 3/1 a 1.5/1 (LEE, 1985a; MOSLEMI & PFISTER, 1987). Quanto mais longas e finas forem as partículas, mais rígidos/estáveis dimensionalmente e densos resultarão os painéis (BADEJO, 1988). A transferência de água entre a pasta de cimento e as partículas de madeira pode ser reduzida pela pulverização das partículas com componentes orgânicos hidrofóbicos, como o polietilenoglicol ou o betume (MOUGEL et al., 1995). Os compósitos de madeira-cimento têm boa resistência ao fogo e bom isolamento térmico (LEE, 1985b).

## **1.3 Aceleração da cura do cimento e melhoramento das propriedades do compósito**

As técnicas convencionais de fabricação dos painéis requerem normalmente de 8h a 24h de prensagem, para que a hidratação do cimento seja suficiente e resulte um produto com boa resistência mecânica e coerência ou solidez. Então, deve-se seguir um tempo de cura mínimo de 28 dias, para permitir a completa cristalização ou formação de gel dos compostos hidratados do cimento e pleno desenvolvimento de resistência ou endurecimento do material compósito (JORGE et al., 2004).

Há certas técnicas que permitem abreviar o tempo de prensagem, até com incremento das características resistentes do produto final. Isto pode ser feito, por exemplo, pela intrusão distribuída de dióxido de carbono (BERGER et al., 1972), adição de carbonatos, como os de amônia, sódio e potássio (SIMATUPANG et al., 1995) ou de resina de isocianeto (EUSEBIO et al., 1993a, b). A intrusão de CO<sub>2</sub> pode reduzir o tempo de prensagem para 4½min (GEIMER et al., 1992) e os carbonatos para 15min (SIMATUPANG et al., 1995). A ação do dióxido de carbono é traduzida na carbonatação do hidróxido de cálcio que é liberado nas reações químicas de hidratação dos silicatos C<sub>3</sub>S e C<sub>2</sub>S do cimento Portland, o que também favorece o desenvolvimento de endurecimento e resistência.

## **1.4 Adições de resíduos e outras fibras**

Dependendo da dosagem, a incorporação de outras fibras inorgânicas descontínuas ao compósito madeira-cimento pode resultar em melhor desempenho do produto final, em termos de estabilidade dimensional e resistência mecânica; as adições mais usadas são fibras de vidro resistentes ao álcalis do cimento e lã mineral (WEI & TOMITA, 2001).

O uso de cinzas volantes no compósito madeira-cimento melhora a sua trabalhabilidade no estado fresco e a resistência e durabilidade em longo prazo, pois a sílica e a alumina da cinza volante reagem

com o hidróxido de cálcio que resulta como subproduto da hidratação do cimento Portland (MILLER et al., 1989).

Alguns pesquisadores (SOROUSHIAN et al., 2004) estudaram a adição de fibras de resíduos de cereais na massa do compósito de madeira-cimento, prensada sob intrusão de dióxido de carbono, e obtiveram resultados satisfatórios, quanto à resistência mecânica e durabilidade dos painéis.

### **1.5 Durabilidade dos compósitos madeira-cimento**

Na literatura específica concernente aos últimos dez anos são bem escassos os dados científicos de pesquisas sobre durabilidade de longo prazo de painéis compósitos de madeira-cimento; entre mais de setenta (70) publicações que foram levantadas sobre o tema tratado, apenas, quatro (4) abordam a problemática da durabilidade dos painéis cimentícios de madeira mineralizada. Portanto, é importante avançar nesta vertente que está longe de estar esgotada.

Nas pesquisas de GOODELL et al.(1997), alguns compósitos madeira-cimento produzidos comercialmente mostraram-se íntegros após longa exposição a culturas de fungos em blocos de solo úmido; apenas, as fibras das superfícies externas que não estavam completamente encapsuladas pela pasta de cimento. OKINO et al. (2004, 2005) realizaram testes de durabilidade similares e concluíram que os painéis de partículas de madeira mineralizadas com cimento Portland (CBWP ou CBPB) são “altamente resistentes” e “tecnicamente adequadas ao uso no exterior onde estão presentes simultaneamente a umidade e as condições favoráveis ao desenvolvimento de fungos”.

MacVICAR et al.(1999) submeteram amostras de compósitos comerciais de madeira-cimento a dois testes de envelhecimento: 1) ciclagem de imersão em água, carbonatação, e secagem em estufa; 2) ciclagem de imersão em água, secagem em estufa, e estágios de congelamento-degelo. Foi feita uma comparação com amostras alteradas naturalmente por exposição atmosférica ou meteorização em telhado. A pesquisa concluiu que tanto a ciclagem natural como as alterações aceleradas em laboratório conduziram às seguintes modificações dos espécimes de madeira mineralizada: redução da porosidade, redução da absorção de água, redução da permeabilidade ao nitrogênio da matriz cimentante, e aumento da durabilidade das fibras compósitas de madeira-cimento. Estas conclusões contrariam frontalmente muitas opiniões subjetivas preconceituosas, portanto, sem cientificidade, sobre este tipo de material.

As boas características de durabilidade dos compósitos de madeira-cimento, com adição de resíduos cerealíferos, também, foram comprovadas por ensaios de ciclagem água-estufa e de congelamento-degelo, por imersão em água quente (SOROUSHIAN et al., 2004).

## **2 OBJETIVO**

O objetivo deste artigo é apresentar os resultados parciais de uma pesquisa que vem sendo realizada com placas de partículas de madeira mineralizadas com cimento Portland, visando o melhoramento da sua aplicação em construções de baixo custo para habitação social.

## **3 MATERIAL E MÉTODOS**

### **3.1 Material**

As placas cimentícias analisadas são constituídas por fibras de coníferas, tipo *Pinus Eliota*, previamente tratadas em autoclave com o preservativo CCA, e obtidas por prensagem mecânica. São normalmente utilizados aditivos do tipo cloreto –  $\text{CaCl}_2$  – visando abreviar o tempo de pega da pasta de cimento e melhorar o desempenho do produto final. A cura dos painéis é feita por exposição ao tempo, havendo evidências objetivas que quanto maior é o rigor dessa exposição em termos de ciclos de umedecimento-secagem, mais sólidos e íntegros resultam os painéis.

O fabricante dos painéis já montou um protótipo de habitação popular, à Rua Tamoios nº. 96, Bairro Salto do Norte, Blumenau-SC (Figura 1), em que as placas de 1.00mx2.60mx0.05m foram solidarizadas por pilaretes pré-moldados de concreto que ficaram aparentes.

Assim, um dos primeiros desafios colocados à presente pesquisa foi a supressão dos pilaretes

estruturais, pela redução das suas dimensões à espessura dos painéis rebocados, de forma a não comprometer a estabilidade estrutural global da construção. Realce-se que esta necessidade resulta não só de conveniência puramente estética, mas também da necessidade de eliminar descontinuidades reentrantes na parede externa que podem se transformar em caminhos preferenciais para o escoamento das águas das chuvas, por isso, comprometedoras da indispensável estanqueidade. O segundo desafio colocado foi arranjar uma solução para a conexão de painéis ou partes destes em junta horizontal, no caso do fabricante, por conveniências econômicas relativas ao transporte, vir a optar pela produção de painéis de 2.00m, em vez dos 2.60m que têm sido produzidos.

Assim, ao final da pesquisa, será construído um novo protótipo FINEP/FURB, no campus da universidade, utilizando as placas cimentícias tanto nas paredes como no forro do protótipo, mas com superfícies aparentes lisas rebocadas, portanto, com o aspecto de uma construção convencional. Os pilares de junção das placas poderão ser de microconcreto armado ou alvenaria armada moldados in loco, ou em madeira ou aço pré-fabricados. A cobertura será de telhas cerâmicas sobre tesouras metálicas e ripas de madeira. As esquadrias estão previstas para serem de madeira, diferentemente do que apresenta o protótipo da Figura 1, onde são de ferro.



**Figura 1 – Protótipo de habitação popular existente, na Rua Tamoios nº. 96, Salto do Norte, Blumenau.**

### **3.2 Ensaios**

No âmbito da pesquisa a que concerne este artigo, foi decidido que os primeiros testes de comprovação das diversas possibilidades e materiais para execução da junta entre placas seriam de flexão e realizados com corpos-de-prova rebocados com a largura de 30cm e comprimento de 60cm, aproximadamente. Só um dos ensaios de flexão foi de carregamento de 3 pontos, sendo os restantes de 4 pontos.

A Figura 2 apresenta detalhes dos corpos que foram montados com diversas telas e técnicas de



fixação, antes da realização dos testes de flexão, para verificação da resistência da “emenda” entre placas. Assim, em 14 corpos-de-prova testados, a colagem e reforço das juntas foram feitos do seguinte modo: 8 com argamassa colante e armadura de tela metálica de diversos tipos, 2 com cola e tela plástica, 2 com cola plástica e tela metálica trançada de cerca, 2 sem cola na junta (junta seca) e armadura de tela de viveiro. Foram ensaiados mais 2 corpos-de-prova inteiros, i.e., sem junta, como padrão de referência.



**Figura 2 – Tela plástica com cola plástica (esq.); tela metálica com argamassa colante (dir.).**

Também, foram realizados ensaios de estanqueidade pelo método do cachimbo, em placas revestidas com 1cm de espessura por três argamassas industrializadas, após os 28 dias de cura do reboco.

A Figura 3 apresenta detalhes da realização dos ensaios de flexão e de estanqueidade realizados.



**Figura 3 – Ensaio de flexão (esq.); ensaio de estanqueidade (dir.).**

Foram testados por compressão uniaxial os corpos-de-prova cilíndricos de grout ou microconcreto a ser eventualmente usado nos pilares 5cmx5cm de junção das placas das paredes do protótipo habitacional, caso a opção venha a ser pela execução in loco destes pilaretes. Foram preparados 5 corpos-de-prova para cada um dos 4 traços, 2 de grout fino e 2 de grout grosso, elaborados de acordo com as diretrizes da norma ASTM C-476.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 Resistência à flexão de juntas de ligação

A tabela 1 resume os resultados e cálculos dos ensaios de flexão nos corpos-de-prova testados. Tendo em vista facilitar a análise, considerem-se as médias dos módulos de ruptura obtidos em ordem crescente e a proporção k de cada uma destas médias em relação ao módulo de ruptura médio dos corpos-de-prova inteiros, portanto sem junta colada, então, são obtidos os resultados resumidos na tabela 2.

**Tabela 1 - Parâmetros e resultados dos ensaios de flexão.**

CP	Tela	Cola	Dimensões (mm)			Tipo de ensaio	L * (mm)	P (N)	Local ruptura	$\sigma_f$ (MPa)
			comp	b	d					
1	plástica	plástica	610	300	78,0	3 pontos	590	1366	sob cutelo	0,66
2	plástica	plástica	610	300	73,5	4 pontos	590	3086	sob cutelo	1,12
3	sem tela	sem junta	610	300	71,5	4 pontos	590	3882	sob cutelo	1,49
4	sem tela	sem junta	610	300	70,0	3 pontos	590	2979	sob cutelo	1,79
5	cerca	plástica	610	300	74,0	4 pontos	590	2807	sob cutelo	1,01
6	cerca	plástica	610	300	79,0	4 pontos	590	2570	sob cutelo	0,81
7	viveiro	sem cola	610	300	74,0	4 pontos	590	2290	na junta	0,82
8	viveiro	sem cola	610	300	77,0	4 pontos	590	2355	na junta	0,78
9	viveiro	argamassa	610	300	74,5	4 pontos	590	3914	sob cutelo	1,39
10	viveiro	argamassa	610	300	74,5	4 pontos	590	3387	sob cutelo	1,20
11	peneira	argamassa	610	300	80,5	4 pontos	590	3667	sob cutelo	1,11
12	peneira	argamassa	610	300	65,0	4 pontos	590	3946	sob cutelo	1,84
13	quadrada	argamassa	600	300	81,0	4 pontos	580	2774	sob cutelo	0,82
14	quadrada	argamassa	610	300	79,0	4 pontos	590	5355	sob cutelo	1,69
15	cerca	argamassa	610	300	78,0	4 pontos	590	2989	sob cutelo	0,93
16	cerca	argamassa	610	300	81,0	4 pontos	590	3903	sob cutelo	1,17

**Notas:** \* O vão L é dividido em intervalos iguais entre cutelos, i.e., 2 no ensaio de 3 pontos e 3 no ensaio de 4 pontos.

**Tabela 2- Módulos de ruptura médios.**

CP	Tela	Cola	$\sigma_f$ (MPa)	$K = \frac{\sigma_f \text{ com junta}}{\sigma_f \text{ sem junta}}$
7	viveiro	sem cola	0,80	0,49
8				
1	plástica	cola	0,89	0,54
2		plástica		
5	cerca	cola	0,91	0,55
6	trançada	plástica		
15	cerca	argamassa	1,05	0,64
16	trançada	colante		
13	malha	argamassa	1,26	0,77
14	quadrada	colante		
9	viveiro	argamassa	1,30	0,79
10		colante		
11	peneira	argamassa	1,48	0,90
12		colante		
3	sem tela	sem junta	1,64	1,00
4				

Um rápido exame dos resultados permite as seguintes conclusões: 1) o uso de cola plástica na junta leva a um acréscimo insignificante da resistência à flexão pois conduziu a uma média de 55% da resistência de referência, mesmo usando reforço de tela metálica trançada de cerca, o que é pouco mais do que os 49% alcançados com a junta sem cola e com o mesmo tipo de reforço, i.e., tela metálica; já a colocação de argamassa colante na junta com o reforço de tela metálica trançada de cerca conduziu a

uma resistência de 64% do padrão de referência, concernente à placa inteira e sem junta; 2) a tela metálica de peneira permitiu atingir nos corpos-de-prova com junta tratada com argamassa colante uma resistência média igual a 90% da resistência média das placas sem junta, o que nos permite inferir que esta é a melhor solução para a emenda das placas cimentícias. Igualmente, a tela metálica de viveiro, com argamassa colante na junta, também tem um bom desempenho permitindo alcançar uma resistência média de 79% da concernente aos corpos-de-prova inteiros.

## 4.2 Testes de estanqueidade

Os testes de estanqueidade apresentaram bons resultados, não tendo havido manchas de umidade do lado oposto da parede em 8 horas, e com as infiltrações máximas de 1,5ml/8h (Gráfico 1).

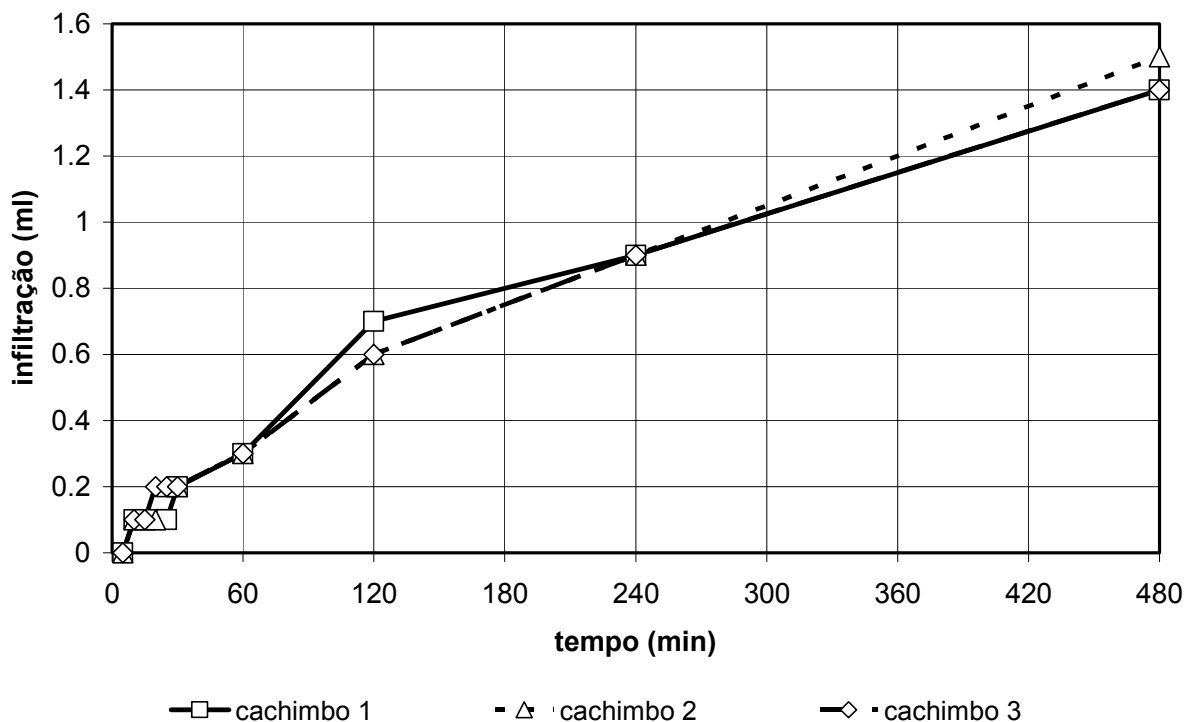


Gráfico 1 – Representação de resultados do ensaio de estanqueidade pelo método do cachimbo.

## 4.3 Traço e resistência à compressão do grout

A Tabela 3 fornece os traços testados para o grout de concretagem dos pilares estruturais de união entre as placas.

Tabela 3 - Traços do grout testado por resistência à compressão uniaxial.

Tipo	Cimento Portland CP IV-32	Cal Hidráulica		Agregados		Água
		mínimo	máximo	fino	grosso	
Grout fino	1,00	0	-	2,5	-	0,60
		-	0,1	2,5	-	0,60
Grout grosso	1,00	0	-	2,5	1,5	0,60
		-	0,1	2,5	1,5	0,60

Os corpos-de-prova rompidos aos 7 dias por compressão uniaxial revelaram as resistências à compressão expressas na Tabela 4. A análise dos resultados da resistência à compressão dos diversos traços de grout evidencia as seguintes conclusões:

- 1 Na concretagem dos pilares estruturais das placas cimentícias das paredes deve ser utilizado preferencialmente um grout fino com cal com o traço 1:0,1:2,5:0,6 (cimento:cal hidráulica:areia de mistura:água), com a adoção do cimento Portland pozolânico (CP IV);



- 2 O uso de cal não só melhora a trabalhabilidade e plasticidade do grout fresco, mas também contribui para a sua maior resistência mecânica no estado endurecido já nas primeiras idades, quando é utilizado um cimento pozolânico (tipo CP IV), certamente, pela manifestação do poder aglomerante das pozolanas na presença do hidróxido de cálcio –  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ;
- 3 O uso de cimento Portland pozolânico – tipo CP IV– também, é sabidamente responsável por uma maior impermeabilidade dos concretos e argamassas em que é usado, contribuindo decisivamente para um aumento da durabilidade e da resistência nas maiores idades, do que se fosse utilizado um cimento Portland comum – tipo CP I – da mesma classe de resistência.

**Tabela 4 - Resultados da resistência à compressão simples dos corpos-de-prova de grout.**

CP	Data da moldagem	Data da ruptura	Traço	Resistência aos 7 dias (MPa)	Resistência média aos 7 dias (MPa)
1	03/11	10/11	Grout fino (c/ areia) sem cal	16,1	16,3
2	03/11	10/11		17,3	
3	03/11	10/11		16,5	
4	03/11	10/11		15,6	
5	03/11	10/11		16,0	
6	03/11	10/11	Grout fino (c/areia) com cal	17,8	17,9
7	03/11	10/11		17,8	
8	03/11	10/11		17,4	
9	03/11	10/11		18,1	
10	03/11	10/11		18,9	
11	03/11	10/11	17,4		
12	04/11	11/11	Grout grosso (c/ areia+brita 0) sem cal	15,8	15,8
13	04/11	11/11		15,6	
14	04/11	11/11		15,7	
15	04/11	11/11		16,3	
16	04/11	11/11		16,0	
17	04/11	11/11	15,2		
18	04/11	11/11	Grout grosso (c/ areia+brita 0) com cal	16,4	15,5
19	04/11	11/11		16,4	
20	04/11	11/11		15,4	
21	04/11	11/11		15,1	
22	04/11	11/11		16,1	
23	04/11	11/11	13,8		

## 5 CONCLUSÕES

Uma rápida análise dos resultados já alcançados na primeira parte da pesquisa permite tirar as conclusões resumidas nos parágrafos que se seguem.

O uso de cola plástica na junta leva a um acréscimo insignificante da resistência à flexão, pois conduziu a uma média de 55% da resistência de referência, mesmo usando reforço de tela metálica trançada de cerca, o que é pouco mais do que os 49% alcançados com a junta sem cola e com o mesmo tipo de reforço, i.e., tela metálica; já a colocação de argamassa colante na junta com o reforço de tela metálica trançada de cerca conduziu a uma resistência de 64% do padrão de referência, concernente à placa inteira e sem junta.

A tela metálica de peneira permitiu atingir nos corpos-de-prova com junta tratada com argamassa colante uma resistência média igual a 90% da resistência média das placas sem junta, o que nos permite inferir que esta é a melhor solução para a emenda das placas cimentícias. Também, a tela metálica de viveiro, com argamassa colante na junta, também tem um bom desempenho permitindo alcançar uma resistência média de 79% da concernente aos corpos-de-prova inteiros.

A estanqueidade das placas cimentícias rebocadas, testadas pelo método do cachimbo, apresentou resultados excelentes, com infiltrações inferiores a 1,5ml em 8 horas.

Além da realização de ensaios de durabilidade e mecânicos em painéis montados no laboratório, as pesquisas devem prosseguir com novas alternativas de sistemas construtivos, com pilaretes pré-fabricados de aço e madeira, com paredes externas duplas utilizando placas cimentícias de 3cm de espessura, em vez de 5cm. Também, atendendo a que a umidade proveniente por capilaridade a partir do subsolo é o fator extrínseco mais desfavorável ao uso de placas de partículas de madeira mineralizadas com cimento Portland, deve ser considerada a hipótese de fundação sobre plataforma elevada. Esta plataforma pode ser com vigas de aço, concreto ou madeira; o piso pode ser de assoalho de madeira ou laje de concreto de vigotes pré-moldados, conforme, as possibilidades mais compatíveis com as vigas adotadas.

## 6 REFERÊNCIAS

BADEJO, S.O.O. Effect of flake geometry on properties of cement-bonded particleboard from mixed tropical hardwoods. **Wood science technology**, 22:357-370, 1988.

BERGER, R.L.; YOUNG, J.F.; LEUN, K. Acceleration of hydration of calcium silicates by carbon dioxide treatment. **Nature physical science**, 240(97): 16-18, 1972.

CLIMATEX, 2006. [www.climatexforros.com.br/principal.htm](http://www.climatexforros.com.br/principal.htm) (visitado em 18/03/2006)

EUSEBIO, D.A.; IMAMURA, Y.; KAWAI, S.; SASAKI, H. Isocyanate-inorganic bonded composites I – tensile strength and scanning electron microscope observations of isocyanate-cement mixtures. **Mokuzai gakkaiishi**, 39(1): 31-39, 1993a.

EUSEBIO, D.A.; IMAMURA, Y.; KAWAI, S.; SASAKI, H. Isocyanate-inorganic bonded composites II – shortening the pressing time of cement bonded particleboard. **Mokuzai gakkaiishi**, 39(11): 1267-1275, 1993b.

GEIMER, R.L.; SOUZA, M.R.; MOSLEMI, A.A.; SIMATUPANG, M.H. Carbon dioxide application for rapid curing of cement particleboard. In: **INORGANIC BONDED WOOD AND FIRE MATERIALS SYMPOSIUM**, 1992, Univ. Idaho. **Proceedings...** Idaho, USA: 1992. p.247-260.

GOODELL, B.; DANIEL, G.; LIU, J.; MOTT; FRANK, R. Decay resistance and microscopic analysis of wood-cement composites. **Forest production journal**, 47(11/12): 75-80, 1997.

HACHMI, M.; MOSLEMI, A.A. Correlation between wood-cement compatibility and wood extractives. **Forest production journal**, 39(6): 55-58, 1989.

HOFSTRAND, A.D.; MOSLEMI, A.A.; GARCIA, J.F. Curing characteristics of wood particles from nine northern Rocky Mountain species mixed with Portland cement. **Forest production journal**, 34(2): 57-61, 1984.

Informativo CEI. **Déficit Habitacional no Brasil 2000**. Demografia. Fundação João Pinheiro - Governo de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, junho de 2002.

JORGE, F.C.; PEREIRA, C.; FERREIRA, J.M.F. Wood-cement composites: a review. **Holz rohwerkst**, 62: 370-377, 2004.

KUROKI, Y.; NAGADOMI, W.; KANEKO, S.; TACHI, M.; KAWAI, S.; SASAKI, H. Transition of markets for cement exterior sidings and development of new technology in Japan. In: MOSLEMI, A. (Ed.). **Inorganic-bonded wood and fiber composite materials**. Vol. 6, 1998. p. 61-98.

LEE, A.W.C. Effect of cement/wood ration on bending properties of cement-bonded southern pine excelsior board. **Wood fibre science**, 17(3): 361-364, 1985a.

LEE, A.W.C. Bending and thermal insulation properties of cement-bonded cypress excelsior board. **Forest production journal**, 25(11/12): 57-58, 1985b

- LEE, A.W.C.; HONG, Z. Compressive strength of cylindrical samples as an indicator of wood-cement compatibility. **Forest production journal**, 36(11/12): 87-90, 1986.
- MacVICAR, R.; MATUANA, L.M.; BALATINECZ, J.J. Aging mechanisms in cellulose fibre reinforced cement composites. **Cement & concrete composites**, 21: 189-196, 1999.
- MILLER, D.P.; MOSLEMI, A.A.; SHORT, P.H. The use of fly ash in wood-cement composites. **Forest production journal**, 39(9): 34-38, 1989.
- MILLER, D.P.; MOSLEMI, A.A. Wood-cement composites: species and heartwood-sapwood effects on hydration and tensile strength. **Forest production journal**, 41(3): 9-14, 1991.
- MOSLEMI, A.A.; PFISTER, S.C. The influence of cement/wood ratio and cement type on bending strength and dimensional stability of wood-cement panels. **Wood fibre science**, 19(2): 165-175, 1987.
- MOUGEL, E.; BERALDO, A.L.; ZOULALIAN, A. Controlled dimensional variations of a wood-cement composite. **Holzforschung**, 49(5): 471-477, 1995.
- OKINO, E.Y.A.; SOUZA, M.R.; SANTANA, M.A.E.; ALVES, M.V.S.; SOUSA, M.E.; TEIXEIRA, D.E. Cement-bonded wood particleboard with a mixture of eucalypt and rubberwood. **Cement & concrete composites**, 26: 729-734, 2004.
- OKINO, E.Y.A.; SOUZA, M.R.; SANTANA, M.A.E.; ALVES, M.V.S.; SOUSA, M.E.; TEIXEIRA, D.E. Physico-mechanical properties and decay resistance of cupressus spp. Cement-bonded particleboards. **Cement & concrete composites**, 27: 333-338, 2005.
- ROFFAEL, E.; SATTLER, H. Studies on the interaction between lignocellulosics (straw pulps) and cement. **Holzforschung**, 45(6): 445-454, 1991
- SANDERMANN, W.; KOHLER, R. Studies on mineral-bonded wood materials, IV – a short test of the aptitudes of woods for cement-bonded materials. **Holzforschung**, 18: 53-59, 1964.
- SAUVAT, N.; SELL, R.; MOUGEL, E.; ZOULALIAN, A. A study of ordinary Portland cement hydration with wood by isothermal calorimetry. **Holzforschung**, 53(1): 104-108, 1999.
- SCHMIDT, R.; MARSH, R.; BALATINECZ, J.J.; COOPER, A.A. Increased wood-cement compatibility of chromated-treated wood. **Forest production journal**, 44(7/8): 44-46, 1994.
- SEMPLE, K.E.; EVANS, P.D. Compatibility of some Australian acacias with Portland cement. **Holz roh werkst**, 56: 24, 1998.
- SIMATUPANG, M.H.; HABIGHORST, C.; LANGE, H.; NEUBAUER, A. Investigations on the influence of the addition of carbon dioxide on the production and properties of rapidly set wood-cement composites. **Cement & concrete composites**, 17: 187-197, 1995
- SOROUSHIAN, P.; AOUADI, F.; CHOWDHURY, H.; NOSSONI, A.; SARWAR, G. Cement-bonded straw board subjected to accelerated processing. **Cement & concrete composites**, 26: 797-802, 2004.
- WEATHERWAX, R.C.; TARKOW, H. Effect of wood on setting of Portland cement. **Forest production journal**, 14: 567-570, 1964.
- WEI, Y.M.; ZHOU, Y.G.; TOMITA, B. Hydration behavior of wood cement-based composite I: evaluation of wood species effects on compatibility and strength with ordinary Portland cement. **Journal of wood science**, 46:296-302, 2000.
- WEI, Y.M.; TOMITA, B. Effects of five additive materials on mechanical and dimensional properties of wood cement-bonded boards. **Journal of wood science**, 47:437-444, 2001
- ZHENGtian, L.; MOSLEMI, A.A. Influence of chemical additives on the hydration characteristics of western larch wood-cement-water mixtures. **Forest production journal**, 35(7/8): 37-43, 1985.

## 7 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FINEP – Financiadora de Estudos e Projetos, à FURB - Universidade Regional de Blumenau, ao Instituto Gene Blumenau, à MOVIMAX Indústria Comércio e Representações Ltda., à ZWINGEL & DEON Indústria e Comércio Ltda. e à STAHLTEK Engenharia Ltda. pelo apoio que têm dado aos trabalhos de pesquisa que viabilizaram a apresentação deste artigo.