Claudio de Souza Kazmierczak é engenheiro civil pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS. Obteve os títulos de mestre em Engenharia Civil (na área de Construção) pela UFRGS, em 1990, e de doutor em Engenharia Civil pela Universidade de São Paulo, USP, em 1995. É professor titular da Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS, onde coordena o Laboratório de Materiais de Construção Civil. Atua nas áreas de Materiais e Componentes de Construção. Tem diversos artigos publicados em periódicos nacionais e em congressos nacionais e internacionais na área de Engenharia Civil.

E-mail: claudio@euler.unisinos.br

Andrea Parisi Kern é engenheira civil pela Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS (1995). Mestre em Engenharia Civil, na área de Construção, pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS (1999). Atualmente é doutoranda no Curso de Engenharia Civil da UFRGS. É professora do curso de graduação em Engenharia Civil da UNISINOS. Atua nas seguintes áreas: Materiais e Componentes de Construção, Avaliação de Imóveis, Gerenciamento e Economia das Construções, e Processos Construtivos. E-mail: apkern@euler.unisinos.br

Ivana Suely Soares dos Santos é engenheira civil pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN (1978). Mestre (1984) e doutora (1987) em Engenharia Civil pela Universidade de São Paulo - USP. É professora da Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS, desde 1992. Atua na área de materiais e componentes para construção civil, com ênfase em materiais cerâmicos e resíduos.

E-mail: ivana@euler.unisinos.br.

Marcus Vinícius Veleda Ramires é engenheiro civil pela Universidade Católica de Pelotas - UCPEL (1985). Mestre em Engenharia Civil, na área de Construção, pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul- UFRGS (1993). Doutor em Engenharia, na área de Ciência dos Materiais pela UFRGS (1997). Foi professor da Universidade Luterana do Brasil – ULBRA e atualmente é professor da Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS. Atuas nas áreas de Materiais Cerâmicos, e Materiais e Componentes de Construção.

E-mail: marcus@euler.unisinos.br

Heitor da Costa Silva é arquiteto pela Universidade do Vale do Rio dos Sinos, 1982. Obteve os títulos de Especialista em Arquitetura Habitacional (PROPAR-UFRGS, 1986) e Doutor em Arquitetura, pela Architectural Association, School of Architecture, em Londres, em 1994. Atuou como professor e pesquisador na Universidade do Vale do Rio dos Sinos, entre 1996 e 2002. Atualmente é professor do Departamento de Arquitetura e do Programa de Pesquisa e Pós-graduação em Arquitetura, no Curso de Arquitetura da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. E-mail: heitor@portoweb.com.br

Resíduos de contrafortes termoplásticos provenientes da indústria coureiro-calçadista

Claudio de Souza Kazmierczak, Andrea Parisi Kern, Ivana Suely Soares dos Santos, Marcus Vinícius Veleda Ramires e Heitor da Costa Silva

Sobre o resíduo

O processo de geração do resíduo

este trabalho é apresentada uma tecnologia para a reciclagem de resíduos de contrafortes termoplásticos laminados e impregnados, gerados pela indústria coureiro-calçadista, em compósitos com matriz de gesso reforçada com partículas de contraforte moído.

O contraforte é um componente à base de polímeros utilizado na região do calcanhar do calçado, com a finalidade de armar, reforçar, dar forma, beleza e segurança, e buscar a perfeita reprodução da forma do sapato (LUZ, 1987). Os contrafortes termoplásticos são fabricados a partir de uma manta de tecido ou não-tecido, fornecida em rolos de um metro de largura, que é impregnada por resinas e recebe uma camada de adesivo *hot melt* em sua superfície. O material resultante é cortado em placas de 1,00 m de largura por 1,20 m de comprimento e possui gramatura variável, atendendo às necessidades dos vários tipos de calçados.

O resíduo é gerado durante a operação de corte das placas com as navalhas. Como estas têm formato irregular, não é possível aproveitar a totalidade da placa,

gerando-se um resíduo entre um corte e outro denominado "esqueleto". Esse material não é reaproveitado no processo, o que representa uma perda de mais de 20% da área inicial das placas e torna-se um resíduo sólido para a indústria.

Nas Figuras 1 a 6 pode-se visualizar o processo de fabricação das peças de contraforte e a conseqüente geração de resíduos.



Figura 1 – Placa de contraforte termoplástico impregnado

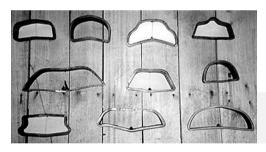


Figura 2 – Navalhas para corte das peças de contraforte



Figura 3 – Operação de corte das peças de contraforte em balancim manual

126

Caracterização do resíduo

Os contrafortes podem ser confeccionados a partir de vários materiais, tendo sido os contrafortes de ativação térmica (termoplásticos) os preferidos em todo o mundo (NIEWOHNER et al., 1991). Os contrafortes termoplásticos são classificados em dois grupos, em função do tipo de material de estruturação: impregnados (não-tecidos), produzidos em todas as empresas pesquisadas no âmbito do projeto, e laminados (tecidos), produzidos por poucas empresas, mas com crescente penetração no mercado.



Figura 4 – Vista em detalhe das peças de contrafortes

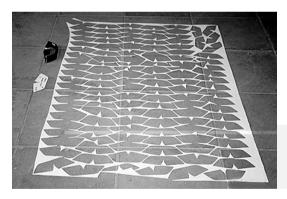


Figura 5 – Resíduo das placas de contraforte gerado na operação de corte das peças



Figura 6 – Destino: aterro de resíduos industriais localizado na Região do Vale dos Sinos, Rio Grande do Sul, Brasil

No Brasil, a manta não tecida que estrutura os contrafortes impregnados é 100% poliéster, de filamentos contínuos e de baixa densidade. A coesão interna é obtida por processo mecânico (agulhagem), ou químico, por meio da adição de resinas. A matéria de base é um tereftalato de poliéster obtido por policondensação de derivados do petróleo. O principal fornecedor é a empresa Bidim, que o fornece pela denominação Bidim IR. Utiliza-se como impregnante o Látex SBR (resina de estirenobutadieno), e como *hot-melt* (adesivo que é aplicado na superfície do contraforte) o etil-acetato de vinila (EVA) com taquificante (em geral, polietileno).

Segundo Scherer (1994), a manta tecida (utilizada em contrafortes laminados) é composta de fios obtidos a partir de fibras torcidas naturais, sintéticas ou mistas, dispostos de maneira a se obter um entrelaçamento entre os fios, formando uma base de armação. Os fios são processados em máquinas conhecidas como teares. Recebem, posteriormente, tratamento com as finalidades de tingimento e impregnação. No Brasil, o uso desse tipo de material é recente, sendo utilizado por poucas empresas. Devido ao uso restrito, a composição da manta tecida é considerada "segredo industrial". Seu uso, entretanto, vem aumentando significativamente e estima-se que venha a dominar o mercado.

Segundo o CTCCA (1994), como resinas de impregnação dos contrafortes termoplásticos, pode-se usar uma grande variedade de substâncias. As fórmulas de impregnação fazem parte do *know-how* dos fabricantes e não são reveladas. Entre as resinas utilizadas, podemos citar as acrílicas, elastômeros lineares, poliestireno (modificado por solvente), nitrocelulose, poliuretano e poliamidas.

Caracterização química e microestrutura

A caracterização química dos resíduos de contrafortes utilizados na pesquisa foi baseada nas normas técnicas NBR 10004 - Resíduos sólidos, NBR 10005 - Lixiviação de resíduos, e NBR 10006 - Solubilização de resíduos, e resultou na classificação dos resíduos de contraforte como pertencentes à Classe II - Resíduos não inertes, que, segundo a NBR 10004, "podem ter propriedades tais como: combustibilidade, biodegrabilidade ou solubilidade em água".

Os resultados obtidos e os teores máximos permitidos pelas normas para cada elemento determinado são apresentados na Tabela 1.

		LIXIVIAÇÃO		S	OLUBILIZAÇÃ	0
Parâmetro	Máximo Permitido mg/l	CTL mg/l	CTI mg/l	Máximo Permitido mg/l	CTL mg/l	CTI mg/l
Arsênio (As)	5,00	0,0102	0,0098	0,05	0,0128	0,0104
Alumínio (Al)	-	-	-	0,20	0,1730	0,0398
Bário (Ba)	100,00	0,0076	0,0147	1,00	0,0193	Nd
Cádmio (Cd)	0,50	0,0001	-	0,005	0,0003	-
Chumbo (Pb)	5,00	0,0019	0,0054	0,05	0,0064	0,0085
Cianeto	-	-	-	0,10	Nd	Nd
Cloreto	-	-	-	250,00	2,4800	16,2000
Cobre (Cu)	-	-	-	1,00	0,0027	0,0045
Cromo (Cr)	5,00	0,0008	0,0007	0,05	0,0006	0,0016
Dureza	-	-	-	500,00	22,7000	74,700
Fenol	-	-	-	0,001	0,1300	0,3800
Ferro (Fe)	-	-	-	0,30	0,0674	0,0668
Fluoreto	150,00	0,4800	0,1300	1,50	Nd	Nd
Manganês	-	-	-	0,10	0,0255	0,0190
Mercúrio (Hg)	0,10	Nd	0,0001	0,001	Nd	0,0002
Nitratos	-	-	-	10,00	Nd	0,5000
Prata (Ag)	5,00	Nd	Nd	-	Nd	Nd
Selênio (Se)	1,00	0,0021	0,0016	-	0,0027	0,0010
Sódio (Na)	-	-	-	200,00	66,0000	248,0000
Sulfato	-	-	-	400,00	7,1400	144,8000
Surfactantes	-	-	-	0,20	4,1000	6,9000
Zinco (Zn)	-	-	-	5,00	4,2000	0,0410

CTL - contraforte termoplástico laminado CTI - contraforte termoplástico impregnado

Nd - não detectado

Tabela 1 - Resultados dos ensaio de lixiviação e solubilização

Pode-se constatar que os teores de elementos lixiviados e/ou solubilizados nas amostras de resíduos de contrafortes estão, em geral, abaixo dos limites especificados por norma. Os elementos que se encontram em quantidade superior à permitida são o fenol, sódio (Na) e surfactantes (detergentes), que se caracterizam por não serem biodegradáveis. A presença desses elementos nas quantidades encontradas, entretanto, não torna os resíduos de contrafortes tóxicos ou impróprios para uso em algum material de construção civil.

A microestrutura dos resíduos foi analisada com auxílio de microscópio eletrônico de varredura (MEV) com imagens de elétrons secundários. Procurou-se analisar o material antes e após a moagem em moinho de facas, verificando se o processo de moagem modifica as características da estrutura do material. Foram preparados quatro tipos de amostras para análise:

- amostra de placa de contraforte termoplástico impregnado (CTI), Figura 7;
- amostra de placa de contraforte termoplástico laminado (CTL), Figura 8;
- amostra de resíduo de contraforte termoplástico impregnado moído, Figura 9; e
- amostra de resíduo de contraforte termoplástico laminado moído, Figura 10.

A Figura 7 permite observar a microestrutura da placa de contraforte termoplástico impregnado, que é formada por uma manta não tecida com fibras dispostas de forma aleatória, impregnada em resinas sintéticas. Observa-se que na superfície de análise é possível identificar algumas fibras sem orientação, embebidas na resina, que forma uma película contínua.

A imagem da Figura 8 mostra a microestrutura do contraforte termoplástico laminado. Vê-se nitidamente a estrutura deste material, que é um tecido laminado por resina. O desenho padrão do tecido é facilmente identificado, formado por fios (obtidos por fibras torcidas) entrelaçados entre si. Nesse caso, a resina de laminação está, na maior parte, no espaço entre o entrelaçamento dos fios.

As Figuras 9 e 10 mostram a estrutura dos materiais após a moagem, realizada em moinho de facas, visando a adicioná-los posteriormente na matriz de gesso. Em ambos os casos, fica evidenciado que a estrutura é alterada em decorrência da moagem sofrida.

O contraforte termoplástico impregnado moído, mostrado na Figura 9, apresenta grande exposição de fibras desorientadas devido à "quebra" da resina de impregnação, que deixa de formar uma película contínua, descaracterizando totalmente a estrutura original do material da placa visualizada na Figura 7. A moagem do contraforte termoplástico laminado (Figura 10) também provoca alteração na es-

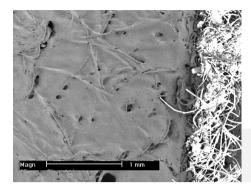


Figura 7 – Contraforte termoplástico impregnado. Aumento de 35x em MEV

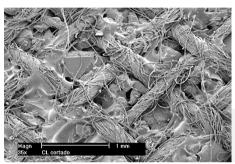


Figura 8 – Contraforte termoplástico laminado. Aumento de 35x em MEV

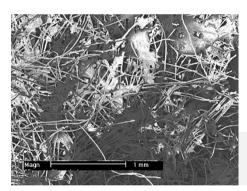


Figura 9 – Contraforte termoplástico impregnado moído. Aumento de 35x em MEV

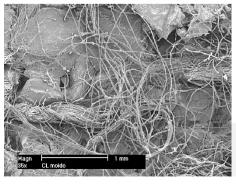


Figura 10 – Contraforte termoplástico laminado moído. Aumento de 35x em MEV

trutura do material, percebendo-se desorientação das fibras que formam os fios do tecido. No entanto, a alteração da estrutura desse material parece ser menor, pois ainda é possível identificar, numa parte da amostra, a orientação dos fios do tecido.

A análise microscópica dos materiais permite constatar a diferença de estrutura dos dois tipos de contraforte entre si, seja antes ou após a moagem, levando à expectativa de distinto comportamento dos compósitos com adição de resíduo de contraforte termoplástico impregnado com relação aos compósitos com adição de resíduos de contraforte termoplástico laminado.

Resistência a tração

Os ensaios de caracterização da resistência à tração dos contrafortes foram baseados na norma DIN 53328, uma vez que não existe norma brasileira. No ensaio, os corpos-de-prova são submetidos a esforço de tração, até a ruptura. A deformação no centro da área do corpo de prova é controlada mediante determinação da espessura. O ensaio foi realizado em três sentidos de carregamento: vertical, horizontal e oblíquo, nos contrafortes termoplásticos laminados; e vertical e horizontal nos contrafortes impregnados, conforme indicado na Figura 11.

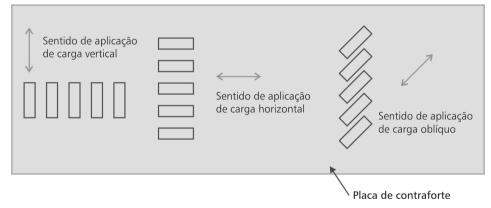


Figura 11 – Sentido de corte dos corpos de prova nas placas de contrafortes para a realização do ensaio de resistência à tracão

As Tabelas 2 e 3 demonstram os resultados de resistência à tração e o alongamento na ruptura obtidos.

Os resultados mostram que os contrafortes dos tipos laminado e impregnado apresentam comportamento distinto quando submetidos ao ensaio de resistência à tração.

	Sentido vertical		Sentido horizontal		Sentido oblíquo	
СР	Alongamento na ruptura (%)	Limite de resistência à tração (N/mm²)	Alongamento na ruptura (%)	Limite de resistência à tração (N/mm²)	Alongamento na ruptura (%)	Limite de resistência à tração (N/mm²)
1	20	25,3	14	22,7	11	8,8
2	20	22,8	13	23,1	14	9,7
3	21	23,9	13	23,1	15	9,3
4	20	23,8	15	25,2	15	9,7
5	20	24,4	15	23,0	14	9,1
Média	20	24,0	14	23,4	14	9,3
CV	0,022	0,038	0,071	0,01	0,120	0,042

CV = coeficiente de variação

Tabela 2 – Resistência à tração e alongamento do contraforte termoplástico laminado

	Sentido v	ertical	Sentido ho	orizontal
СР	Alongamento na ruptura (%)	Limite de resistência à tração (N/mm²)	Alongamento na ruptura (%)	Limite de resistência à tração (N/mm²)
1	28	9,1	31	14,6
2	29	10,2	30	14,9
3	28	10,6	30	15,7
4	27	9,1	27	14,8
5	28	10,1	29	14,6
Média	28	9,8	29	14,9
CV	0,025	0,070	0,052	0,030

CV = coeficiente de variação

Tabela 3 – Resistência à tração e alongamento do contraforte termoplástico impregnado

Observa-se que o contraforte termoplástico laminado apresenta tensões de ruptura semelhantes quando a carga é aplicada nas direções vertical e horizontal, enquanto, na aplicação de carga no sentido oblíquo, as tensões de ruptura se apresentam inferiores, cerca de 60% menores. Apresenta maior alongamento no sentido vertical, e menor alongamento nos demais sentidos. O comportamento pode ser explicado pelo material de estruturação desse tipo de contraforte, que é composto de manta tecida, com disposição dos fios nos sentidos horizontal e vertical, correspondendo aos sentidos de aplicação do carregamento que apresentaram maiores tensões de ruptura. A disposição dos fios nas duas direções é facilmente identificada na Figura 8.

O contraforte termoplástico impregnado, por sua vez, apresenta o mesmo alongamento em ambos os sentidos de aplicação da carga. Entretanto, a tensão de ruptura é cerca de 50% maior no carregamento horizontal, comparada à tensão de ruptura verificada no carregamento vertical. Esse fato contraria as expectativas anteriores à realização do ensaio, baseadas nos dados encontrados na bibliografia e na descrição do material de estrutura desse tipo de contraforte, tido como uma manta não tecida, manufaturada com fibras aleatoriamente distribuídas. Essa distribuição aleatória das fibras, sem orientação preferencial, não indica sentido de maior ou menor resistência à tração, levando a supor que o material resiste de forma similar quando solicitado em qualquer direção. Tendo em vista os resultados obtidos, procurou-se o departamento técnico da empresa fabricante do material, o qual revelou informalmente que a manta utilizada para a fabricação dos contrafortes é manufaturada pelo processo de filamento contínuo, o qual "induz de forma sensível" a um direcionamento das fibras no sentido do comprimento do rolo, podendo, por isso, conferir maior resistência à tração quando o carregamento é realizado nesse sentido.

No processo de reciclagem proposto neste trabalho, devido à forma aleatória como o resíduo é adicionado à matriz de gesso, não é possível conhecer de antemão o sentido de tração a que serão solicitados. Sob esse ponto de vista, os resultados obtidos mostram que ambos os tipos de contrafortes podem romper por tração quando submetidos a um carregamento superior a aproximadamente 9 N/mm², e apresentam alongamento mínimo de 14%.

Absorção de água

A determinação da absorção de água foi realizada em uma amostra de resíduo moído, forma utilizada para adição na matriz de gesso, tendo em vista que o processo de moagem provoca a "quebra" da película das resinas de impregnação e laminação dos contrafortes, expondo as fibras de estruturação, conforme verificado na análise

Experimentalmente, verificou-se que a exposição das fibras modifica de forma significativa o comportamento do material ante a absorção de água, se comparado à placa de contraforte, justificando a realização do ensaio em uma amostra de contraforte moído.

Na Figura 12 é possível acompanhar a absorção de água dos dois tipos de contrafortes ao longo de dez minutos.

Acréscimo de massa das amostras (%)			
Tempo (min)	CTI (moído)	CTL (moído)	
2	19,93	27,42	
3	20,15	27,68	
4	20,19	27,72	
5	20,24	27,76	
6	20,26	27,79	
7	20,29	27,82	
8	20,30	27,82	
9	20,33	27,85	
10	20,35	28,03	

Tabela 4 – Absorção das amostras de contrafortes dos tipos impregnado e laminado

Absorção de água

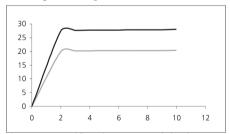


Figura 12 – Gráfico do percentual de absorção de água dos resíduos

O contraforte termoplástico laminado moído absorve mais água, sendo o percentual total de absorção até o final do ensaio de 28,03%, enquanto o percentual total de absorção do contraforte termoplástico impregnado moído é de 20,35% nas

mesmas condições. Em ambos, a absorção ocorre, quase na sua totalidade, nos dois primeiros minutos em contato com a água, concluindo-se que na moldagem do compósito a absorção de água irá ocorrer durante a mistura dos materiais.

Biodeterioração

Além da determinação das propriedades físicas e mecânicas do contraforte, foi realizado um estudo visando a determinar a durabilidade desse material. Essa análise exige, além do conhecimento de suas características químicas e de microestrutura, a identificação das características do ambiente ao qual o produto estará exposto, permitindo identificar os agentes que podem causar sua degradação. Para essa identificação, partiu-se do pressuposto de que o material será utilizado em componentes de vedação interna em edificações, não estando sujeito à ação direta da água ou intempérie.

A partir de pesquisa bibliográfica, selecionaram-se os fungos encontrados com maior freqüência em materiais sintéticos, em especial aqueles que podem deteriorar esses materiais. Também foram identificados e cultivados outros tipos de fungos filamentosos, incorporados por contaminação durante o processo de geração de resíduos de contrafortes.

Amostras de 1 cm² de contrafortes dos tipos laminado e impregnado (contaminadas e sem aparente contaminação) foram colocadas sobre meio de batata-dextroseágar (BDA) em placas de Petri e incubadas a 28 °C e fotofase de 12 h por oito dias. Os fungos filamentosos que cresceram sobre o meio de cultura foram transferidos para novas placas BDA com a finalidade de se obterem culturas axênicas. Após a replicagem, as placas foram colocadas em estufa de cultura por oito dias a 28 °C e fotofase de 12 horas para, então, serem identificadas.

Constatou-se contaminação de diferentes microorganismos em todas as amostras analisadas, indicando que ela ocorre nas diferentes etapas do processo industrial de fabricação, corte e moagem de contraforte. A Tabela 5 apresenta a relação dos fungos isolados e identificados em placas com meio de cultura de batata-dextrose-ágar.

Embora na maioria das amostras não houvesse contaminação aparente antes do ensaio, seus esporos deveriam estar em fungiastase, pois assim que entraram em contato com o meio de batata-dextrose-ágar começaram a desenvolver-se. O meio forneceu um substrato para os fungos e, ao mesmo tempo, um estímulo a seu crescimento sobre a maioria das amostras.

Tipo de contraforte e etapa do processo do	Fungos filamentosos identificados após	Local de crescimento	
qual é proveniente	a cultura	Meio de cultura	Contraforte
Laminado na forma de placa	Trichoderma e Penicillium	Р, Т	Р
Laminado após o corte dos contrafortes	Trichoderma, Fusarium, Nigrospora e Penicillium	T, F, N, P	T, F, N, P
Laminado após a moagem	Penicillium e Cladosporium	Р, С	-
Laminado após a moagem e com contaminação prévia	Penicillium e Gliocladium	P, G	P, G
Impregnado na forma de placa	Trichoderma, Aspergillus e Penicillium	T, A, P	Т, А
Impregnado após a moagem	Trichoderma, Cladosporium, Rhizopus e Streptomyces*	T, C, R, S	R

^{*}Streptomyces: bactéria filamentosa Actinomiceto.

Tabela 5 – Fungos isolados e identificados em placas com meio de cultura BDA

Entre os gêneros de fungos encontrados, os mais representativos foram *Penicillium* (nas amostras de contraforte laminado) e *Trichoderma*, que cresceram sobre maior quantidade de amostras.

Para determinar a influência da umidade na velocidade de crescimento das colônias, amostras de 1 cm² de contraforte foram colocadas em câmaras úmidas previamente esterilizadas e mantidas à temperatura de 28 °C e fotofase de 12 horas durante seis a oito dias. Após esse período iniciaram-se observações. Foi constatado que em todas as amostras de contraforte colhidas após a moagem houve crescimento de fungos sobre o papel filtro da câmara úmida, entretanto, sobre as amostras em si, o crescimento dos fungos não foi expressivo. Ficou evidente que o aumento da umidade e da temperatura favoreceram o crescimento dos referidos fungos.

Em continuidade à pesquisa, amostras sem contaminação aparente foram colocadas em câmara tropical constituída de uma camada de 2 cm de solo, na qual foram adicionados 10 ml de suspensões (106 conídios/ml) de cada um dos fungos isolados das amostras: *Cladosporium, Penicillium, Gliocladium, Trichoderma, Nigrospora* e *Rhizopus.* Também utilizaram-se os fungos *Aspergillus niger* e *Aspergillus flavus.* A câmara foi mantida à temperatura de 28 °C e fotofase de 12 horas, e a partir do oitavo dia iniciaram-se as observações diárias.

Após dezessete dias de exposição em câmara tropical, foi averiguada ocorrência de manchas causadas por fungos em todas as amostras. Verificou-se também que

há uma diferença expressiva no tipo de fungo e na velocidade de crescimento entre os dois tipos de contrafortes utilizados.

Entre os fungos identificados, os que mais preocupam são os fungos do tipo *Cladosporium* sp., que degradam tintas, epóxi, polietileno e polipropileno, os do tipo *Fusarium*, que decompõem plásticos, epóxi, polietileno e polipropileno, e os *Penicillium*, que podem decompor epóxi, polietileno, polipropileno e poliester (WAINWRIGHT, 1995).

Com o objetivo de verificar se a proliferação de fungos pode deteriorar os resíduos de contraforte, analisaram-se algumas amostras de contraforte após a cultura. Nessa análise, procurou-se verificar como ocorre o crescimento das colônias e seus efeitos na microestrutura do material.

A Figura 13 mostra o aspecto de uma amostra de contraforte impregnado contaminado por fungos.

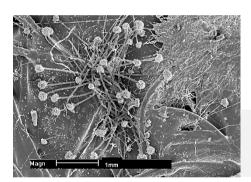


Figura 13 – Micrografia de contraforte termoplástico impregnado contaminado por fungos

Observa-se que os fungos, presentes na amostra de contraforte impregnado moído, se desenvolvem em colônias, localizando-se preferencialmente na pontas das fibras da manta de estruturação do material. Entretanto, não foi possível constatar qualquer interação entre o contraforte e os microorganismos cultivados que pressuponham um comprometimento das propriedades mecânicas do material.

Em um estudo posterior, realizado com compósitos de gesso com adição de contrafortes, determinou-se o comportamento de corpos-de-prova à flexão, antes e depois do crescimento de colônias. Foi constatado que, após seis meses de cultura, a resistência à flexão sofreu uma pequena queda, sempre inferior a 5% com relação aos corpos-de-prova de referência. Considerando-se que as condições de ensaio foram extremamente agressivas, estima-se que, como os componentes fabricados com o compósito serão utilizados apenas para o fim de vedação interna em edificações,

não estando sujeitos à ação direta da água, o desenvolvimento de fungos e o consequente decréscimo de resistência nos componentes serão muito inferiores ao observado no ensaio acelerado.

Sistema atual de gestão do resíduo

Segundo informações das empresas fabricantes de contrafortes, sua reciclagem no próprio processo produtivo não é viável devido aos custos e a restrições tecnológicas. Em conseqüência, a quase totalidade do resíduo produzido é descartado.

Apesar do esforço contínuo dos órgãos de fiscalização ambiental municipais, estadual (FEPAM) e federal (IBAMA), não há dados sistematizados sobre o montante de resíduos produzidos e a forma de sua destinação. Um fator que muito contribui para a inexistência de dados confiáveis é a grande quantidade de empresas de pequeno e médio portes que adquirem o contraforte na forma de placas e geram o resíduo em seu processo de manufatura de calçados, sem declarar o destino do resíduo. Sabe-se que a grande maioria dessas empresas não utiliza centrais de resíduos para o descarte.

Entre as empresas que se utilizam de aterros de resíduos para seu descarte (grupo onde se incluem todas as empresas fabricantes de placas de contrafortes, quando já fornecem o contraforte cortado pelas navalhas fornecidas por seus clientes), algumas realizam uma moagem dos "esqueletos" e acondicionam o material moído em sacos plásticos, enquanto outras prensam o material e o arranjam em fardos antes de realizar o descarte. Esse cuidado objetiva a diminuição de volume do resíduo a ser transportado e depositado.

Preocupados com a situação do setor, o Centro Tecnológico do Couro, Calçados e Afins (CTCCA) em conjunto com as principais empresas produtoras de contrafortes do Vale do Rio dos Sinos (Artecola, Boxflex e Classil) e com a fornecedora de mantas não tecidas para a confecção de contrafortes (Bidim) propuseram à Universidade do Vale do Rio dos Sinos a realização de um projeto de pesquisa visando a identificar o potencial de reciclagem desse resíduo na indústria da Construção Civil.

Alternativas de Reciclagem ou Reutilização

Um dos setores com maior potencial para absorver os resíduos sólidos industriais é a indústria da Construção Civil (CINCOTTO, 1988). A reciclagem de resíduos na forma de materiais e componentes para a Construção Civil tem sido uma alternativa bem-sucedida em diversos casos, gerando à sociedade uma série de be-

nefícios, como a redução do volume de matérias-primas extraídas da natureza, a redução do consumo de energia na produção de materiais e a diminuição na emissão de poluentes.

Na pesquisa desenvolvida, partiu-se da hipótese de que o resíduo de contraforte moído, devido à sua forma lamelar, adicionado a matrizes de materiais normalmente utilizados na Construção Civil, como o cimento e o gesso, teria o comportamento semelhante ao de uma fibra, proporcionando melhorias em certas propriedades mecânicas.

Segundo Savastano Jr. et al. (1994), os materiais reforçados com fibras, pelas suas propriedades mecânicas adequadas e pelo aumento da ductilidade da matriz, têm apresentado uso crescente na construção civil, e prevê-se um aumento considerável de seu uso no Brasil, visto que empresas de grande porte estão começando a adotar esses produtos em seus sistemas construtivos. Outras vantagens do uso de fibras em matrizes frágeis são citadas por John (1999), como um melhor desempenho ante os esforços dinâmicos, a diminuição da velocidade de propagação das fissuras e o comportamento pós-fissuração, podendo apresentar uma considerável deformação plástica.

Num primeiro momento, esse resíduo foi adicionado a uma matriz à base de cimento, não obtendo-se, no entanto, resultados satisfatórios nos ensaios realizados. A pesquisa prosseguiu adicionando-se o resíduo de contraforte moído a uma matriz de gesso, o que gerou resultados muito promissores.

O gesso é um material de construção civil com uso crescente no país, em função de propriedades peculiares a este material, como relativa leveza, pega rápida (adequada aos processos de produção industrializados), inexistência de retração por secagem e isolamentos térmico e acústico adequados (SANTOS, 1988).

As empresas produtoras de contrafortes para calçados têm interesse direto na pesquisa de alternativas para aproveitamento dos resíduos de contrafortes, pois há uma tendência a responsabilizar as empresas geradoras da matéria-prima pelo destino dos resíduos criados a partir de sua utilização. Como essas empresas não estão inseridas no setor da Construção Civil, foi realizado um levantamento de possíveis parceiros para a transferência da tecnologia desenvolvida. Na etapa final da pesquisa, foram selecionadas algumas empresas fabricantes de artefatos de gesso no estado do Rio Grande do Sul, com as quais foi firmado um contrato para repasse e aperfeiço-amento da tecnologia de fabricação do compósito. A principais aplicações do produ-

to desenvolvido foram a fabricação de placas de gesso para forro rebaixado e componentes de gesso para paredes divisórias. Como resultado final da pesquisa, comprovou-se a viabilidade técnica e econômica da reciclagem dos resíduos de contrafortes. O início de sua comercialização depende, na etapa atual de pesquisa, da definição de uma estratégia de coleta, moagem e transporte dos resíduos até as empresas de componentes de gesso, e de uma estratégia de marketing para divulgação do novo material.

Dados Estatísticos

A região do Vale do Rio dos Sinos, no Rio Grande do Sul, é considerada o principal pólo calçadista do país e gera aproximadamente 65% dos resíduos da indústria coureiro-calçadista, segundo estimativa do Centro Tecnológico do Couro, Calçados e Afins. O volume de resíduos de contraforte, objeto de estudo nesta pesquisa, é estimado em 80 t/mês somente nesta região (ano-base 1999), equivalendo a um volume de 550 m³/mês.

Apenas uma pequena parte desse resíduo é reaproveitado no processo industrial, e grande parte tem como destino final o depósito em aterros de resíduos, de controle público e/ou privado, ou o descarte clandestino.

A primeira etapa da pesquisa realizada consistiu na identificação das principais empresas geradoras de resíduos na região do Vale do Rio dos Sinos, considerado o maior polo coureiro-calçadista do país, e dos aterros de resíduos industriais da região. Após entrevistas com essas empresas, contatou-se que:

- não há dados quantitativos e qualitativos sobre os resíduos obtidos de forma sistêmica;
- há elevada rotatividade no número de empresas do setor, e tanto os órgãos de fiscalização quanto os órgãos representativos do setor não conseguem manter um arquivo atualizado sobre as empresas existentes;
- de modo geral, as empresas do setor não têm interesse em identificar e quantificar os resíduos gerados; e
- há uma tendência a responsabilizar as empresas fornecedoras da matéria-prima nas quais os contrafortes são gerados pelo destino dos resíduos.

As principais empresas fornecedoras de contrafortes na Região Sul são a Artecola, Boxflex, Duvinil, Classil e Quimiplan. Estima-se que essas empresas sejam responsáveis por mais de 90% do mercado. A partir de visitas realizadas à Artecola,

Boxflex e Classil, participantes do projeto de pesquisa, constatou-se que não há dados consistentes disponíveis sobre a geração de resíduos de contrafortes. Em função dessa dificuldade, foi realizado um levantamento visando a quantificar os resíduos gerados a partir da operação de corte. Nesse levantamento foram identificados os principais tipos de contrafortes existentes e determinada a quantidade média de resíduos gerada na operação de corte das placas de contraforte. A análise procurou verificar o percentual de perda sobre cada placa de contraforte, e a metodologia adotada foi a medição, em massa, de resíduos de placas logo após o corte com modelos de peças de contraforte em balancim de comando manual. Os resultados demonstraram que os percentuais de resíduo gerado variam de 13% a 23,2% em relação ao material-base (placa), ou seja, até um quinto do material não pode ser aproveitado para a confecção das peças de contrafortes, tornando-se um resíduo sólido para a empresa.

Sabendo-se que os contrafortes são utilizados em todos os tipos de calçados fechados e que a quantidade de material perdido na operação de corte dos contrafortes é elevada (conforme verificado na pesquisa realizada), pode-se estimar que a quantidade de resíduos gerada é significativa.

Processo de reciclagem proposto

Descrição, vantagens e desvantagens do produto

A adição do resíduo de contraforte moído a uma matriz de gesso resulta em um compósito com maior ductilidade que a matriz de gesso, uma vez que os resíduos de contraforte moído incorporados à matriz comportam-se como fibras. Foi desenvolvido um produto que possui elevada resistência mecânica ao impacto e à tração na flexão, além de possuir alta capacidade de suporte de cargas suspensas, e as matérias-primas utilizadas e a tecnologia necessária para a fabricação indicam que o custo do produto venha a ser competitivo, quando comparado ao de outros materiais existentes no mercado (componentes convencionais de gesso e placas de gesso acartonado).

No processo de fabricação de componentes tradicionais de gesso, a adição do resíduo diminui significativamente as perdas decorrentes de quebras nas etapas de fabricação e transporte de componentes, que em geral são superiores a 5% do total. O processo de fabricação dos componentes, entretanto, precisa ser adaptado ao novo

material, sendo necessário o desenvolvimento de um procedimento específico para moldagem com o compósito, uma vez que sua consistência é menos fluida que a da matriz. O produto final, em função da adição, não é frágil e permite a fixação de buchas e parafusos, fatores que ampliam o mercado original de componentes de gesso.

A transformação do resíduo de contraforte em um produto reciclado implica as seguintes atividades: estruturação de uma logística para a coleta e a moagem dos resíduos de contrafortes; adaptação dos equipamentos da empresa produtora de componentes de gesso em função das características do compósito no estado fresco, estruturação de um sistema para controle de qualidade de produção e elaboração de uma estratégia de marketing para divulgação do novo produto ao mercado.

Projeto experimental, materiais e métodos

A primeira etapa do trabalho experimental consistiu na caracterização dos materiais empregados, especialmente os resíduos de contrafortes, tendo em vista o uso destes em materiais de construção civil. O gesso foi caracterizado química e fisicamente, e os resíduos foram caracterizados quanto à periculosidade (NBR 10004), à resistência à tração, à absorção de água e à proliferação de fungos. Tendo em vista essa caracterização indicar que o gesso e os resíduos são aptos ao uso como materiais de construção, partiu-se para o estudo de dosagem.

Numa primeira etapa, o compósito foi analisado em seu estado fresco, procurando identificar qual a metodologia de moldagem mais adequada, a quantidade de água necessária, a quantidade e granulometria dos resíduos para adição, etc.

Em seguida, realizaram-se ensaios em corpos-de-prova moldados com o compósito. Os ensaios adotados foram de resistência à compressão, ao impacto e à tração na flexão.

Com base nos resultados dos estudos desenvolvidos, verificou-se que a incorporação dos resíduos de contrafortes em matriz de gesso resulta em um compósito com um incremento significativo da ductilidade da matriz. Esse comportamento permite que o material desenvolvido seja indicado para a fabricação de componentes pré-moldados, como blocos para alvenarias de vedação e painéis para forros.

Tomando como premissa que o compósito será utilizado na fabricação de painéis e blocos, foram realizados ensaios com o objetivo de determinar o comportamento desses componentes. Foi determinado o comportamento do compósito diante do fogo (ensaios de propagação superficial de chama e de densidade ótica específi-

ca de fumaça), a capacidade de fixação de parafusos do material (realizado por meio de ensaio de arrancamento de parafusos por tração direta (em blocos de compósito), e a capacidade de suporte de cargas suspensas (realizado em uma parede construída com blocos de compósito).

Seleção do gesso utilizado como matriz

Os critérios estabelecidos para selecionar o gesso a ser utilizado como matriz do compósito foram: produto nacional, disponível no mercado e com tempo de início de pega lento, permitindo a adição de resíduos e moldagem do compósito sem o uso de aditivos retardadores. Para tal, foram realizados ensaios de início e fim de pega, determinação da consistência normal e a caracterização química do gesso (previstos pela MB 3469/91).

Foram testados dois tipos de gesso, considerados como gessos de pega lenta, provenientes da Região de Araripina, PE.

Análise do compósito no estado fresco

A primeira etapa do estudo de dosagem teve como objetivo verificar experimentalmente as propriedades do compósito no estado fresco.

A mistura dos materiais foi realizada com argamassadeira mecânica. Foram realizadas diversas moldagens em formas horizontais utilizando-se diferentes seqüências de mistura, teores de adição e granulometrias de resíduos, mantendo-se a relação água/gesso determinada no ensaio de consistência normal do gesso (a/g = 0,57). Os teores de adição de resíduos foram de 5%, 10%, 15%, 20%, 25% e 30% em massa, em relação à massa de gesso, em duas faixas granulométricas distintas (com módulos de finura equivalentes a 4,3 e 5,9, determinados conforme a NBR 7211/83). Num segundo momento, foram realizadas outras moldagens, testando-se as mesmas variáveis, porém alterando-se a relação água/gesso para 0,60 e 0,70, em função da necessidade de adequar a trabalhabilidade do compósito quando moldado em outros tipos de formas.

Análise do compósito no estado endurecido

Para estudar o comportamento mecânico do compósito foram realizados ensaios de resistência à compressão, ao impacto e à tração na flexão.

Todos os corpos-de-prova foram moldados observando-se as mesmas variáveis identificadas na análise do compósito no estado fresco, mantendo-se o mesmo procedimento de mistura dos materiais, cura e desmoldagem, que obedece à sequência descrita a seguir:

- 1) mistura dos materiais água e resíduo 1 minuto de agitação mecânica
- adição do gesso 2 minutos de agitação mecânica;
- 2) colocação do material em forma untada com óleo vegetal;
- 3) adensamento com golpes de soquete (manual) ou através de vibração em mesa vibratória (mecânico);
- 4) desmoldagem após 45 minutos da moldagem;
- 5) cura por 24 h;
- 6) secagem em estufa a (35 ± 2) °C até estabilização da massa.

A adoção da temperatura de (35 ± 2) °C teve como objetivo padronizar o tempo de estabilização de massa dos compósitos, sendo considerada a pior situação, que é a moldagem das peças no verão. Esse procedimento também visou a minimizar a influência da variação da umidade relativa do ar ao longo do ano.

Resistência à compressão

A resistência à compressão dos compósitos foi determinada de acordo com a MB 3470/91, sendo utilizados, para cada variável estudada, três corpos-de-prova cúbicos com 5 cm de aresta.

Neste ensaio analisou-se a influência do teor de adição de resíduo (10%, 15% e 20%), do tipo de resíduo (contraforte laminado e impregnado), do adensamento (manual e mecânico) e da relação água/gesso (0,57, 0,60, 0,65 e 0,70).

Em função das dimensões dos corpos-de-prova, o teor máximo de adição de resíduos foi de 20%. Acima desse limite, as características do compósito fresco não permitiram a moldagem de corpos-de-prova com bom acabamento.

Foram utilizados resíduos com MF=4,3, uma vez que os resíduos com MF=5,9 se mostraram inadequados para a moldagem de corpos-de-prova muito pequenos.

Resistência ao impacto

O método de ensaio utilizado foi desenvolvido a partir do projeto de norma 2:02.10.084 - Piso cerâmico: determinação da resistência ao impacto - método de

ensaio, da ABNT e da JIS 6745, tendo sido utilizado inicialmente por Savastano Jr. (1987) e Santos (1988), e consiste na determinação da resistência ao impacto de um corpo-de-prova submetido a sucessivas quedas de uma esfera de aço, observando-se o eventual surgimento de fissuras.

As Figura 14 mostram detalhes do equipamento utilizado para o ensaio.



Figura 14 - Equipamento utilizado para a realização do ensaio de impacto

A altura inicial de queda da esfera de aço é de 15 cm, medidos entre a face inferior da esfera e a face superior do corpo-de-prova. Em seguida à queda, a face inferior do corpo-de-prova deve ser inspecionada, verificando-se se houve fissuração e anotando-se a abertura da fissura medida com auxílio de um fissurômetro (neste estudo foi utilizado um fissurômetro óptico com precisão de leitura de 0,1 mm). Aumenta-se sucessivamente a altura de queda em 5 cm, repetindo-se após cada queda da esfera a inspeção das fissuras do corpo-de-prova, até a altura de queda de seu rompimento, ou a altura máxima de 200 cm.

Após o ensaio, determina-se a energia correspondente aos impactos sucessivos. Pode-se admitir que a máxima energia aplicada é igual à energia potencial da esfera metálica, antes de ser lançada em queda livre, conforme a equação:

$$\mathrm{E} = mg \sum_{i=1}^{n} h_{i}$$

onde:

E = energia de impacto, resultante de n impactos (em Joules);

m = massa da esfera metálica (m = 623g);

 $g = aceleração da gravidade (adotado <math>g = 9.8 \text{m/s}^2$);

n = número de golpes sofridos pelo corpo-de-prova; e

h = altura de queda da esfera.

Foi realizado um estudo preliminar com o objetivo de verificar se a adição de resíduos efetivamente incrementa a resistência da matriz ao impacto, e quais variáveis exercem maior influência. As variáveis do estudo foram o teor de adição (0%, 10%, 15%, 20% e 25%), o tipo de resíduo (contraforte impregnado ou laminado) e a granulometria do resíduo (módulo de finura 4,3 ou 5,9). A relação água/gesso adotada foi a necessária para atingir a consistência normal (água/gesso = 0,57).

A partir das observações obtidas no estudo preliminar, foram moldados novos corpos-de-prova com o objetivo de ampliar o estudo do comportamento do compósito ante o impacto.

Tendo em vista o bom comportamento dos compósitos com maiores teores de adição de contraforte moído, e considerando a necessidade de reciclagem da maior quantidade possível desse resíduo, os teores de adição estudados nesta etapa foram de 20% e 25%. Nestes teores observa-se uma pequena queda na resistência à compressão, compensada pelo ganho de resistência ao impacto, que é muito significativo.

Mesmo considerando que a utilização de resíduos com maior módulo de finura melhora a resistência ao impacto do compósito, optou-se pelo uso de resíduos com módulo de finura menor (MF = 4,3). Tal decisão deve-se à necessidade de garantir uma trabalhabilidade adequada para a moldagem de componentes de pequena espessura e um melhor acabamento superficial das peças. O adensamento foi realizado por meio de vibração mecânica.

Nesta etapa foram moldadas séries de três corpos-de-prova, para análise da influência do tipo de resíduo (contraforte laminado e contraforte impregnado), da relação água/gesso (0,57, 0,60, 0,65 e 0,70) e do teor de adição (20% e 25%).

Em vista do diferente comportamento dos compósitos com adição de resíduos de contraforte laminado e impregnado, foi estudado também o comportamento de compósitos moldados com adição mista de resíduos. Foram adotados os seguintes teores de adição:

- teor de 20%: (50%CTL + 50%CTI), (25%CTL + 75%CTI) e (75%CTL + 25%CTI);
- -teor de 25%: (50%CTL + 50%CTI), (25%CTL + 75%CTI) e (75%CTL + 25%CTI).

Resistência à tração na flexão

A determinação da resistência à tração na flexão teve como objetivos determinar as características elásticas do compósito com a adição de resíduos e a relação entre tensão e deformação diante da aplicação de incremento de carregamento contínuo.

A resistência à tração na flexão dos compósitos foi determinada baseando-se na metodologia especificada na ASTM C78-94, com a utilização de corpos-de-prova com dimensões de 25x5 cm, com 2,5 cm de espessura. Os corpos-de-prova submetidos a este ensaio foram moldados do mesmo modo utilizado no ensaio de impacto, e utilizados resíduos moídos com a mesma granulometria (módulo de finura = 4,3). O adensamento foi realizado por meio de vibração mecânica.

Foram moldadas séries de três corpos-de-prova, para análise da influência do tipo de resíduo (contraforte laminado, contraforte impregnado e adição mista dos dois tipos de resíduos), da relação água/gesso (0,57, 0,60, 0,65 e 0,70) e do teor de adição (20% e 25%).

Nos contrafortes com adição mista de resíduos, foram utilizadas as seguintes combinações:

- teor de 20%: (50%CTL + 50%CTI), (25%CTL + 75%CTI) e (75%CTL + 25%CTI);
- teor de 25%: (50%CTL + 50%CTI), (25%CTL + 75%CTI) e (75%CTL + 25%CTI).

Ensaios de desempenho de componentes elaborados com o compósito desenvolvido

Resistência ao fogo

Para a determinação do comportamento do compósito quando submetido ao fogo, foram realizados os ensaios de "determinação do índice de propagação superficial de chama", segundo a NBR 9442/86, e de "determinação da densidade ótica específica da fumaça", segundo a ASTM E 662-92.

O índice de propagação superficial de chama foi determinado em placas de compósito moldadas com relação água/gesso de 0,60 e adição de 20% de contraforte impregnado e em placas com a mesma relação água/gesso e adição de contraforte laminado.

A densidade ótica específica de fumaça foi determinada em placas de compósito moldadas com relação água/gesso de 0,60 e adição de 20% de contraforte impregnado e em placas com a mesma relação água/gesso e adição de contraforte laminado.

Arrancamento de parafusos por tração

A determinação da tensão de arrancamento de parafusos por tração foi realizada em blocos moldados com o compósito, de dimensões 40 cm x 40 cm x 4,5 cm, com furos. Para a fabricação dos blocos para o ensaio, adotou-se um compósito com adição de 20% de resíduo laminado e relação água/gesso de 0,60.

Após a secagem, foram realizados seis furos em cada bloco, com o auxílio de uma furadeira elétrica, e fixados parafusos com buchas plásticas tipo "fischer" nº 6 e nº 8. Três parafusos foram fixados na parte maciça do bloco (espessura de 4,5 cm) e três parafusos foram fixados perpendicularmente aos furos dos blocos (espessura de 2,5 cm).

O ensaio consiste na medição da tensão necessária para ocorrer o arrancamento dos parafusos.

Capacidade de suporte de cargas suspensas

A capacidade de suporte de carga suspensa foi realizada em um painel-protótipo, construído com blocos fabricados com o compósito. O ensaio seguiu as especificações da NBR 11678/90, parafusando-se um suporte do tipo "mão france-sa" no protótipo e, posteriormente, aplicando-se a este suporte uma carga de 80 kg por 72 horas.

O painel-protótipo foi construído na forma de uma parede divisória composta de seis fiadas de três blocos moldados com o compósito de gesso reforçado com contraforte. Utilizou-se um compósito com adição de 20% de resíduo laminado e relação água/gesso de 0,60.

O ensaio consiste na determinação da resistência ao esforço de arrancamento dos dois parafusos que suportam a estrutura na qual a carga é aplicada. Observa-se,

durante o ensaio, se há deslizamento das buchas que servem para fixação dos parafusos.

A Figura 15 ilustra o ensaio durante sua execução.

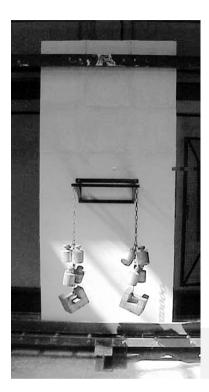


Figura 15 – Realização do ensaio de capacidade de suporte de cargas suspensas

Caracterização térmica do compósito

A caracterização térmica dos compósitos desenvolvidos nesta pesquisa serve como subsídio para a definição do tipo de elemento construtivo, parede divisória ou forro, que será posteriormente desenvolvido.

A caracterização dos compósitos de gesso baseou-se em três ensaios: calor específico, condutividade térmica e massa específica aparente.

Para os ensaios de calor específico médio foram utilizados três corpos-deprova de compósito de gesso com resíduo de contraforte termoplástico laminado e um com resíduo de contraforte termoplástico impregnado. As amostras com resíduo contraforte termoplástico laminado diferenciavam-se pelo teor e granulometria, como mostra a Tabela 6.

_		
1		1
- 1	Э	1

Amostra	Compósito	Teor (%)	Granulometria (D máx.)
1	contraforte termoplástico laminado	20	11,7
2	contraforte termoplástico laminado	25	11,7
3	contraforte termoplástico laminado	25	14,0
4	contraforte termoplástico impregnado	25	-

Tabela 6 – Relação das amostras para ensaio de calor específico

Para os ensaios de condutividade térmica e massa específica aparente foram utilizados três corpos-de-prova de compósito de gesso com resíduo contraforte termoplástico laminado e contraforte termoplástico impregnado. As amostras diferenciavam-se pelo teor de contraforte utilizado, como mostra a Tabela 7.

Amostra	Compósito	Teor (%)
1	contraforte termoplástico laminado	20
2	contraforte termoplástico laminado	25
3	contraforte termoplástico impregnado	25

Tabela 7 – Relação das amostras para ensaio de condutividade térmica e massa específica aparente

As amostras ensaiadas diferiam pelo tipo de material adicionado, resíduo contraforte termoplástico laminado ou contraforte termoplástico impregnado, e quanto ao teor, em proporções de 20% e 25%.

Em todos os compósitos, utilizou-se uma relação água/gesso de 0,60. Para a determinação do calor específico médio o procedimento de ensaio é baseado na norma ASTM C 351/92 – "Standard Test method for mean specific heat of thermal insulation".

Para a determinação de condutividade térmica o procedimento de ensaio segue a norma ASTM C 177/97 – "Standard test method for steady state the flux measurements and thermal transmission properties by means of the guarde-hot-plate apparatus". Foram utilizadas placas quentes protegidas e sistema de aquisição de dados.

Para a determinação de massa específica aparente, o procedimento de ensaio é baseado na norma ASTM 303/97 – "Standard test method for dimensions and density or preformed block type thermal insulation".

Resultados e discussão

Determinação dos tempos de início e fim de pega do gesso

Os ensaios realizados para selecionar o gesso foram os previstos pela MB 3469/9 – "Consistência normal" e "Tempo de pega". O "Gesso 1" requer uma relação água/gesso de 0,57 para adquirir a consistência normal. O início de pega se dá aos 22 min, e o final, aos 35 min, enquanto o "Gesso 2" necessita de uma relação água/gesso de 0,58, e o início de pega se dá aos 15 min e 30 s, e o final aos 28 min.

O "Gesso 1", que comercialmente é conhecido por "gesso sublime", foi selecionado para o trabalho por possuir maior tempo de início de pega. Essa propriedade foi considerada necessária em função da absorção de água dos contrafortes e à alteração esperada na trabalhabilidade da matriz com sua incorporação, uma vez que é necessário garantir um tempo adequado para a incorporação do resíduo à matriz, seu transporte, deposição em uma forma e adensamento.

Caracterização química do gesso selecionado

A caracterização química do gesso selecionado consta nas Tabelas 8, 9 e 10.

Ensaios Químicos	Resultados (%)
Água Livre	0,94
Água Combinada [*]	4,56
Insolúveis em ácido clorídrico (RI + SiO ₂)*	1,24
Óxido de ferro e alumínio (Fe ₂ O ₃ + Al ₂ O ₃)*	0,10
Óxido de cálcio (CaO) [*]	38,50
Óxido de magnésio (MgO) [*]	0,13
Anidrido sulfúrico (SO ₃)*	54,30

^{*} Ensaios realizados em amostra isenta de água livre

Tabela 8 – Resultados da análise química do gesso

_		
_		
1	53	

Ensaios Químicos	Resultados (%)
Hemidrato (CaSO ₄ . 1/2 H ₂ O)	73,60
Anidrita (CaSO ₄)	23,40
Carbonato de cálcio (CaCO₃)	0,36
Carbonato de magnésio (MgCO₃)	0,27
Impurezas (RI + SiO_2 + Fe_2O_3 + Al_2O_3)	1,34
Óxido de cálcio em excesso (CaO)	0,29

Tabela 9 – Composição mineral do gesso, calculada a partir da análise química

Ensaios Químicos	Resultados (%)
pH (a 28,4 °C) [*]	5,60
Cloreto (Cl ⁻) *	nd
Anidrido carbônico (CO ₂)*	0,30
Anidrido fosfórico (P ₂ O ₅)*	0,02
Flúor (F)	<0,04

^{*} Ensaios realizados em amostra isenta de água livre nd não detectado

Tabela 10 – Resultados de pH, (Cl⁻) solúvel, CO₂ e P₂O₅ e flúor (F)

Análise do compósito no estado fresco

O estudo realizado demonstrou que a mistura dos materiais é possível e que a moldagem do compósito não exige tecnologia sofisticada. Verificou-se que, entre as seqüências de misturas testadas, o procedimento mais adequado consiste na mistura preliminar da água com o resíduo moído, por um minuto, com agitação mecânica, e na adição posterior de gesso, continuando a mistura mecânica por mais dois minutos.

A moldagem do compósito se mostrou possível para todas as relações água/ gesso testadas, para teores de adição de resíduos de até 25%, sendo as relações água/ gesso maiores as que conferem maior trabalhabilidade à pasta, principalmente em dias de moldagem com temperatura elevada.

O compósito se mostrou adequado para a moldagem nos diversos tipos de formas adotados na pesquisa, independentemente da granulometria de resíduo utilizada.

Os compósitos moldados com resíduos com módulo de finura 4,3 apresentaram acabamento superficial uniforme (com aspecto de superfície lisa) até adições no teor de 10%. Na medida em que se aumenta o teor de adição e/ou a granulometria do resíduo, a superfície superior se mostra rugosa, para todas as relações água/gesso testadas.

Análise do compósito no estado endurecido

Resistência à compressão

A Figura 16 apresenta a média dos resultados obtidos no ensaio de resistência à compressão dos corpos-de-prova moldados com relação a/g=0,57, variando-se os teores de adição (0%, 10%, 15% e 20%) e a forma de adensamento (manual e mecânica).

A Figura 17 apresenta a média dos resultados obtidos no ensaio de resistência à compressão de corpos-de-prova moldados com adição de 20%, variando-se a relação água/gesso (0,57, 0,60, 0,65 e 0,7).

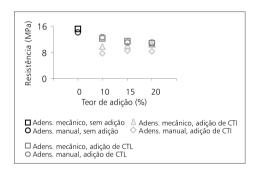


Figura 16 – Resistência à compressão média das séries de corpos-de-prova com diferentes teores de adição de resíduos (a/g 0,57)

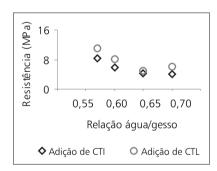


Figura 17 – Gráfico da resistência à compressão média das séries de corposde-prova com diferentes relações água/ gesso e 20% de contraforte

Para identificar as diferenças entre os compósitos ensaiados, foi realizada uma análise estatística de variância (ANOVA), considerando a influência das variáveis testadas, sendo estipulada uma confiabilidade de 95%.

Constatou-se que os teores de adição (0%, 10%, 15% e 20%) e o tipo de contraforte são significativos, influenciando diretamente na resistência à compressão do compósito. Observou-se também que nas séries com adensamento manual o teor de adição de resíduos não apresenta variância significativa, independentemente do tipo de resíduo adicionado, enquanto as séries com adensamento mecânico apresentam variância significativa entre os teores testados.

Existe uma diferença significativa entre os resultados das séries sem adição e com adição de resíduos, apresentando as séries sem adição de resíduos resistência à compressão superior às séries com adição de resíduos. Por outro lado, foi observado que o teor de adição só influencia a resistência à compressão de forma significativa nas séries com adensamento mecânico, pois este é mais eficaz na expulsão do ar aprisionado na pasta. Verifica-se que o tipo de resíduo adicionado influencia, de maneira significativa, a resistência à compressão do compósito, independentemente da forma de adensamento empregada.

Outra variável analisada é a relação água/gesso, com os resultados de ensaios em corpos-de-prova com relação água/gesso de 0,57, 0,60, 0,65 e 0,70. A relação água/gesso apresentou variância significativa nas duas séries analisadas (série de corpos-de-prova com adição de resíduos de contraforte laminado e de corpos-de-prova com resíduos impregnados). Observa-se que nas duas séries a resistência à compressão diminui à medida que a relação água/gesso aumenta. Entretanto, a variância não é significativa nas séries de corpos-de-prova moldados com relação água/gesso superior a 0,65.

Os resultados dos ensaios de resistência à compressão indicam que o compósito apresenta comportamento à compressão similar aos materiais fibrosos, mostrando resistência à compressão inferior à resistência da pasta-matriz. Esse comportamento é explicado devido ao aumento de porosidade do compósito conferido pela incorporação das fibras. O decréscimo de resistência observado, entretanto, está dentro dos parâmetros esperados.

Resistência ao impacto

As Figuras 18 a 21 mostram o comportamento das séries de corpos-de-prova no ensaios de impacto. Os resultados do ensaio dos corpos-de-prova sem adição de resíduo (referência) não são mostrados nessas figuras porque todos apresentaram um comportamento frágil, com ruptura brusca, na primeira queda da esfera, que

A matriz de gesso sem a adição de resíduo apresenta rompimento brusco, sempre ocorrendo na primeira queda da esfera, que corresponde a uma energia de 0,94 J. Este resultado comprova a fragilidade da matriz de gesso.

O compósito, por sua vez, apresentou um acréscimo de resistência ao impacto substancialmente maior que a matriz. Também apresentou maior ductilidade, com uma deformação plástica considerável.

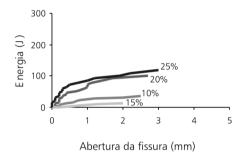


Figura 18 – Resistência ao impacto do conjunto de corpos-de-prova com adição de resíduo de CTI com módulo de finura igual a 4,3

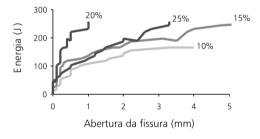


Figura 19 – Resistência ao impacto do conjunto de corpos-de-prova com adição de resíduo de CTI com módulo de finura igual a 5,9

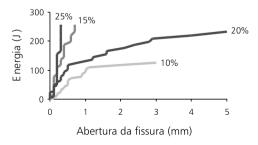


Figura 20 – Resistência ao impacto do conjunto de corpos-de-prova com adição de resíduo de CTL com módulo de finura igual a 4,3

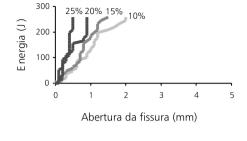


Figura 21 – Resistência ao impacto do conjunto de corpos-de-prova com adição de resíduo de CTL com módulo de finura igual a 5 9

Constatou-se que os compósitos com resíduo de contraforte impregnado absorvem mais energia até o surgimento da primeira fissura, porém os compósitos com resíduo de contraforte laminado apresentam menor propagação e aumento de abertura das fissuras, após o surgimento da primeira fissura. A propagação e abertura de fissuras é menor à medida que o teor de adição aumenta, e os compósitos com resíduos com maior módulo de finura (5,9) possuem maior resistência ao impacto.

Foi realizada uma segunda análise do comportamento dos compósitos ao impacto, utilizando-se corpos-de-prova com teores de 20% e 25% de adição. Foram adotados dois critérios para a análise dos resultados: a) o comportamento do corpode-prova durante o ensaio (Figura 22a); e b) a energia na qual ocorre a primeira fissura e energia acumulada no final do ensaio (Figura 22b).

A Figura 22a apresenta a média dos resultados de resistência ao impacto das séries de corpos-de-prova moldados com adição de resíduo de contraforte termoplástico impregnado e laminado (CTI e CTL), em teores de 20% e 25%.

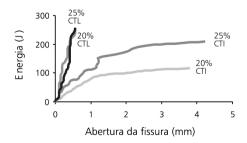
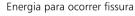
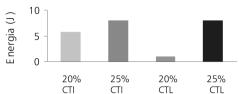
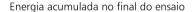


Figura 22a – Resistência média ao impacto das séries de corpos-de-prova com adição de 20% e 25% de resíduos







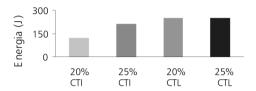


Figura 22b – Representação da energia na qual ocorre fissura e energia acumulada no final do ensaio

As Figuras 23 e 24 apresentam, respectivamente, a média dos resultados de resistência ao impacto das séries de corpos-de-prova moldadas com adição de resíduo de contraforte termoplástico impregnado e laminado, em teor de 20%, variando-se a relação água/gesso.

As Figuras 25 e 26 apresentam, respectivamente, a média dos resultados de resistência ao impacto das séries de corpos-de-prova moldadas com adição mista de resíduo de contrafortes em teores de 20% e 25%.

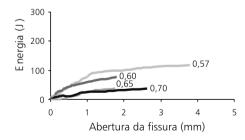


Figura 23a – Resistência média ao impacto das séries de corpos-de-prova com adição de 20% de resíduos de CTI, variando-se a relação água/gesso (0,57 a 0,70)

Coletânea Habitare - vol. 4 - Utilização de Resíduos na Construção Habitacional



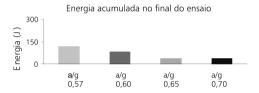


Figura 23b – Representação da energia na qual ocorre fissura e energia acumulada no final do ensaio (20% CTI)

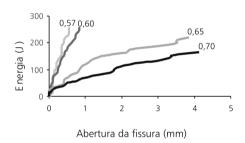
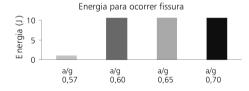


Figura 24a – Resistência média ao impacto das séries de corpos-de-prova com adição de 20% de resíduos de CTL, variando-se a relação água/gesso (0,57 a 0,70)



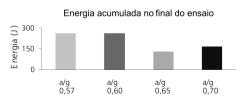


Figura 24b – Representação da energia na qual ocorre fissura e energia acumulada no final do ensaio (20% CTL)

Figura 25a – Resistência média ao impacto das séries de corpos-de-prova com adição mista de resíduos, em teor de 20%

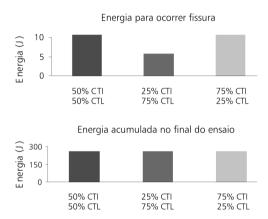


Figura 25b – Representação da energia na qual ocorre fissura e energia acumulada no final do ensaio (adição mista, teor 20%)

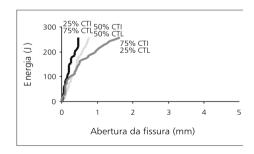


Figura 26a – Resistência média ao impacto das séries de corpos-de-prova com adição mista de resíduos, em teor de 25%

Coletânea Habitare - vol. 4 - Utilização de Resíduos na Construção Habitacional

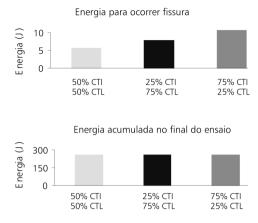


Figura 26b – Representação da energia na qual ocorre fissura e energia acumulada no final do ensaio (adição mista, teor 25%)

Como nos ensaios preliminares, as séries com adições de contraforte impregnado absorvem maior energia até o surgimento da primeira fissura, mas a propagação da fissura ocorre de forma mais veloz, levando ao rompimento dos corpos-deprova antes do término do ensaio, principalmente na série com teor de adição de 20%. As séries com adições de contraforte laminado, ao contrário, absorvem menor energia até o surgimento da primeira fissura, porém a propagação é muito restringida, e nos dois teores de adição testados não houve ruptura dos corpos-de-prova ao final do ensaio. O comportamento pode ser explicado pela diferença existente entre as propriedades dos dois tipos de contraforte utilizados.

Observa-se que a resistência ao impacto diminui à medida que a relação água/ gesso aumenta. A partir da análise da energia necessária para fissurar a matriz dos compósitos ("Figuras b"), pode-se verificar que as séries com menor relação água/ gesso requerem maior energia para ocorrer fissuração. Com a adição de resíduo de contraforte impregnado, quanto maior a relação água/gesso, mais rápida é a propagação da fissura e, por conseqüência, mais cedo ocorre a ruptura dos corpos-deprova. Tal fato também é observado nas séries com adição de resíduo de contraforte laminado, porém apenas apresentaram ruptura as séries com relação água/gesso de 0,65 e 0,70. Apesar da constatação de que menores relações água/gesso aumentam a resistência ao impacto, a necessidade de se garantir a plasticidade do compósito durante a moldagem de componentes impõe um limite para essa redução. Verificou-se

que as séries de corpos-de-prova moldados com relação água/gesso de 0,57 e 0,60 não apresentaram diferença de comportamento significativa. Assim, pode-se considerar a relação água/gesso de 0,60 como a mais apropriada, por não comprometer a resistência ao impacto e propiciar relativa facilidade de moldagem.

A adição mista de resíduos (uso simultâneo de contrafortes impregnados e contrafortes laminados) é possível para todos os teores de adição testados. Nenhuma série de corpos-de-prova com adição mista de resíduos de contraforte rompeu antes do final do ensaio, mesmo na série com teor de adição de 20%, composta de 75% de resíduos de contraforte impregnado, indicando que a adição mista de resíduos aumenta substancialmente a resistência ao impacto do compósito. Em ambos os teores de adição testados, as séries compostas por 50% e 75% de resíduo laminado apresentam menor propagação de fissura ao longo do ensaio ("Figuras a"), apesar de se observar que a série com 75% de resíduo impregnado é a que necessita de maior energia para ocorrer fissura.

De acordo com a bibliografia, sabe-se que a incorporação de fibras em matrizes de gesso aumenta a resistência ao impacto, sendo o maior benefício do reforço das fibras a modificação do comportamento do material após a fissuração, pela diminuição da propagação das fissuras. Tal comportamento é nitidamente percebido nos compósitos ensaiados, pois os corpos-de-prova sem adição de resíduo submetidos ao ensaio de impacto obtiveram ruptura brusca, com aplicação de baixa energia. Os corpos-de-prova com adição de resíduo, por sua vez, apresentaram deformação plástica considerável, tornando-se um material de maior ductilidade, mais adequado para uso em construção civil. Cabe lembrar que o ensaio de impacto depende de muitas variáveis, como tipo de equipamento, energia aplicada, velocidade de aplicação de energia, etc., sendo difícil a reprodução de dados e comparação dos resultados com os de outros pesquisadores.

Resistência à tração na flexão

A Figura 27 apresenta a média da resistência à tração na flexão obtida nas séries de corpos-de-prova com adição de resíduos de contraforte termoplástico impregnado e laminado, em teores de adição de 20% e 25%. Adotou-se como parâmetro para término do ensaio o final da aplicação da carga ou a ruptura dos corpos-de-prova.

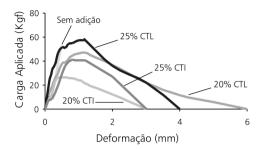


Figura 27 – Resistência média à tração na flexão das séries de corpos-de-prova com adição de 20% e 25% de resíduos

As Figuras 28 e 29 apresentam a média da resistência à tração na flexão obtida nas séries de corpos-de-prova com adição de resíduos de 20% de contraforte termoplástico impregnado e laminado, variando-se a relação água/gesso.

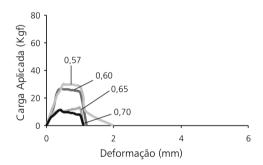


Figura 28 – Resistência média à tração na flexão das séries de corpos-de-prova com adição de 20% de resíduos de CTI, variando-se a relação água/gesso

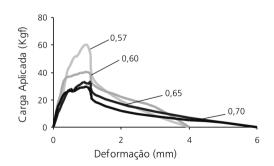


Figura 29 – Resistência média à tração na flexão das séries de corpos-de-prova com adição de 20% de resíduos de CTL, variando-se a relação água/gesso

As Figuras 30 e 31 apresentam, respectivamente, a média dos resultados de resistência à tração na flexão das séries de corpos-de-prova moldadas com adição mista de resíduo de contrafortes em teor de 20% e 25%.

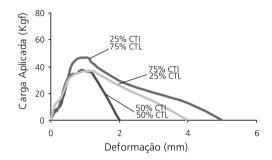


Figura 30 – Resistência média ao impacto das séries de corpos-de-prova com adição mista de resíduos, em teor de 20%

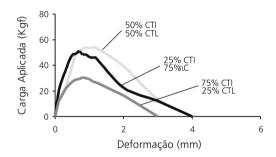


Figura 31 – Resistência média ao impacto das séries de corpos-de-prova com adição mista de resíduos, em teor de 25%

O comportamento à flexão dos corpos-de-prova com adição de resíduos é distinto do comportamento dos corpos-de-prova sem adição de resíduos, especialmente no que diz respeito à deformação. Verifica-se na Figura 28 que a série de corpos-de-prova moldada sem adição de resíduo resiste a um carregamento de até aproximadamente 60 kg. Em seguida, ocorre a ruptura dos corpos-de-prova de forma brusca. As demais séries moldadas com adição de resíduos de contrafortes (séries

moldadas com resíduos de contraforte termoplástico impregnado), ainda que resistindo a um carregamento inferior, apresentam considerável deformação, não ocorrendo a ruptura dos corpos-de-prova, o que indica que a adição de resíduos confere ductilidade à matriz.

Percebe-se também que, em alguns corpos-de-prova com adição de resíduos, a carga aplicada estabiliza-se em patamares, podendo decrescer e logo após tornar a crescer, o que indica que há uma redistribuição de esforços nos compósitos.

Assim como já verificado no ensaio de resistência ao impacto, o tipo de resíduo, o teor de adição, a relação água/gesso e a adição mista de resíduos influenciam o comportamento do compósito em relação à resistência à flexão. Os compósitos com adição de resíduos de contraforte termoplástico laminado resistem a um carregamento maior e apresentam maior deformação do que os compósitos com adição de contraforte impregnado. A relação água/gesso é outra variável com grande influência nos resultados, conforme mostram as Figuras 29 e 30. Em ambos os ensaios observa-se que a carga suportada e a deformação diminuem conforme a relação água/gesso aumenta. O teor de adição exerce grande influência nos resultados. Observa-se que o teor de adição de 25% confere maior resistência ao compósito, seja na adição simples de resíduos ou na adição mista.

Os corpos-de-prova com adição mista – 75% de resíduos impregnados e 25% de resíduos laminados – em ambos os teores não apresentaram acréscimo significativo de resistência, se comparada à resistência apresentada pelos corpos-de-prova com adição simples de resíduo de contraforte impregnado. No ensaio de impacto, essa composição incrementa significativamente a resistência do compósito.

Conclui-se que o comportamento à tração na flexão da matriz é bastante modificado com a adição de resíduos de contrafortes, apresentando o compósito resultante deformação plástica considerável após o início da fissuração da matriz.

Ensaios de desempenho de componentes elaborados com o compósito desenvolvido

Resistência ao fogo

A resistência ao fogo do compósito foi avaliada pela determinação do índice de propagação superficial de chama e da densidade ótica específica de fumaça.

Danê wastus avalia da	Valores		
Parâmetro avaliado	médio	mínimo	máximo
Índice de propagação de chama (Ip)	4	3	4
Fator de evolução de calor (Q)	3,7	3,2	4,3
Fator de propagação de chama (Pc)	1,0	1,0	1,0
Classificação	Classe A		

Tabela 11 – Determinação do índice de propagação superficial de chama de compósito com contraforte impregnado

Davê ve sture everlie de	Valores		
Parâmetro avaliado	médio	mínimo	máximo
Índice de propagação de chama (Ip)	4	3	5
Fator de evolução de calor (Q)	4,2	3,5	5,4
Fator de propagação de chama (Pc)	1,0	1,0	1,0
Classificação	Classe A		

Tabela 12 – Determinação do índice de propagação superficial de chama de compósito com contraforte laminado

Segundo a NBR 9442/86, os compósitos ensaiados, representativos dos dois tipos de resíduos de contraforte, enquadram-se na classe "A", sendo materiais com ótima resistência à propagação superficial de chama.

Na Tabela 13 são apresentados os resultados obtidos para o ensaio de densidade ótica específica de fumaça em compósitos com contraforte impregnado, e na Tabela 14, para o contraforte laminado.

1	6	7

Tipo de ensaio	Sem chama	Com chama
Número de corpos-de-prova ensaiados	3	3
Densidade ótica específica máxima (Dm)	83	123
Tempo, em minutos, para atingir Dm	66,7	16,3
Densidade ótica específica aos 90 s	0	0
Densidade ótica específica aos 4 min	0	12
Densidade ótica específica aos 20 min	15	-
Densidade ótica específica máxima corrigida (Dm corr.)	81	121
Tempo, em minutos, para atingir Ds = 16	20,8	4,5
Razão máxima de desenvolvimento de fumaça (Ds/min)	2	16
Cor da fumaça	cinza	cinza

Tabela 13 – Determinação da densidade ótica específica de fumaça do compósito com contraforte impregnado, em função do tempo, para a queima sem chama

Tipo de ensaio	Sem chama	Com chama
Número de corpos-de-prova ensaiados	3	3
Densidade ótica específica máxima (Dm)	83	88
Tempo, em minutos, para atingir Dm	67,3	15,3
Densidade ótica específica aos 90 s	0	0
Densidade ótica específica aos 4 min	0	12
Densidade ótica específica aos 20 min	19	-
Densidade ótica específica máxima corrigida (Dm corr.)	80	83
Tempo, em minutos, para atingir Ds = 16	19,2	4,4
Razão máxima de desenvolvimento de fumaça (Ds/min)	3	12
Cor da fumaça	cinza	cinza

Tabela 14 – Determinação da densidade ótica específica de fumaça do compósito com contraforte laminado, em função do tempo, para a queima sem chama

De acordo com consultas a especialistas na área, os dois tipos de compósitos ensaidos apresentaram resultados similares e não possuem limitação de uso em função dos resultados do ensaio de densidade ótica específica de fumaça. Os valores obtidos não comprometem o uso do material.

Arrancamento de parafusos por tração

No ensaio de arrancamento de parafusos fixados com bucha "fischer" nº 6, a tensão de arrancamento variou entre 950 e 1.300 KN, independentemente da espessura da parede do bloco no qual estava fixada (foram utilizadas espessuras de parede de 2,5 cm e 4,5 cm).

No ensaio de arrancamento de parafusos fixados com bucha "fischer" nº 8, a tensão de arrancamento variou entre 1.250 e 4.400 KN, independentemente da espessura da parede do bloco no qual estava fixada (foram utilizadas espessuras de parede de 2,5 cm e 4,5 cm.

Capacidade de suporte de cargas suspensas

O protótipo atendeu à especificação da norma, segundo a qual a capacidade de carga deverá ser igual ou superior a 80 kg. A capacidade de suporte do compósito é superior a 80 kg , e não houve arrancamento dos parafusos após 72 horas de ensaio. O deslizamento ocorrido nos parafusos em decorrência da aplicação do carregamento se manifestou apenas nas primeiras horas, tendo atingido, no máximo, 5 mm.

Caracterização térmica do compósito

Os resultados obtidos para a caracterização térmica dos compósitos de gesso estão especificados na Tabela 15.

Compósito	Calor específico médio (kJ/(kg°C))	Condutividade térmica (W/(m.K))	Massa específica aparente (kg/m³)
Contraforte termoplástico laminado 20% - Dmáx=11,7	0,970	0,38	1.165
Contraforte termoplástico laminado 25% - Dmáx = 11,7	0,999	0,38	1.186
Contraforte termoplástico impregnado 25%	0,981	0,34	1.180

Tabela 15 – Caracterização dos compósitos de gesso

Os resultados apresentados indicam que o compósito tem um desempenho similar ao do gesso comum. Os valores resultantes não apresentam diferenças significativas do citado na bibliografia. Entretanto, o comportamento do material quando aplicado a um elemento construtivo, parede ou forro, pode apresentar diferenças que somente poderão ser examinadas em ensaios em componentes.

As medições com elementos construtivos, parede ou forro, considerando sua posição relativa, em relação aos demais elementos, no edifício, é que poderão determinar o potencial isolante do compósito. Entretanto, é possível antever que sua massa aparente específica alta vai contribuir para um maior isolamento térmico se for comparado com o gesso comum, porque a adição de contrafortes implica aumento de massa térmica.

Na Tabela 16 são mencionados valores de condutividade térmica para gesso, que variam entre 0,50 a 0,25 W/(m.K).

Gesso		Massa específica aparente (kg/m³)	Condutividade térmica (W/(m.K))
Projetado ou de massa volumétrica elevada		1.100-1.300	0,50
Tradicional ou cartonado		750-1.000	0,35
com agregado leve	dosagem 1/1	700-900	0,30
	dosagem 1/2	500-700	0,25

fonte: LAMBERTS et al. (1997)

Tabela 16 – Propriedades térmicas do gesso

Processo de produção

Os resultados obtidos na pesquisa realizada permitem propor a produção de componentes de gesso reforçados com os resíduos de contrafortes, em escala comercial, havendo viabilidade técnica e econômica para a reciclagem.

Na etapa final da pesquisa, foram selecionadas algumas empresas, fabricantes de artefatos de gesso no Estado do Rio Grande do Sul, com as quais foi firmado um contrato para repasse e aperfeiçoamento da tecnologia de fabricação do compósito.

A principais aplicações do produto desenvolvido foram a fabricação de placas de gesso para forro rebaixado e componentes de gesso para paredes divisórias.

O início de sua comercialização depende, entretanto, da definição de uma estratégia de separação, coleta, moagem e transporte dos resíduos até as empresas fabricantes de componentes de gesso, e de uma estratégia de marketing para divulgação do novo material. Essas atividades dependem de uma ação conjunta do setor coureiro-calçadista (gerador do resíduo), pois os geradores não têm o costume de separar seus resíduos, e a moagem dos resíduos deve, preferencialmente, ser realizada em uma central, para que não haja contaminação por outros resíduos e para que a granulometria necessária para a posterior adição ao gesso seja garantida.

No âmbito das empresas fabricantes de componentes de gesso, as principais necessidades são de adaptação dos equipamentos e formas em função das características do compósito no estado fresco, uma vez que ele apresenta maior coesão e menor fluidez que a pasta de gesso sem adição. É necessário, igualmente, a implantação de um sistema de controle de qualidade voltado ao novo produto, tendo em vista suas peculiaridades. Os custos envolvidos nessas atividades não são significativos.

Em virtude das características do processo proposto, em que a única atividade prévia para a reciclagem consiste na moagem do resíduo de contraforte, e considerando-se que as perdas no processo de produção de componentes de gesso (estimadas em 5%) são muito menores quando se utiliza o compósito, pode-se estimar que a geração de novos resíduos com a reciclagem de contrafortes é insignificante.

Nos últimos anos, o mercado para os componentes convencionais de gesso tem diminuído devido ao crescimento da comercialização de placas de gesso acartonado, que possuem o diferencial da elevada resistência ao impacto e cuja tecnologia de produção é exclusiva de grandes empresas sob controle internacional. As placas de gesso acartonado são muito competitivas quando utilizadas em grandes vãos, devido à alta produtividade que proporcionam. Seu custo, entretanto, torna-se elevado em pequenas obras, mercado onde hoje se concentram os pequenos e médios fabricantes nacionais de componentes de gesso. A melhoria das propriedades do gesso, tais como o aumento da resistência ao impacto e a possibilidade de fixação de buchas, proporciona um diferencial significativo para os novos componentes produzidos com esse material, abrindo novas perspectivas para essas empresas.

Conclusão

Como resultado final da pesquisa, foi desenvolvido um compósito formado por uma matriz de gesso, reforçada por partículas de contrafortes de calçados, as quais apresentam comportamento semelhante ao de uma fibra. Esse material apresenta interessantes características, como alta resistência mecânica ao impacto, à tração na flexão, e alta capacidade de suporte de cargas suspensas, e as matérias-primas utilizadas e a tecnologia necessária para a fabricação indicam que o custo do produto é competitivo, quando comparado ao de outros materiais existentes no mercado.

Para a efetiva implantação do processo de reciclagem, é necessário que sejam solucionadas algumas restrições do mercado. No setor coureiro-calçadista (gerador do resíduo), deve ser desenvolvida uma estratégia para separação, coleta, moagem e transporte dos resíduos até as empresas fabricantes de componentes de gesso, além da elaboração de uma estratégia de marketing para divulgação do novo material. No tocante às empresas fabricantes de componentes de gesso, as principais necessidades são de adaptação dos equipamentos e formas em função das características do compósito no estado fresco, e a implantação de um sistema de controle de qualidade voltado ao novo produto.

O projeto teve como parceiro principal o CTCCA, que promoveu o intercâmbio entre os pesquisadores e empresas calçadistas. As empresas associadas ao CTCCA que tiveram participação efetiva na pesquisa são Artecola e Boxflex, que forneceram os resíduos em estudo no projeto, Classil, que realizou a moagem do material e Bidim (ex-Rhodia). Foram realizadas reuniões bimensais para acompanhamento do projeto, ao longo de todo o período.

Na primeira etapa do projeto, foram contatadas, também, as prefeituras de Novo Hamburgo (RS) e Campo Bom (RS), para coleta de dados sobre os depósitos de resíduos, e a Associação das Industrias Calçadistas (Assintecal), para auxílio no contato com as empresas do setor.

Para a última etapa do projeto, foram selecionadas duas empresas fabricantes de artefatos de gesso, uma localizada em Novo Hamburgo (RS) e outra em Carazinho (RS), com as quais foi firmado um contrato para repasse e aperfeiçoamento da tecnologia de fabricação do compósito.

Além do auxílio da FINEP e da contrapartida da UNISINOS, o projeto contou com participação financeira do CTCCA, que foi subsidiado pelas empresas Artecola, Boxflex, Classil e Rhodia.

O projeto também contou com a participação de bolsistas de Iniciação Científica, nas modalidades PIBIC (bolsista do CNPq), bolsista FAPERGS (Fundação de Amparo à Pesquisa do RS) e UNIBIC (bolsista da UNISINOS), e foi objeto de dissertação para um aluno de Mestrado.

Referências bibliográficas

ABBOTT, S. Legislação ambiental: impacto sobre a indústria calçadista. **Tecnicouro**, Novo Hamburgo, v. 17, n. 6, out. 1995.

BARNETT, H. L.; HUNTER, B. B. **Illustrated genera of imperfect fungi**. Minnesota: Burgess Publishing Company, 1972. 241 p.

CINCOTTO, M. A. Utilização de subprodutos e resíduos na indústria da Construção Civil. Tecnologia de Edificações, São Paulo, PINI, 1988. 708 p.

CTCCA. Calçados, componentes e matérias-primas. Centro Tecnológico do Couro, Calçados e Afins. Novo Hamburgo, CTCCA, 1994. Série Couro Calçados e Afins, v. 7. 110 p.

JOHN, V. M. **Desenvolvimento Sustentável, construção civil, reciclagem e trabalho multidisciplinar**. Disponível em: http://www.recycle.pcc.usp.br. Acesso em: 20 out. 1999.

JOHN, V. M. **A construção e o meio ambiente**. Disponível em: http://www.recycle.pcc.usp.br. Acesso em: 20 out. 1999.

KAZMIERCZAK, C. S.; SANTOS, I. S. S.; SILVA, H. C.; RAMIRES, M. V. V.; KERN, A. P.; SILVA, M. E. Biodeterioration of plaster of Paris and shoe counter scrap pieces composites. In: INTERNATIONAL RILEM WORKSHOP - MICROBIOLOGICAL IMPACT ON BUILDING MATERIALS, 1., 2000, São Paulo. 1st International RILEM. Workshop - Microbiological Impact on Building Materials. Anais... São Paulo: USP - RILEM, 2000.

KAZMIERCZAK, C. S.; KERN, A. P.; SANTOS, I. S. S.; RAMIRES, M. V. V.; SILVA, H. C. Gypsum matrix composites with shoe counter scrap - Impact strength behavior. In: CIB SYMPOSIUM ON CONSTRUCTION & ENVIRONMENT – THEORY INTO PRACTICE, 2000, São Paulo. CIB Symposium on construction & environment - Theory into practice. **Anais...** São Paulo: PCC USP - CIB, 2000.

174

KAZMIERCZAK, C. S.; KERN, A. P.; SANTOS, I. S. S.; SILVA, H. C.; RAMIRES, M. V. V. Use of waste generated by shoe counter scrap pieces in plaster of paris composites. In: SCIENCE AND ENGINEERING OF RECYCLING FOR ENVIRONMENTAL PROTECTION - WASCON 2000, 2000, Harrogate (England). Waste Materials in Construction; Science and Engineering of Recycling for Environmental Protection. London: Pergamon, 2000. p. 848-856.

KAZMIERCZAK, C. S.; SANTOS, I. S. S.; RAMIRES, M. V. V.; KERN, A. P.; SILVA, H. C. Alternativas Para Reciclagem de Contrafortes na Construção Civil. **Tecnicouro**, Novo Hamburgo, v. 20, n. 1, p. 20-24, 2000.

KAZMIERCZAK, C. S.; KERN, A. P.; SILVA, H. C.; SANTOS, I. S. S.; RAMIRES, M. V. V. Utilização de resíduos da indústria coureiro-calçadista no desenvolvimento de um novo material para a construção civil. In: **Gerenciamento de Resíduos e Certificação Ambiental** (coletânea). Porto Alegre: EDIPUCRS, 2000.

KERN, A. P.; KAZMIERCZAK, C. S.; GREVEN, H. A.; SANTOS, I. S. S.; SILVA, H. C.; RAMIRES, M. V. V. Comportamento mecânico de compósitos à base de matriz de gesso com adição de resíduos de contraforte de calçados. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO: MODERNIDADE E SUSTENTABILIDADE, 2000, Salvador. Anais... ENTAC 2000 - Modernidade e Sustentabilidade. Salvador: UFBA/ANTAC, 2000.

KERN, A. P. Estudo da viabilidade da incorporação de resíduos de contrafortes de calçados em matriz de gesso para uso como material de construção civil. Porto Alegre,1999. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1999.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. Eficiência energética na Arquitetura., São Paulo: PW Editores, 1997.

LUZ, J. A. Pré-fabricados para calçados: laboratório de processos industriais. **Escola do Calçado SENAI**. Novo Hamburgo, out. 1987.

NIEWÖHNER, U.; KUNZ, E. R. Novo processo de montagem: Contraforte com tempo aberto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DO CALÇADO, 5., Anais... Novo Hamburgo, 1991.

SANTOS, I. S. S. A influência da relação entre água e gesso nas propriedades mecânicas do fibrogesso. 1988. Tese (Doutorado em Engenharia) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1988.

SAVASTANO JR, H.; AGOPYAN, V. Análise microestrutural aplicada ao estudo de compósitos fibrosos. In: **Durabilidade das Construções.** São Leopoldo, 1-2 jun. 1997. São Leopoldo: ANTAC, 1997.

SCHMIDT, M. M. Contrafortes: dados importantes para a sua avaliação. **Couro, Calçados e Componentes**: Prevenção e solução de problemas. São Leopoldo, 1992.

