

COMPORTAMENTO MECÂNICO DE COMPÓSITOS A BASE DE MATRIZ DE GESSO COM ADIÇÃO DE RESÍDUOS DE CONTRAFORTES DE CALÇADOS

**KERN, Andrea P. (1); GREVEN, Hélio A. (2); KAZMIERCZAK, Claudio S. (3); SANTOS,
Ivana S. (4); SILVA, Heitor C. (5); RAMIREZ, Marcus V. (6)**

(1) Eng. Civil, mestrandona CPGEc/UFRGS, Av. Osvaldo Aranha, 99, 3º andar. Porto Alegre, RS,

E-mail andrea@indus.unisinos.br

(2) Engenheiro Civil, Dr. Ing., professor da UFRGS

(3) Engenheiro Civil, Doutor em Engenharia, professor do C6 - UNISINOS, Av. Unisinos, 950
– CEP 93022-000 São Leopoldo, RS, E-mail claudio@indus.unisinos.br

(4) Engenheira Civil, Doutora em Engenharia, professora da UNISINOS

(5) Arquiteto, PhD, professor da UNISINOS

(6) Engenheiro Civil, Doutor em Engenharia, professor da UNISINOS

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo apresentar resultados de ensaios de comportamento mecânico realizados em compósitos obtidos pela adição de resíduos de contrafortes de calçados moídos em matriz de gesso.

O estudo permite caracterizar o comportamento mecânico do compósito frente aos ensaios de compressão, flexão e impacto de corpo duro.

O presente trabalho é tema de dissertação de mestrado e resulta do projeto de pesquisa denominado “Utilização de resíduos da indústria coureiro-calçadista no desenvolvimento de um novo material para construção civil”, financiado pela FINEP, com apoio do Centro Tecnológico do Couro, Calçados e Afins, e das empresas Artecola, Boxflex, Classil e Bidim.

ABSTRACT

This work presents the mechanical properties of composites moulded with plaster of Paris and counter scrap pieces, determined by compression impact and flexure strength tests.

This present work result from a research project called “Use of waste material produced by shoe companies in the production of a new component for the construction industry” supported by FINEP, Centro Tecnológico do Couro, Calçados e Afins, Artecola, Boxflex, Classil and Bidim.

1. INTRODUÇÃO

Dentre os diversos tipos de resíduos gerados pelo setor calçadista, estima-se a geração no Vale do Rio dos Sinos/RS cerca de oitenta toneladas/mês de resíduos no corte de peças de contrafortes, componente utilizado na região do calcaneo do sapato para garantir beleza, forma e sustentação. (KAZMIERCZAK et alli, 1998).

Assim como tantos outros resíduos industriais, existem grandes limitações tecnológicas para sua reciclagem primária, sendo seu destino final geralmente os aterros de resíduos industriais perigosos ou o descarte clandestino.

Buscando um aproveitamento do resíduo de contraforte de calçado na Indústria da Construção, este trabalho visa desenvolver um material a partir da adição do resíduo de contraforte moído em matriz de gesso, estimando-se que o resíduo comporte-se como uma fibra, proporcionando acréscimo de certas propriedades mecânicas, tendo em vista a fragilidade da matriz de gesso e, ao mesmo tempo, apontar uma alternativa de reciclagem a este resíduo.

2. MATERIAIS EMPREGADOS

2.1 Gesso

Utilizou-se como matriz um gesso nacional, disponível no mercado e com início de pega lento, permitindo a adição de resíduos e moldagem do compósito sem o uso de aditivos retardadores.

2.2 Resíduos de contraforte

Neste trabalho são utilizados resíduos provenientes do corte de placas de dois tipos de contraforte termoplástico, cuja principal diferença é o material de estrutura destes materiais:

- a) Contraforte Termoplástico Impregnado (CTI): estruturado por uma manta não tecida (Bidim) impregnada por resinas sintéticas;
- b) Contraforte Termoplástico Laminado (CTL): estruturado por uma manta tecida, impregnada por resinas sintéticas.

3. MOLDAGEM DO COMPÓSITO

Com auxílio de argamassadeira mecânica, foram realizadas diversas moldagens em fôrmas horizontais utilizando-se diferentes seqüências de mistura, teores de adição e granulometrias dos resíduos, mantendo-se a mesma relação água/gesso ($a/g = 0,57$).

Os teores de adição de resíduos testados foram de 10, 15, 20 e 25% em massa, em relação à massa de gesso, sendo que ambos resíduos foram moídos em duas faixas granulométricas distintas, com módulos de finura equivalentes à 4,3 e 5,9 respectivamente, determinados conforme a NBR 7211/83.

Desta forma, foi possível identificar os seguintes itens: a) seqüência ideal de mistura: se mostrou mais adequado misturar primeiro a água e o resíduo moído por 1 minuto com agitação mecânica,

após acrescentar o gesso, continuando a mistura com agitação mecânica por mais dois minutos; **b)** possíveis teores de adição de resíduo: a trabalhabilidade da pasta se mostrou inadequada para teores de adição superiores a 25%; **c)** granulometria do resíduo de adição: a maior granulometria ($MF=5,9$), em ambos resíduos, dificulta o procedimento de mistura e moldagem nas fôrmas; **d)** desmoldagem: a fôrma utilizada com base de compensado naval e laterais móveis de cantoneiras de alumínio devidamente untada com óleo vegetal, apresenta fácil desmoldagem após 45 minutos de cura; **e)** acabamento superficial no estado endurecido: o acabamento dos compósitos com adição de resíduo de granulometria pequena em teores de até 10% apresenta superfície lisa. Na medida em que se aumenta o teor de adição e/ou a granulometria do resíduo, a superfície superior apresenta maior rugosidade.

4. CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA

Para estudar o comportamento mecânico do compósito foram realizados ensaios de resistência à compressão, ao impacto e à flexão, verificando-se a influência das seguintes variáveis: teor de adição de resíduo, tipo de resíduo, forma de adensamento e granulometria.

Para possibilitar comparações entre os resultados e analisar o comportamento frente às variáveis, todos os corpos-de-prova foram moldados observando-se o mesmo procedimento de mistura dos materiais, cura e desmoldagem.

4.1 Resistência à compressão

A resistência à compressão dos compósitos foi determinada de acordo com o especificado na MB 3470/91, em função da carga de ruptura de corpos-de-prova cúbicos ($5x5x5\text{cm}^3$), sendo que para cada variável estudada foram moldados três corpos-de-prova, cujas médias dos resultados são apresentadas na Figura 4.1. Neste ensaio analisou-se a influência das seguintes variáveis: teor de adição de resíduo (0%, 10%, 15% e 20%); tipo de resíduo (contraforte laminado e impregnado); forma de adensamento (manual e mecânico);

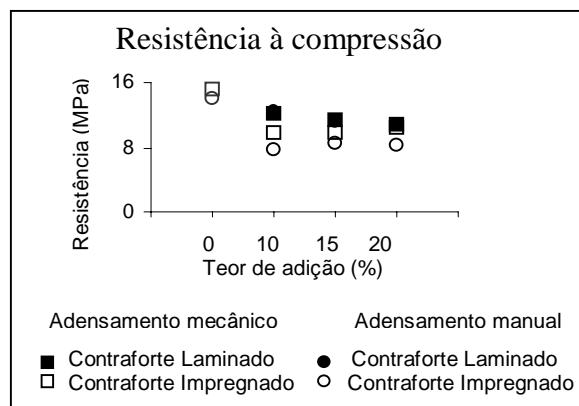


Figura 4.1 Resistência à compressão média das séries de corpos-de-prova com e sem adição de resíduos de contraforte impregnado e laminado

4.1.1 Análise dos resultados

Os resultados obtidos permitem observar que as variáveis estudadas têm influência no comportamento do compósito frente à resistência à compressão.

Verifica-se que o tipo de resíduo adicionado confere diferente comportamento frente à realização do ensaio. Tal fato pode ser observado nas distintas resistências obtidas com os corpos-de-prova com adição de resíduos de contraforte termoplástico impregnado e com adição de resíduos de contraforte termoplástico laminado. As séries de corpos-de-prova com adição de resíduos de contraforte termoplástico laminado apresentaram resistência superior às séries de corpos-de-prova com adição de resíduos de contraforte termoplástico impregnado. A forma de adensamento tem grande influência nos resultados, sendo que as séries de corpos-de-prova submetidas ao adensamento com vibração mecânica apresentaram resistência à compressão superiores às séries de corpos-de-prova submetidos ao adensamento manual. Já nas séries de corpos-de-prova com adição de resíduos de contraforte laminado, não observa-se diferença significativa quanto à forma de adensamento, uma vez que ambas apresentam resultados semelhantes.

Observou-se que com a adição de resíduos de contraforte à matriz houve uma redução na resistência à compressão da matriz. Tal fato, por sua vez indica que o compósito apresenta comportamento à compressão similar ao que ocorre nos materiais fibrosos, pois nestes, a resistência à compressão é inferior à resistência da pasta matriz devido ao aumento de porosidade do compósito, (VAHAN,1982). Neste caso, os resíduos adicionados à matriz aumentam, de forma particular de cada um, a porosidade da matriz conferindo resistências à compressão inferiores.

4.2 Resistência ao impacto

O método de ensaio utilizado foi desenvolvido a partir do Projeto de norma da Associação Brasileira de Normas Técnicas 2:02.10.084 - Piso cerâmico; determinação da resistência ao impacto - método de ensaio e na JIS 6745, já tendo sido utilizado por SAVASTANO (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 com um fissurômetro óptico o eventual surgimento de fissuras na face oposta à qual é submetida ao ensaio. Os corpos-de-prova utilizados são placas retangulares com $20 \times 30\text{cm}^2$ e 2cm de espessura. Determina-se a energia correspondente aos impactos sucessivos conforme a equação 4.1:

$$E = mg \sum_{i=1}^n h_i, \text{ onde:}$$

E = energia de impacto, resultante de n impactos (em Joules);
m = massa da esfera metálica (m = 623g)
g = aceleração da gravidade (adotado g = 9,8m/s²);
n = número de golpes sofridos pelo corpo-de-prova;
h = altura de queda da esfera **Equação 4.1**

Num primeiro momento foi realizado um estudo preliminar com o objetivo de analisar o comportamento do compósito frente a este ensaio, procurando analisar se a adição de resíduos efetivamente incrementa a resistência ao impacto da matriz e quais variáveis exercem maior influência. Para tanto, foram moldados conjuntos de corpos-de-prova compostos por quatro testemunhos com teores de adição de 10%, 15%, 20% e 25% respectivamente. Em dois conjuntos foi adicionado resíduo de contraforte impregnado, sendo um conjunto de corpos-de-prova com resíduo de granulometria com módulo de finura de 4,3 e no outro 5,9. Nos outros conjuntos, o resíduo adicionado foi de contraforte laminado, utilizando-se as mesmas

granulometrias. Também foi moldada uma série de três corpos-de-prova sem adição de resíduo para referência. Os resultados obtidos são mostrados nas figuras 4.2 à 4.5. O resultado dos corpos-de-prova sem adição de resíduo não é visualizado nas figuras porque os corpos-de-prova apresentaram rompimento na ocasião da primeira queda da esfera.

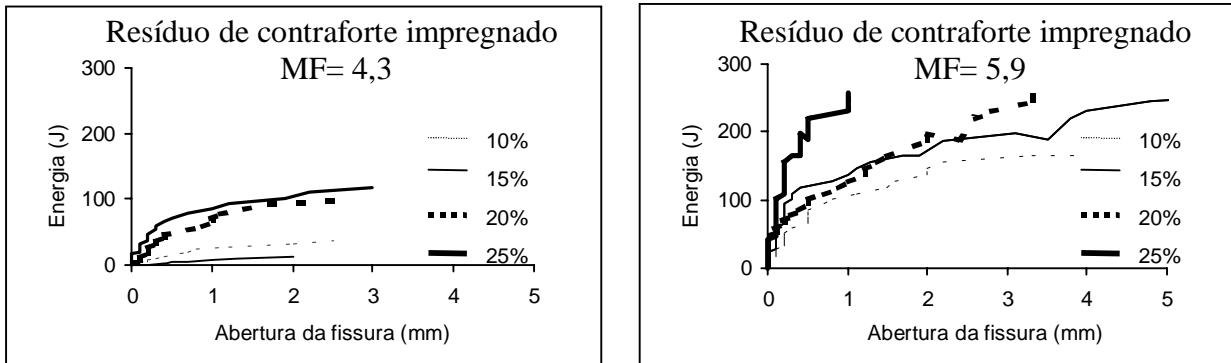


Figura 4.2 e 4.3 Resistência ao impacto de corpos-de-prova com diferentes teores de adição de resíduos de contraforte impregnado moídos com módulo de finura de 4,3 e 5,9 respectivamente.

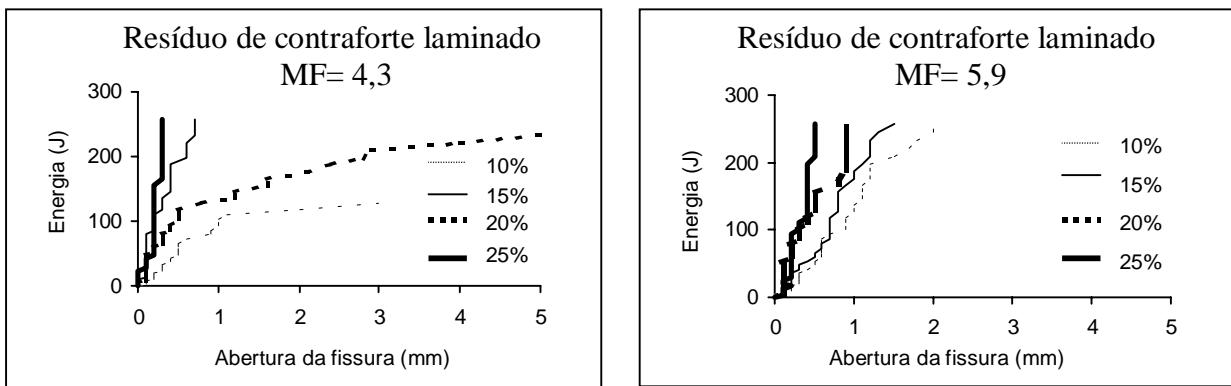


Figura 4.4 e 4.5 Resistência ao impacto de corpos-de-prova com diferentes teores de adição de resíduos de contraforte laminado moídos com módulo de finura de 4,3 e 5,9 respectivamente.

A realização destes ensaios preliminares, num primeiro momento, evidenciou a distinção de comportamentos entre os corpos-de-prova moldados com pasta de gesso e os corpos-de-prova moldados com o compósito. A matriz de gesso sem a adição de resíduo apresenta ruptura brusca, sempre ocorrendo na primeira queda da esfera, que corresponde a uma energia de 0,94J. O compósito, por sua vez, demonstrou maior ductilidade, apresentando uma deformação plástica considerável. Os resultados também evidenciam a influência das seguintes variáveis no comportamento dos compósitos: obteve-se melhor comportamento nas séries de compósitos com adição de resíduo de contraforte laminado, visto que apresentam menor propagação das fissuras; percebe-se que, em todas as séries testadas, o comportamento dos compósitos é mais apropriado na medida em que o teor de adição aumenta; para ambos resíduos, a série com granulometria maior apresentou melhor comportamento.

A partir das observações obtidas nos ensaios preliminares, foram moldadas séries de três corpos-de-prova com o objetivo de buscar uma maior compreensão do comportamento do compósito frente ao ensaio de impacto. Tendo em vista o bom comportamento dos compósitos com maiores teores de adição de resíduo aliado à necessidade de uso do material, os teores de adição

estudados nesta etapa foram de 20% e 25%. Optou-se pelo uso de resíduos com módulo de finura menor ($MF=4,3$), devido à necessidade de uma trabalhabilidade adequada do compósito no estado fresco.

A figura 4.6 apresenta a média dos resultados dos três corpos-de-prova de cada série ensaiada, segundo dois critérios: **a)** comportamento dos corpos-de-prova durante toda a realização do ensaio, com término do ensaio na ruptura do corpo-de-prova ou na energia acumulada de 227,37J, equivalente à altura de queda de 200cm da esfera (figura a); **b)** energia na qual a abertura de fissura é equivalente à 0,3mm (considerada como a maior abertura aceitável em uso) (figura b);

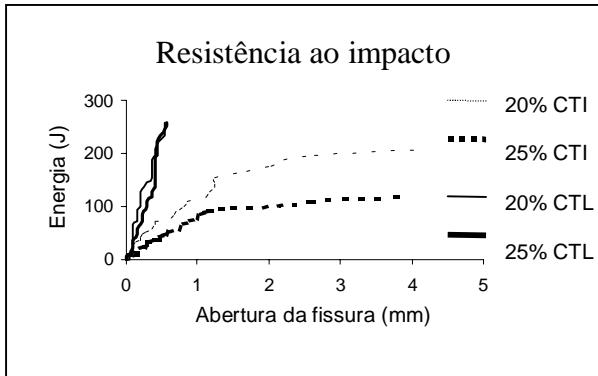


Figura 4.6a Comportamento médio das séries com adição de resíduos de contraforte termoplástico impregnado e laminado (CTI e CTL).

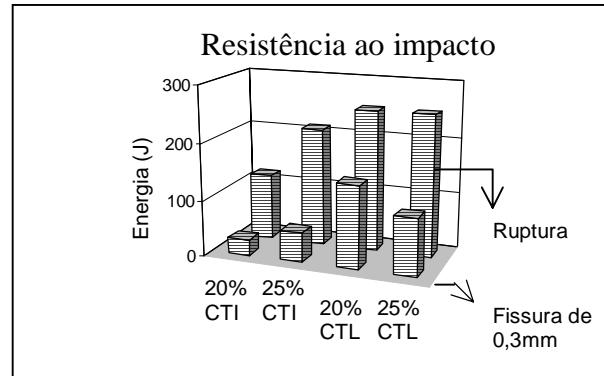


Figura 4.6b Energia necessária para atingir abertura de fissura de 0,3mm e energia na qual houve a ruptura dos corpos-de-prova.

4.2.1 Análise dos resultados

Os ensaios de resistência ao impacto confirmam as observações feitas a partir dos ensaios preliminares. A Figura 4.6a mostra que o comportamento das séries testadas é distinto, observando-se que os corpos-de-prova com adição de resíduo de contraforte termoplástico laminado apresentam maior resistência ao impacto, com menor propagação de fissura. As séries com adição de resíduos de contraforte termoplástico impregnado, por sua vez, apresentam maior propagação da fissura, principalmente nas séries de corpos-de-prova com adição em menor teor. Desta forma, observa-se na Figura 6.10b que a série de corpos-de-prova com adição de 20% de resíduos de contraforte termoplástico impregnado é a série que atinge a abertura de 0,3mm de fissura e a ruptura com menor energia, seguida da série com adição do mesmo resíduo, em teor de 25%. Nas séries de corpos-de-prova com os dois teores de adição de resíduos de contraforte termoplástico laminado observa-se comportamento semelhante.

O comportamento diferenciado apresentado pelas séries de corpos-de-prova decorrente do tipo de resíduo adicionado pode ser explicado pela diferença dos materiais em si, principalmente pelo material de estruturação empregado em cada um, pois os contrafortes com estrutura de tecido (neste caso o contraforte laminado) apresentam características mecânicas superiores aos contrafortes que utilizam estrutura de manta não tecida (contraforte impregnado). (SHERER, 1994).

Os resultados confirmam a premissa de que os contrafortes moídos conferem ao compósito propriedades típicas de materiais fibrosos. A resistência ao impacto é uma das propriedades mais

incrementadas com o uso de fibras, sendo seu maior benefício deste a modificação do comportamento do material após a fissuração, diminuindo a propagação das fissuras.(AGOPYAN, 1991; JOHN et alli, 1997). Tal comportamento é nitidamente observado nas compósitos ensaiados, pois os corpos-de-prova sem adição de resíduo submetidos ao ensaio de impacto obtiveram ruptura brusca, com aplicação de baixa energia. Já os corpos-de-prova com adição de resíduo, apresentaram deformação plástica considerável, se tornando um material de maior ductilidade.

4.3 Resistência à tração na flexão

A resistência à tração dos compósitos foi determinada baseando-se na metodologia especificada na ASTM C78-94, utilizando-se corpos-de-prova com dimensões de $25 \times 5 \text{ cm}^2$, com 2,5cm de espessura. Os ensaios foram realizados numa Máquina Universal de Ensaios, com capacidade de 100KN. Os objetivos para realização deste ensaio foram verificar se há melhoria nas características elásticas do compósito com a adição de resíduos e determinar a relação entre tensão e deformação frente à aplicação de carregamento contínuo. Os corpos-de-prova submetidos a este ensaio seguiram o mesmo critério de moldagem estabelecido no ensaio de impacto, compreendendo séries de três corpos-de-prova, com relação água/gesso = 0,57, adição de resíduos de contraforte moídos em granulometria com módulo de finura de 4,3, em teores de adição de 20 e 25%. As médias de resultados de cada série de corpo de prova é apresentada na Figura 4.7.

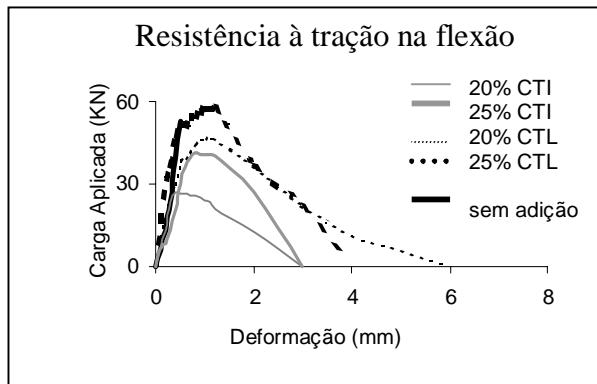


Figura 4.7 Comportamento médio das séries com adição de resíduos de contraforte termoplástico impregnado e laminado (CTI e CTL).

4.3.1 Análise dos resultados

Observa-se com o ensaio que as variáveis analisadas apresentaram influência semelhante à verificada na realização do ensaio de resistência ao impacto. Neste ensaio, a adição de resíduos de contraforte também modifica o comportamento da matriz frente ao comportamento à tração na flexão. Verifica-se que a série de corpos-de-prova sem adição de resíduo resiste a uma carga de aproximadamente 60Kgf, e em seguida ocorre a ruptura de forma brusca, sem haver deformação, enquanto que as séries com adição de resíduos de contraforte, mesmo resistindo à uma aplicação de menor carga, apresentam considerável deformação, sem ocorrer a ruptura, conferindo comportamento distinto ao da matriz. Assim como verificado no ensaio de resistência ao impacto, as séries de corpo-de-prova moldadas com adição de resíduo de contraforte

laminado apresentam resistência ao carregamento e deformação superiores às séries de corpos-de-prova com adição de resíduo de contraforte termoplástico impregnado.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados de caracterização mecânica apresentados neste trabalho indicam que o uso deste resíduo em matriz de gesso incrementa algumas propriedades, em especial a resistência ao impacto e o comportamento na flexão, apontando um promissor compósito para uso na construção civil e, ao mesmo tempo, uma alternativa de reciclagem a este resíduo industrial.

Estudos complementares estão sendo realizados pela equipe de pesquisa, estando disponíveis mediante contato com os autores.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGOPYAN, V. **Materiais reforçados com fibras para a construção civil nos países em desenvolvimento: uso de fibras vegetais.** Tese apresentada ao Concurso de Livre Docência ao Departamento de Engenharia de Construção Civil da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, julho de 1991.

JOHN, V.M. et alli. Durabilidade de compósitos de cimento e fibras vegetais. In: **Durabilidade das Construções.** São Leopoldo, 1-2 Jun 997. São Leopoldo: ANTAC, 1997

KAZMIERCZAK, C.S.; KERN, A.P.; SILVA, H.C.; SANTOS, I.S.S.; RAMIRES, M.V. **Utilização de resíduos da indústria coureiro-calçadista no desenvolvimento de um novo material para a construção civil.** In II Simpósio de Qualidade Ambiental - Gerenciamento de Resíduos e Certificação Ambiental. Anais. Porto Alegre, 26 a 28 de outubro de 1998.

SHERER, A. **Materiais.** Porto Alegre (RS), SENAI – Centro Tecnológico do Calçado, 1994, 1-66 e 117-128.

7. AGRADECIMENTOS

Agradecemos à FINEP pelo auxílio concedido na forma de fomento à pesquisa.