

AVALIAÇÃO DE MATRIZ DE GESSO COM INCORPORAÇÃO DE BORRACHA DE PNEUS PARA UTILIZAÇÃO NA CONSTRUÇÃO CIVIL

EVALUATION OF THE MATRIX OF PLASTER WITH INCORPORATION OF RUBBER OF TIRES FOR USE IN CONSTRUCTION

Nayra Alberici Pinto¹
Cesar Fabiano Fioriti²
Jordi Payá Bernabeu³
Jorge Luis Akasaki⁴

Resumo. O uso do gesso na construção civil brasileira vem crescendo continuamente nos últimos anos, quando o sistema drywall passou a ser utilizado nas vedações internas de todos os tipos de edificações. A essa utilização nova somam-se os usos tradicionais do gesso como material de revestimento e como material de fundição. Diante do exposto, este trabalho estuda algumas características físicas de compósitos de gesso produzidos com a incorporação de resíduos de borracha de pneus. No programa experimental foram realizados os seguintes ensaios: densidade de massa no estado plástico e endurecido, resistência à ruptura na flexão, resistência à compressão, resistência à tração na flexão, ultrassom e microscopia eletrônica de varredura (MEV). O teor de incorporação da borracha de pneus foi de 5% e 10% em relação à massa de gesso. Duas diferentes granulometrias de borracha foram utilizadas: a denominada fina (#0,075 mm) e a grossa (#2,38 mm). Os resultados proporcionaram uma redução no valor da densidade de massa. Identificou-se que a aderência das partículas de borracha na matriz de gesso não apresenta resultados satisfatórios na granulometria grossa. Esta deficiência de aderência, constatada na MEV, foi responsável pela menor resistência à flexão, à tração na flexão e à compressão nos compósitos com a granulometria grossa, quando comparados aos resultados dos compósitos com a granulometria fina. Com relação aos ensaios de ultrassom, constatou-se que a borracha retarda o tempo de propagação do som. Por fim, a viabilidade técnica do estudo foi testada por meio de corpos de prova, onde se mostrou ser eficiente.

Palavras-chave: Compósitos. Resíduos de recauchutagem. Material alternativo. Meio ambiente.

Abstract. The use of gypsum in the Brazilian construction industry has been growing steadily in recent years, when the drywall system started to be used in the internal seals of all types of buildings. The new use this should be added the traditional use of gypsum as coating material applied directly on walls and ceilings and as casting material. Given the above, this paper studies some physical characteristics of gypsum composites produced with the addition of tire rubber residues. The experimental program included the completion of the following tests: mass density in plastic and hardened state, tensile strength in bending, compressive strength, tensile strength in bending, ultrasound and scanning electron microscopy (SEM). The incorporation of crumb rubber content was 5% and 10% relative to the mass of gypsum. Two different tire rubber particle sizes were used: a thin called (# 0.075 mm) and thick (# 2.38 mm). The results provide a reduction in the bulk density value. It was found that the adhesion of the rubber particles in the gypsum matrix does not present satisfactory results in coarse. This adhesion deficiency, found in SEM testing, was responsible for the lower flexural strength, tensile strength in bending and compression in plaster composites with coarse when compared to the results of composites with fine grain. With respect to ultrasound testing, it was found that the rubber delays sound propagation time. Lastly, the technical feasibility of the study was tested by means of test specimens, which proved to be efficient.

Keywords: Composites. Retreading residues. Alternative material. Environment.

¹ Mestranda em Engenharia Civil pela Universidade Estadual Paulista – FEIS/UNESP, Departamento de Engenharia Civil, Ilha Solteira – SP, nayra_alberici@hotmail.com

² Professor Doutor, Universidade Estadual Paulista – FCT/UNESP, Departamento de Planejamento, Urbanismo e Ambiente, Presidente Prudente – SP, fioriti@fct.unesp.br

³ Professor Catedrático, Universitat Politècnica de Valencia – UPV, Instituto de Ciencia y Tecnología del Hormigón, Valencia, Espanha, jjpaya@cst.upv.es

⁴ Professor Doutor, Universidade Estadual Paulista – FEIS/UNESP, Departamento de Engenharia Civil, Ilha Solteira – SP, akasaki@dec.feis.unesp.br

1 INTRODUÇÃO

O gesso é um dos materiais de construção mais antigos de que se tem conhecimento. As primeiras evidências da utilização do gesso como material construtivo foi identificado nas ruínas da Turquia e da Síria, correspondendo ao ano de 7000 a.C., onde eram aplicados como argamassa para pisos, suporte de afrescos e fabricação de recipientes (Goudin e Kingery, 1975). Sua plasticidade permite produzir formas especiais e elementos diferenciados, que dependem da criatividade de quem trabalha com ele. Além disso, mantém equilibrada a umidade do ar em áreas fechadas, devido à sua facilidade em absorver água. Também apresenta vantagens nas suas propriedades termoacústicas e de resistência ao fogo. Uma das maiores deficiências do gesso como material de construção é sua suscetibilidade à água ainda que, atualmente, este aspecto esteja sendo melhorado mediante a incorporação de aditivos à base de silicones ou polímeros.

Como elemento da construção, no Brasil, o gesso aparece principalmente em forros, revestimentos e paredes divisórias, esse último chamado de chapas de gesso acartonado, a qual é constituída por um núcleo de gesso entre papel do tipo kraft dos dois lados, responsável pela estabilidade dos painéis. O consumo destes painéis tem apresentado um crescimento principalmente devido à facilidade e a rapidez da instalação das chapas, bem como facilidade de moldagem, sendo um material excelente para fabricação de elementos de acabamento e decoração, como molduras e sancas, uma vez que pode proporcionar uma superfície lisa de ótimo acabamento, tanto em revestimento de argamassa (o qual dispensa a necessidade de massa corrida na pintura, diferentemente do revestimento em argamassa convencional), quanto em painéis ou adornos.

O gesso é produzido em temperaturas relativamente baixas (140°C – 150°C), através dos processos de calcinação e desidratação do mineral gipsita, matéria prima de proveniência natural ou residual, sendo a primeira oriunda de rochas sedimentares muito solúveis e a segunda, de processos industriais que resultam na gipsita como resíduo, entre eles a fabricação do ácido fosfórico, ácido fluorídrico e ácido bórico (John e Cincotto, 2007).

Entre os principais produtores mundiais de gipsita natural estão China, Irã e Espanha (Pinheiro e Camarini, 2015). No Brasil, as principais reservas de gipsita natural se encontram associadas às bacias sedimentares, como a Amazônica, do Parnaíba, Potiguar, do Araripe e do Recôncavo, todas localizadas em áreas da região Norte e Nordeste do país. Se comparado à fabricação do cimento, que exige altas temperaturas para seu processo (1400°C – 2000°C) e libera grande quantidade de gás carbônico devido à combustão necessária para sua desidratação e calcinação, o gesso é um aglomerante menos agressivo ao meio ambiente.

O gesso apresenta diferentes propriedades no estado fresco e no estado endurecido. Durante a hidratação da pasta de gesso (estado plástico) são observadas, geralmente, as características de trabalhabilidade, tempo de pega e variação dimensional das pastas.

Quando endurecido, a microestrutura do gesso influencia diretamente nas suas propriedades físicas e mecânicas, uma vez que a resistência do material depende do tamanho e da forma dos cristais, da força de ligação entre eles, das impurezas presentes (podendo formar cristais com maior dureza ou predispostos a fraturas), da porosidade da estrutura causada pelo excesso de água de amassamento (Lewry e Williamson, 1994).

Materiais como fibras de vidro, contrafortes de calçados, fibras de sisal, polpa de celulosa e partículas de madeira, cortiça, vermiculita e resíduos industriais têm sido usados para a pesquisa e produção de compósitos de gesso, buscando alternativas para este material de construção.

De maneira paralela, a reutilização de pneus contribui para uma requalificação dos resíduos industriais de forma a evitar os aterros, a incineração ou a própria natureza como destino desses materiais. Entretanto, a recauchutagem de pneus não é um processo que zera a

produção de resíduos de borracha, apesar de reaproveitar da estrutura resistente do pneu para a produção de outros, o processo de reconstrução é uma fonte que contribui em grande número para o acúmulo de resíduos na forma de fibras e pó de borracha. Esses resíduos da recauchutagem geram um impacto visual negativo, além disso, os depósitos a céu aberto apresentam riscos de incêndios e de desenvolvimento de vetores causadores de doenças.

Tendo a problemática ambiental em vista, juntamente com o conhecimento da grande quantidade de empresas de recauchutagem existentes no Brasil, optou-se pelo uso dessa borracha de pneu neste projeto, onde antes de ser utilizada, a mesma passou por um processo de separação. Entretanto, vale ressaltar que a borracha de pneus inteiros, não apenas àquela do processo de recauchutagem, também pode ser utilizada, pois existem, ainda que em número reduzido, empresas que detêm a tecnologia do processo de reciclagem dos constituintes do pneu.

Diante do exposto, este trabalho tem por objetivo apresentar uma solução ambientalmente sustentável para ser utilizada na construção civil, utilizando resíduos de borracha de pneus incorporados em matriz de gesso.

2 METODOLOGIA

A metodologia do projeto se dividiu em três etapas que são apresentadas na sequência.

2.1 ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DOS MATERIAIS

São apresentados os ensaios que foram realizados em cada material utilizado.

2.1.1 Borracha de pneus

A borracha de pneus utilizada no projeto foi fornecida por uma empresa recauchutadora, situada em Ilha Solteira-SP, a qual realiza o processo de recauchutagem de pneus exclusivamente para caminhões e máquinas pesadas.

Visando observar a influência deste material nos compósitos de gesso produzidos, a borracha de pneus foi submetida a um processo de peneiramento classificatório, onde foi separada em duas faixas granulométricas bem definidas, apresentando inclusive fácil distinção visual. Tais faixas granulométricas foram doravante denominadas de fina ($\#0,075$ mm) e grossa ($\#2,38$ mm):

- borracha fina, apresenta forma granular (tipo pó), Figura 1a;
- borracha grossa, tem forma alongada (tipo fibra), apresentando comprimento máximo de cerca de 30 mm e espessura de 2 mm a 3 mm, Figura 1b.

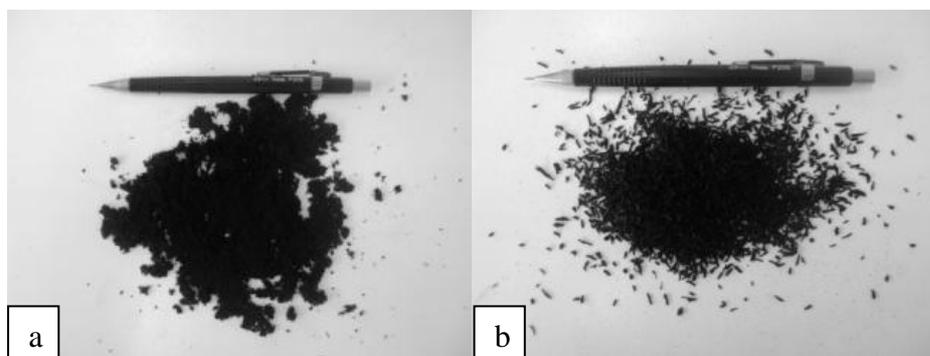


Figura 1. Borracha de pneus da recauchutagem: a) Granulometria de borracha fina; b) Granulometria de borracha grossa.

A definição das duas diferentes granulometrias de borracha de pneus – denominada de fina e grossa – foi feita objetivando o maior uso possível deste material residual, que diante das faixas granulométricas apresentadas foi de 94,1% do total da amostra. Com isso o 5,9% de material restante ficou constituído de pedaços grandes da banda de rodagem dos pneus, sendo excluídos deste estudo. Assim, as faixas granulométricas escolhidas apresentam fácil distinção visual, e outro aspecto importante é que utilizando essas frações, em que as mesmas representam praticamente o volume total dos resíduos de recauchutagem, o meio ambiente será beneficiado.

Na Tabela 1 são apresentados os resultados dos ensaios de:

- massa específica aparente: ABNT NBR NM 45:2006;
- massa específica absoluta: “Determinação da massa específica com auxílio do frasco picnômetro” e “Teorema de Arquimedes”.

Tabela 1. Resultados dos ensaios de massa específica da borracha de pneus

Material	Massa específica (g/cm ³)	
	Aparente	Absoluta
Borracha	0,32	1,15

Os resultados da Tabela 1 mostram que a massa específica da borracha pode ser considerada baixa, sendo que a massa específica aparente apresenta um valor 72,17% menor que a massa específica absoluta. A determinação da massa específica é importante para o proporcionamento dos materiais, pois conhecendo o seu resultado é possível calcular o consumo de materiais utilizados para a produção das misturas.

A Tabela 2 e a Figura 2 apresentam os resultados do ensaio de:

- análise granulométrica: ABNT NBR NM 248:2003.

Tabela 2. Análise granulométrica da borracha

Ø Diâmetro (mm)	Massa retida (g)	% Retida em cada peneira	% Retida acumulada	% Passada em cada peneira
4,76	8,94	3,58	3,58	96,42
2,38	29,16	11,66	15,24	84,76
1,19	61,86	24,74	39,99	60,01
0,80	58,66	23,46	63,45	36,55
0,60	34,80	13,92	77,37	22,63
0,30	35,45	14,18	91,55	8,45
0,15	18,61	7,44	99,00	1,00
0,07	2,52	1,01	100,00	0,00
Σ	250,00	100,00		

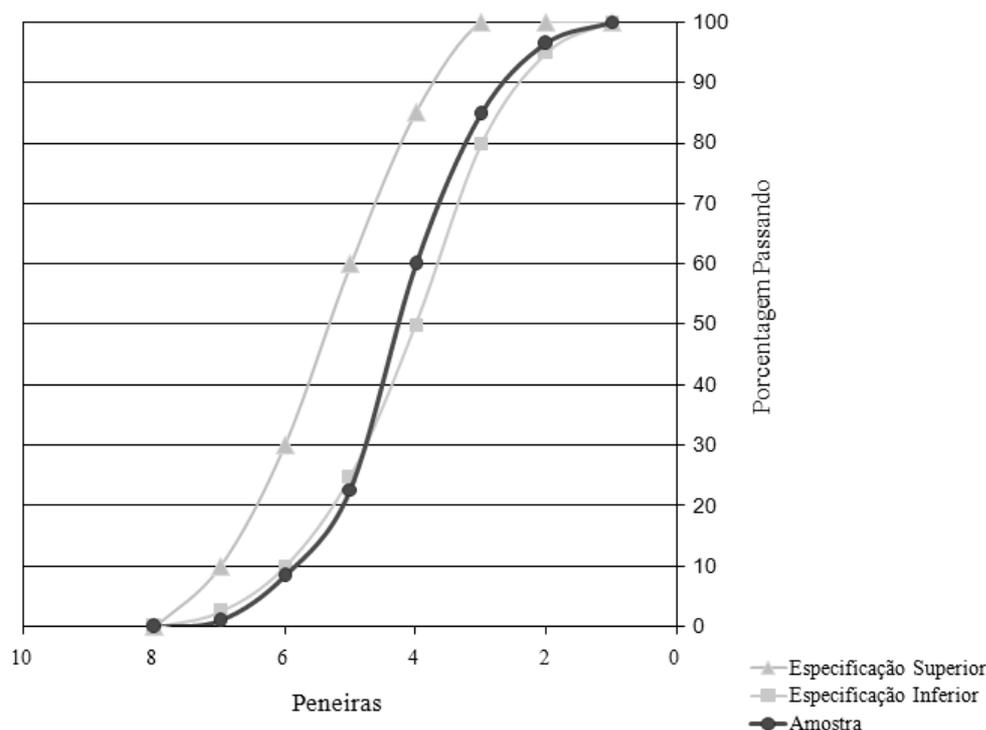


Figura 2. Curva granulométrica da borracha

Analisando as características da borracha, apresentadas na Tabela 2 e Figura 2, verifica-se que o módulo de finura fica abaixo dos valores normalmente encontrados nos agregados naturais. Isso se deve a distribuição granulométrica da borracha ser bem diferente, somado ainda o formato e a textura das partículas. Considera-se também que o sistema de beneficiamento da borracha e a sua composição devem ter influência direta sobre os resultados obtidos. A curva obtida evidenciou um material de granulometria contínua, sendo este um fator desejável, pois permite um melhor arranjo entre as partículas da borracha.

2.1.2 Gesso

Foi utilizado gesso calcinado, sendo este um material utilizado para reparar paredes de gesso, em forros e em outros elementos decorativos. A Tabela 3 apresenta as características físicas observadas no gesso utilizado.

Tabela 3. Características do gesso

Características técnicas do gesso	
Índice de pureza	> 75%
Granulometria	0-1 mm
Dureza superficial	≥ 45 C
Massa específica aparente	0,69 g/cm ³
Resistência à compressão	8,60 MPa
pH	> 6

De acordo com a Tabela 3, o gesso utilizado no trabalho apresenta resultados conforme determina as exigências físicas e mecânicas prescritas pela ABNT NBR 13207:1994. Dessa forma, algumas propriedades específicas do gesso garantem um adequado desempenho quando este material é utilizado como aglomerante.

2.1.3 Preparação dos compósitos de gesso

Em uma primeira etapa foi preparada a pasta de gesso denominada Controle. Esta pasta Controle constituiu o compósito de gesso que serviu como parâmetro de comparação dos resultados do programa experimental. A pasta de gesso Controle utilizou um fator água/gesso (a/g) de 0,60. Um misturador planetário foi utilizado para realizar a mistura dos compósitos de gesso.

O teor de incorporação da borracha de pneus foi de 5% e 10% em relação à massa de gesso, onde o fator água/gesso (a/g) sofreu uma redução de 0,02, e de 0,04, passando a ser o fator a/g de 0,58 e de 0,56, respectivamente, tendo em vista que a borracha de pneus não absorve água, e conseqüentemente não ocorresse exsudação nos compósitos.

Dessa maneira, o plano experimental incluiu a execução em laboratório de compósitos com a incorporação de 5% e 10% de borracha de pneus em relação à massa de gesso, constituindo um total de cinco compósitos, em que foram utilizadas duas diferentes granulometrias de borracha (#0,075 mm, e #2,38 mm):

- Controle → pasta de gesso (sem borracha);
- CF-5% → compósito de gesso com 5% em massa de borracha fina;
- CG-5% → compósito de gesso com 5% em massa de borracha grossa.
- CF-10% → compósito de gesso com 10% em massa de borracha fina;
- CG-10% → compósito de gesso com 10% em massa de borracha grossa.

2.3 ENSAIOS DO PROGRAMA EXPERIMENTAL

2.3.1 Densidade massa

De acordo com a ABNT NBR 9778:2005 foram preparados quatro corpos de prova prismáticos (dimensões: 160 mm x 40 mm x 40 mm) para cada um dos compósitos produzidos. Os corpos de prova utilizados nesse ensaio, aos 3 e 7 dias de idade, foram secos em estufa até atingirem massa constante.

Após a preparação dos corpos de prova, os mesmos foram medidos com auxílio de uma régua, com exatidão de 1 mm, registrando suas dimensões. Posterior a isso foi anotada a massa (m) dos corpos de prova. Depois ocorreu o cálculo da densidade superficial de massa dos quatro corpos de prova por compósito produzido.

2.3.2 Resistência à ruptura na flexão

Executado conforme as prescrições da ABNT NBR 14717:2001 em que foram utilizados quatro corpos de prova, tipo chapas (dimensões: 400 mm x 300 mm x 15 mm) por compósito confeccionado, aos 7 dias de idade.

Os corpos de prova foram colocados sobre dois apoios cilíndricos de 15 mm de diâmetro (Figura 3), espaçados um do outro por 250 mm. Uma carga progressiva foi aplicada no meio do vão por um rolo cilíndrico de igual diâmetro dos apoios, e comprimento de 350 mm.

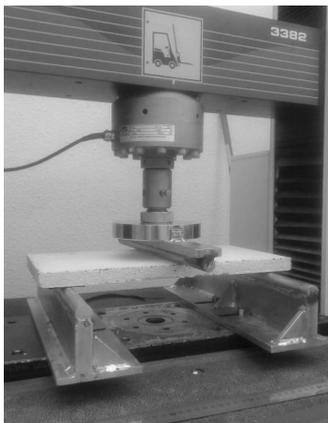


Figura 3. Ensaio de resistência à ruptura na flexão em chapa de gesso com borracha

2.3.3 Resistência à tração na flexão

O ensaio de resistência à tração na flexão foi realizado segundo especificações da ABNT NBR 13279:2005. Os rompimentos foram realizados nas idades de 3 e 7 dias, com três corpos de prova prismáticos por idade e compósito produzido. As dimensões dos corpos de prova foram de 160 mm (comprimento) x 40 mm (largura) x 40 mm (altura). Neste ensaio, um carregamento central é aplicado ao corpo de prova prismático, que é colocado sobre dois apoios, ficando um vão entre eles (Figura 4).

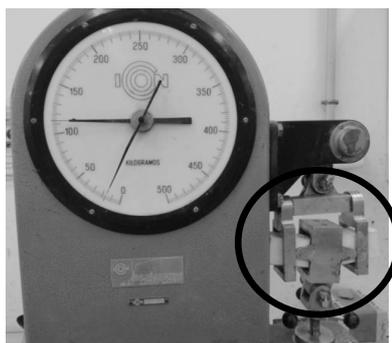


Figura 4. Ensaio de resistência à tração na flexão em corpo de prova prismático de gesso com borracha, com detalhe do local onde é aplicada a carga

2.3.4 Resistência à compressão

O ensaio de resistência à compressão foi realizado de acordo com prescrições da ABNT NBR 13279:2005. Os rompimentos foram realizados nas idades de 3 e 7 dias, com quatro corpos de prova por idade e compósito produzido. O método compreende a determinação da resistência à compressão de corpos de prova cúbicos, com arestas de 40 mm. As amostras foram carregadas até sua ruptura. A resistência à compressão foi determinada a partir de ensaios realizados nos corpos de prova prismáticos utilizados na obtenção da resistência à tração na flexão (Figura 5).



Figura 5. Ensaio de resistência à compressão em corpo de prova cúbico de gesso com borracha, com a apresentação do mesmo após seu rompimento na prensa

2.3.5 Ultrassom

O método do ultrassom consiste em um ensaio não destrutivo baseado no conceito de que a velocidade com que as ondas ultrassônicas, longitudinais, atravessam a estrutura está relacionada com as propriedades do material analisado. Este tipo de ensaio é muito usado na detecção de defeitos internos como, por exemplo, a presença de vazios, a existência de microfissuras, a profundidade das microfissuras, bem como alterações nas propriedades físicas do material estudado.

Foi utilizado o aparelho Ultrasonic Tester, modelo BP7, com transdutores de seção exponencial de 45 kHz de frequência de ressonância. Foram confeccionados dois corpos de prova prismáticos por compósito de gesso produzido, de dimensões: 160 mm (comprimento) x 40 mm (largura) x 40 mm (altura), ensaiados aos 3 dias de idade, em que o resultado apresentado foi a média obtida nos dois corpos de prova ensaiados.

2.3.6 Microscopia eletrônica de varredura

A microscopia eletrônica de varredura (MEV) é um dos mais versáteis instrumentos disponíveis para a observação e análise de características microestruturais de objetos sólidos. A principal razão de sua utilidade é a alta resolução que pode ser obtida quando as amostras são observadas; valores da ordem de 2 a 5 nanômetros são geralmente utilizados. Outra característica importante é a aparência tridimensional da imagem das amostras, resultado direto da grande profundidade de campo. Permite, também, o exame em pequenos aumentos e com grande profundidade de foco, o que é extremamente útil, pois a imagem eletrônica complementa a informação dada pela imagem óptica.

A análise com a MEV foi realizada em fragmentos dos corpos de prova cúbicos (Figura 6) rompidos na compressão, aos 7 dias de idade, com os compósitos de gesso Controle e com 10% de incorporação de borracha.

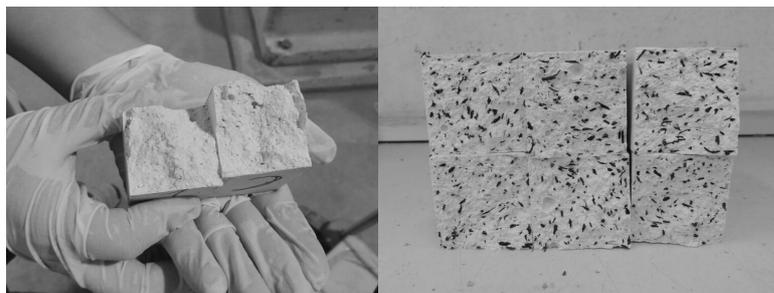


Figura 6. Corpos de prova fragmentados dos compósitos Controle e com 10% de incorporação, após o ensaio de resistência à compressão, que foram utilizados na MEV

3 RESULTADOS E ANÁLISE

3.1 DENSIDADE DE MASSA

A densidade de massa é utilizada para determinar o rendimento do compósito no estado plástico e influencia significativamente diversas propriedades no estado plástico e endurecido. O valor da densidade de massa no estado endurecido é um indicativo da compacidade resultante da proporção de mistura borracha/gesso e da distribuição granulométrica do conjunto. Esta análise determina indiretamente o volume de vazios incorporados pela quantidade de água de amassamento perdida por evaporação. A Figura 7 apresenta os resultados de densidade de massa aparente no estado fresco e endurecido.

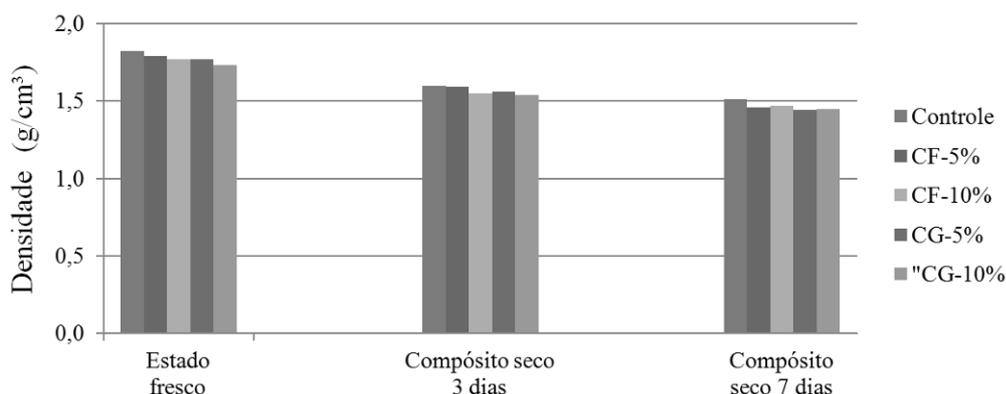


Figura 7. Resultados dos ensaios de densidade de massa

Os resultados do ensaio demonstraram que a incorporação de borracha de pneus causa uma redução na densidade de massa dos compósitos, o que se explica pelo fato da borracha ser um material leve, e também pelo fato de que ao adicionar a borracha no compósito o teor de ar incorporado tende a aumentar. Diante disso, todos os compósitos produzidos com a borracha apresentaram valores inferiores ao do traço Controle.

Porém, pela Figura 7, percebe-se que os valores de densidade de massa aparente dos compósitos em relação as duas granulometrias estudadas estão muito próximos, e que em relação à idade manteve uma determinada constância, sofrendo poucas variações.

No estado fresco, a diferença nos valores da densidade de massa aparente para o compósito Controle em relação aos compósitos produzidos com 5% de borracha foi de 1,65% e de 2,75%; para as granulometrias fina e grossa, respectivamente. Nos compósitos com 10% de borracha a diferença foi de 2,75% e de 4,94%; para as granulometrias fina e grossa, respectivamente.

Para os compósitos no estado endurecido a maior diferença entre os resultados do compósito Controle em relação aos compósitos constituídos com borracha foram de 3,75% (CG-10%) aos 3 dias de idade, e de 4,63% (CG-5%) aos 7 dias de idade.

3.2 RESISTÊNCIA À RUPTURA NA FLEXÃO

Os resultados obtidos no ensaio de resistência à ruptura na flexão, realizados aos 7 dias de idade, em dois corpos de prova por compósito produzido, são apresentados na Tabela 3 e Figura 8.

Tabela 3. Resultados dos ensaios de resistência à ruptura na flexão

Compósitos	Máxima carga de flexão (N)	Máxima extensão por flexão (mm)	Máximo esforço de flexão (MPa)
Controle	859,59	0,415	2,66
CF-5%	824,61	0,613	2,55
CF-10%	740,02	0,52	2,29
CG-5%	679,20	0,81	2,10
CG-10%	530,19	0,62	1,64

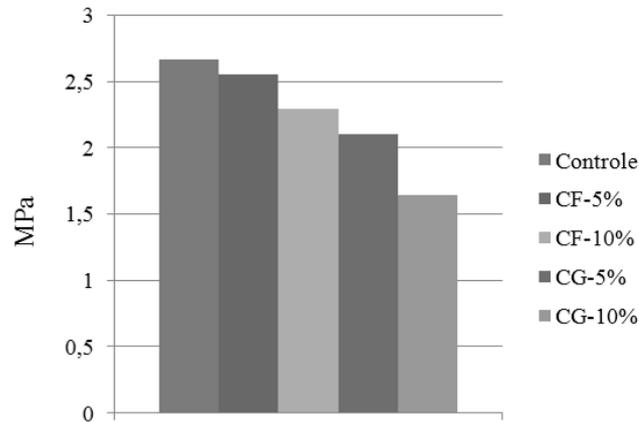


Figura 8. Resultados dos ensaios de resistência à ruptura na flexão

Conforme os resultados da Tabela 3 e da Figura 8, constatou-se que com a incorporação da borracha ocorreu a redução do máximo esforço de flexão nos compósitos produzidos. Os compósitos com a granulometria fina CF-5% e CF-10% apresentaram os melhores resultados, respectivamente com 4,13% e 13,91% abaixo da pasta Controle. Enquanto os compósitos com a granulometria grossa CG-5% e CG-10% apresentaram resultados inferiores, respectivamente com 21,05% e 38,34% abaixo do apresentado pela pasta Controle.

De acordo com a Tabela 3 percebe-se que todos os compósitos com incorporação de borracha apresentaram maior deformação antes de sua ruptura, quando comparados com a pasta Controle. Os compósitos com a granulometria grossa CG-5% e CG-10% apresentaram maiores deformações que os compósitos com a granulometria fina CF-5% e CF-10%, indicando que a borracha na dimensão de fibras auxilia na integridade do corpo de prova.

3.3 MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA

Neste caso, os resultados se referem apenas a pasta de gesso Controle e os compósitos com 10% de incorporação de borracha de pneus, ambos aos 7 dias de idade. Assim, está apresentada na sequência a Figura 9, que foi obtida a partir da pasta de gesso Controle, do compósito CF-10% (incorporação de 10% borracha fina) e do compósito CG-10% (incorporação de 10% de borracha grossa).

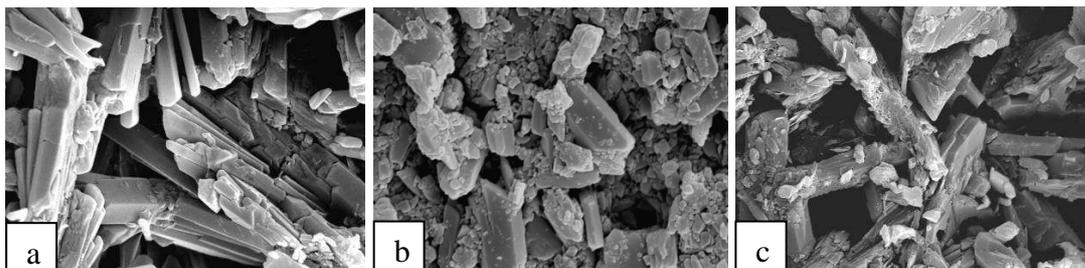


Figura 9. Resultados da MEV: a) Pasta Controle (aumento de 5000 vezes); b) CF-10% (aumento de 4000 vezes); c) CG-10% (aumento de 3000 vezes)

Percebe-se através da Figura 9 que o gesso se cristalizou de maneira diferente em relação à pasta Controle e os compósitos com incorporação de borracha de pneus.

Na pasta Controle o produto da reação do gesso com a água tem forma prismática e bem alongada (Figura 10a). Já a cristalização do gesso nos compósitos com borracha se deu de maneira diferente, ainda prismática, mas menos alongada do que na pasta Controle (Figuras 10b e 10c).

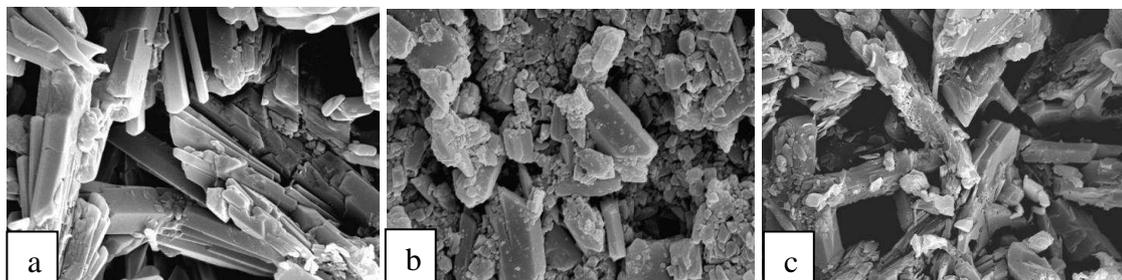


Figura 10. a) Imagem da pasta Controle (aumento de 5.000 vezes); b) Imagem do CF-10% (aumento de 4000 vezes); c) Imagem do CG-10% (aumento de 3000 vezes)

Outra característica importante observada com esse ensaio foi a aderência entre a pasta de gesso e as partículas de borracha. No compósito CF-10% percebeu-se uma melhor aderência entre o gesso e a borracha (Figura 11a e 11b), não havendo muitos vazios no compósito. Porém no compósito CG-10% a aderência não se mostrou eficiente, podendo ser vista uma zona de separação clara entre o gesso e as fibras de borracha (Figura 11c).

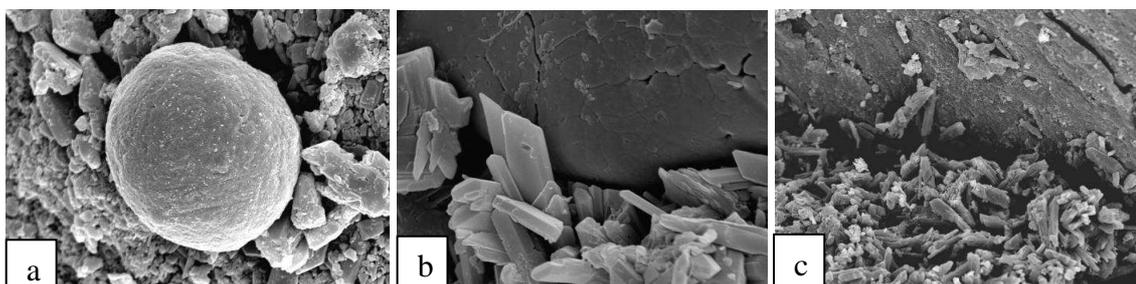


Figura 11. a) Imagem do CF-10% (aumento de 3000 vezes); b) Imagem do CF-10% (aumento de 4000 vezes); c) Imagem do CG-10% (aumento de 1000 vezes)

Portanto, notou-se que a cristalização de gesso foi realizada de maneira diferente entre a pasta Controle e os compósitos com a incorporação de borracha. Outra observação diz respeito à adesão entre as partículas de borracha e gesso, em que a borracha fina ficou melhor ligada ao gesso, em comparação com a granulometria de borracha grossa, que mostrou mais lacunas entre eles.

3.4 RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO

Os resultados obtidos no ensaio de resistência à tração na flexão, realizados nas idades de 3 e 7 dias, em três corpos de prova por compósito produzido, encontram-se na Tabela 4 e Figura 11.

Tabela 4. Resultados dos ensaios de resistência à tração na flexão

Compósitos	Idade: 3 dias	Idade: 7 dias
	Resistência (MPa)	Resistência (MPa)
Controle	2,84	4,23
CF-5%	2,87	3,97
CF-10%	2,32	3,68
CG-5%	2,07	2,94
CG-10%	1,86	2,65

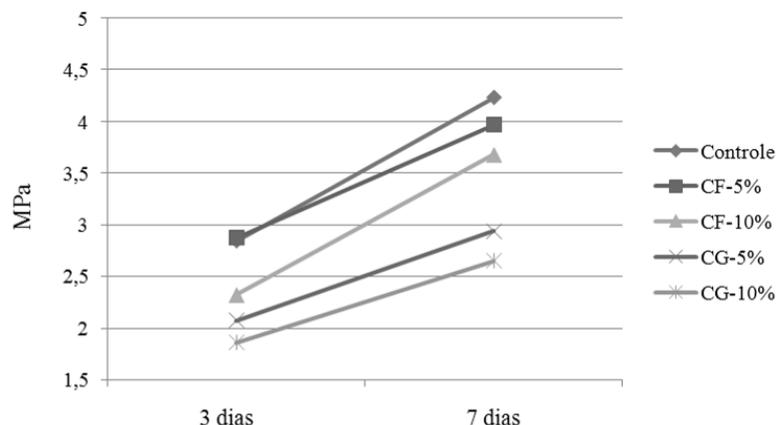


Figura 11. Resultados dos ensaios de resistência à tração na flexão

Com a Tabela 4 e a Figura 11 é possível perceber que, com a adição da borracha, a resistência à tração na flexão tende a diminuir, porém o maior resultado aos 3 dias de idade foi obtido com o compósito CF-5% (2,87 MPa).

Aos 7 dias de idade houve uma melhora na resistência a tração na flexão de todos os compósitos produzidos. Os resultados mais elevados foram obtidos pela pasta Controle (2,84 MPa e 4,23 MPa, respectivamente aos 3 e 7 dias de idade), mas os resultados dos compósitos de gesso com borracha de pneus também se mostraram satisfatórios, já que os corpos de prova com borracha fina obtiveram também resultados considerados elevados, principalmente o compósito CF-10% que obteve o maior ganho de resistência à tração na flexão (58,62%) em relação a sua idade de 3 dias. Assim, aos 7 dias de idade, os compósitos com borracha fina apresentaram resultados com perda de resistência à tração na flexão de 4,15% e 13,00%, respectivamente para os compósitos CF-5% e CF-10%, quando comparados com a pasta Controle.

Com relação aos compósitos com a granulometria de borracha grossa, percebeu-se também grande trabalho das fibras de borracha em manter a integridade dos corpos de prova, mesmo após seu rompimento (Figura 12).



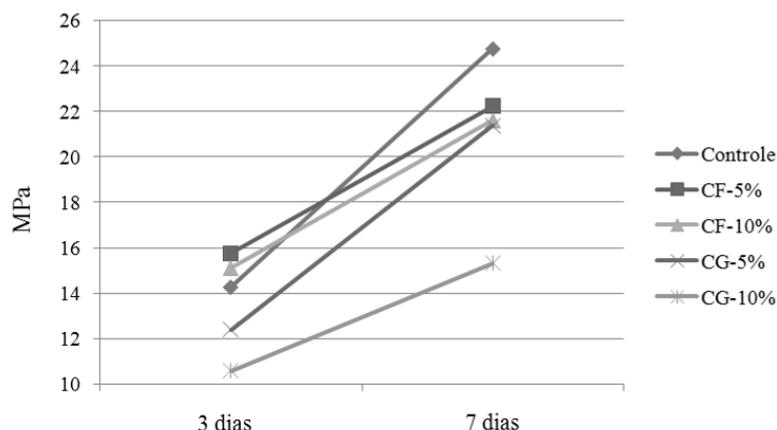
Figura 12. Corpo de prova prismático com 10% de borracha grossa após ruptura

3.5 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Os resultados dos ensaios de resistência à compressão, somente nas idades de 3 e 7 dias, em quatro corpos de prova por compósito produzido, encontram-se na Tabela 5 e Figura 13.

Tabela 5. Resultados dos ensaios de resistência à compressão

Compósitos	Idade: 3 dias	Idade: 7 dias
	Resistência (MPa)	Resistência (MPa)
Controle	14,28	24,75
CF-5%	15,77	22,24
CF-10%	15,12	21,60
CG-5%	12,40	21,36
CG-10%	10,60	15,31

**Figura 13.** Resultados dos ensaios de resistência à compressão

Com resultados obtidos no ensaio de resistência à compressão aos 3 dias de idade, percebe-se que os compósitos CF-5% e CF-10% obtiveram resistências superiores em 10,43% e 5,88% respectivamente, em relação a pasta Controle, enquanto os compósitos CG-5% e CG-10% apresentaram os valores mais baixos.

Aos 7 dias de idade percebeu-se uma melhora em todos os compósitos em comparação com os resultados aos 3 dias de idade, sendo que a pasta Controle obteve o resultado mais elevado (24,75 MPa). Os compósitos CF-5%, CF-10% e o CG-5% não apresentaram grandes variações nos resultados, porém observa-se um aumento de resistência considerável no compósito CG-5%, da ordem de 72,36% em comparação a idade de 3 dias. Diante disso, aos 7 dias de idade, os compósitos com borracha fina apresentaram resultados com perda de resistência à compressão de 10,14% e 12,73%, respectivamente para os compósitos CF-5% e CF-10%, quando comparados com a pasta Controle.

3.6 ULTRASSOM

O ensaio de ultrassom foi feito antes do rompimento dos corpos de prova, aos 3 dias de idade, em dois corpos de prova por compósito produzido, seus resultados são apresentados na Tabela 6.

Tabela 6. Resultados obtidos com o ensaio de ultrassom

Compósitos	Tempo (μ s)	Distância (m)	Velocidade (m/s)
Controle	61,05	0,20	3275
CF-5%	81,75	0,20	2465
CF-10%	74,55	0,20	2685
CG-5%	65,95	0,20	3035
CG-10%	72,65	0,20	2755

Com esse ensaio (Tabela 6) foi possível perceber a diferença de velocidade do ultrassom entre as extremidades do corpo de prova e o quanto as partículas de borracha de

pneus podem interferir nessa velocidade. Com a incorporação de borracha ao gesso a velocidade tende a diminuir, pois a borracha retarda o tempo de propagação do som, que no gesso, por ser uma pasta uniforme, é mais rápido. Os compósitos com granulometria fina CF-5% e CF-10% propiciaram uma redução, respectivamente de 24,73% e 18,02%; quando comparados ao resultado da pasta Controle. Estes resultados indicam que a granulometria fina retarda mais o tempo de propagação do som quando comparada com a granulometria grossa, pois ocorreu uma redução de 17,40% e 2,14% da velocidade de propagação do som entre as granulometrias fina e grossa, respectivamente.

Assim, a incorporação de borracha pode auxiliar na melhora das condições acústicas de paredes de alvenaria, bem como em revestimentos de forros e paredes divisórias executados com placas de gesso para interiorização de ambientes.

4 CONCLUSÃO

Pode-se afirmar que o teor e a granulometria de incorporação de borracha que se mostrou mais adequado foi o compósito CF-10% (com 10% em massa de borracha fina).

Os materiais utilizados se mostraram compatíveis entre si, não havendo indícios de degradação visíveis em decorrência de interações intrínsecas nos compósitos produzidos. Além disso, a incorporação de 10% em massa de borracha fina representa um bom volume de resíduos que serão aproveitados, já que a densidade da borracha de pneus é considerada baixa.

Diante do exposto, a viabilidade técnica do estudo se mostrou ser eficiente. Quanto aos aspectos sociais, a solução proposta permite a utilização de um resíduo que é gerado em grandes quantidades no país, face ao grande número de empresas de recauchutagem. Por fim, pode-se constatar a importância dos resíduos de pneus para a elaboração de materiais de construção alternativos. Pois o estudo desse tipo de resíduo visa a preservação do meio ambiente e a redução do impacto gerado pelo setor da construção civil.

AGRADECIMENTO

À agência de fomento FAPESP – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, pelo auxílio financeiro.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR NM-45: Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006.

_____. NBR NM-52: Agregado miúdo – Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2009.

_____. NBR NM-248: Agregados – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

_____. NBR-9778: Argamassa e concreto endurecido – Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 2005.

_____. NBR-12127: Gesso para construção – Determinação das propriedades físicas do pó – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1994.

_____. NBR-12128: Gesso para construção – Determinação das propriedades físicas da pasta – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1991.

_____. NBR-12129: Gesso para construção – Determinação das propriedades mecânicas – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1991.

_____. NBR-13207: Gesso para construção civil – Especificação. Rio de Janeiro, 1994.

_____ NBR-13279: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro, 2005.

_____ NBR-14717: Chapas de gesso acartonado – Determinação das características físicas. Rio de Janeiro, 2001.

GOURDIN, W. H., KINGERY, W. D. The beginnings of pyrotechnology: neolithic and egyptian lime plaster. *Journal of Field Archaeology*, v. 2, n. 1, p. 133-150, 1975.

JOHN, V. M., CINCOTTO, M. A. Gesso de construção civil. In: Isaia, G. C. *Materiais de Construção Civil*. São Paulo: IBRACON, p. 727-760, 2007.

LEWRY, A. J., WILLIAMSON, J. The setting of gypsum plaster: Part II The development of microstructure and strength. *Journal of Materials Science*, n. 29, p. 5524-5528, 1994.

PINHEIRO, S. M. M., CAMARINI, G. Characteristics of gypsum recycling in different cycles. *International Journal of Engineering and Technology (IJET)*, v. 7, p. 215-218, 2015.