

ARGAMASSA COM PARTÍCULAS DE BORRACHA DERIVADA DA RECICLAGEM DE PNEUS INSERVÍVEIS



Mara Regina Pagliuso
Rodrigues
Escola de Engenharia de
São Carlos. USP
Brasil
marar@sc.usp.br



Osny Pellegrino Ferreira
Escola de Engenharia de
São Carlos. USP
Brasil
osnypefe@sc.usp.br

RESUMO:

Este trabalho investiga a utilização de partículas de borracha obtidas pela trituração mecânica de pneus inservíveis em uma matriz de cimento Portland, constituindo uma argamassa com as características de compósito que apresenta propriedades mecânicas adequadas para a produção de painéis cimentícios. As partículas de borracha são selecionadas segundo suas dimensões e submetidas a um prévio estudo granulométrico para obtenção da sua melhor compactação, e a seguir aglomeradas com pasta de cimento Portland, contendo adições e aditivos superplastificantes a base de cadeias de *éter-carboxilatos*, para redução da água de amassamento e adequada fluidez, empregando-se para tanto o método de Kantro, também conhecido como de “mini slump”. Com esta argamassa, associada a uma armadura não metálica constituída de telas de fibra de vidro tipo “E”, podem ser produzidas placas utilizáveis em revestimentos especiais para absorção acústica, painéis tipo drywall, etc. A transformação desta borracha proveniente da reciclagem de pneus, em novos produtos para a construção civil, acarreta a mitigação do impacto gerado pelos pneus inservíveis, e possibilita um novo nicho de mercado envolvendo a preocupação com o meio ambiente, e que aqui se consolida com a transferência para o setor produtivo dos conhecimentos gerados na universidade.

Palavras chave: compósito; reciclagem; pneus; borracha; resíduo; fibra de vidro.

1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento de materiais ecologicamente corretos e a melhor adequação dos processos de produção constituem-se numa necessidade para mitigar os problemas ambientais no mundo contemporâneo.

São significativas as interferências da construção civil ao meio ambiente, que decorrem das ações e atividades inerentes ao processo produtivo, incluindo desde a obtenção dos insumos básicos, a produção dos componentes e elementos construtivos, como também a etapa de utilização do espaço construído, face às condições impostas pelo usuário.

Atualmente, tem se buscado alternativas para minimizar esse problema por meio de estudos que consideram vários aspectos como: reciclagem; redução de desperdícios e de energia; utilização de materiais provenientes de fontes renováveis; aproveitamento de resíduos e especificação de materiais e componentes que demandem menor consumo energético em sua produção e utilização.

A indústria da construção civil pode ser considerada atualmente como a que possui maior potencial para absorver resíduos e subprodutos gerados por outros setores industriais. A reciclagem de resíduos na forma de materiais e componentes para a construção civil tem sido uma alternativa bem sucedida em diversos casos. Esta medida gera para a sociedade uma série de benefícios, 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 no meio ambiente.

Constata-se, no Brasil, que enquanto o aproveitamento de alguns resíduos sólidos evoluiu nas últimas décadas, outros materiais tais como os pneus inservíveis e demais derivados da borracha, continuam sendo dispostos inadequadamente no meio ambiente.

São vários os impactos que os pneus podem causar ao meio ambiente, e sendo os materiais que compõem a estrutura dos pneus de difícil decomposição, a sua disposição final torna-se mais complexa. O desafio atual para mitigar os danos ambientais causados por estes resíduos no Brasil e no mundo consiste em aplicar as alternativas tecnológicas para o aumento da vida útil dos pneus, fomentar sua reutilização e promover a reciclagem dos pneus inservíveis.

Para que se possa realmente resolver a questão temos que mudar a ótica de destinação final adequada para melhor tecnologia de tratamento disponível, ambientalmente segura e economicamente viável para os pneus inservíveis. Com esta mudança poderemos melhor gerir o problema e, por conseguinte, garantir um reuso dos componentes do pneu na cadeia produtiva.

Segundo a NBR 10.004/2004 da ABNT [1], o rejeito da borracha é classificado como Resíduo Classe III – inerte, por não conter metais pesados, não sofrer lixiviação e não ser solúvel em água.

Ambientalmente falando, pode-se definir pneus como resíduos sólidos particularmente intratáveis, uma vez que não se decompõem, podem desencadear efeitos nocivos e adversos se utilizados em incineradores de resíduos domésticos, podem romper a compactação em aterros, e empilhados, são ambiente propício para o desenvolvimento de mosquitos e roedores, além de apresentarem risco potencial de incêndio e serem visualmente indesejáveis CIMINO et al [2]. A figura 1 mostra as partes que compõem um pneu, e na Tabela 1 estão descritos os percentuais dos vários componentes.

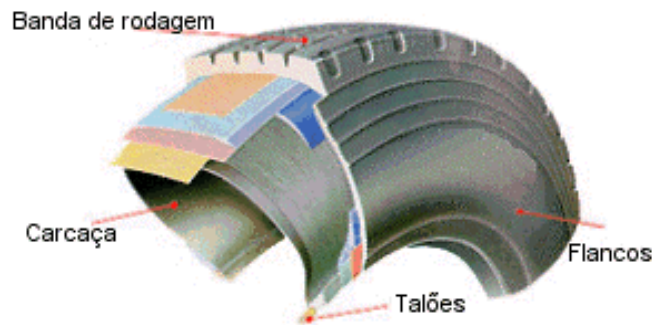


Figura 1 – Partes componentes do pneu.

Fonte: <http://www.rodasepneus.com.br>(acessado em 18/08/2008)

A definição das partes constituintes do pneu é feita da seguinte maneira:

- Carcaça: Parte resistente do pneu que deve resistir à pressão, peso e choques. Compõe-se de lonas de poliéster, nylon ou aço;
- Talões: Constituem-se internamente de arames de aço de grande resistência, tendo por finalidade manter o pneu fixado ao aro da roda;
- Flancos: São as laterais da carcaça. Sendo revestidos por uma mistura de borracha com alto grau de flexibilidade e alta resistência à fadiga;
- Cintura: Compreende o feixe de cintas (lonas estabilizadoras) que são dimensionadas para suportar cargas em movimento;
- Banda de Rodagem: Parte do pneu que fica em contato direto com o solo.

Tabela 1 – Composição média do pneu.

Fonte: <http://www.reciclarepreciso.hpg.ig.com.br/recipientes.htm> (acessado 18/08/2008)

COMPONENTES	PORCENTAGEM
Negro de Fumo	28%
Borracha Natural	14%
Borracha Sintética	27%
S, ZnO, TiO ₂	3%
Óleos	10%
Produtos Petroquímicos	4%
Fibras	4%
Cinta de Aço	10%

2. MATERIAIS E MÉTODO

Neste trabalho se enfatiza o aproveitamento dos materiais constituintes dos pneus inservíveis, associadamente ao aglomerante cimento Portland, permitindo a obtenção de novos produtos de baixo custo aplicáveis na construção civil e que também contribuem para a preservação dos recursos naturais não renováveis.

Essa prática demonstra a possibilidade de se associar crescimento econômico com desenvolvimento sustentável, levando à preservação dos recursos naturais e equilíbrio do meio ambiente, promovendo assim a tão desejada melhoria da qualidade de vida de nossa sociedade.

O produto obtido a partir da reciclagem de pneus inservíveis provêm do processo de moagem mecânica, do qual se obtêm a separação da borracha, fibras de poliamida e fibras de aço.

Este resíduo de borracha utilizado neste trabalho foi obtido de uma usina recicladora de pneus, que processa a borracha e demais constituintes de pneus inservíveis por meio de trituração mecânica, com capacidade de produção de 1700 pneus/hora, equivalendo a um processamento de 90 toneladas/dia. A Figura 2 mostra detalhes do processo e o resíduo final de borracha.



Figura 2 – Processamento de pneus.

2.1. COMPÓSITO BORRACHA EM MATRIZ CIMENTÍCIA

A granulometria das partículas de borracha para a realização da pesquisa foi comercialmente descrita como: P5, P10, P20 e P30 (partículas que passam nas peneiras de aberturas (4,8mm, 2,4mm, 1,2mm e 0,6mm) – série normal NBR NM-ISO3310-1 [3] e NBR NM 248/2003[4].

A matriz cimentícia empregada como aglomerante constou de cimento Portland CPIII-40 misturado com partículas de borracha, água e aditivos ou adições, utilizando diferentes dosagens em massa.

Foram utilizados aditivos plastificantes classificados como de 3ª geração e adições a base de polímeros em emulsão, com possibilidades de redução da relação água/cimento entre 30 e 40% e, a partir das argamassas obtidas, moldados corpos-de-prova de 5 cm de diâmetro e 10 cm de altura, seguindo os procedimentos indicados pela norma NBR-7215/96 da ABNT[5], que especifica a utilização de corpos-de-prova cilíndricos para ensaios de resistência à compressão de cimento Portland.

Os corpos-de-prova foram curados em câmara úmida com temperatura 21 ± 2 °C, e ensaiados aos 7, 14 e 28 dias. Além destes corpos-de-prova, foi confeccionada placa tipo *drywall*, armada com tela de fibra de vidro, para a realização de ensaios de flexão, com dimensões de 50 cm x 50 cm, utilizando cimento Portland CP III-40, resíduos de borracha com granulometria de diâmetro máximo de 2,4 mm, e aditivo plastificante como redutor de água e densificador da mistura.

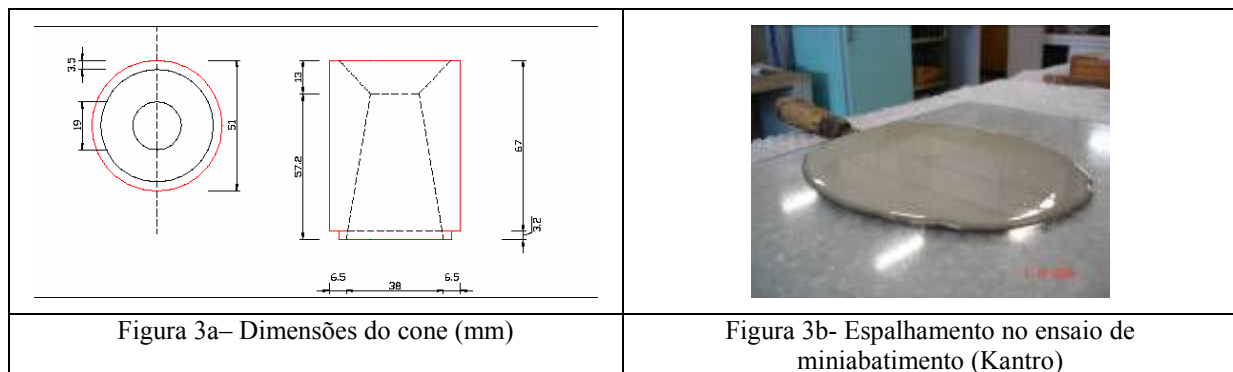
A placa foi curada em temperatura ambiente, e mantida em câmara úmida durante 7 dias, visando a completa hidratação do cimento. O ensaio de flexão na placa, segundo a ASTM C 947-09 [6], realizou-se aos 28 dias de idade e o compósito resultou num material com um grande potencial de emprego na construção civil.

2.2. ENSAIO DE COMPRESSÃO SIMPLES

2.2.1. Compatibilidade cimento x aditivo ou adição

O estudo desenvolvido para a otimização dos teores das adições e de aditivos com relação as respectivas compatibilidades com relação ao tipo de cimento empregado foi baseado no método conhecido como de **mini abatimento** KANTRO [7]. Este método permite a escolha do produto mais adequado, sendo possível avaliar-se não só a sua compatibilidade com o tipo de cimento empregado, como também a relação água/cimento e trabalhabilidade mais adequada às pastas de cimento investigadas.

Para realização deste ensaio foi utilizado o cone de abatimento, que é preenchido com o material até a altura de 57,2 mm, sendo golpeado 10 vezes com auxílio de uma espátula antes do molde ser erguido sobre placa de acrílico. A Figura 3 apresenta as dimensões do cone utilizado e a pasta de cimento após espalhamento horizontal.



Foram analisados sete diferentes tipos de aditivos plastificantes e agentes modificadores a base de polímerosemulsão. Os teores destes produtos na pasta de cimento variou em função das orientações do fabricante e dos ensaios preliminares e estão constados na Tabela 2. Os resultados obtidos no ensaio de espalhamento estão apresentados nos gráficos da figura 4.

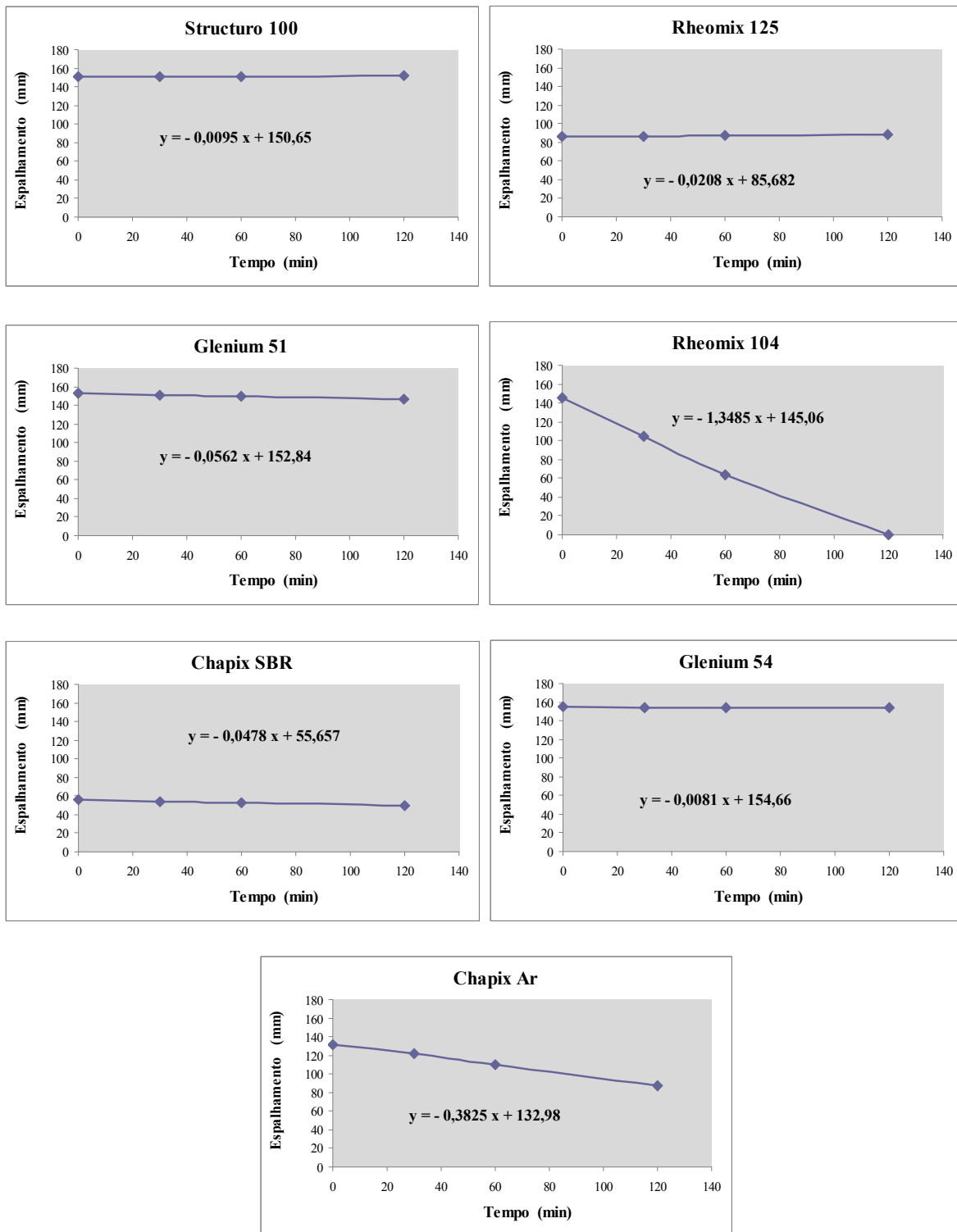


Figura 4 – Efeito dos aditivos em relação ao tempo decorrido a partir da mistura cimento Portland e água.

Para cada aditivo ou adição analisados anteriormente, foi procedida uma mistura experimental moldando-se seis corpos de prova nos traços descritos na Tabela 2 para serem submetidos ao ensaio de ruptura à compressão axial. A determinação da resistência à compressão simples foi efetuada de acordo com a NBR-7215/96 [5] da ABNT. Os corpos-de-prova, depois de capeados, foram rompidos aos 7, 14 e 28 dias de idade, em máquina de compressão, sob velocidade de carregamento de $0,25 \pm 0,05$ MPa/s.

Tabela 2 – Tipos de aditivos e adições e resistência a compressão.

Tipo de Aditivo Utilizado	Resistência à Compressão Axial (MPa)									Quant. Aditivo (g)	Cimento CIII-40 (g)	Borracha P30 (g)
	7 Dias			14 Dias			28 Dias					
Glenium 54	10,73	10,49	10,61	10,93	10,37	10,70	11,75	11,79	11,80	24,77	1200	600
Structuro 100	10,05	10,30	10,18	11,19	10,41	10,80	11,03	11,3	11,20	24,77	1200	600
Glenium 51	--	10,25	--	10,68	11,02	10,85	11,89	13,93	12,91	20,64	1000	500
Chapix SBR	--	5,39	--	6,18	6,06	6,12	6,28	6,04	6,16	275,00	1000	500
Chapix AR	--	5,58	--	6,82	6,57	6,69	9,24	8,32	8,78	175,00	1000	500
Rheomix 104	--	7,23	--	7,23	8,23	7,73	8,94	8,31	8,63	150,43	1000	500
Rheomix 125	--	8,52	--	9,97	10,57	10,27	11,38	10,27	10,83	225,00	1000	500

(*) Nomes comerciais dos aditivos

A figura 5 apresenta o desempenho das misturas segundo sua resistência à compressão axial de argamassas contendo os diferentes aditivos empregados.

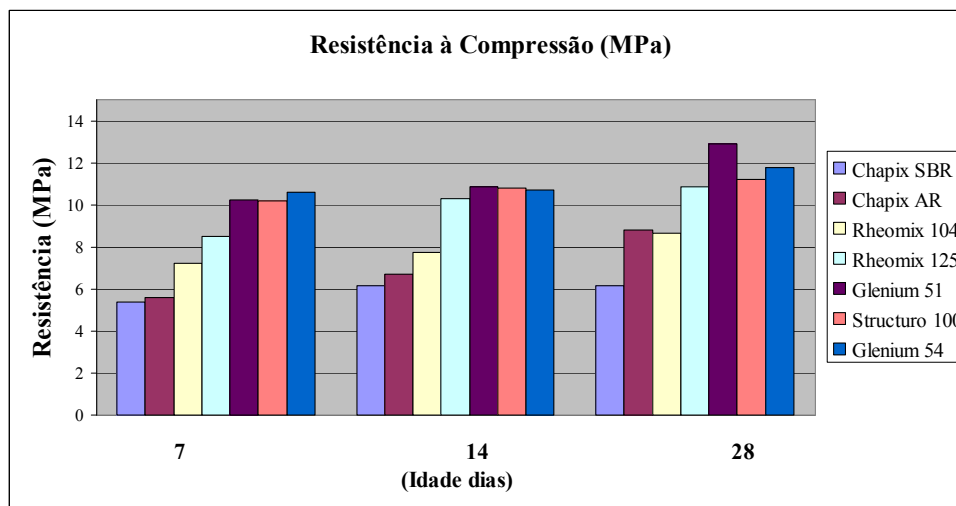


Figura 5 – Ensaio de compressão axial

Com base nos resultados obtidos nos ensaios de Kantro e Compressão Axial, foi adotado como aditivo que melhor efeito proporcionou a pasta cimentícia o Glenium 51 que é um superplastificante de última geração à base de éter policarboxílico.

2.3. ENSAIO DE FLEXÃO

Esta fase da pesquisa visou a avaliação da resistência à flexão de placas tipo *drywall*, constituídas de argamassa contendo pasta de cimento Portland, aditivo (Glenium 51) e partículas de borracha, em substituição ao agregado natural ou o de argila expandida, os quais são utilizados pelos fabricantes de placas cimentícias comercializadas no Brasil.

A utilização de placas cimentícias de pequena espessura vem sendo intensificada dentro do sistema conhecido como *steel frame*, em lugar das placas de gesso acartonado, face à maior resistência da matriz cimentícia sob a ação de agentes agressivos do meio ambiente. No mercado brasileiro podem ser encontradas placas cimentícias constituídas com argila expandida como agregado nas argamassas, contendo telas de reforço a base de fibra de vidro.

Este tipo de chapa comercial, de dimensões 1,20 m x 2,40 m x 12,7 mm de espessura e resistência a flexão conforme a ASTM C 947-09 [6] de 7 MPa foi considerada como referência ao desenvolvimento de placas cimentícias em argamassa contendo partículas de borracha, em substituição aos agregados naturais ou de argila expandida.

Nesta pesquisa foram produzidas placas com estas mesmas características, contendo argamassa a base de cimento Portland e partículas de borracha, empregando-se aditivo plastificante a base de poliacrilato, por ser este o produto que possibilitou a maior resistência à compressão, conforme Tabela 2.

Estas placas foram produzidas em fôrma dupla metálica, e armadas com duas telas de fibra de vidro AR (álcalis resistente) com malha 10 mm x 10 mm, dispostas próximo à superfície de cada face, com a finalidade de incrementar a resistência à flexão e a ductilidade no estágio após ruptura da matriz, conforme se pode verificar da Figura 7.

O ensaio foi realizado segundo a norma ASTM C 947-09 [6], com a distância entre os apoios de 330 mm, conforme se verifica da Figura 6. A velocidade de deslocamento durante a aplicação de carga foi de 3,0 mm/min. As amostras de placas cimentícias foram cortadas em corpos-de-prova com medidas de 350mmx50mm e espessura de 13 mm.

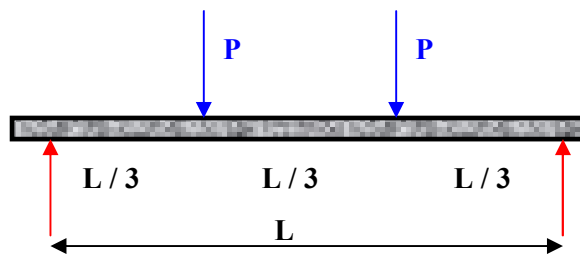


Figura 6 – Esquema do Ensaio de Flexão.

	
Moldagem corpo de prova	Moldagem corpo de prova
	
Corpo de prova para ensaio	Ensaio de flexão do corpo de prova

Figura 7 – Seqüência da produção da Placa e Ensaio de Flexão

Os resultados obtidos no ensaio de flexão com a argamassa constituída por partículas de borracha encontram-se constando da Tabela 3.

Na Tabela 4 encontram-se os resultados obtidos substituindo as partículas de borracha por argila expandida com idêntica granulometria.

Tabela 3 – Tensão de Ruptura a Flexão.

Corpo-de-prova	Largura (mm)	Espessura (mm)	MOR (MPa)
1	50.9	12.9	6.0
2	50.9	13	4.7
3	50.7	12	5.9

Tabela 4 – Tensão de Ruptura a Flexão (Usando Argila Expandida Como Agregado Leve)

Corpo-de-prova	Largura (mm)	Espessura (mm)	MOR (MPa)
1	49,8	11,8	4,2
2	49,8	13,1	4,3
3	49,8	14,5	3,5

3. CONCLUSÕES

A análise dos efeitos dos diferentes aditivos utilizados nas pastas de cimento, por meio do método de Kantro ou do mini *slump*[7] como também é conhecido, possibilita uma importante contribuição para estudo de desempenho de aditivos plastificantes junto à matriz de cimento.

Analisando-se os resultados obtidos com a argamassa contendo partículas de borracha, pode-se considerar que este compósito cimentício apresenta possibilidade de ser utilizado na produção de componentes para utilização em vários campos na construção civil. A matriz cimentícia deve conter aditivo plastificante visando a redução da relação água/cimento e a consequente melhoria da aderência entre matriz e partículas de borracha. Quando dispersas em uma matriz cimentícia as partículas de borracha possibilitaram resultados no ensaio de flexão das placas tipo *drywall*, com ruptura da matriz de cimento a carregamentos bem inferiores aos obtidos com placas moldadas em argila expandida e areia natural. Isto se deve a pequena resistência à compressão das partículas de borracha, comparativamente à areia natural e a argila expandida.

O comportamento pós-ruptura da matriz cimentícia é interessante no caso da borracha, pois a placa sofre um incremento no valor da carga de ruptura da matriz, de 300% a 400 %, com significativas deformações, denotando uma grande ductilidade desse material. Os resultados obtidos já permitem concluir pela viabilidade de algumas aplicações em elementos e componentes para a construção civil, com desempenho adequado e custo bastante competitivo quando comparado a materiais e produtos convencionais.

4. REFERÊNCIAS

- [1] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2004). NBR 10004: Resíduos Sólidos. Rio de Janeiro.
- [2] CIMINO, M. A., BALDOCHI, V. M. Z. (2002) *Minimização de Resíduos Sólidos Urbanos - Alternativas Tecnológicas para Pneumáticos Inservíveis*. UNISANTA, UFSCar.

- [3] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR NM-ISO3310-1 : Peneiras de ensaio - Requisitos técnicos e verificação - Parte 1: Peneiras de ensaio com tela de tecido metálico
- [4] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR NM 248/2003: Prescreve o método para a determinação da composição granulométrica de agregados miúdos e graúdos para concreto.
- [5] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR-7215/96, ABNT: Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão
- [6] ASTM C947-03(2009) Standard Test Method for Flexural Properties of Thin-Section Glass-Fiber-Reinforced Concrete (Using Simple Beam With Third-Point Loading)
- [7] KANTRO, D.L.(1980) *Influence of water reducing admixtures on properties of cement paste .A miniature slump test. Cement, concrete and aggregate. Vol 2 N2.* <http://www.rodasepneus.com.br> (acessado em 18/08/2008).

<http://www.reciclarepreciso.hpg.ig.com.br/recipneus.htm> (acessado 18/08/2008)