

III-474 - AVALIAÇÃO DA VIABILIDADE DE PRODUÇÃO DE LAJE PRÉ-MOLDADA INCORPORANDO RESÍDUOS DE POLÍMEROS TERMOFIXOS

Fabiana Alves Fiore⁽¹⁾

Engenheira Civil (UFMG). Mestre em Saneamento Meio Ambiente e Recursos Hídricos (UFMG). Doutora em Saneamento e Meio Ambiental (UNICAMP). Professora do ICT/UNESP – SJC.

Larissa Gabriela Barros

Engenheira Ambiental – Senac/SP.

Endereço⁽¹⁾: Rodovia Presidente Dutra Km 137,8 - Eugênio de Melo - São José dos Campos - São Paulo - CEP.: 12.247-004 – Brasil – Tel: (12) 3905-1626- email: fabiana.fiore@ict.unesp.br

RESUMO

A geração de resíduos é inerente a quase todas as atividades humanas, no atual estágio de evolução tecnológica. Essa intensa geração contrasta com a expectativa de desenvolvimento sustentável já entendida como necessária para garantir a perpetuidade das atividades humanas, por grande parte da população mundial. Os ditames sociais e econômicos, no entanto, ainda preponderam e levam a significativos impactos ambientais. A transnacionalidade da produção e do consumo faz com que os países sejam impactados por resíduos que muitas vezes não teriam capacidade de gerar isoladamente. Esse é o caso dos plásticos no Brasil que, por sua durabilidade, leveza e baixo custo, são empregados em grande parte das atividades humanas. Apesar de serem conhecidas tecnologias de reversão para grande parte dos plásticos disponibilizados no mercado brasileiro, apenas um pequeno percentual deles efetivamente retorna para a cadeia produtiva e os demais são dispostos no solo. Os impactos da disposição dos resíduos de plástico são significativos mesmo quando esses ocorrem em áreas regulares. Em condição irregular geram transtornos aos sistemas de drenagem e à biota. Dentre os plásticos com baixa reversão estão os termofixos que não se deformam facilmente com a elevação de temperatura. Assim sendo, este trabalho avaliou a viabilidade de inertização desse material, a partir de sua incorporação em matriz de concreto, para uso em laje pré-moldada. Os principais resultados desse estudo são: os termofixos representam um pequeno percentual dos resíduos plásticos gerados nos centros urbanos; a sua incorporação em matriz de concreto acarreta em significativa redução da resistência à compressão do material e inviabiliza o seu uso para a produção de lajes pré-moldadas. Considerado o princípio dos 3Rs abarcado pela Política Nacional Brasileira de Resíduos Sólidos, considera-se que deveria ser indisponibilizado para consumo os materiais cuja tecnologia de reversão ainda não possui viabilidade técnica ou econômica, no entanto, enquanto essa condição não vigora, novos estudos estão sendo conduzidos com vistas à reversão desse material.

PALAVRAS-CHAVE: Resíduos plásticos, termofixos, inertização de resíduos, lajes pré-moldadas.

INTRODUÇÃO

A implementação da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) Lei 12.350/10 de 2010 implicará na mudança de cultura dos fabricantes, comerciantes e consumidores brasileiros para a execução de suas atividades, uma vez que além de minimizar a geração de resíduos os mesmos deverão garantir a destinação adequada e segura dos rejeitos.

Dentre os resíduos sólidos gerados pelas atividades humanas da atualidade estão os resíduos plásticos. De acordo com a Associação Brasileira da Indústria do Plástico (ABIPLAST, 2014) a produção e o consumo de plástico no Brasil foram crescentes nos últimos anos. Apesar de produzir apenas 2% do plástico mundial, o Brasil possuía em 2011 quase 12.000 empresas no setor de transformação de plásticos, quase todas localizadas nas regiões sul e sudeste do país. (ABIPLAST, 2013)

Mesmo não sendo significativa a produção de plástico no país, a transnacionalidade do consumo faz com que os mesmos representem uma grande problemática para o país. As destinações irregulares desses resíduos geram significativos impactos ambientais e sociais, tais como a obstrução dos dispositivos de drenagem com o consequente transbordamento dos recursos hídricos e o esgotamento da capacidade dos aterros.

Segundo a Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial – ABDI (2008), os plásticos estão presentes na vida das pessoas, por apresentar características como leveza que facilita o transporte, serem duráveis, relativamente baratos e possibilitam ampla possibilidade de diferenciação dos produtos transformados. Em função de suas características mecânicas os plásticos podem ser divididos em: termoplásticos ou termofixos.

Os termoplásticos possuem macromoléculas lineares, ramificações ou não, podem ser fundidos ou reprocessados diversas vezes e são solubilizados por diversos solventes (GREIF et. al., 2008; MANO; MENDES, 2010). A uma dada temperatura, eles podem ser moldáveis e deformáveis com aplicação de pressão. Uma vez resfriados, retêm a forma geométrica na qual foram moldadas (KLEIN, 2009). O que permite que eles sejam resfriados e reaquecidos diversas vezes é que quando são aquecidos sob pressão não ocorrem reações químicas. (MEDEIROS, 2005). Em função da temperatura ambiente, eles podem ser rígidos, maleáveis ou frágeis e formam a maior parte dos polímeros existentes (GREIF et. al., 2008).

Os termofixos são conhecidos como durômeros e duroplásticos. Após a formação das ligações cruzadas e a sua transformação em sólido rígido, o termofixo não se deforma com o aumento da temperatura. Quando são aquecidos até o ponto de passagem da fase sólida para a viscosa (cerca de 300°C) ocorre a decomposição e a destruição das ligações covalentes. Se aquecido a temperaturas superiores a 700°C, origina um resíduo carbonáceo (SANTOS, 2005; BITENCOURT, 2013). Por suas características é bastante empregado na construção civil, e em utensílios domésticos que são submetidos a temperaturas elevadas.

Para os termoplásticos os processos de reciclagem são conhecidos e aplicados no país, no entanto, para os resíduos de plásticos termofixos ainda há grande espaço para o desenvolvimento de pesquisas. Dentre os estudos realizados no Brasil estão:

Alternativas de Ultimação de Resíduo Plástico Termofixo

No trabalho desenvolvido por Medeiros (2005), o autor procurou estudar alternativas para o encaminhamento ambientalmente seguro e economicamente viável do resíduo termofixo gerado por uma fábrica de botões. Foi estudada a aplicação destes resíduos para queima em forno para fabricação de cimento, como o que ocorre com a borracha sintética de pneus usados; mas concluiu-se que a queima deste material era inviável pelo fato de o componente apresentar pouco poder calorífero e resultar na liberação de chumbo em cinzas.

Outra possibilidade estudada foi a decomposição do material por meio do uso de tocha de plasma térmico, apresentando viabilidade técnica nos resultados, mas de alto valor econômico, tornando-se economicamente inviável.

Foi também considerado o confinamento em blocos de cimento, blocos para laje pré-moldada, revestimento interno para alvenaria com gesso, enchimento de blocos cerâmicos e blocos com argamassa de cimento. Essa incorporação resultou em aumento na resistência térmica nos compostos, utilizou-se menor quantidade de cimento, o que implica na redução de gastos sem comprometimento da resistência mecânica do produto final.

Compósito de Poliuretano de Mamona e Resíduo Industrial para o Isolamento Térmico e Absorção Sonora

No trabalho de Oliveira, (2010) o estudo foi direcionado para o desenvolvimento de um material inovador constituído de matriz poliuretânica vegetal e carga de resíduo industrial, derivado da recauchutagem de pneus, para fins de conforto ambiental e isolamento térmico. Foram utilizados procedimentos e resultados experimentais, obtidos da análise a partir do desempenho acústico e térmico desse material composto da resina expansiva, derivada do óleo da semente da mamona e fibras de pneus usados. O resíduo foi tratado para eliminação de impurezas e caracterizado micro e macroscopicamente. Foram atribuídos em diferentes proporções (5 a 20%) em massa, sendo possível determinar suas propriedades térmicas, o índice de absorção sonora e a densidade aparente.

Os resultados encontrados foram comparados aos isolantes térmicos e absorventes sonoros comerciais. Chegou-se à conclusão de que o compósito desenvolvido possui características que o qualificam como um isolante térmico com melhor desempenho que os isolantes comerciais e com maior capacidade de absorção sonora que o poliuretano de mamona sem a adição do resíduo.

Estudo da Incorporação de um Compósito Termofixo nas Propriedades do PVC

No estudo realizado por Souza (2010), o material trabalhado foi o BMC, que é o compósito polimérico termofixo mais usado na fabricação de faróis automobilísticos. Foi feita a micronização neste composto e sua incorporação numa formulação de PVC rígido, sendo realizadas avaliações nas propriedades de resistência à tração, impacto e temperatura de amolecimento.

Seus resultados foram comparados à formulação de um PVC convencional e demonstrou-se altamente favorável o seu aproveitamento através da reciclagem, aumentando sua resistência à tração e ao impacto, sem comprometer significativamente as propriedades térmicas.

Outras opções de tratamento foram elencadas nos trabalhos realizados pelos autores dentre elas as reciclagens energética e química, mas esses indicaram como incipientes o uso dessas tecnologias no Brasil. Considerada a obrigatoriedade de atendimento ao princípio dos 3Rs, estabelecido pela PNRS brasileira, o uso de materiais cuja tecnologia de reversão pós-consumo ainda não está consolidada deveria ser minimizado. No entanto, enquanto isso não ocorre, para os resíduos sólidos sem viabilidade de reversão, com pleno uso de suas características naturais intrínsecas, a inertização pode ser considerada uma alternativa adequada de destinação capaz de desviar esses resíduos do aterramento. Nela os rejeitos figuram como substituto de um dos componentes desse novo produto e devem corroborar para a manutenção ou melhoria de seu custo, desempenho ou qualidade.

OBJETIVO

Avaliar a viabilidade de produção de laje pré-moldada incorporando resíduos sólidos de plástico termofixo.

PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Identificação do Polímero Termofixo

A descrição das características dos plásticos termofixos na literatura nacional foi utilizada para realizar a classificação preliminar dos resíduos termofixos, por meio de inspeção visual. Essa primeira etapa foi realizada em fevereiro de 2013, com resíduos fornecidos pela Secretaria de Meio Ambiente e doados pela cooperativa de reciclagem do município de Guareí/SP. (Vide Figura 1). Também foram adquiridos em comércio local botões e interruptores domiciliares que, segundo a literatura, eram constituídos exclusivamente de plásticos termofixos.

Figura 1: Resíduos da Secretaria do Meio Ambiente (A), Resíduos Encontrados na Coop. de Reciclagem (B)



A classificação do material plástico foi realizada a partir da verificação de seu comportamento à elevação de temperatura, conforme proposto por Souza (2010). A exposição de diferentes tipos de plásticos a uma chama de um maçarico da marca Yanes, por dois minutos, foi o primeiro teste realizado, a fim de se identificar a fumaça, o odor e a massa resultante da queima.

O ensaio térmico controlado foi realizado no dia 15 de março de 2013, no Laboratório de Saneamento do Centro Universitário SENAC/SP. Nesse procedimento os resíduos foram colocados em estufa e submetidos às temperaturas controladas de 150°C, 300°C e 600°C. Avaliados em intervalos de 5 minutos os resíduos permaneceram em temperatura de 150°C por meia hora. Em temperatura de 300°C os resíduos permaneceram por 1h40 e foram avaliados em 5, 10, 15, 30, 55, 80 e 100 minutos. Em temperatura de 600°C os resíduos permaneceram por 20 minutos.

Após definição dos materiais termofixos os mesmos foram triturados em moinho de facas e classificados quanto à sua granulometria, de acordo com ABNT NBR 7.211/2005. O concreto foi produzido com o traço 1:2:3, com resistência resultante esperada da ordem de 20Mpa. O traço adotado é o mesmo que utilizado pela fábrica Dilo Artefatos de Cimento, localizada em Guareí/SP, empresa parceira da pesquisa e que cedeu as suas instalações para a realização das atividades.

Para analisar a viabilidade de produção de lajes pré-moldadas incorporando resíduos de polímeros termofixos, em 31 de setembro de 2013, foram fabricados corpos de prova com e sem agregado de resíduo termofixo, de acordo com a NBR 5738/2003. Moldados em tubos de PVC da marca Tigre, os corpos de provas resultaram em cilíndrico de aproximadamente 4 cm de diâmetro e 8 cm de altura, que foram curados por 30 dias. Optou-se por simular em triplicata três diferentes condições: acréscimo de 10, 15 e 20% do volume de agregado à massa de concreto. A condição base (sem adição de termofixo) também foi avaliada por esse experimento. A resistência à compressão dos corpos de prova foi realizada no Laboratório de Design Industrial do Centro Universitário SENAC/SP, considerando-se o disposto na NBR 6118/2004. (Figura 2).

Figura 2: Corpos de prova ensaiados à compressão.



RESULTADOS

As características físicas do material resultante do processo térmico, mostradas na Figura 3, permitiram a confirmação de que os plásticos que compõe os interruptores domiciliares e os botões podem ser classificados como termofixos, pois, manteve as características apontadas por SANTOS (2005) e BITENCOURT (2013). Vale ressaltar que Medeiros (2005), Oliveira (2010) e Souza (2010) também já apontavam que esses produtos eram compostos por termofixos. Os materiais de PET e PVC, também mostrados na Fig. 3, foram submetidos ao processo térmico para evidenciar as diferentes características entre os termoplásticos e termofixos.

Figura 3: Comportamento de termoplásticos e termofixos quando submetidos à elevação da temperatura.










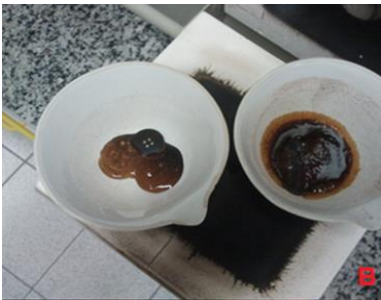

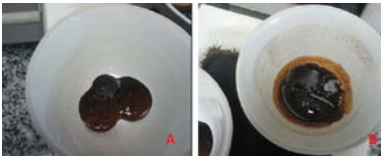




Temperatura (°C)	Tempo (minutos)	Interruptor e PVC	Botões e PET
300	5		
	10		
	15		

Figura 3 (cont.): Comportamento de termoplásticos e termofixos quando submetidos à elevação da temperatura.

300	30		
	55		
	80		
	150		
600	20		

Após a classificação dos resíduos, o material termofixo foi triturado em um moinho de facas e submetido a ensaios granulométricos, de acordo com a ABNT NBR 7.211/2005 que especifica a classificação granulométrica de agregados. Foram aplicados na peneira superior 9,5mm, 300,61g de plástico termofixo que resultou na distribuição granulométrica apresentada na Tabela 1. Considerado o disposto na ABNT NBR 7.181/1984 e os dados obtidos na distribuição granulométrica, o módulo de finura do termofixo gerado é de 4,83, equivalente à granulometria da areia grossa.

Tabela 1: Distribuição Granulométrica

Peneiras Utilizadas	Massa Retida (g)	Massa Retida Acumulada (g)	% Retida	% Retida Acumulada	% Passante
9,5 mm	0	0	0	0	0
4,75 mm	15,91	15,91	5,29	5,29	94,70
2,36 mm	243,02	258,93	80,84	86,13	13,86
1,18 mm	29,31	288,23	9,75	95,88	4,12
600 µm	5,27	293,45	1,73	97,62	2,38
300 µm	4,37	297,82	1,45	99,07	4,17
Peneiras de Base	1,34	299,16	0,44	99,52	0,48
Total (g)	299,18	299,16	100	100	100

Para cada uma das composições especificadas foram moldados 3 corpos de provas cilíndricos, com dimensões condizentes com o equipamento de ruptura existente no laboratório institucional. Os doze corpos prova após serem curados foram submetidos a ensaios de compressão, e os resultados estão apresentados nas Figuras 3 e 4.

Figura 3: Ponto de Fissura dos Corpos de Prova.

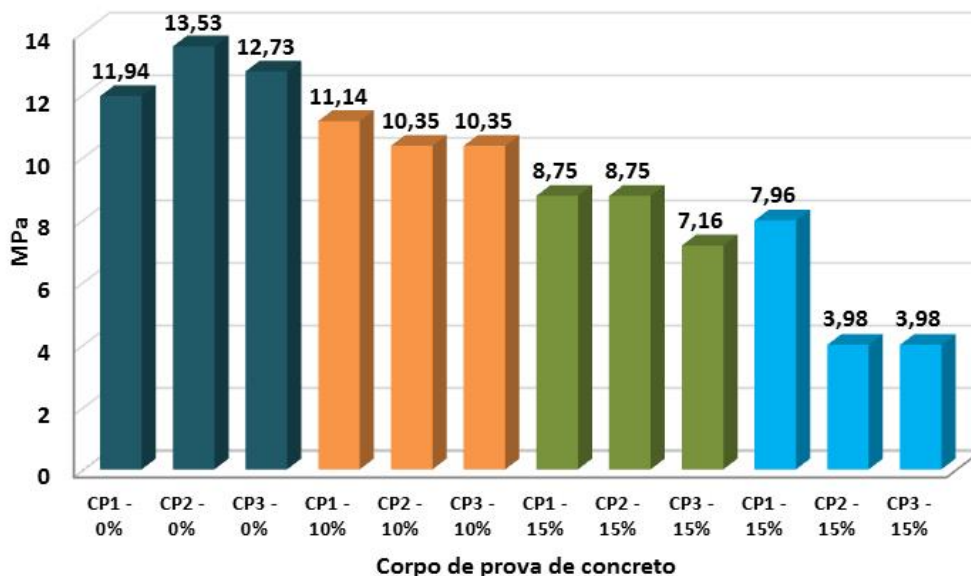
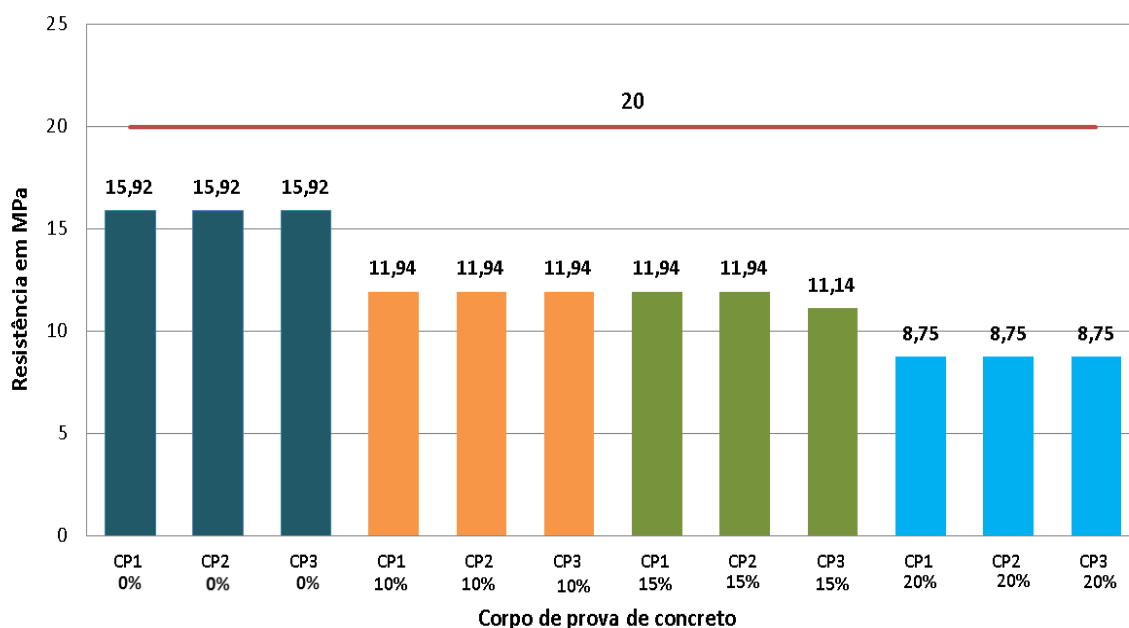


Figura 4: Ponto de Ruptura dos Corpos de Prova.



Por meio do ensaio de compressão foi possível verificar que:

- A adição de 10% de plástico termofixo ao volume do concreto diminui a sua resistência em aproximadamente 25%;
- A incorporação de 10% ou 15% de termofixo ao concreto não altera significativamente a sua resistência à ruptura, mas o maior percentual de plástico antecipa o surgimento de fissuras;
- Com o acréscimo de 20% de termofixo o concreto diminui a sua resistência em quase 50%.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A realização do trabalho evidenciou que grande parte dos resíduos plásticos encontrados nas cooperativas já possui viabilidade de tratamento, pois são termoplásticos. O comportamento dos diferentes tipos de plástico à temperatura é um indicador eficiente e de baixo custo para a caracterização de plásticos. A análise à compressão mostrou que, quando o termofixo é incorporado ao concreto em granulometria semelhante à areia grossa, a resistência à compressão desse concreto é significativamente reduzida. Além disso, essa incorporação contribui para o surgimento de fissuras. Nesse estudo não foi possível observar uma relação direta entre a resistência do concreto e a concentração de agregado termofixo, indicando a possibilidade de haver uma faixa ótima de incorporação, assim sendo, outros requisitos ambientais e econômicos deverão ser avaliados para a definição do traço ideal.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABIPLAST Associação Brasileira da Indústria do Plástico. Disponível em: <http://www.abiplast.org.br/>. Acessado em: 29/04/2014.
2. ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7211:2005 - Agregados para Concreto - especificação. Rio de Janeiro, 2009.
3. _____. NBR 7181:1984 – Solo – Análise Granulométrica. Rio de Janeiro, 1988.
4. _____. NBR 5738:2003 – Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2008.
5. _____. NBR 5739:2003 – Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007.

6. BRASIL. Lei Federal nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 3 ago. 2010.
7. MEDEIROS, O. M. de. Alternativas de destinação de Resíduo Plástico Termofixo. Tese. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2005.
8. OLIVEIRA, M. C. B. Ribeiro. **Gestão de Resíduos Plásticos Pós-Consumo: Perspectivas para a Reciclagem no Brasil**. Dissertação. UFRJ/COPPE, Rio de Janeiro, 2012.
9. SOUZA, E. W. **Estudo para fabricação de Refletores Automobilístico utilizando um material compósito Termofixo e um material Termoplástico**. Dissertação. IPEN/USP, São Paulo, 2010.