

ESTUDO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE COMPÓSITOS OBTIDOS ATRAVÉS DA INCORPORAÇÃO DO PET MOÍDO EM MICROCONCRETO ENDURECIDO

Aguinaldo Lenine Alves

Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul - UEMS, Dourados – MS, Brasil
Engenharia Ambiental
lenine@uems.br

Camila de Carvalho Sousa*

Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul - UEMS, Dourados – MS, Brasil
Engenharia Ambiental
carvalhoeng.amb@hotmail.com

Antonio Aparecido Zanfolim

Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul - UEMS, Dourados – MS, Brasil
Engenharia Ambiental
zanfolim@uems.br

Fernanda Gabriele Nascimento Gotardi

Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul - UEMS, Dourados – MS, Brasil
Engenharia Ambiental
fernandagotardi@gmail.com

Resumo:

O excessivo aumento das edificações em todo mundo, impulsionou o setor de construção civil a buscar novas tecnologias e materiais que atendam ao conceito do desenvolvimento sustentável, introduzindo a necessidade de redução, reutilização e reciclagem de materiais. Diante desse cenário o presente artigo apresenta o estudo realizado sobre a influência da utilização do Poli (Tereftalato de Etileno), PET pós-consumo, moído em peneira mesh 10, como agregado miúdo para a confecção de microconcreto endurecido em substituição ao agregado utilizado convencionalmente á areia. Neste trabalho dois traços de concreto foram desenvolvidos, sendo estes denominados CA (produzidos com a adição de 100% de areia) e CP (produzidos com substituição de 5% da areia pelo PET moído). A eficiência destes materiais foi mensurada através das seguintes técnicas laboratoriais: análises mecânicas de resistência à compressão, análises físicas de porosidade aparente (PA%) e absorção de água (AA%). Por meio das análises foi possível observar que os microconcretos CP quando comparados aos CA, apresentaram, redução de resistência à compressão, aumento na durabilidade devido a redução de absorção de água e porosidade, e maior leveza. Devido a essas características esse microconcreto é recomendado para a confecção de materiais que não exigem elevados índices de resistência à compressão, como lajotas para pedestres e ciclovias, calçadas ecológicas, blocos de vedação e telhas de cimento.

Palavras-chave: Propriedades física. Compósitos. Poli (tereftalato de etileno). Microconcretos.

Abstract:

High building demand around the world encourage the civil construction sector to seek sustainable technologies and materials, precluding material concepts as reduction, reuse and recycle. This paper

shows a the influence of Poli (polyethylene terephthalate), known as PET, grounded with strainer mesh 10 as an aggregate in hard microconcrete in replacement of sand. Two different samples were developed, being CA – produced with totally with sand, and CP, produced with the substitution of 5% of sand by PET grounded. Those materials efficiency was measured by two laboratorial techniques, the mechanical analysis by compression resistance, and physical by apparent porosity (PA%) and water absorption (AA%). It was possible to observe that microconcrete CP when compared with CA, demonstrated compression resistance reduction but an increase in durability due decrease of water absorption and porosity despite lightness. Considering these characteristics, it is recommended production of CP materials for cases without high need of compression resistance such as pathways.

Keywords: Physical proprieties. Composite. Poli (polyethylene terephthalate).

1 Introdução

Muito embora a gestão de resíduos plásticos seja um ponto extremamente debatido, e a busca por alternativas para o seu reaproveitamento seja cada vez mais necessária, Magrini *et al.*, (2012) salienta que a produção de plástico, agride menos o meio ambiente, quando comparada à produção de vidros, materiais metálicos e papel, já que a fabricação de vidros chega a consumir 24,17 GJ.ton⁻¹ de energia, enquanto a de plástico consome cerca de 10,65 GJ.ton⁻¹ (BRASKEM, 2010 *apud* CHIDIAC; MIHALJEVIC, 2010).

A produção de resíduos plásticos resultantes de embalagens descartáveis vem crescendo em todo mundo, sendo o Poli (terifalato de etileno), conhecido como PET, um dos mais utilizados. Dados da ABIPET (2013) mostram que no Brasil, a maioria dos fabricantes de refrigerantes utilizam embalagens descartáveis, deste total, 80,2% são embalagens PET, 7,6 % são latas, 12,1 % são recipientes retornáveis de vidro, e 0,1% constituem outros tipos de invólucros. Das 572 Ktons de PET consumidas em 2011 no país, cerca de 43% não foram reaproveitadas, ocasionando o decarte na natureza de 246 Ktons desse material.

De acordo com Chidiac; Mihaljevic (2010) o total de garrafas PET utilizadas em perspectiva mundial para fins de embalagens de bebidas são de aproximadamente 250 bilhões de unidades por ano, que representa cerca de 10 milhões de toneladas de resíduos. Devido o crescente consumo das embalagens PET pelo setor industrial, as mesmas vêm se tornando uma das principais vilãs do meio ambiente, já que seu descarte incorreto em lixões a céu aberto, terrenos baldios, ou até mesmo em vias públicas (ocasionando entupimento de bueiro), é muito comum na maioria das cidades brasileiras.

Mesmo descartadas em aterros sanitários, as embalagens PET representam um problema para o poder público, já que, por ser um material de lenta decomposição (ultrapassando 100 anos) e por ocupar um grande volume de área, quando depositadas em grande quantidade, além de diminuir sensivelmente a capacidade de armazenamento dos aterros, provocam o selamento superficial do

solo formando uma camada impermeabilizante que impede a circulação de gases e líquidos, prejudicando o processo de decomposição da matéria orgânica (MAGRINI, 2012).

Embora Tall (2000) afirme que cerca de 95% dos rejeitos plásticos industriais podem ser recicláveis por meio de processos mecânicos, químicos ou energéticos, no Brasil aproximadamente 40% do total produzido que representa aproximadamente 469 mil toneladas, não passam por nenhum processo de reutilização ou reciclagem. Este fato, segundo Maragom (2004), é atribuído ao alto custo dos processos de reciclagem, que podem chegar a consumir 224 milhões de KW/h de energia e 120 milhões de litros de água somente na reciclagem mecânica. Outro grande problema da reciclagem está associado à contaminação desses materiais, seja por aditivos, corantes, plastificantes, ou pelo descarte junto a outros elementos (SPINACÉ, 2005).

Como a utilização dos materiais plásticos, tende a crescer cada vez mais, devido aos benefícios atribuídos a sua produção e uso, este estudo objetiva oferecer, uma opção de destinação sustentável aos resíduos de garrafas PET lançados indiscriminadamente no meio ambiente, reduzir os impactos causados pela extração da areia dos leitos dos rios e gerar um novo material, que atenda as necessidades do setor da construção civil.

A possibilidade de este material ser utilizado como matéria prima na conformação de microconcreto endurecido, pode representar além do desenvolvimento de um material ecologicamente correto, uma enorme colaboração com a economia de recursos naturais, utilizados para o mesmo fim.

2 Referencial teórico

Para Bastos (2005) concreto é um material sólido composto por cimento, água, agregado miúdo, agregado graúdo (pedra ou brita) e ar. Outros elementos como cinza volante, pozolanas, sílica ativa e aditivos químicos podem auxiliar na melhora ou na modificação das propriedades básicas deste material. Segundo Tachard, Ribeiro e Morelli (2006) os materiais da construção civil a base de concreto são fabricados basicamente através da utilização de uma argamassa homogênea obtida pela mistura do cimento, areia, pedra (ou brita) e água.

De acordo com Queiroz, Mosteiro e Vieira (2010) na produção do concreto, altas quantidades de areia podem ser utilizadas. Como este elemento geralmente é obtido do fundo de corpos d'água como rios e lagos, sua extração, na maioria das vezes ocasiona degradação intensa ao meio ambiente, já que além do assoreamento de rios e lagos, altera o ecossistema do local.

Em decorrência da necessidade do setor da construção civil no uso do concreto para realização de suas obras, novas linhas de pesquisas apontando para inovações tecnológicas que vinculem a necessidade do setor com a sustentabilidade estão sendo desenvolvidas. Nesta linha, surgem estudos direcionados a incorporação de resíduos plásticos ao concreto, e, dentre estes

resíduos, destaca-se as garrafas PET, que após alguns tratamentos, podem servir como agregado miúdo na produção de materiais de concreto não estrutural.

Analisando a problemática causada pelo descarte incorreto das garrafas PET, que podem ocasionar graves interferências ao meio ambiente, e ao mesmo tempo, buscando oferecer uma solução viável para estes resíduos, Chidiac e Mihaljevic (2010) apresentaram como alternativa (tanto econômica como ambiental), a introdução dos resíduos de garrafas PET trituradas, em substituição ao agregado miúdo para a produção de concreto simples.

Em seus estudos, Chidiac e Mihaljevic realizaram testes mecânicos através de amostras conformadas com substituição de 20% do agregado miúdo por resíduos de PET. Embora verificando neste estudo uma redução de 7% na densidade e de 29% na resistência à compressão, quando comparado a produtos tradicionalmente comercializados, neste caso, recomenda-se este produto para a confecção de materiais que não exigem grandes resistências mecânicas, como por exemplo, lajotas para calçamentos de passeios públicos e ciclovias, calçadas ecológicas e telhas de cimento.

Levando em consideração os resultados obtidos por Chidiac e Mihaljevic (2010) e Ismael e Al-Hashmi (2008) o presente estudo teve como principal objetivo analisar a resistência mecânica de microconcretos, confeccionados com a substituição de 5% do agregado miúdo pelo PET pós-consumo. Foram realizados ainda testes de absorção de água e porosidade aparente, já que, os resultados destes podem interferir tanto na resistência mecânica quanto na aparência do material.

3 Materiais e métodos

Esta pesquisa foi realizada no laboratório de Engenharia de Produção da Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), sendo que a confecção dos corpos-de-prova e suas respectivas análises seguiram a determinação da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. Tanto na dosagem dos corpos de prova sem adição quanto nos corpos com adição dos resíduos de PET, (CA) e (CP), respectivamente. Foi determinado um traço similar, diferenciado apenas pela quantidade de resíduos utilizados na substituição do agregado miúdo.

Para cada traço (CA e CP), foram utilizados seis corpos de prova cilíndricos com dimensão de 5Ø x 10 cm de altura. Resíduos de garrafas PET triturados em um moinho de facas de peneira mesh 10 foram inseridas na mistura do concreto, na proporção de 5% de agregado miúdo. Cada corpo de prova foi identificado através de uma marcação a lápis (Figura 1), sempre utilizando como referência o CA. Objetivando analisar a interação das partículas de PET com o concreto, escolheu-se o percentual de 5% na substituição do agregado miúdo, este percentual foi escolhido, pois, além de necessitar uma grande quantidade de garrafas para sua obtenção, fato que obriga sua retirada do meio ambiente, provavelmente terá pequena interferência na resistência mecânica do concreto. Os

corpos de prova foram submetidos a ensaios de compressão simples com as idades de cura de 07, 14 e 28 dias.

Figura 1 – Corpos-de-prova CA e CP, após serem desenformados cada unidade foi devidamente identificada e em seguida postas na cura com hidróxido de cálcio



Fonte: A autoria própria (2014)

A Tabela 1 apresenta os equipamentos utilizados na análise mecânica e caracterizações físicas dos corpos-de prova, a quantidade e o nível de importância de cada um para este estudo.

Tabela 1 – Equipamentos utilizados

Equipamentos	Quantidade	Nível de importância
Argamassadeira com cuba metálica de 5 litros	1	Extrema
Balança semi-analítica (2 kg)	1	Extrema
Conjunto de Peneiras Rotativa	1	Extrema
Formas Cilíndricas	12	Extrema
Prensa para medição de resistência à compressão	1	Extrema
Paquímetro Digital (0,001 mm)	1	Extrema

Fonte: A autoria própria (2014)

Na confecção de todos os corpos-de-prova, adotou-se as normas NBR 5738 (ASSOCIAÇÃO..., 2004), e, embora materiais como areia, pedra brita e PET não necessitem de cuidados especiais no desenvolvimento deste trabalho, destaca-se o armazenamento rigoroso do cimento, feito em caixa plástica fechada, já que, o excesso de umidade pode interferir diretamente nas propriedades físicas e químicas do mesmo.

A Tabela 2 exhibe os materiais utilizados na confecção dos corpos-de-prova CA e CP.

Tabela 2 – Materiais utilizados nos traços 01 e 02

Corpos-de-prova CA		Corpos-de-prova CP	
Traço 01	Quantidade (kg)	Traço 02	Quantidade (kg)
Cimento portland	1,00	Cimento portland	1,00
Agregado miúdo	2,00	Agregado miúdo	1,90
Pedra brita $d \leq 0,05$ mm	1,00	Pedra brita $d \leq 0,05$ mm	1,00
Pet mesh 10	0,00	Pet mesh 10	0,1
Água	0,45	Água	0,45
Total	4,45	Total	4,45

Fonte: Autoria própria (2014)

3.1. Preparo da mistura e confecção das amostras

Para a efetivação da mistura utilizou-se uma argamassadeira eletromecânica digital com capacidade de 5 litros, duas velocidades e movimento planetário. A mistura pronta foi depositada em formas cilíndricas de dimensões 5Ø X 10 cm de altura. A cura de todos os corpos de prova iniciou-se após 24 horas de sua conformação, ou seja, depois de serem desmoldados, os mesmos foram transportados a um tanque com água saturada com hidróxido de cálcio, onde a umidade se manteve em 100% e a temperatura a 23 ± 2 °C até a data dos ensaios de acordo com a NBR 9479 (ASSOCIAÇÃO..., 2006).

Conforme mostra a Tabela 3, neste trabalho foram confeccionados 36 corpos-de-prova, sendo 18 denominados CA (traço 01) e 18 CP (traço 02).

Tabela 3 – Corpos-de-Prova confeccionados

Traços	CA/CP	Idade de Cura
01 (6 unidades)	CA	7 dias
02 (6 unidades)	CP	7 dias
01 (6 unidades)	CA	14 dias
02 (6 unidades)	CP	14 dias
01 (6 unidades)	CA	28 dias
02 (6 unidades)	CP	28 dias

Fonte: Autoria própria (2014)

Atingidas as idades referidas, os corpos-de-prova foram retirados e postos para secarem ao ar, como pode ser observado na Figura 1. Através de um paquímetro digital de resolução 0,001 mm, suas dimensões (5Ø X 10 cm) foram mensuradas, e em seguida, conforme a norma NBR 5739 (ASSOCIAÇÃO..., 2006) encaminhados para a prensa instrumentada para análise mecânica.

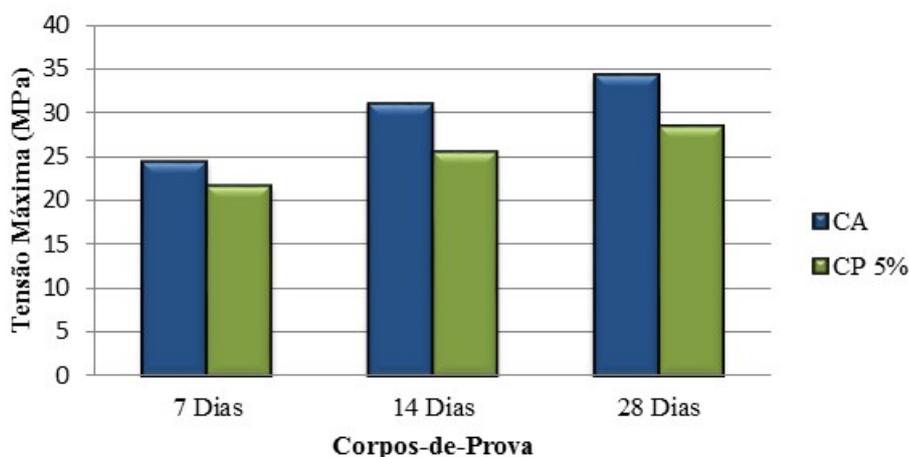
Objetivando analisar a Absorção de Água (AA%) e a Porosidade Aparente (PA%) destes materiais, e, seguindo as normas NBR 9778 (ASSOCIAÇÃO..., 2005), confeccionaram-se oito

corpos de prova, sendo quatro CA e quatro CP, todos expostos a 28 dias de cura úmida. Estas análises são de extrema importância na avaliação da qualidade do material produzido, já que segundo Amianti; Botaro (2008) quanto menor forem os valores expressos nestas análises, maior será a durabilidade do microconcreto endurecido.

4 Resultados e discussão

A Figura 2 apresenta os resultados obtidos referentes à resistência à compressão dos corpos-de-prova CA e CP, com idades de 7, 14 e 28 dias de cura.

Figura 2 – Gráfico representativo da resistência à compressão do material em função das idades de cura



Fonte: Autoria própria (2014)

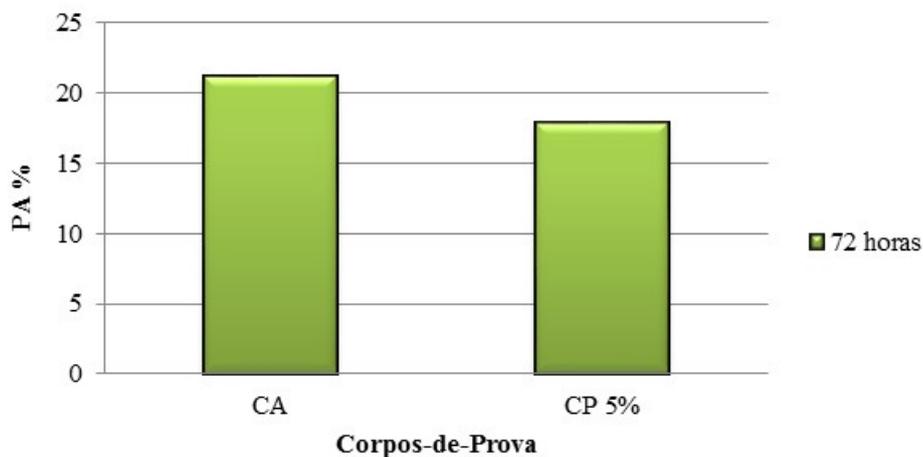
Em Geral observa-se, através da Figura 2 que tanto para os corpos de prova CA quanto para os CP, a resistência à compressão do microconcreto aumenta com as idades de 7, 14 e 28 dias, conforme o esperado, já que, segundo Araújo (2001) em geral os ensaios são realizados na idade padrão de 28 dias, idade em que a estrutura deverá entrar em carga. Analisando detalhadamente cada material, percebe-se que independentemente da idade de cura, os corpos de prova CP, apresentaram reduções (em média 15,48%) nos valores de resistência à compressão quando comparados aos corpos-de-prova CA.

De acordo com Magrini (2012) esse fato se dá devido ao PET, ser um polímero que tem como característica a não absorção de água, fato que retarda significativamente o processo de hidratação do cimento, interferindo diretamente na relação água-cimento, reduzindo assim, sua resistência à compressão, principalmente nas primeiras idades. Para Ribeiro (2004) o aumento da resistência observada para idades mais tardias, se dá pelo fato de ainda existir partículas de cimento sendo hidratadas e água sendo consumida, completando assim a cura interna do material.

A Figura 3 ilustra os resultados referentes à porosidade aparente (PA%) dos corpos de prova, CA e CP, com idades de 28 dias de cura, após imersão por 72 h. Segundo Rattanasak; Kendall (2005), Lu; Landis; Keane (2006) no estudo da microestrutura do concreto, a porosidade tem

especial destaque por influenciar muitas de suas propriedades como dureza, resistência à compressão e permeabilidade.

Figura 3 – Gráfico representativo dos resultados da análise de porosidade aparente (PA%) do concreto com idade de cura de 28 dias e imersos por 72 horas

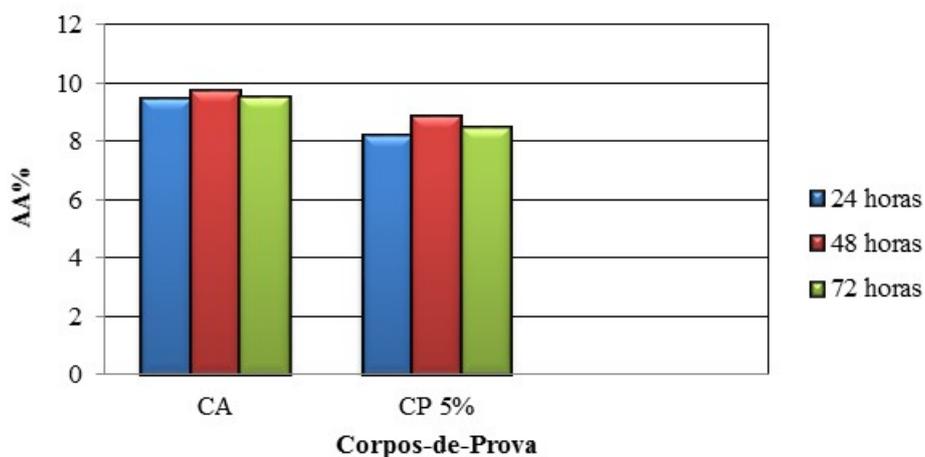


Fonte: Autoria própria (2014)

Observa-se através da Figura 3 que o microconcreto saturado com partículas do PET, apresentou uma redução na porosidade de aproximadamente 4%. Conforme literatura sugere-se que esta ocorrência deve-se à contribuição desse tipo de fragmento, não absorvente, no bloqueio da água que deveria escoar pelo interior do material.

A Figura 4 exibe o gráfico dos resultados da análise de Absorção de Água (AA%) dos corpos-de-prova CA e CP com idade de cura de 28 dias e postos em estufa a ± 120 °C, com medição realizada nos intervalos de 24, 48 e 72 horas.

Figura 4 - Gráfico representativo dos resultados da análise de absorção de água (AA%) do concreto com idade de cura de 28 dias



Fonte: Autoria própria (2014)

Analisando-se o gráfico da Figura 4, nota-se que para os corpos-de-prova CP houve uma pequena redução da absorção de água, quando comparados aos corpos-de-prova CA, ou seja, o

incremento de 10 % de resíduo do PET em substituição ao agregado miúdo do microconcreto pouco interferiu na sua absorção de água. Com isto, conclui-se que esta pequena redução não deve ser considerada na qualidade do produto final, até porque, dependerá do seu objetivo que poderá ser utilizado em diferentes tipos de obras onde o contato direto com a água pode ou não ser relevante.

5 Conclusão

Com uso de resíduos do PET em substituição parcial ao agregado miúdo na conformação de microconcretos percebe-se que independentemente da idade de cura, os corpos de prova CP, apresentaram reduções (em média 15,48%) nos valores de resistência à compressão quando comparados aos corpos-de-prova CA e vai ao encontro de estudos já realizados, que verificaram uma tendência de redução na resistência à compressão do concreto com o aumento do teor destes resíduos.

O uso de resíduos PET em substituição parcial ao agregado miúdo demonstrou também produzir, embora pequena, uma diminuição nos valores tanto de absorção de água como de porosidade do microconcreto endurecido, tal diminuição pode ter ocorrido devido a um melhor adensamento produzido pelo resíduo PET.

Segundo Amianti e Botaro (2008), esta redução na Porosidade, e conseqüente redução da Absorção de água, podem representar além de uma solução para o aumento da durabilidade do microconcreto, uma diminuição da proliferação de fungos na sua superfície, e, o fato do material não ser totalmente impermeável é muito importante, pois permite que a água evaporável (água capilar e parte da água adsorvida) possa ser extraída (em forma de vapor), em casos de elevação da temperatura.

Devido à pequena redução de resistência quando comparado ao material sem adição de PET em substituição parcial ao agregado miúdo recomenda-se este produto para a confecção de materiais que não exigem grandes resistências mecânicas, como por exemplo, lajotas para calçamentos de passeios públicos e ciclovias, calçadas ecológicas, blocos de vedação e telhas de cimento já que o mesmo é consideravelmente mais leve que o concreto endurecido comum.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738**: concreto: procedimento para modelagem e cura de corpos-de-prova. Rio de Janeiro, 2004.

_____. **NBR 9778**: argamassa e concreto endurecidos: determinação da absorção de água por imersão: índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 5739**: concreto: ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndrico. Rio de Janeiro, 2006.

_____. **NBR 9479**: argamassa e concreto: câmaras úmidas e tanques para cura de corpos-de-prova. Rio de Janeiro, 2006.

- ABIPET. **Panorama do setor**. 2013. Formato PDF. 20 slides, color. Disponível em: <<http://www.abipet.org.br/index.html?method=mostrarInstitucional&id=36>>. Acesso em: 13 jun. 2014.
- AMIANTI, M.; BOTARO, V. R. Concreto impregnado com polímero (CIP): uso e aplicação do EPS reciclado para redução da permeabilidade de superfícies de concreto. **Matéria**, Rio de Janeiro, v. 13, n. 4, p. 664-73, 2008.
- ARAÚJO, J. M. **Estruturas de concreto**: a resistência à compressão e critérios de ruptura para o concreto. Rio Grande: DUNAS, abr. 2001, 26 p. (Série Estruturas de Concreto, n. 1).
- BASTOS, P. S. S. **Fundamentos do concreto armado**. Bauru: UNESP, 2005. 92 f. (Notas de Aula).
- CHIDIAC, S. E.; MIHALJEVIC, S. N. Performance of dry cast concrete blocks containing waste glass powder or polyethylene aggregates. **Cement and Concrete Composites**, Canada, v. 5, n. 8, p. 855-63, 29 set. 2010.
- ISMAIL, Z. Z.; AL-HASHMI, E. A. Use of waste plastic in concrete mixture as aggregate replacement. **Waste Managements**, v. 28, n. 11, p. 2041-7, 2008.
- LU, S.; LANDIS, E. N.; KEANE, D. T. X-ray microtomographic studies of pore structure and permeability in Portland cement concrete. **Materials and Structures**, v. 39, n. 6, p. 611-20, 2006.
- MAGRINI, A. **Impactos ambientais causados pelos plásticos**: uma discussão abrangente sobre os mitos e os dados científicos. 2. ed. Rio de Janeiro: E-papers, 2012. 319 p.
- QUEIROZ, L. F. T.; MONTEIRO, S. N.; VIEIRA, C. M. F. Effect of the use of sand in the processing and properties of red ceramics. **Cerâmica**, São Paulo, v. 56, n. 339. 279-284, jul. 2010.
- RATTANASAK, U; KENDALL, K. Pore structure of cement/pozzolan composites by X-ray microtomography. **Cement and Concrete Research**, v. 35, n. 4, p. 637-40, 2005.
- RIBEIRO, M. S. **Argamassas cimentícias modificadas com adjuvantes poliméricos**: composição e características. 2004. 604 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Técnica de Lisboa, 2004.
- SPINACÉ, M. A. S; PAOLI, M. A. A Tecnologia da reciclagem de polímeros. **Química Nova**, v. 28, n. 1, p. 65-72, jan./feb. 2005.
- TACHARD, A. L. R. S.; RIBEIRO, D. V.; MORELLI, M. R. **Avaliação da resistência mecânica de argamassas de cimento Portland contendo serragem de couro tratada em meio ácido**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA E CIÊNCIA DOS MATERIAIS, 17., 2006, Foz do Iguaçu. **Anais...**, São Paulo: CBECIMAT, 2006.
- TALL, S. **Recycling of mixed plastic waste**: is separation worthwhile? Tese (Ph.D in Science) – Department of Polymer Technology, Royal Institute of Technology, Estocolmo, Suécia, 2000. Disponível em: <<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.198.7128&rep=rep1&type=pdf>>. Acesso em: 13 jun. 2014.