

OBTENÇÃO DE CONCRETO LEVE: UM ESTUDO SOBRE A ADIÇÃO DE POLÍMERO COM GRUPOS FUNCIONAIS (PET) E SEM GRUPOS FUNCIONAIS (PP)¹

OBTENTION OF LIGHTWEIGHT CONCRETE: A STUDY ON THE ADDITION OF POLYMER WITH FUNCTIONAL GROUPS (PET) AND WITHOUT FUNCTIONAL GROUPS (PP)

Priscila Marques Correa² e Luiz Fernando Rodrigues Júnior³

RESUMO

A redução dos custos associados à produção e o aumento do poder aquisitivo da sociedade gerou um grande consumo de embalagens poliméricas. Este tipo de embalagem, em sua maioria, recebe um descarte inadequado pela população e gera um grande problema ambiental. Uma das alternativas para a redução do impacto é a reciclagem por meio de sua adição no concreto, formando um novo material de baixa densidade, com crescente utilização na indústria da construção civil, e denominado de concreto leve. Neste estudo, foram utilizadas embalagens de poli (tereftalato de etileno) (PET) e polipropileno (PP) oriundos do lixo doméstico para a fabricação de concreto leve. O material obtido foi caracterizado por ensaios de resistência à compressão, isolamento térmico e acústico, absorção de água e densidade, e a partir dos resultados obtidos, pode-se comprovar a possibilidade de utilização deste tipo de resíduo na produção de novos concretos.

Palavras-chave: reciclagem, resíduo, densidade.

ABSTRACT

The cost reduction related to production and society's increased purchasing power has generated a large consumption of polymeric packaging. This type of packaging, in general, receives inadequate disposal and this generates a major environmental problem. An alternative for reducing the impact of this reality is recycling through its addition in concrete, forming a new low-density material. Such material has been used by the building industry, and is called lightweight concrete. For this study it was used poly (ethylene terephthalate) (PET) and polypropylene (PP) packaging from household waste for the production of lightweight concrete. The material obtained was characterized by some tests like compression resistance, thermal and acoustic insulation, water absorption and density. The results show the possibility of using this type of waste in the production of new concrete.

Keywords: recycling, waste, density.

¹Trabalho Final de Graduação - TFG.

²Acadêmico do Curso de Engenharia de Materiais - Centro Universitário Franciscano.

³Orientador - Centro Universitário Franciscano. E-mail: luiz.fernando@unifra.br

INTRODUÇÃO

Anualmente, milhões de toneladas de resíduos sólidos são gerados e descartados no meio ambiente. Este tipo de descarte contém uma grande quantidade de materiais que poderiam ser reciclados, tais como: plásticos, papéis, alumínio, etc. A reciclagem deste tipo de material, prévia ao seu descarte na natureza, minimiza o acúmulo de resíduos, garantindo uma melhor qualidade de vida à população (FADINI; FADINI, 2005; SOARES et al., 2007). Além disso, quando o homem explora os recursos da terra e não utiliza ou recicla-os, o meio ambiente é poluído. Isso impede que os ciclos naturais se realizem apropriadamente (BARROS et al., 1995; LIMA, 1995).

Pesquisas mostram que, no lixo doméstico, os materiais plásticos representam cerca de 10% da massa e 35% do volume total (MANCINI, 2007; JANKAUSKAITĖ et al., 2008). Dentre estes materiais, o PET figura entre os de maior volume, sendo somente inferior ao do polietileno (PEAD e PEBD). Apesar deste elevado volume, os catadores dão preferência à coleta de alumínio e embalagens plásticas, pois o alumínio apresenta uma cadeia de reciclagem melhor estruturada e com maior valor agregado (COELHO et al., 2011). Este fato também está relacionado à contaminação dos plásticos dentro do lixo, ao baixo preço da resina virgem, a dificuldade de coleta e a desconfiança dos consumidores sobre as propriedades de produtos produzidos a partir de polímeros reciclados (BEZERRA, 2003).

Uma alternativa para o aproveitamento destes materiais é a fabricação do concreto leve, na qual a principal característica é a baixa densidade, derivada da utilização de agregados miúdos de baixo peso específico (PET, PP, PS, etc.), para a substituição parcial ou total da areia (ROSSIGNOLO, 2003). A massa específica do concreto leve pode variar entre 300 kg/m³ e 1.850 kg/m³, enquanto que o concreto, normalmente, tem valores médios entre 2.300 kg/m³ e 2.500 kg/m³ (PETRUCCI, 2005). Esta substituição também apresenta outro fator positivo em relação ao ambiente, pois reduz a utilização da areia. A extração da areia é feita, muitas vezes, de forma desordenada, trazendo danos sérios e, muitas vezes, irrecuperáveis ao meio ambiente (PFALTZGRAFF, 1994).

Na perspectiva em diminuir impactos ambientais e em aliar novas ideias com necessidades ambientais, esse trabalho visa à utilização de PET e PP reciclados na composição da mistura do concreto, com o objetivo de reduzir a densidade sem interferir consideravelmente nas suas propriedades mecânicas e físico-químicas. A avaliação das propriedades dos concretos produzidos deu-se por meio de ensaios de resistência à compressão, isolamento térmico e acústico, absorção de água e densidade.

MATERIAIS E MÉTODOS

Os polímeros utilizados (PET e PP rígidos) foram adquiridos de cooperativas de reciclagem e somente embalagens alimentícias e de bebidas foram utilizadas. As embalagens de PP e PET foram

limpas em água corrente para a retirada de eventuais resíduos e impurezas. Após esse procedimento, foi realizado o corte em tiras e a moagem em um moinho de facas Willye, modelo TE-650.

As misturas foram realizadas usando cimento, areia, brita e água, todos sem tratamentos prévios. Os corpos de prova foram feitos com a substituição de 20% de seu volume da areia (agregado miúdo) pelos polímeros PET e PP. Este volume foi baseado em estudo prévio realizado pelo laboratório (CORREA et al., 2013a; CORREA et al., 2013b). Na tabela 1 é apresentada a composição com as quantidades utilizadas para os corpos de prova com adição do polímero e o branco (sem adição de material polimérico).

Para a determinação do tamanho de partículas dos polímeros adicionados ao concreto, 300g de amostra de cada polímero foram adicionadas em um agitador com cinco peneiras de diferentes mesh (8, 16, 30, 50 e 100). A maior quantidade de polímero retido ficou entre as peneiras mesh 16 e 30, indicando que as partículas apresentam tamanho médio entre 0,6 mm-1,6 mm.

Tabela 1 - Relação das composições e tempo de cura para os diferentes traços de concreto produzidos para avaliação neste estudo.

Composição	Amostras		
	Branco	PET	PP
Tempo de cura (dias)	28	28	28
Cimento (Kg)	5,0	5,0	5,0
Areia média (Kg)	10,0	8,2	8,2
Água (dm ³)	1,5	1,5	1,5
Brita nº 0 (Kg)	15,0	15,0	15,0
PP (dm ³)	0,0	0,0	1,2
PET (dm ³)	0,0	1,2	0,0

A preparação de todas as misturas ocorreu em betoneira, conforme procedimento padrão do laboratório. Na tabela 2, são apresentados a ordem e o tempo de betoneira para mistura do concreto.

De acordo com a norma NBR 5738 (1994), os moldes 10 x 20 cm foram revestidos com uma fina camada de óleo mineral, com uma concha U, adicionando-se o concreto nos moldes com 12 golpes consecutivos para a homogeneização da mistura, em duas camadas com a mesma quantidade de concreto. Após o adensamento da última camada, foi realizado o rasamento da superfície com a borda do molde com uma colher de pedreiro. Os corpos de prova permaneceram em molde por 24h e depois foram desmoldados e devidamente identificados. Para a cura do concreto, as amostras foram colocadas em câmara úmida à temperatura de 23°C e umidade relativa de 95% por 28 dias.

Antes do ensaio os corpos de prova foram capeados com uma fina camada de enxofre, a fim de obter a planicidade do material. Isso foi realizado de modo a não haver interferência nos resultados do ensaio de compressão axial.

Tabela 2 - Passos para a obtenção do concreto com seus respectivos tempos de mistura.

Material	Tempo (min)
Areia e Polímero*	1
Brita	1
Cimento e 75% de água	3
Água	1

*No branco não foi adicionado polímero.

Os ensaios foram realizados em uma máquina de ensaios de compressão da marca contendo, modelo 1.07 e controlados pelo software Pavtest. No procedimento de ensaio, os corpos tiveram seus comprimentos e diâmetros medidos com um paquímetro analógico (ABNT/NBR 5739, 2007). Todos os corpos foram ensaiados após 28 dias de cura em câmara úmida. Foram ensaiados 3 (três) corpos de prova de cada mistura para obter-se uma média de resultados.

Todas as amostras foram medidas em triplicata no seu comprimento e diâmetro para o cálculo do volume (Equação 1). Após, as amostras foram pesadas em uma balança analítica e a partir dos valores de volume e massa foi calculada a densidade das diferentes composições (Equação 2).

$$v = h\pi r^2 \quad (1)$$

em que: v = volume; h = altura; r = raio e

$$d = m/v \quad (2)$$

em que: d = densidade; m = massa; e v = volume.

A norma ASTM C1585 (2013) descreve o método para determinação da absorção de água, por meio da ascensão capilar, de argamassa e concreto endurecidos. Nesta norma são estabelecidos os procedimentos, desde as etapas iniciais de preparo e secagem dos corpos de prova até a etapa de medição da absorção de água.

O ensaio de absorção de umidade foi baseado na norma ASTM C1585 (2013), a partir dos corpos de prova cilíndricos que foram cortados nas seguintes dimensões: 10 cm de diâmetro por 5cm de altura. Após o corte, as amostras foram condicionadas em um dessecador por 3 dias e o controle interno da umidade foi feito com sílica gel. Após esse tempo, os corpos de prova foram selados e colocados em um recipiente individual e depois reservados por 15 dias a 23°C. Após, foram realizadas quatro medidas diferentes do diâmetro do corpo de prova e selada as laterais com um filme polimérico.

Os ensaios foram realizados em um recipiente metálico contendo uma película de água de 2,5 mm de altura. No cálculo da absorção foi utilizada a equação (Equação 3). As massas foram medidas nos seguintes tempos: 2 min, 10 min, 20 min, 30 min, 60 min, 24h e 48h.

$$I = \frac{m}{a \cdot d} \quad (3)$$

em que I = absorção de umidade (mm); m = variação das amostras (g); a = área exposta (mm²); e d = densidade da água (g/mm³).

Foram construídas três caixas quadradas sem fundo, de 30 cm de aresta e deixando um orifício circular de 5 cm de diâmetro na face superior. A composição utilizada foi a mesma apresentada na Tabela 1, sendo a mistura preparada em betoneira, conforme os procedimentos utilizados na confecção dos corpos de prova de compressão e absorção de umidade.

As caixas foram colocadas sobre uma placa de isopor com 1 x 40 x 40 cm, com o sistema de aquecimento posicionado à uma distância de 30 cm de uma das faces da caixa. A temperatura externa (face diretamente exposta ao aquecedor) e interna da caixa foram medidas a cada 15 minutos durante um período de 3 horas. Este procedimento foi realizado em 3 (três) faces de cada caixa. A temperatura da sala se manteve estável em 25°C ± 1°C durante a duração do ensaio.

Utilizaram-se para a execução deste ensaio as três caixas confeccionadas para a realização do ensaio de isolamento térmico. As caixas foram apoiadas sobre placa de isopor e o aparelho de som foi posicionado à 1m de distância dos corpos de prova. Com o decibelímetro foram medidos sons em três diferentes níveis de ruídos, sendo medido o ruído externo e interno à caixa. Por meio das diferenças de valores obtidos, foi possível considerar a capacidade de isolamento acústico das diferentes misturas.

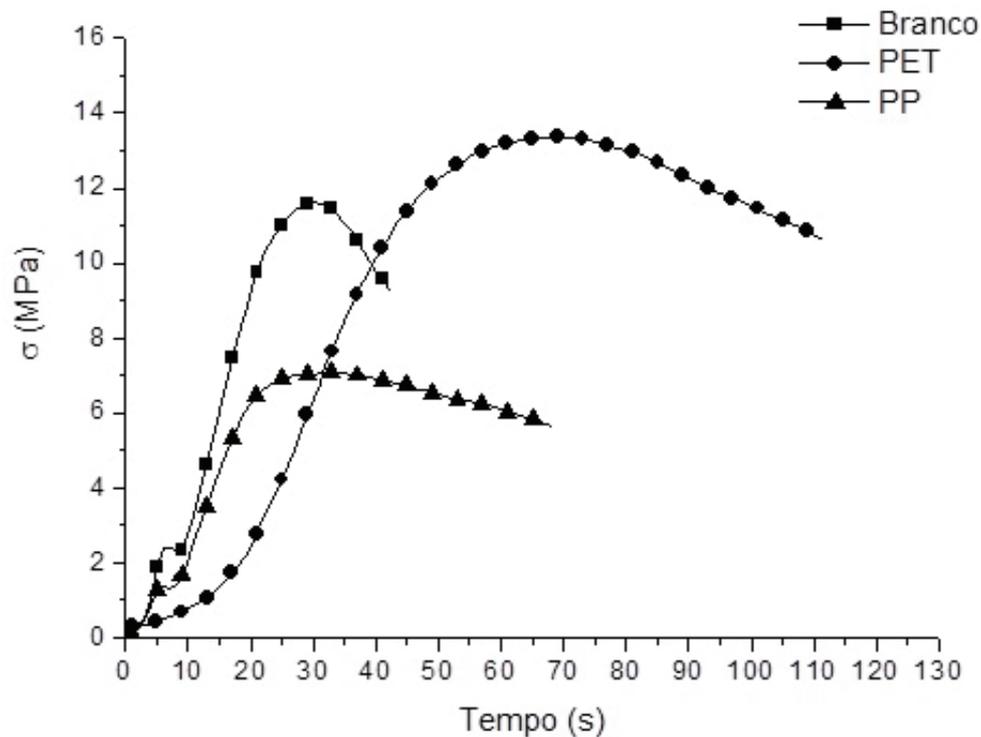
RESULTADOS E DISCUSSÃO

COMPRESSÃO

Na figura 1, são apresentados os gráficos de ensaio de compressão das 3 (três) misturas obtidas. Pode-se observar que o corpo de prova com adição de PET teve um desempenho um pouco superior ao branco. Enquanto que o PP teve um comportamento bem inferior ao branco e ao PET. Sendo que as médias das máximas tensões de compressão para o Branco PET e PP são: 12 MPa, 13 MPa e 7 MPa, respectivamente. Estes valores mostram que o PP 20% (v/v) teve uma resistência máxima muito inferior ao Branco e ao PET. O autor (PIETROBELLI, 2010) trabalhou com as adições destes polímeros e constatou que quanto maior é a porcentagem do polímero no concreto a tendência é reduzir sua resistência à compressão.

A baixa resistência à compressão do concreto com polipropileno pode estar relacionada à menor interação química entre o polímero e a matriz cimentícia e a porosidade residual gerada na confecção da amostra.

Figura 1 - Resultados do Ensaio de Compressão para concretos.



DENSIDADE

Para o ensaio de densidade foram obtidos os seguintes resultados: Branco - 2.400 Kg/m³; PET - 1.700 Kg/m³ e PP - 1.500 Kg/m³. Os resultados estão dentro dos valores para concretos leves (PETRUCCI, 2005). Conforme esperado, a composição com PP apresentou uma densidade menor que a do PET, visto que o PP e PET apresentam densidade de 0,946 g/cm³ e 1,38 g/cm³, respectivamente.

ABSORÇÃO DE ÁGUA

Os ensaios de absorção de água também foram realizados aos 28 dias de cura. Os corpos de prova foram ensaiados sempre em grupos de três para cada composição, e a massa de água absorvida por área (mm²) foi o resultado obtido para cada corpo de prova em 48 horas.

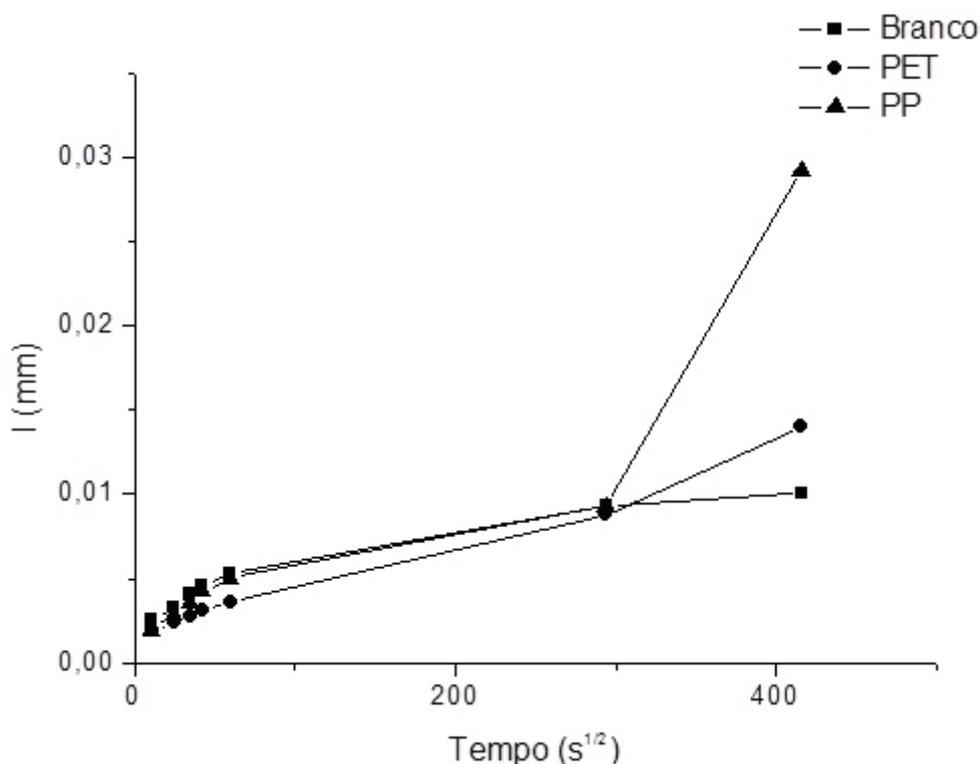
Analisando os resultados do índice de absorção (Tabela 3) para as amostras, nota-se que o corpo de prova com adição de PP teve uma maior porcentagem de água absorvida em relação às demais amostras, principalmente no último dia de avaliação (Figura 2).

Um fator característico para obtenção deste resultado é que o concreto com adição de polímero reciclado é mais suscetível à absorção de água e à lixiviação, em relação ao preparado com agregados naturais (areia), devido à interação físico-química entre o polímero e o cimento (CANELLAS, 2005).

Tabela 3 - Média dos resultados do ensaio de absorção de água.

Dia	Período (s)	Tempo (\sqrt{s})	Índice de absorção (mm)		
			Branco	PET	PP
	120	10,954451	0,002505	0,001890	0,001963
	600	24,494897	0,003260	0,002347	0,002878
	1200	34,641016	0,004060	0,002715	0,003582
	1800	42,426407	0,004600	0,003076	0,004248
	3600	60,000000	0,005356	0,003600	0,005026
1°	86400	293,93877	0,009309	0,008800	0,009306
2°	172800	415,69219	0,010050	0,013990	0,029210

Figura 2 - Índice de absorção de água obtido para os diferentes corpos de prova, conforme ensaio baseado na norma ASTM C1585 2013).

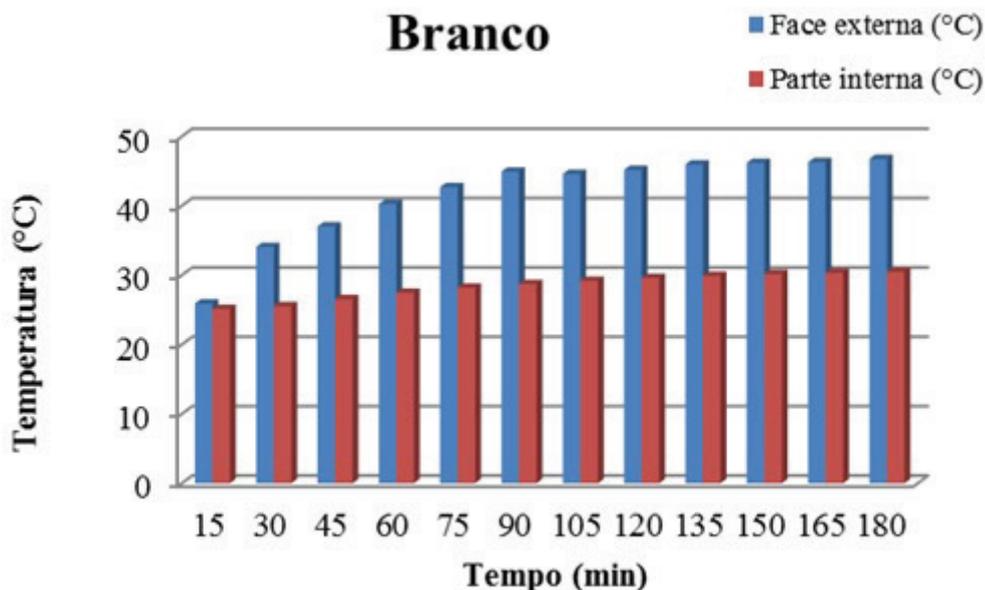


ISOLAMENTO TÉRMICO

Nas figuras 3, 4 e 5 é apresentado o desempenho das misturas quanto ao isolamento térmico. As três amostras foram expostas ao calor por 3h e a cada 15 min a temperatura interna e da face externa (posicionada em frente ao aquecedor) foram medidas com um termopar. Na avaliação do corpo de prova branco (Figura 3) a face externa exposta ao calor variou de 25,9°C a 46,8°C, enquanto a temperatura interna da caixa elevou-se de 25,1°C a 30,5°C, ou seja, uma

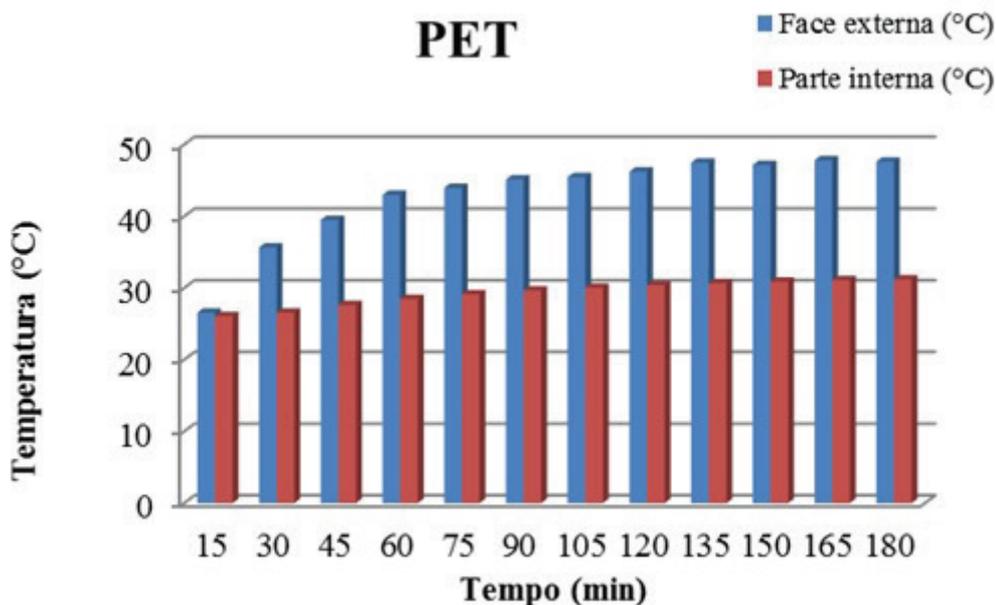
variação de 5,4°C. O ambiente utilizado para a realização do ensaio estava com temperatura controlada a 25°C ± 1°C,

Figura 3 - Resultado do ensaio de isolamento térmico para o corpo de prova branco.



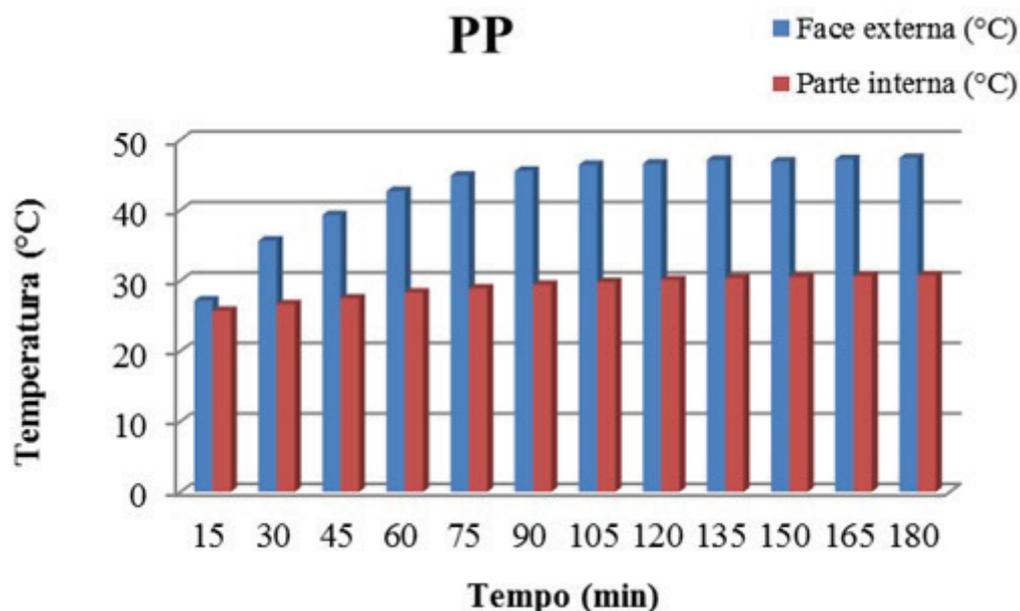
Já o concreto leve com adição de 20% (v/v) de PET teve uma variação de temperatura interna de 5,1°C, em que a face externa teve a sua temperatura elevada de 26,6°C a 47,6°C, como pode ser visto na figura 4.

Figura 4 - Resultado do ensaio de isolamento térmico para o corpo de prova com adição de PET.



O corpo de prova com adição de 20% (v/v) de PP teve uma variação interna de temperatura de 5,0°C (Figura 5) e uma elevação da temperatura externa de 27,2°C a 47,4°C.

Figura 5 - Resultado do ensaio de isolamento térmico para a amostra com adição de PP.



ISOLAMENTO ACÚSTICO

Na tabela 4 é apresentada a média dos resultados obtidos para os ensaios de isolamento acústico. É possível observar que o corpo de prova que teve pior isolação acústica foi a mistura realizada com PP. Pode-se observar que o PP teve um resultado ruim quando comparado ao corpo de prova Branco. A mistura preparada com PET teve um resultado similar ao branco, mas assim como o PP, também foi inferior ao branco.

Tabela 4 - Média das diferenças de potência sonora dentro e fora dos corpos de prova.

Corpo de Prova	Volume alto (DB)	Volume Médio (DB)	Volume Baixo (DB)
Branco	21,7	23,6	27,1
PP	17,1	19,1	20,0
PET	20,5	25,1	25,1

CONCLUSÃO

Verificou-se que no ensaio de resistência à compressão o corpo de prova com adição de PET apresentou uma tensão máxima de 13 MPa, sendo superior ao branco (12 MPa). Pela avaliação do índice de absorção de água das misturas, a amostra com 20% (v/v) de PP teve o índice cerca três

de vezes maior que o branco. Esse excesso de absorção pode ser devido à elevada porosidade da amostra, também relacionada à baixa tensão máxima de compressão (7MPa).

No ensaio de isolamento térmico, os 3 (três) traços de concreto foram muito similares, não apresentando diferenças significativas entre si. No que tange a avaliação acústica, o PP foi o que apresentou pior isolamento acústico, com até 7 DB a menos de isolamento que o branco.

Contudo, apesar dos resultados de resistência a compressão axial, absorção de água, isolamento térmico e acústico inferiores ao concreto branco, a exceção da resistência a compressão do concreto modificado com PET, o uso de resíduos sólidos poliméricos em concretos é uma importante alternativa ao tratamento destes resíduos. Aplicações onde a resistência mecânica não é fator primordial, como revestimentos de parede, a redução do peso específico é interessante para economia da energia nos processos de fabricação e redução das dimensões de vigas e pilstras de sustentação. Juntamente a estes fatores, a substituição da areia, matéria-prima não renovável, pelos resíduos poliméricos reduz o impacto gerado pela necessidade crescente de novas moradias, escolas, hospitais e todas as tecnologias de construção fundamentadas no uso do cimento e areia.

REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM C1585-13**: standard test method for measurement of rate of absorption of water by hydraulic cement concretes. West Conshohocken, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738**: moldagem e cura de corpos de prova cilíndricos ou prismáticos de concreto. Rio de Janeiro, 1994.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739**: concreto - ensaios de compressão em corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007.

BARROS, R. T. V. et al. **Saneamento**. Belo Horizonte: Escola de Engenharia da UFMG, 1995. (Manual de saneamento e proteção ambiental para os municípios - volume 2).

BEZERRA, L. A. C. **Análise do desempenho térmico de sistema construtivo de concreto com PP como agregado graúdo**. 2003. 64 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Centro de Tecnologia. Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica. Natal, 2003.

CANELLAS, S. S. **Reciclagem de PET, visando a substituição de agregado miúdo em argamassas**. 2005. 78 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Metalúrgica e de Materiais) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Metalúrgica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

COELHO, T. M.; CASTRO, R.; GOBBO Jr., J. A. PET containers in Brazil: Opportunities and challenges of a logistics model for post-consumer waste recycling. **Resources, Conservation and Recycling**. v. 55, p. 291-299, 2011.

CORREA, P. M. et al. Obtenção de concreto leve: um estudo sobre a adição de polímero com grupos funcionais - PET. In: **CBPol, 2013**, Florianópolis. CBPol, 2013a.

CORREA, P. M. et al. Obtenção de Estruturas em Concreto Leve pela Adição de Polipropileno (PP). In: **CBPol, 2013**, Florianópolis. CBPol, 2013b.

FADINI, P. S.; FADINI, A. A. B. Lixo: desafios e compromissos. **Cadernos temáticos de Química Nova na Escola**. São Paulo: Sociedade Brasileira de Química. n. 1, p. 9-18, 2005.

JANKAUSKAITĖ, V.; MACIJAUSKAS, G.; LYGAITIS, R. Polyethylene Terephthalate Waste Recycling and Application Possibilities: a Review. **Materials Science (MEDŽIAGOTYRA)**, v. 14, n. 2, p. 119-127, 2008.

LIMA, L. M. Q. **Lixo: Tratamento e Biorremediação**. 3. ed. São Paulo: Hermus Editora, 1995. 265 p.

MANCINI, S. D. Recycling potential of urban solid waste destined for sanitary landfills: the case of Indaiatuba, SP, Brazil. **Waste Manage Res**, v. 25, p. 517-523, 2007.

PIETROBELLI, E. R. **Estudo de viabilidade do PET reciclado em concreto sob aspecto da resistência a compressão**, 2010. 71 f. Trabalho de conclusão (Graduação) - Universidade Comunitária Regional de Chapecó, Chapecó, 2010.

PETRUCCI, E. G. R. **Concreto de cimento Portland**. 14. ed. São Paulo: Globo, 2005. 307 p.

PFALTZGRAFF, Pedro Augusto dos Santos. **Aspectos ambientais da lavra de areia, exemplo da área produtora do Rio São João**. 1994. 81 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1994.

ROSSIGNOLO, J. A. **Concreto leve de alto desempenho modificado com SB para pré-fabricados esbeltos-dosagem, produção, propriedades e microestrutura**. 2003. 220 f. Tese (Doutorado em Ciências e Engenharia de Materiais). Interunidades em Engenharia e Ciência dos Materiais, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.

SOARES, L. G. C.; SALGUEIRO, A. A.; GAZINEU, M. H. P. Educação ambiental aplicada aos resíduos sólidos na cidade de Olinda, Pernambuco - um estudo de caso. **Revista Ciências & Tecnologia**, v. 1, n. 1, p. 1-9, 2007.

