

AVALIAÇÃO DA REUTILIZAÇÃO DE POLIESTIRENO EXPANDIDO (EPS) NA CONFEÇÃO DE BLOCOS DE CONCRETO ATRAVÉS DE IMAGENS DE RAIOS X

M. A. Marques¹; M. V. de Castro² e M. L. P. Antunes²

^{1,2}UNESP/Campus Experimental de Sorocaba

^{1,2}NATEL – Núcleo de Automação e Tecnologias Limpas

¹Departamento de Engenharia de Controle e Automação

²Departamento de Engenharia Ambiental

Av. Três de Março, 511 – CEP: 18087-180. Sorocaba/SP, Brasil.

marciomq@sorocaba.unesp.br

RESUMO

Resíduos do Poliestireno Expandido (EPS), mais conhecido como isopor, teve uma produção de 8,87 milhões de toneladas em 2012, porém, eles raramente são reciclados. Uma alternativa é o seu reaproveitamento na confecção de blocos de concreto para construção civil sem fins estruturais. Assim, o objetivo deste trabalho é realizar uma avaliação, através de imagens de raios X, da distribuição espacial do EPS (de embalagens alimentícias) e verificar a viabilidade da reutilização desse resíduo na confecção de blocos de concreto. Corpos de prova foram fabricados seguindo as normas da ABNT-NBR 5738 utilizando o traço 0,6:8:0,5 (cimento:pó de pedra/pedrisco:areia), com substituição de parte do pó de pedra/pedrisco pelo isopor nas proporções 5%, 10% e 15%. Imagens de raios X dos corpos cilíndricos demonstram que a distribuição do resíduo é homogênea, compatível com o que se deseja neste tipo de incorporação, corroborando com os resultados de testes de resistência à compressão.

Palavras-chave: imagens de raios X, cimento Portland, Poliestireno Expandido, resíduo.

INTRODUÇÃO

A reciclagem dos rejeitos gerados pelas indústrias para uso como matérias-primas alternativas não é nova e tem sido efetuada com sucesso em vários países. As razões que motivam esses países, em geral, são: o esgotamento das reservas confiáveis; a conservação de fontes não renováveis; melhoria da saúde e segurança

da população (1). Dentre todos os tipos de resíduos, os resíduos sólidos merecem destaque, uma vez que representam uma substancial parcela entre todos os que são gerados, e quando mal gerenciados, tornam-se um problema sanitário, ambiental e social (2). Com isso diversas pesquisas relacionadas à incorporação de resíduos em outros processos produtivos já vem sendo estudadas há alguns anos, demonstrando as vantagens e a eficácia de tal processo (3, 4, 5, 6).

O Poliestireno Expandido (EPS) mais conhecido como "Isopor®", marca registrada da Knauf Isopor Ltda. foi descoberto em 1949 e se trata de um plástico celular rígido, resultante da polimerização do estireno em água e expandido posteriormente por pentano. Sabe-se que tal produto não contamina solo, água e ar, e que o mesmo pode ser reaproveitado ou reciclado, no entanto isso pouco acontece (7, 8). Ele vêm se tornando um grande problema, pois com uma produção de 8,87 milhões de toneladas no ano de 2012, com perspectiva de crescimento anual em 3% segundo *Merchant Research & Consulting Ltd* (9), vemos que nos deparamos com um grande problema já que boa parte dos resíduos gerados não recebe uma destinação adequada, devido a falta de interesse em recicla-lo, fator que podemos atribuir à dificuldade de seu armazenamento.

No Brasil, o EPS participa do mercado de embalagens com cerca de 18 mil toneladas ao ano. Porém, após o uso e descarte das mesmas, o seu destino final, em geral, é o aterro sanitário. Apesar desse material não ser biodegradável ele é reciclável. Entretanto, devido ao seu baixo valor de mercado e o fato de ocupar muito espaço, existem poucas fábricas de reciclagem espalhadas pelo país, fazendo com que o EPS acabe não sendo um resíduo interessante de se tratar na coleta seletiva (10).

Encontrar uma solução economicamente atraente para o EPS é algo extremamente necessário. Uma possível alternativa seria a incorporação do mesmo em processos produtivos, substituindo outra matéria prima de valor financeiro maior, gerando assim, uma vantagem mais acessível, o que torna este processo factível, barato, fácil e atraente, atingindo diversos aspectos ambientais, sociais e econômicos. Por outro lado, a construção civil muitas vezes utiliza a incorporação de resíduos em seu processo. Os blocos de vedação destinados ao fechamento de vãos na construção civil ou mesmo, com função decorativa, são constituídos basicamente de cimento Portland, agregados graúdos e miúdos (areia, pó de pedra, brita, dentre outros) e água. Deste modo, uma alternativa viável é a substituição de

uma porcentagem dos agregados por um determinado resíduo. Nesta perspectiva, existe a possibilidade do uso do EPS na confecção de blocos de concreto, o que poderá contribuir para as características térmicas e acústicas do novo material produzido.

Diante desse contexto, este trabalho tem como objetivo apresentar os resultados da avaliação da distribuição espacial da incorporação do EPS na confecção de blocos de concreto, através de imagens de raios X, para verificar a viabilidade do emprego desta técnica. Além disso, visa verificar a relação desta distribuição com as propriedades mecânicas dos corpos produzidos.

MATERIAIS E MÉTODOS

Resíduo Utilizado

O EPS utilizado neste trabalho é proveniente de embalagens alimentícias pós-consumo. Estas embalagens foram trituradas manualmente, utilizando-se uma tesoura. A Figura 1 mostra as embalagens originais e após a trituração.

Foi feita uma análise granulométrica utilizando paquímetro e micrômetro de uma fração da amostra.



Figura 1: Embalagens originais de EPS e após a trituração (resíduo).

Confecção dos Corpos de Prova de Cimento Portland

Os corpos de prova (CPs) foram produzidos utilizando-se moldes confeccionados em PVC conforme a Norma NBR 5738 - Moldagem e cura de corpos de prova cilíndricos ou prismáticos de concreto (11).

Foram produzidos 4 lotes com diferentes porcentagens de EPS triturado. Cada lote foi constituído de 3 corpos idênticos. No primeiro lote, utilizou-se um traço de

0,6:8:0,5 cimento, pó de pedra/pedrisco e areia, respectivamente, em relação ao volume. Este lote foi denominado neste trabalho de lote 1 (0%), pois não foi incorporado nenhuma porcentagem de resíduo. Nos demais lotes (2, 3 e 4) foi utilizado o mesmo traço, entretanto houve uma substituição de parte do pó de pedra/pedrisco pelo isopor nas porcentagens de 5%, 10% e 15% (Tabela 1).

Após 24 horas da confecção dos corpos, eles foram desmoldados e submetidos à cura em água por 28 dias, segundo a Norma NBR 5738.

Tabela 01: Proporção em volume e massa dos CPs produzidos.

Lote	1	2	3	4
% de EPS	0%	5%	10%	15%
Pó de pedra/pedrisco	8000g	7600g	7200g	6800g
EPS	0ml	650ml	1300ml	1950ml
Cimento	600g	600g	600g	600g
Areia	500g	250g	250g	250g

Ensaio de Compressão

Os ensaios de compressão seguiram a Norma NBR-7215 e foram realizados no laboratório da Supermix Concreto S/A em Sorocaba, utilizando-se uma prensa hidráulica EMIC®. Os corpos de prova receberam uma camada de enxofre para garantir superfícies planas para os testes de compressão. Este equipamento possui a leitura em tonelada-força (**tf**), sendo assim, para o cálculo da resistência à compressão e transformação da medida em Mega Pascal (MPa), foi utilizada a equação (A):

$$fck = ((F * 1000)/A)/10,1972 \quad (A)$$

Onde: **fck**: Resistência à compressão (MPa)

F: Força (tf)

A: Área do topo do corpo de prova (cm²)

Obtenção das Imagens de Raios X

Como os corpos de prova possuem um formato cilíndrico com 20 cm de altura e 10 cm de diâmetro, foram obtidas imagens na projeção frontal utilizando um

equipamento de raios X industrial X-ray Philips MG/450 (Figura 2) com uma distância foco/filme de 3,5 m e dois conjuntos de parâmetros, como mostra a Tabela 2. A Figura 3 mostra a disposição do corpo de prova durante a obtenção das imagens de raios X.



Figura 2: Equipamento de raios X utilizado.

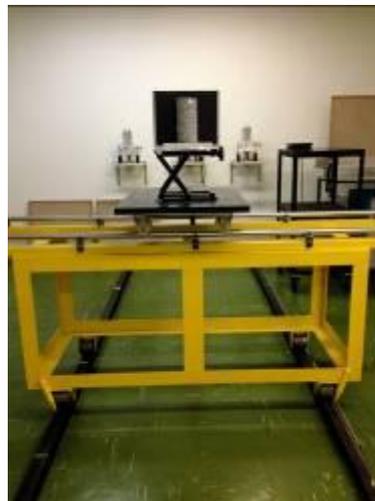


Figura 3: Disposição dos CPs.

Foram utilizados dois conjuntos de parâmetros para que fosse possível obter uma penetração maior dos raios X na parte central dos corpos de prova.

Tabela 2 – Parâmetros utilizados no aparelho de raios X.

Parâmetros	Conjunto 1	Conjunto 2
Voltagem (kVp)	83	130
Corrente (mA)	2	10
Tempo (s)	10	10

As imagens foram então obtidas utilizando um aparelho de radiografia computadorizada CR 30-X AGFA (Figura 4).



Figura 4: Aparelho de radiografia computadorizada CR 30-X AGFA.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Granulometria do Resíduo Utilizado

Após a trituração das embalagens de isopor as dimensões do material obtido foram medidas. O resultado médio das dimensões do resíduo corresponde a 0,8 ($\pm 0,1$)cm x 0,5 ($\pm 0,1$)cm x 0,25 ($\pm 0,05$)cm. Estas dimensões são maiores do que a granulometria da areia, porém optou-se por substituir uma fração do agregado miúdo por esse material.

Ensaio de Compressão

A Figura 5 mostra alguns corpos de prova com as suas respectivas porcentagens do resíduo incorporado.

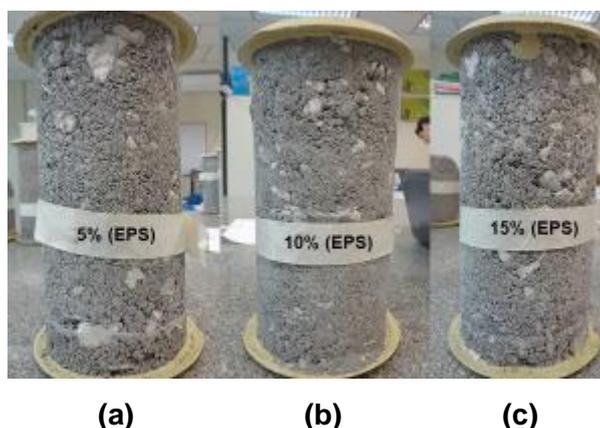


Figura 5: CPs com, respectivamente, (a) 5%, (b) 10% e (c) 15% de resíduo.

A Tabela 3 apresenta os valores obtidos nos ensaios de compressão.

Tabela 3: Ensaio de Compressão dos CPs de 10x20 cm.

Lote	% de EPS	Resistência Média (MPa)
1	0%	1,88 \pm 0,38
2	5%	3,07 \pm 0,89
3	10%	2,29 \pm 0,49
4	15%	1,89 \pm 0,33

É possível observar que com uma pequena porcentagem de incorporação do resíduo, há um aumento na resistência a compressão quando comparado com o valor do CP sem incorporação de resíduo. Além disso, para 15% de resíduo incorporado, observa-se que a resistência permaneceu praticamente a mesma do lote sem resíduo. Acredita-se que o aumento de resistência observado nos resultados pode ser explicado pelo módulo de elasticidade do EPS, pois neste caso, o resíduo incorporado acaba absorvendo os impactos nos CPs, gerando assim um leve aumento na resistência à compressão. Por outro lado, quando comparamos os lotes com resíduos (5%, 10% e 15%), o aumento da porcentagem de EPS incorporado diminui a resistência à compressão.

De acordo com os limites exigidos pela Norma NBR-7173, que estabelece que a resistência para blocos vazados de concreto sem função estrutural deve ser de 2,0 MPa, nota-se que todas as amostras estão próximas à este valor, atendendo assim, os requisitos da norma. Estes resultados mostram a viabilidade técnica da incorporação de EPS para confeccionar blocos de concreto sem fins estruturais, encontrando assim, uma destinação mais adequada para este resíduo.

Análise das Imagens de Raios X

As Figuras 6a e 6b mostram as imagens de raios X obtidas utilizando-se, respectivamente, os parâmetros dos Conjuntos 1 e 2 da Tabela 2 para os corpos de prova sem incorporação de resíduo e que servem como referência.

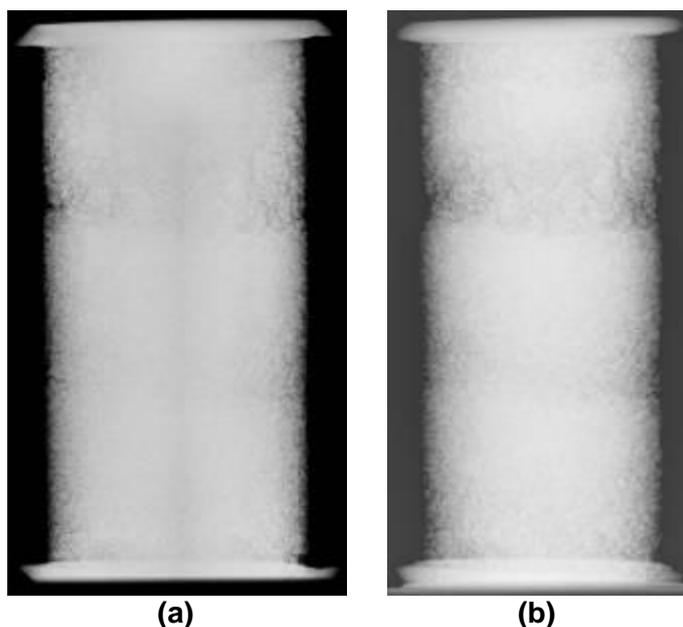


Figura 6: Imagens dos CPs sem incorporação de resíduo.

As imagens de raios X obtidas utilizando-se os parâmetros do Conjunto 1 da Tabela 2 para os corpos de prova com 5%, 10% e 15% de resíduo são mostradas, respectivamente, nas Figuras 7a, 8a e 9a. Já as Figuras 7b, 8b e 9b mostram as imagens de raios X obtidas utilizando-se os parâmetros do Conjunto 2 da Tabela 2 para os corpos de prova com, respectivamente, 5%, 10% e 15%.

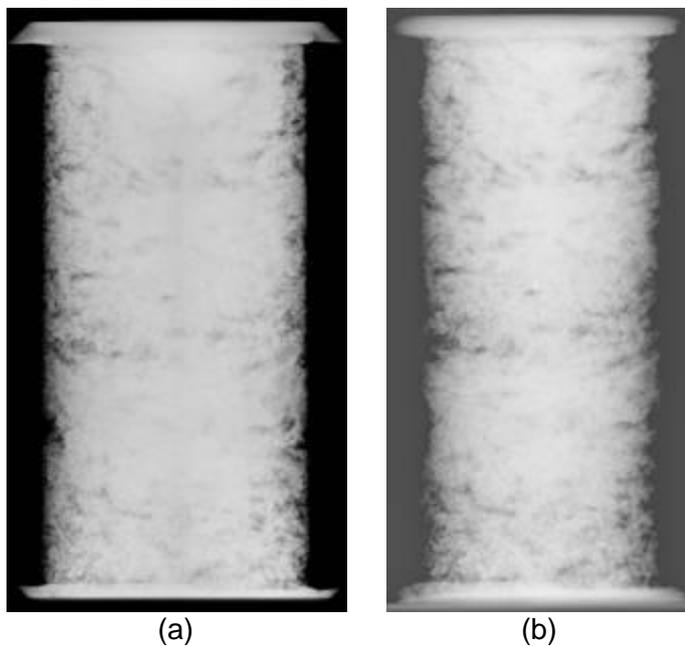


Figura 7: Imagens dos CPs com 5% de resíduo.

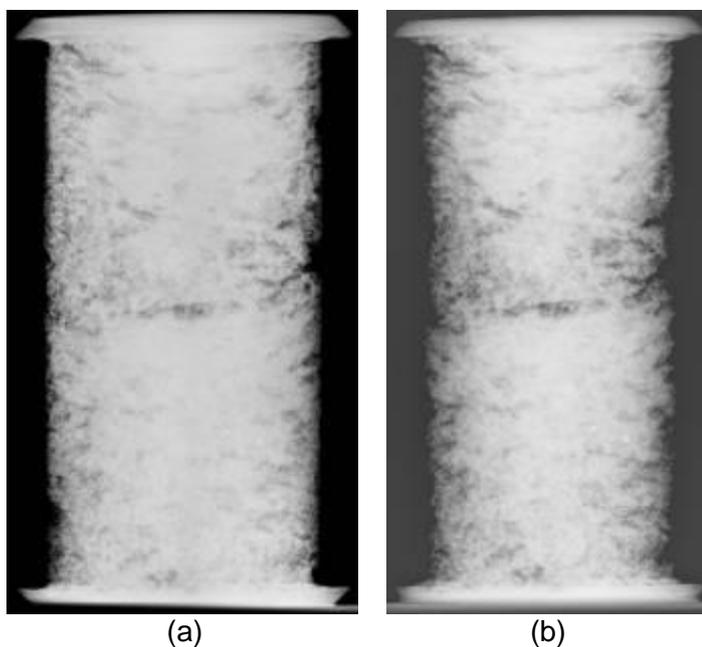


Figura 8: Imagens dos CPs com 10% de resíduo.

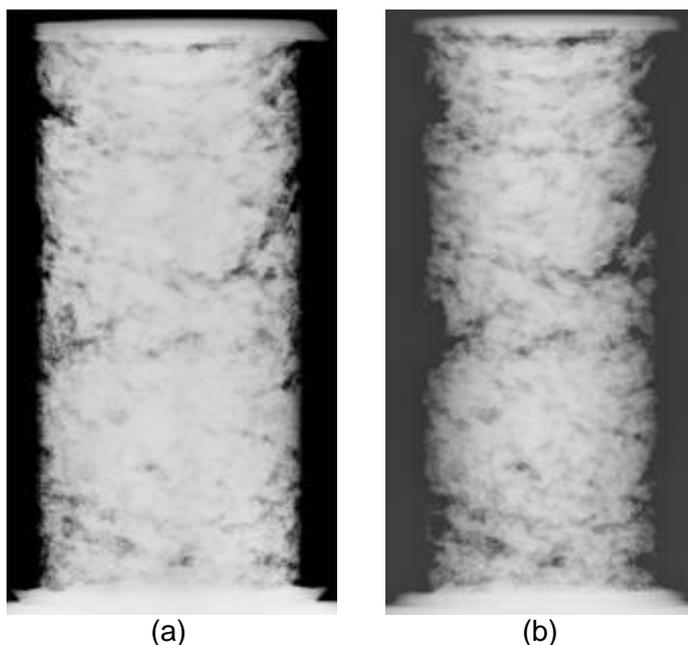


Figura 9: Imagens dos CPs com 15% de resíduo.

Pode-se verificar nas imagens das Figuras 6a, 7a, 8a e 9a (projeção frontal) que a distribuição do resíduo e do pó de pedra/pedriscos nas bordas dos CPs é homogênea, pois houve uma penetração maior dos raios X nessa região que é menos espessa do que o centro dos CPs. Por outro lado, esta distribuição passa a ser mais visível na parte central dos CPs quando utilizamos as proporções de 10% e 15% de resíduo (Figuras 8b e 9b).

Observando as Figuras 7b, 8b e 9b pode-se notar com mais nitidez que a distribuição do resíduo e do pó de pedra/pedriscos nos CPs é homogênea. Além disso, como a voltagem aplicada no tubo de raios X foi bem maior do que a utilizada para obter as imagens anteriores (Figuras 7a, 8a e 9a), pode-se concluir que realmente o resíduo teve uma distribuição homogênea nos CPs, pois, as imagens mostram uma penetração maior dos raios X mesmo na parte central dos corpos, isso quando comparadas com a Figura 6b cujo corpo de prova foi produzido sem resíduo agregado. Essa penetração uniforme dos raios X por toda extensão dos CPs das Figuras 7b, 8b e 9b, mostra que não houve nenhuma área do corpo de prova “super” penetrada pelos raios X, demonstrando que a distribuição do resíduo é compatível com o que se deseja neste tipo de incorporação, corroborando a conclusão de que a distribuição do resíduo é uniforme.

CONCLUSÕES

As imagens da projeção frontal mostram que as bordas dos corpos de prova tiveram uma boa penetração dos raios X, inclusive para o corpo de prova sem resíduo. Pode-se observar também, que a parte central dos corpos de prova teve uma ligeira penetração pelos raios X, mesmo para o corpo de prova sem resíduo. Por outro lado, esta penetração foi maior para o corpo de prova com 15% de resíduo e o uso de uma tensão no tubo de raios X de 130 kVp (Figura 9b). Assim, podemos concluir que a distribuição do resíduo é homogênea.

Esta homogeneidade proporcionou uma relação direta entre a diminuição dos valores de resistência à compressão em função do aumento da porcentagem de resíduo incorporado.

Finalmente, podemos concluir que os valores obtidos para a resistência à compressão (da ordem de 2 MPa), estão de acordo com o estabelecido pela Norma NBR-7173, mostrando que esta metodologia de incorporação do resíduo para confeccionar blocos de concreto sem fins estruturais, pode ser uma boa alternativa para a destinação final do resíduo de embalagens alimentícias de EPS.

AGRADECIMENTO

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP.

REFERÊNCIAS

- (1) ENBRI (1994). *Development of a framework for environmental assessment of building materials and components* (ENBRI Proposal to European Community BRITE EURAM Program), 1994.
- (2) KGATHI, D. L.; BOLAANE, B. ***Instrumentos para a gestão sustentável dos resíduos sólidos***. *Gestão de resíduos e Pesquisa*, 19:342-353, 2001.
- (3) FREITAS, C.; GALVÃO, J.C.A.; PORTELLA, K.F.; JOUKOSKI, A.; GOMES FILHO, C.V.; FERREIRA, E.S. ***Desempenho físico-químico e mecânico de concreto de cimento portland com borracha de estireno-butadieno reciclada de pneus***. *Química Nova*, v.32, n.4, p.913-918, 2009.

- (4) ARMAGE, L.C.; NEPPEL, L.F.; GEMELLI, E.; CAMARGO, N.H.A. **Utilização de Areia de Fundição Residual para uso em Argamassa**. Revista Matéria, v.10, n.1, p.51-62, mar. 2005.
- (5) RIBEIRO, D. V.; SILVA, A.M.S.; LAMBRINCHA, J.A.; MORELLI, M.R. **Estudo das reações álcalis-sílica associadas ao uso da lama vermelha em argamassas colantes e de revestimento**. Cerâmica, n.58, p.90-98, 2012.
- (6) SIQUEIRA, J.S.; SOUZA, C.A.G.; SOUZA J.A.S. **Reaproveitamento de cinzas de carvão mineral na formação de argamassa**. Cerâmica, n.58, p.275-279, 2012.
- (7) Associação Brasileira do Poliestireno Expandido - Abrapex. Disponível em <<http://www.abrapex.com.br/01OqueeEPS.html>>. Acesso em 25 mar. 2013.
- (8) SILVA, C.A. da; STRECKER, K.; PANZERA, T.H.; OLIVEIRA, L.S. de; LAUAR, D.F. **Caracterização de compósitos a base de cimento com incorporação de isopor, variando o teor de areia**. In: 55º CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 2011, Porto de Galinhas, PE. Anais em CD-ROM. São Paulo: Metallum Eventos Técnicos e Científicos, 2011, p.1380-1391.
- (9) Merchant Research & Consulting Ltd. Expandable Polystyrene (EPS): 2013 World Market Outlook and Forecast up to 2017. Disponível em: <<http://mcgroup.co.uk/researches/expandable-polystyrene-eps>>. Acesso em 18 Out. 2013.
- (10) Associação Brasileira do Poliestireno Expandido - Abrapex. Disponível em <<http://www.abrapex.com.br/32Embala.html>>. Acesso em 25 mar. 2013.
- (11) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT – *Norma NBR 5738/1994 – Moldagem e cura de corpos de prova cilíndricos ou prismáticos de concreto*, 1994.

EVALUATION OF REUSE OF EXPANDED POLYSTYRENE (EPS) FOR MAKING CONCRETE BLOCKS THROUGH X-RAY IMAGES

ABSTRACT

Expanded polystyrene (EPS) wastes commonly known as styrofoam had a production of 8.87 million tons in 2012, but they are rarely recycled. An alternative is to reuse them in the production of concrete blocks for civil construction without structural purposes. Thus, the aim of this study is to conduct an evaluation, by means of x-ray images, of the spatial distribution of EPS (food packaging) and verify the feasibility of reuse of this waste in the production of concrete blocks. Test bodies were manufactured according to the ABNT-NBR 5738 using trace 0.6:8:0.5 (cement: concrete aggregate:sand), with replacement of part of concrete aggregate by styrofoam in the following proportions 5%, 10% and 15%. X-ray images of the cylindrical test bodies show that the distribution of the waste is homogeneous, compatible with what is intended in this kind of incorporation, corroborating the results of compressive strength tests.

Key-words: X-ray images; Portland cement; Expanded Polystyrene; waste.