ENARC
FOZ DO IGUAÇU-2023

AVALIAÇÃO DE RESÍDUOS DE EVA E TÊXTEIS RECOBERTOS COM PU COMO AGREGADO LEVE EM MATRIZES À BASE DE CIMENTO PORTLAND

Evaluation of EVA waste and PU-coated textiles as lightweight aggregate in Portland cement-based matrix

Luís Antonio Rodrigues Kroeff
Universidade Feevale | Novo Hamburgo, Rio Grande do Sul | luis@nossolarimoveisrs.com.br

Alice Helena Meinhart
Universidade Feevale | Novo Hamburgo, Rio Grande do Sul | alicehmei@gmail.com

Daiana Cristina Metz Arnold
Universidade Feevale | Novo Hamburgo, Rio Grande do Sul | daim@feevale.br

Marlova Piva Kulakowski
Universidade do Vale do Rio dos Sinos | São Leopoldo, Rio Grande do Sul | marlovak@unisinos.br

Alexandre Silva de Vargas
Universidade Federal de Santa Maria | Santa Maria, Rio Grande do Sul | alexandrekbca@gmail.com

Resumo

O presente artigo avalia a influência de agregados leves (AL) reciclados à base de resíduos de EVA e têxteis recobertos com PU como substituição parcial da areia convencional de construção (AC) nos teores de 25% e 50%. Foi avaliada a resistência à compressão, absorção de água e porosidade de argamassas. As argamassas contendo 25% e 50% de AL apresentaram queda na resistência quando comparada a amostra de controle, porém, atenderam os valores mínimos normatizados. Com o aumento do teor de AL, houve um aumento na quantidade de água absorvida pelas amostras. Após 28 dias, observou-se um aumento na porosidade das amostras com 50%, devido à superfície mais irregular e porosa dos AL em comparação com a AC.

Palavras-chave: Resíduos de EVA; Resíduos têxteis recobertos com PU; Agregado leve; Substituição parcial de areia convencional de construção.

ABSTRACT

The present paper evaluates the influence of recycled lightweight aggregates (LA) based on EVA waste and PU-coated textiles as a partial replacement for conventional construction sand (CA) at 25% and 50% content. The compressive strength, water absorption and porosity of mortars were evaluated. The mortars containing 25% and 50% of AL showed a decrease in strength when compared to the control sample, however, they met the minimum standardized values. With the increase of the LA content, there was an increase in the amount of water absorbed by the samples. After 28 days, there was an increase in the porosity of the samples with 50%, due to the more irregular and porous surface of the LA compared to the CA.

Keywords: EVA waste; PU coated textile waste; Lightweight aggregate; Partial replacement of conventional construction sand.

1 INTRODUÇÃO

Para contribuir na melhoria nos processos de descarte dos resíduos das indústrias, assim como na diminuição das fontes naturais de agregados normalmente utilizados em artefatos de cimento, busca-se alternativas de substituição destes agregados naturais por resíduos industriais, de forma ambientalmente correta, sustentável e tecnicamente viável. Leis ambientais cada vez mais rígidas, intensa fiscalização e a implementação de políticas mundiais de restrições às indústrias têm estimulado pesquisas que proporcionem melhoras nos processos produtivos, reduzindo os resíduos gerados ou elevando-os à categoria de coprodutos, contemplando, por exemplo, processos de reciclagem e reutilização de materiais como agregados em concretos alternativos.

Santiago *et al.* (2009) utilizaram resíduos de copolímero etileno-acetato de vinila (EVA), provenientes da indústria calçadista, e afirmam ser possível a utilização de resíduos sólidos da indústria de calçados na construção civil como agregado leve (AL). Wang e Meyer (2012) relataram melhora na capacidade de retenção de água e a plasticidade do estado fresco a partir da adição de resíduos de EVA, sendo estes adicionados diretamente no formato de pó ou através de uma pré-mistura aquosa. Rocha (2008) apresentou excelentes resultados de ductibilidade e propriedades capazes de selar fissuras através da inclusão de até 80% de resíduos de EVA em relação ao volume total de agregados na produção de blocos não estruturais. Estes resultados positivos alcançados pelos autores, segundo Mansur *et al.* (2009), devem-se a excelente compatibilidade do pó de EVA com o sistema base-cimento. Gadea *et al.* (2010) substituíram 75% da areia convencional de construção (AC) por poliuretano (PU) e observaram valores de resistência à compressão acima de 20 MPa para argamassa aos 91 dias, já a trabalhabilidade foi alterada, em função das diferentes condições de absorção de água produzidas, sendo necessária a avaliação da consistência caso a caso, citando inclusões de até 25% adicionais de água.

Na região deste estudo, Vale do Rio dos Sinos no Rio Grande do Sul, a produção de calçados é responsável por parcela da economia local, sendo a cadeia calçadista uma das maiores geradora de resíduos na região (TREIN *et al*., 2014(A); TREIN *et al*., 2014(B)). Vista essa afirmação, objetiva-se o emprego de resíduos próprios da indústria calçadista - resíduos de EVA e de têxteis recobertos com PU - matrizes à base de cimento Portland com substituição parcial da AC pelo AL avaliando resistência à compressão, absorção de água e porosidade. Importante destacar que essa pesquisa corrobora com o trabalho de Trein *et al.* (2014-A) e Trein *et al.* (2014-B) seguindo parâmetros adotadas pelos respectivos autores, explicados a seguir.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Para o programa experimental foram utilizados os seguintes materiais: cimento Portland tipo V-ARI; agregado miúdo quartzoso, proveniente do Rio Jacuí (RS), com módulo de finura (MF) de 2,42 mm e dimensão máxima do agregado (DMA) de 2,36 mm, classificado como “areia média”; resíduos de EVA em pó e refilos de laminados sintéticos à base de PU, coletados em indústrias do setor calçadista localizadas na região do Vale do Rio dos Sinos (RS), conforme Figura 1 (a, b); EVA virgem, não expandido, em forma granular; látex à base de acetato de polivinila (PVA); óleo vegetal saturado; aditivo superplastificante Grace *Tecflo*w 8000; e água potável. Para cominuir o resíduo têxtil com PU, este foi destinado ao moinho de facas malha 6 mm. O EVA utilizado possui teor de 28% de acetato de vinila e não passou por processo de cominuição, pois foi fornecido na forma de partículas (pó).

Figura 1: (a) resíduo têxtil recoberto com poliuretano (PU) recolhido na fábrica de calçados; (b) resíduo de EVA em pó gerados também na indústria calçadista do Vale do Rio dos Sinos (RS); (c) agregado leve (AL) pronto para o preparo das matrizes à base de Cimento Portland



O AL foi processado para obter somente um tipo de amostra, onde a proporção dos resíduos têxteis recobertos com poliuretano (PU) e EVA foi de 50/50 em massa. Esta proporção foi adotada com base no trabalho de Trein (2015), que afirma que esta relação proporcionou melhor desempenho mecânico nas

matrizes estudadas. O beneficiamento do AL seguiu conforme idealizado por Trein (2015): as amostras foram processadas em escala piloto com 50 kg de resíduo têxtil recoberto com PU; 40 kg de resíduo de EVA; 10 kg de EVA virgem granulado; 2 kg de látex à base de acetato de polivinila (PVA); e 1 kg de óleo vegetal saturado através de uma extrusora monorosca, sendo que a escolha pelo processo de extrusão se deu pelo fato deste processo propiciar as melhores condições de mistura e aglutinação dos resíduos envolvidos, de forma a produzir um material mais homogêneo (MOUNANGA *et al.*, 2008). Os três últimos componentes foram adicionados à formulação para auxiliarem e atuarem como promotor de fluxo no processo de extrusão, melhorando a fluidez e o escoamento do material (TREIN, 2015). O produto resultante da extrusão foi novamente destinado ao moinho de facas. Após moído, apresentou MF de 4,57 mm e DMA de 4,80 mm, podendo ser classificado como “areia grossa”. Sendo assim, o processo de obtenção do AL se deu por finalizado (Figura 1-c) e a massa específica real foi verificada, resultando em 864 kg/m³, confirmando o AL como material leve (<2000 kg/m³).

Dando sequência, para preparo das argamassas de traço 1:3, em massa de cimento e areia convencional de construção, o traço controle, representado como REF, não levou AL em sua composição. A partir do traço controle, foram adotados dois teores de substituições parciais da AC, em volume, pelo AL: 25% e 50%. O experimento foi realizado mantendo-se a relação água/cimento constante de 0,48. Para viabilizar a moldagem das argamassas contendo 50% de AL, foi necessário o uso de aditivo superplastificante, a fim de manter a consistência das argamassas de 180 mm ± 30 mm.

No estado endurecido, os corpos de prova (CPs) foram submetidos aos ensaios de resistência à compressão axial nas idades de 7, 28, 63 e 91 dias, conforme NBR 7215 (ABNT, 2019). Os ensaios de absorção de água e porosidade seguiram a ASTM C 642 (ASTM, 2021), onde os CPs foram mantidos 24 horas na estufa entre 100°C e 110°C, à fim de eliminar toda e qualquer umidade, arrefecidos no dessecador, para então ser determinada a massa seca (variável A). Após, os CPs foram submersos em água à temperatura ambiente (aproximadamente 21°C) por 48 horas para determinar a massa saturada úmida (variável B), fervidos em água por 5 horas, arrefecidos até temperatura entre 20 e 25°C, por 14 horas, para ser determinada a massa saturada após fervura (variável C) - esse processo promove abertura dos microporos, ampliando o processo de absorção de água pelos CPs – e determinada a massa aparente através da utilização de um conjunto de balança hidrostática (variável D). Conseguinte, aplicam-se as equações abaixo para o cálculo da absorção de água (1) e porosidade (2) após imersão, respectivamente:

$$\text{Absorção de água } (\%) = \left[\frac{(B-A)}{A}\right] X\ 100 \quad (1)$$

$$\text{Porosidade} = \left[\frac{(C-A)}{(C-D)}\right] X\ 100 \quad (2)$$

3 RESULTADOS

A Tabela 1 apresenta os valores médios e desvios padrões de resistência à compressão dos CPs, ao longo do tempo, e foi possível constatar, de forma geral, que houve decréscimo da resistência à compressão para 25% e 50% de AL quando comparada a referência. Portanto, entende-se que concentrações mais elevadas do AL contribuíram para diminuir a resistência final à compressão das amostras.

Tabela 1: Resistência média à compressão e desvio padrão dos CPs de argamassas à base de cimento Portland com e sem o agregado leve (AL) nas idades de 7, 28, 63 e 91 dias (MPa)

Argamassas Contendo distintos teores de AL (%)	7 dias		28 dias		63 dias		91 dias	
	Média CPs	Desvio Padrão	Média CPs	Desvio Padrão	Média CPs	Desvio Padrão	Média CPs	Desvio Padrão
REF	27,39	1,01	29,98	2,71	32,30	1,04	31,06	1,02
25%AL	16,90	1,93	19,39	2,07	18,56	1,40	19,42	1,40
50%AL	14,04	0,21	14,08	2,11	16,46	0,09	17.03	0,24

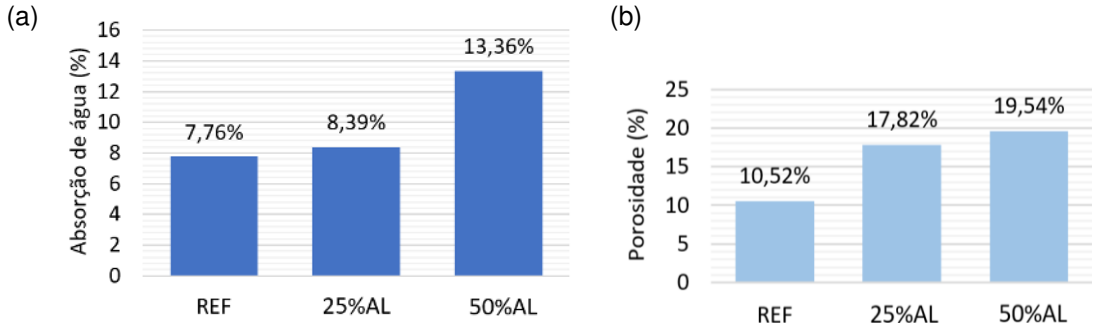
Fonte: autores (2023)

É visível que os valores percentuais mais expressivos na queda de resistência à compressão em relação à resistência atingida pela amostra de referência, ocorrem aos 28 e 63 dias a partir do teor de 50% de AL. Segundo estudos de Wang e Meyer (2012), essa redução da resistência à compressão evidenciada na Tabela 1, se deve principalmente à interface com menor aderência entre o agregado leve e a massa

cimentícia, em relação ao estado original das argamassas de referência, proporcionada pelo aumento dos teores de substituição dos agregados minerais. Comportamento semelhante foi observado por Hannawi *et al.* (2010) em argamassas utilizando resíduos de PET e PC (policarbonatos) como agregado leve e atribuíram a queda de resistência à fraca ligação entre os agregados da matriz e do plástico.

Quanto a avaliação da porosidade e quantidade de água absorvida, a Figura 2(a) apresenta os valores médios de absorção de água das amostras aos 28 dias de cura e a Figura 2(b) os valores médios de porosidade aos 91 dias. Observa-se que houve aumento da absorção de água nas argamassas contendo AL – conforme acrescido teor de AL maior quantidade de água absorvida.

Figura 2: (a) quantidade de água absorvida conforme teores de substituição, aos 28 dias e (b) valores médios da porosidade das amostras na idade de 91 dias



A influência da porcentagem de substituição da areia pelo resíduo tem influência direta na absorção de água, isto é, quanto maior o percentual de substituição, maior a absorção (TREIN, 2015), fato este explicado pela substituição do agregado mineral por um resíduo absorvente. A dificuldade é causada não só pela grande quantidade de absorção de água pelo agregado poroso, como também pelo fato de que alguns agregados continuam a absorver água durante várias semanas (MEHTA; MONTEIRO, 2014). Experimentos similares mostraram valores de absorção de água abaixo de 19% (POLARI FILHO *et al.*, 2003), assim como visto na Figura 2(a). Além do mais, quanto maior o teor de substituição, menor a densidade relativa em função da substituição da AC (mais pesada e menos volumosa) por um agregado leve reciclado (mais leve e volumoso) (TREIN, 2015).

Quanto a porosidade (Figura 2(b)), mesmo comportamento observado: à medida que o teor de substituição do AL pela AC vai aumentando, a porosidade das matrizes é aumenta. Isso deve-se ao fato de que AL é mais poroso do que o agregado mineral, que é compacto. Gadea *et al.* (2009) explicitam que o aumento da porosidade é gradual e ocorre devido a vários fatores, inclusive às características morfológicas do EVA expandido. O EVA utilizado na obtenção do AL possui nível de capilaridade elevado, que permite a passagem do vapor de água, aumentando a porosidade, devido ao elevado grau de reticulação dos resíduos de EVA, que promovem a capilaridade na interface com a massa cimentícia. Segundo Trein (2015), o efeito da porosidade também pode ser evidenciado em comparação qualitativa com o efeito da eflorescência - depósitos cristalinos que se formam sobre a superfície das argamassas - resultantes da migração do CO2 para o interior do CP e posterior evaporação de soluções aquosas salinizadas.

Mounanga *et al.* (2008) afirmam que os resíduos têxteis recobertos com PU e EVA são materiais mais compressíveis e apresentam maior porosidade do que o agregado mineral, resultando em influência direta nos dois elementos da equação do cálculo da densidade (massa/volume): menor massa e maior volume, simultaneamente. Efeito este também foi observado por outros pesquisadores: Hannawi *et al.* (2010) e Sousa *et al.* (2010), proporcionando materiais mais leves em função da redução da densidade relativa. Conforme Mounanga *et al.* (2008), tanto os resíduos têxteis recobertos com poliuretano (PU) como o EVA, são materiais alveolares que apresentam maior porosidade do que a AC, aliado ainda ao fato da incorporação de ar durante a mistura da massa cimentícia, reforçando o efeito de aumento da porosidade com o aumento do teor de AC substituído. A água absorvida pelo AL no momento da preparação da massa cimentícia, ao evaporar, vai incrementando a porosidade (SAIKIA & BRITO, 2012). Como pode ser visto na Figura 2(b), a porosidade é maior nas amostras contendo o AL, quanto mais AL na mistura, mais poros.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Embora os resultados de resistência à compressão de 25%AL e 50%AL tenham ficado abaixo dos valores de REF em todas as idades avaliadas, se forem comparados com a NBR 6136 (ABNT, 2016), por exemplo,

os resultados apresentam viabilidade técnica para uso como agregado leve na produção de elementos de vedação, segundo valores mínimos apontados pela NBR 6136 (ABNT, 2016), considerando que a resistência mínima normatizada (3,0 MPa) foi superada logo na primeira idade analisada. Neste caso, tem-se uma ótima combinação como alternativa ambiental de substituição de agregados tradicionais, como a areia. Ainda referenciando a NBR 6136 (ABNT, 2016), apenas a amostra 25%AL atenderia ao valor máximo de absorção (13%) apresentado pela normativa. Contudo, o programa experimental mostrou que os valores de absorção de água das matrizes após imersão aumentam à medida que o teor de substituição é elevado. O mesmo foi observado para o parâmetro de porosidade: matrizes contendo AL tiveram aumento da porosidade em 69,39% (25%AL) e 85,74% (50%AL) quando comparada a REF.

REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM C 642/2021**: Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete. DOI: 10.1520/C0642-21

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6136**: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria -Requisitos. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7215**: Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 2019.

GADEA, J.; RODRÍGUEZ, A.; CAMPOS, P. L.; GARABITO, J.; CALDERÓN, V. Lightweight mortar made with recycled polyurethane foam. **Cement and Concrete Composites**, v. 32, n. 9, 2010, p. 672-677. DOI: 10.1016/j.cemconcomp.2010.07.017.

HANNAWI, K., PRINCE, W. & KAMALI-BERNARD, S. Efeito da Incorporação de Agregados Termoplásticos no Comportamento Físico, Mecânico e de Transferência de Materiais Cimentícios. **Waste Biomass**. 2010.

MEHTA, P. KUMAR; MONTEIRO, PAULO J.M. **Concreto – Estrutura, Propriedades e Materiais**. São Paulo. IBRACON, 2014.

MANSUR, A. A. P.; NASCIMENTO, O. L. do; MANSUR, H. S. Physico-chemical characterization of EVA-modified mortar and porcelain tiles interfaces. **Cement and Concrete Research**, v. 39, n. 12, 2009, p. 1199-1208. DOI: 10.1016/j.cemconres.2009.07.020.

MOUNANGA, P.; GBONGBON, W.; POULLAIN, P.; TURCRY, P. Proportioning and characterization of lightweight concrete mixtures made with rigid polyurethane foam wastes. **Cement & Concrete Composites**. v. 30, p. 806 - 814, 2008.

POLARI FILHO, R. S.; DE MÉLO, A. B.; BARBOSA, N. P. **II ENCONTRO TEMÁTICO MEIO AMBIENTE E EDUCAÇÃO AMBIENTAL**, 2003.

ROCHA, F. de M. D. **Aproveitamento de resíduos sólidos industriais em materiais alternativos na perspectiva da construção seca: Bloco EVA - Intertravamento e racionalização das alvenarias**. 2008. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Engenharia Urbana, Centro de Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2008.

SAIKIA, N.; BRITO, J. Use of plastic waste as aggregate in cement mortar and concrete preparation: a review. **Construction and Building Materials**, v. 34, p. 385 – 401. 2012.

SANTIAGO, E.; LIMA, P.; LEITE, M.; TOLEDO FILHO, R. Mechanical behavior of recycled light weight concrete using EVA wasteand CDW undermoderate. **Revista IBRACON de Estruturas de Materiais**, v.2, p. 211 – 221. 2009.

SOUSA, A. J. C. de. **Aplicação de Argamassas Leves de Reboco e Assentamento em Alvenarias**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto; Portugal, 2010.

TREIN, F.; VARGAS, A.; RODRIGUES, M.; GOMES, J. Avaliação do Comportamento Mecânico e Ambiental de Argamassas Alcali-ativadas contendo Resíduos à base de PU/EVA. **Congresso Luso-Brasileiro de Materiais de Construção Sustentáveis CLB-MCS**, Guimarães, Portugal, 2014. (A)

TREIN, F.; VARGAS, A.; RODRIGUES, M.; GOMES, J. Avaliação da Influência de Agregados Leves à base de resíduos de PU/EVA nas Propriedades Físicas das Argamassas Álcali-ativadas. **Congresso Luso-Brasileiro de Materiais de Construção Sustentáveis CLB-MCS**, Guimarães, Portugal. 2014. (B)

TREIN, F. **Influência do Uso de Resíduos de EVA e de Têxteis Recobertos com Poliuretano como Agregado Leve em Argamassas Álcali-Ativadas**. 2015. Tese (Doutorado em Tecnologia de Materiais e Processos Industrias) - Universidade FEEVALE, Rio Grande do Sul, 2015.

WANG, R.; MEYER, C. Performance of cement mortar made with recycled high impact polyestyrene. **Cement & Concrete Composites**, v. 34, p. 975 – 981.