

AVALIAÇÃO DO USO DE RESÍDUOS DE PET NA PRODUÇÃO DE ARGAMASSAS

Julia Amorim dos Santos¹, Kaiky da Silva¹, Jaqueline da Silva Feitoza², Paulo Paiva Oliveira Leite Dyer³, Luciana De Simone Cividanes⁴, Gustavo José Lauer Coppio¹, Julia Wippich Lencioni⁵.

¹Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo, campus Jacareí, Rua Antônio Fogaça de Almeida, 200, Jardim América - 12322-030 – Jacareí-SP, Brasil, amorim.julia1@aluno.ifsp.edu.br, kaiky.silva@aluno.ifsp.edu.br, gustavo.coppio@ifsp.edu.br.

²Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo, campus Itapetininga, Avenida João Olímpio de Oliveira, 1561, Vila Asem - 18202-000 - Itapetininga-SP, Brasil, jaqueline.feitoza@ifsp.edu.br.

³Instituto de Estudos Avançados, Trevo Coronel Aviador José Alberto Albano do Amarante, 01, Putim - 12228-001 - São José dos Campos-SP, Brasil, paulo_dyer@yahoo.com.

⁴Instituto Tecnológico de Aeronáutica, Praça Marechal Eduardo Gomes, 50, Vila das Acácias – 12228-900 - São José dos Campos-SP, Brasil, lucianac@ita.br.

⁵Universidade do Vale do Paraíba / Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo, Avenida Shishima Hifumi, 2911, Urbanova - 12244-000 - São José dos Campos-SP, Brasil, jlencioni@univap.br.

Resumo

Estudos sobre o reaproveitamento de resíduos de Polietileno Tereftalato de Etileno (PET) em argamassas podem contribuir para a redução de problemas ambientais. Nesta pesquisa foi avaliado o efeito de resíduos de PET na resistência à compressão de argamassas. Amostras de argamassa foram preparadas com 0 %, 4 % e 6 % de substituição em massa do agregado miúdo por resíduo de PET, com a adição de um aditivo plastificante para reduzir o seu efeito higroscópico. Os agregados foram caracterizados através dos ensaios de granulometria e massa unitária, e as amostras de argamassas foram submetidas ao ensaio de resistência à compressão axial aos 28 dias de idade. Os agregados utilizados apresentaram curvas granulométricas dentro dos padrões normativos brasileiros. Os resultados dos ensaios de resistência à compressão axial demonstraram uma redução nos valores na medida em que o teor de substituição do agregado miúdo por resíduos de PET aumentou; entretanto, essa redução não foi significativa, demonstrando a viabilidade da utilização desse material em argamassas.

Palavras-chave: Polietileno Tereftalato. Argamassa. Agregado miúdo. Sustentabilidade.

Área do Conhecimento: Engenharias. Engenharia Civil.

Introdução

Os impactos ambientais gerados pelos progressos da humanidade, nas mais diversas atividades, têm levado a comunidade técnica científica a buscar por soluções que propiciem o desenvolvimento sustentável, minimizando os danos ao meio ambiente (Oliveira; Silva; Tutya, 2020). Neste sentido, a elevada geração de resíduos sólidos urbanos (RSU) constitui um dos problemas a serem enfrentados, principalmente com relação aos plásticos, como o Polietileno Tereftalato (PET), cuja degradação natural ocorre de forma lenta (Kumar *et al.*, 2016; Andrade *et al.*, 2023). Os RSU ocupam grandes volumes nos aterros sanitários e impactam significativamente o meio ambiente (Roth; Garcias, 2008), sendo, portanto, imprescindível a busca por alternativas como a reciclagem e a reutilização dos materiais descartados.

O PET foi introduzindo no Brasil na década de 80, tendo ganhado destaque rapidamente diante de suas vantagens em relação à resistência mecânica, durabilidade e baixo custo de produção, sendo um plástico amplamente utilizado na fabricação de diversos produtos e embalagens (Serra *et al.*; 2018). Sua reciclagem, entretanto, começou a ocorrer somente no início dos anos 90 (Formigoni; Fortes, 2008).

Segundo os dados divulgados pela Associação Brasileira da Indústria do PET (ABIPET, 2022), referente ao 12º Censo da Reciclagem do PET no Brasil, no ano de 2021 um total de 56,4 % de todo PET descartado pós consumo no país foram reciclados (cerca de 359 mil toneladas). Entretanto, ainda restaram 43,6 % (277,5 mil toneladas) deste material sem aproveitamento, gerando um enorme volume de resíduos nos aterros sanitários, ou ainda, sendo descartados diretamente na natureza, causando grandes danos ao meio ambiente (Santos; Martinez, 2023).

Por outro lado, a construção civil, um setor de relevante importância para a economia de um país, também é responsável por consumir significativas quantidades de recursos minerais provenientes de fontes não renováveis (Barboza et al., 2019), e, ainda, por gerar muitos resíduos sólidos da construção e demolição (RCD), causando grandes impactos ambientais. Fatos estes que também têm despertado interesse na comunidade técnica científica no desenvolvimento de soluções sustentáveis.

Neste sentido, muitas pesquisas têm sido desenvolvidas na busca de materiais alternativos ao uso dos agregados minerais convencionais (Bina, 2002; Kruger et al., 2020), dentre os quais os resíduos plásticos também têm sido pesquisados (Araújo et al., 2022; Chong; Shi, 2023).

Alguns estudos obtiveram melhorias da resistência à compressão da argamassa contendo PET (Zhi et al., 2013; Dyer; Coppio, 2021); em outros, o efeito foi contrário, apresentando uma redução da resistência (Monteiro, 2017; Bigotto *et al.*, 2019). Um outro estudo observou uma melhoria no desempenho térmico (Dueñas; Soto; Carrera; 2021). Assim sendo, ainda são necessários estudos para avaliar os efeitos do PET nas argamassas, bem como a viabilizar a sua utilização em larga escala.

Neste contexto, esta pesquisa teve como objetivo principal realizar um estudo sobre a utilização de resíduo de reciclagem do PET em substituição parcial do agregado miúdo (areia natural) em argamassas. Foram produzidas argamassas com 0 %, 4 % e 6 % de substituição em massa da areia natural pelo resíduo de PET e avaliados os efeitos do PET sobre o comportamento da resistência à compressão dessas argamassas. Complementarmente, foi realizada a caracterização dos agregados miúdos (com e sem resíduos de PET) quanto à granulometria e à massa unitária, para analisar os agregados miúdos utilizados nas amostras estudadas.

Metodologia

Para todas as variações de amostras de argamassa estudadas, foi utilizado o mesmo traço em massa de 1:1,8:2,5 – a/c 0,48. Um aditivo plastificante, na proporção de 37,4 ml por quilograma de água, foi empregado para garantir uma melhor mistura dos materiais, pois, segundo Correa, Guimarães e Santana (2019), o PET é um material higroscópico. Para todas as amostras, foi utilizado o cimento CP-II F 32. Foram confeccionados corpos de prova cilíndricos de argamassa, de 50 de diâmetro x 100 mm de altura, contendo 0 %, 4 % e 6 % de substituição em massa da areia por resíduo granular de PET. Os tipos de amostras produzidas e suas respectivas identificações adotadas para este estudo se encontram descritas na Tabela 1.

Tabela 1- Descrição dos tipos de argamassa estudadas.

Identificação da amostra	Descrição
CP – R	Amostra de referência (sem resíduo de PET).
CP – 4	Substituição de 4 % da areia por resíduo de PET.
CP – 6	Substituição de 6 % da areia por resíduo de PET.

Fonte: Os autores (2024).

Os agregados miúdos com 0 %, 4 % e 6 % de substituição em massa da areia natural por resíduo de PET foram submetidos aos ensaios de granulometria, conforme a norma técnica NBR 17054 (2022), da Associação Brasileira de Normas Técnicas, e de determinação da massa unitária, segundo norma técnica ABNT NBR 16972 (2021). Aos 28 dias de idade, as amostras foram submetidas ao ensaio para determinação da resistência à compressão axial, de acordo com a norma técnica ABNT NBR 12041 (2012), sendo determinados os valores médios da resistência à compressão para cada variação da argamassa, sendo possível, avaliar os efeitos produzidos pelo uso de resíduo de PET nas misturas.

Resultados

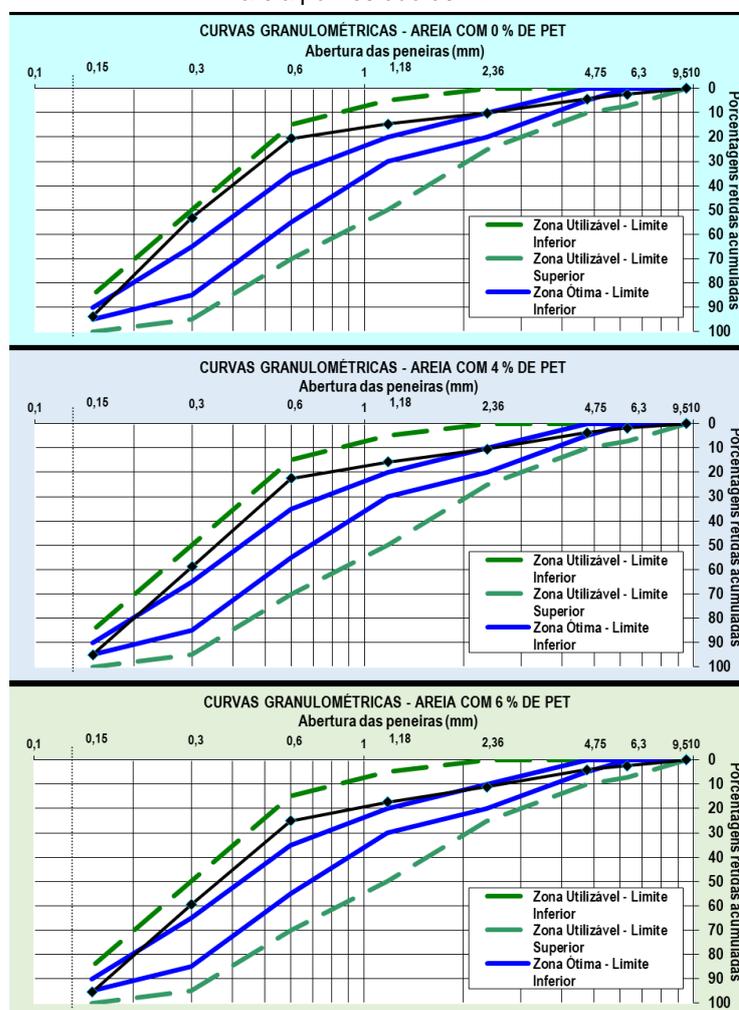
Na Tabela 2 são apresentados os resultados dos ensaios de granulometria e massa unitária dos agregados miúdos com 0 %, 4 % e 6 % de substituição em massa da areia por resíduo de PET. As curvas granulométricas se encontram na Figura 2.

Tabela 2- Resultados dos ensaios de granulometria e massa unitária dos agregados miúdos com 0 %, 4 % e 6 % de substituição em massa da areia por resíduo de PET.

Teor de substituição de areia por PET	Dimensão máxima característica (em mm)	Módulo de Finura	Massa unitária (em g/cm ³)
0 %	4,75	1,97	1,62
4 %	4,75	2,06	1,61
6 %	4,75	2,13	1,59

Fonte: Os autores (2024).

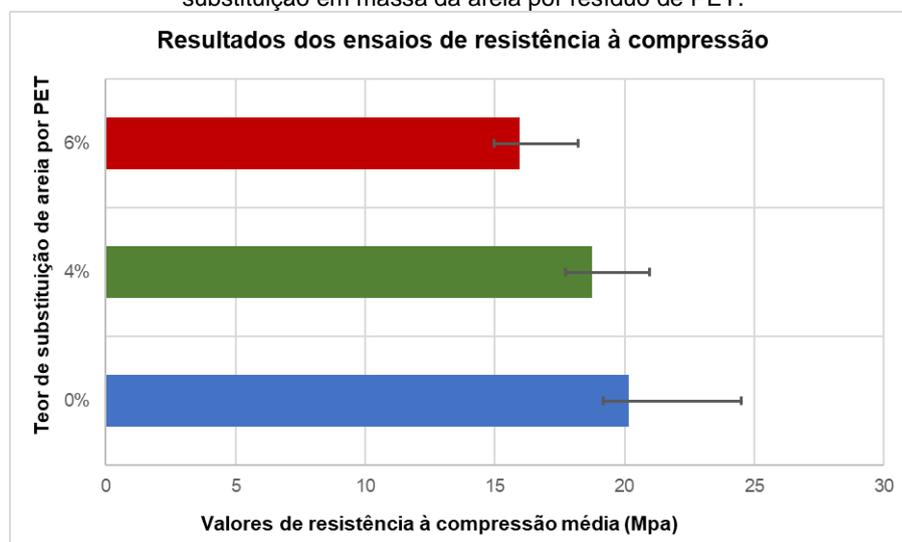
Figura 1 – Curvas granulométricas dos agregados miúdos com 0 %, 4 % e 6 % de substituição em massa da areia por resíduo de PET.



Fonte: Os autores (2024).

Os valores de resistência à compressão axial que foram determinados através da média aritmética dos resultados dos ensaios obtidos em cada uma das variações de amostras estudadas, encontram-se no gráfico da Figura 2. O desvio padrão das amostras de argamassa com 0 % de PET foi de 4,32, enquanto das argamassas com agregado miúdo com 4 % e 6 % de substituição da areia por PET em massa foram, respectivamente, de 2,23 e 2,25.

Figura 2 – Valores médios de resistência à compressão axial das argamassas com 0 %, 4 % e 6 % de substituição em massa da areia por resíduo de PET.



Fonte: Os autores (2024).

Discussão

Os resultados dos ensaios de massa unitária mostraram uma tendência de redução dos valores na medida em que o teor de substituição da areia por resíduo de PET aumentou, conforme mostra a Tabela 1, o que pode resultar em argamassas mais leves. Em relação aos ensaios de granulometria, o aumento do teor de PET resultou em aumento do módulo de finura, sem alterar as dimensões máximas características (Tabela 1). Na Figura 1 também é possível observar que a substituição parcial da areia por resíduo de PET manteve o agregado miúdo dentro da zona utilizável, conforme recomenda a norma técnica ABNT NBR 7211 (2022).

Ao observar os resultados dos ensaios de resistência à compressão apresentados na Figura 2, é possível verificar que quanto maior foi o teor de resíduo de PET na argamassa, menor foi a resistência à compressão axial, demonstrando uma tendência do uso deste material em diminuir a resistência. Entretanto, as diminuições dos valores de resistência não foram significativas, demonstrando viabilidade do uso de resíduos de PET, nos teores de substituição da areia utilizados neste estudo, para a produção de argamassas, considerando as inúmeras aplicações na construção civil, tais como em revestimentos, contrapisos, assentamento de blocos, entre outros. Por outro lado, os desvios padrões dos resultados dos ensaios de resistência à compressão axial das argamassas produzidas com 4 % e 6 % de substituição da areia por PET foram menores que o da argamassa de referência, demonstrando a tendência a uma menor variabilidade desta propriedade mecânica da argamassa quando do uso de resíduo de PET no agregado miúdo, resultando em argamassas mais homogêneas.

Conclusão

Diante dos resultados dos ensaios de granulometria e massa unitária, ficou demonstrado que a curva granulométrica do agregado miúdo convencional e daqueles com teores de substituição de 4 % e 6 % da areia por resíduo de PET em massa, ficaram dentro do padrão recomendado pela norma técnica ABNT NBR 7211 (2022) para a utilização em argamassas. Ademais, pode-se concluir que há

uma tendência de o uso de resíduo de PET ocasionar um aumento do módulo de finura e a redução da massa unitária, conforme o aumento do teor de substituição.

O presente estudo também demonstrou uma tendência de o uso de resíduo de PET influenciar na redução da resistência à compressão axial, uma vez que quanto maior foi o teor de substituição de agregado miúdo por resíduo de PET, menor foi a resistência à compressão, quando comparado com a argamassa de referência. Mas, mesmo com as diminuições dos valores médios de resistência, considerando as inúmeras aplicações da argamassa na construção civil, tais como em revestimentos, contrapisos, assentamento de blocos, entre outros, os resultados obtidos foram satisfatórios para demonstrar a viabilidade do uso de resíduos de PET, nos teores de substituição da areia por PET utilizados neste estudo, na produção dessa mistura. Outrossim, os desvios padrões dos resultados dos ensaios de resistência à compressão axial das argamassas produzidas com 4 % e 6 % de substituição da areia por PET foram menores que o da argamassa de referência, ou seja, há uma tendência de a substituição parcial de areia por resíduo de PET produzir argamassas com uma menor variabilidade de resistência aos esforços de compressão, resultando em argamassas mais homogêneas.

Referências

ANDRADE, B.A. *et al.* Criação e instalação de um ecoponto para coleta de tampas de garrafas pet num campus universitário: um relato de experiência. **Rev. Ibero-Am. Hum. Ciênc. e Ed.**, v. 9, n. 3, p. 2675-3375, 2023.

ARAÚJO, L. S. *et al.* Análise Experimental do Uso da Fibra de PET (Polietileno Tereftalato) em Concreto Estrutural convencional. **Braz. J. of Dev.**, v. 8, n. 1, p. 2976-2997, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DO PET – ABIPET. 2022. **12º Censo da Reciclagem do PET no Brasil**. Disponível em: https://abipet.org.br/wp-content/uploads/2022/12/Infografico_12_Censo_da_Reciclagem_no_Brasil- Novembro_2022.pdf. Acesso em: 06/08/2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12041**: Argamassa de alta resistência mecânica para pisos — Determinação da resistência à compressão simples e tração por compressão diametral. Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16972**: Agregados — Determinação da massa unitária e do índice de vazios. Rio de Janeiro, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211**: Agregados para concreto – Especificação. Rio de Janeiro, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 17054**: Agregados – Determinação da composição granulométrica – Método do Ensaio. Rio de Janeiro, 2022.

BARBOZA, D.V. *et al.* Aplicação da Economia Circular na Construção Civil. **Resear. Soc. and Dev.**, v. 8, n. 7, p. 1-16, 2019.

BIGOTTO, S. A. M. *et al.* Produção de Argamassas com Substituição Parcial de Areia Natural por Resíduo de PET. **Anap. Bras.** v. 12, n. 25, p. 28-41, 2019.

BINA, P. **Metodologia de utilização de rejeitos industriais na pavimentação**: estudo de caso de uso de areia de fundição. 2002. 123 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Habitação) – Engenharia de Habitação, Instituto de Pesquisas Tecnológicas, São Paulo, 2002.

CHONG, B. W.; SHI, X. Meta-analysis on PET plastic as concrete aggregate using response surface methodology and regression analysis. **J. of Infra. Preserv. and Resil.**, v. 4, n. 2, p. 1-15, 2023.

DUEÑAS, B.; SOTO, W; CARRERA, E. Evaluation of the thermic efficiency of the prototype at scale of a sustainable housing that uses concrete with PET fibers (CFP) and the trombe system. *In: The 4th International Conference on Building Materials and Materials Engineering – ICBMM, 2020. Barcelona, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 1054 012006, 2021.*

DYER, P. P. O. L.; COPPIO, G. L. O estudo sobre a utilização de resíduos de poli tereftalato de etileno como agregado em argamassas. **Revista Univap**, v. 27, n. 56, 2021.

FORMIGONI A.; FORTES, R. P. A perspectiva de crescimento da utilização do PET (Poli Tereftalato de Etileno) reciclado e qual a consequência na geração de recursos para os catadores. *In: V Simpósio de excelência em gestão e tecnologia, SEGET, 2008, São Paulo. Anais... São Paulo: SEGET, 2008.*

KRUGER, P. *et al.* Influência do teor de material pulverulento (<75 µm) do agregado miúdo de resíduos de construção e demolição em argamassas de cimento Portland. **Cerâmica**. v. 66, n.380, p. 507-515, 2020.

KUMAR B. M. *et al.* Studies on biodegradation of plastic packaging materials in soil bioreactor. **Indian J. of Adv. in Chem. Sci.**, v. 1, p. 297-299, 2016.

MONTEIRO, L. L. C. **Uso de resíduos de embalagens PET em betões**. 2017. 111 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia civil). Instituto Superior de Engenharia do Porto, 2017.

OLIVEIRA, J. S.; SILVA, I. A.; TUTYA, A. C. B. Desenvolvimento econômico sustentável: meio ambiente equilibrado como elemento da dignidade humana. **Rev. Jur. UniT.**, v. 05, n. 01, p. 22-37, 2020.

ROTH, C. G.; GARCIAS, C. M. A influência dos padrões de consumo na geração de resíduos sólidos dentro do sistema urbano. **Redes**, v. 13, n. 3, p. 5-13, 2008.

SANTOS, L. S. D.; MARTINEZ, A. S. A Simpler Lotka-Volterra Model Under Microplastic Particles Influence. **Braz. J. of Phy.**, v. 53, n. 2, p. 1-6, 2023.

SERRA, G. A. *et al.* Estudo da adição de resíduos de Polietileno Tereftalato (PET) como agregado alternativo para misturas asfálticas. *In: 32º Congresso de Pesquisa e Ensino em Transpores da ANPET, 2018, Gramado. Anais... Gramado, p. 1668-1678, 2018.*

ZHI, G., *et al.* Physical and mechanical properties of mortar using waste Polyethylene Terephthalate bottles. **Const. and Build. Mat.**, v. 44, p. 81-86, 2013.

Agradecimentos

Agradecemos ao Programa Institucional de Iniciação Científica e Tecnológica Voluntária do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo, campus Jacareí, PIVICT/2024; e à Universidade do Vale do Paraíba, disponibilizando os equipamentos, ferramentas e laboratórios necessários para a realização da presente pesquisa.