

EDUCAÇÃO AMBIENTAL E SUSTENTABILIDADE: UTILIZAÇÃO DO RESÍDUO DE GARRAFAS PET NA PRODUÇÃO DE ARGAMASSAS

Luana Dantas de Medeiros¹

Ana Maria Gonçalves Duarte²

Loredanna Melyssa Costa Souza de Almeida³

Priscila Maria Souza Gonçalves Luz⁴

Camila Gonçalves Luz Nunes⁵

Arthur Nóbrega de Souza⁶

RESUMO

Na atualidade, os plásticos são produtos amplamente consumidos em escala global. A produção brasileira corresponde a aproximadamente 4 milhões de toneladas, sendo os setores da construção civil, embalagens e descartáveis os mais representativos. A produção do PET em larga escala, bem como a intensificação dos usos atribuídos, proporciona impactos ambientais uma vez que os resíduos oriundos do descarte comumente recebem como destinação os aterros sanitários ou outros fins caracterizados como insustentáveis. Neste sentido, este estudo teve como objetivo produzir uma argamassa com o traço 1:2:9, com substituição parcial do agregado miúdo por resíduo de garrafas PET nos teores de 5% e 10%. Foram moldados corpos de prova nas dimensões de 5 cm x 10 cm e foi determinada a absorção e resistência a compressão simples nas idades de 7, 14, 28 e 56 dias. Observou-se que a resistência a compressão simples obtida para as argamassas, de uma maneira geral, aumentou tanto com a incorporação de PET quanto com a idade de cura, e que os resultados obtidos para a absorção de água atendem aos parâmetros normativos. Desse modo, é possível concluir que a utilização do resíduo de garrafa PET como um insumo na construção civil, contribui significativamente para minimizar os impactos ambientais causados pelo seu descarte, além de agregar valor a um resíduo que é produzido diariamente em grandes quantidades e que representam um grave problema ambiental.

Palavras-chave: Educação Ambiental, PET, Argamassa, Reaproveitamento.

Introdução

O crescimento populacional, aliado à urbanização e às mudanças nos hábitos de consumo, tem contribuído significativamente para o aumento da geração de resíduos sólidos.

¹ Doutoranda pelo Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, luanadantas.engenheira@gmail.com;

² Doutora do Curso de Engenharia de Materiais da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, ana.duartemendonca@professor.ufcg.edu.br;

³ Doutora pelo Curso de Engenharia de Processos da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, loredanna.souza@servidor.uepb.edu.br;

⁴ Doutora pelo Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, priscilaluz55@gmail.com;

⁵ Doutora pelo Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, cgln@cademico.ufpb.br;

⁶ Mestrando pelo Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, arthurnobrega16@gmail.com.



Quando descartados de forma inadequada, esses resíduos impactam diretamente a sustentabilidade, causando danos ambientais e sociais em escala global (Nogueira; Martins; Silva, 2020).

Segundo informações divulgadas pela Associação Brasileira da Indústria do PET (ABIPET, 2022), por meio do 12º Censo da Reciclagem do PET no Brasil, foi reciclado em 2021 cerca de 56,4% de todo o material PET descartado após o consumo, o que representa aproximadamente 359 mil toneladas. Apesar desse número expressivo, ainda restaram 43,6% cerca de 277,5 mil toneladas que não foram reaproveitadas. Esses resíduos acabam sendo direcionados aos aterros sanitários ou descartados de forma irregular no meio ambiente, gerando sérias consequências ambientais (Santos; Martinez, 2023; Santos et al., 2024).

Ao mesmo tempo, o setor da construção civil de grande relevância econômica também se destaca como um dos maiores consumidores de matérias-primas de origem mineral, em sua maioria provenientes de fontes esgotáveis (Barboza et al., 2019). Além disso, a atividade é responsável por volumes significativos de resíduos de construção e demolição (RCD), os quais impactam negativamente o meio ambiente. Essa realidade tem incentivado a comunidade científica e técnica a buscar alternativas mais ecológicas e eficientes.

Nesse cenário, diversas investigações vêm sendo realizadas com o propósito de identificar substitutos viáveis aos agregados minerais convencionais (Bina, 2002; Kruger et al., 2020). Dentre esses substitutos, os resíduos plásticos vêm se destacando como opção promissora, tanto pela disponibilidade em larga escala quanto pelo seu potencial de reutilização em composições para argamassas e concretos (Araújo et al., 2022; Chong; Shi, 2023). Assim, o presente estudo tem como propósito central contribuir para a sustentabilidade ambiental, por meio da incorporação do resíduo de garrafas Pet na produção de argamassas, como substituto parcial do agregado miúdo.

Materiais e Métodos

Para o desenvolvimento desta pesquisa utilizou-se os seguintes materiais:

- *Cimento*: Foi utilizado o cimento Portland pozolânico (CP II Z-32) da marca Elizabeth.
- *Cal*: Utilizou-se uma cal calcítica hidratada conhecida comercialmente como Carbomil, fabricada no Município de Limoeiro do Norte, Ceará.
- *Areia*: Foi utilizado o agregado miúdo do tipo natural, areia quartzosa, proveniente de jazida

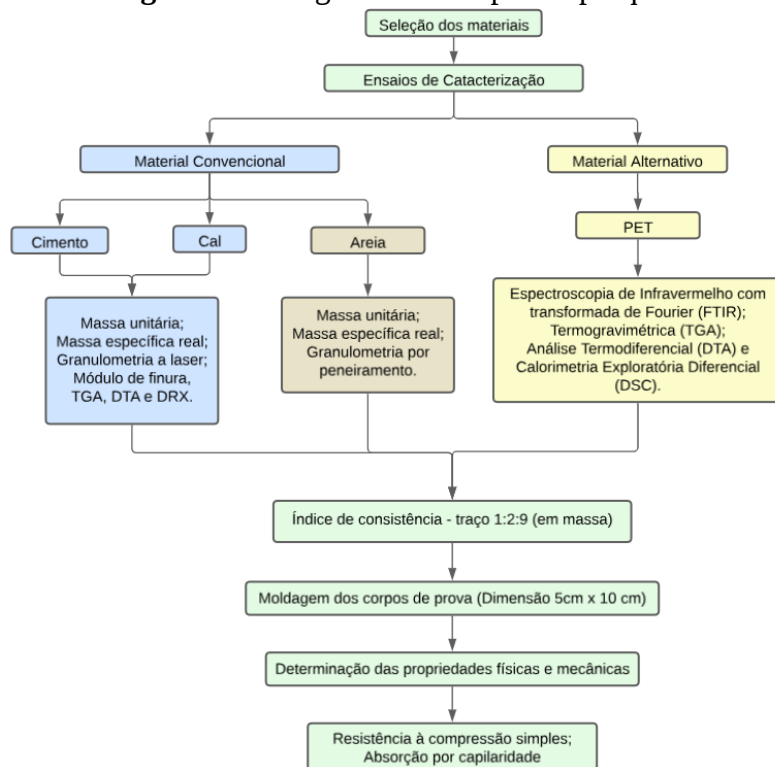


do leito do Rio Paraíba.

- **PET:** Polímero obtido da reciclagem de garrafas PET, classificado como plastômero, e com a denominação de PET. O PET foi adquirido na Indústria de DEPET Reciclagem localizada no município de Campina Grande, Paraíba.
- **Água:** Utilizou-se água potável fornecida pela CAGEPA (Companhia de Água e Esgotos da Paraíba).

Com o intuito de verificar o desempenho de argamassas para assentamento e revestimento utilizando o PET triturado como substituto parcial do agregado miúdo convencional, foram produzidos corpos de prova com teores de PET de 0%, 5% e 10%. O fluxograma da Figura 1 apresenta as etapas propostas para a realização desta pesquisa.

Figura 1- fluxograma das etapas da pesquisa



Fonte: Autores (2025).

Inicialmente realizou a coleta e caracterização dos materiais, física, química e mineralógica, seguindo as normas vigentes, em seguida realizou o índice de consistência (1:2:9), modelagem dos corpos de prova, o ensaio de resistência à compressão simples e absorção por capilaridade.

Foram confeccionados corpos de prova com dimensões de 5 cm por 10 cm tanto para a argamassa de referência quanto para aquelas contendo resíduo de PET nas proporções de 5% e



10%. Após o período de cura de 7, 14, 28 e 56 dias, foi realizada a avaliação da resistência à compressão simples, permitindo comparar o desempenho entre as diferentes composições e tempos de cura. Para se obtenção dos valores de absorção de água e o coeficiente de capilaridade, os corpos de prova foram pesados nos tempos de 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 50, 70, 90, 120 e 180 minutos de ensaio, o trabalho experimental foi realizado aos 28 dias de cura.

Resultados e Discussão

Caracterização Física, química e mineralógica

Na tabela 1 apresenta os resultados obtidos para caracterização física do cimento, da cal, do PET e agregado miúdo.

Tabela 1- Caracterização Física dos materiais

Parâmetro	Cimento CPIIZ -32	Cal	PET	Agregado miúdo
Massa específica	3,15 g/cm³	2,63 g/cm³	1,45 g/cm³	2,56 g/cm³
Massa unitária	1,15 g/cm³	0,42 g/cm³	0,54 g/cm³	1,40 g/cm³
Finura	2,84%	-	-	-

Fonte: Autores (2025).

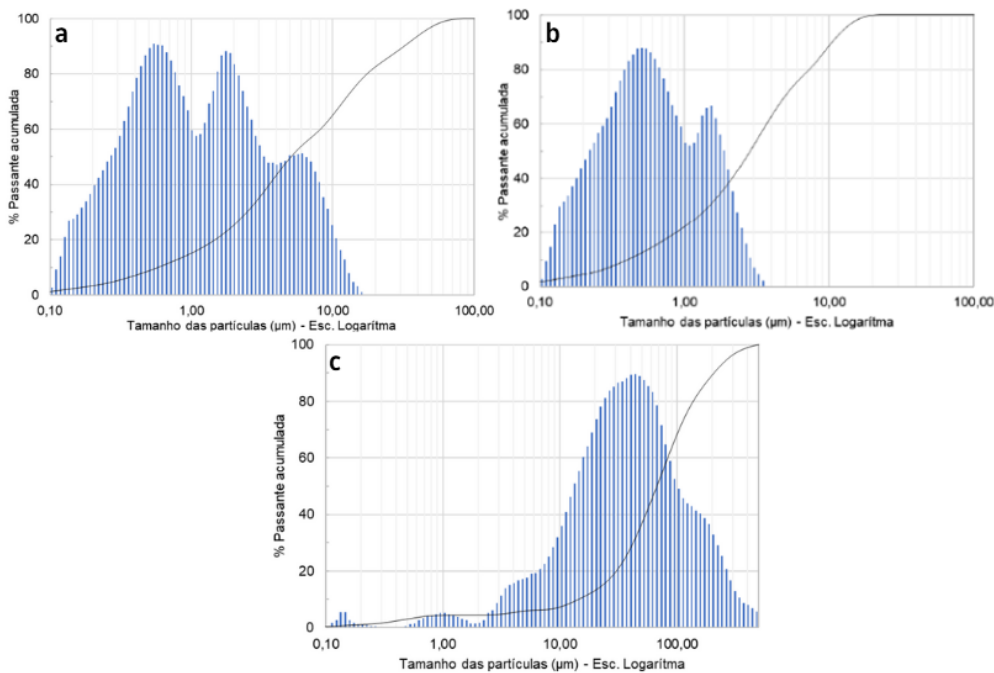
De acordo com Recena (2012), a massa específica real e unitária do cimento é aproximadamente 2,70 g/cm³ e 1 g/cm³, respectivamente e a massa unitária e a massa específica real do agregado miúdo são de aproximadamente 1,50 g/cm³ e 2,63 g/cm³, respectivamente. Portanto, os valores atingidos neste trabalho se aproximam dos valores citados anteriormente.

NA Figura 2, apresenta a curva granulométrica por difração a laser do cimento Portland CPII Z - 32 (a), cal (b) e PET (c). A curva granulométrica (a), apresentou um comportamento modal com D10 de 0,58µm, D50 de 5,07µm, D90 de 31,96µm e o diâmetro médio de 11,10µm. A fração de 2µm corresponde a 25,35%, apontando um elevado teor de aglomerantes, e confirmando suas características de aglomeração.

Na curva da cal (b) Observa-se um comportamento na faixa monomodal com larga distribuição de tamanho de partículas acumuladas entre 0,10µm – 100µm, com diâmetro médio de 5,85µm e D10 de 1,49µm, D50 de 5,10µm e D90 de 11,12µm. A cal apresentou uma grande concentração de partículas na faixa entre 2 µm - 60 µm. E a curva do PET (c) também apresentou comportamento na faixa monomodal com larga distribuição de tamanho de partículas acumuladas entre 0,10µm – 100µm, com diâmetro médio de 91,84µm e D10 de 14,5µm, D50 de 67,26µm e D90 de 206,29µm.



Figura 2- Curva granulométrica por difração a laser do cimento Portland CII Z - 32 (a), da cal (b) e do PET (c).



Fonte: Autores (2025).

Na tabela 2 apresenta a composição química do cimento CPIIZ-32 e da cal. Verificando os resultados o cimento apresenta maiores teores de óxido de cálcio e de dióxido de silício, 74,85% e 16,59%, respectivamente. Na cal verifica-se um elevado teor (92,35%) de óxido de cálcio (CaO) e baixo teor de óxido de magnésio (MgO), correspondente a 0,89%. De acordo com essa composição, a cal estudada pode ser classificada como cal calcítica, seguindo os critérios da NBR 7.175/2002 e pode ser classificada como CH I (ABNT, 2002).

Tabela 2- Composição química do Cimento CPIIZ -32

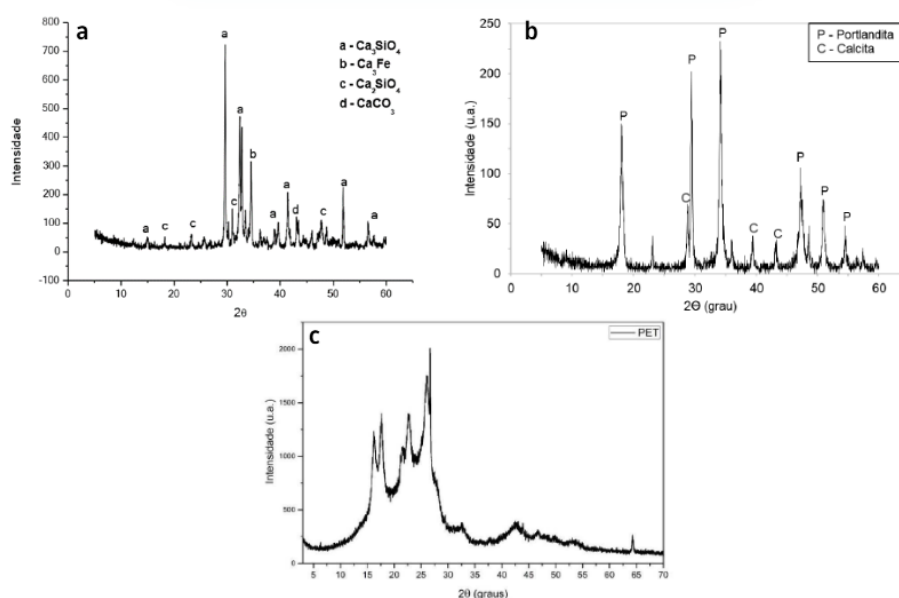
Composição química	Cimento CPIIZ -32	Cal
Óxido de cálcio (CaO)	74,85 %	92,35 %
Óxido de magnésio (MgO)	-	0,89%
Dióxido de silício (SiO ₂)	16,59 %	0,62 %
Anidrido sulfúrico (SO ₃)	3,60 %	-
Óxido de alumínio (Al ₂ O ₃)	-	-
Óxido de ferro (Fe ₂ O ₃)	3,43 %	0,16 %
Óxido de potássio (K ₂ O)	0,98 %	0,04 %
Dióxido de titânio (Ti ₂ O)	0,24 %	-
Óxido de estrôncio (SrO)	0,21 %	-
Óxido de magânes (MnO)	0,05 %	-
Outros	0,05 %	0,02
Perda ao fogo	-	5,60

Fonte: Autores (2025).



Na figura 3 temos difratograma de raios - X (DRX) do cimento CPIIZ- 32 (a), da cal (b) e do PET (c). No difratograma do cimento observa-se a presença de vários materiais cristalinos, com picos referentes ao Ca_3SiO_4 , Ca_3Fe , Ca_2SiO_4 e CaCO_3 . No da cal verifica-se a presença majoritariamente por portlandita (CaOH_2) e calcita (CaCO_3). No do PET foram encontrados picos em $16,25^\circ$, $17,62^\circ$, $21,48^\circ$, $22,71^\circ$, $26,10^\circ$, $32,66^\circ$, $42,65^\circ$ e $46,70^\circ$. Além disso, a análise por DRX revela que o PET apresenta um grau de cristalização parcial, evidenciado pelos picos de difração correspondentes aos planos cristalinos em diferentes ângulos. Observou-se também um pico específico a $26,67^\circ$, que pode estar relacionado a uma cristalização induzida por deformação. Contudo, não foi possível confirmar com segurança essa estrutura secundária, já que grande parte do seu sinal se sobrepõe ao da fase primária, tornando essa interpretação apenas uma das possibilidades plausíveis.

Figura 3- Difratograma de raios - X do cimento Portland CPII Z - 32 (a), da cal (b) e do PET (c).



Fonte: Autores (2025).

A Figura 4 apresenta as curvas das análises térmica diferencial e termogravimétrica do cimento Portland CPIIZ-32 (a), da cal (b) e do PET (c). No cimento apresentou pico endotérmico de grande intensidade, a temperatura de $877,22^\circ\text{C}$, provavelmente relacionado à desidroxilação do silicato de cálcio hidratado, isto é, a perda de água estrutural.

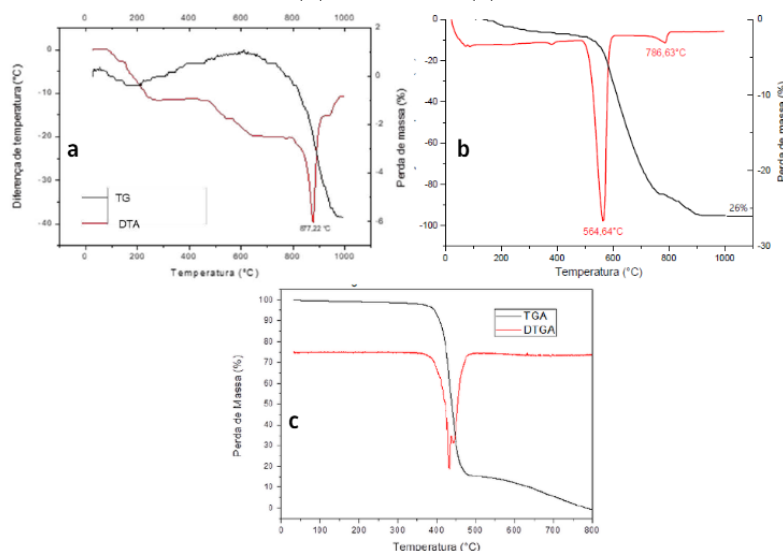
Na amostra da cal, foi identificado um pico endotérmico bastante intenso a $564,64^\circ\text{C}$, associado à presença de hidróxido de cálcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$). Além disso, um pico de menor intensidade foi observado a $786,63^\circ\text{C}$, indicando a presença de carbonato de cálcio (CaCO_3),



na forma de calcita. A curva obtida por análise termogravimétrica revelou uma perda de massa total de aproximadamente 26%, atribuída à decomposição tanto do hidróxido de cálcio quanto do carbonato de cálcio presentes na amostra.

A curva TGA do PET mostra duas etapas distintas de perda de massa. A primeira ocorre entre 360 °C e 481 °C, correspondendo à decomposição do material, com uma perda de aproximadamente 82% da massa inicial. Na segunda etapa, entre 481 °C e 780 °C, ocorre a queima dos resíduos carbonizados formados anteriormente. Ao final do ensaio, não restam resíduos sólidos, indicando a completa degradação do material. Singh *et al.* (2020) corroboram com os resultados descritos no presente estudo, uma vez que afirmam que a degradação do PET tende a ocorrer em um estágio que se inicia entre 450°C e 550°C.

Figura 4 - Curva das análises DTA e TGA do cimento Portland CPIIZ-32 (a), da cal (b) e do PET (c).



Fonte: Autores (2025).

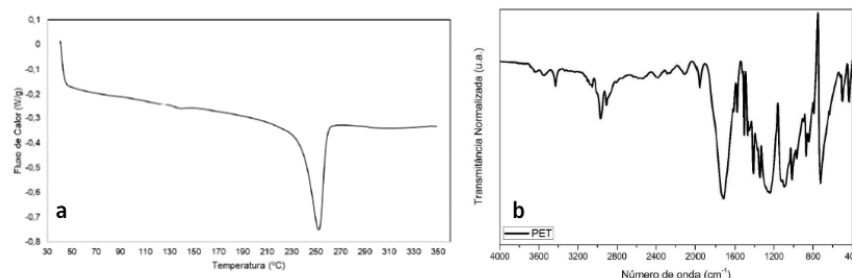
Na Figura 5 ilustra a curva DSC (a) e o Espectro de Infravermelho (FTIR) (b) do PET. O DSC foi obtido em razão de aquecimento de 10°C/min, em atmosfera de nitrogênio. A curva calorimétrica apresenta um pico endotérmico a aproximadamente 250°C.

A análise de FTIR revelou sinais típicos de compostos orgânicos, principalmente hidrocarbonetos e ligações entre carbono e oxigênio. Foram identificados picos entre 3000 e 2800 cm^{-1} , relacionados a estiramentos dos grupos metileno (CH_2), além de um pico intenso em 1720 cm^{-1} , indicando a presença de grupos carbonila (C=O), característicos de ésteres. Também foram observados sinais de ligações duplas em anéis aromáticos, com picos em 1590 e 1475 cm^{-1} . A presença de grupos ésteres foi reforçada por bandas entre 1344 e 1091 cm^{-1} ,



referentes à ligação C–O. Já o pico em 720 cm^{-1} indica a vibração de cadeias saturadas, associadas ao etilenoglicol, componente do PET.

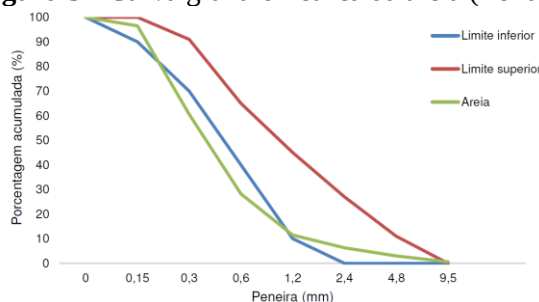
Figura 5 - Curva DSC (a) e o Espectro de Infravermelho (FTIR) (b) do PET.



Fonte: Autores (2025).

De acordo com os valores obtidos na distribuição granulométrica, essa areia é considerada bem graduada, não apresentando uma grande deficiência ou excesso de qualquer tamanho, promovendo assim uma argamassa com uma melhor trabalhabilidade e uma pequena quantidade de vazios entre os grãos. A análise da figura 6 mostra que a curva granulométrica da areia está dentro dos limites da NBR 7211 (ABNT, 1982), sendo classificada como areia média, zona 3. A boa distribuição dos grãos indica que o material é bem graduado e adequado para uso em argamassas.

Figura 5 - Curva granulométrica da areia (Zona 3)



Fonte: Autores (2025).

Índice de Consistência

De acordo com os resultados obtidos referente ao espalhamento e à relação água/aglomerante para o traço 1:2:9, nota-se que a medida em que o teor de polímero foi elevado, a relação água/aglomerante permaneceu constante, tanto para os teores 5% e 10%, ocorreu redução de 1,90% em relação a argamassa de referência.

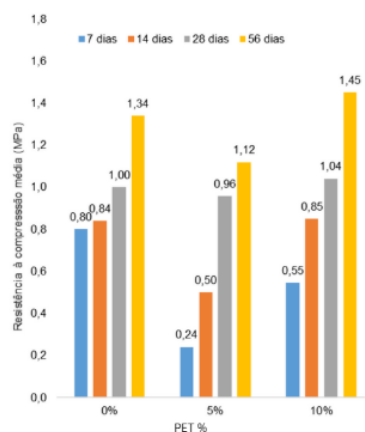
Resistência à compressão simples (RCS)

Na Figura 6 estão apresentados os resultados obtidos para resistência à compressão



simples, aos 7, 14, 28 e 56 dias de cura. Conforme resultados apresentados observa-se que houve um aumento na RCS para a argamassa com o teor de 10% de PET. De acordo com os parâmetros estabelecidos pela Norma ABNT NBR13.281/2005, verifica-se que as argamassas do traço 1:2:9 se enquadram na classe P1, por apresentarem resistência $\leq 2,0$ MPa.

Figura 6 - Resistência à compressão simples



Fonte: Autores (2025).

Absorção de água por capilaridade

De acordo com a classificação da NBR 13.281/2005, as amostras estudadas se enquadram dentro das classes C1, que possui valores para o coeficiente de capilaridade menores ou iguais a $1,5 \text{ g/dm}^2 \cdot \text{min}^{1/2}$, e C2, com coeficientes entre $1,0$ e $2,5 \text{ g/dm}^2 \cdot \text{min}^{1/2}$.

Segundo Bauer et al. (2013), argamassas de uso geral devem ter coeficiente de capilaridade dentro da classe C3 (entre $2,0$ e $4,0 \text{ g/dm}^2 \cdot \text{min}^{1/2}$) ou inferior. Para alvenarias expostas à chuva, são recomendadas as classes C1 e C2. Com base nisso, observa-se que os resultados obtidos para as amostras estão dentro dos limites indicados, sendo adequados tanto para usos comuns quanto para situações com exposição à umidade.

Considerações Finais

O aumento de teor de PET em substituição parcial ao agregado miúdo reduziu a relação água/aglomerante. Com isso, há ganhos na trabalhabilidade das argamassas em decorrência da maior disponibilidade de água livre.

Quanto à resistência à compressão simples, para o traço 1:2:9, houve um aumento com a incorporação de PET e em relação ao tempo de cura, para a argamassas com teor de substituição parcial de 10% de PET, a partir dos 14 dias.



A substituição do agregado por PET reduziu a absorção de água por capilaridade, possibilitando classificar as argamassas desenvolvidas como C1 ($\leq 1,5 \text{ g/dm}^2 \cdot \text{min}^{0,5}$) e C2 (entre 1,0 e $2,5 \text{ g/dm}^2 \cdot \text{min}^{0,5}$), possibilitando aplicações das argamassas para finalidades gerais, inclusive a exposição à chuva.

Os resultados indicam êxito parcial para o desempenho das argamassas com incorporação de PET, contribuindo de forma significativa para minimizar os impactos ambientais causados pelo descarte inadequado, além de agregar valor a um resíduo que é produzido diariamente em grandes quantidades e que representam um grave problema ambiental.

Referências

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**. 12º Censo da Reciclagem do PET no Brasil, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 7.175/2002**: Cal hidratada para argamassas - Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2002.

_____. **NBR 7.211/2009**: Agregados para concreto - Especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

_____. **NBR 13.281/2005**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2005b.

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

BAUER, Elton et al. **Análise das argamassas de revestimento industrializadas e usinadas), empregadas em obras do Distrito Federal, quanto aos requisitos e ao desempenho**. IX Congresso Internacional sobre Patología y Recuperación de Estructuras (CIMPARG), João Pessoa - PB, 2013.

BINA, P. **Metodologia de utilização de rejeitos industriais na pavimentação: estudo de caso de uso de areia de fundição**. 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.



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

NOGUEIRA, Luciana Íris Amaro; MARTINS, Islane Cristina; SILVA, Georgia Rolim da. A gestão de resíduos sólidos urbanos e o desenvolvimento sustentável: uma revisão. **Environmental Scientiae**, [S.L.], v. 2, n. 1, p. 48-57, 11 jan. 2020.

RECENA, Fernando Antônio Piazza. **Conhecendo Argamassa**. 2 Ed. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2012.

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.

SANTOS, J. A. et al. **Avaliação do uso de resíduos de pet na produção de argamassas**. XXVIII Encontro Latino Americano de Iniciação Científica, XXIV Encontro Latino Americano de Pós-Graduação e XIV Encontro de Iniciação à Docência - Universidade do Vale do Paraíba, 2024.

SINGH, R.K.; RUJ, B.; SADHUKHAN, A.K.; GUPTA, P.. A TG-FTIR investigation on the co-pyrolysis of the waste HDPE, PP, PS and PET under high heating conditions. **Journal Of The Energy Institute**, [S.L.], v. 93, n. 3, p. 1020-1035, jun. 2020.

