

ESTUDO EXPERIMENTAL DE ARGAMASSAS LEVES PRODUZIDAS COM PARTÍCULAS PET RESIDUAIS EM SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DA AREIA

DOI: <http://dx.doi.org/10.55449/congea.15.24.III-019>

Nathália Pacheco Teixeira (*), M'hamed Yassin Rajiv da Glória, Vivian Karla Castelo Branco Louback Machado Balthar

* Universidade Federal do Rio de Janeiro, nathalia.teixeira@fau.ufrj.br

RESUMO

A pesquisa tem como objetivo desenvolver uma argamassa leve utilizando partículas de politereftalato de etileno (PET) como substituto parcial da areia. Essa abordagem busca atender à crescente demanda por soluções sustentáveis na construção civil, minimizando os impactos ambientais associados à extração de materiais convencionais. Grande parte do plástico que não é reciclado acaba poluindo os oceanos (UNEP, 2023), enquanto o consumo excessivo de areia de rios — o segundo recurso mais explorado no mundo — gera a extração de cerca de 50 bilhões de toneladas por ano (UNEP, 2022). No estudo, foram fabricados compósitos utilizando cimento CPV-ARI, areia, água, superplastificante de terceira geração (SP) e partículas de PET provenientes de garrafas trituradas. A substituição volumétrica da areia pelas partículas de PET foi testada nas seguintes proporções: 5% (PET05), 10% (PET10), 15% (PET15), 50% (PET50), 60% (PET60) e 70% (PET70). Os compósitos foram dosados com traço 1:3 (cimento:areia, em massa) e avaliados em ensaios físicos e mecânicos. O índice de consistência foi utilizado para determinar o teor adequado de SP e a melhor relação água/cimento (a/c) para a argamassa de referência (REF), que apresentou consistência adequada com $a/c=0,45$ e $SP=0,45\%$, sendo selecionada para o desenvolvimento da pesquisa por apresentar boa coesão, homogeneidade e um índice de consistência de 259 mm, o que indicou trabalhabilidade adequada. Com o aumento da quantidade de PET, o índice de consistência reduziu, devido à morfologia em flocos das partículas de PET. As misturas REF e PET15 apresentaram resistências à compressão aos 28 dias de 54 MPa e 24 MPa, respectivamente. Já as argamassas com maior teor de PET tiveram resistências de 1,5 MPa (PET50), 0,6 MPa (PET60) e 0,5 MPa (PET70). Na continuidade do estudo, busca-se avaliar a viabilidade da aplicação dessas argamassas em elementos arquitetônicos como painéis pré-moldados, painéis sanduíche ou blocos de vedação, através de testes de moldagem e ensaios mecânicos com protótipos dos elementos.

PALAVRAS-CHAVE: resíduo PET; argamassa leve; sustentabilidade; índice de consistência; resistência à compressão;

INTRODUÇÃO

Historicamente, a indústria da construção civil tem contribuído para a degradação ambiental, respondendo por uma parte significativa do consumo global de recursos naturais e das emissões de CO₂. Nesse contexto, a busca por alternativas sustentáveis em materiais e técnicas construtivas se torna essencial. Uma das soluções sugeridas por pesquisadores ao redor do mundo é a utilização de resíduos como substitutos parciais de materiais convencionais em argamassas e concretos, incluindo resíduos da construção civil, da indústria alimentícia e plásticos, entre outros.

De acordo com a Associação Brasileira da Indústria do PET, embora o PET seja o plástico mais reciclado no Brasil, cerca de 43,6% das embalagens descartadas em 2021 não foram recicladas adequadamente, somando aproximadamente 278 mil toneladas de resíduos (ABIPET, 2022). Segundo o relatório da *United Nations Environment Programme* (UNEP) sobre resíduos plásticos e economia circular, a maior parte do plástico não reciclado acaba nos oceanos (UNEP, 2023), gerando uma poluição cada vez mais difícil de controlar.

Outro problema ambiental é a exploração excessiva de areia de rios, que é o segundo recurso mais extraído no mundo, com cerca de 50 bilhões de toneladas retiradas anualmente (UNEP, 2022). Esse processo, frequentemente realizado de forma indiscriminada e sem um planejamento adequado, leva à degradação dos ecossistemas fluviais e à erosão das margens dos rios. A extração desenfreada compromete a integridade dos *habitats* aquáticos, impactando diretamente a biodiversidade e alterando os fluxos naturais das águas. Além disso, pode trazer diversas consequências sociais e econômicas, como a diminuição da disponibilidade desse recurso essencial para comunidades que dependem da pesca. Portanto, é preciso enfatizar a necessidade de práticas de gestão mais responsáveis desse recurso na indústria.

Com o passar dos anos, as construções ficaram cada vez mais voltadas para sistemas estruturais de concreto armado, impulsionando pesquisas em busca de avanços tecnológicos nessa área e também aumentando o consumo de materiais convencionais como areia e cimento. Projetos arquitetônicos ousados exigem sistemas construtivos mais leves, esbeltos e resistentes, o que desafia o uso do concreto convencional. Nos últimos anos, notáveis progressos foram feitos na

disponibilidade de materiais e nas técnicas de dosagem para a produção de concreto, isso inclui a utilização de aditivos químicos, adições minerais, agregados artificiais e fibras em diversas aplicações na fabricação de concretos.

O politereftalato de etileno (PET) ganhou relevância nos produtos manufaturados devido à sua durabilidade, flexibilidade, baixa densidade e estabilidade térmica. Ademais, para além de seu uso convencional, esse material tem se destacado como um componente promissor em misturas cimentícias. Estudos realizados em diversos países demonstram a viabilidade de utilizar resíduos de PET como agregado leve ou como reforço fibroso em argamassas e concretos.

Bigotto *et al.* (2019) produziram argamassas com cimento CP II-Z-32, água, areia natural, sílica ativa e areia de PET feita com garrafas moídas para atingir granulometria similar à da areia natural. Foi feita a substituição parcial da areia natural por areia de PET em teores de 0%, 5%, 10% e 15%. Os autores realizaram caracterizações física e mecânica através de ensaios de espalhamento e de compressão axial. Com base nos resultados obtidos, os pesquisadores concluíram que houve perda de trabalhabilidade da argamassa conforme aumento da porcentagem de PET incorporado, com um espalhamento médio de 320 mm da referência, 300 mm da mistura com 5% de PET, 240 mm da mistura com 10% e 180 mm da mistura com 15%. As médias das resistências à compressão axial aos 28 dias de três corpos de prova das misturas de referência e com PET (5, 10 e 15%) foram de 23,09 MPa (REF), 15,75 MPa (PET5), 15,95 MPa (PET10) e 11,77 MPa (PET15) (BIGOTTO *et al.*, 2019).

Franz *et al.* (2018) avaliaram a influência e a viabilidade técnica da substituição parcial de agregado natural (areia) de argamassas por agregados de PET triturado. Em seu estudo, utilizaram diferentes granulometrias do resíduo PET triturado na indústria de reciclagem, chamados de *flake*, pó, fino e *mix*, sendo a granulometria do *flake* com diâmetro máximo igual a 4,8 mm, e do pó igual a 2,36 mm. A massa específica da areia utilizada foi de 2620 kg/m³ e do resíduo PET igual a 1390 kg/m³. As argamassas foram dosadas com relação água cimento de 0,95 com misturas substituindo em 20% a areia por *flake* de PET, pó de PET, fino de PET ou um *mix* dessas três granulometrias apresentadas, e foram caracterizadas com ensaios de índice de consistência e resistência à compressão. Como resultado, o índice de consistência médio da argamassa referência foi de 217 mm e as argamassas com PET apresentaram valores entre 177 mm (fino de PET) e 260 mm (*flake* de PET). Os autores atribuíram esse comportamento à morfologia dos grãos e à quantidade de finos presentes no agregado, uma vez que a argamassa com *flake* de PET foi a que apresentou maior índice de consistência médio e também é o agregado com menor quantidade de finos. Já as resistências à compressão apresentadas foram de aproximadamente 18 MPa para a referência, 16 MPa para a mistura com *flake* de PET, 13 MPa para a mistura com o *mix* de PET, 11 MPa para a mistura com pó de PET e 10 MPa para a com fino de PET. O decréscimo da resistência é justificado pela diminuição da densidade aparente, uma vez que a massa específica do PET é menor que a da areia. Os autores também realizaram uma análise estatística pelo método ANOVA, que indicou influência da presença do PET na dosagem das argamassas. Como conclusão, Franz *et al.* (2018) acreditam no potencial da utilização do agregado de PET em matrizes cimentícias como uma forma de redução do impacto ambiental sem alteração significativa das propriedades dos materiais.

Temp *et al.* (2023) desenvolveram argamassas mistas com agregado reciclado de PET, realizando sua caracterização no estado fresco através de ensaios de índice de consistência. No estudo, foram utilizados cimento CP IV-32, cal hidratada, areia, PET cedido por uma empresa de reciclagem e um aditivo incorporador de ar. A areia utilizada apresentou diâmetro máximo igual a 1,18 mm e o PET, 2,36 mm. Para a dosagem, foi usado um traço de 1:0,33:5,33 em massa (cimento, cal, areia) e o PET substituindo a areia em teores de 5% e 15%. Os autores compararam a trabalhabilidade de argamassas dosadas com e sem o aditivo incorporador de ar, com a verificação do aumento do espalhamento conforme o aumento da adição do aditivo. Ao avaliar o efeito das partículas PET na reologia, também foi observada uma melhora na trabalhabilidade a partir da inserção do agregado PET, com espalhamentos que foram de 252 mm na argamassa de referência para 303 mm na mistura com 5% de PET. Esse comportamento difere do observado por outros pesquisadores em misturas cimentícias que incorporam PET triturado como substituto parcial do agregado natural, principalmente devido ao uso do aditivo incorporador de ar (TEMP *et al.*, 2023).

Oliveira *et al.* (2020) avaliaram a incorporação de resíduo PET em argamassas de revestimento, com substituição parcial do agregado por PET residual em teores de 0, 5 e 10%. O resíduo PET utilizado foi proveniente da indústria da reciclagem e possuía uma forma irregular e angular com diâmetro superior a 5,6 mm, sendo, portanto, triturado para atingir um diâmetro inferior a 4 mm. Como resultado do estudo, obteve-se os espalhamentos das argamassas iguais a 184 mm, 170 mm e 174 mm, para 0%, 5% e 10% de PET, respectivamente. As resistências à compressão aos 28 dias para as mesmas misturas foram de 30 MPa (sem PET), 20 MPa (5% de PET) e 16 MPa (10% de PET) (OLIVEIRA *et al.*, 2020).

A inserção de materiais sustentáveis na construção civil representa um componente fundamental na construção de um futuro ecologicamente equilibrado. Esta prática não apenas diminui os impactos ambientais da indústria da construção, mas também prioriza a preservação dos recursos naturais, minimizando a exploração excessiva e a extração de matérias-primas. Além disso, materiais sustentáveis muitas vezes oferecem vantagens adicionais, tais como: maior eficiência

energética, melhor qualidade do ar interno e menor emissão de poluentes, contribuindo para ambientes mais saudáveis e agradáveis aos usuários.

OBJETIVOS

Diante do cenário apresentado, este trabalho visa desenvolver e analisar experimentalmente argamassas leves que utilizam partículas residuais de PET como substituto parcial da areia. Além disso, o objetivo é propor e investigar uma aplicação para esse material inovador em um elemento arquitetônico, ressaltando suas propriedades mecânicas e físicas.

Ao optar pelo uso de materiais sustentáveis, arquitetos e engenheiros não apenas evidenciam um compromisso com a responsabilidade ambiental, mas também lideram um movimento em direção às práticas construtivas mais conscientes, alinhadas com os princípios de sustentabilidade tanto a nível global quanto local. Esta abordagem não apenas atende às necessidades do presente, mas também preserva e protege o patrimônio arquitetônico para as gerações futuras.

METODOLOGIA

Foram utilizados nessa pesquisa os seguintes materiais: cimento CPV-ARI, areia lavada de rio, água da rede de abastecimento, superplastificante de terceira geração e partículas PET provenientes de garrafas PET. Esses materiais foram caracterizados de acordo com suas respectivas normas, seguindo a metodologia descrita abaixo.

O cimento foi caracterizado quanto à massa específica, no picnômetro a gás hélio; distribuição granulométrica, no granulômetro a laser; composição química, por espectroscopia por fluorescência de energia dispersiva de raios-X; e perda ao fogo, de acordo com a norma ABNT NM 18 (2012), no forno mufla. A areia foi caracterizada quanto à massa específica e absorção de água (em triplicata) de acordo com a norma ABNT NBR 16916 (2021) e ABNT NM 52 (2002). Os ensaios de granulometria da areia e das partículas PET foram feitos conforme os procedimentos da norma ABNT NBR 17054 (2022), em triplicata. A massa específica e o teor de sólidos do superplastificante foram determinados de acordo com a norma ABNT NBR 11768-3 (2019).

Para a obtenção das partículas PET utilizadas na pesquisa, foram coletadas mais de 1500 garrafas PET de água mineral com capacidade de 1,5L cada. As garrafas foram lavadas, tiveram seus rótulos e tampas retiradas e foram deixadas para secar naturalmente em uma lona (Figura 1a). Após a secagem, as garrafas foram levadas ao triturador de resíduos, com capacidade de trituração de 50 a 100 kg por hora (Figura 1b). Antes de triturar todas as garrafas, foram feitos testes para determinar o procedimento de trituração. As garrafas foram passadas algumas vezes no equipamento (Figura 1c), com amostras retiradas a cada trituração a fim de fazer ensaios de granulometria com o procedimento da norma ABNT NBR 17054 (2022) ajustado.

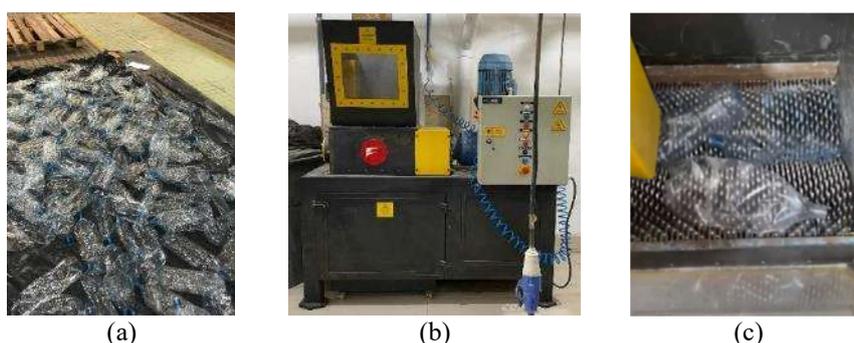


Figura 1: Preparo das partículas PET: (a) Garrafas coletadas e espalhadas em lona; (b) Triturador; (c) Garrafas sendo trituradas. Fonte: Autores do Trabalho.

As argamassas produzidas foram dosadas com traço 1:3 (cimento: areia, em massa), relação água-cimento (a/c) de 0,45 e teor de superplastificante igual a 0,45%. Foram avaliadas sete misturas, denominadas de: REF, PET05, PET10, PET15, PET50, PET60 e PET70. O consumo de materiais da argamassa de referência foi: 508,86 kg/m³ de cimento, 1526,59 kg/m³ de areia, 7,62 kg/m³ de superplastificante e 223,66 kg/m³ de água. As misturas com partículas PET foram nomeadas de acordo com o teor de partículas incorporadas na mistura em substituição da areia em massa, divididas em dois grupos, conforme descrito no Quadro 1.

Quadro 1. Nomenclatura das misturas e teores de PET incorporados. Fonte: Autora do Trabalho.

Nome	REF	PET05	PET10	PET15	PET50	PET60	PET70
------	-----	-------	-------	-------	-------	-------	-------

Teor de PET (%)	0	5	10	15	50	60	70
Grupo	-	1 - Argamassas com menores Teores (%) de PET			2 - Argamassas com maiores Teores (%) de PET		

O preparo das argamassas foi realizado em uma argamassadeira com capacidade de 5 litros, seguindo o procedimento da norma ABNT NBR 16541 (2016), ajustado para o tempo total de mistura necessário para ação do superplastificante de 8 minutos, e também, para o uso apenas da velocidade baixa, a fim de evitar a segregação durante a mistura entre a matriz (cimento, água e areia) e as partículas PET.

Quanto à caracterização das misturas produzidas, foram feitos, inicialmente, ensaios de índice de consistência de acordo com a norma ABNT NBR 13276 (2016) para sua caracterização reológica e verificação da trabalhabilidade para futuras moldagens. Posteriormente, as misturas também foram submetidas a ensaios de compressão uniaxial aos 7 e 28 dias com velocidade de carregamento de 0,1 mm/min, em 4 corpos de prova cilíndricos (diâmetro de 50 mm e altura de 100 mm) por argamassa e idade.

Os corpos de prova cilíndricos da mistura de referência (REF) foram moldados com o preenchimento total dos moldes, em três etapas com adensamento manual utilizando bastão de vidro, mantidos em cura úmida por 24h e desmoldados. Antes do ensaio de compressão, estes foram faceados em torno mecânico para planificação e paralelismo das faces. Os corpos de prova de compressão das misturas com partículas PET foram moldados deixando aproximadamente 4 mm da altura do molde sem argamassa e mantidos em cura úmida por 24h (Figura 2a). Em seguida, os moldes foram totalmente preenchidos com uma pasta de cimento com relação a/c = 0,3 (Figura 2b), suas superfícies foram aplainadas com uma espátula (Figura 2c e Figura 2d), foram mantidos em cura úmida por mais 24h e desmoldados (Figura 2e). O procedimento de planificação da face superior durante a moldagem das misturas contendo partículas PET foi feito dessa maneira devido à dificuldade de faceamento desses corpos de prova em torno mecânico.

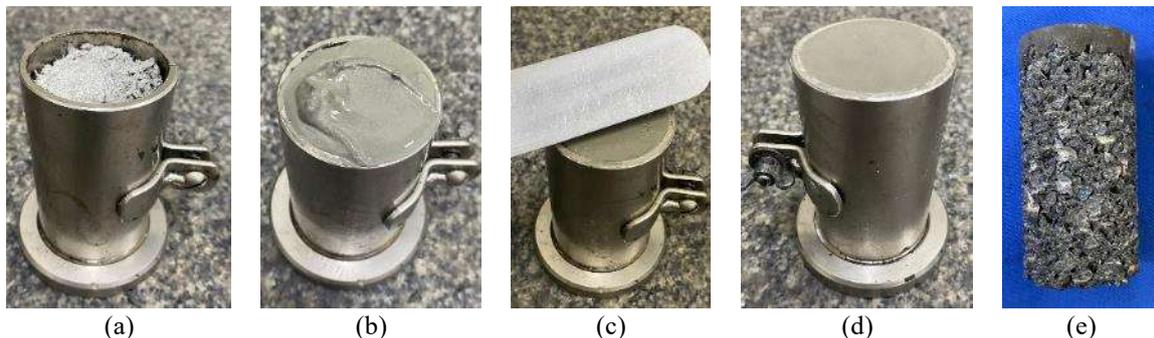


Figura 2: Procedimento de moldagem das misturas com PET: (a) Preenchimento do molde faltando 4mm; (b) Adição da pasta; (c) Aplainamento da superfície com espátula; (d) Moldagem concluída; (e) Aspecto do corpo de prova após desmoldagem. Fonte: Autores do Trabalho.

As propriedades das argamassas foram submetidas à análise estatística pelo método da Análise de Variância (ANOVA) do programa computacional OriginPro2016. Para a comparação das médias foi adotado o Método de Tukey, a um nível de confiança igual a 95%.

RESULTADOS

A massa específica média do cimento foi igual a $3080 \pm 3 \text{ kg/m}^3$. As distribuições granulométricas foram realizadas em três amostras do cimento CPV (Figura 3) e os diâmetros abaixo dos quais se situam 50% (D_{50}) e 90% (D_{90}) das partículas do cimento foram iguais a 17,1 μm e 42,5 μm , respectivamente. A composição química e perda ao fogo (PF) do cimento CPV estão apresentadas na Tabela 1. O ensaio de perda ao fogo foi realizado em triplicata. Os resultados indicam que o cimento é composto principalmente por óxido de cálcio e dióxido de silício. O cimento CPV atende aos critérios da norma ABNT NBR 16697 (2018) em relação aos teores perda ao fogo e de óxido de magnésio e de trióxido de enxofre, que devem ser menores ou iguais à 6,5% (PF e MgO) e menor ou igual à 4,5% (SO_3).

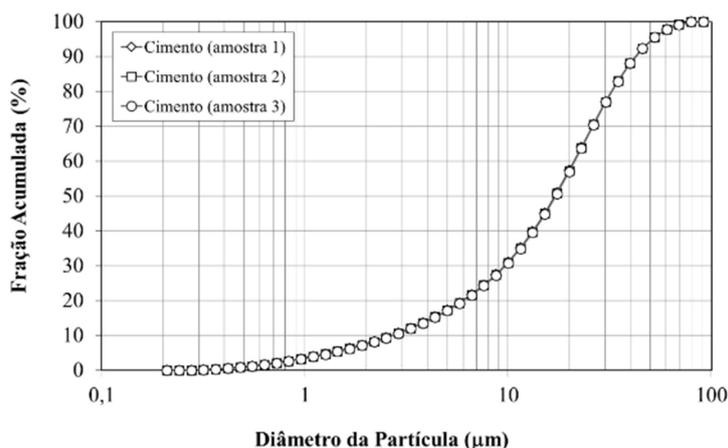


Figura 3: Curvas granulométricas do cimento. Fonte: Autores do Trabalho.

Tabela 1. Composição química do cimento. Fonte: Autores do Trabalho.

Material	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	K ₂ O	SO ₃	SrO	TiO ₂	PF
CPV-ARI	12,57	3,54	4,10	68,74	0,46	3,55	0,32	0,26	6,34 ± 0,05

A areia apresentou massa específica média na condição seca igual a $2390 \pm 020 \text{ kg/m}^3$, massa específica média na condição saturada superfície seca (SSS) de $2440 \pm 20 \text{ kg/m}^3$ e massa específica real média foi de $2530 \pm 20 \text{ kg/m}^3$. Além das massas específicas, esse ensaio também possibilitou a determinação da absorção de água da areia, que foi de $2,34 \pm 0,13\%$. As curvas granulométricas de três amostras de areia (Figura 4) possibilitaram o cálculo dos diâmetros médios, que foram iguais a: diâmetro mínimo (D_{10}) igual a $0,21 \pm 0,01 \text{ mm}$; diâmetro médio (D_{50}) igual a $0,69 \pm 0,03 \text{ mm}$; diâmetro máximo (D_{90}) igual a $2,09 \pm 0,05 \text{ mm}$.

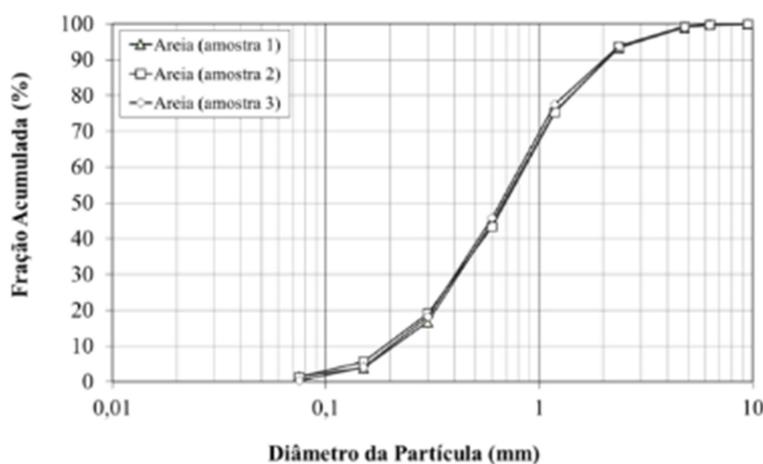


Figura 4: Curvas granulométricas da areia. Fonte: Autores do Trabalho.

Conforme informado anteriormente, para a definir o tamanho de partícula PET que seria utilizada no estudo, foram feitos alguns testes de trituração seguidos de ensaios de granulometria das partículas. O objetivo da trituração foi de reduzir a partícula para um tamanho próximo ao da areia, porém, devido às limitações do equipamento (tamanho entre os “dentes” do triturador), isso não foi possível. As garrafas foram passadas no triturador de uma a seis vezes, com amostras retiradas a cada vez. Os resultados dos ensaios de granulometria das partículas trituradas entre 2 e 6 vezes podem ser vistos na Figura 5. Não foi possível a realização do ensaio de granulometria das partículas de garrafas trituradas somente uma vez em virtude das grandes dimensões do material, que apresentaram formas compridas, variando entre 2cm e 5cm de comprimento, aproximadamente. A partir da análise das curvas, é possível observar que não houve redução significativa nos tamanhos das partículas trituradas quatro, cinco e seis vezes.

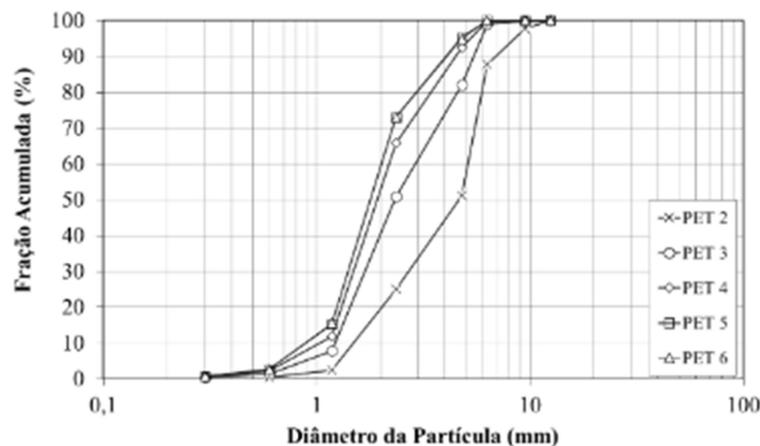


Figura 5: Curvas granulométricas com diferentes triturações do PET. Fonte: Autores do Trabalho.

Os aspectos das partículas trituradas até quatro vezes estão ilustrados na Figura 6a (trituração 1x), Figura 6b (trituração 2x), Figura 6c (trituração 3x) e Figura 6d (trituração 4x). Após a análise visual das partículas e das curvas granulométricas apresentadas na Figura 5, optou-se pelo procedimento de trituração 4 vezes, de forma a se obter a menor granulometria possível ($D_{10} = 2,13$ mm, $D_{50} = 4,08$ mm e $D_{90} = 6,16$ mm), com o menor gasto energético no procedimento. A massa específica das partículas PET (ensaios em triplicata no picnômetro a gás hélio) foi igual a 1393 ± 2 kg/m³.

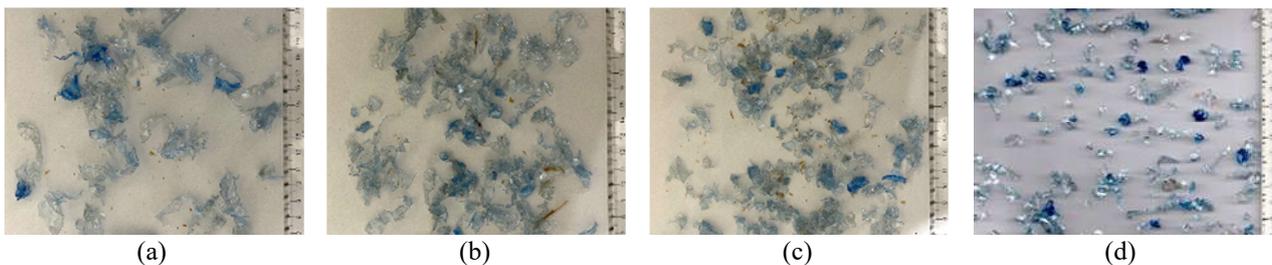


Figura 6: Aspecto das partículas PET após as triturações: (a) Uma vez; (b) Duas vezes; (c) Três vezes; (d) Quatro vezes. Fonte: Autores do Trabalho.

Os ensaios de índice de consistência foram realizados em cinco misturas do estudo: REF, PET05, PET10, PET15 e PET50. Os aspectos dessas argamassas estão apresentados na Figura 7a (REF, $\phi = 259$ mm), Figura 7b (PET05, $\phi = 237$ mm), Figura 7c (PET10, $\phi = 217$ mm) e Figura 7d (PET15, $\phi = 193$ mm). O ensaio não foi realizado nas misturas PET60 e PET70 devido à falta de coesão que essas misturas apresentaram após seu preparo, característica já possível de observar no aspecto da mistura PET50 (Figura 7e).

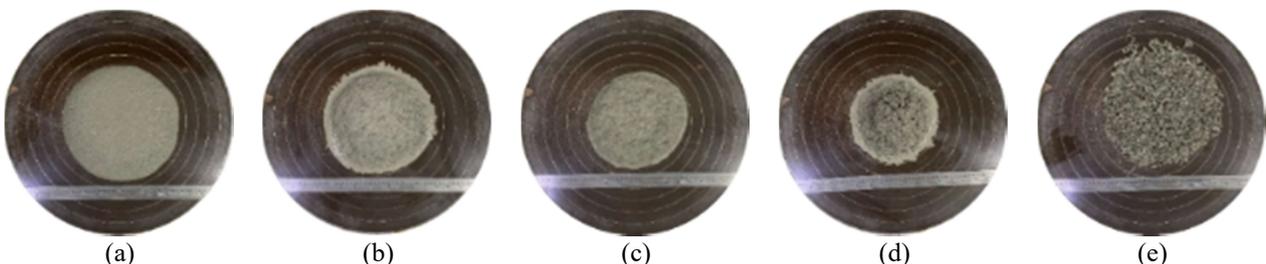


Figura 7: Aspectos das argamassas ($a/c = 0,45$ e $SP = 0,45\%$): (a) REF; (b) PET05; (c) PET10; (d) PET15; (e) PET50. Fonte: Autores do Trabalho.

Os resultados médios de resistência à compressão aos 7 dias e aos 28 dias por mistura estão apresentados na Tabela 2. Os ensaios foram conduzidos após o alcance da carga de pico até o surgimento das fissuras, a fim de observar o modo de ruptura característico de cada argamassa. De acordo com as análises estatísticas dos resultados, ao comparar as resistências aos 7 dias e aos 28 dias para cada argamassa houve variações significativas entre os resultados em função da idade, com exceção das misturas PET05 e PET15. Ao comparar as resistências à compressão das argamassas em cada idade, as análises estatísticas dos resultados indicaram as mesmas tendências, tanto aos 7 dias quanto aos 28 dias. As substituições parciais de areia por partículas PET impactaram em reduções na resistência à compressão, ao comparar a mistura REF com as argamassas com PET, sendo a queda mais significativa para as argamassas do Grupo 2. No

entanto, não houve variação estatística significativa entre as resistências das argamassas do Grupo 2 (PET50, PET60 e PET70). As reduções na resistência aos 28 dias em relação à argamassa REF foram iguais a: 16,2% (PET05), 8,3% (PET10), 41,9% (PET15) e aproximadamente 97,8% (PET50, PET60 e PET70).

Tabela 2. Resistências à compressão das argamassas aos 7 e 28 dias. Fonte: Autores do Trabalho.

Mistura	Tensão Média – DP (CV) MPa - MPa (%)	
	Idade – 7 dias	Idade – 28 dias
REF	41,5 – 0,7 (1,6)	53,7 – 1,9 (3,7)
PET05	32,5 – 2,0 (6,0)	34,8 – 0,8 (2,4)
PET10	22,4 – 1,1 (4,8)	38,0 – 0,4 (1,0)
PET15	26,4 – 1,1 (4,3)	24,1 – 1,7 (6,9)
PET50	0,57 – 0,04 (6,5)	1,53 – 0,13 (8,2)
PET60	0,45 – 0,06 (12,6)	0,62 – 0,03 (5,5)
PET70	0,41 – 0,03 (8,5)	0,50 – 0,05 (9,7)

O modo de ruptura da argamassa de referência (REF) e das misturas do Grupo 1 foram predominantemente por cisalhamento, com os aspectos típicos de corpos de prova dessas misturas apresentados na Figura 8a (REF), na Figura 8b (PET05), na Figura 8c (PET10) e na Figura 8d (PET15). As argamassas do Grupo 2 apresentaram um comportamento sem ruptura frágil durante o ensaio, com o aparente retorno dos corpos de prova ao formato original após o alívio da carga. Os aspectos dos corpos de prova das argamassas do Grupo 2 após o ensaio de compressão podem ser vistos na Figura 9a (PET50), na Figura 9b (PET60) e Figura 9c (PET70), as rupturas vistas nas figuras não aconteceram durante o ensaio e sim manualmente após a retirada dos corpos de prova da prensa.

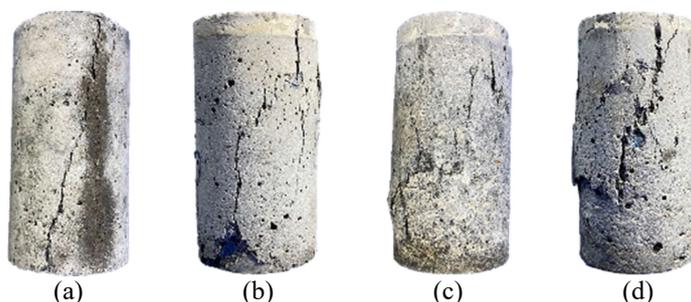


Figura 8: Modos de ruptura: (a) REF; (b) PET05; (c) PET10; (d) PET15. Fonte: Autores do Trabalho.

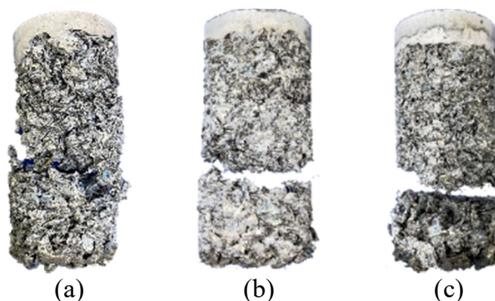


Figura 9: Modos de ruptura: (a) PET50; (b) PET60; (c) PET70. Fonte: Autores do Trabalho.

CONCLUSÕES

Considerando os resultados preliminares do estudo, foi possível investigar o efeito da inserção de diferentes teores de partículas PET na argamassa de referência proposta. Efeitos esses que são perceptíveis em suas propriedades reológicas e mecânicas (estado fresco e endurecido), medidas através dos ensaios de índice de consistência e compressão uniaxial, respectivamente.

Os ensaios de índice de consistência mostraram que, apesar da inserção das partículas terem prejudicado a trabalhabilidade, com o aumento da sua viscosidade nas argamassas com menores teores de PET (Grupo 1: PET05, PET10 e PET15) e falta de coesão nas misturas com maiores teores (Grupo 2: PET50, PET60 e PET70), todas as

misturas apresentaram consistências suficientes para moldagem. Essas características que diferem as argamassas do Grupo 1 das do Grupo 2, fizeram com que fosse necessário apenas um ajuste nos procedimentos de moldagem: as argamassas do Grupo 1 e a REF foram moldadas em 3 camadas com o adensamento manual a cada camada utilizando um bastão de vidro; e as misturas do Grupo 2 foram moldadas em 6 camadas com adensamento feito por um soquete com 10 golpes solto a uma altura de aproximadamente 5 centímetros, também a cada camada.

Os ensaios de compressão trouxeram resultados interessantes de resistência à compressão, principalmente para pensar em possíveis usos dessas argamassas em elementos arquitetônicos. As misturas do Grupo 1, por exemplo, poderiam ser aplicadas em painéis de vedação pré-moldados ou em faces de painéis sanduíches, devido à sua melhor trabalhabilidade e aos desempenhos mecânicos obtidos. Enquanto as argamassas do Grupo 2 possuíram desempenhos que possibilitam sua aplicação em blocos de vedação ou em núcleo de painel sanduíche, que são elementos moldados em uma prensa e não precisam de resistências muito altas.

Na continuidade da pesquisa pretende-se avaliar a aplicabilidade das argamassas nos elementos arquitetônicos mencionados através de testes de moldagem, além de realizar ensaios de compressão com aquisição das curvas tensão-deformação, ensaios de flexão e térmicos para finalizar a caracterização dos materiais desenvolvidos e defender a possibilidade do seu uso.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Associação Brasileira da Indústria do PET (ABIPET), **Reciclagem**. 2022. Disponível em <https://abipet.org.br/reciclagem/>. Acesso: 17 de setembro de 2023.
2. Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), **NBR 11768-3**: Aditivos químicos para concreto de cimento Portland - Parte 3: Ensaio de caracterização. Rio de Janeiro, 2019.
3. Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). **NBR 16916**: Agregado miúdo – Determinação da densidade e da absorção de água. Rio de Janeiro, 2021.
4. Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). **NBR 17054**: Agregados — Determinação da composição granulométrica — Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2022.
5. Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). **NBR 13276**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2016.
6. Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). **NBR 16541**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Preparo da mistura para a realização de ensaios. Rio de Janeiro, 2016.
7. Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). **NBR 16697**: Cimento Portland – Requisitos, Rio de Janeiro, 2018.
8. Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). **NBR NM 18**: Cimento Portland – Análise química - Determinação de perda ao fogo. Rio de Janeiro, 2012.
9. Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). **NBR NM 52**: Agregado Miúdo - Determinação de massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2002.
10. Bigotto, S.A.M., Assunção, C.C., Trevisan, M., Alcântara M.A.M. **Produção de Argamassas com Substituição Parcial de Areia Natural por Resíduo de PET**. Revista Científica “ANAP Brasil”, v. 12, n. 25, 2019. Disponível em https://publicacoes.amigosdanatureza.org.br/index.php/anap_brasil/issue/view/202. Acesso: 20 de setembro de 2024.
11. Franz, L.E., Stolz, C.M. **Análise da viabilidade do uso de garrafa pet triturada como substituição ao agregado natural em argamassas**. Anais do XVII Encontro Nacional de Tecnologia Do Ambiente Construído, v. 17, n. 1, p. 2790-2799. Foz do Iguaçu, 2018. Disponível em <https://drive.google.com/file/d/1EOFjTvkXL7aqqK9y5wqPamRSLsa3D-1V/view?usp=sharing>. Acesso: 20 de setembro de 2024.
12. Oliveira, M.R., Garcia, M.L., Castro, A.C.M., Silva, T.N. **Mortar with pet—Preliminary results**. 6th International Conference on Energy and Environment Research: “Energy and environment: challenges towards circular economy”. Aveiro, 2019. Disponível em <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352484719311783>. Acesso: 26 de setembro de 2024.
13. Temp, A.L., Venquiaruto, S.D., Costa, F.B.P., Valsecchi, C., Machado, B.M. **Avaliação de Argamassas Mistas com Agregado Reciclado de PET**. Anais do XIV Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas. João Pessoa, 2023. Disponível em <https://eventos.antac.org.br/index.php/sbta/issue/view/28>. Acesso: 20 de setembro de 2024.
14. United Nations Environment Programme (UNEP). **Sand and sustainability: 10 strategic recommendations to avert a crisis**. Geneva, 2022. Disponível em <https://www.unep.org/ptbr/resources/relatorios/areia-e-sustentabilidade-10-recomendacoes-estrategicas-para-evitar-uma-crise>. Acesso: 17 de setembro de 2023.

15. United Nations Environment Programme (UNEP). **Turning off the Tap: How the world can end plastic pollution and create a circular economy.** 2023. Disponível em <https://www.unep.org/resources/turning-off-tap-end-plastic-pollution-create-circular-economy>. Acesso: 17 de setembro de 2023.
- 16.