

Estudo do comportamento de misturas de concreto com substituição parcial do agregado miúdo por resíduo de garrafas pet

Study of the behavior of concrete mixtures with partial replacement of thin aggregate by pet bottle residue

Estudio del comportamiento de mezclas de hormigón con sustitución parcial de árido fino por residuos de botellas de PET

Leticia Martelo Pagoto

Professora Mestre, Faculdades Integradas “Rui Barbosa” (FIRB) - Universidade Brasil, Brasil.
leticia.000145@firb.br

Everton Mussato Nunes

Graduando do curso de Engenharia Civil, das Faculdades Integradas “Rui Barbosa” (FIRB) - Universidade Brasil
mussatonunes@hotmail.com

Sérgio Henrique Caldeira Teixeira

Graduando do curso de Engenharia Civil, das Faculdades Integradas “Rui Barbosa” (FIRB) - Universidade Brasil
sergio.caldeira98@gmail.com

RESUMO

A busca por materiais alternativos de construção está em constante estudo, em que há a finalidade de reduzir os impactos ambientais gerados pela obtenção dos materiais convencionais de construção, como cimento, areia e brita, para o caso do concreto, por exemplo. O objetivo desta pesquisa foi estudar substituições parciais, em volume, da areia pelo resíduo de PET, em percentuais de 5% e 10%, e comparar o comportamento das propriedades de consistência, resistência à compressão axial, densidade de massa aparente e absorção de água, em relação ao traço controle, sem incorporação de PET. Os resultados obtidos mostraram que: a consistência das misturas foi alterada com a incorporação de PET, mesmo com o aumento da relação a/c em relação ao controle; houve redução da resistência à compressão axial com o aumento da incorporação de PET; a densidade de massa aparente reduziu com a incorporação de PET; a absorção de água foi maior para o traço com 5% de PET e menor para o traço de 10%, quando comparada ao controle. Logo, pode-se concluir que a incorporação dos percentuais de 5% e 10% interferiram nas propriedades estudadas e o percentual de 10% de PET proporcionou melhor empacotamento das misturas, resultando em ligeiro aumento da resistência em relação ao 5% e menor taxa de absorção de água.

PALAVRAS-CHAVE: Material alternativo de construção. Resíduo de PET. Sustentabilidade.

ABSTRACT

The 109ercen for alternative construction materials is under constant study, with the aim of reducing the environmental impacts generated by obtaining conventional construction materials, such as cement, sand and gravel, in the case of concrete, for example. The objective of this research was to study partial replacements, in volume, of sand by PET waste, in percentages of 5% and 10%, and to compare the behavior of the properties of consistency, axial compression strength, bulk density and water absorption, in relation to the control mix, without PET incorporation. The results obtained showed that: the consistency of the mixtures was changed with the incorporation of PET, even with the increase in the w/c ratio compared to the control; there was a reduction in the axial compressive strength with the increase in the incorporation of PET; the bulk density reduced with the incorporation of PET; water absorption was higher for the mix with 5% PET and lower for the mix of 10%, 109erc compared to the control. Therefore, it can be concluded that the incorporation of percentages of 5% and 10% interfered in the properties studied and the 109ercentagem of 10% of PET provided better packaging of the mixtures, resulting in a slight increase in strength compared to 5% (C5) and lower water absorption rate.

KEY WORDS: Alternative construction material. PET waste. Sustainability.

RESUMEN

La búsqueda de materiales de construcción alternativos está en constante estudio, con el objetivo de reducir los impactos ambientales que genera la obtención de materiales de construcción convencionales, como cemento, arena y grava, en el caso del hormigón, por ejemplo. El objetivo de esta investigación fue estudiar reemplazos parciales, en volumen, de arena por residuos de PET, en porcentajes del 5% y 10%, y comparar el comportamiento de las propiedades de consistencia, resistencia a compresión axial, densidad aparente y absorción de agua. en relación a la mezcla de control, sin incorporación de PET. Los resultados obtenidos mostraron que: la consistencia de las mezclas se alteró con la incorporación de PET, incluso con el aumento de la relación a / c en relación al control; hubo una reducción de la resistencia a la compresión axial con el aumento de la incorporación de PET; la densidad aparente se redujo con la incorporación de PET; la absorción de agua fue mayor para la mezcla con 5% de PET y menor para la mezcla de 10%, en comparación con el control. Pronto, se puede concluir que la incorporación de porcentajes de 5% y 10% interfirió en las propiedades estudiadas y el porcentaje de 10% de PET proporcionó un mejor envasado de las mezclas, resultando en un ligero aumento de resistencia frente al 5% y un menor tasa de absorción de agua.

PALABRAS CLAVE: Material de construcción alternativo. Residuos de PET. Sustentabilidad.

1 INTRODUÇÃO

A construção civil é um dos meios industriais que mais utiliza recursos naturais não renováveis, como parte desses recursos temos, pedras, areias, solos e entre outros agregados. Por esse motivo, juntamente com a engenharia ambiental, a área da construção civil atua no sentido de minimizar os impactos causados no ambiente, criando projetos, campanhas e tecnologias para a realização de reciclagem dos próprios resíduos das construções, reciclagens de pneus, vidros, garrafa PET e etc. Tais alternativas ajudam as diversas áreas envolvidas a destinarem, para locais adequados, os resíduos a serem descartados e, assim, as empresas responsáveis pela coleta desses resíduos possam da melhor forma selecionar e destinar a matéria para um segundo processamento, onde será utilizado como agregado nos concretos, revestimentos, asfaltos, entre outros, podendo minimizar os impactos ambientais.

Nesse contexto, no Brasil, o plástico usado em garrafas PET é produzido em grande quantidade, por ser muito consumido e estar presente no dia a dia da população. A situação se agrava quando se sabe que o PET permanece na natureza por cerca de 400 anos, se não for descartado corretamente, ou reciclado.

Segundo publicação de Giraldi e Adjuto (2019), o World Wide Fund for Nature (WWF), uma organização não governamental internacional que atua nas áreas da conservação, investigação e recuperação ambiental, divulgou que o volume de plástico que vaza para os oceanos são cerca de 10 milhões de toneladas. De acordo com a pesquisa, se continuar com esses índices, estima-se que em 2030 será lançado ao mar o equivalente a 26 mil garrafas de plástico para cada quilômetro quadrado. Além disso, tal situação coloca o Brasil como o 4º país que mais produz lixo no mundo.

Ainda de acordo com Giraldi e Adjuto (2019), a poluição pelo plástico gera um prejuízo na economia global, com cerca de mais de 2,4 milhões de toneladas de plástico sendo descartados de forma irregular. A partir deste cenário, o setor da construção civil vem desenvolvendo técnicas que utilizam materiais alternativos em suas obras, dentre eles, para a substituição de agregados, o PET. A reutilização deste material possibilita ajudar o meio ambiente, pois serão destinados a outros fins e também oferecer um material alternativo para a construção.

Diante disso, alguns questionamentos direcionaram a pesquisa, a citar: Quais propriedades mecânicas e físicas do concreto com a adição do plástico dos PET é possível atingir em relação aos dados obtidos no concreto tradicional? Tendo em vista as propriedades do PET, se misturadas ao concreto, dar-se-á um resultado positivo de resistência e trabalhabilidade, sem afetar as propriedades mais importantes requeridas? A areia é um agregado importante na argamassa, porém é um recurso não renovável, então, qual a quantidade necessária de resíduos da garrafa PET para substituí-la, obtendo uma boa qualidade no produto final?

Nesse cenário, a área da engenharia civil, uma vez que, nas obras, necessita de concreto, cuja mistura é feita de cimento, areia brita e água, demonstra-se promissora para buscar auxiliar na questão do reaproveitamento de materiais alternativos como o plástico, ajudando a eliminar uma pequena parte da poluição inserida no meio ambiente. Por meio de ensaios físicos e mecânico, buscando estudar a viabilidade desse material alternativo na construção civil.

2 OBJETIVO

O objetivo desta pesquisa foi estudar a influência do uso de resíduo de PET em algumas propriedades do concreto. Para isso, foram realizadas substituições parciais, em volume, da areia pelo resíduo de PET, em percentuais de 5% e 10%, e comparadas algumas propriedades com o comportamento de um traço controle, sem incorporação de resíduo de PET.

3 METODOLOGIA

A pesquisa iniciou-se com a leitura de livros, artigos, trabalhos acadêmicos para fazer um levantamento de informações a respeito do tema. Num segundo momento, o estudo seguiu algumas etapas para a produção de corpos de prova e ensaios físicos e mecânicos no Laboratório de Engenharia Civil das Faculdades Integradas “Rui Barbosa - FIRB, Universidade Brasil, situada no município de Andradina-SP.

Diante disto, a pesquisa caracterizou-se com natureza descritiva e explicativa, de cunho quali-quantitativo, cujos dados foram coletados *in loco*, realizando os testes no laboratório das FIRB, onde se encontram os equipamentos adequados para a execução dos ensaios.

Com a finalidade de atingir o objetivo proposto, foi elaborado um programa experimental que contemplou ensaios nas misturas de concreto no estado fresco e endurecido, como será apresentado adiante.

3.1 Materiais

Os materiais utilizados para a produção dos traços de concreto foram:

- Cimento Portland: CP II E 32
- Agregado graúdo: Brita de origem basáltica, classificada comercialmente como brita 1;
- Agregado miúdo: Areia de origem natural, classificada comercialmente como areia grossa;
- Água: Oriunda da rede de abastecimento de Andradina-SP;
- Resíduo de PET: Este resíduo foi o mesmo utilizado por Rovere *et al.* (2020). Foi obtido por doação da empresa Paraná PET, referente ao total de 250 garrafas PET, formato de flocos obtido pelo processo de trituração das garrafas. O material foi enviado à empresa Jetch Micronizadores com a finalidade de reduzir o tamanho dos flocos em uma granulometria mais fina. Para isso, foi realizado o processo de micronização, chegando ao tamanho do resíduo utilizado como alternativa de substituição do agregado miúdo. A Figura 1 apresenta o resíduo de PET utilizado.

Figura 1 - Resíduo de PET utilizado como substituição parcial da areia.



Fonte: Rovere *et al.* (2020)

3.2 Métodos

3.2.1 Caracterização

Foram determinados a massa específica baseando-se na metodologia da NBR NM52 (ABNT, 2009). Assim obtive-se os valores da massa específica para a areia de $2,62 \text{ g/cm}^3$, pedra brita de $2,69 \text{ g/cm}^3$ e do resíduo de pet de $1,13 \text{ g/cm}^3$.

3.2.2 Dosagem de concreto

As dosagens dos traços do concreto foram realizadas baseando-se na metodologia escrita por Helene e Terzian (1992), com traços na proporção de 1: 2,5: 3,5 (em massa), como apresentado na Tabela 1. Foram estudados três traços de concreto, sendo: traço controle e dois traços com substituição parcial, em volume, de areia por resíduo de PET, nas proporções de 5% e 10%; os traços foram denominados, respectivamente, de C0, C5 e C10.

Tabela 1 - Dosagem dos materiais para os traços estudados.

Materiais	Quantitativo de materiais (kg)		
	C0	C5	C10
Brita 1	15,84	15,84	15,84
Areia grossa	11,31	10,75	1018
PET moído	0,00	0,24	0,49
Cimento CP II E 32	4,53	4,53	4,53
Água	2,49	2,72	2,72
Fator a/c	0,55	0,60	0,60

Fonte: Elaborada pelos autores.

3.2.3 Ensaio do concreto no estado fresco

Para verificação da trabalhabilidade do concreto foram realizados os ensaios de *Slump Test*, ou ensaio de abatimento de tronco de cone, que é um dos ensaios necessários para o controle tecnológico do concreto no estado fresco. Ele nos indica qual é o parâmetro da trabalhabilidade e consistência do concreto. Para a realização deste ensaio foi seguida a NBR 16889 (ABNT, 2020).

Para cada traço de concreto realizado, foi retirada uma amostra do concreto e inserido em um molde tronco cônico com diâmetro inferior de 20 cm, diâmetro superior de 10 cm e uma altura de 30 cm, utilizado também uma haste de compactação. Para a execução do mesmo, o molde foi previamente umedecido e posicionado com a base inferior sobre uma placa metálica plana. Seu preenchimento foi realizado em 3 camadas sucessivamente, cada uma preenchendo cerca de um terço da altura do molde. Cada camada foi compactada com 25 golpes da haste metálica. Após a finalização da terceira camada, nivelou-se o topo do molde e retirou-se o mesmo com uma velocidade constante. Logo após, realizou-se as leituras para os ensaios, medindo a variação de altura entre o molde e o tronco de cone de concreto, conforme apresentado na Figura 2.

Figura 2 - Ensaio de *Slump* realizado em laboratório.



Fonte: Elaborada pelos autores.

3.2.4 Ensaio do concreto no estado endurecido

No estado endurecido foram realizados ensaios de Resistência à Compressão Axial, Densidade de Massa Aparente e Absorção de Água, ambos realizados em corpos de prova cilíndricos com 100 mm de diâmetro e 200 mm de altura. Os procedimentos foram descritos a seguir.

- Resistência à Compressão

Com a finalidade de executar o ensaio, foram necessários moldar quatro corpos de prova cilíndricos (100 mm x 200 mm) de concreto para cada um dos traços estudados, C0, C5 e C10, segundo a NBR 5738 (ABNT, 2016). Essa norma recomenda que o corpo de prova, com essas dimensões, seja moldado em duas camadas, executando 12 golpes com a haste metálica em cada camada, para adensamento manual do concreto.

Após 1 dia de cura, os corpos de prova foram desmoldados e mantidos submersos em água até a idade de 28 dias, determinada para o ensaio de Resistência à Compressão Axial.

O ensaio de resistência foi realizado de acordo com a NBR 5739 (ABNT, 2018). Este ensaio é importante para o controle tecnológico do concreto no estado endurecido, com a finalidade de apresentar a resistência à compressão suportada pelos traços estudados, na idade de 28 dias.

Para a execução do ensaio, foi utilizada uma máquina universal de ensaios EMIC P.C.E. 100C. A carga foi aplicada continuamente com carregamento de 5 kN/s.

O resultado do ensaio, resistência à compressão (σ), em cada corpo de prova foi obtido pela divisão da carga de ruptura (força máxima obtida na prensa) pela área da seção transversal do corpo de prova, expresso em MPa, como indicado pela Equação 1.

$$\sigma = \frac{\text{Carga de ruptura}}{\text{Área}} \quad (1)$$

- Densidade de Massa Aparente

Este ensaio foi realizado baseando-se na NBR 9778:2005 - Versão Corrigida 2 (ABNT, 2009). Foram moldados três corpos de prova para a realização deste ensaio.

A densidade de massa aparente avalia a massa ocupada pelo concreto em um certo volume estabelecido. Para isso, o ensaio foi realizado nos corpos de prova cilíndricos (100 mm x 200 mm), medindo a massa do corpo de prova na idade de 28 dias, após secagem em estufa (apresentada no item 3.2.5), eliminando toda a umidade do procedimento de cura úmida.

O resultado do ensaio (D) foi obtido pela relação entre a massa do corpo de prova e seu volume, expresso em kg/m³, como apresentado na Equação 2.

$$D = \frac{\text{Massa do corpo de prova}}{\text{Volume}} \quad (2)$$

- Absorção de Água

O ensaio de Absorção de Água também foi realizado baseando-se na NBR 9778:2005 - Versão Corrigida 2 (ABNT, 2009). Para o ensaio, foram utilizados os mesmos corpos de prova cilíndricos do ensaio de Densidade de Massa Aparente.

Os corpos de prova ensaiados, com a idade de 28 dias, foram secos em estufa (apresentada no item 3.2.5) e determinadas as suas massas em kg (massa inicial). Logo após, foram submersos em tanque com água por 24 horas e após esse período, foram determinadas as suas massas em kg (massa final).

O resultado do ensaio (A), expresso em porcentagem, foi obtido considerando a quantidade de água absorvida pelo corpo de prova, em relação à sua massa inicial (corpo de prova antes da submersão em água). A Equação 3 apresenta o cálculo utilizado.

$$A = \frac{\text{Massa final} - \text{Massa inicial}}{\text{Massa inicial}} \times 100 \quad (3)$$

3.2.5 Fabricação da estufa

A fim de possibilitar a realização dos ensaios de Densidade de Massa Aparente e Absorção de Água, foi construída uma estufa para a secagem dos corpos de provas:

- Dimensões da caixa: Foram utilizadas lâminas de pinus (madeirite) para a confecção das paredes da caixa medindo: 0,52 x 0,30 x 0,42 cm. Toda a caixa foi revestida com carpete para melhor absorção térmica e estética.
- Para a manutenção da temperatura no interior da caixa, a mesma foi revestida com folhas de papel alumínio e no fundo da caixa foi colocado uma camada de gesso.
- Uma resistência de 110 v foi adaptada no fundo da estufa para acelerar o processo de secagem dos CPS.
- Para controle de temperatura, foi adaptado um termômetro na lateral da caixa, com capacidade de aferir temperaturas de -50°C a $+300^{\circ}\text{C}$.

A Figura 3 apresenta a parte interna da estufa já finalizada.

Figura 3 - Estufa construída para secagem dos corpos de prova.



Fonte: Elaborado pelos autores.

4 RESULTADOS

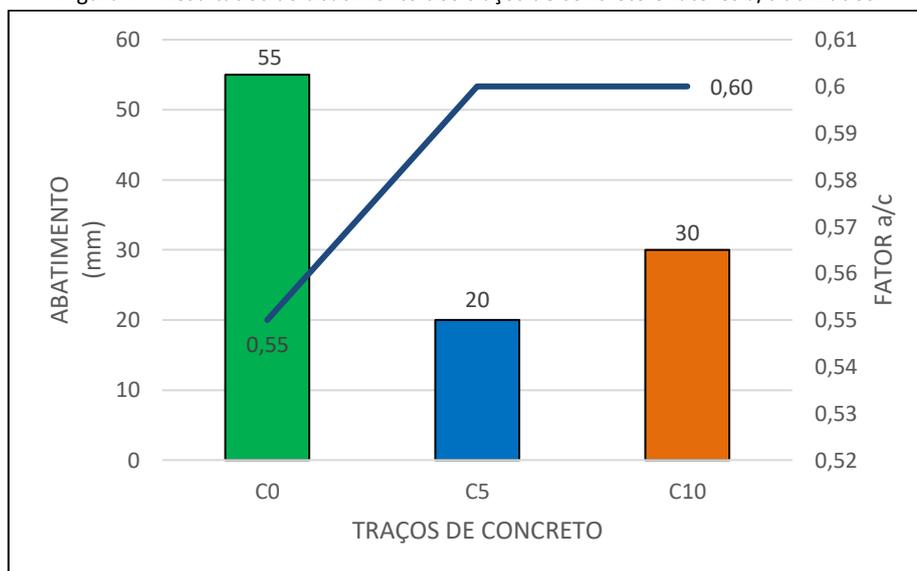
Os traços de concreto estudados, controle, 5% e 10% de substituição parcial, em volume, da areia pelo resíduo de PET, respectivamente denominados de C0, C5 e C10, foram submetidos ao ensaio de *Slump Test* no estado fresco, e aos 28 dias de cura, submetidos aos ensaios de Resistência à Compressão Axial, Densidade de Massa Aparente e Absorção de Água.

- *Slump Test*

O *Slump Test* foi realizado a fim de medir o abatimento das misturas de concreto estudadas. A Figura 4 apresenta os resultados de abatimento e também o fator a/c utilizado. Em ambos os traços, iniciou-se com o fator a/c de 0,55.

Em laboratório, realizando o ensaio, o traço controle, C0, com fator a/c de 0,55, obteve abatimento de 55 mm. Ao medir o abatimento do traço com incorporação de 5% de resíduo de PET, C5, notou-se que o fator a/c de 0,55 praticamente resultou em abatimento nulo, portanto, o fator foi alterado para 0,60. Este valor também foi mantido para o traço C10, com 10% de resíduo de PET, a fim de manter a quantidade de água para as duas misturas, resultando em abatimento ainda baixo, de 20 mm e 30 mm para os respectivos traços C5 e C10.

Figura 4 – Resultados do abatimento dos traços de concreto e fatores a/c utilizados.



Fonte: Elaborado pelos autores.

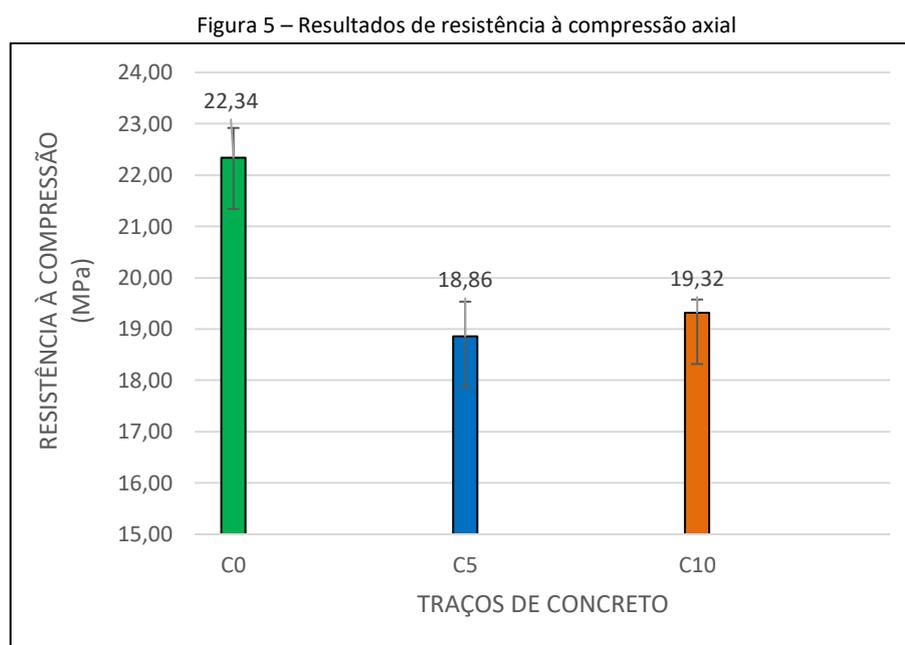
Pode-se observar, com os resultados apresentados na Figura 4, que a incorporação de resíduo de PET interfere notavelmente no abatimento do concreto, havendo a necessidade de adotar um fator a/c maior para os traços com incorporação do resíduo. Comparando estes traços com o traço controle, houve redução do abatimento em 64% e 45% para os traços C5 e C10, respectivamente.

- Resistência à Compressão Axial

O ensaio de resistência à compressão axial foi realizado em quatro corpos de prova com idade de 28 dias. A Figura 5 apresenta os resultados médios de resistência.

Ao analisar os resultados, observou-se que o traço C0 apresentou resistência de 22,34 MPa, contra 18,86 MPa e 19,32 MPa para os traços C5 e C10, respectivamente. Tais resultados mostraram que a incorporação de PET reduziu a resistência dos corpos de prova em 15% (C5) e 13% (C10) quando comparados ao traço controle, C0.

Avaliando os resultados dos traços com incorporação de PET, pode-se observar que a diferença entre C5 e C10 foi pequena, e não houve uma tendência de reduzir a resistência com o aumento da incorporação. Tal fato pode ser atribuído ao melhor preenchimento de vazios em C10, melhorando o empacotamento da mistura.



Fonte: Elaborado pelos autores.

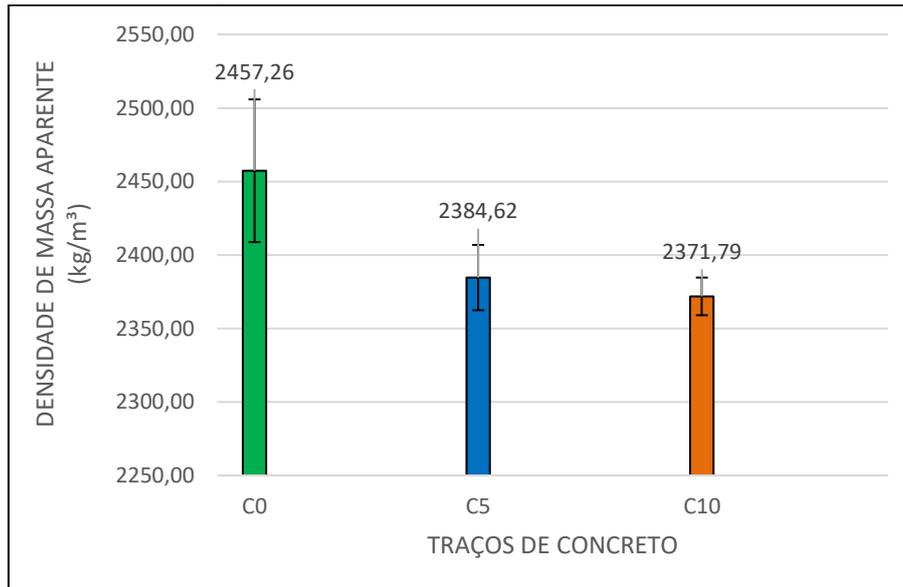
- Densidade de Massa Aparente

O ensaio de densidade de massa aparente foi realizado no estado endurecido, aos 28 dias de idade dos corpos de prova. Os resultados médios dos três corpos de prova ensaiados estão apresentados na Figura 6.

A NBR 8953 (ABNT, 2015) estabelece que os concretos com densidade de massa normais apresentam valores entre 2000 kg/m³ e 2800 kg/m³. Acima de 2800 kg/m³ são considerados concretos densos ou pesados, e abaixo de 2000 kg/m³, considerados concretos leves. Dessa forma, os valores de densidade de massa encontrados enquadram-se no intervalo de concretos convencionais.

Por meio da análise dos resultados presentes na Figura 6 podemos notar que o traço C0 apresentou densidade de massa de 2457,26 kg/m³. Para os traços com incorporação de resíduo de PET, o traço C5 resultou em densidade de massa de 2384,62 kg/m³ e para o traço C10, 2371,79 kg/m³.

Figura 6 – Resultados da densidade de massa aparente



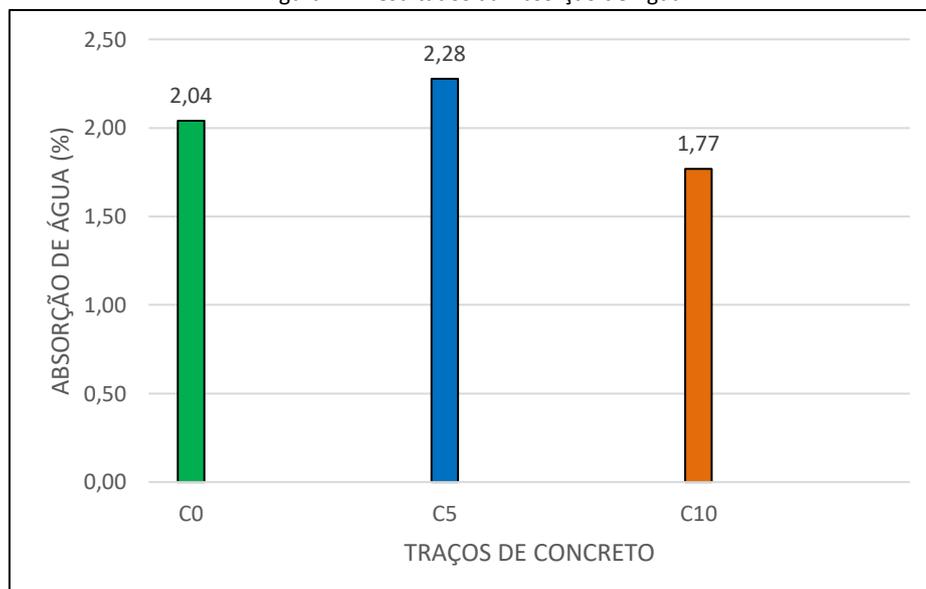
Fonte: Elaborado pelos autores.

A diferença da densidade de massa dos traços com incorporação de PET comparados ao traço controle são devidos à diferença de massa específica entre a areia e o resíduo de PET, 2,62 g/cm³ contra 1,13 g/cm³, respectivamente. Os resultados mostram que a incorporação do resíduo de PET leva à concretos menos densos.

- Absorção de Água

O ensaio de absorção de água foi realizado nos mesmos corpos de prova ensaiados na densidade de massa aparente, ou seja, com o mesmo tempo de cura de 28 dias. Os resultados obtidos foram apresentados na Figura 7.

Figura 7 – Resultados da Absorção de Água.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Por meio da análise dos resultados apresentados na Figura 7, pode-se notar que o traço C0 resultou em absorção de 2,04%, contra 2,28% e 1,77% para os traços C5 e C10, respectivamente. Entre estes traços, houve uma variação pequena de 0,51% entre os valores extremos dos resultados.

Comparando os traços com incorporação de resíduo de PET ao traço controle, nota-se que o C5 resultou em um aumento da absorção de água em 12%, enquanto para C10 houve redução da absorção em 13%. Dessa forma, nota-se que não houve uma tendência de resultados com o aumento da incorporação de resíduo de PET. Tal fato pode ser explicado pelo melhor preenchimento dos vazios da mistura com a incorporação de 10% de PET, melhorando o empacotamento e resultando em absorção mais baixa que o controle. Este fato também foi observado no ensaio de resistência à compressão axial.

5 CONCLUSÃO

Atualmente são vários os estudos que buscam por materiais alternativos de construção que visam reduzir os impactos ambientais gerados pela extração dos recursos naturais não renováveis, como a areia. Aliado a isso, estão os impactos ambientais devido ao descarte inadequado de alguns resíduos na natureza, como o caso das garrafas PET.

O presente trabalho teve o objetivo de analisar o efeito das substituições parciais de 5% e 10% de areia pelo resíduo de PET, em volume, nas propriedades de consistência (*Slump Test*), resistência à compressão axial, densidade de massa aparente e absorção de água.

Por meio dos resultados obtidos pode-se observar:

- A incorporação de resíduo de PET alterou notavelmente a consistência das misturas, havendo a necessidade de aumento do fator água/cimento de 0,55 (controle) para 0,60 (5% e 10% de PET). Mesmo com esse aumento, os traços com PET ainda apresentaram baixa consistência, o que afeta diretamente na trabalhabilidade dessas misturas.
- A resistência à compressão axial, quando comparada ao traço controle, reduziu 15% e 13% para os respectivos traços C5 e C10. O aumento da resistência de C10 em relação ao C5, mesmo que pequeno, pode ser atribuído ao melhor empacotamento da mistura, proporcionado pela incorporação de 10% de resíduo de PET.
- A densidade de massa aparente no estado endurecido apresentou redução com o aumento da incorporação de resíduo de PET, resultado já esperado devido à diferença de massa específica entre a areia e o PET.
- A absorção de água, comparada ao traço controle, foi maior para a incorporação de 5% de PET e menor para a incorporação de 10% de PET. Como já atribuído no resultado de resistência à compressão, a mistura com 10% de PET proporcionou um melhor empacotamento, levando à uma taxa de absorção menor que a mistura com 5%.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16889. **Concreto — Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone**. Rio de Janeiro, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5738: 2015 Versão Corrigida:2016. **Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova**. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5739. **Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8953. **Concreto para fins estruturais - Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência**. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9778:2005 Versão Corrigida 2:2009. **Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica**. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 52. **Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente**. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 67. **Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone**. Rio de Janeiro, 2020.

HELENE, P.; TERZIAN, P. **Manual de dosagem e controle do concreto**. São Paulo: PINI, 1992.

ROVERE, S. E.; HOSSOTANI, L. A. V.; PAGOTO, L.M.; MATOS, L. H. L. D. **Alternativa para agregado no concreto: garrafa pet**. Trabalho de Conclusão de Curso. Faculdades Integradas Rui Barbosa – FIRB. 2020.