

AVALIAÇÃO DE BLOCO INTERTRAVADO DE CONCRETO UTILIZANDO PLÁSTICO COMO AGREGADO MIÚDO

Jesse de Jesus Lima¹

Pedro Henrique Maciejewsky Quintino²

Deyvid Ricardo³

39

Resumo: O crescimento demasiado da população e, conseqüentemente, das áreas urbanizadas faz com que se cada vez mais sejam gerados resíduos sólidos, causando grandes impactos ambientais. Entre os resíduos sólidos gerados atualmente se encontram os resíduos de plástico e que devido seu longo tempo de decomposição vem gerando o acúmulo destes nos aterros. Para reverter esse quadro de lotação, muitas pesquisas trazem a reciclagem como uma maneira de destinação adequada para esses resíduos. A fim de desenvolver a reciclagem, visto que a construção civil tem causado também danos ao meio ambiente ao explorar grande parte dos recursos naturais, o presente trabalho propõe desenvolver blocos intertravados de concreto com substituição parcial do agregado natural pelo plástico. Este trabalho visa avaliar as características de desempenho e viabilidade técnica dos blocos intertravados de concreto feitos com agregado alternativo em comparação com o bloco convencional. Para o desenvolvimento desta pesquisa foi feito ensaios granulométricos dos agregados naturais e plástico e, posteriormente, ensaios de avaliação dimensional, absorção de água, resistência à compressão e a abrasão. Portanto, através dos ensaios ficou concluído que a substituição do agregado por plástico reduz a resistência à compressão dos blocos intertravados de concreto.

Palavras-chave: *pavers*; sustentabilidade; reciclagem; construção civil.

Abstract: The growth too much of the population and, consequently, of urbanized areas causes more and more solid waste to be generated, causing major environmental impacts. Among the solid waste currently generated are plastic waste and that due to its long composition time has generated the accumulation of these in landfills. To reverse this stocking situation, many studies bring recycling as a suitable way of destination for this waste. In order to develop recycling, since civil construction has also caused damage to the environment by exploiting much of the natural resources, this paper proposes to develop interlocked concrete blocks with partial replacement of the aggregate natural by plastic. This work aims to evaluate the performance and technical characteristics of the interlocked concrete blocks made with alternative aggregate compared to the conventional block. For the development of this research, granulometric tests of natural aggregates and plastic were performed and, later, dimensional evaluation, water absorption, comprehension and abrasion tests were performed. Therefore, through the tests it was concluded that the replacement of the aggregate by plastic reduces the compressive strength of the interlocked concrete blocks.

Keywords: *pavers*; sustainability; recycling; Construction.

¹ Acadêmico do curso de Engenharia Civil da Faculdade Santo Agostinho.

² Acadêmico do curso de Engenharia Civil da Faculdade Santo Agostinho.

³ Professor da Faculdade Santo Agostinho. Mestre em Engenharia Civil pela UFOP. Email: deyvid.ricardo@yahoo.com.br

Recebido em 30/02/2020

Aprovado em 16/03/2020

1. INTRODUÇÃO

Um dos maiores problemas decorrentes da urbanização tem sido o aumento da geração de resíduos sólidos. O aumento populacional e, conseqüentemente, a busca da melhoria da qualidade de vida da população, causada pelo poder de aquisição, fazem com que as indústrias tenham uma vasta produção de produtos, que após uso são brevemente descartados. O aumento dos resíduos sólidos, por meio do consumo de produtos descartáveis como papel, plástico e vidro, causa a diminuição da vida útil dos aterros sanitários, conseqüentemente, gera impacto ao meio ambiente (SANTOS; ROVARIS, 2017).

O Brasil produziu em 2012 cerca de 198,8 mil toneladas por dia de resíduos sólidos e dessa quantidade 13,5% é composto por plástico (CEMPRE, 2015). O baixo custo de produção e a durabilidade que possuem, em comparação aos outros tipos de materiais, fazem com que seu consumo seja cada vez maior, mesmo considerando que é um material que devido suas características leva anos para sofrer decomposição.

De acordo com Piatti e Rodrigues (2005), os materiais plásticos podem se originar de fonte sintética ou derivada de substâncias naturais, a exemplo do petróleo do qual se extrai a matéria-prima nafta. O plástico é composto por polímeros, macromoléculas formadas a partir de unidades estruturais menores e repetidas, chamadas monômeras.

Ainda seguindo Piatti e Rodrigues (2005), dentre diversos tipos de plásticos estão o Polietileno (PE) e o Polipropileno (PP). Este possui polimerização do gás propileno, apresentando características mecânicas elevadas, resistindo a impactos, rupturas, produtos químicos e boas qualidades elétricas, utilizado como recipiente. Aquele tem sua produção através da polimerização do etileno, com isso consegue macromoléculas extensas, das quais é possível fabricar canetas, brinquedos e mais.

Para tentar reverter o quadro de lotação dos aterros, a reciclagem é um fator preponderante, pois tem como uma das grandes vantagens a obtenção da matéria-prima para um novo produto. Ação essa que resulta em matéria-prima que pode ser usada na construção civil para desenvolver-se insumos e elementos estruturais, o que implica a sustentabilidade do meio. A construção civil é um dos setores que mais se utiliza recursos naturais para obter, por exemplo, agregados graúdos e miúdos. No Brasil, em 2015, foram produzidos, aproximadamente, 519 milhões de toneladas de agregados miúdos e graúdos, segundo dados da ANEPAC (2015).

No entanto, diversos autores desenvolveram pesquisas nas quais salientaram a reciclagem ou reutilização de resíduos sólidos urbanos como uma das alternativas ao

problema de exploração de recursos naturais. É o caso de Tiburcio (2018) que realizou a reutilização de Politereftalato de Etileno (PET) na confecção de blocos de alvenaria. Gomes e Santos (2014) analisaram o uso de resíduos derivados do vidro na fabricação dos *pavers*. Ambos utilizaram resíduos sólidos urbanos reciclados na substituição geral ou parcial de agregados graúdos e miúdos associados de diferentes maneiras.

Buscou-se criar um produto que visa poupar alguns recursos naturais e ainda praticar a reciclagem. Para isso, usou o plástico Polietileno (PE) e o Polipropileno (PP), em substituição parcial ao agregado miúdo na composição do concreto na fabricação de blocos intertravados para estabelecer-se uma alternativa sustentável na construção civil.

Os pavimentos intertravados quando comparados com pisos monolíticos, por exemplo, apresentam melhores características, pois, segundo Fioriti (2007), possuem facilidade de manutenção, além de serem considerados permeáveis e com bom isolamento térmico.

O presente trabalho teve como objetivo identificar as vantagens e desvantagens do uso de resíduos de plástico na fabricação de blocos de concreto, procurando comprovar se são viáveis tecnicamente e atendem às especificações exigidas. Portanto, pretende-se avaliar e indicar se tal proposta é uma opção possível e eficiente para reduzir os impactos ambientais.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Os ensaios foram realizados no Laboratório de Solos e Tecnologia das Construções da Faculdade Santo Agostinho, onde foram realizados ensaios granulométricos dos agregados naturais miúdos e resíduo plástico e, posteriormente, ensaios de avaliação dimensional, absorção de água, resistência à compressão e à abrasão.

2.1 Materiais

2.1.1 Resíduo de Plástico

Os plásticos utilizados foram os Polietilenos (PE) e o Polipropileno (PP) em diversos formatos, resultantes de reciclagem e fornecidos pela empresa Reciclos Comercial de Plástico, localizada na cidade de Bocaiuva - MG. A Figura 1 apresenta detalhadamente o resíduo de plástico utilizado nesse trabalho.

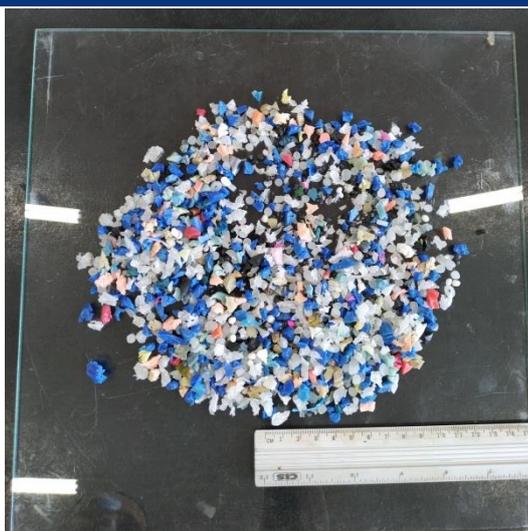


Figura 1: Resíduo plástico.
Fonte: Elaborado pelos autores

2.1.2 Areia

A areia lavada utilizada em todo trabalho foi proveniente da Barra do Pacuí, município de Ibiaí, e foi adquirida em depósito de materiais de construção da cidade de Montes Claros - MG.

2.1.3 Brita

O agregado graúdo utilizado foi a brita 0. O material é proveniente da JLX Mineração e foi adquirido em depósito de construção localizado em Montes Claros - MG.

2.1.4 Cimento

O cimento utilizado na pesquisa foi o cimento Portland CP-V-ARI da marca Campeão produzido pela CRH Brasil. O cimento Portland CP-V-ARI é o mais adequado para aplicações onde o requisito de elevada resistência às primeiras idades é fundamental e também na fabricação de blocos de concreto.

2.1.5 Água

Foi utilizada a água potável de abastecimento público da cidade de Montes Claros – MG.

2.2 Caracterização do agregado miúdo e do resíduo plástico

Para caracterizar a granulometria da areia natural e do resíduo plástico seguiu-se a norma NBR 7211 (ABNT, 2005) - Agregados para concreto: especificação.

O ensaio de composição granulométrica foi realizado em um conjunto composto por oito peneiras, desde abertura 9,50mm a 0,15mm, e posteriormente peneiradas em peneirador eletromagnético durante 2 minutos. O material retido em cada peneira foi pesado em uma balança digital de precisão de 0,01g. Coletadas as informações de massa retida, foi realizada a porcentagem do peso do agregado presente em cada peneira para obter-se a curva granulométrica e o módulo de finura.

2.3 Definição do traço

Para determinação do traço, foi realizada uma pesquisa que pretendia avaliar a dosagem que melhor atendia às exigências da norma NBR 9781 (ABNT, 2013) – Peças de concreto para pavimentação, especificações e métodos. Para o trabalho, a dosagem definida foi baseada na pesquisa de Mattos e Schwaickardt (2018) que avaliaram a proposta de traço para blocos de concreto de pavimento intertravado, utilizando-se o traço 1:2, 5:2, 5 em proporção de cimento, agregado miúdo e agregado graúdo, em que constataram melhor desempenho para blocos feitos com esse traço, com ganho muito superior na resistência à compressão em relação a outros traços, por exemplo, 1:3: 1. O fator água/cimento utilizado foi 0,32, sendo a dosagem da água um fator decisivo, uma vez que interfere na consistência do concreto e nas propriedades mecânicas do produto.

Verificado o traço a ser utilizado e com base no referencial teórico pesquisado, as porcentagens adotadas de substituição do agregado miúdo por resíduo plástico foram de 10% e 20%.

2.4 Planejamento dos ensaios

As propriedades de um produto definem suas características, por isso é tão importante durante a fabricação desse produto que seja feita o controle de qualidade da matéria-prima usada e de todo seu processo. Com intuito de produzir um bloco intertravado durável e que apresente desempenhos técnicos satisfatórios, foram definidas as características a serem analisadas: avaliação dimensional; absorção de água; resistência à compressão; resistência à abrasão.

Foram criados três traços para esse experimento. A produção dos blocos de concreto no laboratório inclui a elaboração de dois com agregados em diferentes proporções e um traço referencial, para que ambos fossem avaliados e comparados entre si.

A Tabela 1 apresenta o número de corpos de prova que foram fabricados e utilizados para cada ensaio.

Tabela 1: Número de blocos de cada traço

Ensaio realizado por traço	Idade (dias)	Traço T0	Traço T10	Traço T20
Resistência à compressão	7	2	2	2
	14	2	2	2
	21	2	2	2
	28	6	6	6
Avaliação dimensional	28	6*	6*	6*
Absorção de água	28	6	6	6
Resistência à abrasão	28	3	3	3

* Blocos foram usados para medir resistência à compressão.

Fonte: Elaborado pelos autores

2.4.1 Produção dos blocos intertravados

O procedimento para produção dos blocos intertravados foram realizados seguindo o mesmo padrão para todos os traços. Para isso, foi utilizada betoneira estacionária como misturador. Para moldagem das amostras a fôrma escolhida foi a segmentada com 16 faces, com dimensões de 20x10x6 cm. Esse formato é classificado pela norma como tipo 1 com formato próximo ao retangular.

Inicialmente, seguindo os valores dos traços estipulados anteriormente, foi realizada separadamente a pesagem de cada agregado e material de acordo com o traço a ser produzido. Para cada mistura, a dosagem de água foi de 1,480 litros. A Tabela 2 relaciona o volume em massa de cada componente do traço a ser fabricado.

Tabela 2: Traço dos blocos

Traços	Componentes	Volume (kg)
T0	Cimento	4,6
	Areia	11,51
	Brita	11,51
T10	Cimento	4,6
	Plástico	1,15
	Areia	10,36
	Brita	11,51
T20	Cimento	4,6
	Plástico	2,3
	Areia	9,21
	Brita	11,51

Fonte: Elaborado pelos autores

As misturas dos materiais ocorreram da mesma maneira para todos os traços, porém, para os traços onde houve o procedimento de substituição do agregado miúdo por plástico, primeiramente foi feita a homogeneização do resíduo com a areia natural, para depois serem lançadas na betoneira.

Após a separação dos itens a serem utilizados em cada traço, iniciou-se o lançamento do agregado graúdo na betoneira, seguido da adição de metade da água. Em um intervalo de um minuto, os demais componentes foram adicionados na betoneira e, após quatro minutos, resultou-se no aglomerante.

Finalizada a mistura do concreto de cada traço, foi realizada a moldagem dos *pavers* nas formas. Antes de serem preenchidos os moldes, foram devidamente lubrificadas por dentro para evitar-se a fragmentação dos blocos na hora de desenformar. Após a moldagem foi realizado em todas as peças o processo de adensamento.

Após o adensamento, as amostras foram colocadas no local com temperatura ambiente e, passadas as 24 horas, foram desenformadas e identificadas com seus traços, conforme Figura 2, assim sendo colocadas para cura ao ar até as idades de realização dos ensaios.

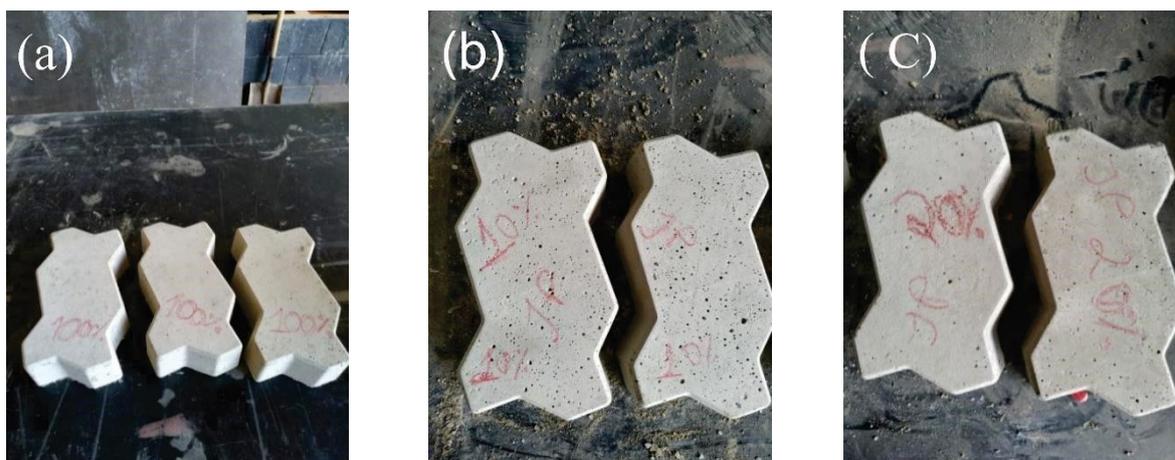


Figura 2: (a) Corpo de prova com traço 1; (b) corpo de prova com traço 2; (c) corpo de prova com traço 3.
Fonte: Elaborado pelos autores

2.4.2 Avaliação Dimensional

De acordo com a norma NBR 9781 (ABNT, 2013), os blocos de concreto passaram por avaliação dimensional, para identificação da uniformidade dos blocos e verificação da aceitação da variação de dimensões, conforme a Tabela 3. Foi realizado o ensaio conforme o Anexo D da norma.

Tabela 3: Variação de valores dimensionais aceitáveis

Comprimento (mm)	Largura (mm)	Espessura (mm)
±3	±3	±3

Fonte: Elaborado pelos autores

2.4.3 Determinação da absorção de água

Este ensaio foi realizado de acordo com a descrição do Anexo B da norma NBR 9781 (ABNT, 2013).

Os pavers foram submersos em tanques de água por 24 horas. Concluído esse período, as peças foram pesadas na condição saturada com superfície seca, obtida removendo a água superficial das peças. O procedimento foi repetido a cada duas horas, até o momento em que em duas determinações sucessivas não se registre para o corpo de prova diferença de massa superior a 0,5 % em relação ao valor anterior, anotando-se a massa saturada m_2 .

Posteriormente, os pavers saturados foram levados à estufa com temperatura de $110 \pm 5^\circ\text{C}$ por 24 horas. Em seguida, as peças foram pesadas na condição seca em estufa. O procedimento foi repetido a cada duas horas, até o momento em que em duas determinações sucessivas não se registre para o corpo de prova diferença de massa superior a 0,5 % em relação ao valor anterior, anotando-se a massa seca m_1 .

Para adquirir o valor da absorção de água de cada peça, em porcentagem, calcula-se usando a Equação 1.

$$A = \frac{m^2 - m^1}{m^1} \times 100 \quad (1)$$

Onde:

A = absorção de cada corpo de prova, expressa em porcentagem (%);

m^1 = massa do corpo de prova seco, expressa em gramas (g);

m^2 = massa do corpo de prova saturada, expressa em gramas (g).

2.4.4 Resistência à compressão

Para obter-se uma variação de resistência de sete em sete dias, dois blocos por lotes de concreto foram rompidos em 7 dias, 14 dias, 21 dias e 28 dias. Foi realizada a média entre os dois valores de cada traço e posteriormente foi obtida em Mpa, através da Equação 2:

$$f_{pi} = \frac{\text{carga}}{\text{área}} \times (0,95)p \quad (2)$$

Onde:

f_{pi} = resistência de cada pavers, em Megapascals (MPa);

carga = carga aplicada sobre o material em Newton (N);

área = área do material, em milímetros quadrado (mm²);

p = fator multiplicativo em relação à espessura do *pavers*.

No cálculo da resistência característica à compressão ($f_{pk,est}$), em MPa, utilizou-se a Equação 3. Conforme o anexo A da NBR 9781 (ABNT, 2013), obteve-se a resistência característica à compressão com os valores de resistência de seis blocos no vigésimo oitavo dia.

$$f_{pk,est} = fp - t \times s \quad (3)$$

Sendo s o desvio-padrão da amostra, calculado através da Equação 4:

$$s = \sqrt{\frac{\sum (fp - f_{pi})^2}{n-1}} \quad (4)$$

É t o coeficiente de Student, encontrado na tabela A.2 anexada à norma NBR 9781 (ABNT, 2013), relação da quantidade de amostra. Para estudo de 6 amostras, o valor t é de 0,92. Logo, o valor encontrado final é através da Equação 2 a 4.

Onde:

fp = resistência média das peças, expressa em *megapascals (MPa)*;

f_{pi} = resistência individual das peças, expressa em *megapascals (MPa)*;

$f_{pk,est}$ = resistência característica estimada à compressão, expressa em *megapascals (MPa)*;

n = número de peças da amostra.

2.4.5 Resistência à Abrasão

A norma NBR 9781 (ABNT, 2013) apresenta esse ensaio como facultativo. Para sua realização, em razão da impossibilidade de uso do laboratório pela falta de equipamentos descritos na norma, optou-se por uma nova metodologia, a qual consiste em usar o óxido de Alumínio que apresenta um alto poder abrasivo. Dessa forma é possível obter a resistência dos materiais a forças abrasivas.

O ensaio foi realizado com três corpos de prova de cada traço nas dimensões de 3x2x1cm. Inicialmente as amostras foram pesadas para determinar sua massa inicial. Em cima de uma prancha de vidro, cada amostra foi atritada em movimentos circulares durante 2 minutos sobre o óxido de alumínio dissolvido em 5 ml de água e, ao término, a massa final da amostra foi pesada.

Para encontrar o valor do desgaste, foi calculada a diferença entre a massa inicial e a massa final pela Equação 5.

$$Ra = mi - mf \quad (5)$$

Onde:

mi = massa inicial, em gramas;

mf = massa final, em gramas.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Caracterização dos materiais

3.1.1 Plástico

A granulometria pode ser visualizada na Tabela 4 e a curva correspondente é apresentada na Figura 3.

Tabela 4: Granulometria do plástico

GRANULOMETRIA			
Plástico			
Peneira (mm)	Massa (g)	Retida %	Acumulada %
9,50	0,00	0,00	0,00
6,30	32,00	3,20	3,20
4,80	417,00	41,70	44,90
2,40	520,00	52,00	96,90
1,20	27,00	2,70	99,60
0,60	3,80	0,38	99,98
0,30	0,097	0,01	99,99
0,15	0,099	0,01	100,00
Fundo	0,00	0,00	100,00
Total	999,996	100,00	
	Módulo de Finura		6,45
	Dimensão Máxima		6,30

Fonte: Elaborado pelos autores

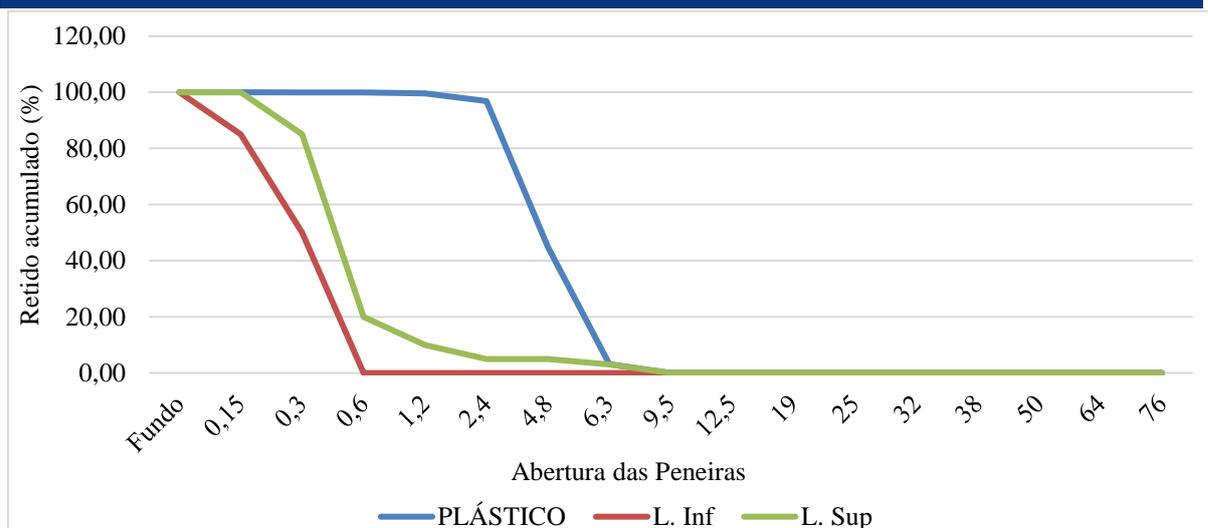


Figura 3: Curva granulométrica do plástico

Fonte: Elaborado pelos autores

A curva granulométrica dos resíduos de plástico foi comparada com a do agregado miúdo e, como se pode observar na Figura 2, o resíduo de plástico não se encontra dentro dos limites inferiores e superiores (areia muito fina) estabelecidos, apresentando-se uma descacterização.

3.1.2 Agregado miúdo

A granulometria pode ser visualizada na Tabela 5 e a curva correspondente apresentada na Figura 4.

Tabela 5: Composição granulométrica do agregado miúdo

GRANULOMETRIA			
AREIA FINA			
Peneira (mm)	Massa (g)	Retida %	Acumulada %
4,80	0,00	0,00	0,00
2,40	1,69	0,17	0,17
1,18	9,15	0,92	1,08
0,60	51,69	5,17	6,25
0,30	661,000	66,10	72,36
0,15	261,000	26,10	98,46
Fundo	15,44	1,54	100,00
Total	999,973	100,00	
Módulo de Finura			2,78
Dimensão Máxima			0,6

Fonte: Elaborado pelos autores

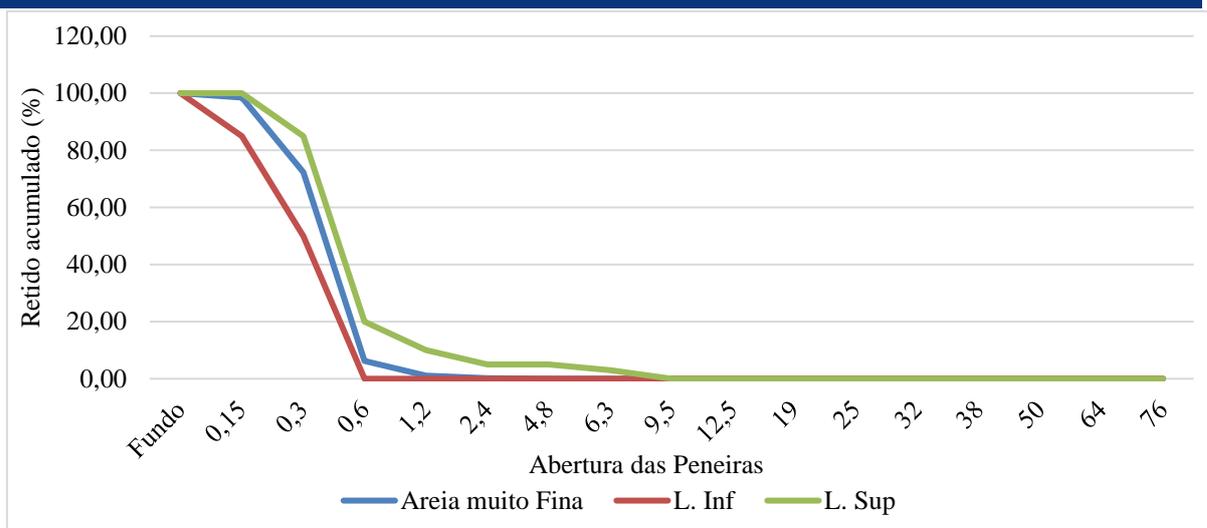


Figura 4: Curva granulométrica da areia
Fonte: Elaborado pelos autores

Observa-se que o material do ensaio ficou retido em uma proporção maior na peneira de 0,3 mm e na peneira de 0,15 mm, sendo aquela em um volume superior aos 50% do peso total da amostra. Com módulo de Finura de 2,78 foi classificada como areia do tipo muito fina, na faixa de zona utilizável.

3.2 Ensaio

3.2.1 Avaliação Dimensional

A Tabela 7 apresenta os resultados de amostra dimensional de cada bloco.

Tabela 7: Composição granulométrica do agregado graúdo

Amostra	T0			T10			T20		
	Comprimento	Largura	Altura	Comprimento	Largura	Altura	Comprimento	Largura	Altura
1	205,72	106,76	60,15	205,82	107,60	60,21	205,20	106,36	60,05
2	205,71	106,77	59,98	205,21	106,13	60,18	205,69	105,72	60,04
3	205,73	106,75	60,00	205,31	106,25	60,10	205,32	106,40	60,08
4	205,71	106,76	60,01	205,52	106,44	60,13	205,52	106,61	60,12
5	204,89	106,77	60,01	205,45	106,38	60,11	205,58	106,65	60,09
6	205,71	106,78	60,02	205,70	106,65	60,15	205,60	106,56	60,11

Fonte: Elaborado pelos autores

Os valores das dimensões das amostras apresentaram uma diferença em relação à dimensão das formas, porém as variações entre as amostras de cada traço não foram superiores a ± 3 mm, o valor exigido pela norma.

3.2.2 Resultado Absorção de água dos *pavers*

A Figura 5 apresenta os valores médios dos blocos de cada traço em porcentagem.

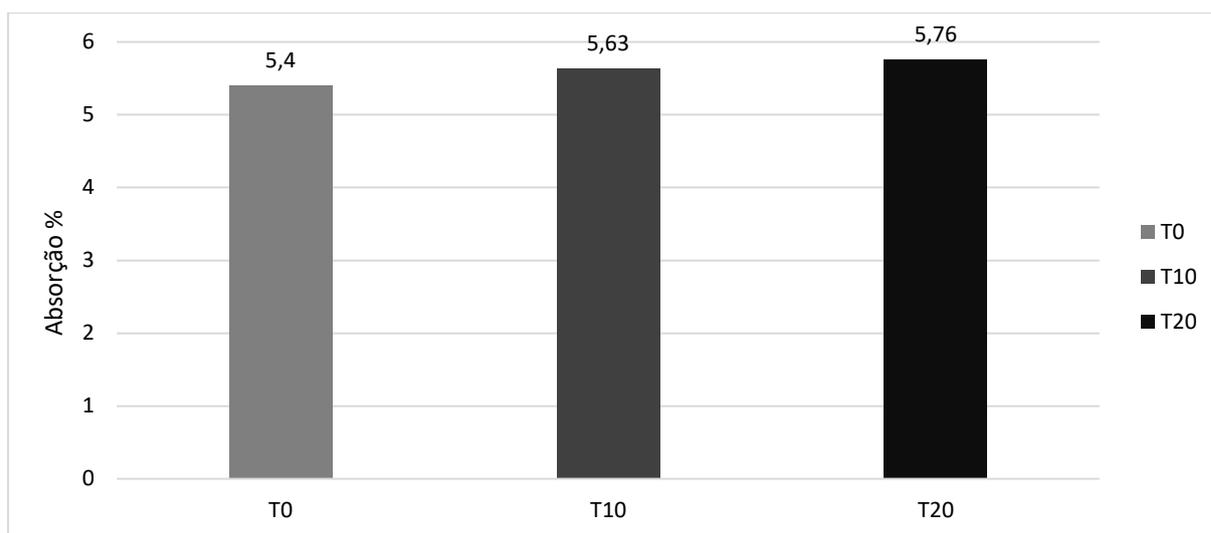


Figura 5: Absorção dos blocos

Fonte: Elaborado pelos autores

A determinação é que as amostras devem apresentar uma absorção de água igual ou menor a 6% para atender às especificações da norma NBR 9781 (ABNT, 2013).

O resultado indica que os traços apresentaram praticamente o mesmo valor de absorção de água. Nota-se que a maior variação foi entre o traço convencional e o traço com 20% de plástico, apresentando uma diferença de 0,36% de absorção. Com relação aos percentuais permitidos, apesar de apresentarem valores próximos ao limite que a norma exige, os traços feitos com substituição do agregado miúdo por plástico conseguiram apresentar uma permeabilidade baixa, demonstrando uma das principais características dos polímeros que é a impermeabilidade.

Por isso, percebeu-se que o aumento do plástico nos *pavers* aumentou a absorção de água, concluindo que quanto mais plástico, maior a porosidade do material. Com isso, inviabilizou-se a utilização de maiores porcentagens de substituição da areia lavada.

3.2.3 Resultado de Resistência à compressão

Os valores do ensaio de variação da resistência são apresentados na Figura 6.

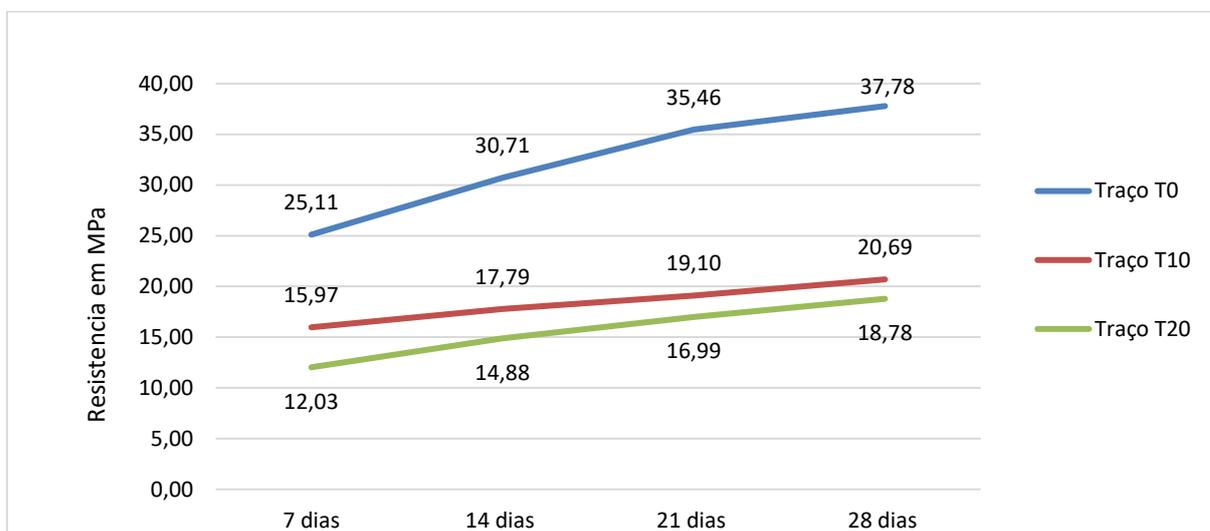


Figura 6: Variação da Resistência à Compressão em relação a sua idade

Fonte: Elaborado pelos autores

As análises mostram que o traço convencional alcançou uma resistência elevada já nos primeiros dias com valor de 25,11 MPa e teve um aumento progressivo de resistência a valores superiores a 35 MPa já em 21 dias. No vigésimo oitavo dia, o traço convencional teve um elevado ganho de resistência, chegando a um valor de 37,78 MPa, com um aumento de 50,45% em relação ao valor de resistência do sétimo dia.

Os traços T10 e T20 apresentaram um valor abaixo em relação ao traço convencional. No decorrer dos 7 dias, ambos os traços apresentaram uma evolução média de 1,77 MPa no seu valor de resistência. Ao chegar ao vigésimo oitavo dia o valor ficou bastante inferior ao traço referencial. Enquanto o traço 2 apresentou uma diminuição de resistência de 36,39% em relação ao traço 1, o traço 3 apresentou uma diminuição de mais da metade, chegando ao valor de 52,09%.

Pelos resultados apresentados observou-se uma resistência elevada já no sétimo dia para o traço T0. Assim se nota a aplicação do Cimento Portland CPV-ARI. Também houve uma redução de resistência à compressão muito significativa nos traços contendo substituição de areia por resíduo de plástico em comparação ao traço T0 ao vigésimo oitavo dia.

O valor final da resistência característica à compressão (f_{pk}), aos 28 dias de cada traço, é apresentado na Figura 7.

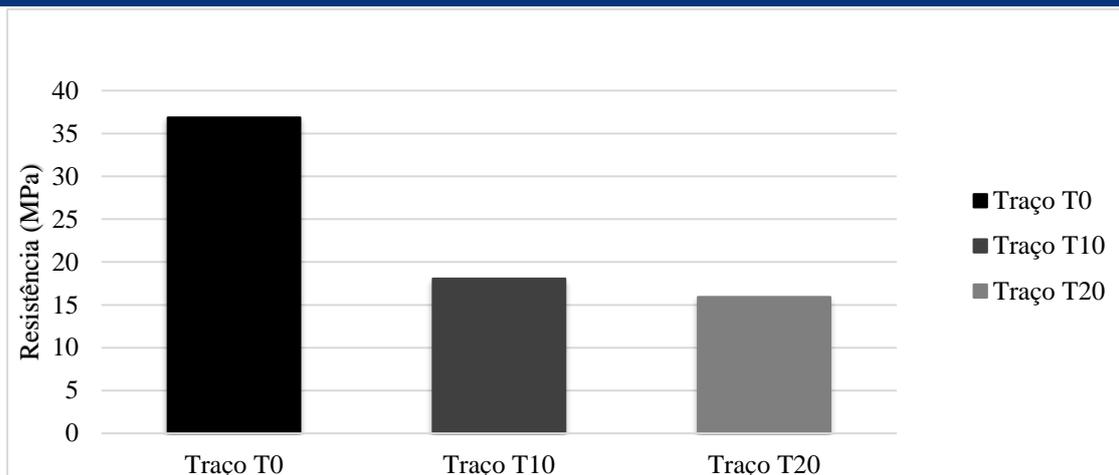


Figura 7: Resistência dos blocos aos 28 dias

Fonte: Elaborado pelos autores

O valor de controle utilizado pela norma é de 35 MPa para *pavers* submetidos ao tráfego de pedestres, veículos leves e veículos comerciais de linha. Nas análises feitas pode-se perceber que os blocos feitos com proporções de plástico não conseguiram atingir o estipulado pela norma, ocorrendo uma diminuição nos valores de compressão. O traço T10 apresentou uma diferença de 48,37% em relação ao valor controle, enquanto o traço T20 apresentou uma diminuição de 54,51%.

Por meio das análises dos resultados atribuiu-se a queda de resistência ao fácil arrancamento dos fragmentos após ruptura, pois altera a aderência dos componentes da argamassa, fato esse que implica na inviabilidade desses *pavers*. Através da imagem aproximada é possível identificar na Figura 8 as características de como ficou o bloco feito com 20% de plástico após ruptura.



Figura 8: Corpo de prova com traço T20

Fonte: Elaborado pelos autores

Todavia, Fioriti (2007) ao estudar pavimentos intertravados de concreto utilizando resíduos de pneu, obteve a conclusão que valores acima de 15 MPa são aceitáveis, desde que

esses blocos sejam usados se somente se em lugares onde a predominância seja total tráfego de pedestres.

3.2.4 Resultado de Resistência à abrasão

O ensaio de abrasão está representado na Tabela 8.

Tabela 8: Resultado médio de abrasão

Tipo	Massa inicial (g)	Massa final (g)	Abrasão (g)	Porcentagem de massa perdida (%)
T0	78,958	78,669	0,289	0,36
T20	71,414	70,809	0,605	0,84
T30	67,576	66,251	1,325	1,96

Fonte: Elaborado pelos autores

Por meio dos dados acima, é possível identificar que o desgaste à abrasão aumentou com o aumento do percentual de substituição do agregado miúdo. A perda de material decorre da aderência entre o plástico com os demais componentes do concreto, facilitando a fragmentação do material. Segundo Fusco (1995), a adesão, o atrito e o engrenamento da ligação ou aderência mecânica dos materiais intervêm na ligação com os outros materiais, o desgaste do plástico é maior que o agregado miúdo, justificando o crescimento da massa desgastada.

4. CONCLUSÃO

Pode-se concluir que, à medida que aumentou a porcentagem de plástico na mistura do concreto, houve variação nos valores dos ensaios em comparação com o bloco de concreto convencional.

Os blocos intertravados de concreto com plástico não tiveram resistência à compressão necessária para estar de acordo com a norma, problema no qual se percebeu que o plástico possui pouca aderência à mistura de concreto. Comparado ao agregado natural é muito inferior. No ensaio a compressão, os traços T20 e T30 obtiveram resistência superior a 15 Mpa e inferior ao valor controle de 35 MPa, uma resistência adequada para locais de tráfego leve e predominância de total de pedestres, segundo Fioriti (2007). No entanto a utilização desses blocos com plástico seria possível somente para calçadas e áreas internas das residências como quintais.

Nos outros ensaios, os *pavers* atenderam à norma. Sua absorção de água e suas dimensões estão no padrão da norma. O ensaio opcional, resistência à abrasão, não apresentou grandes variações.

O estudo de materiais possíveis de reciclagem tornou-se necessário, pois problemas ambientais nos últimos anos aumentaram. Apresentar novos métodos de reciclagem e utilização de resíduos na construção permite criar novas maneiras sustentáveis de preservar o meio ambiente.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211**: Agregados para concreto: especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

_____. **NBR 9781**: Peças de concreto para pavimentação: especificação e métodos de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

_____. **NBR 16697**- Cimento Portland – Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

ANEPAC - Associação Nacional das Entidades de Produtores de Agregados para Construção. História do Agregado. Disponível em: <<http://www.anepac.org.br/agregados/historia-do-agregado>>. Acesso em: 10 mar. 2019.

CEMPRE – Compromisso Empresarial para Reciclagem. O mercado para reciclagem. Disponível em: <<http://cempre.org.br/artigo-publicacao/ficha-tecnica/id/8/pet>>. Acesso em: 28 fev. 2019.

FIORITI, C. **Pavimentos intertravados de concreto utilizando resíduos de pneus como material alternativo**. São Carlos. 202p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

FUSCO, P. B. **Técnica de Armar as Estruturas de Concreto**, PINI, São Paulo, 1995.

GOMES, A. A.; SANTOS, J. **Pavers produzido com resíduo da construção civil (RCC) pó de pedra e pó de vidro**. 2014. 21º CBECIMAT - congresso brasileiro de engenharia e ciência dos materiais 09 a 13 de novembro de 2014, Cuiabá, 2014.

MATOS, L. R. L. D. de. **Pavimentos intertravados de concreto utilizando resíduos de pet**. 2019. 137 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Ilha Solteira, 2019.

MATTOS, J. R.G.; SCHVAICKARDT, C. M. **Estudo de traço para peças pré-moldadas de concreto para pavimentos intertravados**. 2018.

PIATTI, T.M.; RODRIGUES, R. A. F **Plásticos**: características, usos, produção e impactos ambientais. Maceió, 2005.

SANTOS, T.; ROVARES, N. R. S **Cenário brasileiro da gestão dos resíduos sólidos urbanos e coleta seletiva**. São Paulo - SP, 2017.

TIBURCIO, J. **Utilização de areia reciclada de resíduo da construção civil e resíduos de garrafa pet para fabricação de blocos de concreto e argamassa**. 2018. 79 f. Dissertação (trabalho de conclusão de curso), Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Paraná, 2018.