

Propriedades Físico-Mecânicas de Blocos de Concreto para Pavimentação e com Incorporação de Resíduo PET Oil

Wilhen Carmelo Salles Kuchta¹, Wellington Mazer², Matheus David Inocente Domingos^{2*}

¹Faculdade de Ciências Sociais e Agrárias de Itapeva (FAIT), Rodovia Francisco Alves Negrão (SP-258), km 285, bairro Pilão D'Água, CEP 18412-000, Itapeva, SP, Brasil.

²Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Departamento Acadêmico de Construção Civil, Rua Deputado Heitor Alencar Furtado, 5000, Ecoville, CEP 81280-340, Curitiba, PR, Brasil.

*matheusdavid_domingos@alumni.usp.br

(Recebido em 12/05/2020; revisado em 08/06/2020; aceito em 30/11/2020)
(Todas as informações contidas neste artigo são de responsabilidade dos autores)

Resumo:

O presente trabalho teve como objetivo avaliar a viabilidade técnica da adição de um tipo de Polietileno Tereftalato (PET) reciclado e derivado de embalagens de óleos de cozinha (PET Oil) nas propriedades físicas e mecânicas de blocos de concreto para pavimentação. Três teores de PET Oil (15, 25 e 35%) foram escolhidos – com substituição percentual similar dos agregados convencionais – e os resultados foram comparados com os do bloco de referência (sem PET Oil). Teores maiores de PET Oil aumentaram a absorção de água e acarretaram reduções na resistência característica à compressão. A falta de aderência suficiente entre as partículas de PET Oil e a matriz cimentícia é apontada como uma das explicações possíveis para estes resultados. Também se verificaram aumentos na trabalhabilidade do concreto com o aumento do teor de PET Oil, o que pode ser atribuído à presença de elementos mutuamente repelentes na sua composição (plástico, água e óleo).

Palavras-chave: Concreto; pavimentação; polietileno tereftalato; reciclado.

Abstract:

The present research study dealt with the technical feasibility of the addition of one type of recycled Polyethylene Terephthalate (PET) and derived from oil cooking bottles (PET Oil) on the physical and mechanical properties of interlocking concrete paving blocks. Three PET Oil contents (15, 25 and 35%) – in replacement to similar percentages of the conventional aggregates – were selected, and their findings were compared with those of the reference block (no PET Oil). Higher PET Oil contents increased the water absorption and led to decreases in the characteristic compressive strength. The lack of enough adherence between the PET Oil particles and the cementitious matrix is pointed out as one of the reasons for such findings. Higher degrees of workability of the concrete were also observed with increasing PET Oil contents, which may be explained by the presence of mutually repellent materials in its composition (plastic, water and oil).

Keywords: Concrete; paving; polyethylene terephthalate; Recycled.

1. Introdução

A reciclagem tem sido interpretada como um assunto de extrema importância em todo o mundo devido ao aumento da quantidade de resíduos que sobrecarregam os aterros, à falta de um sistema de gerenciamento de resíduos em vários países e à contínua redução da oferta de fontes naturais de matéria-prima. Com relação aos plásticos, isto recebe ainda mais ênfase devido ao tempo necessário para sua decomposição no meio ambiente – em média, 450 anos [1]. Entre os diversos tipos de plásticos e polímeros existentes tem-se o Polietileno Tereftalato (PET), um tipo de poliéster saturado e composto por etileno glicol e ácido tereftálico. A utilização do PET, principalmente em embalagens,

apresenta algumas vantagens em relação a outros materiais tais como alta resistência mecânica, baixo peso, ausência de efeitos colaterais no organismo humano e baixa permeabilidade aos gases, bem como sua aparência estética [2]. Além do PET, os resíduos plásticos também podem ser derivados de outros polímeros como o polipropileno e o poliestireno. Em geral, a participação deste tipo de resíduo nos aterros é elevada [3]. Embora o PET não seja capaz de causar um dano direto ao meio ambiente, sua capacidade de desintegração em frações menores e a alta resistência aos agentes químicos e atmosféricos fazem dele um material nocivo [2]. Ainda, o lucro obtido no processo de reciclagem do PET precisa ser analisado a cada caso, podendo ser pequeno

dependendo do custo do processo de reciclagem, de adaptação de equipamentos para a utilização do material reciclado e da oferta do material no mercado. Diante deste cenário, é de extrema importância a manutenção da lucratividade da reciclagem do plástico para manter sua atratividade perante a sociedade e evitar a busca por outras formas de destinação dos resíduos – e. g., o processo de incineração, adotado na Índia [4]. Quando empregado em materiais de construção como o concreto, o PET pode substituir parte dos agregados graúdos ou miúdos dependendo das técnicas de preparo ou do interesse dos pesquisadores. Neste caso, a presença do PET diminui a massa do concreto e altera algumas de suas propriedades como as resistências à corrosão, à tração e química [3, 4].

Dentre as opções para o uso do PET no concreto, a produção de blocos para pavimentação – também conhecidos como “pavers” no Brasil e assim designados no presente estudo – é uma alternativa interessante. Os “pavers” podem ser empregados como superfície de revestimento de ruas, estacionamentos e calçadas. Pesquisas têm sugerido a substituição parcial dos agregados graúdos e/ou miúdos do concreto por PET. Em alguns casos, outros materiais como vidro moído, agregados reciclados da construção civil e quartzo também podem ser utilizados no concreto, com ou sem a presença do PET nas formulações [5-7].

Em termos da resistência à compressão do concreto, muitos autores [3, 8, 9] destacaram que a utilização de polímeros, seja PET ou qualquer outro polímero, conduz a uma redução na resistência à compressão com percentuais que variam segundo o tipo de polímero, o tratamento superficial, a forma do material utilizado, a densidade e o teor utilizado, além da influência do tipo do agregado – natural ou reciclado. No entanto, tal redução não se mostrou diretamente proporcional ao teor de PET e, em alguns casos, é praticamente imperceptível [10]. Também é possível observar pequenos aumentos na resistência à compressão para alguns tamanhos de partículas e teores no concreto, o que pode ser atribuído a um maior entrelaçamento das partículas nas superfícies fraturadas do material [11]. Partículas cúbicas e menores tendem a melhorar ainda mais a resistência, bem como processos de tratamento do plástico (e. g., com soda cáustica e alvejantes) antes da sua adição ao concreto. Neste último caso, os aumentos de resistência podem ser explicados pelas melhorias na capacidade de transferência de carga entre as partículas e suas áreas de contato [11, 12]. Finalmente, a combinação do PET com agregados reciclados [5] e o derretimento dos plásticos para sua posterior substituição à parte da fração dos agregados [13] são duas possibilidades extras para o aumento da resistência do concreto final.

Conforme mostrado anteriormente, o uso dos plásticos como adição ao concreto precisa de maior quantidade de estudos com relação às condições nas quais este resíduo é aplicado. Ainda, o grande apelo ecológico e a crescente quantidade de plásticos produzidos e reciclados em todo

o mundo – por exemplo, de 253.000 t em 2008 para 314.000 t em 2014 no caso do Brasil [14] – reforçam a necessidade de uma destinação adequada a tais resíduos. Em termos dos valores de “slump” (uma medida da trabalhabilidade do concreto), os pesquisadores sugerem que estes valores geralmente diminuem com o aumento do teor de plástico [6, 9-11], ainda que pequenos incrementos possam ser observados no caso de partículas esféricas de PET [9, 10]. Em função dos valores de “slump”, o uso de aditivos superplastificantes pode ser necessário para fornecer um nível mínimo de trabalhabilidade ao concreto, especialmente no caso daqueles com fatores água-cimento (a/c) baixos [9].

No âmbito de estudos envolvendo o uso de plásticos reciclados, alguns motivos importantes justificam a seleção específica do “PET Oil” nesta pesquisa: (a) em geral, as embalagens de óleos de cozinha não são lavadas pelos consumidores brasileiros antes do envio para reciclagem; e (b) não há detalhes técnicos suficientes na literatura sobre os efeitos do óleo de cozinha na resistência à compressão de “pavers”. Portanto, acredita-se que os resultados coletados em laboratório fornecerão informações relevantes sobre a aplicabilidade e a viabilidade do uso deste tipo incomum de PET nos “pavers”, bem como possíveis recomendações para sua adição no concreto.

O objetivo principal do presente trabalho consiste na avaliação das propriedades físico-mecânicas de blocos de concreto para pavimentação preparados com teores diferentes de resíduos de embalagens PET de óleo de cozinha (“PET Oil”). Por sua vez, os objetivos secundários do estudo são os seguintes:

- Avaliar as propriedades físico-mecânicas através da resistência à compressão aos 21 e 28 dias (fck,21 e fck,28) e da absorção, ambas em função do teor de “PET Oil”;
- Investigar a possibilidade do uso do “pavers” com “PET Oil” para pavimentação com níveis de tráfego leve, dependendo dos valores de fck,21 e fck,28; e
- Identificar os benefícios e as limitações do uso do “PET Oil” em blocos de concreto para pavimentação.

2. Materiais e Métodos

2.1 Materiais

Os agregados convencionais selecionados para o estudo, tanto graúdos e miúdos, foram obtidos em uma loja de materiais de construção na cidade de Itararé, SP, Brasil. Na Tabela 1 são apresentados os dados da granulometria de cada material, considerando as peneiras da série normal – prescritas na NBR NM 248 [16] – e os seus respectivos percentuais de “Brita 0” (agregado graúdo) e “Areia fina” (agregado miúdo). As classificações dos materiais e suas faixas granulométricas foram escolhidas com base em recomendações de outros pesquisadores na literatura científica [9].

Tabela 1: Composições granulométricas dos agregados.

Tipo de agregado	Número da peneira (#)	Diâmetro da partícula (mm)	Porcentagem passante (%)
Graúdo (“Brita 0”)	3/4”	19,00	100,00
	3/8”	9,50	79,04
	No. 4	4,76	0,62
	fundo	-	0,00
Miúdo (“Areia”)	No. 16	1,20	96,05
	No. 30	0,60	11,36
	No. 50	0,30	4,83
	No. 100	0,15	1,32
	fundo	-	0,00

Com relação ao “PET Oil”, as embalagens originais foram mecanicamente trituradas e os flocos resultantes do processo (Figura 1) foram utilizados na preparação do concreto. Estas embalagens não foram submetidas a uma lavagem prévia antes da trituração e mistura com o concreto, sendo que as partículas variaram entre 0,3 e 0,9 cm de diâmetro. Não foram observados formatos padronizados para estas partículas (por exemplo, cúbico ou cilíndrico) devido às limitações tecnológicas do processo de trituração.



Figura 1: Flocos de “PET Oil” utilizados na preparação dos “pavers”

As dimensões dos “pavers” estão de acordo com os valores estabelecidos na norma NBR 9781 [17] e definidos como “Tipo I”, vide Figura 2. Esta mesma norma designa os “pavers” empregados nos ensaios como “16 faces” devido ao número de faces planas em seus lados, a saber, três ao longo de cada um dos lados com 11 cm e cinco ao longo de cada um dos lados com 22 cm. O volume de cada “paver” é igual a 0,00138 m³ e a área da superfície de contato com as rodas dos veículos é 0,0230 m², conforme dados obtidos no programa computacional AutoCAD. Uma mesa vibratória fornecida pela empresa Lajes Itararé (Itararé, SP, Brasil) foi selecionada para homogeneizar o concreto nas formas de “paver” antes do início do processo de cura.

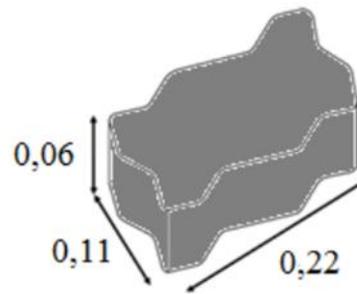


Figura 2: Dimensões dos “pavers” considerados na pesquisa (valores em metros)

2.2 Preparação dos corpos de prova

Inicialmente, foi estabelecido um traço de referência utilizado na preparação dos “pavers” sem “PET Oil” (T0) segundo estudos anteriores de Pires [9]. Na sequência, foram definidos três teores de adição dos flocos de “PET Oil” conforme Tabela 2: 15, 25 e 35% em volume e respectivamente designados como T1, T2 e T3, estando estes teores em consonância com outras pesquisas [3, 6, 8, 9, 18]. Por sua vez, os mesmos percentuais de “PET Oil” (em volume) foram subtraídos dos quantitativos de “Brita 0” e “Areia fina”. Tal procedimento encontra respaldo na literatura [9, 18] e teve o propósito de evitar a falta de argamassa caso apenas a quantidade de areia fosse reduzida, ao mesmo tempo em que se evitou o excesso de argamassa caso apenas a quantidade de agregados graúdos fosse reduzida para incorporação do “PET Oil”.

Na Tabela 3 são apresentadas as dosagens dos “pavers” com e sem “PET Oil”, mantendo-se constantes os volumes totais mesmo com a alteração dos volumes de vazios. Os “pavers” com “PET Oil” apresentaram reduções em suas massas totais devido à massa específica menor do PET em comparação aos agregados convencionais.

Tabela 2: Quantitativos de ensaios por teor de “PET Oil”

Identificador de dosagem	Teor de “pet oil” (% em volume)	Número de réplicas para ensaios de resistência à compressão		Número de réplicas para ensaios de absorção de água
		21 dias de cura	28 dias de cura	
T0	0,0	6	6	3
T1	15,0	6	6	3
T2	25,0	6	6	3
T3	35,0	6	6	3
Totais de réplicas		24	24	12

O cimento utilizado foi o CP V-ARI (alta resistência inicial), de modo similar ao que foi adotado em outras pesquisas [9, 18]. Este tipo de cimento tem um percentual

de clínquer e sulfato de cálcio entre 95 e 100%, bem como percentuais de 0 a 5% para os materiais carbonáticos e não possuindo outras adições.

Tabela 3: Dosagens dos traços dos concretos com e sem “PET Oil”

Descrição da variável	Tipo e unidade de medida	Quantitativos por dosagem do concreto			
		T0	T1	T2	T3
Agregado graúdo (“brita 0”)	Massa (kg)	1.050,09	892,58	787,57	682,56
	Volume (l)	707,00	600,95	530,25	459,55
Agregado miúdo (“areia”)	Massa (kg)	860,81	731,69	645,61	559,52
	Volume (l)	514,00	436,90	385,50	334,10
Teor de plástico	% em volume	0,0	15,0	25,0	35,0
Água	Massa (kg)	187,00	179,50	174,50	169,50
	Volume (l)	187,00	179,50	174,50	169,50
Cimento portland	Weight (kg)	357,00	357,00	357,00	357,00
	Volume (l)	119,00	119,00	119,00	119,00
Volume de vazios	Volume (l)	0,00	7,50	12,50	17,50
Fator água/cimento (a/c)		0,5238	0,5014	0,4888	0,4748
Massas totais (kg)		2.454,90	2.207,00	2.042,26	1.877,00
Volumes totais (l)		1.527,00	1.527,00	1.527,00	1.527,00

O ensaio de resistência à compressão foi realizado em uma prensa EmiC e modelo DL30000N, situada nos laboratórios da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP – campus de Itapeva, SP, Brasil). Esta prensa é capaz de aplicar cargas de até 300 kN, e foi calibrada de acordo com os protocolos da norma NM-ISO 7500-1 [19]. A taxa de incremento da carga foi de 550 ± 200 kPa/s até a ruptura completa do corpo de prova, conforme NBR 9781 [17]. Na Tabela 2 são apresentados os números de corpos de prova utilizados para os ensaios de resistência à compressão – idades de 21 e 28 dias – e de absorção. Antes da aplicação das cargas na prensa, as superfícies dos “pavers” foram regularizadas com uma capa de argamassa para garantir uma uniformidade na distribuição da carga nos corpos de prova.

Embora a NBR 9781 [17] não forneça informações detalhadas sobre os intervalos de passadas de eixos-padrão simples (ESAL’s – número N) em cada nível de tráfego, é possível obter tais valores em diretrizes para dimensionamento de pavimentos com “pavers” em algumas cidades e países, caso da Prefeitura de São Paulo [20]. Segundo tais diretrizes, um pavimento sujeito a tráfego leve pode registrar um número N de até 5×10^5

e a resistência à compressão dos “pavers” não pode ser inferior a 35 MPa. Se este pavimento está sujeito a um tráfego médio (valores de N entre 5×10^5 e 107), as resistências à compressão devem oscilar entre 35 e 50 MPa. Finalmente, tráfegos pesados (número N superior a 107) requerem “pavers” com resistências mínimas à compressão de 50 Mpa.

2.3 Análises estatísticas

Análises estatísticas foram conduzidas no estudo para determinar as resistências características dos “pavers” à compressão após 21 e 28 dias de cura ($f_{ck,21}$ e $f_{ck,28}$, respectivamente, ambos em MPa). Após a determinação da resistência à compressão ($f_{ck,in}$, em MPa), este valor de é multiplicado por um fator p, que é uma função da altura do corpo de prova (h), conforme recomendação da NBR 9781 [17]. Como o valor de h é igual a 0,06 m segundo a Figura 2, o fator p especificado no anexo A da referida norma é igual a 0,95. Na sequência, o valor médio de resistência à compressão de todos os corpos de prova ($f_{ck,m}$, em MPa) é calculado e o coeficiente t da distribuição de Student é definido em função do tamanho da amostra. Para uma amostra composta por seis réplicas (Seção 2.2 da mesma norma),

$t = 0,920$. Desta maneira, os valores de $f_{ck,21}$ e $f_{ck,28}$ são calculados conforme Equação (1), em que s é o desvio padrão dos resultados individuais e $f_{ck,ch}$ é a resistência característica à compressão (em MPa), podendo ser igual a $f_{ck,21}$ ou $f_{ck,28}$ dependendo do número de dias de cura.

$$f_{(ck,ch)} = f_{(ck,m)} - t \times s \quad (1)$$

3. Resultados e discussão

Na Tabela 4 são apresentados os resultados de $f_{ck,21}$ e $f_{ck,28}$ para os “pavers” em função dos teores de “PET Oil”, considerando a média dos 6 corpos de prova

Tabela 4: Resistências à compressão após 21 dias de cura ($f_{ck,21}$) e 28 dias de cura ($f_{ck,28}$) e respectivas variações em comparação ao traço sem “PET Oil” (T0).

Identificador de dosagem	Teor de “PET Oil” (% em volume)	Resistências à compressão (valores em mpa)		Taxas de redução (%)	
		$F_{ck, 21}$	$F_{ck, 28}$	$F_{ck, 21}$	$F_{ck, 28}$
T0	0,0	25,34	25,73	-	N. A.
T1	15,0	15,56	18,57	38,6	27,8
T2	25,0	7,74	13,41	69,5	47,9
T3	35,0	3,74	4,70	85,2	81,7

Diferentemente do que foi mostrado em alguns trabalhos [5, 9, 11, 23], não é possível visualizar a existência de um teor ótimo de plásticos nos ensaios. Isto pode ser atribuído à ausência de combinação do “PET Oil” com outros materiais [5], outra possibilidade reside no fato de que os teores selecionados na pesquisa estão acima dos valores típicos nos quais os aumentos de resistência à compressão podem ser observados no concreto com plásticos [11]. Apesar da não substituição de parte do teor de cimento Portland nas dosagens, conforme exemplo de Jassim [23], a queda da resistência dos “pavers” é particularmente visível. Ao plotar os teores de “PET Oil” no eixo das abscissas e os dados de $f_{ck,21}$ e $f_{ck,28}$ no eixo das ordenadas, pode-se visualizar que a correlação é aproximadamente linear (Figura 3). Tal padrão de comportamento parece ser muito comum na literatura [3, 6, 18, 21, 24].

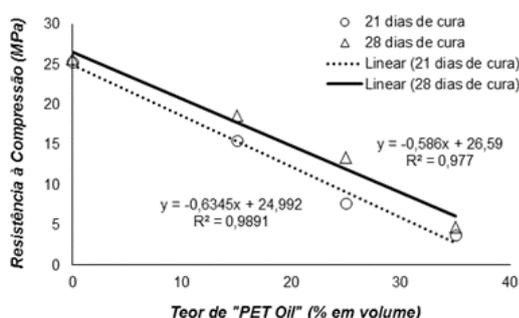


Figura 3: Correlações entre os teores de “PET Oil” e as resistências dos “pavers” à compressão após 21 e 28 dias de cura

em cada caso. À medida que o teor de plástico aumenta, as resistências à compressão diminuem de forma constante, sendo inclusive inferiores a 4,0 MPa para um teor de 35% de “PET Oil” (dosagem T3). Tendências similares de comportamento foram reportadas em outros trabalhos [3, 8, 9, 18, 21], e alguns autores sugerem que fatores como o módulo de elasticidade do plástico, o formato dos flocos, a aderência relativamente fraca entre o plástico e a pasta de cimento e o alto volume de vazios no concreto também podem contribuir para estes resultados [22].

As taxas de redução nas resistências à compressão dos “pavers” com o aumento do teor de “PET Oil” são maiores após 21 dias de cura (de 38 a 85%) do que após 28 dias de cura (de 27 a 82%). Uma possível explicação para este fato reside na menor condutividade térmica das partículas de plásticos, o que conseqüentemente reduz a perda de calor e aumenta a temperatura durante a hidratação da pasta de cimento. Desta maneira, a resistência do concreto aumenta [25]. Ainda neste aspecto, a presença de partículas de “PET Oil” pode ter criado uma superfície lisa ao redor das mesmas, acarretando dificuldades para a aderência entre tais partículas e a pasta de cimento – apesar do formato irregular e áspero dos flocos de plásticos – e reduzindo ainda mais a resistência à compressão. Tal fenômeno lembra o observado em partículas de formato esférico, i. e., a aderência entre estas partículas e a pasta de cimento é mais difícil que no caso de partículas ásperas [24].

Um resumo da aplicabilidade dos “pavers” em pavimentos reais pode ser visualizado na Tabela 5. Nem mesmo os “pavers” sem “PET Oil” (T0) podem ser utilizados em superfícies de pavimentos porque seu valor de $f_{ck,28}$ é inferior a 35 MPa. No que se refere aos resultados após 21 dias de cura ($f_{ck,21}$), cabe ressaltar que apenas os “pavers” sem plásticos (T0) e aqueles com 15% de “PET Oil” (T1) atenderam aos requisitos da NBR 9781 [17] para um percentual mínimo de 80% do valor da resistência à compressão após 28 dias de cura. Algumas explicações possíveis para tais resultados são fornecidas a seguir:

os fatores a/c (praticamente entre 0,50 e 0,55), que são relativamente elevados se comparados a outras publicações da literatura cujas resistências são maiores [5, 8, 21, 23] e para as quais a/c oscila entre 0,30 e 0,48;

a manutenção do teor de cimento nas formulações com “PET Oil”, nas quais teores maiores de cimento podem ser necessários devido ao enfraquecimento de algumas áreas na matriz do concreto e à compensação pela redução nas quantidades de agregados [9, 24]; e

o tipo de PET incorporado ao concreto, uma vez que se sabe que plásticos com baixos módulos de elasticidade tendem a reduzir ainda mais a resistência do concreto à compressão [22]. O módulo de elasticidade do PET fica em torno de 3,0 MPa ante 21 GPa do concreto.

Tabela 5: Resumo das viabilidades técnicas das aplicações dos “pavers” em pavimentos reais segundo os dados de resistência à compressão após 21 dias de cura ($f_{ck,21}$) e 28 dias de cura ($f_{ck,28}$).

Identificador de dosagem	Teor de “PET Oil” (% em volume)	Análises dos resultados aos 28 dias de cura	Relações ($f_{ck, 21} / f_{ck, 28}$) e respectivos comentários
T0	0,0	Os resultados não atendem aos requisitos para utilização dos “pavers” em pavimentos, nem mesmo em vias sujeitas a tráfego leve (valor mínimo de 35 mpa)	98,48%, atende aos requisitos de norma
T1	15,0		83,79%, atende aos requisitos de norma
T2	25,0		57,72%, não atende aos requisitos de norma
T3	35,0		79,57%, não atende aos requisitos de norma

Taxas de Absorção de Água e Valores de “Slump”

No que concerne às taxas de absorção de água (Ab), os resultados mostrados na Tabela 6 indicam que somente os “pavers” com 35% de “PET Oil” na dosagem (T3) não atendem aos requisitos de valores máximos permitidos [17], sob qualquer aspecto (taxas individuais ou médias). Os resultados estão em consonância com estudos anteriores [22, 25, 26], os quais indicaram aumentos nos valores de Ab com o aumento da

quantidade de PET no concreto e aumentos ainda maiores quando partículas graúdas são selecionadas. Em um contexto geral, os dados dos ensaios de absorção de água estão indiretamente associados à porosidade do concreto, e aumentos nos valores de Ab podem ser atribuídos a uma mistura insuficiente do “PET Oil” com os agregados convencionais – formando assim uma argamassa mais porosa [22].

Tabela 6: Síntese dos resultados dos ensaios de absorção de água.

Identificador de dosagem	Teor de “PET Oil” (% em volume)	Número da réplica	Valores individuais (%)	Valores médios (%)	Desvio padrão (%)
T0	0,0	1	3,95	3,85	16,78
		2	3,98		
		3	3,61		
T1	15,0	1	3,77	3,77	44,09
		2	4,31		
		3	3,23		
T2	25,0	1	5,88	5,84	24,23
		2	6,12		
		3	5,53		
T3	35,0	1	7,53	8,12	43,60
		2	8,57		
		3	8,26		

Em termos dos resultados dos ensaios de “slump” (Tabela 7), deve-se ressaltar que os valores aumentaram com o incremento do teor de “PET Oil”, mas apenas para teores superiores a 15%. Neste aspecto, a literatura indica que os efeitos do PET no “slump” do concreto dependem das suas características – partículas com formato uniforme ou não e suas respectivas capacidades de absorção de água – e respectivos teores. Quando os flocos de PET têm um formato relativamente uniforme, o “slump” geralmente aumenta com o aumento do teor de plástico [8, 21, 22]; por outro lado, quando os flocos

são mais irregulares, o “slump” tende a ser menor [22]. Há também um consenso entre determinados grupos de pesquisadores [24, 27], segundo os quais os agregados plásticos não absorvem água e, desta maneira, há mais água livre nos concretos com tais agregados – aumentando os valores de “slump”. Em termos desta pesquisa, é possível concluir que o “slump” aumentou devido à presença de materiais mutuamente repelentes na matriz do concreto – óleo, plástico e água – ainda que as quantidades de água tenham sido menores para as

dosagens com teores mais elevados de “PET Oil” (vide Tabela 3).

Tabela 7: Valores de “slump” para os concretos dosados com e sem “PET Oil”.

Identificador de dosagem	Teor de “PET Oil” (% em volume)	Valor de “slump” (cm)
T0	0,0	4,0
T1	15,0	4,0
T2	25,0	9,0
T3	35,0	12,0

4. Conclusões

A partir dos resultados dos ensaios conduzidos neste trabalho, as conclusões abaixo merecem ser destacadas:

- As resistências à compressão dos “pavers” decresceram com o aumento do teor de resíduo de “PET Oil” para os períodos de cura estudados, seguindo uma tendência aproximadamente linear;

- À exceção dos “pavers” com 35% de “PET Oil” (dosagem T3), todos os demais atenderam aos requisitos da norma brasileira NBR 9781 para as taxas de absorção de água e o aumento nestas taxas com a adição do “PET Oil” sinaliza uma maior porosidade no concreto;

- Nenhuma das formulações avaliadas na pesquisa atendeu aos valores mínimos de resistência à compressão para utilização em pavimentação; e

- Elevados teores de “PET Oil” dificultam a mistura dos componentes do concreto, prejudicando a aderência e diminuindo a resistência dos “pavers”.

Agradecimentos

Os autores agradecem aos Professores Julio Cesar Molina e Elen Aparecida Martines Morales e ao técnico de laboratório Juliano Rodrigo de Brito, todos pertencentes ao campus Itapeva da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP), pelo seu apoio na preparação e condução dos ensaios de resistência dos “pavers” à compressão. Suas assistências técnicas e colaborações na redação do texto também são agradecidas e reconhecidas pelos autores.

Referências

[1] Santos, M. C., Nóbrega, J. A., Baccan, N., Cadore, S., Determination of toxic elements in plastics from waste electrical and electronic equipment by slurry sampling electrothermal atomic absorption spectrometry. *Talanta*, 81 (4-5), 1781-1787, 2010.

[2] Paszun, D., Spychaj, T., Chemical recycling of poly(ethylene terephthalate). *Industrial and Engineering Chemical Research*, 36 (4), 1373-1382, 1997.

[3] Tapkire, G., Parihar, S., Patil, P., Kumavat, H. R., Recycled plastic used in concrete paving block. *International Journal of Research in Engineering and Technology*, 3 (Special Issue 9), 33-35, 2014.

[4] Mondal, M. K., Pose, B. P., Bansal, P., Recycling waste thermoplastic for making lightweight bricks. In: 5th International Conference on Sustainable Solid Waste Management: Proceedings...; 2017 June21-24; Athens, Greece. p. 1-14.

[5] Vani, G., Reethesh, C. M., Swaroop, A. J., Geetanjali, J., Mohiddin, E. A. A. N., An experimental study on strength of concrete by incorporating plastic waste & demolished concrete waste as aggregate. *International Journal of Advanced Technology and Innovative Research*, 8 (9), 1801-1808, 2016.

[6] Batayneh, M., Marie, I., Asi, I., Use of selected waste materials in concrete mixes. *Waste Management*, 27 (12), 1870-1876, 2007.

[7] Júnior, C. M. D., Barros, S. V. A., Neves, G. A., Utilização de resíduos de quartzito para aplicação em pavimentos intertravados. *Revista Eletrônica de Materiais e Processos*, 13 (3), 196-200, 2018.

[8] Islam, M. J., Meherier, M. S., Islam, A. K. M., Effects of waste PET as coarse aggregate on the fresh and harden properties of concrete. *Construction and Building Materials*, 125, 946-951, 2016.

[9] Pires, G. W. M. O. Avaliação de blocos intertravados manufaturados com concreto dosado com resíduos de PET como alternativa sustentável da construção civil [dissertação de mestrado]. São Paulo: Universidade Nove de Julho, 2015.

[10] Pacheco-Torgal, F., Ding, Y., Jalali, S., Properties and durability of concrete containing polymeric wastes (tyre rubber and polyethylene terephthalate bottles): an overview. *Construction and Building Materials*, 30, 714-724, 2012.

[11] Rahmani, E., Dehestani, M., Beygi, M. H. A., Allahyari, H., Nikbin, I. M., On the mechanical properties of concrete containing waste PET particles. *Construction and Building Materials*, 47, 1302-1308, 2013.

[12] Naik, T. R., Singh, S. S., Huber, C. O., Brodersen, B. S., Use of post-consumer waste plastics in cement-based composites. *Cement and Concrete Research*, 26 (10), 1489-1492, 1996.

- [13] Reddy, M. S., Reddy, Y. R., Takhelmayum, G., Experimental investigation on the properties of cement concrete pavement using waste plastic. *International Journal of Advances in Scientific Research and Engineering*, 3 (1), 419-431, 2017.
- [14] Associação Brasileira da Indústria do PET. Censo da reciclagem do PET no Brasil. 10ª ed. São Paulo: ABIPET; 2016.
- [15] Ministério do Meio Ambiente. Perfil de brita para a construção civil. Relatório Técnico 30. Brasília: Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral; 2009.
- [16] ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR NM 248: Agregados – determinação da composição granulométrica. ABNT, 2003.
- [17] ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 9781 – Peças de concreto para pavimentação: especificação e métodos de ensaio. ABNT, 2013.
- [18] Modro, N. L. R., Modro, N. R., Modro, N. R., Oliveira, A. P. N., Avaliação de concreto de cimento Portland contendo resíduos de PET. *Revista Matéria*, 14 (1), 725-736, 2009.
- [19] ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NM-ISO 7500-1 – Materiais metálicos – Calibração de máquinas de ensaio estático uniaxial – Parte 1: Máquinas de ensaio de tração/compressão – Calibração do sistema de medição de força. ABNT, 2004.
- [20] Prefeitura do Município de São Paulo. IP 06 – Instrução para dimensionamento de pavimentos com blocos intertravados de concreto. Prefeitura de São Paulo, 2004.
- [21] Choi, Y.-W., Moon, D.-J., Chung, J.-S., Cho, S.-K., Effects of waste PET bottles aggregate on the properties of concrete. *Cement and Concrete Research*, 35 (4), 776-781, 2005.
- [22] Gu, L., Ozbakkaloglu, T., Use of recycled plastics in concrete: a critical review. *Waste Management*, 51, 19-42, 2016.
- [23] Jassim, A. K., Recycling of polyethylene waste to produce plastic cement. *Procedia Manufacturing*, 8, 635-642, 2017.
- [24] Saikia, N., de Brito, J., Mechanical properties and abrasion behaviour of concrete containing shredded PET bottle waste as a partial substitution of natural aggregate. *Construction and Building Materials*, 52, 236-244, 2014.
- [25] Saikia, N., de Brito, J., Waste polyethylene terephthalate as an aggregate in concrete. *Materials Research*, 16 (2), 341-350, 2013.
- [26] Cândido, L. F., Barreto, J. M. L., Cabral, A. E. B., Avaliação de blocos de concreto produzidos com PET reciclado. In: Fabrício, M. M. organizador. XV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído: Anais...; 2014 Nov12-14; Maceió. Maceió: Marketing Aumentado; 2014. p. 2423-2432.
- [27] Siddique, R., Khatib, J., Kaur, I., Use of recycled plastic in concrete: a review. *Waste Management*, 28 (10), 1835-1842, 2008