

Produção de Argamassas com Substituição Parcial de Areia Natural por Resíduo de PET

Production of Mortars with Partial Replacement of Natural Sand by PET Residue

Producción de Argamasas con Sustitución Parcial de Arena Natural por Residuo de PET

Sherington Augusto Milani Bigotto

Mestrando em Engenharia Civil, UNESP, Brasil.
sherington.bigotto@gmail.com

Camila Cassola Assunção

Mestranda em Engenharia Civil, UNESP, Brasil.
camila.cassola.assuncao@gmail.com

Mariana Trevisan

Graduanda em Engenharia Civil, UNESP, Brasil.
maritrevisaan2@gmail.com

Marco Antonio de Moraes Alcântara

Professor Doutor, Departamento de Engenharia Civil, UNESP, Brasil.
marco.alcantara@unesp.br

RESUMO

Com o contexto atual de elaboração de políticas e incentivos para o uso de meios sustentáveis de produção, o objetivo do trabalho foi a produção de argamassas com resíduos de PET triturados em granulometria suficiente para substituírem o agregado miúdo, a areia. Foram feitos quatro traços com 0, 5, 10 e 15 % de substituição de areia natural por resíduo de PET e a avaliação foi feita a partir das resistências a compressão axial e tração à compressão diametral, além da comparação em relação a sua trabalhabilidade e absorção de água. A utilização de PET indicou uma diminuição nos parâmetros de resistência em função do acréscimo da porcentagem de resíduo de PET e também uma queda de trabalhabilidade da argamassa.

PALAVRAS-CHAVE: Argamassa. Resíduos de PET. Trabalhabilidade.

ABSTRACT

With the current context of policy development and incentives for the use of sustainable means of production, the objective of this paper is the production of mortars with PET waste ground in granulometry sufficient to replace the fine aggregate sand. In this study the use of four traces with 0, 5, 10 and 15% of substitution of natural sand by PET sand is used, and has as evaluation the resistance to axial compression, traction to diametral compression and comparison in relation to its workability and water absorption. The use of PET made it possible to visualize a decrease in the resistance parameters due to the increase of the percentage of PET and also a decrease in mortar workability.

PALAVRAS-CHAVE: Mortar. PET Residues. Workability.

RESUMEN

Con el contexto actual de elaboración de políticas e incentivos para el uso de medios sostenibles de producción, el objetivo del trabajo fue la producción de morteros con residuos de PET molidos en granulometría suficiente para sustituir el agregado fino como arena. En este estudio ocurrió la utilización de cuatro trazos con 0, 5, 10 y 15% de sustitución de arena natural por arena de PET y tiene como evaluación la resistencia a la compresión axial y tracción a la compresión diametral y comparación en relación a su trabajabilidad y absorción de agua. La utilización de PET permitió visualizar una disminución en los parámetros de resistencia en función del aumento del porcentaje de arena de PET y habiendo también una caída de trabajabilidad del mortero.

PALAVRAS-CHAVE: Argamasa. Residuos de PET. Trabajabilidad.

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, a engenharia civil vem inserindo alternativas de novos materiais de construção com objetivo alcançar a sustentabilidade. Seja com a finalidade de substituir matérias primas com origem na extração de recursos naturais por materiais alternativos, como mitigar impactos ambientais como a diminuição de CO₂ (VAZ, 2016).

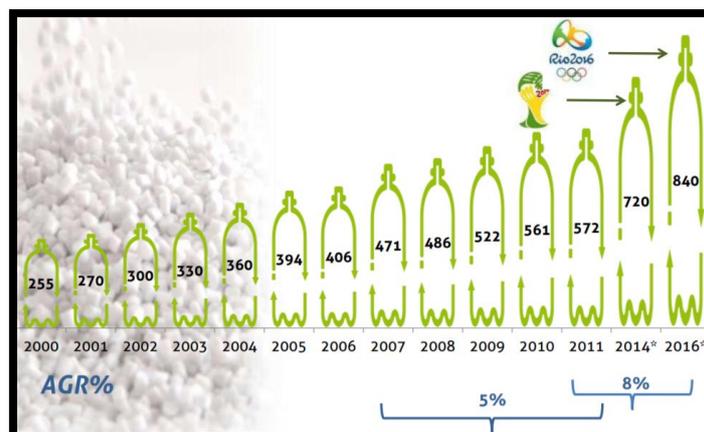
Um dos problemas ambientais abordados no mundo é o descarte de resíduos plásticos em locais indevidos. Esse assunto tornou-se uma questão importante nos últimos anos, pois a produção global de plástico aumenta diariamente. Essa produção resulta em grandes volumes de resíduos que não são biodegradáveis e não reagem com o ambiente natural, contribuindo negativamente com a poluição ambiental (ALANI et al, 2019).

O tereftalato de polietileno é um polímero, conhecido popularmente como PET, que está entre os resíduos plásticos descartados. Considera-se esse tipo de resíduo uma ameaça a natureza, por não serem biodegradáveis, e sua queima não ser uma solução para sua eliminação devido a liberação de gases químicos perigosos no ar durante o processo. Há ainda a alternativa de reciclagem do plástico como outra solução, entretanto esse processo ainda é considerado não econômico havendo a necessidade de outros métodos de reciclagem (MOHAMED, 2017).

O PET é um material comum que tem como características a alta durabilidade, boas propriedades mecânicas e elétricas, baixo custo de produção, não tem efeitos colaterais no organismo humano e apresenta boa aparência estética. Logo, é amplamente utilizado em produção de garrafas de refrigerantes, vários tipos de embalagens, fitas de áudio e vídeo, entre outras áreas (GE et al, 2015).

O consumo anual de PET no Brasil chegou a 840 mil toneladas em 2016, tendo um aumento significativo de 8% desde 2011, que pode ter sido causado pelo alto consumo durante as olimpíadas realizadas no país, conforme mostra o Gráfico 1 (ABIPET, 2016).

Gráfico 1: Consumo de PET no Brasil



Fonte: ABIPET and Petroquímica Suape (2016).

Em relação a reciclagem do PET no Brasil, o último censo resultou em uma queda de quantidade material reciclado de 314 mil toneladas em 2014 para 274 mil toneladas em 2015, sendo esse último uma taxa de 51% de reciclagem, como mostra o Gráfico 2. A baixa atividade econômica, ou seja, a queda na demanda de produtos reflete na reciclagem do PET no país. Além disso, a redução significativa do preço do petróleo é outro fator que reduz a rentabilidade e, portanto, a atratividade da reciclagem (ABIPET, 2016).

Gráfico 2: Evolução da reciclagem de PET no Brasil



Fonte: ABIPET (2016).

A aplicação de resíduos de PET em materiais de construção civil contribui com a diminuição de extração de recursos naturais, visto que a construção civil é responsável por uma grande demanda por matérias primas. Então, utiliza-se fragmentos de PET de embalagens de bebidas como substituição parcial de agregados naturais em argamassas. Reis e Carneiro (2012) realizaram a preparação de argamassas com utilização de PET, o novo agregado contribuiu para a redução do peso específico das argamassas poliméricas e alteraram o comportamento de flexão e compressão. Essas últimas resistências tiveram uma queda em seus valores à medida que se aumentou a quantidade do novo agregado. Além disso, o novo material tornou-se mais dúctil e menos frágil.

Vaz (2016) realizou substituições parciais de areia por areia de PET em argamassas realizando ensaios de índice de consistência, densidade e teor de ar incorporado, absorção por capilaridade, resistência a compressão e tração a flexão. A autora conclui que a densidade diminui com o aumento do teor de substituição, bem como o teor de ar incorporado. Com relação ao ensaio de capilaridade, houve uma redução de absorção ao comparar as amostras com uma referência (0% de substituição). Com substituição de 5 e 10%, houve um acréscimo nos valores de resistência a compressão axial com relação às argamassas referências. Este mesmo comportamento é observado nos resultados para ensaio de resistência de flexão à tração.

2. OBJETIVOS

O presente trabalho objetiva produzir argamassas com substituições parciais de areia por resíduo de PET nas porcentagens de 0, 5, 10 e 15%, realizando ensaios de compressão diametral e axial aos 7 e 28 dias de cura, bem como ensaio de absorção.

3. METODOLOGIA

3.1. MATERIAIS

O cimento utilizado foi o cimento Portland Composto com Adição de Pozolana (CP II-Z-32), comumente utilizado nas obras na cidade de Ilha Solteira. Sua massa específica foi de 2,96 g/cm³ sendo o mesmo comercializado em sacos de 50 kg.

A água potável foi proveniente da rede de distribuição do município de Ilha Solteira-SP, durante o período de julho de 2018 até novembro de 2018.

A areia utilizada foi proveniente do porto de areias do município de Castilho, apresentou massa específica de 2,66 g/cm³ e sua granulometria variou de 0,6 mm a 1,2 mm.

Foi utilizada Microsílica para preenchimento dos vazios da argamassa. Suas partículas não têm tamanho superior a 2 micrometros e massa específica de 2,1 g/cm³.

Foram adicionados resíduos de garrafa PET na argamassa para preenchimento de massa. A garrafa foi moída para ter a granulometria próxima da granulometria da areia.

Todo o equipamento e infraestrutura utilizados foram do Laboratório Central de Engenharia Civil e do Núcleo de Ensino e Pesquisa de Alvenaria Estrutural (NEPAE), ambos da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP), de Ilha Solteira.

A Figura 1 mostra o PET utilizado no presente trabalho.

Figura 1: Areia de PET



Fonte: Autores, 2018.

3.2. METODOS

3.2.1. PREPARAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA DE ARGAMASSA

Para a utilização dos materiais, os mesmos foram secos ao sol (no pátio do laboratório da UNESP) para evaporação da água e aproximação da umidade do material a 0%.

Foram realizados 4 traços, um sem adição de PET e 3 variando a quantidade de PET adicionada para que fosse possível avaliar os resultados de forma comparativa entre os mesmos. Os traços estão na Tabela 1.

Tabela 1: Traços Utilizados

% de Areia de PET	Cimento CP II - Z	Areia	Microssilica	Resíduo de PET	Água
Traço sem Areia de PET	1,88	3,75	0,188	0,0	0,94
5% de Substituição	1,88	3,41	0,188	0,34	0,94
10% de Substituição	1,88	3,07	0,188	0,68	0,94
15% de Substituição	1,88	2,74	0,188	1,01	0,94

Fonte: Autores, 2018.

A ordem dos materiais adicionados na betoneira seguiu um procedimento padrão: adicionou-se água e os aglomerantes na argamassadeira e misturou o material por 30 segundos pela velocidade 1.

Posteriormente foi adicionado a areia e o resíduo de PET e a mistura foi batida por mais 30 segundos na velocidade 1 e 1 minuto na velocidade 3.

Retirou-se o recipiente de mistura da argamassadeira e misturou-se com auxílio de uma colher por aproximadamente 1 minuto, posteriormente voltou-se a misturar na argamassadeira por mais um minuto na velocidade 3.

Foram produzidos corpos de prova cilíndricos, com medidas de 5 cm de diâmetro e 10 cm de altura seguindo a ABNT NBR 5738:2003, referente aos procedimentos de moldagem de corpos de prova. Essas amostras foram produzidas por meio de moldes de PVC que foram previamente untados com óleo para que fosse possível realizar a remoção dos corpos de prova após a pega.

Sua análise estatística foi feita a partir do cálculo do desvio padrão e da média dos valores de resistência obtida nos corpos de prova.

Após colocar o concreto nos moldes, esperou-se 24 horas para a desforma, e depois da mesma, os corpos de prova foram colocados na câmara úmida durante todo o período que antecedeu as rupturas (28 dias).

Durante o período garantiu-se que a temperatura dentro da câmara úmida foi de 23 ± 2 °C e a umidade estava sempre no mínimo de 95 %, garantindo assim, que as superfícies dos corpos de prova estavam úmidas, como especificado na norma ABNT NBR 5738 – Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova, referente a câmaras úmidas e tanques para cura de corpos de prova.

Quanto ao quesito dos tratamentos superficiais dos corpos de prova, foi realizada a raspagem do topo e da base do corpo de prova deixando as suas superfícies alisadas e planas para os ensaios.

3.2.2. REALIZAÇÃO DOS ENSAIOS

Para verificar a trabalhabilidade da argamassa no estado fresco, realizou-se o ensaio de espalhamento, também conhecido como Slump-flow test. O ensaio consiste em preencher um tronco de cone metálico com a argamassa produzida em cima de uma mesa também metálica lisa. Preencheu-se o cone em três camadas consecutivas, sendo que entre cada uma delas foram dados, respectivamente, 15, 10 e 5 golpes com um soquete.

Então, retirou-se o tronco de cone e a mistura da argamassa espalhou-se pela mesa metálica apresentando uma circunferência, após 30 golpes realizados manualmente através de um mecanismo embutido na mesa apropriada para o ensaio. Foram tiradas três medidas do diâmetro da circunferência e fez-se a média entre eles. Todo o ensaio foi realizado a partir das orientações da NBR 15823 – 2 (ABNT,2017).

No estado endurecido, os corpos de prova de argamassa preparados podem ser analisados quanto ao ensaio de compressão axial (NBR 5739 - 2018) e de compressão diametral (NBR 7222 - 2011). Para ambos ensaios foi utilizada uma prensa universal com os corpos de prova nas idades de 7 e 28 dias.

Para o ensaio de absorção de água, utilizou-se a norma NBR 9778 -2 (ABNT, 2009).

4. RESULTADOS

A Tabela 2 mostra os resultados obtidos durante o Slump-Flow test e com estes resultados foi possível avaliar a perda de trabalhabilidade da argamassa.

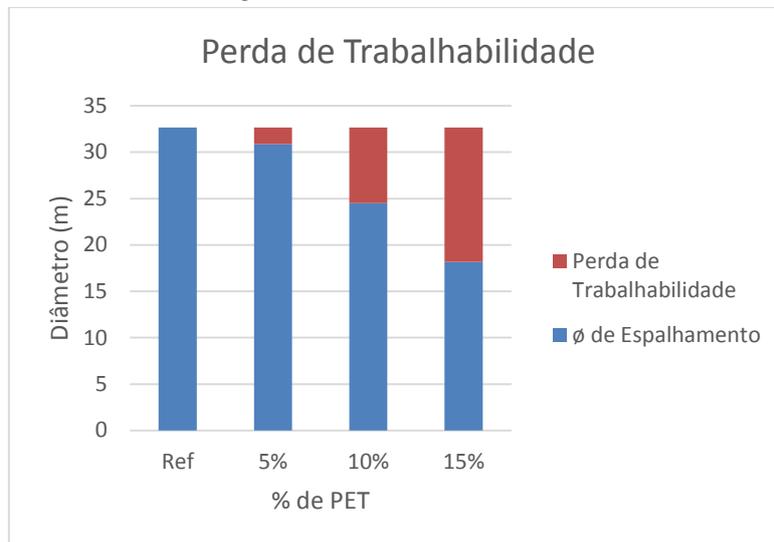
Tabela 2: Trabalhabilidade

Trabalhabilidade da Argamassa				
%	Ref	5	10	15
	34,00	31,05	24,00	18,00
D (cm)	32,00	31,05	25,00	18,50
	32,00	30,50	24,50	18,00
Média	32,67	30,87	24,50	18,17

Fonte: Autores, 2018.

Com esses resultados verificou-se perda considerável no escoamento, ou seja, trabalhabilidade, dos corpos de prova de argamassa, apresentada na Figura 2.

Figura 2: Perda de Trabalhabilidade



Fonte: Autores, 2018.

Essas diferenças foram notadas não apenas após o ensaio como também à medida que os materiais foram adicionados à argamassadeira. As Figuras 3, 4, 5 e 6 mostram os cones do ensaio de Slump Flow e o resultado obtido após o ensaio.

Figura 3: Slump Flow Test traço de Referência



Fonte: Autores, 2018.

Figura 4: Slump Flow Test traço de 5%



Fonte: Autores, 2018.

Figura 5: Slump Flow Test traço de 10%



Fonte: Autores, 2018.

Figura 6: Slump Flow Test traço de 15%



Fonte: Autores, 2018.

A Tabela 3 mostra quais foram os resultados obtidos dos ensaios de resistência realizados, esses ensaios são: resistência a compressão axial, resistência a tração por compressão diametral. Em todos os ensaios foram ensaiados 3 corpos de prova para cada traço, sendo possível fazer uma média entre eles.

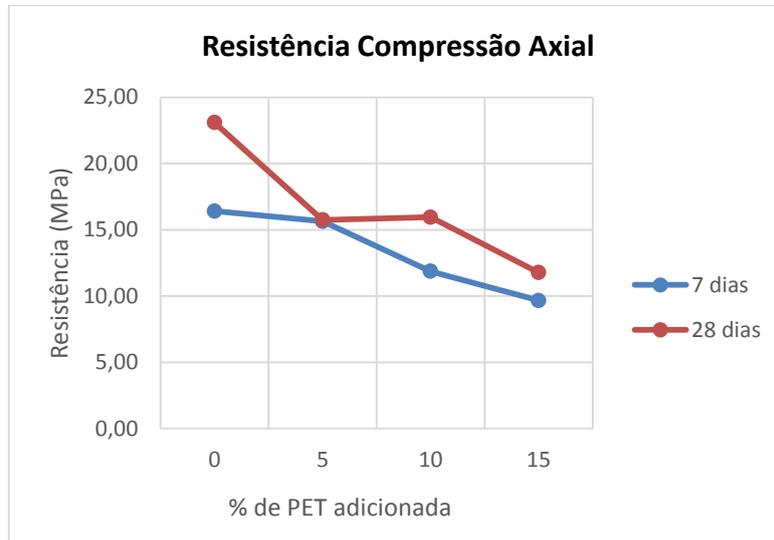
Tabela 3: Média das Resistências Obtidas

Ensaio de Compressão Axial/Diametral	Referência	5,0%	10,0%	15,0%
Axial 7 dias (MPa)	16,41	15,63	11,86	9,67
Axial 28 dias (MPa)	23,09	15,75	15,95	11,77
Diametral 7 dias (MPa)	7,39	7,31	6,83	5,93
Diametral 28 dias (MPa)	9,70	9,36	8,03	7,92

Fonte: Autores, 2018.

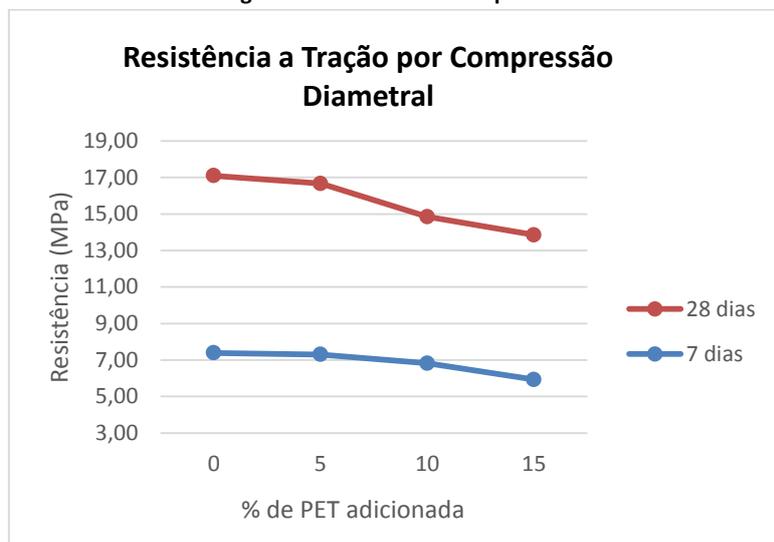
Foi elaborado um gráfico relacionando as resistências obtidas (Figura 7 e 8).

Figura 7: Resistência a Compressão Axial



Fonte: Autores, 2018.

Figura 8: Resistência a Compressão Axial



Fonte: Autores, 2018.

Para a análise da absorção de água, pesou-se os corpos de prova após 24 horas em estufa e após ficarem submersos por 24 horas e, assim, obteve-se os resultados apresentados na Tabela 4.

Tabela 4: Massas obtidas para o Cálculo da Absorção

Traços	Massa Seco (g)				Traços	Massa Saturado (g)			
	Ref	5%	10%	15%		Ref	5%	10%	15%
CP 1	326,30	308,41	309,34	299,57	CP 1	347,93	345,24	348,08	337,87
CP 2	337,62	291,27	286,51	291,17	CP 2	355,04	324,23	322,85	328,53
CP 3	334,21	303,18	287,25	268,75	CP 3	343,24	336,83	323,13	303,14

Fonte: Autores, 2018.

Assim, pode-se calcular a absorção, apresentada na tabela 5, e verificar quais as consequências da adição de PET ao composto.

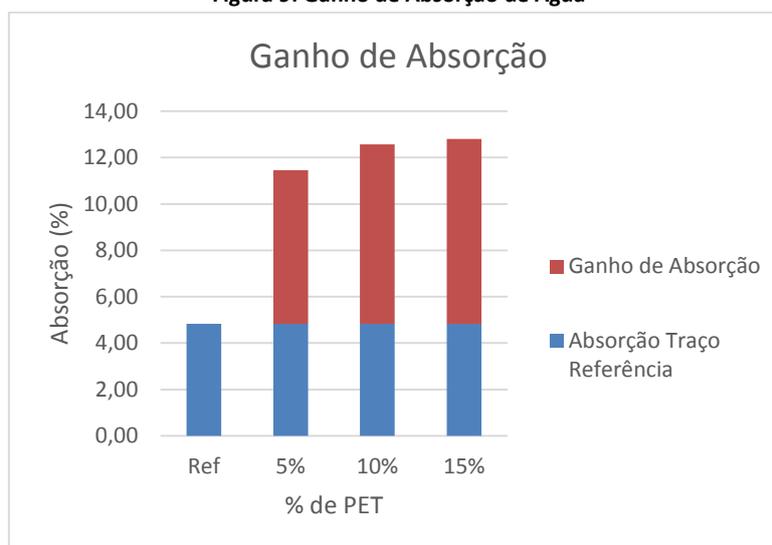
Tabela 5: Absorção de água

Traços	Absorção			
	Ref	5%	10%	15%
CP 1	6,63	11,94	12,52	12,78
CP 2	5,16	11,32	12,68	12,83
CP 3	2,70	11,10	12,49	12,80
Média	4,83	11,45	12,57	12,80

Fonte: Autores, 2018.

Com esses resultados verificou-se ganho considerável na capacidade de absorção dos corpos de prova de argamassa, apresentado na Figura 9.

Figura 9: Ganho de Absorção de Água



Fonte: Autores, 2018.

Por fim, obteve-se as massas específicas de cada traço com a massa média entre os três corpos de prova produzidos, os resultados foram apresentados na Tabela 6.

Tabela 6: Massa específica das argamassas

Massa Específica - CP de Volume 196,35 cm ³				
Traços	Ref	5%	10%	15%
Massa (g)	332,71	300,95	294,37	286,50
μ (g/cm ³)	1,694	1,533	1,499	1,459

Fonte: Autores, 2018.

5. CONCLUSÃO

Ao comparar os resultados obtidos nota-se que conforme foi realizado o aumento da quantidade de resíduos de PET em relação a massa de cimento na argamassa ocorreu também a diminuição na resistência a compressão axial obtida.

Entretanto, para o ensaio de resistência a compressão diametral foi possível verificar que a diferença nas resistências obtidas entre os traços com e sem adição de PET foi menor, o que indica que a adição do material nesses casos é mais viável.

O ensaio de absorção mostrou que quanto maior a adição de PET, resultou em uma maior absorção de água do corpo de prova após a imersão do mesmo, isso devido ao aumento do índice de vazios.

Quando se comparam o traço de referência e o traço de 15% de adição, a diferença obtida foi de 44,39% de espalhamento, ou seja, uma perda de fluidez significativa que justificaria a adição de algum tipo de superplastificante a mistura para que fosse possível manter a trabalhabilidade mesmo aumentando a quantidade de resíduos na argamassa.

Por fim, notou-se uma diminuição na massa específica da argamassa endurecida, que variou de 1,69 g/cm³ no traço de referência para 1,46 g/cm³ no traço de 15% de resíduos de PET. Essa variação é benéfica uma vez que significa uma diminuição no peso próprio de qualquer estrutura produzida com essa argamassa.

6. AGRADECIMENTO

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001 e do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq). Agradecemos também ao departamento de Engenharia Civil da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” de Ilha Solteira por disponibilizar os materiais e os métodos necessários para a produção dessa pesquisa.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALANI, A. H.; BUNNORI, M.; NOAMAN, A. T.; MAJID, T. A. **Durability performance of a novel ultra-high-performance PET green concrete (UHPPGC)**. Construction and Building Materials, v. 209, p. 395-405, June/2019.

MOHAMMED, A. A. **Flexural behavior and analysis of reinforced concrete beams made of recycled PET waste concrete**. Construction and Building Materials, v. 155, p. 593-604, November/2017.

VAZ, C. E. **Avaliação de desempenho de argamassa modificada: com areia de pet**. 2016. 32 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Pampa, Alegrete, 2016.

GE, Z.; YUE, H.; SUN, R. **Properties of mortar produced with recycled clay brick aggregate and PET**. Construction and Building Materials, v. 93, p. 851-856, September/2015.

REIS, J.M.L.; CARNEIRO, E.P. **Evaluation of PET waste aggregates in polymer mortars**. Construction and Building Materials, v. 27, p. 107-111, February/2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT. NBR 5738**. Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2015. 9 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT. NBR 15823 - 2**. Concreto autoadensável - Parte 2: Determinação do espalhamento, do tempo de escoamento e do índice de estabilidade visual - Método do cone de Abrams. Rio de Janeiro, 2017. 5 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT. NBR 7222**. Concreto e argamassa — Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2011. 5 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT. NBR 5739**. Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2018. 9 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5738** – Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2016. 13p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT. NBR 9778-2**. Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 2009. 4 p.

ABIPET. Censo de Consumo e Reciclagem de PET: **Associação Brasileira da Indústria do PET**. 2016. Disponível em: <<http://www.abipet.org.br/index.html>>. Acesso em: 15 abr. 2019.