

**CENTRO UNIVERSITÁRIO DE GOIÁS Uni-ANHANGUERA
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**ANÁLISE DAS CARACTERÍSTICAS MECÂNICAS DO CONCRETO
COM FIBRA DE POLITEREFTALATO DE ETILENO (PET)**

ERNANE LUIZ FRANCO FERREIRA
JONATHAN VASCONCELOS DE LIMA

GOIÂNIA
Novembro/2018

**ERNANE LUIZ FRANCO FERREIRA
JONATHAN VASCONCELOS DE LIMA**

**ANÁLISE DAS CARACTERÍSTICAS MECÂNICAS DO CONCRETO
COM FIBRA DE POLITEREFTALATO DE ETILENO (PET)**

Trabalho Final de Curso apresentado ao Centro
Universitário de Goiás – Uni- ANHANGUERA,
sob orientação do Professor Mestre Luiz
Frederico de Souza Fleury, como requisito
parcial para obtenção do título de bacharelado
em Engenharia Civil.

GOIÂNIA
Novembro/2018

RESUMO

As indústrias de refrigerantes e sucos classificam a garrafa PET como a melhor embalagem para o produto, movimentando um mercado de 9 bilhões de garrafas anualmente só no Brasil, das quais apenas 47% são reaproveitadas, sendo que cerca de 4,7 bilhões são descartadas diretamente na natureza. O volume gerado pelas embalagens de PET tem trazido vários problemas aos aterros sanitários e ao meio ambiente quando descartadas de forma incorreta. O objetivo deste trabalho é verificar a viabilidade de produção de um concreto estrutural sustentável, com incorporação de fibras obtidas das garrafas PET, a partir de uma análise experimental da resistência à compressão e resistência à tração por compressão diametral de concretos com diferentes tipologias dessas fibras, comparando com um traço convencional sem fibras, dosados pelo Método da ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland), e ensaiados nos laboratórios do Centro Universitário de Goiás - Uni-ANHANGUERA. Com o intuito de obter uma maior aderência entre a fibra e o concreto foram produzidos dois modelos de fibra com dimensões e geometrias distintas, uma com perfurações centrais (Tipo A), e outra com perfurações periféricas, em forma de serrilha (Tipo B). Foi possível observar que a modificação na estrutura das fibras levou a ganhos na resistência à compressão e tração, sendo que o concreto com adição da fibra tipo B apresentou resultados cerca de 5,2 % superior ao concreto com fibra tipo A, além de apresentar uma redução mínima de resistência, cerca de 0,8 % inferior ao concreto convencional (sem fibras). Os resultados indicam que é possível um aproveitamento controlado desse resíduo na produção de concreto estrutural, contribuindo para uma redução direta dos danos ambientais causados pelo descarte incorreto da garrafa PET.

PALAVRAS-CHAVE: Concreto Ecológico. Garrafas PET. Aderência. Resistência.

1 INTRODUÇÃO

O concreto é um produto utilizado na construção civil resultante da mistura, em quantidades racionais, de aglomerante (cimento), agregados (pedra e areia) e água. Logo após efetuar a mistura o concreto deve adquirir plasticidade suficiente para que possa ser manuseado, transportado e lançado em formas para ser moldados. Como consequência de suas reações químicas, com o passar do tempo ele endurece e ganha resistência durante toda sua vida útil. Alguns tipos de concreto podem ter adicionados aditivos, para modificar suas propriedades físicas e químicas (FUSCO, 2008).

A necessidade de melhorar certas características do concreto incentivou pesquisas por outros tipos de materiais, que adicionados ao concreto pudessem contribuir para seu desempenho ou para algum benefício ambiental. Diante disso surgiram estudos para a utilização de varias adições ao concreto, dentre elas a fibra de POLITEREFTALATO DE ETILENO (PET).

A primeira amostra da resina de PET foi criada por dois ingleses Whinfield e Dickson, no ano de 1941. No inicio dos anos 70, nos Estados Unidos, surgiram às primeiras garrafas feitas de PET, elemento este que cegou no Brasil em 1988, inicialmente sendo utilizado somente na indústria têxteis.

A partir de 1993, o PET passou a ser utilizado como embalagens principalmente para refrigerantes. Nos dias de hoje, o PET vem sendo utilizado nos mais diferentes tipos de produtos, segundo informações da Associação Brasileira da Indústria do PET – ABIPET (ABIPET, 2012).

As indústrias de refrigerantes e sucos classificam a garrafa PET como a melhor embalagem para o produto, movimentando um mercado de 9 bilhões de garrafas anualmente só no Brasil, das quais somente 47% são reaproveitadas, cerca de 4,7 bilhões são descartadas no meio ambiente. Entre 1995 e 2005, a produção de PET subiu de 120 mil toneladas para 370 mil toneladas (AIRES 2013).

O politereftalato de etileno é considerado um dos materiais que mais geram poluição ao meio ambiente, com uma utilização crescente e desordenada. No entanto, já se sabe que é possível a reutilização desse resíduo em diversas áreas, de maneira sustentável, inclusive na construção civil (TAGLIANI 2017).

Com o início da utilização de fibra de garrafa PET no concreto, e com o desenvolvimento de estudos nessa área, percebeu-se, segundo Rômulo Marczuk (2015), que o aumento do teor de fibra adicionada ao concreto tem grande influencia na resistência mecânica do material, verificando-se que no concreto com adição de 10% de fibra os resultados das resistências mostraram-se mais satisfatórios.

A realização deste trabalho teve como principal objetivo analisar experimentalmente as propriedades do concreto estrutural com incorporação de dois diferentes tipos de fibras de garrafas PET, em um teor de 10% em relação ao peso do cimento, e realizar um estudo comparativo da resistência à compressão desse concreto com o concreto convencional.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Produção das fibras

A geometria das fibras utilizadas neste trabalho foi determinada anteriormente, conforme observa-se na figura 1, cujas perfurações, centrais ou periféricas, foram projetadas com o objeto de melhorar a aderência entre o elemento e o concreto.

Inicialmente foram recolhidas 1280 garrafas PET necessárias para o ensaio, obtidas através de doações e coleta seletiva. Logo após a seleção as garrafas foram lavadas para remoção das impurezas e secas à umidade ambiente.

Para o corte da fibra foi utilizado apenas às partes lisas da garrafa, utilizando-se guilhotina e tesoura. Os furos foram realizados com uma furadeira elétrica e uma morsa.

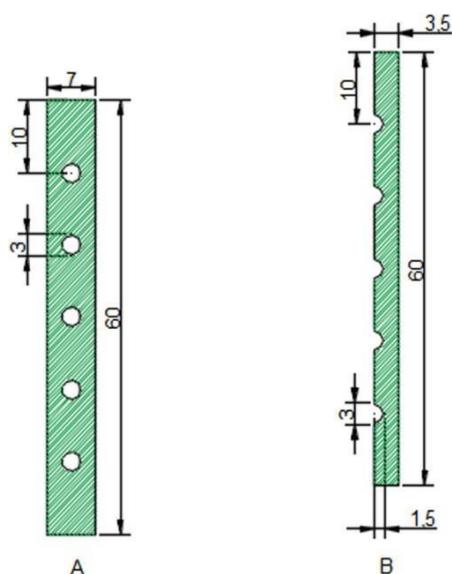


Figura 1 - Modelo das fibras de PET a serem utilizadas.

A figura 1-A apresenta a geometria, e o respectivo gabarito de corte da fibra Tipo A, com 7 mm de largura e 60 mm de comprimento, perfurada com 5 furos de 3 mm de diâmetro e espaçados em 10 mm, devidamente centralizados em relação à largura.

Já a figura 1-B apresenta a geometria, e o respectivo gabarito de corte da fibra Tipo B, com 3,5 mm de largura e 60 mm de comprimento, perfurada com 5 semicírculos com raio de 1,5 mm, espaçado em 10 mm, e dispostos alinhados com a lateral da fibra.

2.2 Dosagem do concreto

A dosagem dos concretos ensaiados foi realizada pelo método da ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland), sendo utilizado um único traço para todas as amostras. O traço foi dimensionado para um $f_{cj} = 25$ MPa e um *Slump* (abatimento) de 120 mm.

Após o cálculo da dosagem foi obtido um traço padrão, 1:1, 1:31, 1:39 com um fator água/cimento igual a 0,44.

Foram preparados 3 tipos diferentes de concreto, sendo um traço normal (sem adição de fibra), um com adição de 10% de fibra Tipo “A” em relação ao peso do cimento em massa, e por último a produção do traço com a fibra Tipo “B”.

A preparação do concreto foi realizada em betoneira estacionária, seguindo a seguinte sequência na colocação dos materiais: primeiro acrescentou-se a brita e a metade da água, em seguida o cimento, seguido da areia natural, e finalmente incorporadas as fibras de PET, com o restante da água calculada, mantendo-se o ciclo rotativo até a uniformização e perfeita homogeneização da mistura.

A tabela a seguir apresenta o quantitativo de material utilizado na produção dos traços.

Tabela 1 - Quadro de quantitativo de material.

QUANTITATIVO DE MATERIAIS					
Traço	Cimento (Kg)	Areia (Kg)	Brita (Kg)	Fibra (Kg)	Água (L)
Normal	18,3	23,97	25,42	00	8,10
Fibra tipo A	25,8	33,80	35,83	2,580	11,42
Fibra tipo B	25,8	33,80	35,83	2,580	11,42

Observação: A quantidade de cimento utilizado no traço normal foi reduzida, pois foram utilizados apenas dois corpos de provas para cada ensaio.

2.3 Ensaio de determinação da consistência

A consistência das amostras ensaiadas foi verificada pelo abatimento de tronco de cone (*slump test*), conforme preconizado pela NBR NM 67:1998 (Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone).



Figura 2 - Determinação do abatimento do concreto "Slump Test".

2.4 Preparação e cura dos corpos de prova

A preparação dos corpos de provas foi realizada de acordo com NBR 5738:2015, sendo moldados corpos de prova em formato cilíndrico, com dimensões de 100 mm x 200 mm. As amostras de concreto para a preparação dos corpos de provas foram obtidas de acordo com a NBR NM 33.



Figura 3 - moldagem dos corpos de prova.

Todos os corpos de prova, após seu período de cura, foram retificados no laboratório para regularização de suas superfícies, conforme especificado na NBR 5738:2015 (Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova).



Figura 4 - retífica dos corpos de prova.

2.5 Determinação da massa específica do concreto

Logo após o processo de retifica os corpos de prova tiveram a massa e as medidas da seção transversal (realizado duas medidas de diâmetro) e altura determinadas, com auxílio de uma balança de precisão e um paquímetro, visando posterior cálculo da massa específica do concreto paradigma (sem fibras) e do concreto com adição de politereftalato de etileno.

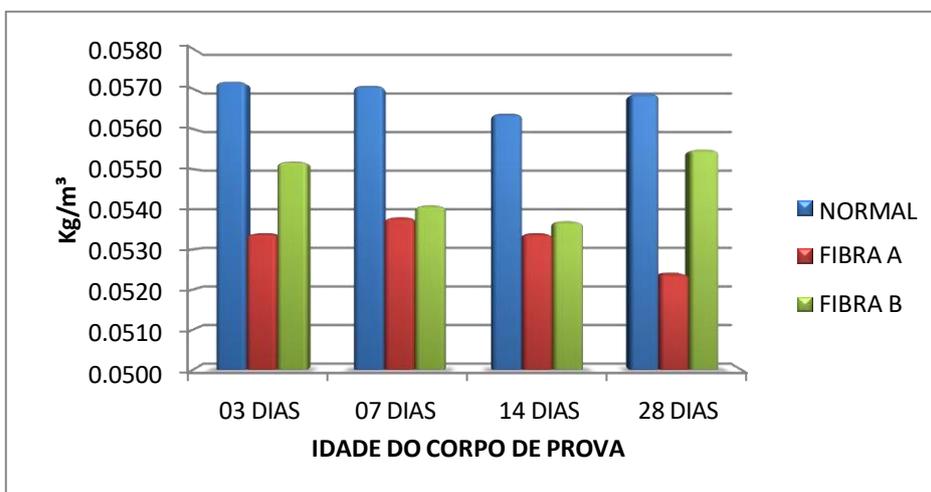


Figura 5 Média da massa específica

2.6 Ensaio de resistência à compressão axial

A determinação da resistência à compressão axial das amostras de concreto foi realizada de acordo com a norma NBR 5739:2007 (Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndrico).

Foram ensaiadas duas amostras do concreto normal e três amostras do concreto com fibra tipo “A” e tipo “B”. Os corpos de prova foram rompidos aos 3, 7, 14 e 28 dias, sendo ensaiados 8 (oito) corpos de prova para cada idade, totalizando 64 corpos de prova.



Figura 6 - Ensaio de resistência à compressão.

2.7 Ensaio de resistência à tração por compressão diametral

O ensaio foi realizado de acordo com a NBR 7222:2011 (Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos). Foram ensaiados 08 corpos de prova, rompidos aos 3, 7, 14 e 28 dias, com carga aplicada continuamente e sem choques, com velocidade de (1 ± 2) KN/s até a ruptura do corpo-de-prova.



Figura 7 - ensaio de resistência à tração por compressão diametral.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Resistência à Compressão

A tabela a seguir apresenta os resultados dos ensaios de Resistência à Compressão nos corpos de prova cilíndricos.

Tabela 2 - Quadro dos resultados do ensaio a compressão.

Concreto	Idade	Resistência (MPa)			Resistência Média (MPa)
		CP 1	CP 2	CP 3	
Normal	03	15,60	14,54	-	15,07
	07	19,89	19,38	-	19,63
	14	22,55	22,44	-	22,5
	28	25,51	25,18	-	25,35
Fibra tipo "A"	03	12,63	12,75	12,27	12,55
	07	17,61	17,79	17,89	17,76
	14	19,52	19,42	19,38	19,44
	28	23,93	23,94	23,80	23,89
Fibra tipo "B"	03	15,17	15,19	15,09	15,15
	07	19,21	19,09	19,15	19,15
	14	22,12	21,99	22,05	22,05
	28	25,30	24,99	25,09	25,12

Com base nos dados da tabela acima, pode-se perceber que com a utilização de 10% de fibra, tanto o traço com fibra tipo "A" e o traço com fibra tipo "B" obtiveram

resultados positivos, de maneira que o concreto com fibra tipo “A” não atingiu a resistência, porém alcançou cerca de 95,35%, já o traço com fibra tipo “B” obteve resultados semelhantes ao concreto normal, alcançando então a resistência determinada no cálculo do traço.

Nota-se que aos 14 dias de idade o concreto com utilização da fibra Tipo “A” teve uma perda de 15,6% de sua resistência em relação ao concreto convencional, onde de acordo com a tabela, evidencia um declínio de 22,5 para 19,44 MPa, ou seja, uma redução de cerca de 3,06 MPa (13,6%).

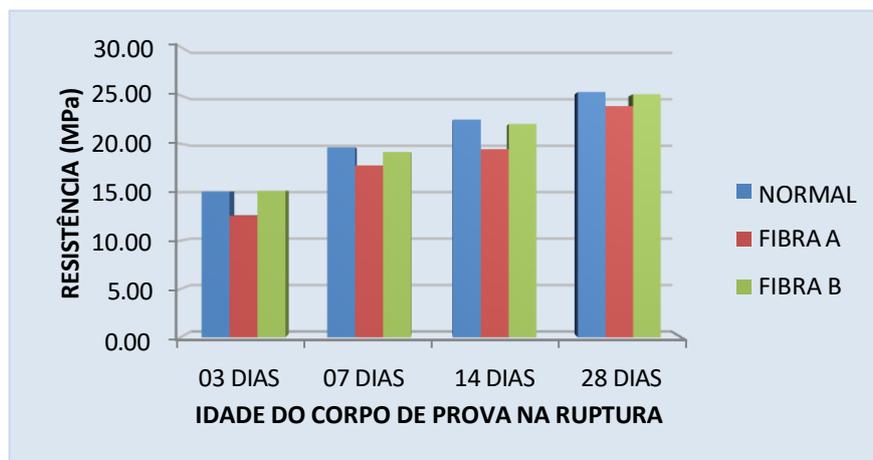


Figura 8 - Média dos resultados de ruptura das amostras de concreto.

Ao analisar o gráfico nota-se que o concreto com tipo de fibra Tipo “B” teve sua maior perda de resistência aos 07 dias, cerca de 2,50 % em relação ao concreto normal, ou seja, uma queda de 0,48 MPa. Ao comparar o concreto normal com o concreto com utilização da fibra Tipo “B”, os resultados mantiveram em patamar estável, praticamente igual, diferente dos resultados obtidos por Rômulo Marczuk (2015), que em seu projeto de pesquisa não conseguiu atingir resistência à compressão em seu concreto com adição de 10% de fibra por conta da falta de aderência entre a fibra e o concreto, já que a fibra incorporada naquele estudo era se seção cheia, sem furos (Tipo “A”) ou serrilhas (Tipo “B”).

3.2 Resistência à Tração por Compressão Diametral

A tabela a seguir apresenta os resultados dos ensaios de Resistência à Tração por Compressão Diametral nos corpos de prova cilíndricos.

Tabela 3 - Quadro dos resultados do ensaio a tração por compressão diametral.

Concreto	Idade	Resistência (MPa)			Resistência Média (MPa)
		CP 1	CP 2	CP 3	
Normal	03	0,97	0,98	-	0,97
	07	2,64	2,56	-	2,64
	14	3,20	3,15	-	3,17
	28	3,94	3,95	-	3,94
Fibra A	03	0,85	0,85	0,84	0,84
	07	2,25	2,24	2,16	2,22
	14	2,75	2,79	2,74	2,76
	28	3,50	3,54	3,43	3,49
Fibra B	03	0,92	0,91	0,94	0,92
	07	2,55	2,54	2,43	2,51
	14	3,04	3,08	3,03	3,05
	28	3,64	3,75	3,67	3,69

Sobre a análise dos resultados dos ensaios de resistência à tração por compressão diametral dos corpos de prova (CP), pode-se constatar que aos 28 dias de idade o concreto com utilização da Fibra Tipo “A” teve uma perda maior de resistência em comparação ao concreto convencional, resultando, para essa mesma idade, uma diferença de 0,45 MPa.

Por outro lado, o concreto com utilização da Fibra Tipo “B” teve um melhor desempenho, tendo uma perda maior de resistência aos 14 dias em comparação ao concreto convencional (sem fibras), resultando uma diferença de 0,12 MPa para essa mesma idade.

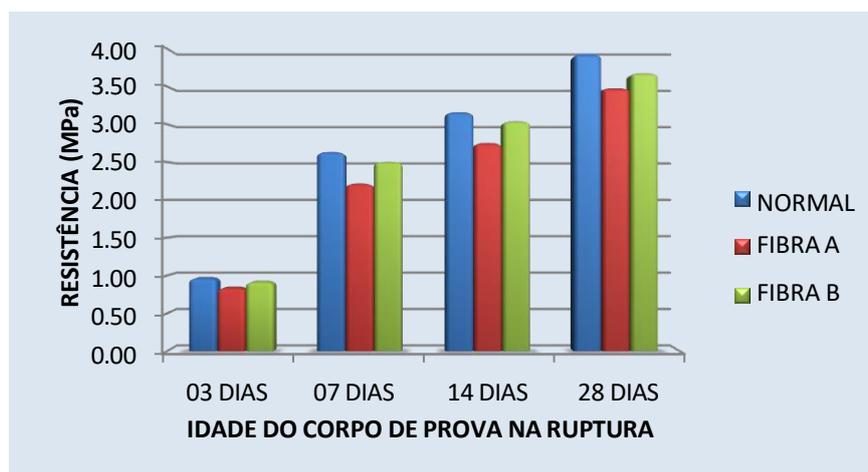


Figura 2 - Média dos resultados de ruptura das amostras de concreto.

Ao analisar o gráfico acima nota-se que o concreto com tipo de fibra “A” obteve menor resistência em comparação ao concreto com fibra “B” em todos os dias de ruptura.

Foi determinada a consistência para os três traços de concreto utilizados sendo:

- Concreto normal: 120 mm;
- Concreto com fibra tipo “A”: 50 mm;
- Concreto com fibra tipo “B”: 30 mm.

Com os resultados obtidos através dos ensaios de consistência nota-se que o volume de fibra adicionado ao concreto apresenta influência no abatimento do concreto, sendo que o volume de fibra Tipo “A” foi menor, no entanto ele teve um abatimento maior em comparação ao volume de fibra Tipo “B”, o volume de fibra Tipo “B” foi maior, pois, a fibra foi partida ao meio.

4 CONCLUSÕES

Uma das dúvidas levantadas inicialmente foi se realmente poderia ser possível resolver o problema de aderência das fibras ao concreto, detectada em estudos anteriores, o que motivou a criação de dois modelos de fibras diferentes dos até então utilizados.

Como mostrado nos resultados, o concreto com utilização de fibra de politereftalato de etileno tipo “B” atingiu resistência à compressão e a tração por compressão diametral similar ao concreto normal, possibilitando então a utilização deste concreto para fins estruturais.

Já o concreto com utilização de fibra tipo “A” não atingiu a mesma resistência à compressão que o concreto normal e o concreto com fibra tipo “B” aos 28 dias, tendo uma média de resistência à compressão de 23,89 Mpa, cerca de 95,56% da resistência do concreto referência.

Diante dos resultados significativos alcançados com utilização de 10% da fibra tipo “B” em relação ao peso do cimento, torna-se viável a utilização do concreto com fibra de politereftalato de etileno.

Ao comparar os resultados aqui obtidos com os publicados por Rômulo Marczuk, verifica-se o grande avanço que a modificação na estrutura da fibra proporcionou diante da dificuldade de aderência da fibra ao concreto. A produção de fibras com perfurações e serrilhas semicirculares, apesar de não possibilitar ganhos de resistência, levou a um concreto com valores médios de resistência à compressão e à tração em patamares similares ao concreto convencional, sem adição desse elemento.

No entanto conclui-se que a análise das características mecânicas do concreto com fibra tipo “B” pode contribuir para a retirada das garrafas PET da natureza, contribuindo de forma positiva para sustentabilidade do meio ambiente.

Por fim, importante salientar que para a produção em larga escala de um concreto com fibras de PET, deve-se pensar em otimização do processo de produção das fibras, com o desenvolvimento de um equipamento capaz de viabilizar o processo de corte e furo da fibra de maneira automática, haja vista a grande dificuldade encontrada para confecção manual das fibras utilizadas neste estudo.

A utilização do concreto com fibra de PET pode trazer grandes vantagens ecológicas, como a retirada do material descartado de forma incorreta na natureza e também incentivar a política de coleta seletiva, evidenciando a grande importância na continuação desse estudo e no desenvolvimento de outros modelos de fibra, para que no futuro o concreto com fibra de politereftalato de etileno possa vir a alcançar resistência superior a um concreto convencional.

ANÁLISE DAS CARACTERÍSTICAS MECÂNICAS DO CONCRETO ESTRUTURAL COM ADIÇÃO DE FIBRA DE POLITEREFTALATO DE ETILENO (PET)

**FERREIRA, Ernane Luiz Franco¹; LIMA, Jonathan Vasconcelos de¹; FLEURY,
Luiz Frederico de Souza²**

¹Estudante do curso de Engenharia Civil do Centro Universitário de Goiás – Uni-ANHANGUERA. ²Professor orientador Me. do Curso de Engenharia Civil do Centro Universitário de Goiás – Uni-ANHANGUERA.

As indústrias de refrigerantes e sucos classificam a garrafa PET como a melhor embalagem para o produto, movimentando um mercado de 9 bilhões de garrafas anualmente só no Brasil, das quais apenas 47% são reaproveitadas, sendo que cerca de 4,7 bilhões são descartadas diretamente na natureza. O volume gerado pelas embalagens de PET tem trazido vários problemas aos aterros sanitários e ao meio ambiente quando descartadas de forma incorreta. O objetivo deste trabalho é verificar a viabilidade de produção de um concreto estrutural sustentável, com incorporação de fibras obtidas das garrafas PET, a partir de uma análise experimental da resistência à compressão e resistência à tração por compressão diametral de concretos com diferentes tipologias dessas fibras, comparando com um traço convencional sem fibras, dosados pelo Método da ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland), e ensaiados nos laboratórios do Centro Universitário de Goiás - Uni-ANHANGUERA. Com o intuito de obter uma maior aderência entre a fibra e o concreto foram produzidos dois modelos de fibra com dimensões e geometrias distintas, uma com perfurações centrais (Tipo A), e outra com perfurações periféricas, em forma de serrilha (Tipo B). Foi possível observar que a modificação na estrutura das fibras levou a ganhos na resistência à compressão e tração, sendo que o concreto com adição da fibra tipo B apresentou resultados cerca de 5,2 % superior ao concreto com fibra tipo A, além de apresentar uma perda mínima de resistência, cerca de 0,8 % inferior ao concreto convencional (sem fibras). Os resultados indicam que é possível um aproveitamento controlado desse resíduo na produção de concreto estrutural, contribuindo para uma redução direta dos danos ambientais causados pelo descarte incorreto da garrafa PET.

PALAVRAS-CHAVE: Concreto Ecológico. Garrafas PET. Aderência. Resistência. Natureza.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5738: Procedimento Para Moldagem e Cura de Corpos de Prova de Concreto: Rio de Janeiro. 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5739: Concreto – ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos: Rio de Janeiro. 1994.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 67/1998: Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone: Rio de Janeiro. 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 33: Concreto - Amostragem de concreto fresco: Rio de Janeiro. 1998.

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

ABIPET. **Resina pet.** Disponível em: <<http://www.abipet.org.br/index.html?Method=mostrarinstitucional&id=81>>. Acesso em: 20 mar. 2018.

FUSCO, Péricles Brasiliense. **Tecnologia do Concreto Estrutural**. Primeira edição. ed. São Paulo: Editora PINI Ltda, 2008. 40 p. v. 1a tiragem: 2.0 exemplares. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAhE3kAL/tecnologia-concreto-estrutural>>. Acesso em: 08 mar. 2018.

SCHETTINO, Rômulo Marczuk . **Concreto com adição de fibras de politereftalato de etileno** . 2015. 66 p. Dissertação de mestrado (Mestre em Materiais)- Fundação Oswaldo Aranha, Centro Universitário de Volta Redonda ? UniFOA, Volta Redonda, 2015. 1º. Disponível em: <http://web.unifoa.edu.br/portal_ensino/mestrado/memat/arquivos/dissertacao/romulo-marczuk.pdf>. Acesso em: 15 mar. 2018.

SOUZA, Antônio; PEIXOTO, Creso; MELLO, Ericson; LEÃO, Fredmarck; SILVA, João; FILHO, Manoel; TOZZI, Marcos; PIETRO, Miguel; QUEIRÓS, Pedro; OLIVEIRA, Vanderlí. **Trajectoria e estado da arte da formação em Engenharia, Arquitetura e Agronomia**. Primeira edição. Ed. [S.l.]: Brasília, 2010.308p. V. 2º.

TAGLIANI, Simone. **Inovação e sustentabilidade: como as garrafas PET estão servindo de insumo para a construção civil**: Construção civil ecológica. 00. 2017. Disponível em: <<https://blogdaengenharia.com/inovacao-e-sustentabilidade-como-as-garrafas-pet-estao-servindo-de-insumo-para-a-construcao-civil/>>. Acesso em: 21 set. 2018.