

ANÁLISE DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE CONCRETO PRODUZIDO COM FIBRAS DE PET (POLIETILENO TEREFALATO)

Felipe Augusto Dantas de Oliveira (*), Jhonnaldy Nogueira Sena, Meise Lopes Araújo, Raimundo Miguel da Silva Neto

* Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), graduando do Curso de Engenharia Civil, fellipe.uzl@gmail.com

RESUMO

O plástico é um material de fácil produção, baixo custo e de muita utilidade em vários setores, principalmente por causa de sua alta flexibilidade, o que o torna um material bastante moldável. O setor de embalagens para alimentos e bebidas vem se destacando nas últimas três décadas do século XX pela utilização desse produto, contribuindo no aumento significativo do descarte, que por muitas vezes acontece de forma inadequada. Um componente plástico bastante utilizado para a fabricação de embalagens de alimentos e bebidas é o politereftalato de etileno ou polietileno tereftalato, mais conhecido como PET, que possui as características de ser inerte, leve, resistente, transparente e com baixa permeabilidade à gases. Em contrapartida, a construção civil é uma área em constante crescimento e tem como o concreto o material construtivo mais consumido e utilizado no mundo, visto que sua produção se dá em larga escala, sendo um material durável, de fácil aplicação e com alto potencial de encapsulamento de substâncias nocivas. Esse trabalho possui como objetivo determinar as principais propriedades do concreto fresco e endurecido, confeccionado com substituição parcial de agregado miúdo por PET triturado, visando a redução do descarte inadequado deste material e a diminuição da extração de areia, que porventura acarretaria em impactos ambientais. Para a determinação dessas propriedades foram realizados os ensaios de consistência (*slump test*) para o estado fresco e de compressão axial, para o concreto em seu estado endurecido, substituindo porcentagem do traço de areia média por PET triturado, em um teor de substituição de 10% e 15%. Verificou-se que para ambos os traços, o compósito não pode ser utilizado para fins estruturais, mas se mostra uma alternativa ecologicamente viável para construções de pequeno porte.

PALAVRAS-CHAVE: Concreto com PET, polietileno tereftalato, concreto com aditivos, concreto ecológico, reciclagem de plástico.

INTRODUÇÃO

Dentre todos os materiais utilizados na construção civil, pode-se afirmar que o concreto está entre os mais empregados. Seu grande uso se dá, principalmente, devido a uma grande gama de características que o mantém nesse posto: baixo custo de fabricação, alta resistência à compressão, além da possibilidade de infinitas variações de forma para as peças pré-moldadas, como em vigas, pilares, lajes, dentre outros (FIGUEIREDO, 2011).

O concreto também possui algumas limitações, principalmente pelo fato de possuir pouca resistência à tração, fato esse que é resolvido com a adição de barras de aço, conhecido como concreto armado (BAUER, 2015); além de possuir um comportamento bastante frágil, no qual pouco deforma antes que ocorra sua ruptura. Em razão dessas limitações surgem alternativas baratas com o objetivo de reforçar esse material, como, por exemplo, a adição de alguns tipos de fibras em sua composição para aferir ao material uma maior resistência à tração.

Existem uma grande variedade de fibras, sendo algumas bastantes utilizadas. Como as de origem vegetal: que são as fibras de madeira, a fibra da celulose, as fibras de macrófitas aquáticas ou até mesmo o algodão. Outros materiais utilizados são os fios de aço, as fibras de polipropileno, além de uma grande gama de fibras poliméricas, como a de polietileno tereftalato, popularmente conhecido como PET (FIGUEIREDO, 2011).

Segundo Pelisser (2002), a reciclagem do PET está totalmente sujeita às novas aplicações, sendo sua utilização em concretos uma alternativa pouco estudada até então, podendo substituir o emprego de fibras de polietileno, polipropileno e inclusive a de amianto.

Um problema bastante debatido na mídia em geral, tendo surgido principalmente a partir da primeira revolução tecnológica é o acúmulo de resíduos em lixões e aterros sanitários. Os plásticos em geral conquistaram um grande espaço na sociedade moderna, principalmente graças às suas propriedades que merecem destaque, como sua leveza, sua satisfatória resistência mecânica e excelente maleabilidade mesmo a temperaturas relativamente baixas (BEZERRA et al., 1998).

Segundo Bezerra et al. (1998), com a ascensão do capitalismo e, conseqüentemente, da cultura do consumo, ocorreu um crescimento do uso de embalagens descartáveis, aumentando ainda mais o descarte de embalagens plásticas, sendo o PET um dos plásticos mais descartados em lixões e aterros sanitários de todo o país.

Uma prática bastante comum em lixões clandestinos de cidades de pequeno porte é o descarte deste material por meio de queimadas, que, por sua vez, libera muito dióxido de carbono (CO₂) na atmosfera; fato este que agrava o efeito estufa, liberando toxinas no ar, pondo em risco a população local.

Considerando que o descarte do polímero PET só aumenta com o passar dos anos e que seu descarte por meio de queimadas é algo totalmente inviável para o desenvolvimento sustentável, surge o advento da reciclagem deste material de diferentes maneiras (GUELBERT et al., 2007).

Segundo Leite (2001, p.3), “a reciclagem é, sem dúvida, a melhor alternativa para reduzir o impacto que o ambiente pode sofrer com o consumo de matéria prima e a geração desordenada de resíduos”.

De acordo com John (2000), o mercado da construção civil, por ser uma atividade realizada em qualquer região, se torna uma das melhores alternativas para o consumo de materiais reciclados, reduzindo principalmente os custos com logística; além disso, a maioria dos materiais necessários para uma obra não precisam de grande sofisticação técnica.

Portanto, a reciclagem de resíduos no mercado de construção civil é algo que já vem sendo bastante difundido onde, de acordo com Hendriks e Pietersen (1998), é um mercado que tende e deve crescer, principalmente por causa da utilização desses resíduos no concreto.

Leite (2001) explica que o fato de incorporar resíduos ao concreto é interessante, visto que este é um material produzido em larga escala (cerca de 6 bilhões de toneladas/ano), com fácil aplicação, flexível no quesito de se adequar à várias ocasiões, com alto potencial para encapsulamento de substâncias nocivas, sendo durável (quando bem confeccionado) e razoavelmente resistente à agentes químicos e físicos.

Por esses motivos, neste trabalho será utilizada a fibra do PET, obtida por corte manual, um polímero integrante da família dos poliésteres, como material alternativo na produção de concretos.

METODOLOGIA

Considerações iniciais

A partir da metodologia empregada, objetiva-se a produção de concretos convencionais, com substituição parcial do agregado miúdo utilizado por fibras de PET, provenientes do consumo de refrigerantes na cidade de Umarizal – RN, buscando verificar a alteração na resistência mecânica deste material.

A pesquisa realizada foi essencialmente experimental com traços de pesquisa bibliográfica. Ou seja, os resultados foram obtidos por experimentos laboratoriais, em que se pretendia medir o desempenho dos concretos a partir de um traço pré-estabelecido em trabalhos prévios de outros autores, para assim determinar as influências desta substituição no concreto fresco e endurecido.

Parte do experimento foi executado no Laboratório de Materiais de Construção Civil, da Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA campus Caraúbas - RN, sendo a outra parte realizada nos Laboratórios do Instituto Federal do Rio Grande do Norte – IFRN campus Mossoró - RN.

Materiais

Para que as propriedades físicas de uma amostra sejam representativas em relação ao lote que foi retirada, a amostra deve possuir todas as características do mesmo, principalmente no que se refere à granulometria. Dessa forma, para obtenção das amostras, tomou-se o cuidado em homogeneizar o material, para depois ser realizado o quarteamento e, em seguida, retirar a amostra para realização do teste de granulometria. Todos os procedimentos foram seguidos de acordo com as normas NBR NM 26 (2009) e NBR NM 27 (2001). As amostras foram então transportadas para o laboratório e mantidas sob temperatura pré-estabelecida, para evitar descaracterização.

O cimento utilizado para a produção do concreto foi o CII-Z-32, da marca Apodi, encontrado comumente no comércio local da região de Caraúbas-RN. O saco de cinquenta quilos (50kg) foi disponibilizado pela própria instituição, e estava disponível no Laboratório de Materiais de Construção da UFERSA – Campus Caraúbas - RN.

O agregado miúdo (material passante na peneira 4,8mm) empregado para a confecção dos corpos de prova de concreto foi proveniente de areia natural, disponível no comércio local da cidade de Caraúbas-RN, retirada de um rio da região, sendo armazenados em sacos de rafia convencionais.

A água utilizada nos ensaios foi retirada da rede de abastecimento do Laboratório de Materiais de Construção Civil da Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA, campus Caraúbas - RN.

Parte das fibras de PET foram obtidas de embalagens verde e transparente de refrigerante pós-consumo, sendo então lavadas e cortadas em pequenos retângulos à mão, de variados tamanhos, com granulometria de areia média. Outra parte das fibras foi proveniente de vassouras feitas de PET, vendidas por um produtor local, que as fabrica com embalagens de refrigerante verde e transparente, pós-consumo; as tiras foram também cortadas à mão com a mesma granulometria, de tamanhos variados.

Determinação do traço para confecção do concreto

Primeiramente, antes da confecção dos corpos de prova com substituição parcial de agregado miúdo por PET triturado, foram confeccionados 3 (três) corpos de prova de referência à título de comparação. O traço utilizado foi especificado por Silva (1975), mostrado na Tabela 1.

Tabela 1. Traço utilizado com resistência de 200 kg/cm² aos 28 dias de idade.

Materiais	Composição unitária em massa (m ³)
Brita 1	1038
Areia (seca)	791
Cimento	302
Água	211
Fator a/c	0,7

Os traços utilizados para o ensaio foram de substituição de 10% e 15% em massa de areia por PET triturado, obtendo então o traço da Tabela 2.

Tabela 2. Traços de concreto com substituição de areia por PET (1 m³).

Materiais	10% de PET (kg/m ³)	15% de PET (kg/m ³)
Brita 1	1038	1038
Areia (seca)	711,9	672,35
PET	37,79	56,68
Cimento	302	302
Água	211	211
Fator a/c	0,7	0,7

O cálculo do traço foi realizado a partir da equação do consumo de cimento (Equação 1).

$$\frac{m_{\text{cimento}}}{\rho_{\text{cimento}}} + \frac{m_{\text{areia}}}{\rho_{\text{areia}}} + \frac{m_{\text{pet}}}{\rho_{\text{pet}}} + \frac{m_{\text{água}}}{\rho_{\text{água}}} + V_{\text{ar}} = 1 \text{ m}^3 \quad \text{equação (1)}$$

Onde as densidades utilizadas para a areia, cimento e PET eram teóricas, obtidas através de uma estimativa de vários autores. Dessa forma, os traços preparados também se tratam de traços teóricos.

Preparação dos traços

Foi utilizada uma única dosagem para cada um dos traços utilizados no presente trabalho, sendo cada material previamente selecionado e pesado em uma balança de mão, com auxílio de sacolas plásticas de sacos de rafia. O amassamento do concreto foi feito em uma betoneira da marca Motomil, modelo MB-150L e com volume líquido de 150 litros (L).

Os materiais foram adicionados na betoneira individualmente, na qual permaneceu em funcionamento durante todo tempo. A ordem de acréscimo do material foi a seguinte:

- Brita;
- $\frac{1}{2}$ do volume de água;
- Agregado miúdo (areia);
- Aglomerante (cimento);
- PET;
- $\frac{1}{2}$ do volume de água (restante).

Logo após a adição da primeira metade da água, deixou-se a betoneira em funcionamento por mais ou menos 1 (um) minuto, para ocorrer a limpeza dos grãos da brita, isto é, uma lavagem prévia. Logo em seguida, adicionou-se o restante dos materiais e, após a adição da água remanescente, deixou-se a mesma em funcionamento por mais 5 (cinco) minutos. Após o término desse tempo pré-estabelecido, o concreto fresco foi retirado com cuidado para evitar qualquer tipo de segregação e exsudação para realização do teste de abatimento.

Ensaio de abatimento do tronco de cone (*slump test*)

Assim que o concreto em seu estado fresco foi retirado da betoneira, o teste de determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone (*slump test*) foi realizado, utilizando-se o molde cônico e a haste metálica cilíndrica (Figura 1), obedecendo a norma da ABNT NBR NM 67 (1998), seguindo os seguintes procedimentos:

- Umedeceu-se tanto o molde quanto a placa base. Logo em seguida, posicionou-se os pés sobre as hastes do molde, para mantê-lo o mais estável possível, enchendo-o com 3 (três) camadas de concreto, cobrindo um volume praticamente de $\frac{1}{3}$ para cada camada;
- Após cada camada ser adicionada cuidadosamente e simetricamente por toda a borda do molde, foi diferido 25 (vinte e cinco) golpes, distribuídos igualmente por toda a seção da camada, atravessando por toda espessura do material (com cuidado para não tocar na base metálica), de forma espiral até o centro do tronco de cone. O mesmo repetiu-se para todas as camadas, sendo que a última se adicionou material excedente para o rasamento;
- A placa base foi então limpa, levantando logo em seguida o molde, em um tempo estimado de 5 a 10 segundos, com movimento constante para cima e com cuidado para não submeter o concreto à torção;
- Após a retirada do molde, mediu-se o abatimento do concreto, que é a diferença de altura entre o molde e do eixo do corpo de prova.



Figura 1: Molde cônico e haste metálica em destaque. Fonte: Autores do trabalho.

Após a realização do teste de consistência, a massa de concreto foi homogeneizada com auxílio de uma pá de pedreiro, para ser reutilizada na moldagem dos corpos de prova.

Moldagem dos corpos de prova

De acordo com a norma NBR 5738 (ABNT, 2015), os corpos de prova devem ter sua altura igual ao dobro do diâmetro, onde o diâmetro deve ser de exatamente 10 cm, 15 cm, 20 cm, 25 cm, 30 cm ou 45 cm. Ainda segundo a norma, o adensamento manual de corpos de prova cilíndricos com as dimensões de 10cm de diâmetro por 20cm de altura deve ser feita em duas camadas, com 12 golpes para cada camada, inferidas por uma haste metálica, chamada de haste de adensamento.

A haste de adensamento, por sua vez, deve ser fabricada com aço, de formato cilíndrico e superfície lisa, para que haja uma menor aderência do concreto na mesma, possuindo cerca de 16,0 mm (2 milímetros para mais ou para menos) de diâmetro e comprimento de 600 mm à 800 mm, com um ou os dois extremos em forma semiesférica, com diâmetro igual ao da haste.

A metodologia de moldagem pode ser descrita com os seguintes pontos:

- Revestiu-se internamente, anterior a moldagem, os moldes cilíndricos de PVC doados, gentilmente, pela empresa Supermix com uma fina camada de óleo mineral, inerte ao concreto, para assim facilitar na desmoldagem;
- Colocou-se o concreto dentro do molde, distribuindo-o igualmente ao redor de sua borda, assegurando sua distribuição simétrica, nivelando-o com a haste de adensamento;
- Para molde cilindro de 10 cm de diâmetro, utilizou-se duas camadas de concreto, com doze golpes cada uma, para devido adensamento;
- Seguiu-se à risca a norma para o processo de adensamento, penetrando a haste até a outra extremidade, evitando tocar o fundo do molde, em seguida batendo na face externa do molde, para o fechamento de possíveis vazios;
- Para a última camada, adicionou-se uma camada de concreto em excesso, para tornar possível o rasamento da superfície do corpo de prova, feita com a própria haste de adensamento;
- Por último, a cura inicial do concreto foi feita ao colocar o corpo de prova recém moldado sobre a bancada do laboratório de materiais da UFERSA campus Caraúbas - RN, rígida, horizontal e livre de vibrações, por um tempo regulado de 24h.

Cura dos corpos de prova

Após a cura inicial de 24 horas sobre a bancada, os corpos de prova foram devidamente identificados com o número 10 para aqueles com substituição parcial do agregado miúdo por 10% de PET triturado e com o número 15 para aqueles com substituição de 15%.

Logo em seguida, os corpos de prova foram armazenados cuidadosamente em uma caixa d'água preenchida totalmente por água, até o dia do devido ensaio de resistência à compressão, isto é, por 7 (sete) dias.

Após os sete dias de cura, os corpos de prova foram devidamente transportados para o laboratório do Instituto Federal do Rio Grande do Norte – IFRN, em Mossoró – RN, para retificação de sua superfície superior e o então ensaio de resistência à compressão axial.

Ensaio de resistência à compressão axial

O ensaio de resistência à compressão axial foi realizado conforme regido pela norma da ABNT NBR 5739 (2007), no qual prescreve o método de ensaio pelo qual devem ser ensaiados à compressão os corpos de prova cilíndricos de concreto.

Para cada um dos traços desenvolvidos, foram ensaiados 3 corpos de prova, todos na idade de 7 (sete) dias, com dimensões de 10 cm de diâmetro por 20 cm de altura, além dos 3 corpos de prova de referência.

O equipamento utilizado para a realização do ensaio foi uma prensa hidráulica para ensaio de compressão axial, da marca EMIC, modelo SSH300, prensa servo-hidráulica, com capacidade máxima de 200 toneladas, com resolução de leitura de 0,1 kN, localizada no laboratório do Instituto Federal do Rio Grande do Norte – IFRN, na cidade de Mossoró – RN, como o exibido pela Figura 2.



Figura 2: Máquina utilizada nos ensaios de compressão (EMIC SSH 300). Fonte: Autores do trabalho.

A velocidade de carregamento utilizada era constante com intensidade de 0,414 MPa/s, sendo cessado apenas quando houve a ruptura do corpo de prova.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Dosagem do concreto

Para execução do teste de compressão axial, foram analisadas três dosagens diferentes: o primeiro traço contendo apenas areia natural (traço de referência), o segundo com 10% de substituição de areia natural por PET e o terceiro contendo 15% de substituição do agregado miúdo por PET.

A quantidade em massa foi determinada a partir da Equação 7, onde foi utilizada que a massa específica do PET é igual a 1,38 g/cm³ (dados teóricos) e da areia natural de 2,70 g/cm³, como determina a norma.

Como nosso objetivo era a fabricação de 3 corpos de prova para cada traço, houve o cuidado de se realizar o cálculo para 4 corpos de prova, visto que poderia haver perda de material durante o transporte e até mesmo na fabricação. Além disso, para o cálculo da massa de cada material a se utilizar, utilizamos o dado de que o corpo de prova 10x20 possui um volume de $V = 1570 \text{ cm}^3$.

A Tabela 3 mostra a composição do traço para um metro cúbico de concreto a ser produzido, restando apenas multiplicar pelo volume total dos 4 (quatro) corpos de prova para encontrar a quantidade em quilogramas (kg) a ser utilizadas.

Tabela 3. Traços de concreto com PET, composição para um metro cúbico.

Materiais	Padrão (kg/m ³)	10% de PET (kg/m ³)	15% de PET (kg/m ³)
Brita 0 ¹	1038	1038	1038
Areia (seca)	791	711,9	672,35
PET	-	37,79	56,68
Cimento	302	302	302
Água	211	211	211
Fator a/c	0,7	0,7	0,7

¹ Devido à falta da brita 1, a brita utilizada foi a brita do tipo 0.

Abatimento do tronco de cone (slump test)

A determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone é normatizada NBR NM 67:1998, sendo esta aplicável aos concretos plásticos e coesivos que apresentam um assentamento igual ou superior a 10 mm. Para o traço de referência, chamado de “Padrão” praticamente não houve abatimento, ficando em torno de 1 mm, enquanto que para o traço denominado “10% PET” o abatimento praticamente não existiu, assim como para o traço denominado “15% PET”, no qual também não houve abatimento. A Figura 3 mostra a determinação do abatimento a partir do ensaio.



Figura 3: Determinação da consistência do concreto através do abatimento do tronco de cone. Fonte: Autores do trabalho.

Analisando os resultados obtidos, percebe-se que para os três tipos de traço, o concreto possuiu abatimento do tipo verdadeiro, caracterizando um concreto pobre, de grau de trabalhabilidade muito baixo.

Ensaio de resistência a compressão

A ruptura dos corpos de prova que estavam sobre o processo de cura de 7 dias foi realizado de acordo com a norma NBR 5739:2007, que prescreve o método de ensaio pelo qual devem ser ensaiados os corpos de prova cilíndricos de concreto. Para a execução desse ensaio foram moldados 9 corpos de prova, sendo 3 para o traço de referência denominado “Padrão”, 3 para a composição denominada “10% PET” e mais 3 para a composição denominada de “15% PET”. Sendo assim, a resistência à compressão de cada corpo de prova foi obtida pela média aritmética dos 3 corpos de prova de cada composição.

A Figura 4 mostra o gráfico da tensão x deformação referente aos corpos de prova denominados “padrão”.

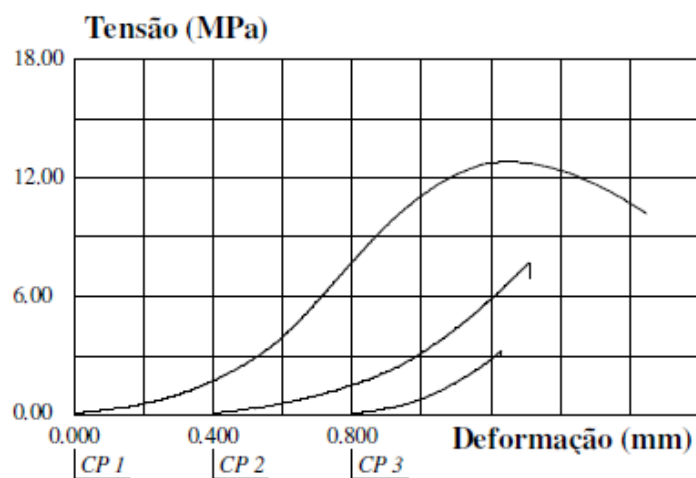


Figura 4: Tensão x Deformação dos corpos de prova referência submetidos à compressão. Fonte: Autores do trabalho.

Como observado no gráfico de tensão x deformação, houve uma grande diferença nos valores de resistência para os 3 corpos de prova ensaiados, fato esse que pode ser explicado por problemas no equipamento EMIC SSH300 durante o ensaio. Dessa forma, pela escassez de tempo em se confeccionar novos corpos de prova para refazer o teste, levou-se em consideração como valor da resistência máxima apenas o valor do primeiro corpo de prova ensaiado, visto que este está sobre os conformes das literaturas utilizadas.

A Figura 5 mostra o gráfico da tensão x deformação referente aos corpos de prova denominados “10% PET”.

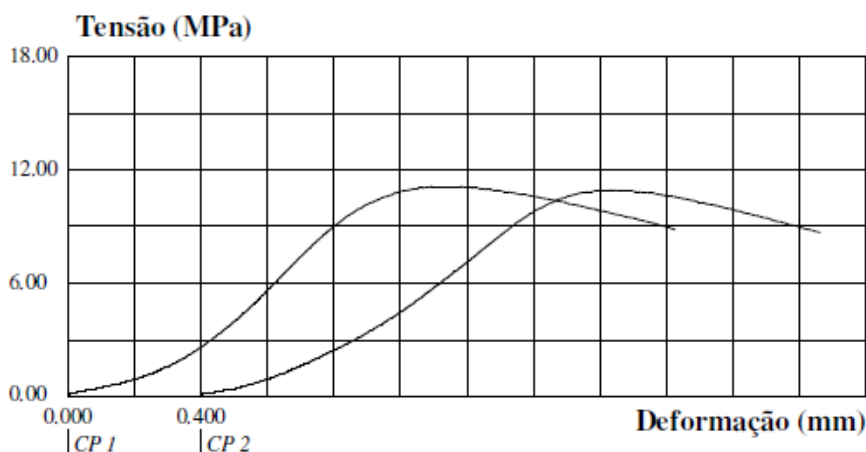


Figura 5: Tensão x Deformação dos corpos de prova “PET 10%” submetidos à compressão.

Como é possível perceber no gráfico de tensão x deformação para o traço denominado “PET 10%”, um defeito presente nas dimensões do corpo de prova número 3 tornou impossível a realização de seu ensaio, visto que este era consideravelmente menor que os outros.

A Figura 6 mostra o gráfico da tensão x deformação referente aos corpos de prova denominados “15% PET”.

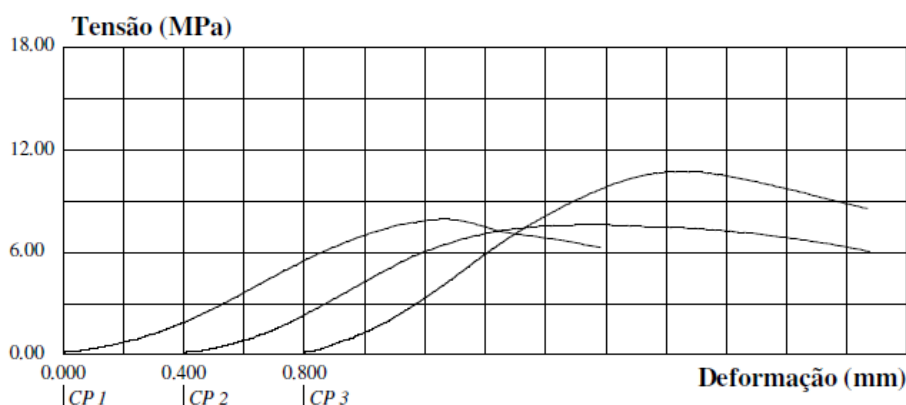


Figura 6: Tensão x Deformação dos corpos de prova “PET 15%” submetidos à compressão.

Era de se esperar que, de acordo com a literatura estudada para a realização do presente trabalho, os corpos de prova com 15% de substituição de agregado miúdo por PET (ou taxas maiores) fossem menos resistentes que os concretos com menor taxa de substituição, o fato interessante ocorreu no corpo de prova número 3, onde sua resistência foi semelhante aos valores obtidos para o traço denominado “10% PET”, fato este que pode ter sido pelo menor número de vazios obtido na confecção no corpo de prova, garantindo assim uma menor porosidade do material e, portanto, uma maior resistência.

A Tabela 4 apresenta um resumo geral com os valores de resistência dos corpos de prova ensaiados, exibindo os valores de força máxima suportada (kN), resistência à compressão (MPa) e a média das três resistências (MPa).

Tabela 4. Resistências à compressão dos corpos de prova aos 7 dias de idade.

Corpo de prova	Força máxima (kN)	Tensão máxima (MPa)	Média (MPa)
PADRÃO 1	100,78	12,83	12,83
PADRÃO 2	60,58	7,71	-
PADRÃO 3	25,58	3,26	-
10% PET 1	87,57	11,15	11,04
10% PET 2	58,81	10,93	
10% PET 3	-	-	-
15% PET 1	62,34	7,94	8,76
15% PET 2	59,88	7,62	
15% PET 3	84,26	10,73	

Como esperado de acordo com a literatura estudada, os corpos de prova com substituição de 10% de agregado miúdo (areia) por PET foram os que obtiveram melhor resistência quando não se leva em comparação ao traço padrão. Levando em consideração o traço padrão, percebe-se que todos os corpos de prova possuíram uma menor resistência, isto é, houve uma diminuição na resistência do concreto com o maior teor de substituição de areia por PET.

CONCLUSÕES

De acordo com o estudo em questão, podemos concluir que o teor de substituição de agregado miúdo provoca uma diminuição na resistência do concreto, por mais que a consistência tenha se mantido constante, isso quando se comparado com o traço padrão.

Como já citado, todos os traços de concreto fresco ensaiados no *slump test* se mostraram bem consistentes, com abatimento verdadeiro e com aspecto seco, ocorrendo assim a inexistência de abatimento para todos.

Quanto a resistência à compressão dos corpos de prova, verificou-se que uma maior a substituição de agregado miúdo por PET (ou seja, o aumento do teor de PET no concreto) provoca uma diminuição da resistência deste material, fato este devido a própria resistência do PET ser inferior à da areia e sua granulometria não ser capaz de preencher a maioria dos vazios, o que diminuiria sua fissuração. Isto implica que por essa perspectiva a substituição não se torna viável, visto que o compósito proveniente não poderá ser utilizado para fins estruturais, por não estar em conformidade com a NBR 8953 (2015).

Todavia, há um apelo sustentável quanto ao descarte indevido das embalagens produzidas com esse plástico, dessa forma o compósito torna-se uma alternativa ecológica para utilização em construções que não necessitem de uma elevada resistência à compressão, como em tijolos de concreto para calçadas, além de bancos, sarjetas, escadas, dentre outros, posto que a resistência exigida para essas construções se encontram na faixa de 10 MPa e 15 MPa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 5738**: Concreto- Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. 2 ed. Rio de Janeiro, 2015. 9 p.
2. _____. **NBR 5739**: Concreto- Ensaios de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. 2 ed. Rio de Janeiro, 2007. 9 p.
3. _____. **NBR 8953**: Concreto para fins estruturais - Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência. Rio de Janeiro, 2015. 3 p.
4. _____. **NBR NM 26**: Agregados - Amostragem. 2 ed. Rio de Janeiro, 2009. 10 p.
5. _____. **NBR NM 27**: Agregados - Redução da amostra de campo para ensaios de laboratório. 1 ed. Rio de Janeiro, 2001. 7 p.
6. _____. **NBR NM 67**: Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. 1 ed. Rio de Janeiro: Abnt, 1998. 8 p.
7. BAUER, L. A. F. **Materiais de Construção**: Novos Materiais para Construção Civil. 1.v. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2013. 471 p.
8. BEZERRA, M. N.; MANCINI, Sandro D.; ZANIN, Maria. **Reciclagem de PET Advindo de Garrafas de Refrigerante Pós-Consumo**. Revista Polímeros: Ciência e Tecnologia, São Carlos, v. 8, n. 2, p.68-75, abr. 1998.

9. FIGUEIREDO, A. D. de. **Concreto reforçado com fibras**. 2011. 248 f. Tese (Doutorado) - Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil, Departamento de Engenharia de Construção Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.
10. GUELBERT, T. F. et al. **A embalagem PET e a reciclagem**: uma visão econômica sustentável para o planeta. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 27, 2007, Foz do Iguaçu. Enegep. Foz do Iguaçu: Enegep, 2007. p. 1 - 11.
11. HENDRIKS, C. F.; PIETERSEN, H. S. Concrete: durable, but also sustainable? In: DHIR, R. K.; HENDERSON, N. A.; LIMBACHIYA, M. C. (Eds.). **Sustainable Construction: Use of Recycled Concrete Aggregate**. London: Thomas Telford Pub., 1998. p. 1-18.
12. JOHN, V. M. **Reciclagem de resíduos na construção civil**: Contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento. 2000. 113 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Construção Civil, Engenharia de Construção Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.
13. LEITE, M. B. **Avaliação de Propriedades Mecânicas de Concretos Produzidos Com Agregados Reciclados Com Resíduos de Construção e Demolição**. 2001. 290 f. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.
14. PELISSER, F. **Avaliação do Desempenho de Concreto Reforçado com Fibras de Polietileno Tereftalato (PET)**. 2002. 127 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.
15. SILVA, G.R. **Manual de traços de concreto**. São Paulo: Nobel, 1975.