

ESTUDO COMPARATIVO A RESPEITO DA ADIÇÃO DE FIBRAS DE POLITEREFTALATO DE ETILENO (PET) EM CONCRETOS PERMEÁVEIS NÃO ESTRUTURAIS

Matheus Augusto Diógenes Araújo¹, Daniela da Costa Leite Coelho²

¹ Graduando do Curso Bacharelado em Ciência e Tecnologia, UFRSA, Mossoró - Rio Grande do Norte, Fone (84) 98800-3902. E-mail: ddiotheus@gmail.com. Autor(a) apresentador(a) correspondente *.

² Doutora em Manejo de Solo e Água, Professora Adjunta, UFRSA, Mossoró - Rio Grande do Norte, Fone (84) 98830-9726. E-mail: daniela.coelho@ufersa.edu.br.

Resumo: O crescimento das cidades traz consigo diversas consequências negativas à população – como as enchentes, por exemplo – caso não haja um planejamento urbano adequado que seja capaz de suprir as necessidades da sociedade como um todo. Essas enchentes resultam de diversos fatores, que vão desde o processo de impermeabilização dos solos até a má disposição final dos resíduos sólidos. Visando diminuir os problemas causados pelas enchentes, bem como contribuir com uma disposição final adequada de garrafas PET, as quais constituem uma grande parte dos resíduos sólidos urbanos, o presente trabalho teve como objetivo verificar se a inserção de fibras PET na fabricação de concretos permeáveis pode trazer melhorias para este tipo de concreto não estrutural. Através de ensaios de permeabilidade e resistência à compressão e à tração realizados em laboratórios, foi possível verificar que as fibras agregam algumas melhorias nas propriedades de resistência do concreto, pois os corpos de prova apresentaram maiores valores de resistência para os traços com 1,25% e 2,5% de fibras (T2 e T3, respectivamente), sem comprometer a sua permeabilidade. No entanto, foi observado que para maiores quantidades de fibras, esses valores podem sofrer um leve decréscimo. Apesar disso, pode-se concluir que essas fibras, mesmo em pequenas quantidades, são uma boa alternativa na fabricação de concreto permeável, pois além de agregar melhorias ao mesmo, elas acabam por obterem outra finalidade ao invés de simplesmente serem depositadas em aterros sanitários.

Palavras-chave: Urbanização; Impermeabilização; Ensaios; Resistência; Sustentabilidade.

1. INTRODUÇÃO

O processo de urbanização das cidades, aliado à falta de um planejamento adequado das mesmas, traz diversas consequências negativas para a população. As enchentes, por exemplo, representam um desses problemas, já que a mesma se faz presente com frequência no cotidiano de diversos brasileiros. Através de um estudo realizado pelo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), em parceria com o Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN), apontava-se que em 2010 cerca de 8,2 milhões de pessoas estavam vivendo em áreas com risco de enchentes ou deslizamentos de terra (VETTORAZZO, 2017) [1].

Essas enchentes são causadas, na maioria das vezes, por conta da impermeabilização dos solos, que decorre do processo de ocupação urbana, levando em consideração o fato de que as áreas permeáveis são cobertas por edificações. Isso acarreta, diretamente, na falta de absorção natural das águas pelo solo, que tendem a ficar retidas na superfície e provocar problemas à população. Além disso, as superfícies impermeáveis também estão relacionadas a alterações na qualidade da água. Os poluentes e sedimentos que ficam depositados sobre as superfícies impermeáveis acabam sendo transportados aos corpos d'água pelas águas das chuvas, caracterizando a poluição difusa (ESTEVEZ, 2006) [2].

Visando diminuir os impactos causados pela impermeabilização dos solos, diversos estudos vêm sendo realizados ao longo dos anos em busca de tecnologias mais limpas que sejam capazes de possibilitar uma melhor absorção das águas pluviais em pavimentações. O concreto permeável, utilizado em pavimentos permeáveis, por exemplo, representa uma dessas tecnologias. Mesmo apresentando registros de bastante utilização nos Estados Unidos e alguns países da Europa, no Brasil pouco se discute sobre o tema, ainda que o mesmo seja uma boa opção para reduzir os problemas supracitados.

O concreto permeável, também conhecido como concreto poroso ou concreto drenante, é um tipo de material onde utiliza-se pouca quantidade de finos na sua preparação, com a finalidade de não comprometer o espaçamento entre os poros e dificultar a passagem de água entre os mesmos. Além disso, na sua composição, estão presentes

o Cimento Portland, agregados graúdos, água e alguns aditivos que possam atribuir ao material um melhor desempenho, trabalhabilidade, durabilidade e resistência (MONTEIRO, 2010) [3].

Reduzir a quantidade de agregado miúdo na mistura do concreto, bem como eliminá-lo completamente desta, poderá provocar um aumento de 15 a 25% no índice de vazios, que acaba acarretando diretamente numa melhor percolação de águas pluviais entre os poros do pavimento permeável – já que eles estarão mais livres devido à falta de materiais finos para preenchê-los –, diminuindo consideravelmente o problema da precipitação das águas na superfície (HENDERSON et al, 2009) [4].

Essa capacidade de percolação das águas pluviais através da utilização de pavimentos construídos com o concreto permeável traz benefícios tanto econômicos quanto ambientais à população, levando em consideração o fato de que grandes obras de drenagem, por exemplo, pudessem ser repensadas antes de serem executadas, diminuindo consideráveis impactos ambientais (RAMOS, 2018) [5].

Alguns estudos informam que pavimentos que possuem revestimentos com o concreto permeável apresentam certa eficiência na eliminação de alguns fenômenos, como o da aquaplanagem – devido à ausência de lâminas d'água na superfície – controle da erosão do solo e diminuição de ruído proveniente do atrito entre os pneus dos veículos em contato com a via pavimentada (PINTO, 2011) [6].

A utilização de pavimentos revestidos com o concreto permeável contribui de forma positiva para a manutenção de aquíferos subterrâneos. Além disso, como supracitado, este tipo de pavimento coopera para uma melhor utilização do solo devido não ser necessária – ou de baixa necessidade – a construção de sistemas de drenagem (RAMOS, 2018)[5].

Objetivando não só reutilizar resíduos descartados de forma indevida no ambiente, mas também conferir ao material em estudo melhorias em suas propriedades físico-mecânicas, entra em questão a inserção de fibras de Politereftalato de Etileno (PET) na sua composição, pois ao agregá-las ao cimento, é possível perceber melhorias em algumas características como no controle de fissuração, aumento da carga pós ruptura, aumento da durabilidade e resistência do concreto a ruptura (CORÓ, 2002) [7].

O PET é utilizado principalmente em garrafas para água, refrigerante e outras embalagens, o que o torna como um grande componente dos resíduos sólidos urbanos. Quando não possui um fim adequado, o mesmo pode acarretar em diversos problemas à natureza, como o acúmulo do material em aterros, a redução da biodiversidade nos oceanos, entre outros.

Outra característica a respeito deste polímero, pertencente a classe dos poliésteres aromáticos, está relacionada com o fato de ser um dos principais tipos de materiais plásticos rejeitados pós-consumo. Isso ocorre devido ao material possuir uma alta escala de produção e, conseqüentemente, rápida descartabilidade, que acaba por gerar um crescente acúmulo de resíduos sólidos em aterros sanitários (PEZZIN, 2007) [8].

Quando depositados em aterros sanitários, por exemplo, tais resíduos demoram cerca de 400 anos para completar o processo de degradação. Neste tempo, o PET provoca uma diminuição na capacidade de percolação dos gases e líquidos provenientes do aterro, aumentando, conseqüentemente, o tempo necessário para que a matéria orgânica se estabilize (MENESES, 2011) [9].

Devido ao aparecimento de fissuras em concretos convencionais, as fibras PET vêm sendo bastante utilizadas como reforço para minimizar os efeitos produzidos por esse fenômeno (MENESES, 2011) [9]. Essas fissuras podem surgir no processo de hidratação do cimento – por conta da elevação térmica –, por uma rápida secagem do concreto em estado fresco ou por assentamento plástico, que acabam provocando uma redução na resistência à tração do material (CORÓ, 2002) [7].

Diante do exposto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a influência da inserção de diferentes proporções de fibras PET na fabricação de concreto permeável não estrutural, bem como fazer um comparativo dos resultados obtidos das propriedades físico-mecânicas analisadas para concretos permeáveis, com e sem a adição da fibra.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1 Metodologia

O presente trabalho caracteriza-se como uma pesquisa experimental, levando em consideração que este atenta-se em fazer um comparativo entre as propriedades de resistência e permeabilidade de concreto permeável com diferentes teores de fibras PET, ou seja, estudar a influência da variação desse material no comportamento físico-mecânico deste tipo de concreto não estrutural.

A primeira etapa deste trabalho foi realizar uma pesquisa bibliográfica através de monografias, livros, artigos e sites, visando não só compreender melhor o que é, de fato, um concreto permeável não estrutural e o que o diferencia do concreto comum – utilizado na construção de edificações –, mas também quais materiais são utilizados para fabricá-los e como eles podem adquirir melhorias nas suas propriedades, através de aditivos ou outros materiais que não possuam um destino adequado depois de descartados.

Realizada a pesquisa, partiu-se para a execução da caracterização dos materiais a serem utilizados no experimento, bem como a determinação dos traços para a produção dos corpos de prova. A maior parte dos materiais utilizados na confecção dos corpos de prova, como o cimento, agregado, água e outros utensílios, foi

disponibilizada pelo laboratório de construção civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia (IFRN) – Campus Mossoró/RN, onde foi realizado a confecção e rompimento dos corpos de prova – que nada mais são do que blocos moldados com concreto para a realização de ensaios de resistência e verificar se o material está adequado para uso em obras. Os moldes utilizados para a moldagem dos corpos de prova foram disponibilizados pela Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA) – Campus Mossoró/RN.

2.1.1 Dosagem

Para a caracterização e seleção dos materiais, foi necessário considerar a sua disponibilidade no local onde foi realizada a concretagem, ou seja, no laboratório de construção civil do instituto supracitado. Neste trabalho, os materiais utilizados (Figura 1) para a fabricação dos corpos de prova são apresentados a seguir:

- a) Cimento Portland com Adição de Escória: CP II – E;
- b) Brita 1, granítica;
- c) Água, proveniente da rede municipal de Mossoró;
- d) Fibras de Politereftalato de Etileno (PET).



Figura 1. Materiais utilizados para a moldagem dos corpos de prova. Fonte: Autoria própria.

A dosagem não seguiu um método normalizado. Dessa forma, para a determinação do traço utilizado na produção dos corpos de prova, seguiu-se o padrão empregado em outros trabalhos, como no de Gustavo Moreira Ramos, em “Análise das propriedades do concreto permeável com adição de agregado miúdo e resíduo (cinza de madeira)” (RAMOS, 2018) [5], que aborda a mesma temática e obteve bons resultados com o traço utilizado. Assim, o traço 1:4 para a relação cimento e agregado foi o adotado neste trabalho. O agregado usado para este trabalho foi a brita 1, levando em consideração o fato de que um maior diâmetro acarreta um maior índice de vazios e, conseqüentemente uma maior facilidade para o escoamento da água, já que o foco desta pesquisa está mais voltado para um concreto funcional e não estrutural.

Já para a relação água-cimento, o critério de escolha foi baseado na pesquisa de Lian e Zhuge (2010) [10], em que foi examinada a melhor relação para a fabricação de concretos permeáveis. Nesta obra, foi perceptível a presença de uma boa curva para a relação, onde os valores de estudo estavam no intervalo de 0,30 a 0,38. No entanto, foi constatado que concretos permeáveis produzidos com relação superior a 0,34 apresentavam um comprometimento na resistência, enquanto aqueles produzidos com relação 0,32 obtiveram os melhores resultados. Dessa forma, para este trabalho, optou-se por utilizar a relação 0,33 para objeto de estudo.

As fibras utilizadas foram provenientes de garrafas PET recicladas, cortadas manualmente com comprimento de 10cm (para ficar com metade da dimensão da altura dos corpos de prova cilíndricos) e espessura de 3mm, passando depois por um processo de lavagem para a retirada de qualquer material indesejado que estivesse sobre a sua superfície, conforme pode ser observado na Figura 2.



Figura 2. Fibras PET depois de cortadas, lavadas, pesadas e separadas. Fonte: Autoria própria.

2.1.1.1 Corpo de prova cilíndrico

Para a fabricação dos corpos de prova cilíndricos foi mantida a mesma quantidade de água, cimento e agregado. Para a dosagem do traço de referência (testemunha – T1) não houve a utilização de fibra PET, enquanto para a dosagem dos traços 2, 3 e 4 (T2, T3 e T4) foram utilizadas, respectivamente, uma quantidade de 1,25%, 2,5% e 5% de fibra PET em relação a massa do cimento. A Tabela 1 a seguir refere-se a quantidade de cada material utilizado na produção de um corpo de prova cilíndrico de dimensões 10x20cm.

Tabela 1. Material necessário para a produção de um corpo de prova cilíndrico. Fonte: Autoria própria.

Traço	Cimento	Agregado (brita 1)	Água	Fibra PET
T1	480g	1920g	158g	0g
T2	480g	1920g	158g	6g
T3	480g	1920g	158g	12g
T4	480g	1920g	158g	24g

2.1.1.2 Corpo de prova cúbico

Já para a fabricação dos corpos de prova cúbicos, a serem utilizados no teste de permeabilidade, os traços foram mantidos, porém a quantidade de material utilizado para produzir um corpo de prova de dimensões 10x10x10cm foi diferente, como consta na Tabela 2. Outra diferença se deu nas dimensões da fibra, que passaram a adquirir um comprimento de 5cm e espessura de 3mm para ficar com a metade da dimensão da altura do corpo de prova cúbico e, conseqüentemente, uma melhor acomodação dentro do molde.

Tabela 2. Material necessário para a produção de um corpo de prova cúbico. Fonte: Autoria própria.

Traço	Cimento	Agregado (brita 1)	Água	Fibra PET
T1	300g	1200g	99g	0,00g
T2	300g	1200g	99g	3,75g
T3	300g	1200g	99g	7,50g
T4	300g	1200g	99g	15,00g

2.1.2 Produção e cura do concreto

Depois da caracterização dos materiais, deu-se início a produção do concreto permeável e posterior moldagem e cura dos corpos de prova, onde seguiu-se a Norma Técnica Brasileira, da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT-NBR 5378, 2015) [11] para todos os traços. Os equipamentos utilizados nesta etapa foram os moldes metálicos cilíndricos de dimensões 10x20cm, moldes metálicos cúbicos de dimensões 10x10x10cm (ambos revestidos internamente com uma fina camada de lubrificante para facilitar o desmolde), espátulas, um soquete cilíndrico e a betoneira, para realizar o preparo do concreto. No total foram produzidos 16 corpos de prova cilíndricos (os quais passaram pelos testes de resistência) e 4 corpos de prova cúbicos, utilizados no teste de permeabilidade.

2.1.2.1 Produção dos corpos de prova cilíndricos

Este foi preparado com a adição da brita na betoneira, seguida de uma parcela de água, a inserção das fibras – com exceção do traço de referência – e o cimento. Durante o processo, foi perceptível que conforme uma maior quantidade de fibras na mistura, mais difícil era alcançada a sua homogeneização. O restante da água foi sendo acrescentado aos poucos e a mistura seguiu na betoneira até tornar-se homogênea. Depois de pronta, esta foi sendo inserida nos moldes em duas camadas, onde ao final de cada uma era realizado o processo de compactação, executando-se 12 golpes em locais diferentes, com o auxílio do soquete, para uma melhor distribuição do material.

Passada esta etapa, os corpos de prova seguiram para o processo de cura, a qual iniciou-se logo após o processo de moldagem e prosseguiu durante 24h, com a finalidade do concreto atingir o seu estado endurecido. Terminada a primeira etapa, o processo de desmolde dos corpos de prova foi realizado e deu-se início a segunda etapa de cura, a qual ocorreu durante os outros 27 dias, e os corpos de prova ficaram submersos em água até atingirem a sua máxima resistência. Encerrado o processo de cura, estes seguiram para os ensaios de resistência e permeabilidade.

2.1.2.2 Produção dos corpos de prova cúbicos

A execução desta etapa foi similar a anterior. No entanto, as diferenças giraram em torno da mistura da massa de concreto – a qual ocorreu de forma manual e não na betoneira, já que a quantidade de concreto a ser produzida era menor –, assim como na etapa de cura, pois estes corpos de prova não precisaram passar pela cura úmida, já que para o teste de permeabilidade, não era necessário esperar o concreto atingir a sua máxima resistência aos 28 dias.

2.1.3 Ensaios de controle

Passada a etapa da produção e cura dos corpos de prova, deu-se início a realização dos seguintes ensaios com a finalidade de observar os aspectos positivos e negativos obtidos com a fabricação do concreto permeável com e sem a inserção das fibras em sua composição.

2.1.3.1 Ensaio de abatimento do tronco de cone – *Slump Test*

A consistência do concreto fresco foi determinada pelo ensaio de abatimento do tronco de cone (Figura 3), também conhecido como Slump Test, de acordo com a NBR NM 67 (ABNT, 1998) [12]. O ensaio foi realizado inserindo a massa de concreto em três camadas distintas, onde ao final de cada camada eram aplicados 25 golpes com a haste de aço, seguida da retirada do molde e medição do assentamento do concreto.



Figura 3. Realização do Slump Test. Fonte: Autoria própria.

2.1.3.2 Ensaio de resistência à compressão

A avaliação da resistência à compressão dos corpos de prova do presente trabalho se deu pela NBR 5739 (ABNT, 2018) [13]. O ensaio foi realizado logo após encerrada a etapa de cura dos corpos de prova, aos 28 dias depois do seu processo de fabricação.

Antes de passar pelo ensaio de compressão em si (Figura 4), realizado no Laboratório de Materiais de Construção da Universidade Potiguar – Campus Mossoró, os corpos de prova passaram por uma retífica, no mesmo laboratório, com a finalidade de adquirir uma superfície mais uniforme e obter uma melhor distribuição de carga na máquina do ensaio.



Figura 4. Corpo de prova na retificadora, seguido para a máquina de ensaio. Fonte: Autoria própria

2.1.3.3 Ensaio de resistência à tração por compressão diametral

O ensaio de resistência à tração por compressão diametral (Figura 5) se deu pela NBR 7222 (ABNT, 2011) [14], sendo realizado no Laboratório de Construção Civil do IFRN – Campus Mossoró, através de uma prensa manual – após encerrado o processo de cura – manuseada pelo técnico do laboratório, onde os corpos de prova ficaram posicionados de forma que o plano axial definido pelas geratrizes diametralmente opostas recebesse o carregamento e coincidisse com o eixo de aplicação da carga. Feito isso, foi aplicado um carregamento sobre os mesmos.



Figura 5. Ensaio de resistência à tração por compressão diametral. Fonte: Autoria própria

2.1.3.4 Ensaio de permeabilidade

Com relação a permeabilidade do concreto, não foi realizado nenhum ensaio normalizado por alguma NBR devido à falta dos equipamentos necessários na região onde o trabalho foi desenvolvido. No entanto, para testar este parâmetro, foram produzidos corpos de prova cúbicos – com os diferentes teores de fibra PET – para serem submetidos a passagem de água e observar como ocorre o seu escoamento através dos vazios presentes neste tipo de concreto.

A água foi despejada em uma quantidade de 400ml, a uma altura de 5cm em relação a superfície do corpo de prova, o qual estava sobre um becker graduado de 500ml (Figura 6) e, em seguida, foi medida a quantidade de água passante pelos corpos de prova.



Figura 6. Teste de permeabilidade. Fonte: Autoria própria

2.2. Resultados e Discussões

2.2.1 Trabalhabilidade

A NBR NM 67 (ABNT, 1998) [12] afirma que o ensaio deve ser desconsiderado e realizado novamente caso ocorra o desmoronamento da massa de concreto ao realizar o desmolde, impedindo a medição do assentamento. Caso aconteça novamente, o concreto não é necessariamente considerado plástico e coeso para a aplicação deste ensaio, ou seja, pode-se concluir que o mesmo apresenta uma baixa trabalhabilidade.

No presente trabalho, ao realizar os ensaios de abatimento para todos os traços, ocorreu o desmoronamento (Figura 7) da massa de concreto nas duas medições.



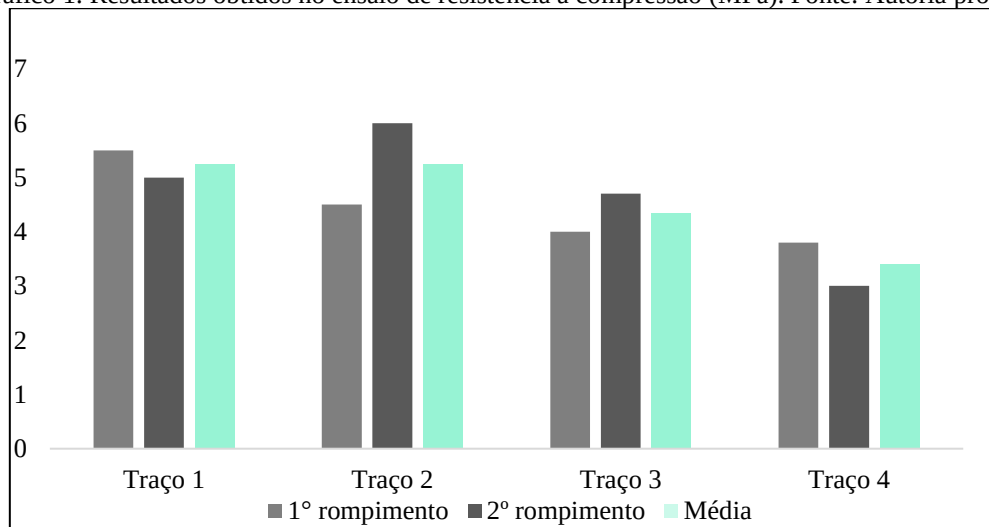
Figura 7. Resultado do Slump Test. Fonte: Autoria própria

Na realização deste ensaio, foi possível perceber que não houve, em nenhum tipo de traço, o assentamento da massa de concreto após a retirada do molde. Dessa forma, é possível concluir que o concreto em questão, fabricado com os materiais listados e nas proporções supracitadas, possui uma baixa trabalhabilidade. Esse resultado foi bastante perceptível durante a moldagem dos corpos de prova com o concreto já homogeneizado pela betoneira, pois a retirada do material desta máquina se dava de forma complicada, ou seja, o aumento da concentração de fibras provocava uma redução na trabalhabilidade do produto final.

2.2.2 Resistência à compressão

A resistência à compressão é um dos resultados mais importantes quando deseja-se analisar as propriedades físico-mecânicas do concreto. Os dados referentes ao ensaio de compressão realizado em laboratório seguem no Gráfico 1, o qual compara a resistência atingida pelos corpos de prova com diferentes teores de fibra PET.

Gráfico 1. Resultados obtidos no ensaio de resistência à compressão (MPa). Fonte: Autoria própria.



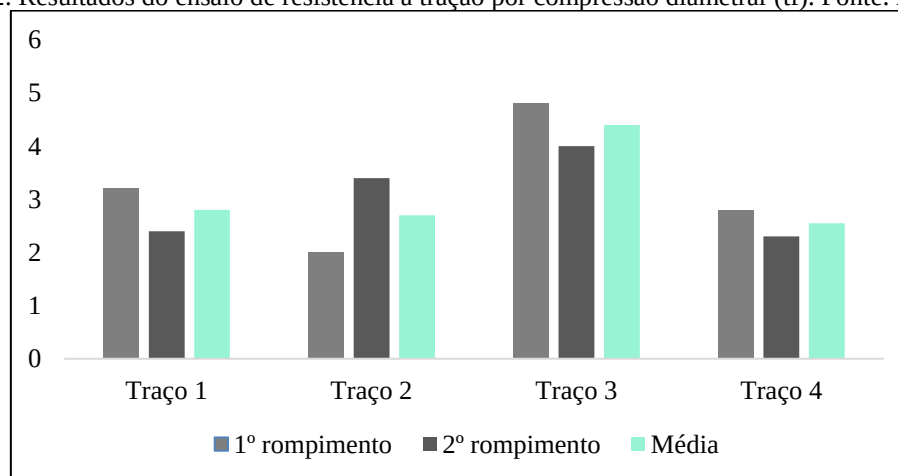
Pelos dados apresentados no gráfico acima, é possível perceber que os corpos de prova com 1,25% de fibra PET, o traço 2 (T2), apresentou resultados satisfatórios e bem semelhantes aos corpos de prova sem a adição de fibras na mistura de concreto (testemunha – traço 1, T1), os quais atingiram, em média, valores de resistência de 5,6MPa e 5,7MPa, respectivamente.

Além disso, é possível verificar que os corpos de prova com um maior teor de fibras apresentaram um decréscimo em sua resistência, atingindo valores inferiores a 5MPa. Isso pode ter ocorrido devido a um certo aumento de vazios indesejáveis nos corpos de prova por conta do tamanho das próprias fibras, tendo em vista que as dimensões destas acabaram por comprometer o acomodamento das partículas de agregado utilizado na fabricação da massa de concreto. Assim, acredita-se que dimensões menores de fibras poderiam, de certa forma, diminuir a presença desses vazios criados e, de certa forma, aumentar a resistência.

2.2.3 Resistência à tração

Após a aplicação do carregamento sobre os corpos de prova através da prensa manual, foi possível chegar aos seguintes resultados disponíveis no Gráfico 2.

Gráfico 2. Resultados do ensaio de resistência à tração por compressão diametral (tf). Fonte: Autoria própria.



Pelo gráfico acima, é possível observar que os corpos de prova fabricados com 2,5% de fibra PET (traço 3 – T3) apresentaram um resultado satisfatório quando comparados aos outros corpos de prova fabricados com diferentes teores de fibra, pois obtiveram, em média, valores de 5,8tf e 2,9tf, respectivamente.

Esse resultado apresentou-se como uma melhoria ao concreto quando se fala no aumento da resistência à tração, tendo em vista que para esse teor de fibra, a resistência à tração atingiu valores próximos a 5tf. No entanto, é possível perceber que de acordo com o aumento do teor de fibras, menor é a resistência atingida pelos corpos de prova.

Isso se deve, como explicado anteriormente, ao aparecimento de vazios indesejáveis nos corpos de prova devido a uma grande quantidade de fibras presentes na mistura de concreto nas dimensões em que foram produzidas.

Acredita-se que se estas possuíssem um menor comprimento, melhor seria a homogeneização do concreto, bem como o acomodamento das partículas de agregado, o que poderia contribuir para um melhor resultado.

Com relação ao aumento da resistência, foi verificado que as fibras dificultaram a ruptura dos corpos de prova quando submetidos ao carregamento proveniente da máquina de ensaio, como mostra na Figura 8, devido ao fato de estas serem capazes de conseguir diminuir o efeito trativo produzido pelos esforços aplicados.

Dessa forma, foi verificado que os resultados práticos confirmam o que foi supracitado, pois quanto maior a quantidade de fibras – até um determinado ponto –, menor foi a ocorrência do corpo de prova tender a se partir ao meio.



Figura 8. Corpos de prova com 0% e 2,5% de fibra PET, respectivamente. Fonte: Autoria própria.

2.2.4 Permeabilidade

Como citado anteriormente, não foi realizado nenhum ensaio normalizado por alguma NBR para verificar o parâmetro da permeabilidade. No entanto, o teste realizado, mesmo que não normalizado, foi suficiente para mostrar que a permeabilidade, para todos os traços, não foi comprometida.

Dos 400ml de água despejados diretamente sobre o corpo de prova, em todos os casos foi medido, diretamente no becker uma quantidade de água passante igual a 375ml, ou seja, apenas 6,25% da água despejada ficou retida nos corpos de prova, já que estavam previamente secos, e os outros 93,75% passaram pelos vazios característicos deste tipo de concreto. Esse resultado, de fato, confirma que concretos permeáveis com pouca ou nenhuma quantidade de finos na sua composição apresentam uma boa taxa de permeabilidade, como mostra a Figura 9.



Figura 9. Concreto permeável com 5% de fibra PET durante teste de permeabilidade. Fonte: Autoria própria.

3. CONCLUSÕES

Diante do que foi exposto ao longo deste trabalho, é possível observar que a inserção de fibras PET na fabricação de concreto permeável não estrutural pode ser uma boa alternativa sustentável, levando em consideração não só as melhorias que estas agregam – mesmo que pequenas – às propriedades de resistência do concreto, mas também o fato de a quantidade de resíduos sólidos descartadas no meio ambiente ser reduzida.

Em termos de resistência, o que pôde ser observado foi que a adição de fibras PET na composição do material ocasionou um leve aumento neste quesito quando analisados os resultados do ensaio de compressão e tração, onde o último obteve um melhor desempenho que o primeiro.

No entanto, foi perceptível que nos dois ensaios o que ocorreu, de fato, foi um decréscimo nos valores de resistência quando elevado os teores de fibra PET na mistura de concreto, por conta do tamanho em que estas foram confeccionadas.

Acredita-se que se as fibras tivessem sido produzidas com uma menor dimensão de comprimento – com 5cm, por exemplo –, a sua inserção na mistura de concreto teria se dado de forma mais eficiente e, por consequência, os valores de resistência poderiam ter um aumento mais considerável. Outra característica a ser observada neste quesito de resistência foi a ausência de agregado miúdo na fabricação do concreto, já que se por ventura houvesse uma parcela – mesmo que pequena – de areia ou outro material composto por partículas de dimensões menores que a brita 1, a resistência do concreto apresentaria valores mais elevados, já que o material preencheria os vazios presentes nos corpos de prova.

Com relação a permeabilidade, foi perceptível que o aumento do teor de fibras não diminui a capacidade de percolação da água pelos vazios do concreto já que, em todos os casos, a quantidade de água passante pelos corpos de prova, medida diretamente no becker após o teste de permeabilidade, foi a mesma. Esse resultado só foi possível devido a presença dos poros no concreto, os quais não foram obstruídos devido à ausência de material fino para preenche-los.

Dessa forma, portanto, pode-se concluir que os traços T2 e T3 (os quais representam uma inserção de 1,25% e 2,5%, respectivamente, de fibra em relação a massa de cimento) são os mais eficientes para este trabalho, pois foram os que apresentaram os resultados mais favoráveis quando comparado aos outros traços. Como ambos os traços apresentaram praticamente o mesmo resultado, recomenda-se a fabricação do concreto permeável seguindo o traço T3, já que uma maior utilização de fibras reduziria a quantidade de garrafas PET depositadas em aterros. Além disso, é possível concluir que o objetivo do trabalho foi atingido, tendo em vista que o estudo realizado mostrou que as garrafas PET – ao invés de serem descartadas, gerando mais resíduos em aterros – podem ser transformadas em fibras e inseridas na mistura de concreto e que o produto final pode ser utilizado em situações onde não haja grande solicitação de esforços, como em calçadas, meio fio, passarelas de jardim e em outros locais.

Para trabalhos futuros, em função de uma melhor avaliação sobre o desempenho do concreto estudado neste trabalho, sugere-se como pesquisa a realização de novos ensaios com diferentes teores, formatos e tamanhos de fibra PET para ver até onde estas são capazes de trazer melhorias no requisito de resistência ao concreto, bem como testar a possibilidade de utilizar uma certa quantidade de agregado miúdo para potencializar esse resultado, sem comprometer a sua permeabilidade.

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] VETTORAZZO, L. IBGE aponta 8,2 milhões sob risco de enchente ou deslizamento no Brasil. Disponível em: <<https://www1.folha.uol.com.br/cotidiano/2018/06/ibge-aponta-82-milhoes-vivendo-em-area-de-risco-no-brasil.shtml>>. Acesso em: 25 de abr. 2019.
- [2] ESTEVES, R. L. (2006). Quantificação das Superfícies Impermeáveis em Áreas Urbanas por Meio de Sensoriamento Remoto. Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Publicação PTARH.DM-091/06, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 106p.
- [3] MONTEIRO, A. C. N. Concreto poroso: dosagem e desempenho. 2010. 36f. Dissertação (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Goiás. Goiânia, Goiás.
- [4] HENDERSON, V.; TIGHE, S. L.; NORRIS, J. Pervious Concrete Pavement. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board. v. 2095, p. 13–21, Nov. 2009.
- [5] RAMOS, G. M. Análise das propriedades do concreto permeável com adição de agregado miúdo e resíduo (cinza de madeira). 2018. 90f. Dissertação (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina. Centro Tecnológico de Joinville. Joinville, Santa Catarina.

-
- [6] PINTO, L. L. C. A. O Desempenho de Pavimentos Permeáveis como Medida Mitigadora da Impermeabilização do Solo Urbano. USP- Biblioteca Digital. São Paulo, SP 2011. Disponível em <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3147/tde-31082011-160233/pt-br.php>. Acesso em 21/06/2019: s.n.
- [7] CORÓ, A. G. Investigação das propriedades mecânicas de concretos reforçados com fibras pet. 2002. 64f. Dissertação (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul. Departamento de Tecnologia. Ijuí, Rio Grande do Sul.
- [8] PEZZIN, A. P. T., Reciclagem química de embalagens de PET pós-consumo: Síntese de novos co-polímeros biodegradáveis, Notas de aula, UNIVILLE, Joinville, SC, Brasil, 2007.
- [9] MENESES, I. A. Avaliação de concreto com adição de fibras de pet submetido a altas temperaturas. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Centro de Tecnologia. 2011.
- [10] LIAN, C. ZHUGE, Y. Optimum mix design of enhanced permeable concrete – An experimental investigation. Elsevier Journal Constrution and Building Materials v24, Iss: 12 pg.: 2664-2671.2010.
- [11] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5738: Concreto — Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. 2 ed. Rio de Janeiro: ABNT 2015, 2015a. 9 p.
- [12] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 67: Concreto — Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro: ABNT 1998, 1998. 8p.
- [13] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5739: Concreto — Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, 2018, 2018. 9p.
- [14] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7222: Concreto e argamassa – Determinação da resistência à tração por compressão diametral dos corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, 2011, 2011. 5p.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA
Centro de Ciências Exatas e Naturais – CCEN

ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Às 14:30 horas do dia cinco de agosto de dois mil e dezenove, no Auditório do Centro de Engenharias – CE, Leste, da Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA, reuniu-se a Banca Examinadora de defesa de trabalho de conclusão de curso de autoria do aluno **MATHEUS AUGUSTO DIÓGENES ARAÚJO**, aluno do curso de Bacharelado em Ciência e Tecnologia desta universidade, N° de matrícula **2016010320**, com o título **“ESTUDO COMPARATIVO A RESPEITO DA ADIÇÃO DE FIBRAS DE POLITEREFTALATO DE ETILENO (PET) EM CONCRETOS PERMEÁVEIS NÃO ESTRUTURAIS.”**. A Banca Examinadora ficou assim constituída por três membros: Profª. Drª. DANIELA DA COSTA LEITE COELHO, presidente da banca e orientadora do Trabalho de Conclusão de Curso; engenheira civil CAMILA GABRIELLE DE ARAÚJO SANTOS, engenheiro civil ARTHUR LEOCÁDIO COSTA E SILVA, como membros. Concluída a defesa, procedeu-se o julgamento pelos membros da banca examinadora, tendo o aluno obtido as seguintes notas: 10,0 ; 10,0 ; 10,0. Apuradas as notas verificou-se que o aluno foi aprovado com média geral dez vírgula zero (10,0). E para constar, eu, DANIELA DA COSTA LEITE COELHO, lavrei a presente ata que, após lida e aprovada pelos membros da banca examinadora, será assinada por todos.

Mossoró, 05 de agosto de 2019.

Assinatura dos membros da Banca Examinadora.

Daniela da Costa Leite Coelho
Profª. Drª. DANIELA DA COSTA LEITE COELHO – UFERSA/Mossoró-RN
Presidente e orientadora

Camila Gabrielle de Araújo Santos
CAMILA GABRIELLE DE ARAÚJO SANTOS
Primeiro Membro

Arthur Leocádio Costa e Silva
ARTHUR LEOCÁDIO COSTA E SILVA
Segundo Membro



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA
Centro de Ciências Exatas e Naturais – CCEN

ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Às 14:30 horas do dia cinco de agosto de dois mil e dezenove, no Auditório do Centro de Engenharias – CE, Leste, da Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA, reuniu-se a Banca Examinadora de defesa de trabalho de conclusão de curso de autoria do aluno **MATHEUS AUGUSTO DIÓGENES ARAÚJO**, aluno do curso de Bacharelado em Ciência e Tecnologia desta universidade, N° de matrícula **2016010320**, com o título “**ESTUDO COMPARATIVO A RESPEITO DA ADIÇÃO DE FIBRAS DE POLITEREFTALATO DE ETILENO (PET) EM CONCRETOS PERMEÁVEIS NÃO ESTRUTURAIS.**”. A Banca Examinadora ficou assim constituída por três membros: Prof^a. Dr^a. DANIELA DA COSTA LEITE COELHO, presidente da banca e orientadora do Trabalho de Conclusão de Curso; engenheira civil CAMILA GABRIELLE DE ARAÚJO SANTOS, engenheiro civil ARTHUR LEOCÁDIO COSTA E SILVA, como membros. Concluída a defesa, procedeu-se o julgamento pelos membros da banca examinadora, tendo o aluno obtido as seguintes notas: 10,0 ; 10,0 ; 10,0. Apuradas as notas verificou-se que o aluno foi aprovado com média geral dez virgula zero (10,0). E para constar, eu, DANIELA DA COSTA LEITE COELHO, lavrei a presente ata que, após lida e aprovada pelos membros da banca examinadora, será assinada por todos.

Mossoró, 05 de agosto de 2019.

Assinatura dos membros da Banca Examinadora.

Daniela da Costa Leite Coelho
Prof^a. Dr^a. DANIELA DA COSTA LEITE COELHO – UFERSA/Mossoró-RN
Presidente e orientadora

Camila Gabrielle de Araújo Santos
CAMILA GABRIELLE DE ARAÚJO SANTOS
Primeiro Membro

Arthur Leocádio Costa e Silva
ARTHUR LEOCÁDIO COSTA E SILVA
Segundo Membro