INFLUÊNCIA DAS FIBRAS RECICLADAS DE PET COMO REFORÇO DE ADOBE

Gustavo Rodrigues Lopes Tavares [(1)]; Margareth da Silva Magalhães [(1)]

(1) Programa de pós-graduação em Engenharia Civil (PGECIV), Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro (FEN – UERJ) – gustavorltavares@gmail.com; margareth.magalhaes@uerj.br

RESUMO

A destinação inadequada dada a derivados de plástico como o polietileno tereftalato (PET) contribui enormemente para a poluição ambiental no Brasil, uma vez que tais resíduos apresentam elevado tempo de decomposição (superior a 100 anos). Este artigo tem como objetivo verificar a influência de fibras recicladas de PET (R-PET) no desempenho do adobe, de forma a conferir uma destinação adequada a este resíduo e a melhorar algumas propriedades do adobe. Nos ensaios foram produzidas 5 diferentes misturas, com diferentes teores de argila e dois teores de fibras (0,25% e 0,50%). Foram realizados testes de compressão, flexão e retração nas amostras de adobe. Os resultados dos ensaios de compressão e flexão mostraram que a influência das fibras foi maior na mistura com maior teor de argila e 0,5% de fibras R-PET. Ocorreu aumento de resistência à compressão e incremento de tensão após fissuração da matriz e maior ductilidade sob cargas de flexão. A introdução de fibras R_PET também foi eficiente no controle da retração e fissuração durante a secagem das amostras. Contudo, a eficiência das fibras foi maior na mistura com maior teor de argila com uma redução nos valores de retração de até 48%.

Palavras-chave: adobe, fibras de PET reciclado, retração, propriedades mecânicas.

INFLUENCE OF RECYCLED PET FIBERS AS REINFORCEMENT OF ADOBE

ABSTRACT

Inadequate disposal given to plastic waste materials such as polyethylene terephthalate (PET) contributes enormously to environmental pollution in Brazil, since such waste has a low rate of biodegradation (decomposition time over 100 years). This paper aims to investigate the influence of recycled PET fibers (R-PET) on the behavior of adobe with the purpose of using adequately this waste and provides additional advantages on the adobe behavior. Five experimental adobes mixtures were manufactured with different clay contents and two R-PET fibers contents (0.25% and 0.5%) by volume of dry materials. Compressive strength, flexural and shrinkage tests were carried out on the adobe specimens. The compressive and flexural tests results indicate that effect of the R-PET fibers was more visible in the mixtures with higher clay content and 0.5% of R-PET fibers. The compressive strength was increased and the post-cracking flexural strength was improved, indicated a more ductile behavior of this mixture. The use of R-PET fibers was also efficient on the shrinkage control and cracking of adobe specimens. Shrinkage tests showed the R-PET fiber had little influence on the mixture with lower clay content and a greater influence on the mixture with a higher clay content, reaching a reduction in shrinkage of up to 48%.

Key-words: adobe, recycled PET fibers, shrinkage, mechanical behaviour.

1. INTRODUÇÃO

A destinação inadequada de resíduos sólidos no Brasil é um grave problema ambiental. Embalagens de plástico ou de derivados de plástico, como o PET (polietileno tereftalato), representam parte desses resíduos sólidos e apresentam o agravante de demorarem muito tempo para se decomporem na natureza (mais de 100 anos). Além da destinação inadequada, apenas uma parte do total de embalagens de PET é devidamente reciclada. Segundo o último censo realizado pela Associação Brasileira da Indústria do PET [1], cerca de 51% do total de 537 mil toneladas de PET produzidas anualmente no país são reciclados, indicando que cerca de 263 mil toneladas desse resíduo ainda são descartadas no ambiente.

Faz-se necessário, por conseguinte pesquisar novos usos possíveis para o PET descartado, de modo a aumentar a porcentagem reciclada deste produto. Uma destinação possível é a utilização de fibras de PET na construção civil, como por exemplo na fabricação de adobe.

O adobe é um material de construção sustentável que consiste basicamente de terra (argila e areia) e água. Tal método de construção é muito antigo. Campbell e Pryce [2] apontam que as primeiras construções erguidas com adobe datam de cerca de 6500 anos A.C. nas regiões de Jericó, Israel, e na ilha de Chipre.

Apesar de ser um material muito antigo, a terra crua como material de construção está sendo resgatada a nível mundial. Parte do crescente interesse por esses materiais decorre do aumento da preocupação com o impacto ambiental e o alto gasto energético decorrentes da produção dos materiais convencionais, tais como, cimento, aço e blocos cerâmicos. Por exemplo, durante a queima para a produção de blocos cerâmicos, diversos compostos poluentes são emitidos na atmosfera, impactando diretamente a qualidade do ar [3, 4]. A produção de tijolos de adobe, por outro lado, uma vez que utiliza a terra crua, não emite poluentes.

O solo, no entanto, é um material frágil e que sofre grande retração durante a secagem, necessitando a incorporação de fibras para controlar a fissuração e conferir ao material maior ductilidade, o que é feito desde a antiguidade, como citado em êxodos 5:6, onde os egípcios já usavam a palha de trigo para reforçar tijolos de barro. Apesar de a inserção de fibras no adobe ser uma técnica antiga, há pesquisas contemporâneas, inclusive brasileiras, que investigam as propriedades conferidas ao adobe após a incorporação de diversos tipos de fibras vegetais [5, 6, 7, 8, 9, 10].

Barbosa e Ghavami [11] citam que as principais funções das fibras em materiais à base de terra são impedir e controlar a fissuração durante a secagem, distribuindo as tensões devidas à deformação por retração da mistura em toda a massa do material. Além disto, a adição de fibras em matrizes frágeis (cimentícias ou solo) também melhoram o comportamento mecânico do compósito após a fissuração da matriz, dando-lhe maior ductilidade e capacidade de absorver energia e, ainda, podem incrementar a resistência à tração, dependendo do teor de fibras [12]. Isto ocorre, segundo Bentur e Mindess [13], por que as fibras que atravessam as fissuras atuam como ponte de transferência de tensões entre as partes da matriz separadas pela fissura, de tal forma que a deformação somente aumenta após um novo acréscimo de tensão.

Nesse sentido, este artigo possui como objetivo discutir a viabilidade da inserção de fibras de PET reciclado no adobe (tijolos de terra crua) de forma a conferir uma destinação adequada ao resíduo e a melhorar algumas propriedades do adobe, como a ductilidade, resistência à flexão, absorção de água e retração.

2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

2.1. Materiais utilizados na fabricação do adobe

Os materiais utilizados na fabricação dos corpos de prova foram: solo natural, filito, água e fibras de PET recicladas (R-PET). O solo utilizado para a confecção dos corpos de prova de adobe foi coletado na região da Tijuca, zona norte do Rio de Janeiro, aos pés de uma rocha denominada Pedra da Babilônia, constituída por gnaisse. O filito é um material industrializado, da marca Pavione, de proveniência da cidade de Ipanema, Minas Gerais, Brasil.

Para a caracterização do solo e filito, foram realizados ensaios de teor de umidade, limite de liquidez, limite de plasticidade, densidade real dos grãos e a distribuição granulométrica. Estes ensaios tinham como objetivo verificar se o solo era adequado para a confecção de tijolos de adobe.

O teor de umidade do solo, determinado com base na norma NBR 6457 [14], é definido como a massa da água contida em uma amostra de solo dividido pela massa de solo seco. Os limites de liquidez e plasticidade foram determinados, respectivamente, pelas normas NBR 6459 [15] e NBR 7180 [16]. O limite de liquidez indica o teor de água a partir do qual o solo adquire consistência líquida e o limite de plasticidade é o teor de água abaixo do qual o solo perde a consistência plástica. A densidade real dos grãos foi determinada como descrito na norma NBR 6458 [17] e é definida como a relação entre o peso específico do grão e o peso específico água.

Por fim, a distribuição granulométrica foi realizada de acordo com a norma NBR 7181 [18]. Este teste determina as proporções em percentual dos diferentes tamanhos das partículas do solo. Neste trabalho foi utilizada a classificação apresentada por Barbosa e Ghavami [11], onde as partículas de solo são classificadas em: pedregulho (4,8 a 50 mm), areia (50 μm a 4,8 mm), silte (5 a 50 μm) e argila (≤ 5 μm).

Os resultados dos ensaios de caracterização do solo e filito são apresentados na Figura 1 e Tabela 1. A análise da distribuição dos grãos indicou que o solo é composto de 4% de pedregulho, 75% de areia, 12% de silte e 9% de argila. Este solo tem limite de liquidez igual a 47%, limite de plasticidade de 27,65% e índice de plasticidade igual a 19,43%. A norma Australiana AS 3700 [19] estabelece que o solo ideal para estabilização com fibras tem que ter limite de liquidez entre 30% e 50% e índice de plasticidade entre 15% e 35%. Além disto, Barbosa e Ghavami [11] propõem que o solo apropriado para a fabricação do adobe tem até 10% de pedregulho, 45-75% de areia, 10-45% de silte e 15-30% de argila e o solo ideal tem 0% de pedregulho, 60% de areia, 15-20% de silte e 20-25% de argila.

Desta forma o solo original foi peneirado para eliminação das partículas maiores que 4,8 mm e misturado com filito de forma a diminuir o teor de areia e aumentar o teor de argila. Segundo a análise granulométrica, na Tabela 1, o filito é um material rico em argila, com 57% em massa.

Figura 1 - Curvas granulométricas do (a) solo natural e (b) filito.

(a) (b)

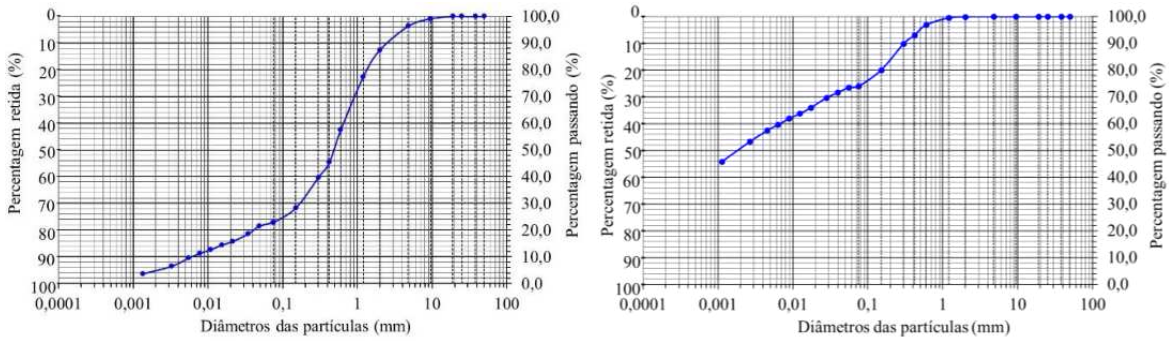


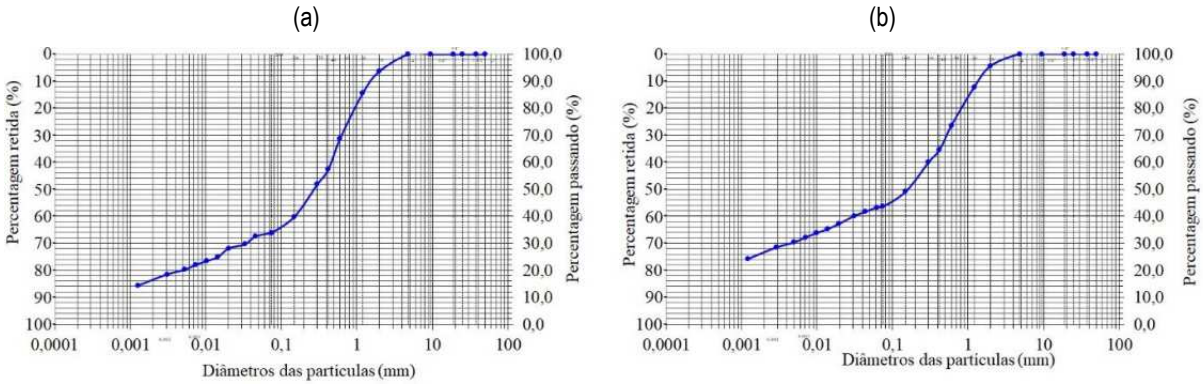
Tabela 1. Características dos materiais utilizados para fabricação dos corpos de prova

	Solo	Filito	M01	M02
Teor de umidade (%)	2,80	16,69	4,58	7,67
Densidade real dos grãos (g/cm³)	2,65	2,74	2,68	2,69
Limite de liquidez (%)	47,08	63,21	36,29	42,06
Limite de plasticidade (%)	27,65	34,04	21,29	23,21
Índice de plasticidade (%)	19,43	29,17	15,00	18,85
Pedregulho	4,00	0,00	0,00	0,00
Areia	75,00	27,00	66,50	57,50
Silte	12,00	16,00	13,50	12,50
Argila	9,00	57,00	20,00	30,00

Com o objetivo de verificar a influência do teor de argila na retração do adobe e consequentemente a eficácia da contenção da retração pelas fibras R-PET, foram elaboradas duas misturas (M01 e M02) com diferentes teores de argila: a mistura M01 foi fabricada com 68% de solo natural e 32% de filito e a mistura M02 com 50% de solo natural e 50% de filito. As curvas granulométricas das misturas M01 e M02 são apresentadas na Figura 2 e os valores obtidos das curvas juntamente com os valores de teor de umidade, densidade dos grãos, limite de liquidez e de plasticidade e índice de plasticidade

são apresentados na Tabela 1. De acordo com a análise dos dados e segundo as recomendações de Barbosa e Ghavami [11], as duas misturas foram consideradas adequadas para a fabricação de adobe.

Figura 2 - Curvas granulométricas do solo corrigido: (a) mistura M01 (68% de solo + 32% de filito) e (b) mistura M02 (50% de solo + 50% de filito).



As fibras de PET (politereftalato de etileno) recicladas (R-PET) utilizadas neste estudo são industrializadas e foram produzidas pela MG Fibras Brasil, a partir de flocos de poliéster obtidos da reciclagem de garrafas PET. As fibras R-PET, mostrada na Figura 3, possuem um comprimento de 32 mm, diâmetro igual a 14 µm e densidade de 1,43 g/cm^3. Tais fibras tem tido aplicação, segundo o próprio fabricante, majoritariamente na indústria têxtil. No entanto, neste trabalho, elas foram utilizadas como reforço do adobe.

Figura 3 - Fibras de R-PET



2.2. Produção das amostras

Foram produzidas cinco diferentes misturas, variando-se os teores de solo natural, filito e fibras de R-PET. As fibras de R-PET foram adicionadas em teores de 0,25% e 0,50% em relação ao volume total de materiais secos da mistura (solo e filito). As misturas produzidas são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 - Dosagem das misturas.

Ingredientes	M01-0	M01-0.50	M02-0	M02-0.25	M02-0.50
Solo natural/(solo + filito) (%)	68,00	68,00	50,00	50,00	50,00
Filito/(solo + filito) (%)	32,00	32,00	50,00	50,00	50,00
Água/(solo + filito) (%)	16,50	16,50	18,00	18,00	18,00
Volume de R-PET (%)	-	0,50	-	0,25	0,50

A quantidade de água a ser adicionada a cada tipo de mistura foi determinada seguindo o método prático apresentado por Barbosa e Ghavami [11]. O método consiste em se adicionar água lentamente de forma a tornar a mistura trabalhável. Molda-se então uma esfera com cerca de 8cm de diâmetro e deixa-a cair de uma altura de 1,50m. Depois do choque da esfera com o chão, mede-se a sua altura e diâmetro. Se a altura da esfera corresponder a cerca de um terço do seu diâmetro, a quantidade de água na mistura está adequada.

Para a mistura M01 com 68% de solo natural e 32% de filito, adicionou-se 16,5% de água em relação à massa de material seco total (solo + filito) e para a mistura M02 (50% de solo e 50% de filito) foi adicionado 18% de água em relação à massa de material seco total.

Em relação à mistura, optou-se por misturar os componentes amassando-os com os pés, como tradicionalmente se faz no processo de confecção do adobe. Primeiro foi realizada a mistura do solo com o filito, em seguida a água foi adicionada e por último as fibras de R-PET. A fibra foi adicionada lentamente na mistura, enquanto esta era revolvida e pressionada, de forma a dispersar adequadamente as fibras, evitando assim concentrações de fibras na mistura. Após homogeneização, a mistura foi colocada nas fôrmas em cerca de 3 camadas e consolidada manualmente. Os moldes utilizados eram desmontáveis, de modo a possibilitar a desforma sem provocar deformações nos corpos de prova.

Após a moldagem, os corpos de prova foram posicionados livres, em uma superfície plana (Figura 4), de forma a não ocorrer restrição de deformação.

Figura 4 – Corpos de prova para os ensaios de a) flexão, retração e b) compressão em processo de secagem.

(a) (b)



2.3. Técnicas de ensaios

O ensaio de retração foi realizado em 5 corpos de prova prismáticos (30x5x5 cm) com uma das dimensões preponderantes, como proposto por Barbosa e Ghavami [11]. Medidas do comprimento foram feitas após a moldagem e aos 23 dias de idade com um paquímetro. A retração linear foi determinada dividindo-se a variação de comprimento pelo comprimento inicial.

Nos ensaios de flexão e compressão foi utilizada uma prensa da marca Losenhausenwerk com capacidade de 6 toneladas. A carga foi aplicada a uma velocidade de 0,25 MPa/seg. Nos ensaios de flexão, foram utilizados os mesmos corpos de prova usados para os ensaios de retração (Figura 4a) com um vão de 20 cm e nos ensaios de resistência à compressão foram utilizados 6 corpos de prova cúbicos (10 x 10 x 10 cm) por mistura (Figura 4b).

Para realização do ensaio de absorção, foram utilizados 3 corpos de prova cúbicos (10 x 10 x 10 cm). Conforme ensaio sugerido por Van Lengen [10], os tijolos de adobe foram submersos em água por 4 horas, pesados e, em seguida serrados com o fim de averiguar a extensão na penetração de água no corpo de prova.

3. RESULTADOS EXPERIMENTAIS

3.1. Resistência à compressão e flexão

Os valores médios de resistência à compressão, tensão de primeira fissura e tensão máxima pós fissuração dos ensaios de flexão são apresentados na Tabela 3 juntamente com o desvio padrão em parênteses.

Tabela 3 – Resultado dos ensaios de compressão e flexão

	M01-0	M01-0.5	M02-0	M02-0.25	M02-0.5
Resistência à compressão (MPa)	1,21 (0,15)	1,24 (0,18)	1,52 (0,25)	1,71 (0,09)	1,81 (0,13)
Tensão de 1ª fissura (MPa)	0,38 (0,04)	0,46 (0,05)	0,45 (0,04)	0,42 (0,03)	0,47 (0,02)
Tensão máxima pós fissuração (MPa)	-	-	-	-	0,55 (0,05)

Os resultados dos ensaios de compressão indicam que os valores de resistência à compressão da mistura M02 (com e sem fibras) são muito maiores que aqueles obtidos pela mistura M01 (com e sem fibras). O maior valor de resistência à compressão foi obtido para a mistura de adobe reforçado com 0,5% de fibras R-PET (M02-0,50). Isto indica o efeito benéfico das fibras R-PET na resistência à compressão. Contudo, o efeito da adição das fibras na resistência à compressão da mistura M01 não é visível. Os valores de resistência à compressão das misturas M01-0.50 (com 0,5% de fibras R-PET) e M01-0 (sem fibras) são praticamente iguais.

O modo de ruptura típicos dos corpos de prova sem fibras e com fibras, mostrados na Figura 5, indicam mudanças benéficas na forma de ruptura devido a adição de fibras de R-PET para todos os teores e misturas.

Figura 5 – Fratura típica após ensaios de compressão. Corpos de prova (a) sem fibras e (b) com fibras de R-PET.

(a) (b)



Em relação aos ensaios de flexão, os valores apresentados na Tabela 3 indicam que houve um aumento de 21% na tensão de primeira fissura quando 0,50% de fibras R-PET foi adicionada à mistura

M01. Contudo, não foram observados aumentos significativos na tensão de primeira fissura da mistura M02 com o uso de 0,25% e 0,5% de fibras R-PET.

Observa-se também que o maior benefício das fibras foi para a mistura M02-0.50, que apresentou incremento de tensão após fissuração da matriz (0,55MPa), indicando um comportamento mais dúctil da mistura. Este tipo de comportamento é melhor visualizado observando-se o modo de ruptura dos corpos de prova, na Figura 6a, 6b e 6c. Observa-se que todas as misturas com fibras apresentaram uma ruptura mais dúctil (Figura 6b), com a presença de fibras que cruzam a fissura (Figura 6c), comportamento contrário ao observado nos corpos de prova sem fibras (Figura 6a). este tipo de comportamento era o esperado, pois segundo Bentur e Mindess [13], as fibras que atravessam as fissuras atuam como uma ponte de transferência de tensões entre as partes da matriz separadas pela fissura, tornando a matriz mais dúctil e modificando o seu modo de ruptura.

Figura 6 –Ruptura típica dos corpos de prova (a) sem fibras (M01-0 e M02-0) e (b) com fibras (M01-0.50, M02-0.25 e M02-0.50) após ensaio de flexão e (c) detalhe das fibras cruzando a fissura na amostra M02-0.50.

(a) (b) (c)



3.2. Retração e absorção de água após 4h de imersão

Na Tabela 4 são mostrados os valores médios de retração das diferentes misturas aos 23 dias de idade juntamente com o desvio padrão em parênteses. De uma forma geral, e, como esperado, as fibras de R-PET tem um efeito positivo na redução da retração e, nenhum processo de fissuração ou fratura foi observado nos corpos de prova das diferentes misturas.

Pode-se observar nos valores da Tabela 4 que o efeito das fibras foi mais visível na mistura M02 com maior teor de argila. Por exemplo, a mistura M02-0, com 50% de solo e 50% de filito e sem fibras, apresentou 5,25% de retração aos 23 dias. Quando 0,50% de fibras R-PET (M02-0.50) foi adicionada à mistura, o valor de retração foi reduzido para 4,37%. Os resultados indicaram uma redução brusca de 16,8% no valor da retração. Já a mistura M01-0.50, com 68% de solo, 32% de filito e 0.50% de

fibras R-PET, apresentou uma redução de retração de somente 2% em relação a mistura M01-0, sem fibras.

Tabela 4. Valores médios de retração e desvio padrão (em parênteses) das misturas aos 23 dias de idade.

	M01-0	M01-0.5	M02-0	M02-0.25	M02-0.5
Retração (%)	4,62 (0,59)	4,53 (0,27)	5,25 (0,57)	3,57 (0,30)	4,37 (0,77)

Esta diferença de comportamento entre as misturas pode ser explicada pelas diferentes composições das misturas. A mistura M01 apresenta valores mais altos de areia (66,5%) e silte (13,5%) e valores mais baixos de argila (20%), quando comparado a mistura M02, com 57,5% de areia, 12,5% de silte e 30% de argila. A argila é o componente da mistura que mais contribui para o aumento da retração e a areia, por ter grãos maiores que a argila, serve como uma restrição no processo de deformação[20]. Devido a isto a mistura M02 possui uma maior deformação por retração que a mistura M01, sendo o efeito das fibras mais visível na mistura M02. Outro fator que influencia este efeito é o maior teor de água na mistura M02 (ver Tabela 2).

Corroborando com o comportamento acima explicado, observamos que a mistura M01 sem fibras (M01-0) apresentou uma acentuada redução nos valores de retração em relação a mistura M02 sem fibras (M02-0).

Comparando-se ainda os valores de retração das misturas M02-0.25 e M02-0.50, na Tabela 4, observou-se um aumento de 3,57% para 4,37%. Seria de se esperar, todavia, que as retrações fossem menores nos prismas da mistura M02-0.5 em comparação com os prismas da mistura M02-0.25, uma vez que a mistura M02-0.50 tem maior volume de fibras e as fibras ajudam a conter a retração. A explicação para este efeito é a possível aglomeração e dispersão heterogênea das fibras na mistura M02-0.5.

Em relação ao ensaio de absorção, após 4 horas submersos, os corpos de prova sem fibras apresentaram significativa perda de material, principalmente nas bordas, não sendo possível, por conseguinte, estabelecer os valores de absorção para os corpos de prova sem fibras (M01-0 e M02-0). Os corpos de prova com fibras (M01-0.50, M02-0.25 e M02-0.50), por outro lado, permaneceram completamente íntegros, sendo possível o cálculo da absorção por meio da pesagem dos corpos de prova antes e depois de 4 horas de submersão. Os corpos de prova com fibras apresentaram absorção entre 17,29% e 18,75%.

4. CONCLUSÕES

Neste artigo foi apresentado um estudo sobre a influência de fibras R-PET no desempenho do adobe. Após análise dos resultados experimentais chegou-se às seguintes conclusões:

- Vários efeitos benéficos foram observados com a inserção de fibras de R-PET no adobe. A dosagem que produziu melhores resultados em termos gerais foi a M02-0.5, com 0,5% de fibras R-PET e composição de 50% de solo e 50% de argila na matriz.

- Nos ensaios de flexão pôde-se perceber um aumento da resistência pós fissuração ao se adicionar 0,5% de fibras de R-PET a mistura. Além disto, também foi observado uma melhora na ductilidade e na forma de ruptura dos corpos de prova com adição da fibra de R-PET.

- Em relação aos ensaios de compressão, foi percebido uma clara tendência de aumento da resistência à compressão com a inserção e aumento da concentração das fibras de R-PET nas misturas. Também foram observadas mudanças na ruptura das amostras, passando de uma ruptura frágil dos corpos de prova sem fibras, para uma ruptura dúctil dos corpos de prova com fibras.

- Os resultados também indicaram que é possível controlar a retração de adobes com o uso de fibras de R-PET como reforço. Foi observado redução da retração até 48% em relação à referência, especialmente para altas dosagens de fibras (0,5%) na mistura com maior teor de argila.

- Na análise da absorção de água após 4h de imersão, por sua vez, observou-se que somente os corpos de prova sem fibras sofreram desagregação. Indicando um efeito positivo no uso das fibras de R-PET em adobe e na presença de água, o que não quer dizer, no entanto, que se tornem impermeáveis, ou mesmo que mantenham sua capacidade de resistência.

Por fim, os resultados deste trabalho são iniciais e visam contribuir com o melhor entendimento dos mecanismos de estabilização de misturas de adobe com fibras de R-PET e ampliar o seu uso em construções rurais e urbanas. Nesse sentido, a construção civil poderia ganhar com a adoção de adobe com fibras recicladas de PET, uma vez que são materiais relativamente baratos e ecologicamente sustentáveis. No entanto, mais ensaios precisam ser feitos com diferentes teores de fibra e com misturas com diferentes dosagens, de forma a se ter maior clareza com relação à influência das fibras R-PET no desempenho do adobe.

5. REFERÊNCIAS

1. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DO PET. Décimo censo da reciclagem do PET no Brasil, 2016.
2. CAMPBELL, J. W. P., PRYCE, W. **História universal do tijolo**. Caleidoscópio, 2009
3. CÂMARA, V. F. et al. **Levantamento das emissões atmosféricas da indústria da cerâmica vermelha no sul do estado de Santa Catarina, Brasil.** Cerâmica, São Paulo, 2015. v. 61, n. 358, p. 213-218.
4. AKINSHIPE, O., KORNELIUS, G. **Quantification of atmospheric emissions and energy metrics from simulated clamp kiln technology in the clay brick industry**, Environmental Pollutio. 2018.v. 236, p 580-590.
5. AMARAL, F. A. **Bloco de adobe: efeitos da adição de fibra de epicarpo do babaçu**. Dissertação. (Mestrado em Design). Centro de Ciências Exatas e Tecnologia, Universidade Federal do Maranhão (CCET, UFMA). São Luís, Maranhão, 2017.
6. BATTISTELLE, R. A. G. **Análise da Viabilidade Técnica do Resíduo de Celulose e Papel em Tijolos de Adobe**. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2002. (CRHEA/EESC/USP), São Carlos, SP.
7. BOUTH, J. A. C. **Estudo da potencialidade da produção de tijolos de adobe misturado com outros materiais:** uma alternativa de baixo custo para a construção civil. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2005. Natal, RN.
8. SILVA, A. C. *et al*. **Utilização do resíduo da castanha de caju na confecção de tijolos de terra crua (adobe):** alternativas para redução do custo final de moradias de interesse social no Brasil. In: X encontro de geógrafos da américa latina. Universidade de São Paulo, 2005.
9. COSTA, *et al*. **Avaliação de tijolos de adobe com adição de cinzas e fibras de coco**. In: XV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Maceió, Alagoas, 2014. ENTAC.
10. VAN LENGEN, J. **Manual do arquiteto descalço**. 1. ed. São Paulo: B4. 2014.
11. BARBOSA, N. P.; GHAVAMI, K. **Terra crua para edificações**. In: Isaia, G. C. (Org.). Materiais de construção civil e princípios de ciências e engenharia de materiais. IBRACON, 2010. p. 1565 – 1598.
12. HOUGET, V. **Etude dês caracteristiques mecaniques et physico-chimiques de composites ciments-fibres organiques**. 1992.
13. BENTUR, A.; MINDESS, S. **Fibre Reinforced Cementitious Composites**. Modern Concrete Technology Series. Taylor & Francis, 2007
14. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6457:** Amostras de solo - preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Rio de Janeiro, 2016.
15. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6459:** Determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro, 2016.
16. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7180**: Determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro, 2016.
17. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6458**: Grãos de pedregulho retidos na peneira de abertura 4,8 mm - Determinação da massa específica, da massa específica aparente e da absorção de água. Rio de Janeiro, 2016.
18. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7181:** Solo – análise granulométrica. Rio de Janeiro, 2016.
19. AUSTRALIAN STANDARD. **AS 3700:** Masonry structures. Sydney, 2001.

20. BLONDET, M.; GARCIA, M.; VILLA, G. **Earthquake Resistant Earthen Buildings**. 13th World Conference on Earthquake Engineering (2594), 2004