

USO DE FIBRAS R-PET NO CONTROLE DA RETRAÇÃO DE TIJOLOS DE ADOBE

Gustavo Rodrigues Lopes Tavares (gustavorltavares@gmail.com); Margareth da Silva Magalhães (margareth.magalhaes@uerj.br)

Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Faculdade de Engenharia (UERJ-FEN) - Brazil

Palavras chave: adobe, fibras de PET reciclado, retração.

O crescente interesse por materiais de construção não convencionais deriva, em parte, do aumento da preocupação da humanidade com o impacto ambiental e o gasto de energia na fabricação dos materiais de construção convencionais. O uso de tijolos de adobe na construção, por outro lado, desde a antiguidade é uma técnica sustentável, uma vez que utiliza terra crua (não cozida), eliminando ou diminuindo a emissão de poluentes. Este artigo tem como objetivo verificar a eficácia de fibras de politereftalato de etileno recicladas (R-PET) no controle da retração e fissuração durante a secagem de tijolos de adobe. Para obter parâmetros como limite de liquidez, limite de plasticidade, densidade real dos grãos e curva granulométrica, foram realizados ensaios de caracterização do solo. O solo foi então misturado com argila, permitindo duas dosagens diferentes, ambas adequadas para uso em adobe. Por fim, fibras de R-PET recicladas de 32 mm de comprimento e 14 µm de diâmetro foram introduzidas nas misturas nas concentrações de 0,25% e 0,50%. Os ensaios de retração indicaram que as fibras de R-PET são eficazes no controle da retração e fissuração durante a secagem. Contudo, a eficiência das fibras foi maior na mistura com maior teor de argila, chegando a uma redução nos valores de retração de até 48%.

1. INTRODUÇÃO

O adobe é um material de construção que consiste basicamente de terra (argila e areia) e água. As proporções em volume desses componentes podem variar, girando em torno de 50% de areia, 25% de argila e 25% de água (Van Lengen, 2014). Tradicionalmente, a mistura é feita utilizando os pés descalços, para então ser moldado em fôrmas, desenhado, ainda fresco, e secado lentamente, à sombra, por pelo menos 20 dias, para evitar rachaduras ou deformações excessivas no tijolo.

Tal método de construção com terra é muito antigo. Campbell e Pryce (2009) 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. Ao longo da história, novos materiais foram sendo incorporados à mistura, conferindo melhorias no seu desempenho.

É apenas em 3500 A.C. que se inicia o processo de queima dos tijolos em fornos. Com esse processo, algumas propriedades dos tijolos, como a impermeabilização, foram sensivelmente melhoradas (Campbell e Pryce, 2009). Contudo, o resgate de terra crua como material de construção está em curso a nível mundial. Parte do crescente interesse por esses materiais decorre do aumento da preocupação com o impacto ambiental e o gasto energético decorrentes da produção dos materiais convencionais, tais como, cimento, aço e blocos cerâmicos. Diversos compostos poluentes são emitidos na atmosfera durante a queima, na produção dos blocos cerâmicos (material particulado, óxidos de nitrogênio, óxidos de enxofre, monóxido de carbono, compostos clorados e fluoretados), impactando diretamente a qualidade do ar (Câmara et al, 2015), além das emissões e gasto energético no transporte destes materiais.

A produção de tijolos de adobe, por outro lado, uma vez que utiliza terra crua (sem necessidade de cozimento), não emite poluentes. A possibilidade de utilização da matéria

prima localizada no próprio terreno onde será erguida a edificação, diminui ou elimina a necessidade de transporte de materiais, bem como a emissão de poluentes no processo de produção (Barbosa e Ghavami, 2010). Outro ponto positivo é que o adobe tem alta capacidade de absorver umidade em dias mais úmidos e liberar em dias mais secos, ajudando a controlar a umidade no ambiente (Minke, 2015). Da mesma forma, ele também ajuda a controlar a temperatura no ambiente, reduzindo gastos com aquecedores ou ar-condicionado. No entanto, Minke (2015) ressalta que os tijolos de adobe não são impermeáveis, podendo perder resistência, quando molhados, se expandindo e mudando do estado sólido para o plástico. Por último, é grande a retração que esse material sofre durante o processo de secagem, o que pode gerar fissuras. Segundo Minke (2015), é possível minorar o efeito de retração dos tijolos pela redução do teor de água adicionada à mistura, pela redução da quantidade de argila, ou com o emprego de estabilizantes, como cal, cimento ou fibras.

A estabilização do adobe com fibras é um conceito bem antigo, e, de acordo com êxodos 5:6, os egípcios usavam a palha, para reforçar tijolos de barro. Há diversas pesquisas, inclusive brasileiras, que investigam as propriedades conferidas ao adobe por diversos tipos de fibras vegetais (Amaral, 2017; Battistelle, 2002; Bouth, 2005; Silva et al., 2005; Costa et al., 2014; Van Lengen, 2014).

As principais funções das fibras em materiais a base de terra, segundo Barbosa e Ghavami (2010), 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 e acelerar a secagem, drenando a água para o exterior pelos canais das fibras. Além disto, Houget (1992) ressalta que 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. Isto ocorre 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 continua após um novo acréscimo de tensão (Bentur e Mindess, 1990).

Embora o uso de fibras vegetais para estabilização do solo seja um conceito antigo e bem documentado, o uso de outros tipos de fibras em construções com terra, tal como as fibras de PET, tem sido pouco estudado ou não se tem referência.

Um motivo para a escolha de fibras de PET como reforço do solo é que elas podem promover melhorias significativas no controle ou combate da fissuração devido a deformação por retração e ainda promover incremento de ductilidade, capacidade de deformação e resistência pós fissuração da matriz quando submetido a esforços mecânicos. O que gera maior segurança nas construções.

Ainda, uma outra vantagem do uso de fibras de PET na fabricação do adobe é principalmente devido a razões ambientais, pois derivados de plásticos pós-consumo é o tipo de resíduo que possui maior tempo de decomposição (superior a 100 anos), seu consumo como reforço de matrizes frágeis, como o solo, reduziria os impactos ambientais causados pela disposição incorreta dos resíduos, que não são biodegradáveis, e possíveis danos à saúde dos seres humanos e dos animais, principalmente por causa dos aditivos químicos utilizados na sua fabricação. Vale ressaltar que o consumo de resina PET para a fabricação de embalagens no Brasil é de cerca de 537 mil toneladas, sendo deste total reciclados apenas 51%, isto é, 274 mil toneladas, segundo o último censo realizado pela Associação Brasileira da Indústria PET (2016).

Nesse sentido, o objetivo deste trabalho é fornecer uma pequena contribuição para a investigação e melhoria da qualidade do adobe, verificando a viabilidade do uso de fibras de PET recicladas (R-PET) no controle da retração e possível fissuração dos tijolos de adobe.

2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

2.1. Caracterização dos materiais

Os materiais utilizados na fabricação dos corpos de prova foram: solo natural, filito, água e fibras de PET recicladas (R-PET). 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 (2016), 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 (2016) e NBR 7180 (2016). 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 (2016) e é definida como a relação entre o peso específico do grão e o peso específico água.

Por fim, a análise da distribuição granulométrica foi realizada de acordo com a norma NBR 7181 (2016). 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 (2010), que difere sensivelmente da norma NBR 6502 (1995). Optou-se pela classificação adotada pelo referido autor, pois adotou-se as distribuições granulométricas adequadas e ótimas para a confecção de tijolos de adobe sugeridas pelo mesmo.

A NBR 6502 (1995) apresenta a seguinte classificação granulométrica: pedregulho (2,0 a 60 mm), areia (60 μ m a 2 mm), silte (2 a 60 μ m) e argila (\leq 2 μ m). Já pela classificação adotada por Barbosa e Ghavami (2010), as partículas de solo são classificadas em: pedregulho (4,8 a 50 mm), areia (50 μ m a 4,8 mm), silte (5 a 50 μ m) e argila (\leq 5 μ m).

2.1.1. Solo natural e filito

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 gnaíse. Os resultados dos ensaios de caracterização desse solo 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 (2001) 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 (2010) 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.

O filito utilizado é um material industrializado, da marca Pavione, de proveniência da cidade de Ipanema, Minas Gerais, Brasil. Segundo a análise granulométrica (Tabela 1) é um material rico em argila (57% em massa).

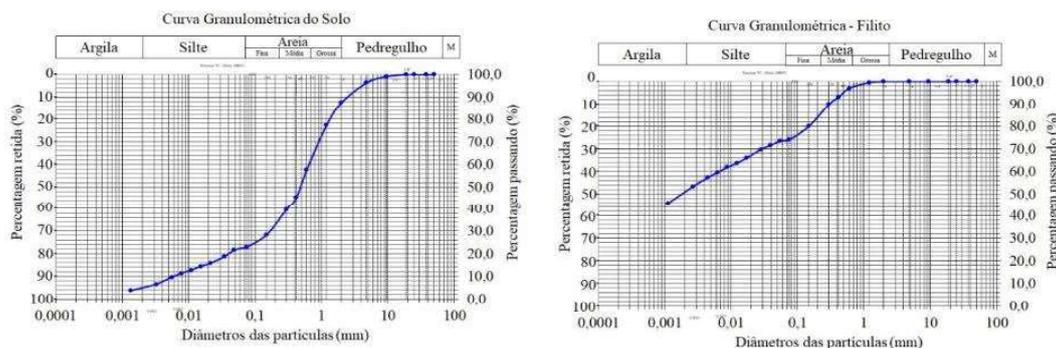


Figura 1. Curvas granulométricas do solo natural e filito.

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/cm ³)	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

2.1.2. Mistura de solo natural com filito

Em misturas de terra com mais argila, a tendência é que mais água seja absorvida e, conseqüentemente, mais água seja perdida no processo de secagem, resultando em maior retração do material. Este fenômeno ocorre porque a argila é o componente do solo com maior capacidade de absorção de água (Minke, 2015). Então, com o objetivo de verificar a influência do teor de argila na retração do adobe e conseqüentemente 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. A curva granulométrica 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 (2010), as duas misturas foram consideradas adequadas para a fabricação de adobe.

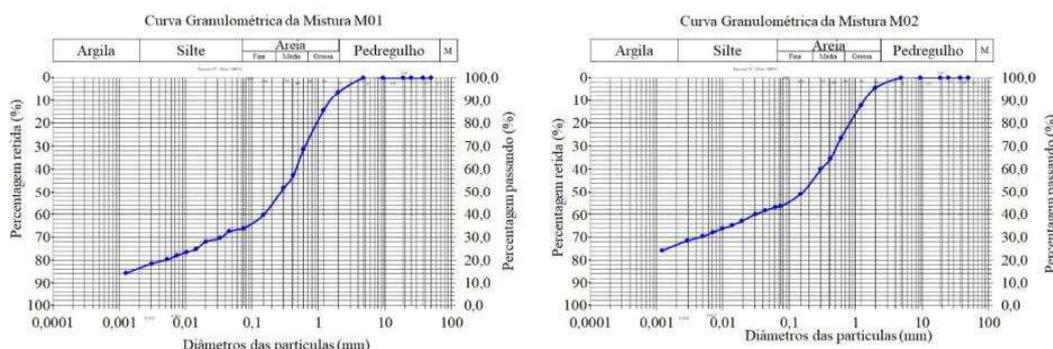


Figura 2. Curvas granulométricas do solo corrigido: mistura M01 (68% de solo + 32% de filito) e mistura M02 (50% de solo + 50% de filito).

2.1.3. Fibras de PET

As fibras de PET (politereftalato de etileno) reciclado (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 ¹ (%)	-	0,50	-	0,25	0,50
R-PET/(solo + filito) ² (%)	-	0,27	-	0,13	0,27

¹Em relação aos materiais secos (solo + filito); ²Proporção em massa.

A quantidade de água a ser adicionada a cada tipo de mistura foi determinada seguindo o método prático apresentado por Barbosa e Ghavami (2010). Adiciona-se 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.

Procedeu-se desse modo até encontrar valores adequados de água a ser adicionada às misturas. Para a mistura M01 com 68% de solo natural e 32% de filito, adicionou-se 16,5% de água em relação a 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 a massa de material seco total, pois esta possui mais argila, que é o componente da mistura que absorve mais água.

2.2.1. Procedimento de mistura, moldagem e secagem

Em relação à mistura, inicialmente, optou-se por utilizar um misturador mecânico, porém as misturas se mostraram muito densas, principalmente com a presença de fibras. Como a potência do equipamento disponível não foi suficiente, 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. No procedimento de mistura, foi tomado o cuidado de separar os grupos de fios que se encontravam juntos, antes de adicioná-los à mistura. A fibra foi então sendo adicionada lentamente na mistura, enquanto esta era revolvida e pressionada, de forma a dispersar adequadamente as fibras, evitando assim concentrações ou vazios de fibras na mistura. Após homogeneização, a mistura foi colocada nas fôrmas em cerca de 3 camadas. Cada camada foi consolidada antes da camada seguinte, de forma a preencher todos os vazios. Os moldes eram desmontáveis, de modo a possibilitar a desforma sem provocar deformações nos corpos de prova.



Figura 4. Prismas para ensaio de retração em processo de secagem.

2.3. Técnica de ensaio

Para os ensaios de retração foram utilizadas 4-5 amostras prismáticas por mistura. Como o objetivo dos ensaios era medir a retração linear devido a secagem de corpos de prova, isto é, a variação de comprimento da maior dimensão do corpo de prova, optou-se por utilizar prismas com dimensão de 5 x 5 x 30 cm (altura x largura x comprimento), com uma das dimensões preponderantes, como proposto por Barbosa e Ghavami (2010).

Após a moldagem, os corpos de prova foram posicionados livres, em uma superfície plana (Figura 4), de forma a não ocorrer restrição de deformação. Assim, eles estavam livres para se deformar devido a secagem do corpo de prova, contudo, como uma das dimensões era muito superior as outras duas, a deformação predominante era no sentido do maior comprimento.

O ensaio foi realizado até 13 dias de idade e medidas do comprimento foram feitas regularmente com um paquímetro durante os ensaios, de modo a acompanhar o processo de variação de comprimento. A retração linear foi determinada dividindo-se a variação de comprimento no tempo pelo comprimento inicial.

3. RESULTADOS EXPERIMENTAIS

3.1. Retração

Na Figura 5 são apresentados os gráficos de retração em função do tempo para as misturas M01-0, M01-0.50, M02-0, M02-0.25 e M02-0.50. O tempo zero é considerado o tempo de teste inicial (hora da moldagem dos corpos de prova). Valores de retração foram medidos até os 13 dias de idade. As curvas exibiram no estágio inicial (aproximadamente 7 dias) um grande aumento da deformação devido a retração dos corpos de prova, após isto a taxa de deformação reduz com o aumento do tempo. Aos 7 dias, valores médios de retração de todas as misturas, apresentados na Tabela 3, foram entre 81% e 93% dos respectivos valores aos 28 dias de idade.

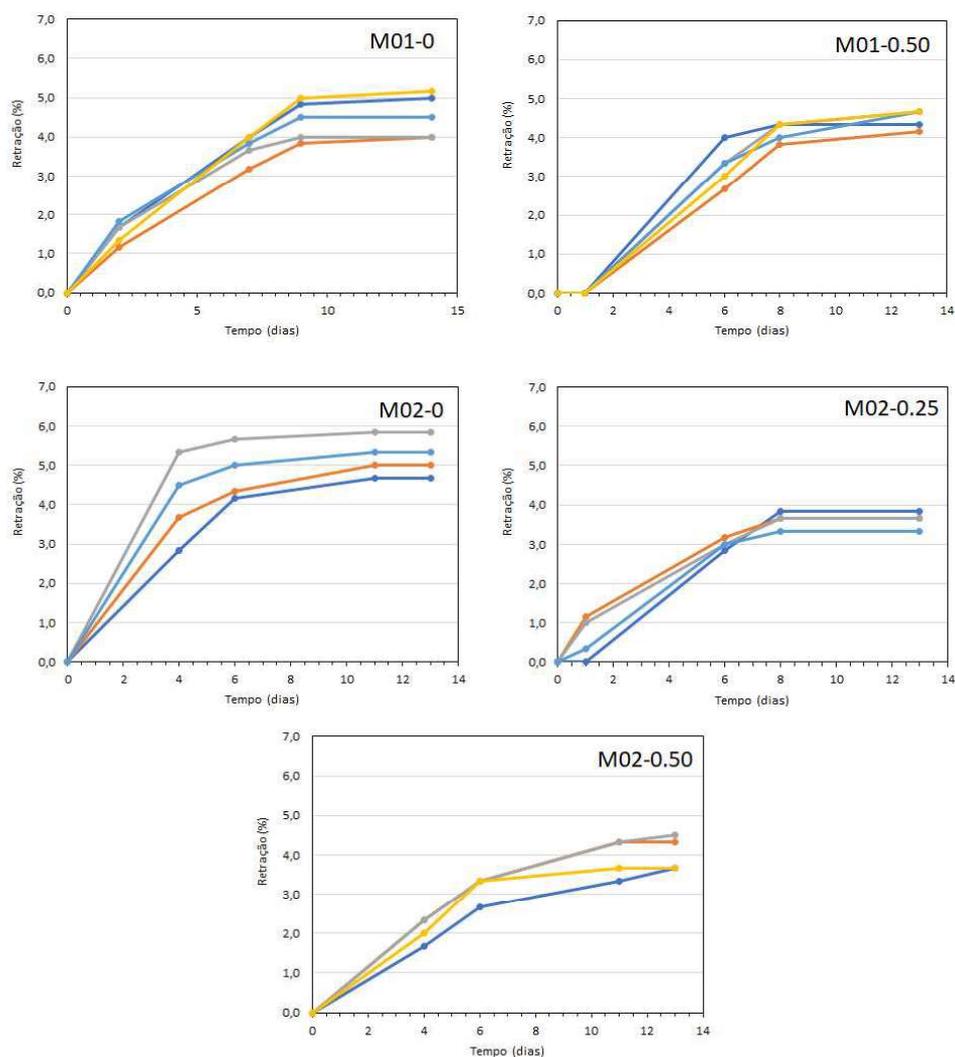


Figura 5. Curvas de retração x tempo para as misturas M01-0, M01-0.50, M02-0, M02-0.25 e M02-0.50.

Tabela 3. Valores médios de retração e desvio padrão (em parênteses) das misturas.

Tempo	Retração (%)				
	M01-0	M01-0.50	M02-0	M02-0.25	M02-0.50
7 dias	3,73 (0,35)	3,72 (0,33)	4,88 (0,65)	3,31 (0,10)	3,32 (0,35)
13 dias	4,51 (0,54)	4,50 (0,24)	5,21 (0,50)	3,63 (0,21)	4,04 (0,44)

De uma forma geral, e, como esperado, as fibras de R-PET tem um efeito positivo na redução da retração. Contudo, este efeito 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 4,88% de retração aos 7 dias e 5,21% aos 13 dias. Quando 0,50% de fibras R-PET (M02-0.50) foi adicionada à mistura, os valores de retração foram reduzidos para, respectivamente, 3,32%, aos 7 dias, e 4,04%, aos 13 dias. Os resultados indicaram uma redução brusca de até 32% no valor da retração. Já a mistura M01-0, com 68% de solo e 32% de filito e sem fibras, apresentou valor de retração aos 7 dias similar ao apresentado pela mistura com 0,50% de fibras de R-PET (M01.0.50). O mesmo ocorreu aos 13 dias de idade.

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 (Blondet et al., 2004) 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 3).

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). Por exemplo, aos 7 dias a mistura M02-0 apresentou uma retração de 4,88% e a mistura M01-0, 3,73%, e, aos 13 dias, a retração da mistura M02-0 foi 5,21%, enquanto a retração da mistura M01-0 foi de 4,51%.

Com o objetivo de comparar o efeito de diferentes teores de fibras na mesma mistura (M02), foi elaborada também uma série de prismas com 0,25% de fibras (M02-0.25). Comparando-se as misturas M02-0.25 e M02-0.50, observou-se que não houve diferença significativa na retração aos 7 dias. Aos 13 dias foi observado um aumento de 3,63% para 4,04%. 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 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, o que prejudica o resultado.

Finalmente, nenhum processo de fissuração ou fratura foi observado nos corpos de prova das diferentes misturas.

4. CONCLUSÕES

Neste artigo foi apresentado o processo de retração de corpos de prova de adobe com e sem adição de fibras de R-PET (0.25% e 0.50% em volume), de forma a verificar o efeito das referidas fibras no controle da retração durante a secagem do adobe.

Inicialmente, procedeu-se à caracterização do solo e a sua correção para que este se tornasse adequado para a fabricação do adobe. Preparou-se duas dosagens diferentes misturando-se solo natural e filito: uma dosagem com menor teor de argila, mais próxima da dosagem ideal, e outra com maior teor de argila (ainda dentro da faixa de dosagens adequadas).

Os resultados indicaram que é possível controlar a retração de adobes com o uso de fibras de R-PET como reforço. O uso de fibras R-PET reduziu a retração linear até 48% do valor de referência, especialmente para altas dosagens de fibras (0,5%), e este efeito foi mais visível na mistura com maior teor de argila.

Os resultados deste trabalho são iniciais e visam contribuir com o melhor entendimento dos mecanismos de estabilização de misturas de adobe 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. Poder-se-ia investir na industrialização da produção, de modo a se obter tijolos de adobe padronizados, aumentando a confiabilidade no material. Parte da padronização já seria assegurada pela presença de fibras industrializadas, obtidas da reciclagem de garrafas PET, material que já é submetido a controle de qualidade, diferentemente das fibras vegetais, que apresentam uma variabilidade natural de dimensões e resistência à tração. 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 controle da retração do adobe. Além de outros ensaios em tijolos de adobe, como os mecânicos, já em andamento, e de durabilidade.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Associação Brasileira da Indústria do PET. (2016) *Décimo censo da reciclagem do PET no Brasil*.
- Alvarez, J. A. S. (2007). *Alvenarias e argamassas anteriores ao Império Romano*. In: 2º Congresso Nacional de Argamassas de Construção. Associação Portuguesa dos Fabricantes de Argamassas e ETICS. Parque das Nações, em Lisboa. Disponível em < http://www.apfac.pt/congresso2007/comunicacoes/Paper%2051_07.pdf >
- Amaral, F. A. (2017). *Bloco de adobe: efeitos da adição de fibra de epicarpo do babaçu*. Dissertação de mestrado (Mestrado em Design). Centro de Ciências Exatas e Tecnologia, Universidade Federal do Maranhão (CCET UFMA). São Luís, Maranhão. Disponível em: < <https://tedeuc.ufma.br/jspui/bitstream/tede/1916/2/FranciscoAmaral.pdf> >.
- Azevedo, H.D.de S. (2010). *Reforço de estruturas de alvenaria de pedra, taipa e adobe com elementos de madeira maciça*. Dissertação de mestrado (Mestrado em Engenharia Civil). Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto (FEUP). Porto. Disponível em < <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/66391/1/000146968.pdf> >.
- Barbosa, N. P.; Ghavami, K. (2010). *Terra crua para edificações*. In: Isaia, G. C. (Org.). *Materiais de construção civil e princípios de ciências e engenharia de materiais*. IBRACON. p. 1565 – 1598.
- Battistelle, R. A. G. (2002). *Análise da Viabilidade Técnica do Resíduo de Celulose e Papel em Tijolos de Adobe*. Tese de Doutorado. (Doutorado em Engenharia Ambiental). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. (CRHEA/EESC/USP), São Carlos, SP. Disponível em <file:///C:/Users/gusta/Downloads/Tese_Battistelle_RosaneAG_corrigida.pdf >.
- Bentur, A.; Mindess, S. (2007). *Fibre Reinforced Cementitious Composites*. Modern Concrete Technology Series. Taylor & Francis.
- Blondet, M.; Garcia, M.; Villa, G.. (2004). *Earthquake Resistant Earthen Buildings? 13th World Conference on Earthquake Engineering (2594)*.
- Bouth, J. A. C. (2005). *Estudo da potencialidade da produção de tijolos de adobe misturado com outros materiais: uma alternativa de baixo custo para a construção civil*. Dissertação de mestrado (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, RN. Disponível em < <http://repositorio.ufrn.br:8080/jspui/bitstream/123456789/15542/1/JorgeACB.pdf>>.
- Camara, V. F. et al. (2015). *Levantamento das emissões atmosféricas da indústria da cerâmica vermelha no sul do estado de Santa Catarina, Brasil*. *Cerâmica*, São Paulo, v. 61, n. 358, p. 213-218. Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0366-69132015000200213&lng=pt&nrm=iso>.
- Campbell, J. W. P., Pryce, W. (2009). *História universal do tijolo*. *Caleidoscópio*
- Costa, H. N., Pinheiro, L. T., Menezes, F. C. M., Cabral, A. E. B. (2014). *Avaliação de tijolos de adobe com adição de cinzas e fibras de coco*. In: XV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente

- Construído. Maceió, Alagoas. ENTAC. Disponível em <
http://www.infohab.org.br/entac2014/artigos/paper_55.pdf >.*
- Houget, V. (1992) *Etude des caracteristiques mecaniques et physico-chimiques de composites ciments-fibres organiques.*
 - Minke, G. (2015). *Manual de construção com terra: uma arquitetura sustentável. 1 ed. – São Paulo; B4 Ed.*
 - NBR 6457 (2016) *Amostras de solo - preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).*
 - NBR 6458 (2016): *Grãos de pedregulho retidos na peneira de abertura 4,8 mm - Determinação da massa específica, da massa específica aparente e da absorção de água. Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).*
 - NBR 6459 (2016). *Determinação do limite de liquidez. Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).*
 - NBR 6502 (1995). *Rochas e solos. Rio de Janeiro. Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).*
 - NBR 7180 (2016). *Determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro. Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).*
 - NBR 7181 (2016). *Solo – análise granulométrica. Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).*
 - Peru. (2017). *Norma E.080: Diseño y construcción con tierra reforzada. Anexo – resolución ministerial nº 121-2017-vivienda. Ministerio de Vivienda, construcción y saneamiento. Disponível em <
http://procurement-notices.undp.org/view_file.cfm?doc_id=109376 >.*
 - Romão, W.; Spinace, M. A. S.; Paoli, M. A. de. (2009). *Poli(tereftalato de etileno), PET: uma revisão sobre os processos de síntese, mecanismos de degradação e sua reciclagem. Polímeros, São Carlos, v. 19, n. 2, p. 121-132. Disponível em <
<http://www.scielo.br/pdf/po/v19n2/v19n2a09.pdf> >.*
 - Silva, A. C., Lima, S. A., Leite, R. C. V., Paula, F. S., Soares, R. N., Lima, L. V. (2005). *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.*
 - Van Lengen, J. (2014). *Manual do arquiteto descalço. 1. ed. São Paulo: B4 Ed.*

6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a empresa MG Fibras Brasil pela doação das fibras de PET.