

ESTUDO DA DOSAGEM DE ARGAMASSA CAMADA ÚNICA DE TERRA COM ADIÇÃO DE FIBRA DE POLIÉSTER: AVALIAÇÃO DA CONSISTÊNCIA E FISSURAÇÃO

AN EXPERIMENTAL STUDY ON EARTH PLASTER WITH POLYESTER FIBER: CRACKING AND CONSISTENCY ANALYSIS

*Augusto Montor de Freitas Luiz**

*Natalia Arissa Fujita**

*Sarah Honorato Lopes da Silva**

Resumo: A construção civil é responsável por grande parte do impacto ambiental no planeta, conseqüentemente, pesquisas em sustentabilidade são assuntos em ascensão. Assim, o presente trabalho objetivou promover o desenvolvimento de formulações preliminares de argamassa de terra com adições de fibras têxteis de poliéster, analisando seu potencial em substituir a argamassa de revestimento cimentícia utilizada em ambientes internos. Avaliou-se principalmente propriedades como a consistência e a fissuração formuladas com duas terras distintas, um com predominância de partículas argilosas e outro arenosas, foram feitas misturas com variações nos teores de umidade e de adição de fibras de poliéster para conter a fissuração. A partir dos resultados obtidos observou-se que existe um intervalo ótimo de umidade, e que a inserção de fibras pôde reduzir o índice de fissuração. As argamassas com terra arenosa apresentaram menores índices de fissuração, porém ainda são necessários outros ensaios para avaliar outras características importantes na avaliação de uma argamassa de revestimento.

Palavras-Chave: argamassa de revestimento; sustentabilidade; reboco de terra; bioconstrução; bioarquitetura.

Abstract: *Civil construction is responsible for a large part of the environmental impact on the planet, consequently, sustainability research is an issue on the rise. Thus, the present work aimed to promote the development of preliminary formulations of earth mortar with additions of polyester textile fibers, analyzing its potential to replace the cementitious coating mortar used in indoor environments. Properties such as consistency and cracking were mainly evaluated using two different soils, one with a predominance of clayey particles and the other sandy particles, mixtures were made with variations in moisture content and the addition of polyester fibers to contain cracking. From the results obtained, it was*

observed that there is an optimal range of moisture, and that the insertion of fibers could reduce the cracking index. Mortars with sandy soil showed lower cracking rates, but other tests are still necessary to evaluate other important characteristics in the evaluation of a coating mortar.

Keywords: coating mortar; sustainability; earth plastering; bioconstruction; bioarchitecture.

1. Introdução

A sustentabilidade é um assunto em ascensão, cada vez mais procura-se a utilização de materiais que gastem menos energia para a sua produção e que possam ser reutilizados ou reciclados. O fato do cimento apresentar significativo custo financeiro e gerar alto impacto ambiental durante sua produção justifica a busca incessante por novos materiais alternativos e, neste sentido, revisitar as técnicas construtivas tradicionais apresenta potencial no desenvolvimento de uma linha de pesquisa que associa conhecimentos de áreas distintas na busca de soluções ditas sustentáveis. Uma destas técnicas, faz uso do “solo” (denominação comum na Ciência e Engenharia dos Materiais) ou “terra” (denominação comum na Arquitetura e Urbanismo) na confecção de revestimentos argamassados. Em função de sua origem vernácula associada a sua importância na história das construções, deste ponto em diante, será empregado, prioritariamente, o termo terra para se referir a este material, exceto quando a terminologia se referir a alguma propriedade estudada pela Ciência e Engenharia dos Materiais.

Em se tratando do componente construtivo em si, as argamassas de terra, além de agregarem maior valor sustentável, apresentam propriedades higroscópicas, ou seja, são capazes de captar, reter e liberar o vapor d’água presente no ar onde está envolvido. A utilização de argamassas de terra para revestimento interno colabora para o equilíbrio da umidade no interior dos ambientes, conseqüentemente contribuindo para um maior conforto térmico (Faria e Lima, 2018). Essa propriedade faz com que esse revestimento deixe o ambiente mais agradável trazendo benefícios à saúde por serem menos propensas ao desenvolvimento de doenças respiratórias (Santos, 2014).

Outras vantagens são associadas a utilização da terra como material de construção, tais como a abundância de matéria prima, o bom isolamento térmico e acústico, a não toxicidade, a natureza não combustível e possibilidade de ser reutilizada quando não estabilizada com ligantes químicos (Nabais, 2015).

Contudo, as construções à base de terra apresentam alta vulnerabilidade à água, uma vez que mesmo após endurecimento voltam ao estado plástico em contado com a água no estado líquido (Faria e Lima, 2018), possibilitando a degradação da superfície, proliferação de fungos, retração e dilatação material, diminuição do isolamento térmico e da resistência mecânica que naturalmente já é comparativamente mais frágil (Faria, 1999). A retração em argamassas de terra pode ser significativa em função do teor de finos presentes na terra e pode ser controlada mediante a adição de materiais de maior granulometria, costumeiramente a areia (Pedernana e Elias-Ozkan, 2021), e também pela adição de fibras (Siqueira, 2006). Especificamente em relação as fibras, o teor adicionado deve ser limitado uma vez proporcionam a restrição da mobilidade relativa das partículas e demandam maior quantidade de água de molhagem, afetando a trabalhabilidade da mistura (Figueiredo, 2011).

Portanto, o presente trabalho visa avaliar o potencial e a viabilidade de duas terras coletadas no município de Tamarana, no Paraná, como o aglomerante das argamassas de revestimento interno, e a fibra de poliéster como adição única, descartando a utilização de cimento ou areia em sua composição.

2. Materiais e Métodos

A metodologia desta pesquisa foi dividida em três etapas: a) caracterização da área de estudo e seleção dos materiais, b) caracterização dos materiais e c) dosagem das argamassas de terra.

2.1 Breve caracterização da área de estudo

Na etapa inicial de seleção da terra, buscou-se identificar regiões com presença de jazidas de granulometria distintas nas proximidades de Apucarana-PR. Esta situação foi verificada no município de Tamarana-PR, em uma região limítrofe com o município de Mauá da Serra-PR, que distam 60km e 50km de Apucarana, respectivamente.

A amostra 1, denominada “Tamarana” foi coletada na localização das coordenadas S23°51’31,4” e W51°09’40,3”, já a amostra 2, denominada “Mauá” nas coordenadas S23°52’43,2” e W51°10’18,2”, conforme ilustra a

2.2 Caracterização da terra

Após selecionado os pontos de coleta, as amostras foram levadas ao laboratório de Geotecnia da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, campus Apucarana. As normas empregadas no preparo das amostras, bem como em sua classificação estão destacadas no Quadro 1.

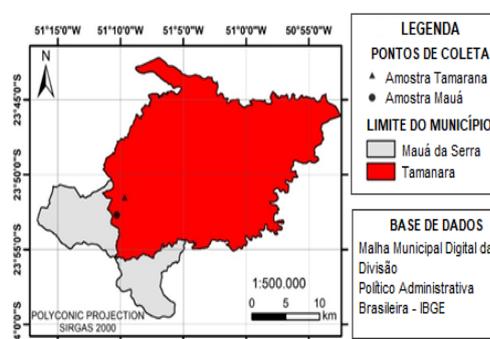
Figura 1.

De acordo com a Carta Geológica da Folha de Londrina (Mineropar, 2006), o local de coleta das amostras se encontra em uma região de contato entre as formações Serra Geral (Grupo Bauru) e Rio do Rasto (Grupo Passa Dois), onde coexistem arenitos, basaltos, siltitos e argilitos. Por ser uma região de transição, os solos localizados nesta região podem apresentar mudanças bruscas de propriedades dependendo de sua posição espacial.

2.2 Caracterização da terra

Após selecionado os pontos de coleta, as amostras foram levadas ao laboratório de Geotecnia da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, campus Apucarana. As normas empregadas no preparo das amostras, bem como em sua classificação estão destacadas no Quadro 1.

Figura 1 - Localização das amostras



Fonte: Os autores

Quadro 1– Normas da ABNT utilizadas para a caracterização dos solos

Ensaio	Norma (NBR)	Nº de ensaios /solo
Preparo das amostras de solo	6457:2016	-
Análise Granulométrica	7181:2016	1
Limite de Plasticidade	7180:2016	3
Limite de Liquidez	6459:2016	3
Massa Específica dos Sólidos	6458:2016	2

Fonte: Os autores

2.3. Seleção da fibra de poliéster

As fibras de poliéster empregadas neste estudo são provenientes de resíduos têxteis disponibilizados por uma confecção têxtil da cidade de Apucarana-PR, apresentados na

2.4. Caracterização da fibra de poliéster

A caracterização das fibras deu-se pela sua densidade, para a determinação de porcentagem a ser incorporada na argamassa e pela análise visual. Sendo assim, o ensaio densidade foi realizado pelo método do picnômetro presente na norma PN - EN ISO 1183-1: Métodos para determinar a densidade de plásticos não celulares - Parte 1: Método de imersão, método de picnômetro líquido e método de titulação (2004). A análise visual das amostras de fibras foi feita com auxílio do microscópio digital HD Color CMOS Sensor com resolução 640x480 pixels e capacidade de aproximação em 1600x, sendo possível analisar a rugosidade superficial dos filamentos e verificar a dimensão e espessura aproximada das fibras.

Figura 2a. Os resíduos de tecido foram cortados, manualmente, em quadrados de 1cm por 1 cm e fragmentados um a um, para ficarem separadas fio a fio com comprimentos de aproximadamente 1 centímetro, como pode ser visualizado na

2.4. Caracterização da fibra de poliéster

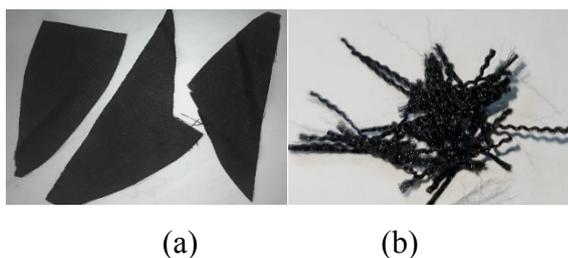
A caracterização das fibras deu-se pela sua densidade, para a determinação de porcentagem a ser incorporada na argamassa e pela análise visual. Sendo assim, o ensaio densidade foi realizado pelo método do picnômetro presente na norma PN - EN ISO 1183-1: Métodos para determinar a densidade de plásticos não celulares - Parte 1: Método de imersão, método de picnômetro líquido e método de titulação (2004). A análise visual das amostras de fibras foi feita com auxílio do microscópio digital HD Color CMOS Sensor com resolução 640x480 pixels e capacidade de aproximação em 1600x, sendo possível analisar a rugosidade superficial dos filamentos e verificar a dimensão e espessura aproximada das fibras.

Figura 2b.

2.4. Caracterização da fibra de poliéster

A caracterização das fibras deu-se pela sua densidade, para a determinação de porcentagem a ser incorporada na argamassa e pela análise visual. Sendo assim, o ensaio densidade foi realizado pelo método do picnômetro presente na norma PN - EN ISO 1183-1: Métodos para determinar a densidade de plásticos não celulares - Parte 1: Método de imersão, método de picnômetro líquido e método de titulação (2004). A análise visual das amostras de fibras foi feita com auxílio do microscópio digital HD Color CMOS Sensor com resolução 640x480 pixels e capacidade de aproximação em 1600x, sendo possível analisar a rugosidade superficial dos filamentos e verificar a dimensão e espessura aproximada das fibras.

Figura 2 – (a) Tecido e (b) Fibra de Poliéster



Fonte: Os autores

2.5 Dosagem das argamassas de terra

A metodologia de dosagem consistiu em testar misturas de terra, água e fibra, no entanto, ao longo do trabalho os métodos foram sendo modificados para a melhoria das análises. Assim, esta etapa do estudo foi subdividida em outras duas: as misturas preliminares e as misturas definitivas.

Ressalta-se que, nos resultados das análises de caracterização da terra, a umidade foi representada pelo teor de umidade, em porcentagem. No entanto, para as argamassas, esses valores foram traduzidos pela relação de massa de água por massa de terra (a/t), visando compatibilização com trabalhos referentes a argamassas que utilizam a relação água por cimento (a/c). Nas argamassas com adições, será empregada a relação massa de água por massa de materiais secos (a/ms).

2.5.1 Misturas preliminares

Nesta etapa, as argamassas foram dosadas com e sem fibras de poliéster e aplicadas horizontalmente em blocos cerâmicos em espessura de 1 cm. A fim de obter um gráfico com a relação do fator água/terra e o índice de consistência, obtido através da NBR 13276: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação de índice de consistência (ABNT, 2016), as misturas foram dosadas com diferentes quantidades de água. Depois de moldadas foram comparadas qualitativamente quanto à fissuração.

Para inserção das fibras, inicialmente, foram incorporadas nas misturas de ambos as terras 0,50% de fibras (sob a massa de terra). Contudo, a partir dos resultados, observou-se que as argamassas realizadas com a terra “Tamarana” necessitavam de maior teor de adição, uma vez que as fissurações eram reduzidas, porém ainda estavam presentes. Já com a terra “Mauá”, percebeu-se o contrário, as argamassas com 0,50% de fibras não apresentavam aberturas, sendo possível a dosagem com menor quantidade de inserção. Sendo assim, para a terra “Tamarana” foram feitas misturas com adição de 0,50%, 1,00% e 1,25%, e denominadas, TCF050 (P), TCF100 (P) e TCF125 (P), respectivamente. E para a mistura sem fibra, TSF (P).

Para a terra “Mauá”, seguiu-se o mesmo raciocínio, porém por apresentar textura menos argilosa e ser menos susceptível ao surgimento de fissuras, as porcentagens de fibra foram de 0,25% e 0,50%, denominadas MCF025 (P) e MCF050 (P), respectivamente, além da amostra sem incorporação do resíduo, denominada MSF (P). A letra P é denominada para as misturas preliminares. Para cada argamassa foram feitas misturas com diferentes relações de a/t. Apresenta-se no Quadro 2 a quantidade de misturas analisadas para cada argamassa, e suas siglas.

Quadro 2 - Siglas das misturas preliminares

Solo	Fibra	Sigla	Nº de Misturas
TAMARANA	Sem Fibra	TSF (P)	5
	0,50% de Fibra	TCF050 (P)	4
	1,00% de Fibra	TCF100 (P)	4
	1,25% de Fibra	TCF125 (P)	4
MAUÁ	Sem Fibra	MSF (P)	5
	0,25% de Fibra	MCF025 (P)	4
	0,50% de Fibra	MCF050 (P)	4

Fonte: Os autores

A relação água/terra das misturas preliminares foi dosada conforme o resultado do índice de consistência, ou seja, os materiais sólidos eram misturados com água manualmente e submetidos ao ensaio. Em função da trabalhabilidade obtida logo após a mistura, a quantidade de água era aumentada ou reduzida. Buscou-se consistências entre 175 mm a 260 mm, aproximadamente. O primeiro valor foi selecionado de acordo com a norma alemã DIN 18947 (2013, apud Santos *at al.*, 2014) para argamassa de terra e o segundo em conformidade com o parâmetro indicado para argamassas de revestimento cimentício, conforme norma NBR 13276: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Preparo da mistura e determinação do índice de consistência (ABNT, 2005) que, apesar de não estar mais vigente, apresenta valores de referência para diversas pesquisas.

Caso o índice de consistência não apresentasse intervalo de valor significativo, a argamassa era reutilizada, com maior adição de água e submetida novamente ao ensaio de consistência. Posteriormente, eram realizados os ensaios de Umidade Higroscópica seguindo a norma NBR

6457: Amostras de solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização (ABNT,2016), para possibilitar a obtenção dos gráficos.

2.5.2 Misturas definitivas

Na sequência, foram executadas as misturas definitivas, monitorando o desempenho das argamassas nos estados fresco e endurecido. Para tanto, avaliou-se o índice de consistência, por meio dos procedimentos de ensaio previsto na NBR 13276: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação de índice de consistência (ABNT, 2016). E no estado endurecido, as misturas foram avaliadas quanto ao índice de fissuração (IF), adaptando a metodologia proposta por Costa e Guimarães (2019). Após a análise dos resultados das misturas preliminares foi possível encontrar teores de água e de fibra que resultassem uma dosagem mais próxima da ideal, em relação à fissuração, para cada tipo de terra. A metodologia empregada foi baseada em Santos e Faria (2020).

A mistura dos materiais (terra, água e fibra), nas quantidades referentes aos seus teores, foi realizada com o auxílio de argamassadeira mecanizada, mediante o procedimento descrito a seguir: i) homogeneização da terra e a da fibra por um minuto; ii) introdução da água, de forma gradual, durante 30 segundos com a argamassadeira ainda ligada; iii) homogeneização da argamassas por mais 30 segundos; iv) repouso da argamassa por 5 minutos (argamassadeira desligada) e; v) homogeneização por mais de 30 segundos. Assim, cada procedimento de mistura totaliza um período de 7 minutos e meio.

Após a dosagem da argamassa, foram realizados os ensaios de Umidade higroscópica seguindo a norma NBR 6457 (ABNT, 2016), e o ensaio de índice de consistência prevista na NBR 13276: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação do índice de consistência (ABNT, 2005).

Na sequência, as argamassas foram aplicadas horizontalmente nos blocos cerâmicos previamente umidificados com água (processo realizado apenas para as misturas definitivas). As argamassas foram regularizadas sobre o bloco com espessura de 1 centímetro, medida com auxílio de paquímetro. A Figura 3 ilustra a argamassa já aplicada e a Figura 4 retrata a medição da espessura sendo feita. Através dos resultados das misturas preliminares foram escolhidos os teores de fibras que apresentaram os melhores resultados conforme fissuração. Para a terra “Tamarana” foram confeccionadas argamassas sem e com adição de 1,25 e 1,50% de fibra, denominadas TSF (D), TCF125 (D) e TCF150 (D), respectivamente. Já para a terra “Mauá”, foram confeccionadas as misturas sem e com incorporação de 0,25% de fibra, denominadas MSF (D) e MCF025 (D), respectivamente, exemplificado no Quadro 3, sendo a letra D,

denominada para as misturas definitivas. A argamassa TCF150 (D) até então não havia sido dosada nas misturas preliminares, contudo, avaliou-se a sua necessidade considerando que a inserção de 1,25% ainda apresentava fissurações.

2.6 Análise do processo de fissuração

A análise de fissuração nas misturas preliminares foi realizada de forma visual, sendo verificada a presença de fissuras ou não, bem como de sua diminuição ou aumento conforme variação dos teores de água e de fibra.

Figura 3 - Argamassa aplicada no tijolo cerâmico



Fonte: Os autores

Figura 4 - Espessura da argamassa aplicada no tijolo cerâmico



Fonte: Os autores

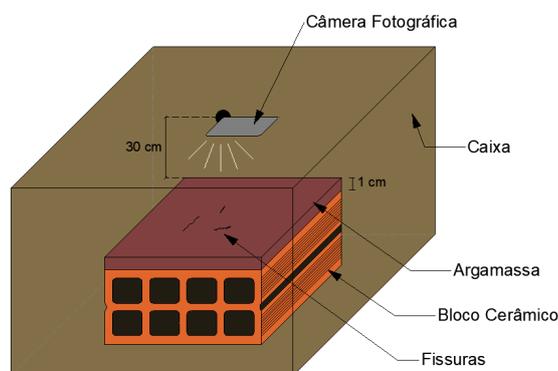
Quadro 3 - Siglas das misturas definitivas

Solo	Fibra	Sigla	Nº de Misturas
TAMARANA	Sem Fibra	TSF (D)	5
	1,25% de Fibra	TCF125 (D)	5
	1,50% de Fibra	TCF150 (D)	5
MAUÁ	Sem Fibra	MSF (D)	3
	0,25% de Fibra	MCF025 (D)	3

Fonte: Os autores

Já para as misturas definitivas a análise de fissuração foi quantificada, através do índice de fissuração, com metodologia não normatizada. Após a moldagem das argamassas nos blocos cerâmicos, foram feitos registros fotográficos frequentes até o vigésimo oitavo dia após o molde. Os tijolos foram dispostos dentro de uma caixa fechada (minimizando a interferência de luz externa) e as imagens foram capturadas com a mesma câmera fotográfica e distância de 30 cm da amostra, a fim de viabilizar a identificação das fissuras na superfície da argamassa. A caixa apresentava um orifício em sua face superior para instalação da câmera fotográfica. A Figura 5 ilustra, esquematicamente, o mecanismo utilizado para os registros fotográfico das amostras.

Figura 5 - Representação esquemática do ensaio de fissuração



Fonte: Os autores

Assim, a partir da análise das imagens foi possível quantificar as fissuras com o auxílio de software de desenho assistido por computador, destacando todas as aberturas aparentes. A análise foi baseada em Costa e Guimarães (2019), onde os autores calcularam a relação entre o comprimento total das fissuras, em metros, por metro quadrado de argamassa. Contudo, foi necessário adaptar o método já que algumas aberturas apresentaram espessura considerável, impossibilitando avaliação linear, como se observa na Figura 6. Assim, a fissuração foi medida em metros quadrados onde, através do software foi possível delimitar as áreas e quantificá-las, resultando em uma relação cuja unidade é o metro quadrado de área fissurada por metro quadrado de argamassa, conforme Equação (1).

$$IF = \frac{A_F}{A_T} * 100 \quad (1)$$

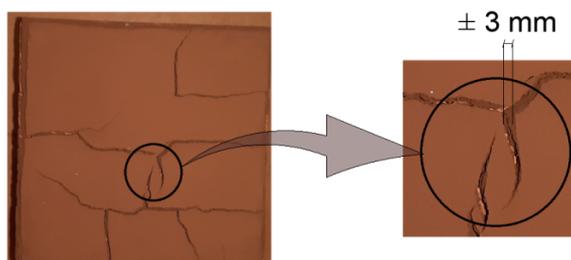
Sendo:

IF: Índice de fissuração (%);

A_F : Área fissurada medida em software (m^2);

A_T : Área total do bloco medida em software (m²).

Figura 6 - Abertura das fissuras na argamassa de terra sem fibra



Fonte: Os autores

Na Figura 7 é possível observar um exemplo da delimitação das fissuras.

Figura 7 - Delimitação das fissuras em área



Fonte: Os autores

3. Resultados e Discussões

Os resultados desta pesquisa foram divididos em 2 etapas, as caracterizações dos materiais (terra e fibra de poliéster) e a dosagem das argamassas (misturas preliminares e misturas definitivas).

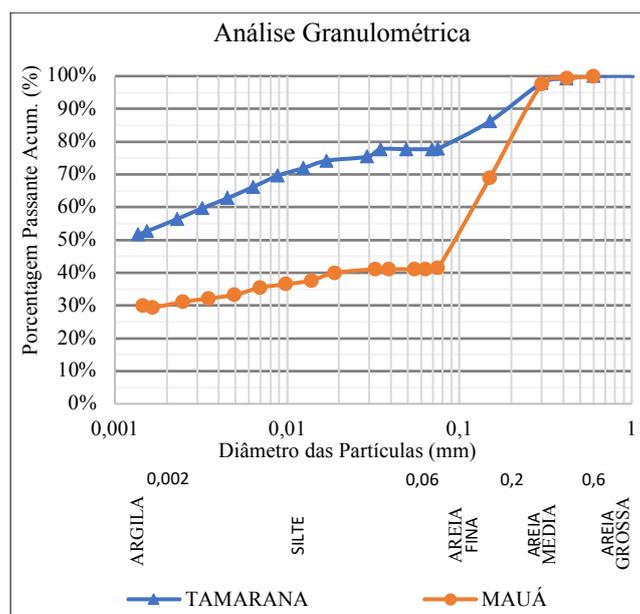
Caracterização da terra

Os resultados dos ensaios de Análise Granulométrica, Limites de Atterberg e de Massa Específica dos Sólidos, previstos em Materiais e Métodos são expressos na presente seção. O Gráfico 1 exprime os resultados referentes ao ensaio de análise granulométrica para as amostras “Tamarana” e “Mauá”.

A terra “Tamarana” apresenta alta concentração de argilas (cerca de 55%) e uma distribuição granulométrica bem graduada, característica vantajosa em termos de resistência e coesão final da mistura. Porém, a carência de material granular pode contribuir para a fissuração, uma vez que a alta coesão proporcionada pelos finos não permite a dissipação das tensões (retração), ocorrendo o surgimento das fissuras nos primeiros minutos após a moldagem.

A curva granulométrica também evidencia que a terra “Mauá” não é tão bem distribuída quanto a “Tamarana”, sendo um caso de graduação aberta, já que existe uma grande concentração de partículas na faixa de 0,3 a 0,075mm (trecho uniforme) e, conseqüentemente, faltam grãos de outros tamanhos como de 0,075mm a 0,019mm. Compõe-se majoritariamente de grãos com maiores dimensões (areia fina e média), pouca presença de silte (sendo integralmente composto pela parcela mais fina do silte) e significativa presença de argilas. Observa-se que o IP apresenta pouca variação, ou seja, ambas as terras se mantêm no estado plástico em um curto intervalo de umidade. Contudo, a terra “Mauá” se torna plástica para um menor teor de umidade, esse fator contribui para a trabalhabilidade de argamassas com este material. Já a terra “Tamarana” necessita maior incorporação de água para se tornar plástica, podendo ser desfavorável, já que quanto mais água na argamassa, maior será a retração por secagem.

Gráfico 1 - Curva Granulométrica da Terra



Fonte: Os autores

Baseando-se na análise granulométrica e nos limites de Atterberg e utilizando o Sistema Unificado de Classificação dos Solos (SUCS), a terra “Tamarana” foi classificada como CL (Argila pouco plástica) e a terra “Mauá” como SC (Areia argilosa). A Tabela 1 apresenta os resultados dos ensaios de Limites de Atterberg. A Tabela 2 apresenta a média de dois ensaios de massa específica dos sólidos. Os valores obtidos estão dentro do intervalo típicos para rochas do tipo basalto (aproximadamente 3,0g/cm³) e arenitos (aproximadamente 2,5g/cm³) encontradas na região transitória.

Tabela 1 - Limites de Atterberg das Amostras

Terra	TAMARANA	MAUÁ
Limite de Plasticidade LP (%)	37,5	17,5
Limite de Liquidez		
LL (%)	49,6	27,4
Índice de Plasticidade IP (%)	12,1	9,9

Fonte: Os autores

Caracterização da fibra de poliéster

A Tabela 3 apresenta a média de dois ensaios de densidade da fibra de poliéster. Através da pesquisa de Sousa, Junior e Santos (2019), foi definida a porcentagem inicial de fibras em relação à terra de 0,50%, tomando como base, aproximadamente, a média de valores de adição de fibras de poliéster na argamassa convencional utilizadas pelos autores.

O valor de 0,50 % também se encontra no intervalo das porcentagens de adição de fibras das argamassas de terra vistas em Eires, Cardoso e Camões (2014) e Gomes, Gonçalves e Faria (2012a) que apresentavam densidades de fibras equivalentes à da Tabela 3. Os ensaios preliminares deram início com essa porcentagem de incorporação do resíduo, sendo posteriormente modificada conforme a resposta de cada uma das argamassas.

Além da obtenção da densidade, foi realizada verificação visual por meio da análise microscópica das fibras de poliéster. Na Figura 8a observa-se que as fibras são compostas por micro fios. A Figura 8b retrata um único micro fio individualizado do conjunto e na Figura 8c se observa que o material apresenta espessura da ordem de 0,03 mm, superfície lisa e sem rugosidade superficial.

Dosagem das argamassas de terra

A dosagem das argamassas foi dividida em 2 etapas, já descritas em Materiais e Métodos, as misturas preliminares e as misturas definitivas. Todos os traços apresentados encontram-se em massa.

Tabela 2 - Massa específica dos Sólidos das Amostras (g/cm³)

Solo	Ensaio 1	Ensaio 2	Média
Tamarana	2,781	2,770	2,776
Mauá	2,698	2,715	2,706

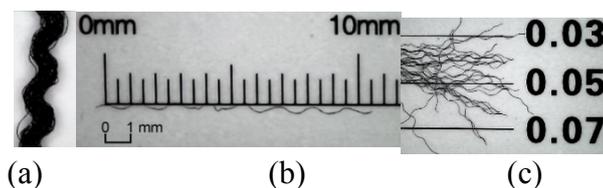
Fonte: Os autores

Tabela 3 - Densidade da Fibra de Poliéster (g/cm³)

Ensaio 1	Ensaio 2	Média
1,459	1,444	1,451

Fonte: Os autores

Figura 8 - Fibra de Poliéster observada pelo Microscópio (a) em conjunto e (b) individualizada, (c) espessura da fibra individualizada



Fonte: Os autores

Misturas preliminares

As misturas preliminares foram divididas em duas seções, as argamassas dosadas com a terra “Tamarana” e a terra “Mauá”. Os resultados referentes às misturas preliminares de “Tamarana” estão apresentados nas Tabelas de 4 a 7 e as Figuras de 9 a 12 apresentam as imagens das amostras de argamassas de solos aplicadas nos blocos cerâmicos. A Tabela 4 exhibe os valores obtidos com a argamassa TSF (P). A Figura 9 apresenta a argamassa TSF (P) – 4, ressaltando que as demais misturas TSF (P) apresentaram comportamentos similares. A Tabela 5 apresenta os resultados relativos às argamassas TCF050 (P).

Tabela 4–Resultado das argamassas TSF (P)

Mistura	Traço em massa	
	Terra : a/t	IC (mm)
TSF (P) - 1	1 : 0,463	166,88
TSF (P) - 2	1 : 0,501	189,97
TSF (P) - 3	1 : 0,527	207,05
TSF (P) - 4	1 : 0,589	242,42
TSF (P) - 5	1 : 0,625	273,12

Fonte: Os autores

Figura 9 - Argamassa TSF (P) – 4



Fonte: Os autores

Tabela 5–Resultado das argamassas TCF050 (P)

Mistura	Traço em massa		IC (mm)
	Terra:	Fibra:	
TCF050 (P) - 1	1 : 0,0050	0,371	182,70
TCF050 (P) - 2	1 : 0,0050	0,404	226,08
TCF050 (P) - 3	1 : 0,0050	0,414	246,00
TCF050 (P) - 4	1 : 0,0050	0,476	256,12

Fonte: Os autores

Conforme a Figura 10, a ordem crescente de fissuração é de TCF050 (P) – 1, TCF050 (P) – 2, TCF050 (P) – 4 e TCF050 (P) – 3. A mistura TCF050 (P) – 3 apresenta microfissuras não identificáveis na imagem, ou seja, existe um limite mínimo e máximo para a adição de água, uma vez que a falta e o excesso de água promovem a fissuração.

Nota-se na Figura 11 que a ordem crescente de fissuração é de TCF100 (P) – 1, TCF100 (P) – 2 e as argamassas TCF100 (P) – 3 e TCF100 (P) – 4, apresentam apenas microfissuras, sendo o acabamento superficial muito próximo entre as duas. A Tabela 6 exibe os resultados das argamassas TCF100 (P). Na Figura 12 é possível observar a presença de fissuras na argamassa TCF125 (P) – 1, o restante das misturas apresenta apenas microfissuras, não aparentes na imagem, e são visualmente bastante similares. Os resultados referentes às misturas preliminares de “Mauá” estão apresentados nas Tabelas de 8 a 10, e as Figuras de 13 a 15 apresentam as imagens das amostras de argamassas de terra aplicadas nos blocos cerâmicos. A Tabela 7 expressa os resultados para o teor de 1,25% do resíduo de poliéster, a TCF125 (P).

Figura 10 - Argamassa TCF050 (P) - (a) amostra 1, (b) amostra 2, (c) amostra 3 e (d) amostra 4



(a) (b) (c) (d)

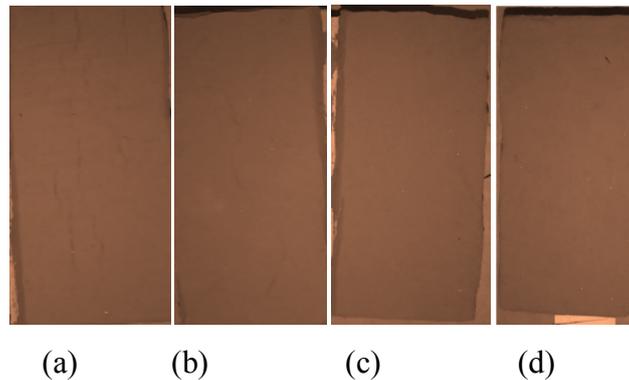
Fonte: Os autores (2020)

Tabela 6–Resultado das argamassas TCF100 (P)

Mistura	Traço em massa		IC (mm)
	Terra : Fibra :	a/ms	
TCF100 (P) - 1	1 : 0,0100	0,396	181,17
TCF100 (P) - 2	1 : 0,0100	0,413	203,13
TCF100 (P) - 3	1 : 0,0100	0,445	234,00
TCF100 (P) - 4	1 : 0,0100	0,506	265,82

Fonte: Os autores

Figura 11 - Argamassa TCF100 (P) - (a) amostra 1, (b) amostra 2, (c) amostra 3 e (d) amostra 4



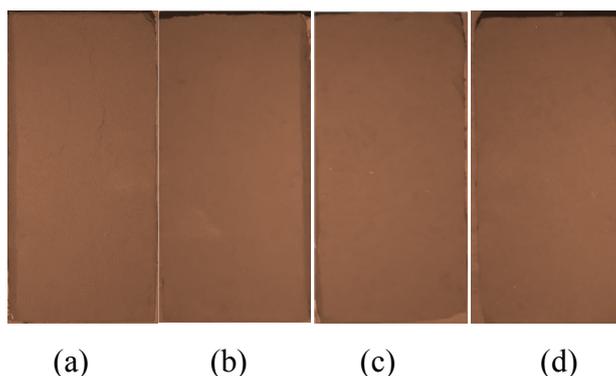
Fonte: Os autores

Tabela 7– Resultado das argamassas TCF125 (P)

Mistura	Traço em massa		IC (mm)
	Terra : Fibra :	a/ms	
TCF125 (P) - 1	1 : 0,0125	0,389	181,40
TCF125 (P) - 2	1 : 0,0125	0,407	202,28
TCF125 (P) - 3	1 : 0,0125	0,437	230,67
TCF125 (P) - 4	1 : 0,0125	0,481	255,05

Fonte: Os autores

Figura 12 - Argamassa TCF125 (P) - (a) amostra 1, (b) amostra 2, (c) amostra 3 e (d) amostra 4



Fonte: Os autores

A Tabela 8 exibe os resultados da relação água/terra e do índice de consistência para as argamassas MSF (P).

A Figura 13 apresenta a argamassa MSF (P) – 3, ressaltando que as demais misturas da argamassa MSF (P) apresentaram comportamentos semelhantes.

Tabela 8–Resultado das argamassas MSF (P)

Mistura	Traço em massa	IC (mm)
	Terra : a/ms	
MSF (P) - 1	1 : 0,322	185,97
MSF (P) - 2	1 : 0,366	206,52
MSF (P) - 3	1 : 0,396	220,32
MSF (P) - 4	1 : 0,414	236,68
MSF (P) - 5	1 : 0,461	253,43

Fonte: Os autores

Nota-se que a argamassa MSF (P), confeccionadas com terra arenosa, em comparação com a TSF (P), elaborada com terra argilosa, apresenta melhor comportamento quanto a fissuração.

A Tabela 9 exibe os resultados das argamassas MCF025 (P).

Figura 13 - Argamassa MSF (P) - 3



Fonte: Os autores

Tabela 9–Resultado das argamassas MCF025 (P)

Mistura	Traço em massa		IC (mm)
	Terra	Fibra	
MCF025 (P) - 1	1 : 0,0025	0,245	182,97
MCF025 (P) - 2	1 : 0,0025	0,256	214,68
MCF025 (P) - 3	1 : 0,0025	0,260	230,87
MCF025 (P) - 4	1 : 0,0025	0,267	261,88

Fonte: Os autores

A Figura 14 ilustra a argamassa MCF025 (P) – 2, que não apresenta fissuras em sua superfície, ressaltando que as demais misturas apresentaram comportamentos similares.

Figura 14 - Argamassa MCF025 (P) - 2



Fonte: Os autores

A Tabela 10 exibe os resultados referentes as argamassas MCF050 (P). A Figura 15 apresenta a argamassa MCF050 (P) – 3, que é semelhante as demais misturas MCF050 (P). Verifica-se que a adição de 0,50% de fibras, resultou em argamassas sem presença de fissuras. Com os resultados das misturas preliminares foi possível encontrar quantidades de água e fibra otimizadas, em relação a análise qualitativa de fissuração.

Tabela 10–Resultado das argamassas MCF050 (P)

Mistura	Traço em massa		IC (mm)
	Terra	Fibra	
MCF050 (P) - 1	1 : 0,005	0,252	185,00
MCF050 (P) - 2	1 : 0,005	0,255	199,70
MCF050 (P) - 3	1 : 0,005	0,259	235,42
MCF050 (P) - 4	1 : 0,005	0,263	257,97

Fonte: Os autores

Figura 15 - Argamassa MCF050 (P) - 3



Fonte: Os autores (2020)

Observou-se que ambos as terras apresentaram comportamentos demasiadamente diferentes, como esperado. As argamassas com a terra “Tamarana” apresentaram melhores resultados conforme o aumento de fibras necessitando de teores de fibra mais elevados (em torno de 1,25%). Já com a terra “Mauá”, as fissuras foram contidas com apenas 0,25% de fibras, comprovando que terras argilosas apresentam tendência a fissuração devido à escassez de areia em sua composição. Verificou-se, também, relação análoga entre quantidade de água necessária na mistura com os Limites de Atterberg de cada terra.

Misturas definitivas

Os resultados referentes às misturas definitivas estão apresentados nas Tabelas de 11 a 15 e nas Figuras 16 a 19 apresentam as imagens das amostras de argamassas.

O acompanhamento das misturas aplicadas nos tijolos foi realizado até o vigésimo oitavo dia após sua aplicação. Verificou-se que as fissuras, quando da sua ocorrência, aparecem no mesmo dia de aplicação, não apresentando aumento significativo ao decorrer dos dias, assim, os resultados do IF foram calculados no 28º após a aplicação da argamassa no tijolo.

A Tabela 11 exhibe os valores obtidos com a dosagem das argamassas TSF (D). A Figura 16 apresenta as misturas TSF (D) – 1 e TSF (D) – 5, o pior e o melhor desempenho quanto ao IF das argamassas TSF (D). É possível observar que a amostra TSF (D) - 5 apresenta IC elevado, de 324,33mm, em relação ao previamente estabelecido de 260 mm, isso se deu ao fator água/terra baseado nas misturas preliminares, onde a quantidade de acréscimo de água aproximado resultou em um IC abaixo de 175 mm, já se esperava uma consistência mais elevada nas misturas definitivas, pela melhor homogeneização. Assim, os valores de a/t não se basearam nas argamassas TSF (P), notou-se um valor elevado de consistência e, a partir disso, foram dosados valores inferiores.

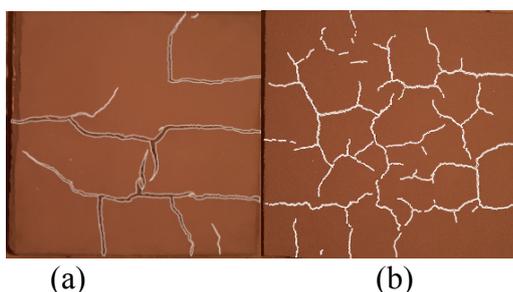
Tabela 11 - Resultado das argamassas TSF (D)

Mistura	Traço em massa	IC (mm)	IF (%)
---------	----------------	---------	--------

Terra : a/t			
TSF (D) - 1	1 : 0,341	182,33	3,99
TSF (D) - 2	1 : 0,384	251,33	3,64
TSF (D) - 3	1 : 0,391	264,67	2,99
TSF (D) - 4	1 : 0,417	286,33	2,18
TSF (D) - 5	1 : 0,449	324,33	1,42

Fonte: Os autores

Figura 16 - Fissuração das argamassas (a) TSF (D) - 1 e (b) TSF (D) - 5



Fonte: Os autores

A argamassa TSF (D) – 1 apresenta menor quantidade de fissuras, porém sua abertura é consideravelmente maior em comparação a TSF (D) – 5. Durante a execução de TSF (D) – 5 foi possível perceber a liquidez da mistura, demonstrando problemas na aplicação.

A Tabela 12 apresenta os resultados das argamassas TCF125 (D) e a Figura 17 apresenta as misturas TCF125 (D) – 1 e TCF125 (D) – 5, o pior e o melhor desempenho quanto ao índice de fissuração das argamassas TCF125 (D). A Figura 18 ilustra as misturas TCF150 (D) – 1 e TCF150 (D) – 5, o pior e o melhor desempenho quanto ao IF das argamassas TCF150 (D). Nota-se que a última não apresenta fissuras visíveis a olho nu. A Tabela 13 exibe os resultados do teor de 1,50% de fibra, a TCF150 (D). Nas argamassas definitivas preparadas com a terra “Tamarana” (argila pouco plástica), foi necessário incorporar 1,50% de fibras têxteis, e uma relação a/t aproximada ao Limite de Liquidez do solo, para obtenção de uma mistura com IF nulo.

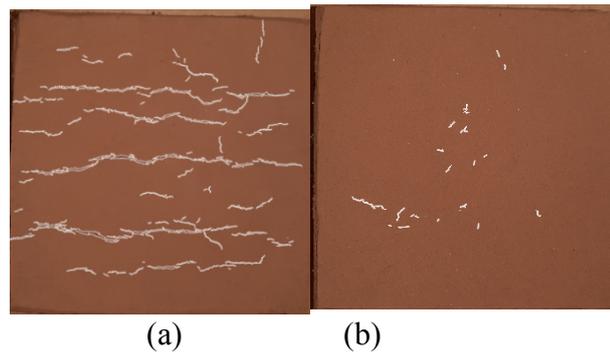
Tabela 12–Resultado das argamassas TCF125 (D)

Mistura	Traço em massa		IC (mm)	IF (%)
	Terra : Fibra : a/ms			

TCF125 (D) - 1	1 : 0,0125 : 0,389	172,88	1,87
TCF125 (D) - 2	1 : 0,0125 : 0,412	196,22	0,69
TCF125 (D) - 3	1 : 0,0125 : 0,438	220,23	0,51
TCF125 (D) - 4	1 : 0,0125 : 0,474	245,52	0,15
TCF125 (D) - 5	1 : 0,0125 : 0,504	266,52	0,06

Fonte: Os autores

Figura 17 - Fissuração das argamassas (a) TCF125 (D) - 1 e (b) TCF125 (D) - 5



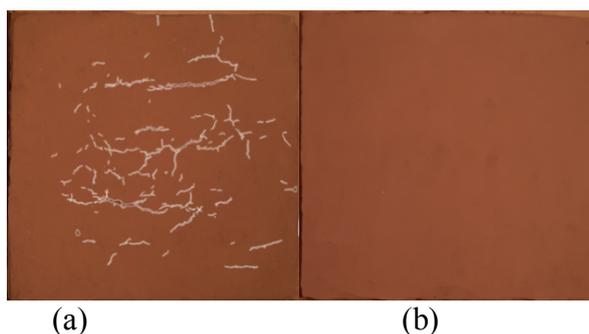
Fonte: Os autores

Tabela 13–Resultado das argamassas TCF150 (D)

Mistura	Traço em massa		IC (mm)	IF (%)
	Terra : Fibra :	a/ms		
TCF150 (D) - 1	1 : 0,0150 : 0,381		162,58	1,29
TCF150 (D) - 2	1 : 0,0150 : 0,422		184,05	0,12
TCF150 (D) - 3	1 : 0,0150 : 0,439		203,40	0,05
TCF150 (D) - 4	1 : 0,0150 : 0,468		217,13	0,01
TCF150 (D) - 5	1 : 0,0150 : 0,502		229,98	0,00

Fonte: Os autores

Figura 18 - Fissuração das argamassas (a) TCF150 (D) - 1 e (b) TCF150 (D) – 5



Fonte: Os autores

Para todas as argamassas moldadas, as fissuras não progrediram significativamente com o passar do tempo, evidenciando que uma vez que as primeiras fissuras se formam, as tensões se dissipam de forma bastante rápida.

Este fato pode estar relacionado com o já conhecido fenômeno de retração plástica em argamassas cimentícias que ocorre quando o material ainda está fresco, não apresentando resistência suficiente para suportar as tensões geradas no processo de secagem.

As argamassas executadas com a terra “Mauá” apresentaram fissuração, portanto a Tabela 14 não apresenta a coluna de IF.

Tabela 14–Resultado das argamassas MSF (D)

Mistura	Traço em massa	
	Terra : a/t	IC (mm)
MSF (D) - 1	1 : 0,223	229,28
MSF (D) - 2	1 : 0,232	246,63
MSF (D) - 3	1 : 0,243	271,42

Fonte: Os autores

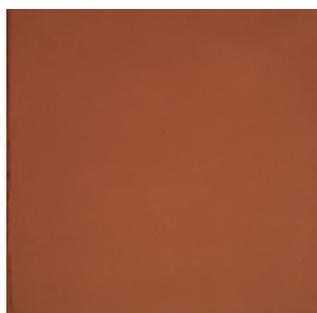
Foi possível observar melhoria da metodologia nos resultados entre as misturas preliminares e definitivas, principalmente para as argamassas com a terra “Mauá” sem adição de fibras, já que as argamassas preliminares apresentaram fissuração elevada, conforme a Figura 13, enquanto as definitivas mantiveram sua integridade. A Figura 19 apresenta a argamassa MSF (D) – 2. Salienta-se que as outras misturas MSF (D) apresentaram comportamento similar. A Tabela 15 exhibe os valores dos resultados da argamassa MCF025 (D). A Figura 20 apresenta a argamassa MCF025 (D) – 3, ressaltando que as demais misturas MCF025 (D) apresentaram comportamento semelhante. Ambas as argamassas definitivas executadas com terra “Mauá”

(MSF e MCF025) não apresentaram fissuração, não demandando melhorias nesta propriedade. Contudo, se faz necessário avaliar outras propriedades para as argamassas moldadas com esta terra. Já para a terra “Tamarana”, foi necessária análise mais detalhada em vista da ocorrência de fissuras significativas, exigindo maior adição de fibras e, conseqüentemente, maior teor de água em sua composição.

O Gráfico 2 exibe os resultados de fator água/terra e índice de consistência de todas as argamassas definitivas, facilitando a comparação entre elas. Verifica-se que ambas as terras apresentam fatores a/t em conformidade com seus respectivos Limites de Atterberg, apresentados na Tabela 1. Ainda, verifica-se que a correlação linear (R^2) considerando fator a/t e IC, para as argamassas avaliadas, superou 97%, indicando boa concordância dos pontos a reta interpolada.

As argamassas com terra mais arenosa (Mauá) apresentaram maior sensibilidade no índice de consistência ao variar a relação água/terra. Já nas argamassas com terra mais argilosa (Tamarana), é possível variar a relação água/terra sem que ocorram variações significativas no índice de consistência.

Figura 19 – Argamassa MSF (D) -2



Fonte: Os autores

Tabela 15 - Resultado das argamassas MCF025 (D)

Mistura	Traço em massa	
	Terra : Fibra :	IC (mm)
MCF025 (D) - 1	1 : 0,0025	178,88
MCF025 (D) - 2	1 : 0,0025	230,70
MCF025 (D) - 3	1 : 0,0025	274,65

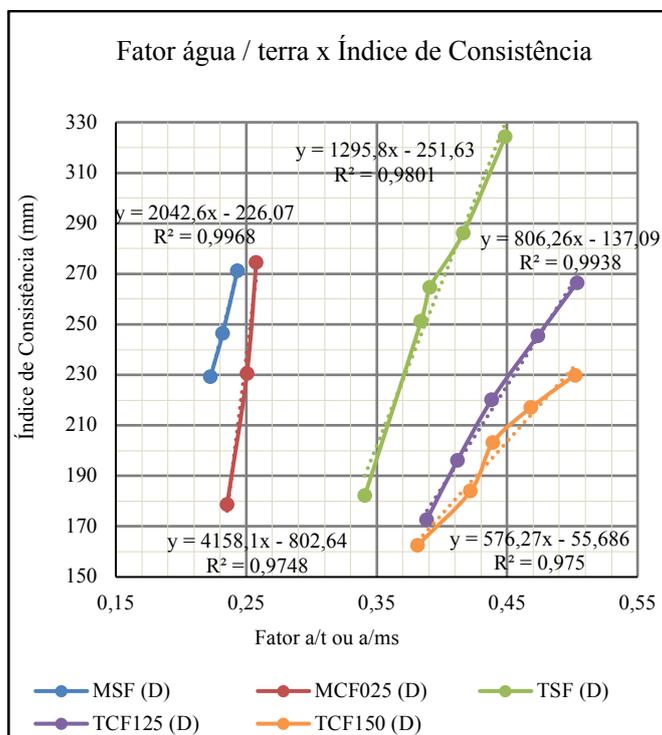
Fonte: Os autores

Figura 20 - Argamassa MCF025 (D) – 3



Fonte: Os autores

Gráfico 2 - Relação de fator água / terra e índice de consistência das misturas definitivas



Fonte: Os autores

4. Conclusões

O presente estudo identificou teores ditos ótimos para incorporações de fibras de poliéster em argamassas de terra confeccionadas com duas terras distintas, considerando o desempenho à fissuração. As argamassas com a terra “Tamarana” apresentaram pior desempenho quanto a fissuração, necessitando de 1,5% de adição de fibras, enquanto com a terra “Mauá” não houve a necessidade de incorporação, uma vez que naturalmente apresenta maior quantidade de material arenoso em sua composição.

A adição de fibra de poliéster se mostrou vantajosa no combate a fissuração em ambas as argamassas. Salienta-se que inserção de fibra de poliéster em teores superiores a 1,5% pode

conduzir a resultados desfavoráveis, uma vez que as fibras em excesso geram conglomerados mais suscetíveis a fissuração. Ainda, existem evidências de que as fibras contribuíram para aderência ao substrato, contudo tal observação ainda deve ser comprovada.

Durante o processo de dosagens das argamassas com terra argilosa, notou-se que as argamassas com menor fator a/t apresentaram maior fissuração em relação as demais. Acredita-se que a pouca quantidade de água não permitia a boa homogeneização das fibras na mistura, sendo assim, algumas áreas ficaram com ausência de fibras.

Para ambas as terras, as argamassas se mostraram trabalháveis para quantidades de água dentro do intervalo de plasticidade dos materiais. Contudo, se faz necessário melhor entendimento da relação entre consistência e desempenho das argamassas de terra. Em relação a aplicação, observou-se dificuldade no espalhamento e na regularização do bloco nas argamassas com o mais alto teor de fibra (1,50%), além disso, nota-se que, para valores elevados de fator a/t, a água não era bem incorporada a mistura.

Por fim, salienta-se que, adicionalmente a este estudo, as propriedades mecânicas e hidráulicas devem ser verificadas buscando viabilizar o emprego destes materiais na construção civil.

Referências

- Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT NBR 6457: Amostra de solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização, 2016.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT 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, 2016.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT NBR 6459: Determinação do limite de plasticidade.: ABNT, 2016.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT NBR 7180: Solo – Determinação do limite de liquidez, 2016.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT NBR 7181: Solo – Análise granulométrica, 2016.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT NBR 13276: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação do índice de consistência, 2005.
- Costa, G. C. F; Guimarães, P. A. Avaliação da retração de argamassas de revestimento com Adição de fibras de polipropileno. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Obtenção de grau em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Paraná, 2019.

- Eires, R.; Cardoso, C. J. L.; Camões, A. Argamassas de terra e cal reforçadas com fibras naturais. [s. l.], 2014.
- Faria, P. Problemática dos revestimentos de paredes em construções de terra crua. [s. l.], 1999.
- Faria, P.; Lima, J. Rebocos de Terra. 1. ed. Portugal, Europa: Argumentum, 2018.
- Figueiredo, A. D. Concreto Reforçado com Fibras. 2011. Tese (Livre-docência na Escola Politécnica) - Universidade de São Paulo, 2011.
- Gomes, M. I.; gonçalves, T.D.; Faria, P. Análise experimental de argamassas de terra com cais e fibras naturais. [s. l.], 2012a.
- Mineropar, Serviço Geológico do Paraná. Carta Geológica da Folha de Londrina, 2006. Disponível em: <<http://www.iat.pr.gov.br/Pagina/Mapeamento-Geologico>>. Acesso em: 24 mar. 2021.
- Nabais, J. M. A. Avaliação da aderência ao suporte de rebocos de terra. 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Faculdade de Ciência e Tecnologia, Universidade Nova Lisboa, Lisboa, 2015.
- Pedergrana, M.; Elias-Ozkan, S. T. Impact of various sands and fibres on the physical and mechanical properties of earth mortars for plasters and renders. *Construction and Building Materials*, v. 308, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.125013>.
- PN-EN ISO 1183-1 Plastics - Methods for determining the density of non-cellular plastics - Part 1: Immersion method, liquid pycnometer method and titration method, 2004.
- Santos, T. R. A. Argamassas de terra para rebocos interiores. Ensaios de caracterização e influência da formulação. 2014. Dissertação (Mestrado de Engenharia Civil) – Faculdade de Ciência e Tecnologia, Universidade Nova Lisboa, Lisboa, 2014.
- Santos, T.; Faria, P.; Silva, V. 2014. Caracterização de argamassa pré-doseada de terra, in I Simpósio de Argamassas e Soluções Térmicas de Revestimento, p. cd. Argamassas, Coimbra, 2014.
- Santos, T; Faria, P. Characterization of earthen plasters Influence of formulation and experimental methods. 2020. *Gremium*, n. 14, Cidade do México, p. 151-168, 2020.
- Siqueira, J. E. L. Utilização de fibras naturais e sintéticas em argamassas de revestimento de alvenaria: estudo comparativo de desempenho. 2006. Dissertação (Mestrado de Engenharia Civil) – Programa de pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

SNIC – Sindicato nacional da indústria do cimento. (2019) Relatório Anual 2019. Disponível em: <http://snic.org.br/assets/pdf/relatorio_anual/rel_anual_2019.pdf /Acesso em 02 fev. 2021.

Sousa, L. F; SantosJunior, A. G.; Santos, M. L. L. O. Avaliação do desempenho de argamassas cimentícias reforçadas com fibras de poliéster. 2019. **Brazilian Applied Science Review**, n. 6, Curitiba, p. 2565-2576, 2019.