

15º Congresso de Inovação, Ciência e Tecnologia do IFSP - 2024

AValiação DAS PROPRIEDADES MECâNICAS E DE TRANSMITâNCIA DE LUZ DE MATERIAIS CIMENTÍCIOS COM ADIÇÕES DE FIBRAS ÓPTICAS E FIBRAS DE RESÍDUOS DE PET

LARISSA MIRELLY VENANCIO MARCELINO ¹, RAFAEL BRAGANCEIRO SANTIN ²,
ADHEMAR WATANUKI FILHO ³, JOÃO VICTOR FAZZAN ⁴

¹ Aluna do Curso Técnico em Edificações Integrado ao Ensino Médio, Iniciação Científica PIBIC-EM pelo CNPq, IFSP, Campus Ilha Solteira, l.mirelly@aluno.ifsp.edu.br.

² Técnico de Laboratório de Construção Civil, Aluno de Pós Graduação em Ciência dos Materiais UNESP FEIS, IFSP, Campus Ilha Solteira, rafael.santin@ifsp.edu.br.

³ Docente da Área da Construção Civil, IFSP, Campus Ilha Solteira, watanuki@ifsp.edu.br.

⁴ Docente da Área da Construção Civil, IFSP, Campus Ilha Solteira, jvfazzan@ifsp.edu.br.

Área de conhecimento (Tabela CNPq): 3.01.01.01-8 Materiais e Componentes de Construção

RESUMO: Atualmente, aspectos como crise energética aliada ao aumento do consumo de energia, aumento de consumo de bens processados e de produção de resíduos se traduzem em problemas ambientais. Diante deste cenário, as políticas de redução de consumo vêm buscando melhorias de viés sustentável, que também podem ser implementadas na construção civil. Além disso, tem-se verificado o crescimento rápido com comunicações ópticas, aliado ao aumento da velocidade das internet, gerando o emprego e conhecimento mais afincado dos diversos tipos de fibras e cabos ópticos. Portanto, a relevância deste projeto está em associar fibras ópticas comerciais e fibras de garrafas PET na tentativa de obter um material cimentício que ofereça propriedades mecânicas e de luminosidade adequadas. De forma a verificar a distribuição das fibras de forma aleatória ou em malha, foram realizados ensaios para caracterizar as argamassas no estado fresco (índice de consistência) e estado endurecido (resistência à compressão simples e densidade aparente), além do ensaio de transmitância de luz. A escolha pela utilização de fibras de PET em argamassas indicou um desempenho similar às fibras comerciais, tanto nas propriedades mecânicas quanto nas propriedades de luminosidade, além de garantir um custo mais acessível na produção das argamassas constituídas de PET.

PALAVRAS-CHAVE: concreto translúcido, luminosidade, eficiência energética, materiais cimentícios.

EVALUATION OF THE MECHANICAL AND LIGHT TRANSMITTANCE PROPERTIES OF CEMENTOUS MATERIALS WITH ADDITIONS OF OPTICAL FIBERS AND PET WASTE FIBERS

ABSTRACT: Currently, aspects such as the energy crisis combined with increased energy consumption, increased consumption of processed materials and waste production are becoming environmental problems. Thus, consumption reduction policies have been seeking sustainable improvements, which can also be implemented in civil construction. Furthermore, the rapid growth in optical communications, combined with the increase in internet speed, generates employment and greater knowledge of the different types of optical fibers and cables. Therefore, the relevance of this project lies in combining commercial optical fibers and PET waste fibers to obtain a cementitious material that offers adequate mechanical and luminosity properties. In order to verify the distribution of fibers randomly or in a mesh, tests were carried out to characterize the mortars in the fresh state (consistency index) and hardened state (compressive strength and apparent density), in addition to the light transmittance test. The choice to use of PET waste fibers in mortars indicated a similar performance to commercial fibers, both in terms of mechanical properties and luminosity properties, in addition to ensuring a more affordable cost in the production of mortars made from PET.

KEYWORDS: translucent concrete, luminosity, energy efficiency, cementitious materials.

INTRODUÇÃO

As práticas de aproveitamento da luz natural, de forma adequada, têm sido empregadas para reduzir os consumos de energia, pois a utilização da luz solar para iluminar os espaços interiores dos edifícios, além de ser benéfica, proporciona aos usuários um ambiente saudável e contribui para a economia de energia (DEBNATH; BARDHAN, 2016; AHUJA; MOSALAM, 2017).

De fato, os projetistas de edifícios estão começando a buscar meios além das janelas e vidros (HENRIQUES; DAL MOLIN; MASUERO, 2018) para capturar, transportar e fornecer luz natural aos espaços interiores das edificações (AHUJA; MOSALAM, 2017). Neste caso, o uso de fibras ópticas ou fibras de polietileno tereftalato (PET) como componentes de materiais cimentícios, sejam eles na forma de argamassas de assentamento, paredes estruturais e blocos de vedação, passam a ser tecnologias construtivas sustentáveis a serem aplicadas nas construções.

Segundo Ahuja et al. (2017), a aplicação de fibras em compósitos cimentícios pode reduzir o brilho e economizar até 50% de energia de iluminação artificial, além de se serem agentes de reforços e melhorar as propriedades de tração e flexão dos elementos (HENRIQUES; DAL MOLIN; MASUERO, 2020), podendo fornecer capacidades de suporte de carga residuais com contribuições estruturais significativas (ALBERTI; ENFEDAQUE, GÁLVEZ, 2018). Ao mesmo tempo, para Tahwia et al. (2021), a transmitância de luz e a resistência à compressão podem ser significativamente incrementadas para concretos auto-adensáveis translúcidos, com adição de fibras ópticas plásticas.

A relevância do projeto está em associar fibras ópticas comerciais e fibras de garrafas PET na tentativa de obter um material cimentício que ofereça propriedades mecânicas e de luminosidade adequadas, além de reduzir o consumo de energia e o descarte inadequado de resíduos na natureza.

MATERIAL E MÉTODOS

1. Agregado Miúdo

O agregado miúdo utilizado na produção de argamassas foi classificado como areia média natural, de origem silícea. O material apresenta diâmetro máximo de 2,36 mm e massa específica absoluta de 2,62 g/cm³.

2. Aglomerante

O cimento utilizado foi o CP V – ARI. Trata-se de um cimento com mais de 95% de clínquer na composição, sem adição de pozolana. Foram determinados os valores de massa específica absoluta e massa específica aparente, iguais à 3,15 e 1,04 g/cm³.

3. Fibras Ópticas

As fibras escolhidas para o desenvolvimento do projeto foram fibras ópticas poliméricas do tipo *endlight*, como fibras comerciais que foram submetidas apenas à etapa de corte para adequação dimensional.

4. Fibras de Resíduos de PET

Foram utilizados filamentos de garrafa PET reutilizáveis, com diâmetros de aproximadamente 1 mm e comprimentos variados, em função dos formatos de moldes a serem utilizados. O preparo das fibras de PET seguiu as etapas de higienização, secagem e corte de filamentos das garrafas. A Figura 1 ilustra os dois tipos de fibras utilizadas na pesquisa.

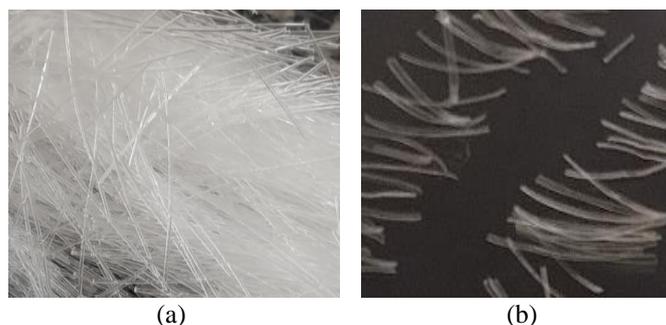


FIGURA 1. (a) Fibras Ópticas e (b) Fibras de Resíduos de PET.

5. Definição dos Traços de Argamassa

Nesta pesquisa pretende-se verificar a influência de diferentes tipos de fibras distribuídas aleatoriamente e em malha nas misturas de argamassa. Para isso, foi definido o traço em massa 1:2,16, isto é, com relação agregado/material cimentante igual a 2,16. Para maior efetividade na avaliação das fibras na massa, buscou-se a utilização do traço rico.

No caso da aplicação das fibras, foram definidas, a princípio, a adição na proporção total de 5,0% em função do volume de argamassa produzido, sendo estas distribuídas de forma aleatória (como feixe horizontal disposto em uma direção) e em malha (como feixe horizontal disposto em duas direções) no corpo de prova. Sendo assim, os traços foram classificados como: C (Controle C), FO-A (Fibra Ótica de modo aleatório), FO-M (Fibra Ótica em malha), PET-A (Fibra PET de modo aleatório) e PET-M (Fibra PET em malha). As dosagens das misturas estão definidas na Tabela 1 abaixo.

Para efeitos de comparação da trabalhabilidade das misturas, os traços foram elaborados mantendo-se a relação água/cimento constante, de 0,50.

TABELA 1. Dosagens de argamassas para variações nos tipos de fibras.

Mistura	% Fibras (Volume)	Consumos (g)			
		Cimento	Areia	Água	Fibras
C	0,0	500,0	1080,0	250,0	0,0
FO-A	5,0	500,0	1080,0	250,0	41,3
FO-M	5,0	500,0	1080,0	250,0	41,3
PET-A	5,0	500,0	1080,0	250,0	41,3
PET-M	5,0	500,0	1080,0	250,0	41,3

6. Procedimentos aplicados às composições de Argamassa no Laboratório

O processo de moldagem dos corpos de prova se deu através da norma NBR 7215 (ABNT, 2019), utilizando-se uma argamassadeira.

Ressalta-se ainda que a disposição das fibras na argamassa foi de tal maneira que estas ficassem expostas nas faces para permitir o contato da luz com os fios.

O adensamento das argamassas, nas fôrmas de dimensões (5 x 5 x 5) cm foi executado de forma manual, para melhor compactação e retirada de vazios.

Uma mesa cadente foi utilizada para o ensaio de consistência (Flow Table) juntamente com uma fôrma tronco-cônica. A determinação do índice de consistência foi executada após a preparação da argamassa a partir da norma NBR 13276 (ABNT, 2016).

Após os procedimentos de moldagem, os corpos de prova de argamassa foram mantidos em cura úmida, conforme a NBR 5738 da ABNT (2016).

Os corpos de prova foram levados ao ensaio de resistência à compressão, fazendo uso de uma Máquina Universal de Ensaios. Os ensaios foram realizados aos 7 dias de cura, utilizando-se 3 corpos de prova para cada traço.

Após os 7 dias de cura, 3 corpos de prova de cada dosagem de argamassa foram separados para o ensaio de Densidade Aparente no estado endurecido, conforme as prescrições da norma NBR 13278 (ABNT, 2005).

Um dos principais motivos para utilização de fibras em argamassas está no fato destas inserções permitirem transmitir luz, a partir de um material de matriz cimentícia opaca. Neste caso, a eficiência energética do material transmissor de luz pode ser avaliada a partir de ensaios de transmitância. Para o ensaio, foi fixada uma fonte de luz (lâmpada de 100 W/110V) e uma fotocélula de aparelho luxímetro (Lustron, modelo LX-101 Lux-meter). As leituras das amostras foram realizadas aos 7 dias, sendo expostas à fonte de luz direta por um período de 10 minutos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

1. Consistência das Argamassas

O efeito do consumo de água nas misturas de argamassas para o estado fresco foi avaliado por meio do ensaio de Mesa de Consistência (Flow Table), sendo que as fibras foram adicionadas à argamassa sem direções definidas. O valor de abertura encontra-se na Tabela 2 abaixo.

TABELA 2. Diâmetro de abertura de consistência de argamassas.

Diâmetro (mm)	Mistura		
	C	Fibra Óptica	PET
Média	319	252	210

Os dados mostram que o incremento de fibras causa redução da trabalhabilidade das misturas de argamassa. De fato, isso quer dizer que inserção de fibras pode requerer uma maior demanda de água para manter a trabalhabilidade constante. Apesar disso, pode-se considerar que o efeito de redução da trabalhabilidade se deu em maior parcela pelo efeito de malha ou entrelaçamento das fibras, visto que a absorção tanto da Fibra Óptica quanto da PET é nula.

Pode-se ainda verificar que a Fibra de Resíduos de PET causou uma redução maior em relação à Fibra Óptica, levando a uma possível conclusão que o formato pontiagudo, em quinças e textura superficial da PET pode gerar a tendência observada. Por outro lado, a Figura 1 mostra uma superfície mais lisa e arredondada do Fibra Óptica.

2. Resistência à Compressão das Argamassas

A Tabela 3 abaixo mostra os resultados de Resistência Mecânica à Compressão dos corpos de prova de argamassa em função do tipo e distribuição das Fibras Ópticas e Resíduos de PET.

TABELA 3. Resistência à Compressão de argamassas em função do tipo e distribuição das Fibras.

Mistura	Tempo de Cura (dias)
	7
	Resistência à Compressão (MPa)
C	39,70 ± 0,71
FO-A	39,32 ± 1,44
FO-M	37,70 ± 1,13
PET-A	40,83 ± 0,98
PET-M	36,40 ± 1,33

De modo geral, observa-se que todas as dosagens tiveram resistências mecânicas compatíveis com o traço controle aos 7 dias de cura, mostrando que as reações de hidratação não foram prejudicadas com a inserção de fibras.

Além disso, observa-se a influência das fibras nas propriedades mecânicas das argamassas. Percebe-se que as misturas com fibras PET dispostas aleatoriamente proporcionam valores de resistência mecânica ligeiramente superiores às da mistura controle, mostrando sua viabilidade de utilização em argamassas. Mesmo para as fibras dispostas em malha, foi observada uma redução de aproximadamente 8,3% em relação ao traço controle.

Ao mesmo tempo que a trabalhabilidade das misturas com Fibras de Resíduos de PET foi reduzida, a morfologia e textura superficial da PET pode ser um dos importantes efeitos na distribuição de cargas em misturas cimentícias. De fato, os resultados dos ensaios de ruptura indicaram um ganho de carga mais lento em relação ao tempo de aplicação da força, levando a um efeito de maior concentração de cargas residuais e consequente redução de ruptura frágil dos corpos de prova.

3. Densidade Aparente

O ensaio de Densidade Aparente foi feito aos 7 dias de cura para analisar os efeitos da Massa Específica das argamassas constituídas de Fibras Ópticas e Resíduos de PET. Os valores obtidos encontram-se na Figura 2 abaixo.



FIGURA 2. Densidade Aparente das Misturas de Argamassa com adição de Fibras.

Em primeira instância, foram observados altos valores de Densidade das misturas, caracterizado pela definição de um traço rico de elevado consumo de cimento. Além disso, a coerência dos resultados mostrou que a vibração das misturas foi feita de maneira efetiva, de modo que as fibras não prejudicaram a densificação das misturas.

Merece destaque mais uma vez as misturas com adição de Fibras de Resíduos de PET, que trouxeram maiores valores de Massa Específica, uma vez que tal densificação também pode ter refletido nos maiores valores de Resistência à Compressão das argamassas. De outro modo, as menores Densidades obtidas podem ser indicativo de misturas que podem garantir maior leveza às estruturas da construção civil.

4. Transmitância

A eficiência energética do material transmissor de luz pode ser avaliada a partir do ensaio de transmitância. A Tabela 4 abaixo mostra os resultados em função do tipo e distribuição das Fibras Ópticas e Resíduos de PET.

TABELA 4. Transmitância de Luz de argamassas em função do tipo e distribuição das Fibras.

Mistura	Tempo de Cura (dias)
	7
Transmitância (lux)	
C	0,00
FO-A	16,22
FO-M	12,05
PET-A	14,23
PET-M	9,48

Verifica-se que, em relação aos traços controle, todas as amostras com fibras apresentaram transmitância de luz, mostrando sua efetividade na elaboração de misturas translúcidas. Apesar das misturas com Fibras Ópticas apresentarem incremento no valor da transmitância em relação às misturas com Fibras de Resíduos de PET, verifica-se que as misturas com PET e distribuídas de modo aleatório tem um comportamento muito próximo às misturas com o material comercial.

CONCLUSÕES

O objetivo deste trabalho é avaliar a aplicação de fibras ópticas comerciais e fibras de garrafas PET na tentativa de obter um material cimentício que ofereça propriedades mecânicas e de luminosidade adequadas.

O incremento de fibras causa redução da trabalhabilidade das misturas de argamassa, entretanto seu efeito pode estar relacionado ao entrelaçamento do material no estado fresco.

Verificou-se a viabilidade de utilização de Fibras de Resíduos de PET em relação às propriedades mecânicas, visto que as resistências à compressão chegaram a valores próximos ou ligeiramente superiores ao traço controle. As argamassas ainda apresentaram um efeito de ruptura mais tardio, mostrando sua capacidade de absorção de impactos e comportamento mais dúctil.

As misturas com adição de fibras apresentaram redução da Densidade Aparente em relação ao traço sem adição, sendo um indicativo da obtenção de estruturas mais leves para as novas tecnologias das construções na atualidade.

Todas as amostras com fibras apresentaram valores significativos de transmitância de luz, podendo dar destaque às misturas com Fibras de Resíduos de PET dispostas aleatoriamente, visto que seu comportamento se aproxima da intensidade obtida para as misturas com Fibras Ópticas comerciais.

CONTRIBUIÇÕES DOS AUTORES

A.W.F. contribuiu com o tema inicial do projeto, através dos contatos feitos com as empresas e posterior coleta do material.

L.M.V.M, R.B.S e J.V.F procederam com a metodologia, experimentos e redação do trabalho.

Todos os autores contribuíram com a revisão do trabalho e aprovaram a versão submetida.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq, pela Bolsa de Iniciação Científica concedida.

A todos que participaram, direta ou indiretamente do desenvolvimento deste trabalho de pesquisa, enriquecendo o meu processo de aprendizado.

REFERÊNCIAS

AHUJA, A.; MOSALAM, K. M. Evaluating energy consumption saving from translucent concrete building envelope. **Energy and Buildings**, v. 153, p. 448-460, 2017.

ALBERTI, M. G.; ENFEDAQUE, A.; GÁLVEZ, J. C. A review on the assessment and prediction of the orientation and distribution of fibres for concrete. **Composites Part B: Engineering**, v. 151, p. 274-290, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 5738**: Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 7215**: cimento Portland – determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 13276**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2016. 3 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13278**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos: determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado. Rio de Janeiro, 2005.

DEBNATH, R.; BARDHAN, R. Daylight performance of a naturally ventilated building as parameter for energy management. **Energy Procedia**, v. 90, p. 382-394, 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610216314151>. Acesso em Fev/2023.

HENRIQUES, T. S.; DAL MOLIN, D. C.; MASUERO, A. B. Study of the influence of sorted polymeric optical fibers (POFs) in samples of a light-transmitting cement-based material (LTCM). **Construction and Building Materials**, v. 161, p. 305-315, 2018.

HENRIQUES, T. S.; DAL MOLIN, D. C.; MASUERO, A. B. Optical fibers in cementitious composites (LTCM): Analysis and discussion of their influence when randomly arranged. **Construction and Building Materials**, v. 244, p. 118406, 2020.

AHMED M. TAHWIA, AHMED ABDEL – RAHEEM, NIRMEN ABDEL – AZIZ, MOHAMED AMIN. Light transmittance performance of sustainable translucent self-compacting concrete. **Journal of Building Engineering**, v. 38, p. 1-11, 2021.