

Desenvolvimento e avaliação de placas translúcidas de argamassa

Development and evaluation of mortar translucent plates

Leonardo J.M. Uribe, Msc, Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC

technologyufsc@gmail.com

Wellington L. Repette, Dr, Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC

Wellington.repette@gmail.com

Resumo

A necessidade de se projetar ambientes capazes de aproveitar melhor a luz natural vai muito além da economia gerada pela redução no consumo de energia com iluminação artificial. A sensação de bem estar provoca aumento de produtividade e maior integração com a área externa e natureza. Este trabalho desenvolveu uma argamassa capaz de gerar uma parede translúcida mediante adição de fibras óticas plásticas poliméricas (FOP). Foram produzidas placas com dimensões (10x40x160cm) avaliando-se a influência da adição das FOP em algumas propriedades físico-mecânicas como absorção de água por imersão, resistência à tração na flexão, condutividade térmica e transmitância. A resistência mecânica foi avaliada aos 28, 90 e 120 dias de idade. As placas foram submetidas a envelhecimento acelerado (ciclos de secagem/molhagem, sala com temperatura e umidade controlada, intempérie e imersão parcial em água), durante períodos de 60 e 90 dias. A transmitância das placas translúcidas (PT) foi avaliada antes e depois da exposição nos ambientes. Os resultados mostraram que a adição de FOP reduziu significativamente a resistência à tração na flexão e o módulo de elasticidade das placas.

Palavras-chave: Argamassa; Translúcida; Fibra ótica plástica.

Abstract

The need to design environments that are better able to take advantage of natural light goes far beyond the savings generated by reduced energy consumption with artificial lighting. The feeling of well-being causes increased productivity and greater integration with external area and nature. This paper developed a mortar capable of generating a translucent wall by addition of polymeric optical fibers (POF). Prismatic test bodies were molded with dimensions (10x40x160cm) assessed the influence of POF in some physical-mechanical properties as water absorption by immersion, flexural strength, thermal conductivity and transmittance. Mechanical strength was analyzed at 90 and 120 days old. Plates were subjected to accelerated aging (drying/wet cycles, room with controlled temperature and humidity, outdoor and partial immersion in water) for periods of 60 and 90 days. The translucence of the translucent plates (TP) was assessed before and after exposure in the environments. The results showed that the addition of POF reduced significantly flexural strength and modulus of elasticity of the plates.

Keywords: Mortar; Translucent; Fiber Optical Plastic.

1. Introdução

Em virtude do crescente desenvolvimento da construção civil, decorrente da expansão urbana, arquitetos e engenheiros necessitam apresentar novas alternativas para minimizar a interferência nos recursos naturais e econômicos. Conforme dados do Balanço Energético Nacional (BEN, 2016), em 2015 aproximadamente 50% do consumo energético total de energia elétrica no país é devido a edifícios residenciais, comerciais e públicos. Estes dados poderiam ser minimizados com auxílio da iluminação natural, que se faz muito benéfica para os seres humanos quando bem distribuída nos ambientes. Com o intuito de incentivar a prática de construções sustentáveis, são desenvolvidos novos materiais capazes de aproveitar esta iluminação natural, reduzindo os desperdícios gerados pela iluminação artificial e climatização, uma vez que iluminações artificiais geram calor para o ambiente. Uma alternativa ao aproveitamento das iluminações naturais poderia ser a utilização do concreto translúcido, que segundo definição da associação de cimento Portland (PCA) é um concreto composto por milhares de fios de fibras óticas que são misturados na matriz cimentícia e ao agregado miúdo para transmitir a luz. As fibras correm paralelas umas às outras, a transmissão de luz se gera entre as duas faces do elemento de concreto no qual estão inseridas as fibras. As fibras óticas transmitem luz com tanta eficiência que não existe praticamente nenhuma perda de luz conduzida através das fibras, sendo possível até reconhecer as cores através do concreto. Em 2001 o arquiteto húngaro Áron Losonczy, em parceria com a Universidade de Budapeste, na Hungria, e com a Universidade de Aachen, na Alemanha, desenvolve o concreto translúcido denominado Litracon. No Brasil, pesquisadores trabalham com estas noções de transparência no material de construção e fazem suas propostas de mistura de materiais que permitem a passagem da luz através das estruturas, sem diminuir o desempenho do material. Este trabalho objetiva desenvolver PT de argamassa, com incorporação de FOP na matriz cimentícia, assim como estudar as suas propriedades mecânicas e físicas, para aplicação em projetos arquitetônicos e possível aproveitamento da luz natural. Foram analisados a resistência à tração na flexão, módulo de elasticidade, absorção de água por imersão, condutividade térmica e transmitância.

2. Programa Experimental

O programa experimental foi dividido em duas etapas. A primeira etapa abarca a descrição e a caracterização dos materiais empregados na confecção das argamassas, os procedimentos de mistura, moldagem e preparação das PT. Na segunda etapa, as PT foram expostas por períodos de tempo de 60 e 90 dias em 4 ambientes diferentes: ciclos de secagem/molhagem (água/estufa), temperatura e umidade controlada (laboratório), intempérie (terraço) e imersão parcial em água. Avaliaram-se a resistência à tração na flexão e módulo de elasticidade aos 28, 90 e 120 dias de idade, a transmitância antes e depois da exposição, absorção de água por imersão e a condutividade térmica.

2.1 Materiais

Foi escolhido o Cimento Portland CP V ARI RS na confecção dos corpos-de-prova de argamassa por apresentar alta resistência inicial e ser resistente a agentes agressivos como ao ataque de sulfatos. Utilizou-se uma areia fina natural, de quartzo, na confecção da argamassa. A distribuição granulométrica se apresenta na figura 1.

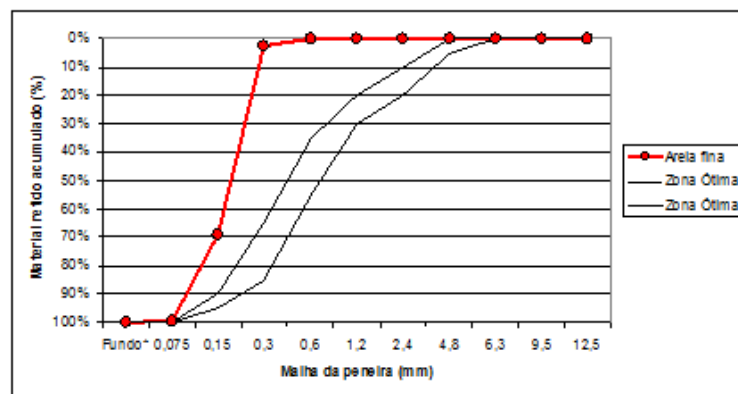


Figura 1: Distribuição granulométrica da areia fina. Fonte: elaborado pelos autores.

Os limites granulométricos foram determinados segundo norma NBR 7211:2005. As características físicas da areia se apresentam na tabela 1.

Módulo de finura	2,71
Diâmetro Máximo (mm)	0,300
Diâmetro Mínimo (mm)	0,075
Massa específica (kg/dm ³)	2,67
Massa unitária (kg)	1,44
Material pulverulento (%)	0,27

Tabela 1 - Caracterização física da areia

Utilizou-se aditivo superplastificante GLENIUM 51 ou “reductor de água de alta eficiência” como o reconhece a ASTM C 494-92, a base de policarboxilato de sódio. Foi escolhida a FOP de PS e PMMA por apresentar maior flexibilidade, menor custo e potencialmente maior resistência ao meio alcalino, quando comparada com as fibras óticas de vidro.

2.2 Produção dos corpos-de-prova

Foram moldados corpos de prova prismáticos de argamassa de (40x40x160) mm com relação cimento:areia 1:2; a/c de 0,43; aditivo super plastificante 0,7% e 2,5% de adição de FOP em relação a massa total. A distribuição das FOP é transversal à base da fôrma. Os

prismas passaram por um período de cura por imersão de 15 dias e posteriormente, foram cortados obtendo placas translúcidas (PT) com dimensões de (10x40x160)mm. De cada prisma foram retiradas duas (2) PT, obtendo um total de 54 corpos de prova com adição de FOP. 26 corpos de prova foram expostos a envelhecimento natural, dos quais 13 foram colocados na sala climatizada do laboratório a uma temperatura constante de 23°C e 13 foram posicionados estrategicamente a intemperismo. 28 corpos de prova foram expostos a envelhecimento acelerado, dos quais 14 foram expostos a ciclos de secagem e molhagem. Aumentando a temperatura aumenta-se a velocidade de reação e difusão de agressivos; portanto foram realizados 12 ciclos de secagem/molhagem para as placas de 90 dias de idade e 19 ciclos para as placas de 120 dias de idade. A molhagem consistiu na imersão das placas em um balde com água, permanecendo na câmara úmida do LMCC, por um período de tempo de 2 dias a temperatura constante. Posteriormente, os corpos de prova foram colocados na estufa a uma temperatura controlada de 50°C por um período de tempo de 3 dias, definindo-se assim a secagem e completando um ciclo. Cada vez que os corpos de prova foram colocados no forno, inverteu-se o posicionamento, tentando evitar uma deflexão neles. A água é uma das principais causas de degradação dos materiais de construção, já que penetra na matriz por capilaridade, transportando com ela substâncias nocivas. Os 14 corpos de prova restantes foram submetidos a imersão parcial em água. Os corpos de prova com 1cm de espessura foram imersos em água até 0,5cm e foram apoiados nos extremos para garantir maior área da face em contato com a água. Ensaios físicos e mecânicos foram adaptados para analisar o desempenho das placas translúcidas antes e depois da exposição a qual foram submetidas no tempo. A seguir são apresentados com detalhes os métodos e equipamentos utilizados.

2.3 Ensaios Realizados

2.3.1 Resistência à Tração na Flexão

O comportamento mecânico das placas de argamassa foi avaliado aos 28, 90 e 120 dias de idade na máquina Instron 5569 localizada no LMCC da UFSC, mediante o programa BlueHill 2. Foram adotadas as normas ABNT NBR 12142 (determinação da resistência a tração na flexão em corpos-de-prova prismáticos) e a norma ABNT Projeto: 18:316.01-002/5 (aplicável a produtos pré-fabricados de materiais cimentícios reforçados com fibra de vidro), no desenvolvimento do ensaio. Os resultados apresentados pela máquina Instron foram conferidos pelo método ISO/DIS 679 – Methods of testing cements – Determination of strength (international Organization for Standardization), aplicando-se uma carga distribuída uniformemente na seção transversal no meio do corpo de prova bi-apoiado. A tensão de tração na flexão é dada pela equação (1):

$$\sigma = (1,5PL / bh^2) \quad (1)$$

sendo:

σ - tensão de tração na flexão (MPa); P - carga aplicada no meio do prisma (N); L - distância entre os apoios (mm); b - maior lado da seção transversal do corpo de prova (mm); e h - espessura do corpo de prova (mm).

As placas permaneceram imersas em água 36 horas antes do ensaio. Foi adotada uma velocidade de aplicação da carga de 0,1 mm/min e uma distância entre apoios de 8cm. Esperando-se que o rompimento das placas fosse ao meio, já que o ensaio foi de 3 pontos como mostra a Figura 2, foi analisada uma área aproximada de 3,50cm² no meio da placa. A análise consistiu na contagem da quantidade de fibras na região da ruptura da matriz, como mostra a Figura 2, para avaliar o efeito na resistência e deformação.

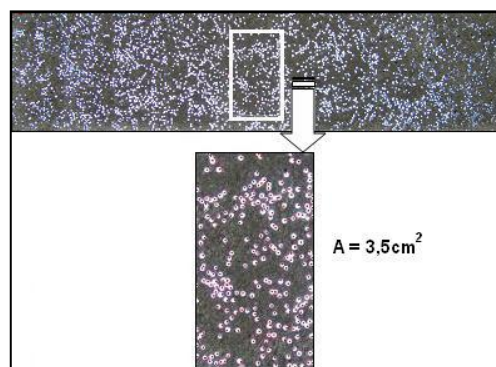


Figura 2: FOP na região de ruptura da placa translúcida. Fonte: elaborado pelos autores.

A placa foi iluminada em uma das faces ressaltando as fibras na outra face, podendo assim tirar uma foto da placa com as fibras. Posteriormente foi feito um aumento no meio da placa procedendo com a contagem das fibras das 54 placas translúcidas. Foi analisada a influência das fibras na região de ruptura. O módulo de elasticidade estático de um material sob tensão ou compressão é dado pela declividade da curva σ - ϵ para o concreto sob carga uniaxial. Uma vez que a curva para o concreto é não-linear, três métodos para calcular o módulo são utilizados: módulo tangente, módulo secante e módulo corda (MEHTA, 2008). Para representar a deformabilidade das argamassas optou-se pelo módulo corda, cujo valor é calculado pela inclinação de uma linha traçada entre dois pontos da curva tensão-deformação. A linha é traçada de um ponto representando a deformação longitudinal de 50 μ m/m até o ponto que corresponde a 40% da carga última.

2.3.2 Absorção de Água por Imersão

A determinação da absorção de água foi feita por imersão adotando a norma ABNT Projeto: 18:316.01-002/6 para produtos pré-fabricados de materiais cimentícios e a norma ABNT NBR 9778:2005. Foram utilizadas 6 placas de argamassa com adição de FOP e 6 placas de argamassa sem adição de FOP com dimensões 10x40x160mm e 60 dias de idade. Da mesma moldagem dos prismas foi retirada uma placa CFOP e uma SFOP tentando manter as mesmas proporções e características. Na determinação de sua massa na condição seca (ms), utilizou-se uma estufa a uma temperatura controlada de 50°C. Segundo a norma

ABNT NBR 9778, as placas devem permanecer na estufa até atingirem uma massa constante, ou seja, quando a diferença entre duas determinações de massa, com 24 horas de intervalo, não diferissem em mais de 0,5% da menor massa. Seguindo esta determinação as placas permaneceram por 7 dias na estufa. Posteriormente, na determinação de sua massa na condição saturada (μ), as placas permaneceram imersas em água, a temperatura ambiente, até que duas pesagens sucessivas, efetuadas em intervalos de 24 horas, não diferissem em mais de 0,5% da menor massa. Uma vez retiradas da água as placas foram enxugadas com um pano úmido para a remoção da água superficial em excesso. As placas permaneceram 8 dias em imersão. O volume foi determinado pelo método da balança hidrostática.

2.3.3 Medição da Condutividade Térmica pelo Método Fluximétrico

Os ensaios foram realizados no Laboratório de Meios Porosos e Propriedades Termofísicas do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Santa Catarina, no equipamento Condutivímetro Fluximétrico, seguindo os procedimentos da Norma Técnica ISO 8301- 1991: "Standart Test Method for Steady-State Heat Flux Measurements and Thermal Transmission Properties by Means of the Heat Flow Meter Apparatus", mostrado esquematicamente na Figura 3.

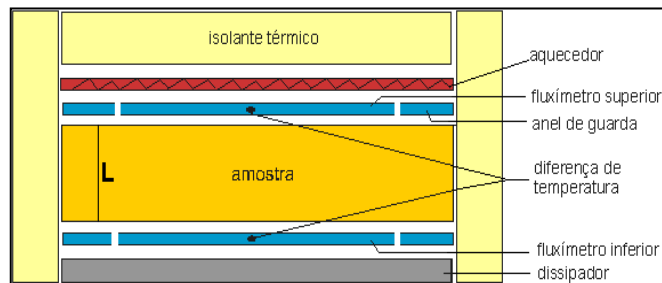


Figura 3: Princípio do método de medição da resistência térmica.

A resistência térmica é determinada a partir da lei de Fourier, equação (2):

$$R = \frac{T_1 - T_2}{\left(\frac{q_1 + q_2}{2} \right)} \quad (2)$$

Sendo:

R é a resistência térmica ($m^2 K/W$), q_1 e q_2 a densidade de fluxo de calor medido pelos fluxímetros 1 e 2 (W/m^2) e T_1 e T_2 as temperaturas superficiais da amostra medidas por termopares tipo T, dispostos em arranjo diferencial.

Considerando que a amostra seja homogênea, foi possível determinar a condutividade térmica do material constituinte (λ), equação (3):

$$\lambda = \frac{L}{R} \quad (3)$$

Sendo:

λ é a condutividade térmica (W/m K) e L é a espessura da amostra (m).

Todas as placas foram ensaiadas sob as mesmas condições. Foram efetuadas medições em 4 placas com adição de fibra ótica polimérica e uma placa de argamassa sem adição. As dimensões das placas forma de 100x100mm e espessuras de 11,5mm. A montagem do experimento utilizado para as medições de condutividade térmica através do método fluximétrico foi semelhante ao esquema da Figura 3. A placa de aço (massa de 3kg) tem a função de garantir uma carga de aprisionamento, minimizando a formação de espaços de ar nas interfaces amostra-fluxímetros. O isolamento lateral foi formado por pedaços de algodão. A função do isolamento lateral é minimizar as fugas de calor que ocorrem pelas laterais dos fluxímetros e da amostra. A Figura 4 mostra a montagem do experimento real para medição de condutividade térmica das placas.

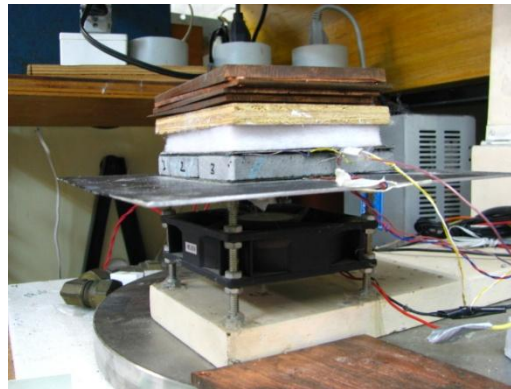


Figura 4: Montagem para a medição da resistência térmica das placas translúcidas. Fonte: elaborado pelos autores.

Para a alimentação da resistência aquecedora utilizou-se uma fonte de tensão corrente regulável de marca Hewlett-Packard, modelo HP 6114A. A tensão é regulada de modo a se obter a potência desejada, que será dissipada na resistência aquecedora. Para a leitura das temperaturas durante o experimento, utilizou-se um sistema de aquisição de sinais da marca Agilent, modelo 34970A. O sistema de aquisição foi conectado a um microcomputador que, em um intervalo de tempo pré-determinado, armazena os dados lidos pelo equipamento. Utilizou-se uma interface gráfica desenvolvida pelos pesquisadores do LMPT que transforma os dados lidos pelo sistema de aquisição em dados utilizáveis em planilhas eletrônicas (como por exemplo, o Microsoft Excel).

2.3.4 Transmitância para as placas de argamassa

Precisou-se de um ambiente fechado e escuro, além de uma fonte de luz e de um luxímetro para poder realizar medições sobre as placas translúcidas, placas que

posteriormente seriam expostas em ambientes diferentes. O aparelho utilizado foi um luxímetro digital da Minipa, de referência MLM-1333, emprestado pelo Laboratório de Conforto Ambiental (LABCON) da Arquitetura da UFSC. Foi construída uma caixa de madeira (Figura 5a), com dimensões internas de (14x18x41cm), vedada nos cantos para garantir que o sensor do luxímetro só fosse ativado pela fonte de luz. A caixa no seu interior foi pintada de preto fosco. Foram feitas combinações, variando as posições da fonte de luz e do sensor do luxímetro (Figura 5) e observou-se que colocando os dois no meio (posição 2B), da Figura 5b, a variação na leitura era mínima, razão pela qual tanto a fonte quanto o sensor foram deixados nessa posição.

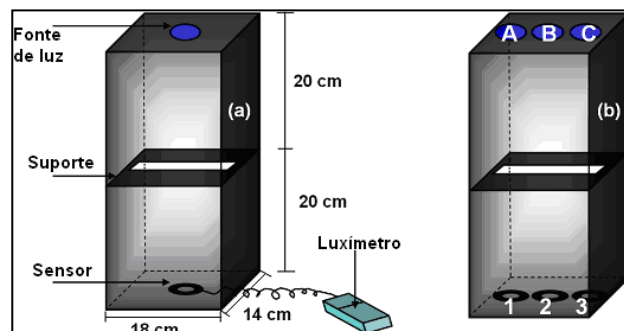


Figura 5: (a) Caixa preta para medir a transmitância das placas; (b) Combinações de posição da fonte e o sensor. Fonte: elaborado pelos autores.

No meio da tampa da caixa, na parte superior, foi instalada uma fonte de luz fluorescente de referência MINI LYNX ESPIRAL, marca SYLVANIA. As características são apresentadas na Tabela 2. No meio da caixa foi instalado um suporte para colocar as placas. As placas ficaram a 19 cm do sensor e a 9 cm da ponta da fonte de luz.

Potência (Watts)	20
Tensão (Volts)	220
Comprimento (mm)	136
Diâmetro (mm)	52
Fluxo Luminoso (lm)	1190
Eficiência (Lm/W)	60
Tonalidade	6.500 K

Tabela 2: Características da fonte de luz.

Antes de dar início aos ensaios, a fonte de luz e o luxímetro foram ligados, colocando no suporte uma placa sem adição de fibra; a leitura mostrada no display do luxímetro foi de zero (0,00 lux), garantindo assim a vedação da caixa. Posteriormente foi retirada a placa e registrada a intensidade incidente para efeitos de cálculo da transmitância. A transmitância foi analisada experimentalmente mediante a razão entre a intensidade incidente e a transmitida. Antes da distribuição das placas nos ambientes determinados de exposição foi feita uma leitura inicial (lux) das 54 placas com 30 dias de idade. Foram feitas leituras aos 90 e 120 dias de idade, com 60 e 90 dias de exposição, respectivamente. Foram feitas 5 leituras para cada placa translúcida com uma duração de 7 minutos em cada leitura.

3. Resultados e discussões

3.1 Absorção de Água por Imersão

A adição de FOP na matriz cimentícia diminuiu o volume de argamassa nas placas (menos matriz porosa), portanto, diminuiu o teor de água absorvido, como pode ser observado na Figura 6. As placas de argamassa sem adição de FOP apresentaram uma absorção de água de 6% maior, com relação às placas translúcidas. Os valores individuais observados na Figura 6 mostram que o teor de água absorvido pela placa (IV) sem adição de FOP foi 15,3% superior ao teor absorvido pela placa com adição de FOP (IV). A placa (II) apresenta um teor de água absorvido de 1,6% maior em relação à placa (II) com adição de FOP.

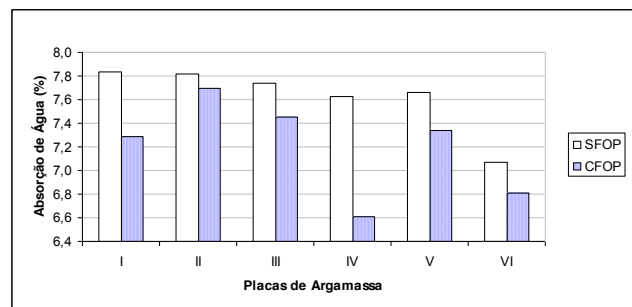


Figura 6: Absorção de água das placas com adição e sem adição de FOP com 60 dias de idade. Fonte: elaborado pelos autores.

As placas translúcidas foram expostas a ciclos de secagem/molhagem. A molhagem consistiu na imersão das placas em água por um período de 2 dias. A Figura 7 mostra a saturação das placas translúcidas antes da primeira leitura realizada 24 horas após sua imersão. Portanto, dois dias de imersão em água é suficiente para garantir a exposição da FOP.

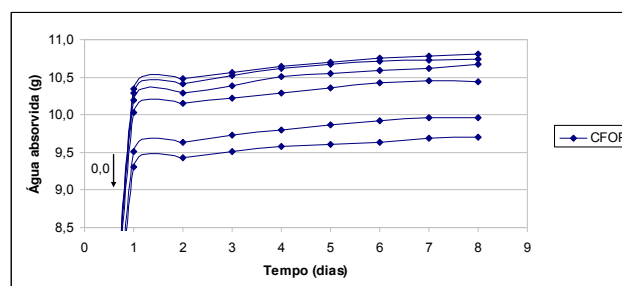


Figura 7: Absorção de água de 6 placas translúcidas com 60 dias de idade. Fonte: elaborado pelos autores.

Entre 1 e 8 dias de imersão o teor médio de absorção de água apresentado pelas placas translúcidas foi de 4,4%.

3.2 Condutividade Térmica

A temperatura média do ensaio foi de 25°C e a incerteza da medição de 4%. As placas (1-CFOP e 2-CFOP), (3-CFOP e 4-CFOP) e a placa sem adição de FOP foram retiradas de corpos-de-prova diferentes. A produção das 5 placas foi realizada sob as mesmas condições, medindo a condutividade térmica aos 90 dias de idade. Observa-se na Figura 8 que as placas (1-CFOP), (2-CFOP) e (4-CFOP) apresentaram uma redução na condutividade térmica de 21,3%, 17,1% e 1,8% respectivamente, em relação à placa sem adição de FOP. Já, a placa (3-CFOP) apresentou um aumento de 7,3%.

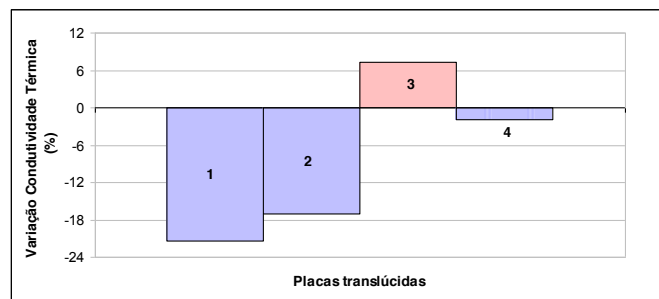


Figura 8: Condutividade térmica de 4 placas translúcidas com dimensões (11,5X100X100)mm, com relação à placa sem FOP com λ (W/mK) = 1,64. Fonte: elaborado pelos autores.

Se as placas translúcidas fossem aplicadas como painéis na separação de ambientes externos com internos, observa-se que não vão esquentar o ambiente interno.

3.2 Transmitância

As legendas (Ambiente-0-60) e (Ambiente-0-90) apresentadas na Figura 9 correspondem à transmitância inicial das placas, representada pelas marcas cheias. Já, as legendas (Ambiente-60) e (Ambiente-90) correspondem à transmitância final após 60 e 90 dias de exposição, respectivamente, representadas pelas marcas vazias. A incerteza da medição é de 3%. Acreditava-se que uma maior quantidade de FOP/cm² aumentasse a transmitância, deste modo, as placas (Água/Estufa-0-60) e (Imersão P-0-60) com 84 e 67 FOP/cm² respectivamente, apresentaram um aumento na transmitância de 34,4% e 15,8% respectivamente, em relação à transmitância das placas (imersão P-0-90) com 77 FOP/cm², como mostra a Figura 9.

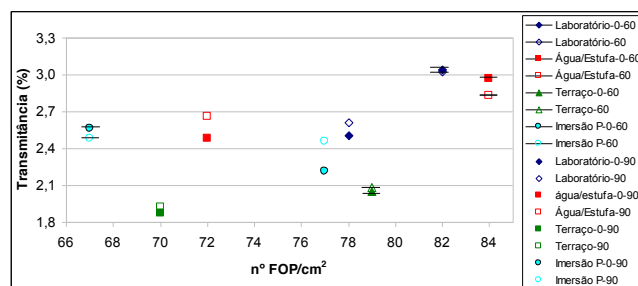


Figura 9: Transmitância em função da quantidade de FOP/cm². Fonte: elaborado pelos autores.

Percebe-se que não existe uma relação entre número de fibras e transmitância. Isto pode ser explicado pela Figura 10, que representa a seção transversal das placas translúcidas. Um feixe de luz propagando-se pela FOP “A” atinge o sensor “S” do luxímetro com mais intensidade do que o feixe conduzido pela FOP “B” que apresenta uma inclinação, portanto, uma transmitância maior não vai depender só da quantidade de FOP presentes, também vai depender da inclinação delas.



Figura 10: Orientação das FOP no interior da matriz cimentícia e sua influência na transmitância. Fonte: elaborado pelos autores.

A inclinação das fibras observada na Figura 10 também explica o posicionamento escolhido, de forma experimental, da fonte de luz e do sensor do luxímetro na caixa preta antes das medições, conforme a Figura 5. Observou-se na Figura 11 que as placas mantidas por 60 dias em Água/Estufa e Imersão Parcial apresentaram uma redução da transmitância de 4,8% e 3,3%, respectivamente, em relação às leituras iniciais. Considerando que houvesse lixiviação dos compostos do cimento que causassem o impedimento da entrada ou saída da luz nas fibras, os resultados anteriores eram esperados. No entanto, aos 90 dias de exposição em Água/Estufa e Imersão Parcial houve um aumento na transmitância de 7,1% e 11,2% respectivamente. As placas expostas no Laboratório apresentaram uma redução na transmitância de 0,4% e um aumento de 4,1% aos 60 e 90 dias respectivamente. As placas expostas no Terraço apresentaram um aumento na transmitância de 1,4% e 2,7% aos 60 e 90 dias respectivamente.

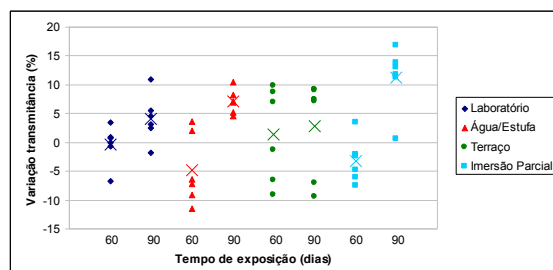


Figura 11: Efeito da interação entre os tempos e ambientes de exposição na transmitância. Fonte: elaborado pelos autores.

As variações apresentadas da transmitância mostram que a refletância interna da luz foi mantida, ou seja, o revestimento e a estrutura da FOP não foram afetados pelos ambientes agressivos aos quais foi submetida a placa. No limite a transmissão deve se igualar à relação área de fibras/área total. Por exemplo, se usar uma placa perfurada, a transmitância será a relação de área dos furos pela área da placa. A não ser que os furos se tornem tão pequenos, da ordem do comprimento de onda, a relação é esta. Com as fibras a transmitância deve diminuir, pois estas ainda atrapalham a passagem da luz.

Na Tabela 3 observa-se que a transmitância inicial analisada experimentalmente das placas que depois foram mantidas no laboratório é bem baixa. Acredita-se que, os danos

produzidos nas pontas das FOP ao realizar os cortes tenham influenciado na entrada e saída da luz e, portanto, na baixa transmitância apresentada pelas placas translúcidas. As transmitâncias das placas mantidas nos outros ambientes de exposição apresentaram o mesmo comportamento.

$\frac{\text{Área FOP}}{\text{Área Placa}}$ (%)	9,28	8,85	9,03	8,44	9,43	9,07	9	8,09	9,15	7,96	8,97	8,25
Transmitância inicial (%)	3,38	2,93	3,01	3,27	2,52	3,11	2,29	2,5	2,73	2,46	2,57	2,5

Tabela 3 : Transmitância inicial e Relação área de fibras/área total das placas sem exposição.
 Fonte: elaborado pelos autores.

3.3 Resistência à Tração na Flexão

A Figura 12 e Figura 13 mostram como a adição de FOP afetou a resistência à tração na flexão e o módulo de elasticidade das placas de argamassa ao longo do tempo. Aos 28 dias de idade as placas apresentaram uma diminuição na resistência à tração na flexão e no módulo de elasticidade de 69,8% e 25,4%, respectivamente, variação que pode ser explicada pela distribuição das FOP na matriz cimentícia, pois estas foram orientadas longitudinalmente à força aplicada na placa, portanto, fragilizando a matriz cimentícia. A variação da resistência e do módulo a 60 e 90 dias de exposição, pode ser observada na tabela 4 e 6. Todos os ambientes de exposição afetaram a resistência e o módulo de elasticidade das placas de argamassa sem adição de FOP. Devido as mudanças bruscas de temperatura e umidade, como se esperava, o ambiente Água/Estufa foi o mais influente na resistência e no módulo das placas, apresentando uma diminuição de 36% e 63,8% respectivamente, aos 60 dias de exposição. O ambiente imersão parcial foi o menos agressivo, apresentando uma diminuição de 0,5% na resistência e 33,4% no módulo aos 60 dias de exposição e, um aumento de 8,6% na resistência e uma diminuição no módulo de 27,3% aos 90 dias de exposição. A variação da resistência e do módulo das placas sem adição de FOP aos 60 e 90 dias de exposição em todos os ambientes pode ser observada na tabela 4 e 6, respectivamente.

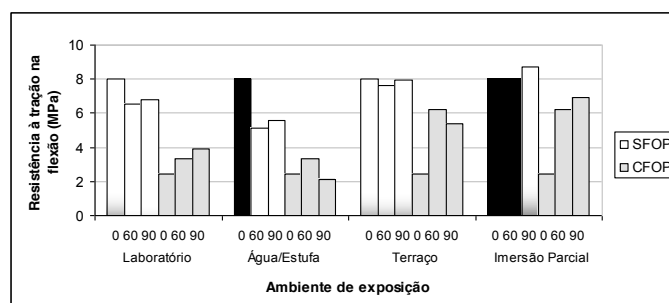


Figura 12: Efeito da interação entre os ambientes de exposição e adição de FOP sobre a resistência à tração na flexão ao longo do tempo. Fonte: elaborado pelos autores.

Adição	Tempo Exposição (dias)	Variação da Resistência (%)			
		Laboratório	Água/Estufa	Terraço	Imersão P.
FOP	0	-69,76	-69,76	-69,76	-69,76
	60	-49,03	-35,03	-18,56	-22,55
	90	-42,08	-61,68	-32,16	-20,59

(-): Diminuição da resistência com relação as placas sem FOP com o mesmo tempo de exposição.

Tabela 4: Variação da resistência à tração na flexão das placas influenciada pela adição de FOP ao longo do tempo.

Placas	Tempo Exposição (dias)	Variação da Resistência (%)			
		Laboratório	Água/Estufa	Terraço	Imersão P.
SFOP	60	-18,98	-36,04	-4,86	-0,51
	90	-15,48	-30,47	-0,71	8,63
CFOP	60	36,57	37,44	156,25	154,84
	90	61,90	-11,88	122,77	185,27

(-): Diminuição da resistência com relação as placas sem exposição; SFOP: sem adição de FOP; CFOP: com adição de FOP.

Tabela 5: Variação da resistência à tração na flexão das placas com e sem adição de FOP influenciada pelos ambientes de exposição ao longo do tempo.

As placas com adição de FOP apresentaram resistências superiores aos 60 e 90 dias de exposição em todos os ambientes em relação aos 28 dias de idade, já o módulo (Figura 13), ao longo do tempo foi diminuindo. Aos 90 dias de exposição em imersão parcial se apresenta a maior variação na resistência à tração na flexão aumentando em 185,3% como pode ser observado na Figura 12. Acredita-se que a aderência entre fibra/matriz cimentícia seja a responsável pelo aumento da resistência. A exceção se apresentou nas placas com 90 dias de exposição no ambiente Água/Estufa, diminuindo sua resistência em 11,9%. A maior variação no módulo de elasticidade foi apresentada nas placas em Água/Estufa aos 60 dias de exposição, diminuindo em 60%; já, aos 60 dias de exposição em imersão parcial se apresentou a menor variação, diminuindo 45,7%. A variação da resistência e do módulo das placas com adição de FOP aos 60 e 90 dias de exposição em todos os ambientes pode ser observada na tabela 5 e 7.

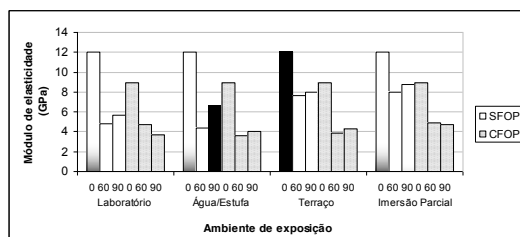


Figura 13: Efeito da interação entre os ambientes de exposição e adição de FOP sobre o módulo de elasticidade ao longo do tempo. Fonte: elaborado pelos autores.

Adição	Tempo Exposição (dias)	Variação do Módulo (%)			
		Laboratório	Água/Estufa	Terraço	Imersão P.
FOP	0	-25,42	-25,42	-25,42	-25,42
	60	-1,16	-17,85	-49,41	-38,95
	90	-35,55	-38,82	-45,80	-45,99

(-): Diminuição com relação as placas SFOP com mesmo tempo de exposição.

Tabela 6: Variação do módulo de elasticidade das placas influenciada pela adição de FOP ao longo do tempo.

Placas	Tempo Exposição (dias)	Variação do Módulo (%)			
		Laboratório	Água/Estufa	Terraço	Imersão P.
SFOP	60 dias	-59,84	-63,67	-36,28	-33,37
	90 dias	-52,54	-45,00	-33,51	-27,25
CFOP	60 dias	-46,77	-59,98	-56,78	-45,46
	90 dias	-58,98	-54,88	-51,68	-47,31

(-): Diminuição com relação as placas sem exposição.

Tabela 7: Variação do módulo de elasticidade das placas com e sem adição de FOP influenciada pelos ambientes de exposição ao longo do tempo.

Devido à orientação das FOP na matriz cimentícia, acreditava-se que, aumentando a quantidade de FOP na região de ruptura diminuísse a resistência à tração na flexão. Observou-se na **Figura 14** que as placas mantidas durante 60 dias no terraço e em imersão parcial não variaram sua resistência (0%), apresentando uma diferença de 79 FOP/cm² e 67 FOP/cm² respectivamente.

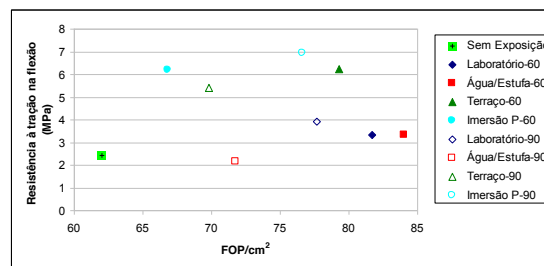


Figura 14: Influência da quantidade de FOP/cm² na resistência à tração na flexão das placas translúcidas. Fonte: elaborado pelos autores.

Nas placas expostas nos mesmo ambientes por 90 dias apresentaram um aumento na resistência de 27,8% com uma quantidade 70 FOP/cm² e 77 FOP/cm² respectivamente. Este comportamento se observou em todas as placas, mostrando que não existe uma relação lógica entre quantidade de FOP adicionada e a resistência. Na deformação se apresentou o mesmo comportamento.

A Figura 10 mostra como são posicionadas as FOP na matriz, portanto, acredita-se que a inclinação das FOP na região de ruptura possa ter influenciado na variação da resistência e da deformação das placas apresentada nas Figura 14, Figura 15 respectivamente.

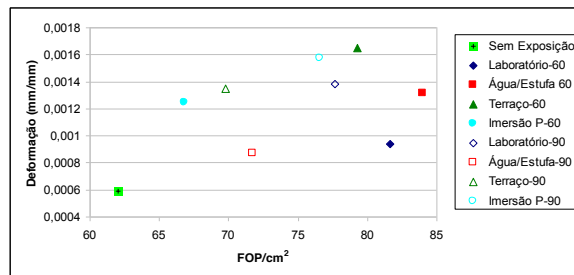


Figura 15: Influência da quantidade de FOP/cm² na deformação das placas translúcidas.
 Fonte: elaborado pelos autores.

4. Conclusões

Através da dosagem realizada foi possível confeccionar placas de argamassas com propriedades de transmitância. A adição de FOP na matriz cimentícia diminui o volume de argamassa nas placas, portanto, diminui o teor de água absorvido apresentado pelas placas translúcidas. As placas de argamassa translúcida apresentaram menor condutividade térmica do que as placas sem adição de fibra ótica polimérica. Foi possível conduzir a luz através de uma placa de argamassa introduzindo fibras óticas plásticas na sua matriz. Devido ao esmagamento das pontas da FOP, realizado pelos cortes, a transmitância apresentada foi baixa. O esmagamento acabou atrapalhando a entrada e saída da luz. Os ambientes de exposição não afetaram a estrutura do polímero ao longo do tempo. Portanto, a condução de luz através das placas de argamassa não foi afetada. A adição de FOP diminuiu a resistência à tração na flexão das placas de argamassa devido ao posicionamento delas na matriz, já que a carga é aplicada no sentido longitudinal às fibras. Nem todas as FOP ficaram em posição transversal às faces das placas de argamassa, portanto, esse declive das fibras junto com a boa aderência na matriz cimentícia ajudaram no aumento da resistência a tração na flexão entre placas translúcidas ao longo do tempo.

Referências

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. ACI 544.1R. (1996) Report on fiber reinforced concrete.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT - NBR 7211. Agregados para concreto – Especificação. Rio de Janeiro 2005.

_____ ABNT - NBR 9778. Argamassas e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro 2005.

_____ ABNT - NBR 12142. Concreto – Determinação da resistência a tração na flexão em corpos-de-prova prismáticos. Rio de Janeiro 1991.

_____ ABNT - Projeto 18:316.01-002/5. Produtos pré-fabricados de materiais cimentícios reforçados com fibra de vidro – Método de ensaio – Parte 5: Medição da resistência a flexão, método “Ensaio completo de flexão”. Rio de Janeiro 2004.

_____ ABNT - Projeto 18:316.01-002/6. Produtos pré-fabricados de materiais cimentícios reforçados com fibra de vidro – Método de ensaio – Parte 6: Determinação da absorção de água por imersão e da massa unitária seca. Rio de Janeiro 2004.

LITRACON. Ligth Transmiting Concrete. Disponível em:
<<http://www.litracon.hu/en/about-us>>

MEHTA, P. K., MONTEIRO, P. J. M. Concreto: Estrutura, Propriedades e Materiais. 3. ed. São Paulo: Pini, 2008. 674p.

MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA. Balanço Energético Nacional, 2016. Disponível em: <<https://ben.epe.gov.br>>.