

Análise numérica e experimental da transmitância luminosa em placas de argamassa e fibra óptica polimérica

Esta pesquisa teve como objetivo analisar a transmitância luminosa e resistência à tração de placas de argamassa com adição de fibra óptica polimérica (FOP). Inicialmente, foram moldados os conjuntos de placas A e B e as placas do traço referência (0% de FOP). O conjunto A era composto por placas com 2 teores de fibra: 0,2% (TA-1) e 0,3% (TA-2). O conjunto B foi composto de placas com teor de fibra de 2% (traço TB). Além disso, foi realizado o cálculo do fluxo Luminoso e o iluminamento das placas com adição de FOP para comparação com o teste de transmitância luminosa. O traço referência resistiu à uma tração de 21,6 MPa, enquanto o Traço TA - 1 resistiu à uma tração de 20,3 MPa, o Traço TA - 2 a uma tração de 21,8 MPa e o traço TB à uma tração de 11,7 MPa. Sobre a transmitância de luz, o traço TA - 1 transmitiu $\cong 0,3$ lux, o traço TA - 2 transmitiu $\cong 0,2$ lux e o traço TB transmitiu $\cong 1,2$ lux para dentro da caixa de teste, verificando, assim, que os valores calculados são bem próximos dos valores obtidos pelo ensaio. Assim, o alto teor de fibra óptica dispostas perpendicularmente ao plano ajudaram a diminuir a resistência à tração, porém auxiliou no aumento da transmitância luminosa, e o material usado para cortar as fibras (tesoura ou estilete) é um dos principais fatores para a boa transmitância de luz nas placas de argamassa translúcida.

Palavras-chave: Placa de argamassa; Fibra óptica polimérica; Transmitância luminosa.

Numerical and experimental analysis of light transmittance in mortar boards and polymeric fiber optics

This research aims to analyze the light transmittance and tensile strength of cement mortar board with the addition of polymeric optical fiber (POF). Initially, then the groups of boards A and B and the reference trace (0% FOP) were molded. Group A was composed of boards with fiber content: 0.2% (TA-1) and 0.3% (TA-2). Group B consisted of boards, with of 2% of fiber content (TB). In addition, the calculation of the Luminous flux and the illumination of the boards with the addition of FOP were performed for comparison with the luminous transmittance test. The reference trace resisted a 21.6 MPa traction, while the TA - 1 trace resisted a 20.3 MPa traction, the TA - 2 trace resisted a 21.8 MPa traction and the TB trace resisted a 11.7 MPa traction. Regarding light transmittance, the TA - 1 trace transmitted $\cong 0.3$ lux into the box, the TA - 2 trace transmitted $\cong 0.2$ lux and the TB trace transmitted $\cong 1.2$ lux into the test box, thus verifying that the calculated values are very close to the values obtained by the test. Therefore, that the high content of optical fiber arranged perpendicular to the plane helps to decrease the tensile strength and that the material used to cut the fibers (scissors or stiletto) is one of the main factors for good light transmittance on translucent concrete.

Keywords: Mortar boards; Polymeric optical fiber; Environmental lighting.

Topic: **Construções e Arquitetura Sustentáveis**

Received: **05/08/2022**

Reviewed anonymously in the process of blind peer.

Approved: **23/08/2022**

Mariane de Souza

Universidade do Contestado, Brasil
marianedesouza@gmail.com

Luana Cechin 

Universidade do Contestado, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/6881976788067803>
<https://orcid.org/0000-0002-3735-1889>
luhcechin@gmail.com

Orestes Hacke

Universidade do Contestado, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/6455592856032444>
orestes@unc.br

Christian Antonio dos Santos

Universidade do Contestado, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/1017408976683536>
eng.christiansantos@gmail.com



DOI: 10.6008/CBPC2179-6858.2022.008.0007

Referencing this:

SOUZA, M.; CECHIN, L.; HACKE, O.; SANTOS, C. A.. Análise numérica e experimental da transmitância luminosa em placas de argamassa e fibra óptica polimérica. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v.13, n.8, p.89-101, 2022. DOI:

<http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2022.008.0007>

INTRODUÇÃO

A utilização da luz solar para iluminar os espaços internos de edifícios é benéfica, desempenhando um papel indispensável tanto na necessidade biológica quanto na psicológica. Pois, além de ser usada para iluminar os interiores dos edifícios, contribuindo para a economia de energia ao diminuir a eletricidade utilizada para iluminação artificial, esta afeta o ambiente interno, a saúde, a qualidade da iluminação e a eficiência energética, proporcionando aos ocupantes um ambiente saudável. Além disso, pesquisas mostram que o uso da luz do dia não apenas reduz os gastos com iluminação artificial, mas também oferece uma sensação de alegria e brilho, contribuindo para um espaço de trabalho mais saudável e melhorando o desempenho no trabalho (AHUJA et al., 2017; ULLAH et al., 2014; ALSALLAL et al., 2018; BOCCIA et al., 2014; VERSO et al., 2017).

Uma forma de possibilitar essa iluminação natural é pelo uso de fachadas de vidro. No entanto, o uso de grandes quantidades de fachadas ou janelas envidraçadas leva a grandes ganhos de calor no verão e perdas de calor no inverno, o que acaba por influenciar na eficiência energética do edifício (SU et al., 2020). Surgiu a necessidade de procurar alternativas para que a luz natural ilumine o interior dos ambientes, diminuindo o consumo de energia elétrica.

O desafio de criar um material que permita a passagem da luz no interior dos ambientes sem que este superaqueça com fenômenos como o efeito estufa, aproveitando a luz do sol e criando efeitos diferenciados foi vencido no ano de 2001, com a criação do concreto translúcido. O conceito deste concreto é a colocação uniforme de fibras ópticas horizontal dentro dos moldes de concreto, antes da concretagem, de forma que as fibras sirvam de guia para a onda de luz transmitida de um lado ao outro da peça de concreto (SAID, 2020).

O concreto translúcido é um material sustentável que proporciona economia de energia e auxilia na estética dos edifícios. O concreto em si não é translúcido e não difere do concreto tradicional, mas o que o torna translúcido são as fibras ópticas em seu interior que podem transmitir luz. O concreto translúcido, que transmite luz aos espaços, pode ser chamado de concreto transparente e, também, de concreto transmissor de luz (TAHWIA et al., 2021).

Por ter uma boa qualidade de transmitância de luz para locais onde a luz natural não chega e um grande apelo estético, o concreto translúcido é um material de construção inovador no que diz respeito à "Arquitetura Verde", mesmo com seu alto custo de produção. Além disso, por ser possível ver sombras através das paredes, o concreto translúcido aumenta a segurança e a supervisão em locais como prisões, escolas, museus, entre outros (LUHAR et al., 2021).

Para a produção do concreto translúcido tem-se duas abordagens básicas: a primeira é substituir os componentes tradicionais do concreto comum por componentes translúcidos ou transparentes, principalmente substituindo os agregados e adicionando ligantes à mistura de concreto que possam transmitir luz, como resinas. A segunda é produzir um concreto fino que se mistura com componentes transmissores de luz, geralmente fibras ópticas (KAMDI, 2013).

A fibra óptica é uma fibra fina, flexível e transparente que atua como um guia de ondas, ou tubo de luz, para transmitir luz. Seja de vidro ou de material polimérico, a propagação de luz emitida ocorre por reflexão ao longo da fibra até chegar ao seu receptor (SALIH et al, 2014).

Esta pode ser caracterizada, de acordo com suas dimensões, como multimodo ou monomodo. Um modo é um dos caminhos possíveis que um feixe de luz pode percorrer no interior de uma fibra. Também é caracterizada pelo seu índice de refração, que expressa a velocidade da luz dentro de um meio específico, e pelo tipo de material que é feito: fibra óptica polimérica ou de vidro (LUHAR et al., 2021).

Li et al. (2015) investigaram, usando um medidor de potência óptica, como a fibra óptica afetou as propriedades do compósito à base de cimento com adição destas, sendo que fatores observados foram: quantidade de FOP, diâmetro da FOP, variedade de fontes de luz e distância da fonte de luz e do corpo de prova. Eles concluíram que os resultados de potência óptica aumentam significativamente quando a distância da fonte de luz diminui e quando o número de fibras ópticas aumenta, independentemente da variedade de fontes de luz (luz branca ou vermelha). Estes também verificaram que ao aumentar o volume das fibras ópticas, as resistências à compressão e à flexão diminuíram.

As conclusões citadas acima são corroboradas por Shitote et al. (2018), onde estes investigaram alguns fatores que afetam a transmitância de luz do concreto translúcido. Os autores relataram que ao aumentar a porcentagem da FOP, a transmitância de luz do concreto translúcido aumenta independentemente dos diâmetros da FOP. Nesta mesma pesquisa também foi estudado a relação entre o número FOP e espaçamento no desempenho da transmissão de luz, chegando à conclusão que a transmitância da luz diminuiu gradualmente quando aumentado a distância da fonte de luz até a amostra.

Henriques et al. (2018) pesquisaram a usabilidade do concreto translúcido através da incorporação de três teores de FOP (2 %, 3,5% e 5%) em aplicações estruturais. Foi observado que um aumento no teor de FOP, em proporções de 75%, 43%, levou a um aumento na intensidade da luz em 47%, 12,0%, bem como levou a uma diminuição da resistência à compressão em 5,38% e 6,3%, respectivamente.

Ainda, alguns estudos anteriores mediram a transmitância da luz usando um medidor de potência óptica, direcionado para as partes intermediárias da superfície do corpo de prova de concreto translúcido. Estas pesquisas demonstraram que a relação entre a transmitância da luz e o volume da FOP é uma relação linear direta. Ainda, foi constatado que a FOP absorve mais luz com uma lâmpada incandescente do que uma lâmpada halógena devido à diferença existente entre cada lâmpada do ângulo de espalhamento da luz, e à medida que a quantidade de fibra óptica aumenta, a resistência à compressão diminui (ALTLOMATE et al., 2016; ZHOU et al., 2009; HE et al., 2011).

Além disso, Sawant et al. (2014), em dois estudos, testaram a transmitância da luz natural, bem como o a resistência à compressão de blocos de concreto translúcidos. Os autores afirmaram que os altos custos de produção são recuperados com a economia de eletricidade em apenas alguns anos de uso do concreto translúcido, porém sua resistência à compressão é menor que a do concreto convencional.

Outros autores investigaram a relação entre a direção de carregamento de cargas de compressão em corpos de prova de concreto translúcido e a direção de FOP nos corpos de prova. Estes verificaram que a

resistência à compressão em ambos os casos de carregamento foi menor do que os espécimes de referência (sem FOP), esta redução na resistência à compressão foi de cerca de 38% na direção de carregamento paralela à direção FOP e cerca de 19% na direção de carregamento perpendicular à direção FOP. Além disso, a inclusão de FOP nos corpos de prova de maneira ordenada é melhor para as propriedades mecânicas do que colocá-lo aleatoriamente e não influencia nas propriedades de transmitância da luz (HALBINIAK et al., 2015; SAID, 2020).

Navabi et al. (2021) examinaram as propriedades ópticas e físicas do concreto de alto desempenho translúcido com as seguintes relações volumétricas: 3% a 15%. Seus resultados revelaram uma diminuição na resistência à compressão e um aumento na potência óptica, sendo este não linear com o aumento do volume das fibras ópticas. De forma geral verifica-se que quanto maior o teor de FOP no concreto translucido maior a transmitância de luz, porém menor a resistência à compressão e flexão das amostras de concreto.

Desta forma, o objetivo desta pesquisa foi analisar a resistência à flexão de placas de argamassa com adição de fibra óptica polimérica (FOP), bem como verificar a transmitância luminosa destas. Além disso, foi realizada uma análise numérica do fluxo luminoso e iluminamento a fim de comparar com os resultados obtidos do ensaio de transmitância luminosa.

MATERIAIS E MÉTODOS

Materiais

A fibra óptica utilizada foi extraída descascando se manualmente os cabos de rede drop que vem em bobinas, do modelo 1Fig8. Após a retirada da fibra óptica de dentro do cabo drop, os fios foram cortados com tesoura no primeiro conjunto de placas produzido, o conjunto “A”. O segundo conjunto de placas produzido, denominado “B” teve as fibras cortadas com estilete, como mostrado na Figura 1.



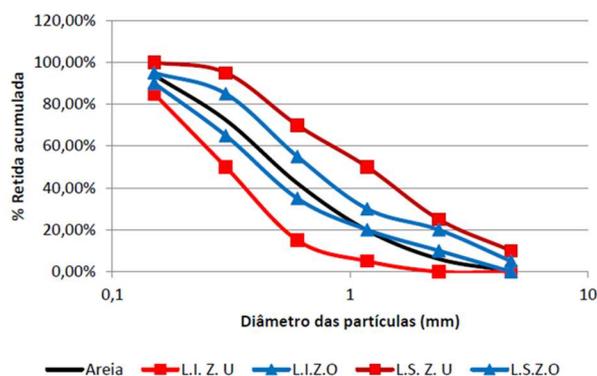
Figura 1: a) Bobina de Cabo de Rede Drop. b) Fibra óptica cortada com estilete

O aglomerante utilizado foi o Cimento Portland composto por filer CP II Z - 32, este foi escolhido devido a sua disponibilidade na região. As características químicas, físicas e mecânicas deste são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1: Características químicas, físicas e mecânicas do CP II Z- 32

CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS		
Perda ao Fogo – PF (%)		6,8
Óxido de magnésio – MgO (%)		6,4
Trióxido de enxofre – SO ₃ (%)		2,5
Resíduo Insolúvel – RI (%)		13,6
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E MECÂNICAS		
Finura (%)	#200	0,2
	#325	6,7
Tempo de pega (min)	Início	216
	Fim	256
Resistência à compressão (MPa)	3 Dias	27,9
	7 Dias	32,1
	28 Dias	38,5

O agregado miúdo utilizado foi classificado segundo a sua distribuição granulométrica, com base na NBR NM 248 (2003). A Figura 2 apresenta a curva granulométrica da areia utilizada (em preto), bem como os Limites Inferior e Superior de Zona Utilizável (em vermelho) e os Limites Inferior e Superior de Zona Ótima (em azul) segundo a NBR 7211 (2009).

**Figura 2:** Curva Granulométrica do agregado miúdo juntamente com os limites da NBR 7211 (2009)

A dimensão máxima característica do agregado miúdo utilizado é de 2,36 mm e o seu módulo de finura é de 2,35. A NBR 7211 (2009) estabelece limites para a distribuição granulométrica dos agregados para concreto, assim, o módulo de finura da areia utilizada se encontra dentro da zona ótima, pois a zona ótima varia de 2,20 a 2,90.

Traço

O traço da argamassa escolhido para a confecção das placas foi: 1:2,25:0,6, a escolha foi baseada na NBR 12655 (2015), calculando se a resistência da dosagem para uma argamassa com o de $f_{ck} = 20$ MPa. A mistura mecânica ocorreu de acordo com a NBR 7215 (2019).

Conjunto de placas “A”

Para a moldagem do conjunto de placas “A” optou se por formas de poliestireno expandido (EPS). A fibra óptica foi cortada com tesoura e após isso foi passada de um lado a outro da forma, sendo que em cada furo passou um total de 8 fios de fibra óptica. Foram moldados dois conjuntos: o primeiro com os furos distanciados por 20 mm tanto horizontal quanto verticalmente (Figura 3), e o segundo conjunto com os furos com distanciamento de 30 mm x 30 mm (Figura 4). A desforma ocorreu 24h depois da moldagem e as placas

permaneceram por 28 dias imersas em água para cura.

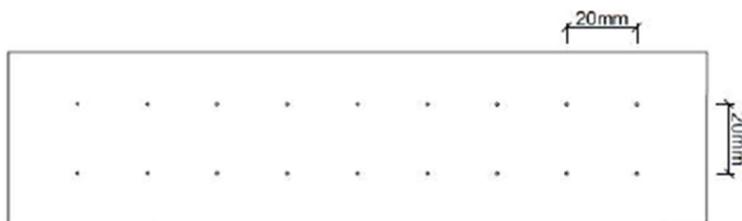


Figura 3: Placas do ensaio de resistência à flexão do conjunto A com espaçamento de 20 x 20 mm.



Figura 4: Placas do ensaio de resistência à flexão do conjunto A com espaçamento de 30 x 30 mm.

Conjunto de placas "B"

Para a moldagem do conjunto de placas "B" também optou se por formas de poliestireno expandido (EPS). A fibra óptica foi cortada com estilete e após isso foi passada de um lado a outro da forma, sendo que em cada furo passou um total de 48 fios de fibra óptica. O conjunto apresentava espaçamento entre os furos de 15 mm tanto horizontal quanto verticalmente (Figura 5). A desforma ocorreu 24 h depois da moldagem e as placas permaneceram por 28 dias imersas em água para cura.

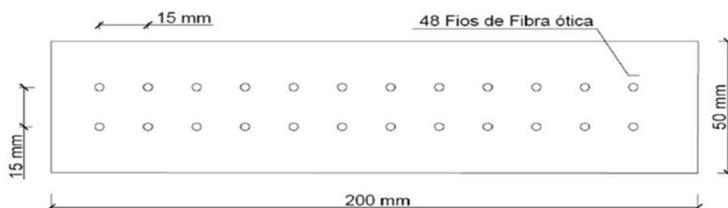


Figura 5: Placas do ensaio de resistência à flexão do conjunto B com espaçamento de 15 x 15 mm

Resistência à Tração na Flexão

Após a cura, as placas, tanto do conjunto A como do conjunto B foram ensaiadas quanto a resistência à tração na flexão, para o ensaio foram produzidas 4 placas de cada traço medindo 200 mm x 50 mm x 20 mm. O Ensaio de resistência à tração na flexão foi feito conforme a NBR 15498 (2016), a fórmula utilizada foi:

$$R_f = \frac{3 * P_{max} * L}{2 * b * e^2} \quad (1)$$

Onde: R_f = resistência à tração na flexão, expressa em MPa; P_{max} = a carga de ruptura por flexão, expressa em N; L = a carga distância entre os eixos do suporte, em mm; b = a largura do corpo de prova, em mm; e = a espessura do corpo de prova, em mm.

Para realizar a verificação da diferença entre as médias aritméticas encontradas pelos ensaios de tração na flexão das placas do conjunto "A" e conjunto "B", foi utilizado a Análise de Variância (ANOVA) e

Tukey.

Ensaio de Transmitância de Luz

Para o ensaio de transmitância de luz foi confeccionada uma única placa medindo 200 mm x 250 mm x 15 mm (conjunto A) e 190 mm x 130 mm x 20 mm (conjunto B). O teste de transmitância de luz foi realizado as 13 hrs, no mês de novembro, com o auxílio de uma caixa fabricada com placa de fibra de média densidade (MDF) totalmente vedada e um luxímetro (Figura 6). O teste de transmitância consistiu em colocar o luxímetro dentro da caixa, um de cada vez, encaixar a placa na caixa de MDF e expor a placa à luz do sol, medindo a quantidade de luz que passa para o interior da caixa com o luxímetro.

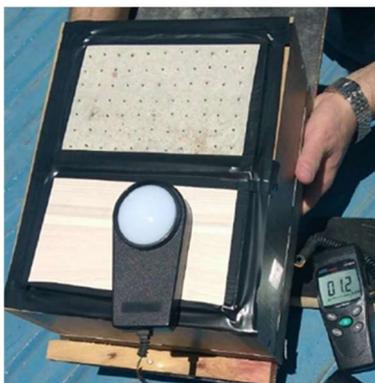


Figura 6: Ensaio de transmitância de luz

Cálculo do fluxo luminoso e iluminamento

Para o cálculo do fluxo luminoso foram feitas as seguintes considerações iniciais apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2: Considerações para o cálculo do fluxo luminoso.

Área das placas de argamassa translúcida (A)	200 cm ² ou
Furos na placa	TA – 1: 108 furos
	TA – 2: 48 furos
	TB: 77 furos
Número de fibras ópticas poliméricas (FOP) monomodo em cada furo	TA – 1: 8 fios
	TA – 2: 8 fios
	TB: 48 fios
Diâmetro do núcleo de uma fibra polimérica monomodo	9 μm = 9 x 10 ⁻⁶ m
Raio do núcleo de uma fibra óptica polimérica monomodo	4,5 μm = 4,5 x 10 ⁻⁶ m
Transmissão da luz	Núcleo da fibra
Iluminamento produzido pelo Sol na parte externa da placa, durante o ensaio (E)	TA-1: 108400 lux
	TA-2: 110600 lux
	TB: 102400 lux

Considerando a definição de iluminamento como:

$$E = \frac{\Phi}{A} \quad (2)$$

Sendo: E = iluminamento que é medido, no sistema internacional de unidades (SI) em lux; Φ = fluxo luminoso que é medido, no sistema internacional de unidades (SI) em lm; A = a área da superfície. Onde:

$1 \text{ lux} = \frac{1 \text{ lm}}{\text{m}^2}$, e; $1 \text{ lm} = \frac{1 \text{ cd}}{\text{sr}}$. Sendo: lm = lumem; cd = candela luminosa.

O fluxo luminoso, então sobre a superfície externa da placa é:

$$\emptyset = E * A \quad (3)$$

A parte do fluxo que irá atravessar a fibra, desprezada a atenuação porque a distância percorrida é muito pequena, corresponde a fração da área útil das fibras (dos núcleos) pela área da placa. O cálculo da área de cada núcleo da fibra óptica polimérica é dado por:

$$A_0 = \pi * r^2 \quad (4)$$

O cálculo da área útil de cada furo é dado por:

$$A_F = N^{\circ} \text{ de fios de (FOP)} * N^{\circ} \text{ de furos} * A_0 \quad (5)$$

Após todos estes resultados, foi possível determinar a densidade da área útil das fibras ópticas, e então determinar o fluxo luminoso sobre a superfície externa da caixa, bem como calcular o iluminamento dentro da caixa.

RESULTADOS

Resistência à tração na flexão

A Tabelas 3 apresenta os resultados dos ensaios de resistência à tração das placas.

Tabela 3: Resistência à tração na flexão (MPa).

TRAÇO	PERCENTUAL DE FIBRA (%)	RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO (MPA)**/**	COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (%)	P.VALOR (ANOVA)
TR	0	21,60 ^A	5,8	
TA - 1	0,30	20,35 ^A	10,4	0,574937748
TA -2	0,20	21,80 ^A	1,6	
TB	2,3	11,77 ^B	8,8	0,000211839

*Valores médios de três repetições
 **Médias seguidas pela mesma letra dentro da mesma coluna, não se diferenciam estatisticamente, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.
 Onde: TR: Traço referência; TA - 1: Conjunto de placas A com distanciamento de 20 x 20; TA - 2: Conjunto de placas A com distanciamento de 30 x 30; TB: Conjunto de placas B com distanciamento de 15 x 15.

O Traço TA-1 resistiu à uma tração de 20,35 MPa, com coeficiente de variação de 10,4%, sendo o traço que obteve a maior variação. Essa variação deve se possivelmente, ao maior número de furos na placa e às formas, visto que foram feitas manualmente pela autora podendo apresentar falhas e diferenças na estrutura das placas. O traço TA-2 resistiu à uma tração de 21,8 MPa, com coeficiente de variação de 1,6%, sendo o traço que sofreu menor variação. Ainda se verifica pelo teste de Tukey que a adição da fibra não causou diferenças estatísticas na resistência à tração na flexão das placas de argamassa.

O traço TB resistiu à uma tração de 11,77 MPa, com coeficiente de variação de 8,8%. De acordo com o teste Tukey, podemos afirmar que a adição de 6 vezes mais fibras foi o fator principal para a queda da resistência à tração, comparado ao traço referência.

Nas placas TA-1 e TA-2, o P.valor apresentou um resultado maior do que 0,5, confirmando que não houve variação significativa entre estas placas e a placa do traço referência. No caso do traço TB, o resultado do P.valor foi abaixo de 0,5, o que confirma que existiu variação significativa entre a placa do traço referência e a placa TB. Foi possível observar que as placas de ambos os conjuntos romperam onde havia fibras, como apresentado na Figura 7.



Figura 7: Placas dos conjuntos B e A, respectivamente, após ruptura por ensaio de tração.

Desta forma, o ensaio de resistência à tração nos confirma que a adição de fibra óptica de forma perpendicular ao plano nas placas de argamassa é um dos fatores que diminui a resistência à tração. Esta conclusão é semelhante a obtida para o ensaio de resistência à compressão por Luhar et al. (2021) onde é afirmado que quando a fração volumétrica da fibra é aumentada e é superior a 2%, o menor espaçamento das fibras resulta em menores distâncias de interconexão para propagação de microfissuras especialmente sob carga compressiva. Isso enfraquece a aderência dentro da interface da matriz de concreto e resulta em menor resistência à compressão.

Os resultados apresentados na Tabela acima, corroboram as conclusões obtidas por Salih et al. (2014), onde estes observaram que a resistência à flexão diminuiu drasticamente com a inclusão de fibra óptica. Ademais Henriques et al. (2020) verificaram que a incorporação de 5% de fibra diminuiu a resistência à compressão e a resistência à flexão em 20% e 25,4%, respectivamente, em relação à amostra de referência.

Ensaio de Transmitância de Luz

A Tabela 4 apresenta os valores de lux obtidos pelo ensaio de transmitância de luz no conjunto de placas.

Tabela 4: Transmitância de luz no conjunto de placas.

PLACA	LUX FORA DA CAIXA	LUX DENTRO DA CAIXA
TA - 1	≅ 108400	≅ 0,3
TA - 2	≅ 110600	≅ 0,2
TB	≅ 120400	≅ 1,2

Onde: TA - 1: Conjunto de placas A com distanciamento de 20 x 20; TA - 2: Conjunto de placas A com distanciamento de 30 x 30; TB: Conjunto de placas B com distanciamento de 15 x 15.

Podemos observar que na placa TA - 1 a quantidade de lux captada pelo luxímetro que está totalmente exposto ao sol, aproximadamente 108400 lux, é muito superior à quantidade captada pelo luxímetro que está dentro da caixa, que é aproximadamente 0,3 lux.

Já na placa TA - 2, a quantidade de lux captada pelo luxímetro dentro da caixa chegou a aproximadamente 0,2 lux, enquanto o luxímetro disposto fora da caixa conseguiu captar aproximadamente 110600 lux.

O teste na placa do conjunto B apresentou um resultado melhor, fornecendo aproximadamente 1,2 lux captados pelo luxímetro disposto dentro da caixa, ao mesmo tempo em que o luxímetro que estava totalmente exposto ao sol apontava 120400 lux.

A transmitância de luz no conjunto de placas A foi mínima, devido ao baixo teor de fibras, como observado na pesquisa de Shitote et al. (2018) onde foi usado três teores de fibras: 2%, 4% e 6%, e foi

verificado que com o teor de 6% foi obtido o melhor resultado de transmitância de luz (22%). Resultados semelhantes foram verificados nas pesquisas de Taneja et al. (2018) onde a proporção de fibra óptica é proporcional à transmissão de luz e Huong et al. (2019) onde a transmitância de luz é maior com um volume maior de fibras.

Além disso, esta diferença na transmitância de luz também se deve ao tipo de material usado para cortar as fibras, uma tesoura, que acabou por esmagar o núcleo da FOP, como mostra a Figura 8 - a. Este esmagamento possivelmente impediu ou reduziu a passagem da luz pela fibra.

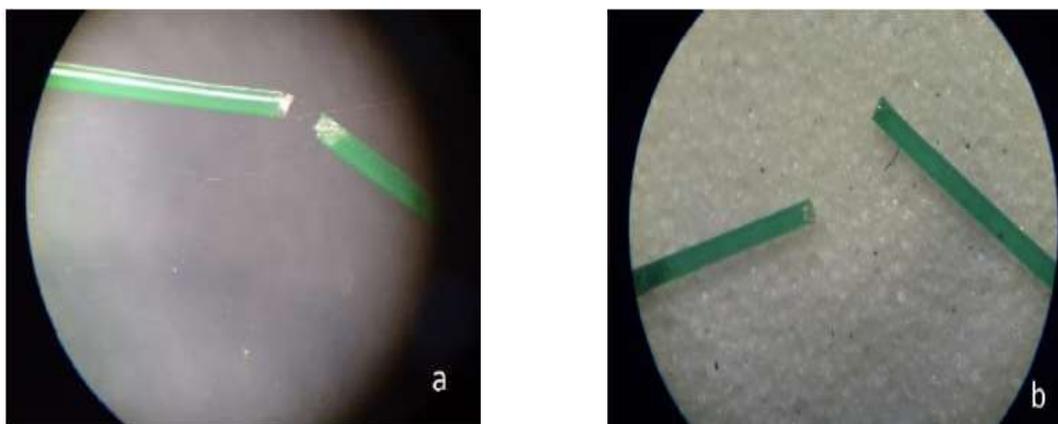


Figura 8: a) Fibra cortada com tesoura; b) Fibra cortada com estilete.

Na Figura 8 - b é apresentada a fibra na qual teve o corte feito por estilete, sendo estas utilizadas no conjunto B, verificou se, assim, que este não é tão agressivo e danificou menos o núcleo da FOP, o que não interferiu na passagem de luz. Este fato, aliado ao número de fibras 6 vezes maior do que o do conjunto A tornou a passagem de luz do conjunto B maior e mais bem captada pelo luxímetro.

Análise numérica do Fluxo luminoso e iluminamento

Com os dados apresentados na Tabela 2 e com auxílio da Eq. (3) determinou-se que o fluxo luminoso sobre a superfície externa de cada placa:

Tabela 5: Fluxo luminoso sobre a superfície externa de cada placa

TA-1	TA-2	TB
$\varnothing = 2168 \text{ lm}$	$\varnothing = 2212 \text{ lm}$	$\varnothing = 2048 \text{ lm}$

Observou-se que a área de cada núcleo da fibra óptica polimérica – Eq (4) (A_0) correspondia a $6,361725124 \times 10^{-11} \text{ m}^2$. Por meio da Eq. (5) foi possível determinar a área útil de cada placa, considerando o número de fibras por furo, bem como a quantidade de furos por placa.

Tabela 6: Área útil das placas.

TA-1	TA-2	TB
$A_F = 5,4965530507 \times 10^{-8} \text{ m}^2$	$A_F = 2,442902448 \times 10^{-8} \text{ m}^2$	$A_F = 2,351293606 \times 10^{-7} \text{ m}^2$

Considerando a área das placas ($2 \times 10^{-2} \text{ m}^2$) e a área útil de cada placa foi possível determinar a densidade da área útil das fibras ópticas (d) em cada placa.

Tabela 7: Densidade da área útil das fibras ópticas em cada placa.

TA-1	TA-2	TB
$d = 2,748265254 \times 10^{-4} \%$	$d = 1,221451224 \times 10^{-4} \%$	$d = 1,175646803 \times 10^{-3} \%$

Então o fluxo luminoso que entra na caixa, através das fibras ópticas será a densidade do fluxo sobre a superfície externa da placa, ou seja:

Tabela 8: Fluxo luminoso que entra na caixa.

TA-1	TA-2	TB
$\phi' = 2,748265254 \times 10^{-4} \%$ de ϕ	$\phi' = 1,221451224 \times 10^{-4} \%$ de ϕ	$\phi' = 1,175646803 \times 10^{-3} \%$ de ϕ

Como na matemática a expressão “de” é multiplicação e porcentagem significa dividir por 100, tem, por exemplo:

$$\phi' = \frac{1,175646803 \times 10^{-3}}{100} \times 2048lm \quad (6)$$

Assim, tem-se:

Tabela 9: Fluxo luminoso em “lm”.

TA-1	TA-2	TB
$\phi' = 5,958239071 \times 10^{-3} lm$	$\phi' = 2,701850107 \times 10^{-3} lm$	$\phi' = 0,02407724653 lm$

Por fim, para calcular o iluminamento dentro da caixa, usa se este fluxo pela área da placa porque ela está interceptando a maior parte do fluxo luminoso incidente:

$$E = \frac{\phi'}{A_{PLACA}} \quad (7)$$

Tabela 10: valores teóricos do iluminamento dentro da caixa para cada placa.

TA-1	TA-2	TB
$E = 0,297911953 lux$	$E = 0,135092505 lux$	$E = 1,203862326 lux$

Esses são os valores teóricos do iluminamento dentro da caixa. Estes são valores próximos ao valor medido pelo luxímetro, indicando que a fibra óptica está transmitindo a luz do exterior da caixa para seu interior, mesmo com a argamassa ocupando o seu entorno.

Ainda, é possível verificar a relação direta com a quantidade de fios da fibra óptica polimérica e o fluxo luminoso dentro da caixa. Por exemplo, mesmo na placa TA-1 que apresentava 108 furos na placa, porém com menor números de fibras por furo (8 fibras por furo) foi verificado um valor de teórico do iluminamento de $\cong 0,29 lux$ e medido, com o auxílio do luxímetro o valor \cong de $0,3 lux$. Já no caso da placa TB que apresentava 77 furos, porém com mais fibras em cada furo (48 fios) foi calculado um valor de teórico do iluminamento de $\cong 1,20 lux$ sendo este o mesmo valor medido pelo luxímetro, sendo possível verificar um aumento de 600% em relação a transmitância luminosa.

CONCLUSÃO

Este trabalho teve o objetivo de moldar placas de argamassa translúcida com diferentes traços de fibra óptica, para medir a transmitância de luz e a resistência à tração e analisar a possibilidade de utilizar estas placas para aumentar a iluminação natural em ambientes internos.

No que diz respeito à resistência à tração, observou-se que todas as placas romperam no exato local onde havia fibras. Este fenômeno já foi demonstrado na literatura existente, que afirma que os vazios entre a argamassa e a fibra, provocados pela falta de aderência dos dois materiais, diminuem a resistência à tração da placa.

Ainda sobre a resistência à tração, as placas do conjunto A apresentaram um desempenho melhor quando comparado às placas do conjunto B. Podemos relacionar isto ao fato de que o conjunto B possuía 6 vezes mais fibra óptica do que o conjunto A. Como dito anteriormente, a fibra óptica não adere à argamassa, criando um vazio entre a interface dos dois materiais. Desta forma, os furos da placa B são maiores do que o da placa A, fazendo com que a placa rompa mais facilmente.

Foi possível observar também que a forma como se corta a fibra óptica interfere na passagem de luz, pois ao cortar com tesoura o núcleo da fibra acaba sendo esmagado. Por este motivo, o conjunto de placas B que teve as fibras cortadas com estilete transmitiu mais luz que o conjunto de placas A.

Quanto à transmitância de luz, a placa TA - 1 transmitiu 0,1 lux a mais do que a placa TA - 2, com um teor de 0,1% a mais de fibra óptica em sua composição. Em comparação à placa TB, a diferença foi de 0,9 lux para a placa TA - 1 e 1 lux para a placa TA - 2. Podemos concluir que, dos 3 traços moldados, o traço TB é o que mais transmitiu a luz do sol.

Ainda que a placa TB tenha transmitido mais luz em relação às outras placas, o estudo não foi suficiente para garantir que ela seja, por si só, uma alternativa viável para aumentar a iluminação natural em ambientes internos.

REFERÊNCIAS

AHUJA, A.; MOSALAM, K. M.. Evaluating energy consumption saving from translucent con-crete building envelope. **Energy and Buildings**, v.153, p.448-460, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.06.062>

ALSALLAL, K. A.; ABOUELHAMD, A.R.; DALMOUK, M. B.. UAE heritage buildings converted into museums: Evaluation of daylighting effectiveness and potential risks on artifacts and visual comfort. **Energy and Buildings**, v.176, p.333-359, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.06.067>

ALTLOMATE, A.; ALATSHAN, F.; MASHIRI, F.; JADAN, M.. Experimental study of light-transmitting concrete. **International Journal of Sustainable Building Technology and Urban Development**, v.7, p.133-139, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1080/2093761X.2016.1237396>

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR NM 248**: Determinação da Composição Granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 7211**: Agregados para concreto: Especificação. Rio de Janeiro, 2009.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 12655**: Concreto de cimento Portland Preparo, controle, recebimento e aceitação Procedimento. Rio de Janeiro, 2015.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 7215**: Cimento Portland Determinação da resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2019.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15498**: Placas de fibrocimento sem amianto Requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2016.

BOCCIA, O.; CHELLA, F.; ZAZZINI, P.. Natural light from a wall in buildings: Experimental analysis of the ventilated illuminating wall performances. **Solar energy**, v.108, p.178-188, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.solener.2014.07.007>

HALBINIAK, J.; SROKA, P.. Translucent concrete as the building material of the 21st century. **Teka Komisji Motoryzacji i Energetyki Rolnictwa**, v.15, 2015.

HE, J.; ZHOU, Z.; OU, J.; HUANG, M.. Study on smart transparent concrete product and its performances. In: INTERNATIONAL WORKSHOP ON ADVANCED SMART MATERIALS AND SMART STRUCTURES TECHNOLOGY. **Proceedings**. Illinois, 2011.

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. DOI:

<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.11.137>

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. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118406>

HUONG, O. W.; KASSIM, U.. Translucent Concrete by Plastics Fibre Optics as A Sustainable Material That Benefit to Residential Building. **J. Adv. Res. Eng. Knowl**, v.6, p.1-6, 2019.

KAMDI, A. B.. Transparent concrete as a green material for building. **International Journal of Structural and Civil Engineering Research**, v.2, p.172-175, 2013.

LI, Y.; LI, J.; WAN, Y.; XU, Z.. Experimental study of light transmitting cement-based material (LTCM). **Construction and building materials**, v.96, p.319-325, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.08.055>

LUHAR, I.; LUHAR, S.; SAVVA, P.; THEODOSIOU, A.; PETROU, M. F.; NICOLAIDES, D.. Light Transmitting Concrete: A Review. **Buildings**, v.11, p.480, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/buildings11100480>

NAVABI, D.; JAVIDRUZI, M.; HAFEZI, M. R.; MOSAVI, A. The high-performance light transmitting concrete and experimental analysis of using polymethylmethacrylate optical fibers in it. **Journal of Building Engineering**, v.38, p.102076, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.job.2020.102076>

SAID, S. H.. State-of-the-art developments in light transmitting concrete. **Materials Today: Proceedings**, v.33, p.1967-1973, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.06.128>

SALIH, S.; JONI, H. H.; MOHAMED, S.. Effect of plastic optical fiber on some properties of translucent concrete. **Engineering and Technology Journal**, v.32, p.2846-2861, 2014.

SAWANT, A. B.; JUGDAR, R. V.; SAWANT, S. G.. Light transmitting concrete by using optical fiber. **Int. J. Inventive Eng. Sci**, v.3, p.23-28, 2014.

SAWANT, A. B.; JUGDAR, R.; CHOUGULE, V. P.. Experimental work on light transmitting concrete by using optical fiber. **Int. J. Adv. Technol. Eng. Sci**, v.2, p.636-645, 2014.

SHITOTE, S.; TUAUM, A.; OYAWA, W. O.. Experimental evaluation on light transmittance performance of translucent concrete. **International Journal of Applied Engineering Research**, v.13, p.1209-1218, 2018.

SU, X.; ZHANG, L.; LIU, Z.; LUO, Z.; LIAN, J.; LIANG, P.. Daylighting performance simulation and analysis of translucent concrete building envelopes. **Renewable Energy**, v.154, p.754-766, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.03.041>

TAHWIA, A. M.; RAHEEM, A. A.; AZIZ, N. A.; AMIN, M.. Light transmittance performance of sustainable translucent self-compacting concrete. **Journal of Building Engineering**, v.38, p.102178, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.job.2021.102178>

TANEJA, E. K.; JOSHI, T. M.; DAVE, U.. Evaluation of mechanical properties and light transmission of light-transmitting concrete. In: NIRMA UNIVERSITY INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENGINEERING, 6. **Proceedings**. Ahmedabad, 2017

ULLAH, I.; SHIN, S.. Highly concentrated optical fiber-based daylighting systems for multi-floor office buildings. **Energy and buildings**, v.72, p.246-261, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.12.031>

VERSO, V. R. M. L.; MIHAYLOV, G.; PELLEGRINO, A.; PELLERREY, F.. Estimation of the daylight amount and the energy demand for lighting for the early design stages: Definition of a set of mathematical models. **Energy and Buildings**, v.155, p.151-165, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.09.014>

ZHOU, Z.; OU, G.; HANG, Y.; CHEN, G.; OU, J.. Research and development of plastic optical fiber based smart transparent concrete. In **Smart Sensor Phenomena, Technology, Networks, and Systems 2009**, v.293, p.107-112, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1117/12.816638>

Os autores detêm os direitos autorais de sua obra publicada. A CBPC – Companhia Brasileira de Produção Científica (CNPJ: 11.221.422/0001-03) detêm os direitos materiais dos trabalhos publicados (obras, artigos etc.). Os direitos referem-se à publicação do trabalho em qualquer parte do mundo, incluindo os direitos às renovações, expansões e disseminações da contribuição, bem como outros direitos subsidiários. Todos os trabalhos publicados eletronicamente poderão posteriormente ser publicados em coletâneas impressas ou digitais sob coordenação da Companhia Brasileira de Produção Científica e seus parceiros autorizados. Os (as) autores (as) preservam os direitos autorais, mas não têm permissão para a publicação da contribuição em outro meio, impresso ou digital, em português ou em tradução.

Todas as obras (artigos) publicadas serão tokenizadas, ou seja, terão um NFT equivalente armazenado e comercializado livremente na rede OpenSea (https://opensea.io/HUB_CBPC), onde a CBPC irá operacionalizar a transferência dos direitos materiais das publicações para os próprios autores ou quaisquer interessados em adquiri-los e fazer o uso que lhe for de interesse.



Os direitos comerciais deste artigo podem ser adquiridos pelos autores ou quaisquer interessados através da aquisição, para posterior comercialização ou guarda, do NFT (Non-Fungible Token) equivalente através do seguinte link na OpenSea (Ethereum).

The commercial rights of this article can be acquired by the authors or any interested parties through the acquisition, for later commercialization or storage, of the equivalent NFT (Non-Fungible Token) through the following link on OpenSea (Ethereum).



<https://opensea.io/assets/ethereum/0x495f947276749c6e646f68ac8c248420045cb7b5e/44951876800440915849902480545070078646674086961356520679561157967131034255361/>