

DOI: <http://dx.doi.org/10.18265/1517-0306a2021id6356>

ARTIGO ORIGINAL

SUBMETIDO 11/09/2021

APROVADO 22/10/2021

PUBLICADO ON-LINE 11/11/2021

PUBLICADO 10/07/2023

EDITOR ASSOCIADO

Andre Luis Christoforo

Sistemas de piso com revestimento cerâmico: avaliação da resistência a cargas verticais concentradas

 Jéssica Machado Medeiro ^[1]

 Augusto Wanderlind ^[2]

 Angela Waterkemper Vieira ^[3]

 Elidio Angioletto ^[4]

 Jorge Henrique Piva ^{[5]*}

 Elaine Guglielmi
Pavei Antunes ^[6]

[1] jessica_medeirom@hotmail.com

[2] acw@unesc.net

[5] jhpiva@gmail.com

[6] elainegpa@unesc.net

Departamento de Engenharia Civil,
Universidade do Extremo Sul Catarinense
(UNESC), Brasil

[3] angela.waterkemper@eliane.com

[4] ean@unesc.net

Departamento de Engenharia de Materiais,
Universidade do Extremo Sul Catarinense
(UNESC), Brasil

RESUMO: Os revestimentos cerâmicos para pavimento apresentam crescente utilização em razão de suas características e propriedades vantajosas quando comparados a outros sistemas de revestimento. Contudo, o desempenho adequado desse tipo de revestimento está associado a uma correta especificação da placa cerâmica ao seu local de uso. O objetivo deste estudo é avaliar a resistência de sistemas de piso com revestimento cerâmico a solicitações verticais. Os sistemas de piso foram compostos por 4 categorias de placas cerâmicas, com 3 amostras de piso, obtendo-se, no total, 12 sistemas e todos instrumentados com extensômetros para medida das deformações. Eles foram submetidos a cargas verticais de compressão até o surgimento visível de fissuras na superfície, e as cargas de ruptura foram reportadas mediante análise de suas deformações. Os resultados indicaram que a classe de absorção de água e o módulo de resistência à flexão das placas cerâmicas são balizadores quanto à resistência dos sistemas. Verificou-se que o módulo de resistência à flexão da placa cerâmica de um sistema correlaciona-se com o valor da carga suportada por ele e que a posição de aplicação da carga não interfere na capacidade de carga dos sistemas.

Palavras-chave: carga de ruptura; placas cerâmicas; sistema de revestimento.

Floor systems with ceramic tiles: evaluation of resistance to concentrated vertical loads

ABSTRACT: Ceramic tiles for flooring are increasingly being used due to their advantageous characteristics and properties when compared to other tiling systems. However, the adequate performance of this type of covering is associated with the correct specification of the ceramic tile for its place of use. The objective of this study is to evaluate the resistance of flooring systems with ceramic tile, to vertical loads. The floor systems were composed of 4 categories of ceramic tiles, with 3 samples of floor, obtaining, in total, 12 systems and all instrumented with strain gauges for measuring the deformations. They were submitted to vertical compression loads until the visible appearance of cracks on

*Autor para correspondência.

the surface, and the failure loads were reported through analysis of the deformations of these. The results indicated that the water absorption class and the flexural strength module of the ceramic tiles are indicators of the resistance of the systems. It was found that the flexural strength modulus of the ceramic plates of a system correlates with the value of the load supported by it and that the load application position does not interfere in the load capacity of the systems

.....
Keywords: *ceramic tiles; coating system; rupture load.*
.....

1 Introdução

O revestimento do piso de uma edificação é o elemento de contato direto com o usuário e, portanto, está constantemente submetido a solicitações, sejam elas estáticas ou dinâmicas (MARTINS, 2012). Por conseguinte, o sistema de revestimento de piso deve desempenhar a função de absorver essas solicitações, garantindo a qualidade das propriedades mecânicas e estéticas, sem que o seu funcionamento, em relação ao uso pretendido, seja comprometido (TERJEK; JOZSA, 2015).

Os revestimentos cerâmicos são materiais empregados na construção civil em revestimento de piso (VAZ, 2013). Para Rhod (2011), a justificativa desse fato está relacionada a características e propriedades proporcionadas, como resistência mecânica, segurança contra o fogo, estanqueidade à água e aos gases, durabilidade e eficiência.

As inúmeras vantagens atribuídas ao uso de placas cerâmicas como revestimento são dependentes de diversos fatores para serem garantidas. Para Rebelo (2010), a qualidade e a durabilidade de uma superfície com revestimento cerâmico estão fundamentadas diretamente na qualificação do material e na execução do assentamento, na manutenção preventiva e, principalmente, na escolha da placa cerâmica de acordo com o uso ao qual será destinada. As propriedades do material determinam características próprias que são fundamentais para sua correta especificação (CACCIA, 2012).

A absorção de água é um fator amplamente utilizado na classificação das placas cerâmicas e influencia diretamente nas propriedades da peça. A porosidade de um corpo cerâmico está relacionada à absorção de água e quanto menor for o seu valor, maior será sua resistência mecânica (CARDOZO *et al.*, 2020).

De modo geral, os sistemas de revestimento cerâmico de piso são compostos por elementos distintos e dispostos em camadas interdependentes (UCHÔA *et al.*, 2016). Segundo a NBR 13753:1996 (ABNT, 1996), as camadas do sistema são definidas como base, contrapiso, argamassa colante, placa cerâmica e argamassa de rejuntamento. Por tratar-se de um conjunto monolítico de camadas, quando uma dessas camadas sofre deformação, causada por esforços externos ou por origem endógena, todo o sistema de revestimento cerâmico fica sujeito a tensões (UCHÔA *et al.*, 2016). Para Fiorito (1994), essas tensões são dependentes das características físicas e mecânicas de cada camada. Como parte desse sistema, os materiais cimentícios, como o concreto, estão sujeitos a fissuras e danos superficiais que podem reduzir a capacidade de carga, a integridade estanque e a rigidez dos elementos, o que, em casos extremos, pode levar a falhas e até mesmo a catástrofes de construção (GOLEWSKI, 2018).

De acordo com Suryanto *et al.* (2016), as fissuras são uma das principais causas de deterioração dos compostos de concreto e das estruturas de concreto.

Apesar da amplitude de tipos e possibilidades de uso, os materiais cerâmicos possuem uma limitada capacidade de deformação plástica na maioria das suas aplicações, o que faz desse material particularmente sensível à presença de descontinuidades internas, que acabam determinando sua resistência final (FONSECA *et al.*, 2015).

Essa característica da cerâmica a torna frágil e com baixa tenacidade. A natureza frágil geralmente deriva dos tipos de ligações químicas que esses materiais apresentam (uma combinação iônico-covalente), o que também confere ao material alta resistência à tração (devido à alta resistência da ligação) e baixa tensão plástica. O comportamento mecânico desses materiais pode ser descrito pela teoria da mecânica da fratura, que se refere principalmente ao início e propagação de uma ou várias fissuras sujeitas a um determinado campo de tensão (ALBUQUERQUE; RODRIGUES, 2006).

As manifestações patológicas, ligadas a uma escolha da placa cerâmica inadequada ao local de uso, são identificadas frequentemente. As fissuras, deslocamentos, quebra dos cantos ou das superfícies da placa podem ser resultados de um carregamento excessivo, ao qual o sistema de piso é exposto, com cargas maiores do que a resistência mecânica da placa pode suportar.

Tendo em vista que as placas cerâmicas são a interface visível do desempenho do sistema de revestimento, este trabalho tem por objetivo avaliar a resistência de sistemas de pisos com revestimento cerâmico a cargas verticais concentradas. Para tal, foram avaliadas quatro categorias de placas cerâmicas assentadas em sistemas distintos, submetidos a cargas verticais de compressão até o surgimento visível de fissuras. Desse modo, o experimento pretende correlacionar o módulo de resistência à flexão da placa cerâmica de um sistema com o valor da carga suportada por ele.

Na seção 2 é apresentado o método da pesquisa, sendo descritos os procedimentos para confecção dos protótipos e os ensaios aplicados; na seção 3, os resultados da pesquisa são apresentados em gráficos relacionando as medidas de deformações e cargas suportadas pelos sistemas de revestimentos cerâmicos e a avaliação comparativa entre os tipos de revestimentos cerâmicos; por fim, na seção 4 são apresentadas as conclusões.

2 Método da pesquisa

Para o desenvolvimento do estudo, protótipos de sistema de piso foram executados, subdivididos em quatro tipologias. As lajes, para simulação do piso, foram executadas em fôrmas de madeira de pinus, nas dimensões de 120 cm × 120 cm × 10 cm e concretadas com concreto de 25 MPa, dosado em central. Para controle tecnológico do concreto, realizou-se, com o concreto fresco, o ensaio de abatimento de tronco de cone (*slump test*), para caracterização da consistência e trabalhabilidade, seguindo instruções da NBR NM 67:1998 (ABNT, 1998). Foram moldados 12 corpos de prova cilíndricos, os quais foram rompidos aos 170 dias de cura, simultaneamente ao ensaio de resistência à compressão dos sistemas de revestimentos de piso, a fim de conhecer a resistência do concreto no momento do ensaio de compressão do sistema de piso. Os procedimentos de moldagem, cura e estocagem dos corpos de prova seguiram as determinações da NBR 5738:2015 (ABNT, 2016). O ensaio de resistência à compressão seguiu as orientações da NBR 5739:2018 (ABNT, 2018) e foi efetuado por meio de uma

prensa hidráulica da marca EMIC, modelo PC200CS, cuja leitura dos resultados do ensaio foi realizada pelo software TESC - Test Script.

Uma armadura de aço CA-50 foi utilizada para as partes superior e inferior das lajes. Para ambas, foram confeccionadas malhas quadradas de aço com espaçamento entre as barras de 15 cm. Na malha superior, adotaram-se 16 barras de 6,3 mm de diâmetro e 16 barras de 8,0 mm na malha inferior, totalizando 8 barras em cada direção. Em todas as barras de aço, foram executados ganchos de ancoragem com 5 cm. O revestimento nominal das barras de aço adotado foi de 2 cm, correspondente à classe de agressividade ambiental I, conforme prescrito pela NBR 6118:2014 (ABNT, 2014).

Para o assentamento das placas cerâmicas, utilizou-se argamassa colante cimentícia, classificada como ACIII, segundo a NBR 14081-1:2012 (ABNT, 2012). O rejuntamento foi executado com rejunte cimentício, resinado, siliconado, antimoho, de acabamento superfino e industrializado do Tipo II, conforme NBR 14992:2003 (ABNT, 2003).

Para compor o sistema de revestimento cerâmico, adotaram-se quatro tipologias diferentes de placas cerâmicas. Para melhor compreensão e visualização do estudo, adotou-se uma nomenclatura para cada tipologia de placa cerâmica. A título de exemplo, a placa porcelanato técnico é nomeada como PPT (Placa Porcelanato Técnico), e assim sucessivamente para o restante das placas. As propriedades, tais como percentual de absorção de água, carga de ruptura e módulo de resistência à flexão, são regularmente monitoradas pelo controle de qualidade do fabricante das placas cerâmicas em análise e foram fornecidas para a presente pesquisa. O ensaio módulo de resistência à flexão e carga de ruptura seguiu os procedimentos da NBR ISO 10545-4 (ABNT, 2020). Para a execução desse ensaio utiliza-se um equipamento chamado crômetro ou flexímetro, que consiste em duas barras de apoio cilíndricas, onde a placa cerâmica é apoiada, e a carga é aplicada no centro da placa, através de um cutelo superior. Na Tabela 1, as características e propriedades das placas cerâmicas são apresentadas, bem como as nomenclaturas adotadas para cada tipologia.

Tabela 1 ▼
Placas cerâmicas do estudo.
Fonte: dados do fabricante (2019)

Nomenclatura	PPT	PPTN	PPE	PSG
Categoria	Placa porcelanato técnico	Placa porcelanato técnico natural	Placa porcelanato esmaltado	Placa semi-grês
Dimensões (cm)	50 × 50	60 × 60	60 × 60	45 × 45
Espessura (mm)	11	9,5	9,5	6,5
Absorção de água (%)	0,07	0,05	0,30	5,5
Grupo de absorção de água	BIa	BIa	BIa	BIIa
Carga de ruptura (Kgf)	390,0	239,2	219,0	61,3
Resistência à flexão (MPa)	50	45	45	31

Figura 1 ▼

Sistema de piso:
(a) protótipo;

(b) execução das lajes.

Fonte: elaborada pelos
autores (2019)

Para este estudo, foram executados protótipos de sistema de piso, nos quais as quatro tipologias de placas cerâmicas foram assentadas. Na Figura 1 é apresentado o sistema de piso, sendo que a Figura 1(a) apresenta o protótipo do sistema e a Figura 1(b) apresenta a execução das lajes.



As placas cerâmicas foram assentadas sobre as lajes conforme especificado pela NBR 13753:1996 (ABNT, 1996) para placas cerâmicas com área superficial maior ou igual a 900 cm², por meio de colagem dupla, com utilização de desempenadeira dentada 8 mm × 8 mm × 8 mm. Para cada tipologia de placa cerâmica, produziram-se 3 amostras, totalizando 12 protótipos de sistema de piso. No Quadro 1 são apresentadas as nomenclaturas das lajes para facilitar a identificação. O ensaio de compressão das lajes foi realizado no Laboratório Experimental de Estruturas (LEE) da Universidade do Extremo Sul Catarinense (UNESC), localizado no IParque – Parque Científico e Tecnológico.

Quadro 1 ►

Nomenclatura das lajes.

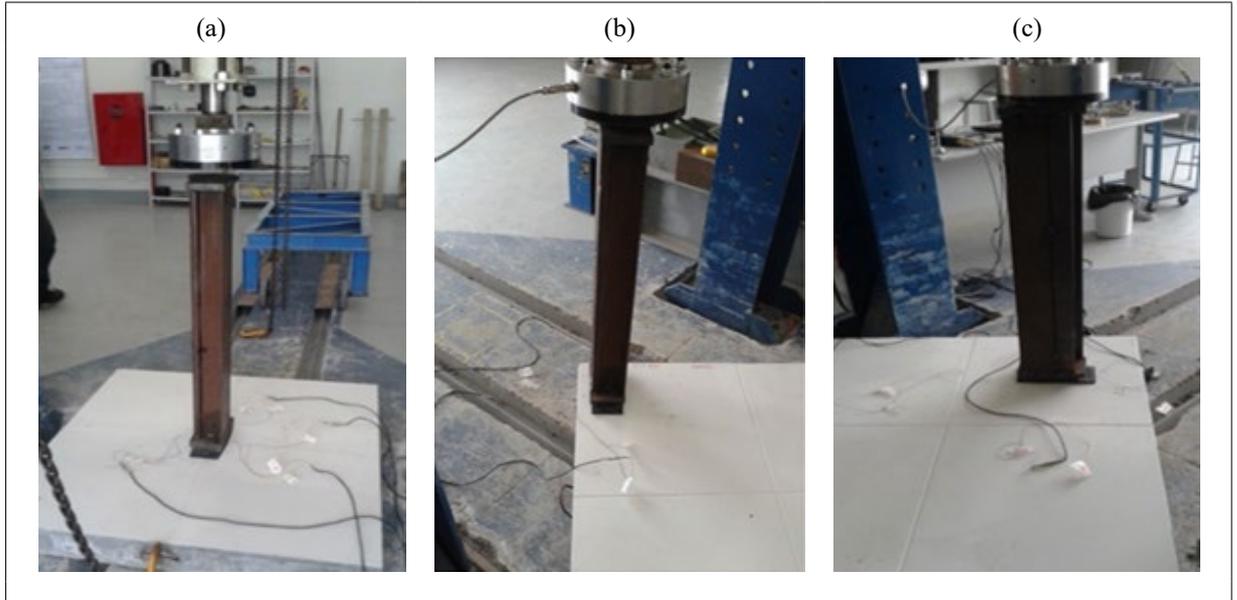
Fonte: dados da
pesquisa (2019)

Placas cerâmicas assentadas	Lajes	Nomenclatura
PPT	Laje com placa porcelanato técnico	L-PPT
PPTN	Laje com placa porcelanato técnico natural	L-PPTN
PPE	Laje com placa porcelanato esmaltado	L-PPE
PSG	Laje com placa semi-grês	L-PSG

Figura 2 ▼

Ensaio de compressão das lajes: (a) aplicação de carga no centro do sistema; (b) aplicação de carga próximo à extremidade da placa cerâmica; (c) aplicação de carga no centro da placa cerâmica.
Fonte: arquivo dos autores (2019)

Utilizou-se para execução do ensaio um cilindro hidráulico com capacidade de carga de 50 tf (tonelada-força) da marca ENERPAC, um aplicador de carga metálico de dimensões 18 cm × 10 cm × 96,5 cm e o software Catman Easy para coleta de dados. Os protótipos foram apoiados diretamente sobre a superfície do piso do laboratório e submetidos a uma carga vertical concentrada, aplicada de cima para baixo, de forma a comprimir o sistema, por meio do aplicador de carga, em pontos das amostras considerados mais suscetíveis à ocorrência de danos, conforme Figura 2. O momento de cessão de aplicação de carga sobre os sistemas, durante os ensaios, foi determinado pelo surgimento de fissuração visível da superfície da placa cerâmica.



A Figura 2 indica a aplicação da carga nos sistemas em três pontos distintos. O primeiro ponto foi locado no centro do sistema; sendo assim, o aplicador de carga teve contato com as extremidades das quatro placas cerâmicas. O segundo ponto foi próximo à extremidade de uma placa cerâmica, com o aplicador posicionado a 5 cm das bordas da peça. O terceiro e último ponto foi o centro de uma placa cerâmica.

Figura 3 ▼

Extensômetros fixados nos tarsoes das placas cerâmicas.
Fonte: arquivo dos autores (2019)

As deformações dos sistemas foram verificadas por meio de extensômetros mecânicos fixados nos tarsoes das placas cerâmicas, conforme apresentado na Figura 3. A instrumentação das placas fez-se a partir da área de contato (18 cm × 10 cm) do aplicador de carga. Três diferentes formas de posicionamentos dos extensômetros foram adotadas.

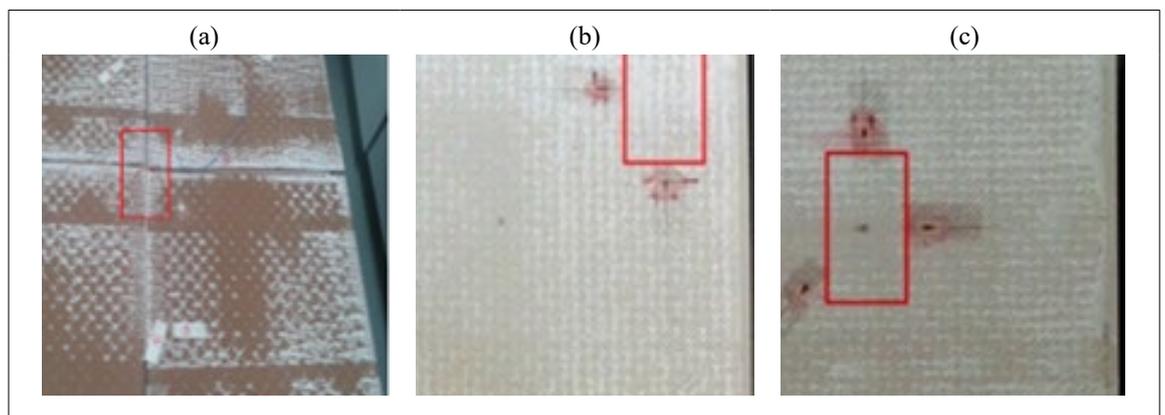
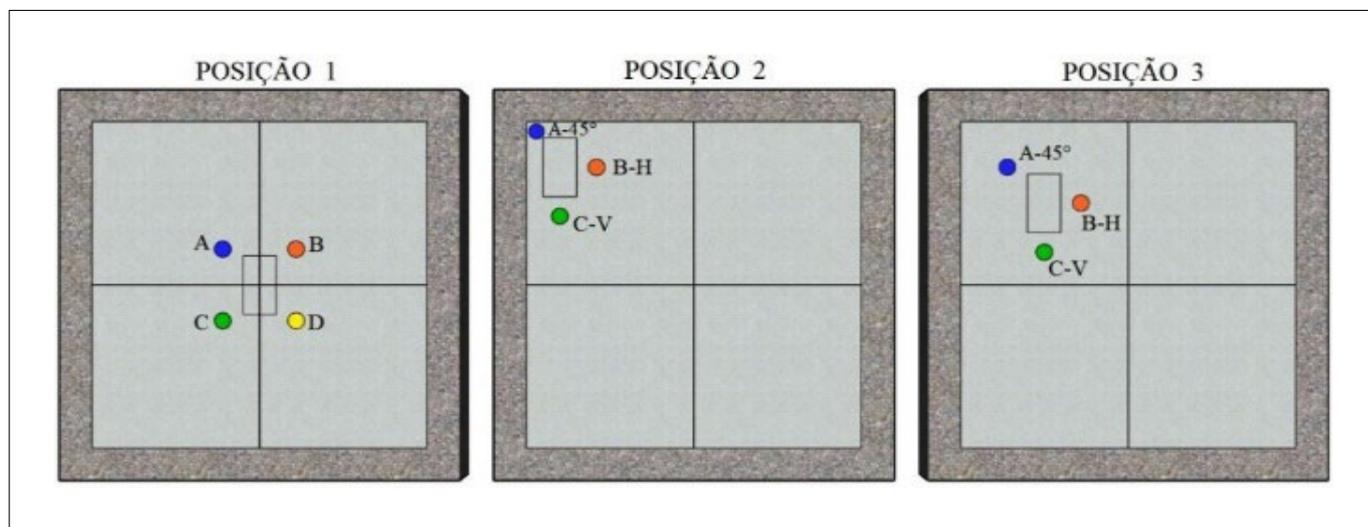


Figura 4 ▼

Esquema representativo da posição dos extensômetros.

Fonte: elaborada pelos autores (2019)

A Figura 4 ilustra o esquema de posicionamento dos extensômetros nas peças cerâmicas com as respectivas identificações.



3 Resultados da pesquisa

O resultado obtido no ensaio de abatimento de tronco de cone (*slump test*) apresentou um abatimento médio de 12 ± 1 cm. Os ensaios de resistência à compressão axial dos corpos de prova indicaram a resistência do concreto no mesmo dia em que as cargas verticais foram aplicadas nas lajes. As amostras apresentaram resistência média de $59,03 \pm 3,9$ MPa, o que representa uma resistência superior à solicitada à empresa fornecedora. Mediante os resultados de resistência à compressão dos corpos de prova de concreto, indica-se que o concreto contido nas lajes também apresentou tal resistência, devido a o tempo de cura ter se mantido o mesmo.

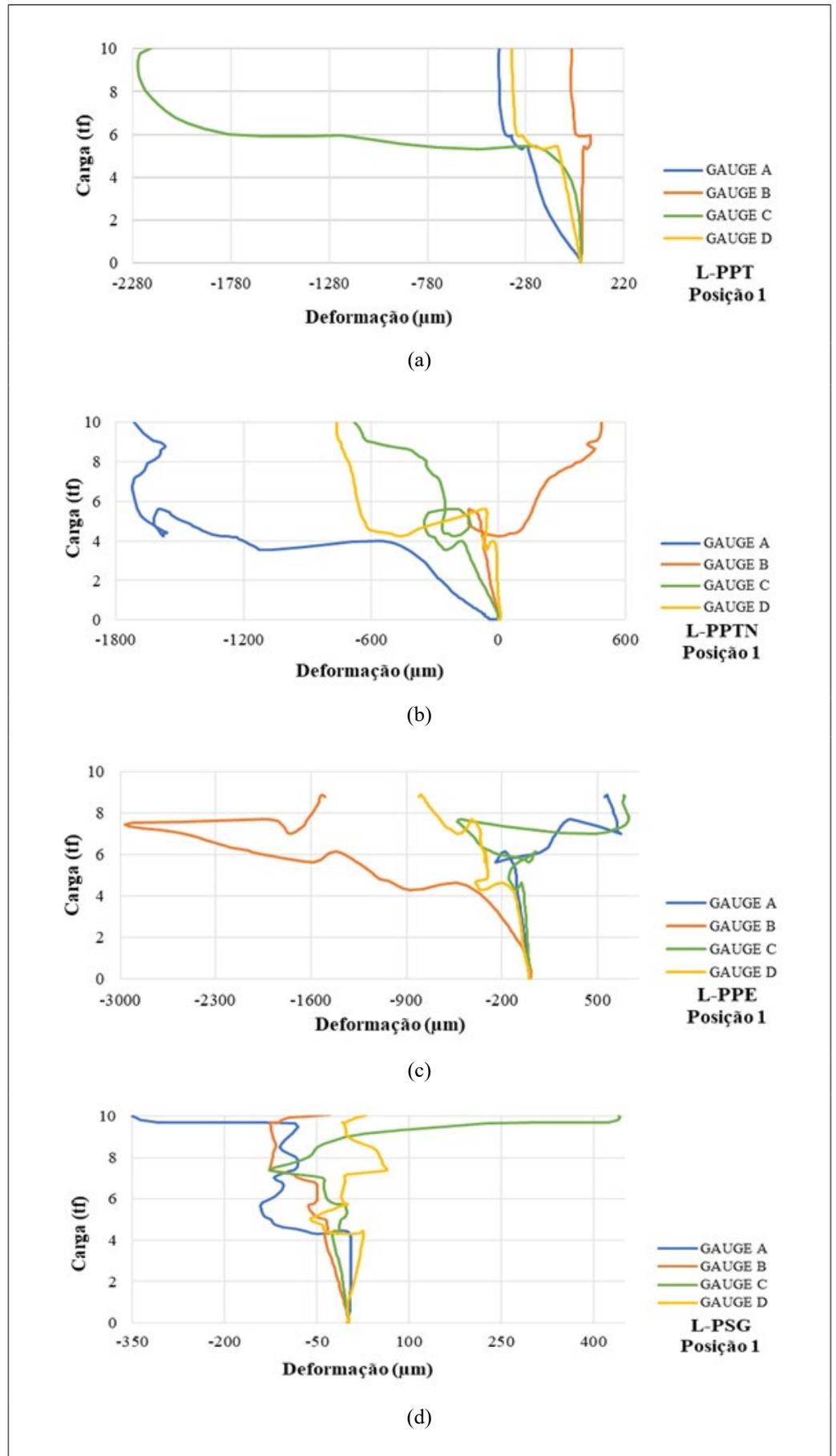
As cargas de ruptura dos sistemas foram reportadas através do estudo das deformações do revestimento cerâmico. Com base na análise dos gráficos que apresentam as curvas de deformação em função da carga dos sistemas, é possível observar pontos onde se apresentam deformações acentuadas, ou seja, pontos que apresentam uma perda de linearidade da curva. Essa condição é justificada pelo fato de que os materiais cerâmicos possuem pouca ou nenhuma deformação plástica, o que pode caracterizar uma ruptura frágil da placa cerâmica, uma vez que ela também é considerada um material frágil, cuja definição é baseada na ruptura sem aviso prévio (ZANOTTO; MIGLIORE JR, 1991). A partir desse princípio, assumiu-se que o revestimento cerâmico teve seu colapso no instante da perda de linearidade da curva de deformação em função da carga aplicada, indicando, assim, a carga de ruptura do sistema.

Na Figura 5 estão ilustrados os gráficos que apresentam a deformação dos sistemas na posição 1.

Figura 5 ►

Gráficos carga versus deformação na posição 1:
 (a) L-PPT; (b) L-PPTN;
 (c) L-PPE; (d) L-PSG.

Fonte: dados da pesquisa (2019)



A partir dos gráficos, é possível observar que as curvas de carga *versus* deformação, captadas pelos extensômetros, apresentam uma descontinuidade considerada, portanto, como carga de ruptura.

Com base nas informações de Sesma (2014) e de Fujita *et al.* (2006), os materiais cerâmicos apresentam falhas na sua microestrutura, denominadas microtrincas, que, quando submetidas a esforços externos, agem como elementos concentradores de tensões. Como o corpo cerâmico não possui capacidade de distribuir tensões através de deformação plástica, a tensão local na região da microtrinca aumenta até atingir a resistência máxima, causando a ruptura do corpo.

Nas três posições de instrumentação do sistema L-PPTN, todas as curvas de carga *versus* deformação, lidas nos extensômetros, expressaram perda de integridade, ou seja, uma amplitude nas curvas. Esse comportamento é perceptível não só para as curvas, mas também para os pontos nos quais deformações consideráveis se situaram, indicando uma carga de ruptura em torno de 5 tf.

Na comparação entre os sistemas com diferentes tipos de placas cerâmicas, para os sistemas compostos com placas cerâmicas de menor absorção de água, classificadas como porcelanatos, as deformações lidas em cada um dos extensômetros apresentavam perda de linearidade, em valores maiores que a tipologia de maior absorção (L-PSG).

O sistema L-PSG foi composto por placas cerâmicas caracterizadas como pertencentes ao grupo de absorção de água BIIa, e essa condição sugere que essas placas tenham uma resistência menor que as placas cerâmicas com menos poros, como os porcelanatos. Os poros atuam negativamente sobre a resistência à fratura dos corpos cerâmicos, visto que uma parcela considerável de fraturas tem sua origem em trincas superficiais que, inúmeras vezes, são efetivamente poros (CARDOZO *et al.*, 2020).

Após a retirada do aplicador de carga, durante os ensaios de compressão das amostras de L-PSG, pôde-se observar que a região abaixo da área do aplicador sofreu deformações com aspecto de esmagamento e, com base nesse contexto, conceituou-se que o sistema apresentou uma ruptura local. Segundo Sandoval e Rodríguez (2000), os poros atuam como pontos de concentração de tensão, acentuando a fratura causada pelas cargas aplicadas, uma vez que favorecem a formação de fissuras que levam à ruptura.

Com base nas deformações lidas no momento da ruptura, a Tabela 2 apresenta as amplitudes de deformação obtidas no momento da ruptura nas três diferentes posições de instrumentação dos sistemas estudados.

Tabela 2 ▼
Amplitudes de deformação no momento da ruptura das lajes.
Fonte: dados da pesquisa (2019)

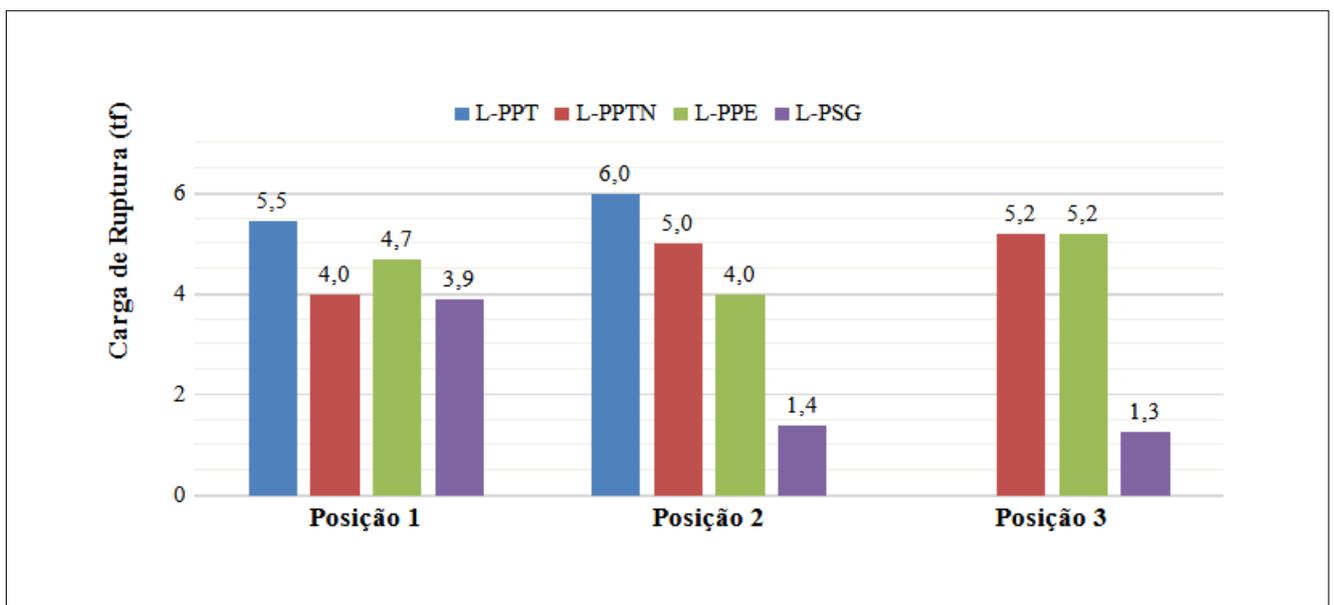
Sistemas	Posição	Extensômetros (deformação máxima / deformação mínima)	Amplitude de deformação (µm)	Carga de ruptura (tf)
PPT	1	A / B	-270 / 22	5,5
	2	C / A	-113 / 80	6,0
PPTN	1	A / D	-547 / -26	4,0
	2	C / B	-326 / 8	5,0
	3	C / A	-250 / -33	5,2
PPE	1	B / C	-535 / -55	4,7
	2	B / C	-46 / 14	4,0
	3	B / A	-107 / -11	5,2
PSG	1	B / D	-36 / 25	3,9
	2	A / C	29 / -16	1,4
	3	A / B	3 / -2	1,3

Os esforços de tração são representados por uma deformação positiva do extensômetro, que significa que ele sofre um alongamento do seu comprimento. As leituras de deformação com sinal negativo correspondem à compressão do extensômetro, ou seja, à redução do seu comprimento. É possível observar que as deformações não seguem uma linearidade nas respostas, de compressão ou tração, às cargas aplicadas nas lajes.

Essa desuniformidade pode ser explicada, novamente, pelo fato de a placa cerâmica não possuir capacidade de distribuir tensões e, por conseguinte, a tensão local, o módulo da deformação e o tipo de esforço mecânico tornam-se distintos entre os pontos de uma mesma placa cerâmica.

Figura 6 ▼
Cargas de ruptura dos sistemas.
Fonte: dados da pesquisa (2019)

Em virtude dessas análises, foi possível determinar as cargas de ruptura dos sistemas, as quais estão apresentadas no gráfico da Figura 6, ordenadas pelas posições de instrumentação.



A laje L-PPT na posição 3 apresentou rompimento de um extensômetro, impossibilitando a leitura. Dessa forma, na posição 3, os resultados foram excluídos do estudo.

Nos sistemas L-PPT, L-PPTN e L-PPE, as cargas mantiveram certa homogeneidade nas posições 1, 2 e 3. A partir das cargas de ruptura classificadas, nota-se que, nas três posições, as lajes de cada sistema obtiveram valores de cargas aproximados – como exemplo, L-PPTN, que apresentou carga de ruptura de 4,0 tf, 5,0 tf e 5,2 tf nas posições 1, 2 e 3, respectivamente.

O sistema L-PSG apresenta um desvio dos valores da posição 1 em relação às posições 2 e 3. Atribui-se essa diferença, como possível causa, ao fato de ser o tipo de placa cerâmica com maior porosidade, mais propensa à ruptura local antes mesmo de um extensômetro captar uma deformação. A carga de ruptura foi dimensionada pelas posições 2 e 3.

Ao confrontar as cargas de ruptura de cada sistema, é notório que os sistemas constituídos de placas cerâmicas com menor absorção de água, em geral, se apresentam com maior carga de ruptura. Efetuando uma média das cargas de ruptura dos sistemas obtidas nas três posições de instrumentação e fazendo uma analogia entre essas cargas e o módulo de resistência à flexão, temos que, de fato, as placas com módulo de resistência

Tabela 3 ▼
Comparativo entre sistema e placa cerâmica.
Fonte: dados da pesquisa (2019)

maior se mostraram com maior carga de ruptura. Da mesma maneira, as cargas de ruptura dos sistemas também seguiram na proporção da carga de ruptura da placa cerâmica em si. A aderência ao substrato, por meio da argamassa colante, aumentou demasiadamente a capacidade de suporte de cargas das placas cerâmicas.

A Tabela 3 ilustra a carga de ruptura média de cada sistema, os valores de módulo de resistência à flexão e a carga de ruptura das placas cerâmicas que os constituem.

Sistemas	Carga de ruptura média do sistema (tf)	Carga de ruptura das placas cerâmicas (tf)	Carga de ruptura das placas cerâmicas (N)	Módulo de resistência à flexão (MPa)
L-PPT	5,8	0,39	3900	50
L-PPTN	4,8	0,24	2392	45
L-PPE	4,6	0,22	2190	45
L-PSG	1,4	0,06	613	31

4 Conclusão

O posicionamento das cargas verticais não apresenta influência sobre a carga de ruptura, visto que as extremidades das placas cerâmicas tiveram uma carga de ruptura meramente menor em relação ao centro da placa.

O sistema de piso como um todo manifestou uma relação de proporcionalidade com o módulo de resistência à flexão da placa cerâmica. Quanto maior o valor do módulo de resistência da placa, maior o valor da carga de ruptura do sistema. Mesmo as placas com menor módulo de resistência à flexão, devido à sua aderência ao piso, tiveram sua capacidade de carga intensificada.

As curvas de deformações indicaram valores de rigidez condizentes com o módulo de cada placa, sendo possível identificar o momento da ruptura durante o ensaio.

Financiamento

Esta pesquisa não recebeu financiamento externo.

Conflito de interesses

Os autores declaram não haver conflito de interesses.

Referências

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ISO 10545-4**. Placas cerâmicas - Parte 4: determinação da carga de ruptura e módulo de resistência à flexão. Rio de Janeiro, 2020.

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

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739**. Concreto: Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2018.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**. Projeto de estruturas de concreto: procedimento. Rio de Janeiro, 2014.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13753**. Revestimento de piso interno ou externo com placas cerâmicas e com utilização de argamassa colante: procedimento. Rio de Janeiro, 1996.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14081-1**. Argamassa colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas. Parte 1: Requisitos. Rio de Janeiro, 2012.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14992**. Argamassa à base de cimento Portland para rejuntamento de placas cerâmicas: requisitos e métodos de ensaios. Rio de Janeiro, 2003.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 67**. Concreto: determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 1998.

ALBUQUERQUE, M. C. F.; RODRIGUES, J. A. Characteristics of the double-torsion test to determine the R-curve of ceramic materials. **Materials Research**, v. 9, n. 4, p. 361-368, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1516-14392006000400004>.

CACCIA, C. S. **Placas cerâmicas para revestimento**: planilha eletrônica para auxílio na especificação. 2012. 84 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10183/63195>. Acesso em: 14 nov. 2021.

CARDOZO, A. C.; MOTTA, L. M.; ANTUNES, E. G. P.; ROMAM, H. R. Envelhecimento acelerado dos sistemas de revestimento cerâmico composto por placas com diferentes expansões por umidade. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 64., 2020, Águas de Lindóia. **Anais [...]**. Águas de Lindóia: Associação Brasileira de Cerâmica, 2020. Disponível em: <http://www.metallum.com.br/64cbc/anais/PDF/05-001.pdf>. Acesso em: 14 nov. 2021.

FIORITO, A. J. S. I. **Manual de argamassas e revestimentos**: estudo e procedimentos de execução. São Paulo: Pini, 1994.

FONSECA, E. S.; TAVARES, F. G.; SOUSA, T. N. R.; MORAIS, W. A. Associação entre a morfologia de trincas de pisos cerâmicos e seu comportamento mecânico em fratura. **Cerâmica**, v. 61, n. 359, p. 303-308, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/0366-69132015613591915>.

FUJITA, H.; BIANCHI, E. C.; AGUIAR, P. R.; SANCHEZ, L. E. A.; SILVA JR., C. E. Contribuição ao estudo da retificação abrasiva de materiais cerâmicos.

Cerâmica, v. 52, n. 324, p. 269-275, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0366-69132006000400010>.

GOLEWSKI, G. L. Effect of curing time on the fracture toughness of fly ash concrete composites. **Composite Structures**, v. 185, p. 105-112, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2017.10.090>.

MARTINS, A. J. G. **Estudo da durabilidade dos revestimentos de piso**. 2012. 415 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade do Porto, Porto, 2012. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10216/65336>. Acesso em: 14 nov. 2021.

REBELO, C. R. **Projeto e execução de revestimento cerâmico** – interno. 2010. 55 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Construção Civil) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010. Disponível em: <http://hdl.handle.net/1843/BUOS-9AAH5D>. Acesso em: 14 nov. 2021.

RHOD, A. B. **Manifestações patológicas em revestimentos cerâmicos**: análise da frequência de ocorrência em áreas internas de edifícios em uso em Porto Alegre. 2011. 71 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/34383>. Acesso em: 15 nov. 2021.

SANDOVAL, F.; RODRÍGUEZ, A. I. Discusión sobre la influencia de la porosidad en la resistencia mecánica de las baldosas cerámicas. **Boletín de La Sociedad Española de Cerámica y Vidrio**, v. 39, n. 2, p. 255-258, 2000. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10261/14958>. Acesso em: 15 nov. 2021.

SESMA, N. M. **Estudo das propriedades de uma cerâmica vermelha sinterizada em diferentes temperaturas**. 2014. 61 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia de Lorena, Universidade de São Paulo, Lorena, 2014. Disponível em: <https://sistemas.eel.usp.br/bibliotecas/monografias/2014/MEM14003.pdf>. Acesso em: 15 nov. 2021.

SURYANTO, B.; BUCKMAN, J. O.; THOMPSON, P.; BOLBOL, M.; MCCARTER, W. J. Monitoring micro-crack healing in an engineered cementitious composite using the environmental scanning electron microscope. **Materials Characterization**, v. 119, p. 175-185, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.matchar.2016.07.021>.

TERJEK, A.; JOZSA, Z. Analysis of surface properties determining slip resistance of ceramic tiles. **Periodica Polytechnica Civil Engineering**, v. 59, n. 3, p. 393-404, 2015. DOI: <https://doi.org/10.3311/PPci.7796>.

UCHÔA, J. C. B.; BEZERRA, L. M.; BRITO, M. A. N.; MONTANDON JUNIOR, A. C.; SILVA, W. T. M. Análise de tensões internas em sistemas de revestimentos cerâmicos de fachadas no distrito federal devido a carregamentos térmicos utilizando modelagem MEF 3D. **Revista Interdisciplinar de Pesquisa em Engenharia**, v. 2, n. 18, p. 72-93, 2016. DOI: <https://doi.org/10.26512/ripe.v2i18.20954>.

VAZ, E. D. J. **Aplicação de revestimentos cerâmicos aderentes**. 2013. 108 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Instituto Superior Técnico, Universidade

de Lisboa, Lisboa, 2013. Disponível em: <https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/cursos/mec/dissertacao/2353642465264>. Acesso em: 15 mar. 2018.

ZANOTTO, E. D.; MIGLIORE JR, A. R. Propriedades mecânicas de materiais cerâmicos: uma introdução. **Cerâmica**, v. 37, n. 247, p. 7-16, 1991. Disponível em: <http://www.lamav.ufscar.br/artpdf/c37m.pdf>. Acesso em: 15 nov. 2021.