UNIVERSIDADE DO EXTREMO SUL CATARINENSE – UNESC PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E ENGENHARIA DE MATERIAIS – PPGCEM MESTRADO EM CIÊNCIA E ENGENHARIA DE MATERIAIS

DJEISA PASINI

INFLUÊNCIA DA ESPESSURA DAS PLACAS CERÂMICAS NA RESISTÊNCIA DE SISTEMAS DE PISOS ELEVADOS

CRICIÚMA 2022 **DJEISA PASINI**

INFLUÊNCIA DA ESPESSURA DAS PLACAS CERÂMICAS NA RESISTÊNCIA DE SISTEMAS DE PISOS ELEVADOS

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ciência e Engenharia de Materiais.

Orientador: Prof. Dr. Elidio Angioletto Coorientador: Prof^a. Dr^a. Elaine G. P. Antunes

CRICIÚMA 2022 Dados Internacionais de Catalogação na Publicação

P282i Pasini, Djeisa. Influência da espessura das placas cerâmicas na resistência de sistemas de pisos elevados / Djeisa Pasini. - 2022. 112 p. : il. Dissertação (Mestrado) - Universidade do Extremo Sul Catarinense, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Criciúma, 2022. Orientação: Elidio Angioletto. Coorientação: Elaine G. P. Antunes. 1. Piso elevado. 2. Porcelanato - Resistência de materiais. 3. Porcelanato - Propriedades mecânicas. 4. Deformações e tensões. I. Título.

CDD 23 ed 620 140287

Bibliotecária Eliziane de Lucca Alosilla - CRB 14/1101 Biblioteca Central Prof. Eurico Back - UNESC

Djeisa Pasini

Influência da espessura das placas cerâmicas na resistência de sistemas de pisos elevados.

Esta Dissertação foi julgada adequada à obtenção do grau de Mestre(a) em Ciência e Engenharia de Materiais pelo Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais - PPGCEM (Área de concentração: Tecnologia de Materiais) da Universidade do Extremo Sul Catarinense – UNESC.

Criciúma, SC, 24 de novembro de 2022.

Banca Examinadora:

Prof^a Dr^a Sabrina Arcaro Universidade do Extremo Sul Catarinense - UNESC

puller

Prof. Dr. Adriano Michael Bernardin Universidade do Extremo Sul Catarinense - UNESC

Prof^a Dr^a Glaucea Warmeling Duarte Centro Universitário Barriga-Verde - UNIBAVE

Djeisa Pasini Mestranda

Para mim, no futuro.

AGRADECIMENTOS

À Deus, por tudo.

Aos meus pais, Anita e Dino, por terem feito o melhor.

Aos meus irmãos, Djemi, Johny e Diogo, por serem parte fundamental de mim e de minha vida.

Ao meu companheiro, Washington Luiz, por todo apoio, carinho e companheirismo de todos os momentos, mas principalmente por sempre acreditar no meu sucesso.

Aos gestores do setor onde trabalho, Sérgio Pereira Ruzza e Angela Waterkemper Vieira, pelo incentivo e concessões necessárias para a realização do trabalho.

Aos meus orientadores Dr. Elidio Angioletto e Dra. Elaine G. P. Antunes, pelo apoio e colaboração para o desenvolvimento deste.

Aos funcionários dos laboratórios da Eliane, em especial Aline Demarch, Laura Savi Rosso, Otoniel Geremias, Murilo Clausen Vieira e Gécica Bellettini, pelo apoio na confecção dos protótipos, realização dos ensaios e análise de dados.

À Rafaela Topanotti Meller, Bruna Rech Dagostim e Bruno Gambalonga, pela amizade e parceria constante nas disciplinas cursadas.

À empresa Eliane Revestimentos Cerâmicos LTDA, pela parceria no desenvolvimento deste projeto.

À CAPES, Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, pelo apoio financeiro para realização desse trabalho.

Aos profissionais do Iparque, pela colaboração no decorrer do trabalho;

Aos membros e professores do PPGCEM, pelo conhecimento transmitido e em especial a secretária Vivian Souza, por toda sua eficiência e dedicação.

Aos membros da banca avaliadora.

E finalmente, à UNESC, que permitiu que eu pudesse concluir mais uma etapa.

Muito obrigada a todos.

O que eu faço, pode ser uma gota no meio de um oceano. Mas sem ela, com certeza, o oceano seria menor.

Madre Teresa de Calcutá

RESUMO

Os sistemas de piso elevado possuem sua principal utilização em ambientes comerciais, com isso diversos tipos de materiais vêm sendo empregados para compor o sistema, dentre estes, o porcelanato. Algumas características, como a espessura do material, podem influenciar diretamente no desempenho dos sistemas de piso elevado e causar a inaptidão de uso no sistema. No entanto, estudos de pesquisa com foco no desempenho de sistemas de piso elevado com uso de cerâmica como camada de acabamento, em função da resistência a cargas e deformações suportadas, não foram realizados extensivamente. Desta forma, o principal objetivo deste estudo foi a analisar a influência da espessura das placas de porcelanato na resistência dos sistemas de piso elevado, por meio da resistência mecânica e das deformações ocasionadas em função da força aplicada em diferentes pontos no sistema. Os testes consistiram na caracterização das placas de porcelanato, por meio da determinação da carga de ruptura, módulo de resistência à flexão, absorção de água, coeficiente de restituição e na caracterização dos protótipos do sistema de piso elevado, por meio da determinação da resistência do impacto de corpo duro, corpo mole e de carga concentrada. A análise dos resultados foi realizada estatisticamente pela ferramenta ANOVA do software Statistic, por meio da avaliação da tensão máxima e deformação suportados pelo sistema e do coeficiente de restituição e fator de amortecimento de impacto, além da análise qualitativa do sistema após tais procedimentos. Os resultados da análise estatística indicam que a configuração dos pedestais utilizados no sistema de piso elevado é adequada para garantir a homogeneidade da resistência, com um p-valor de 0,84 e R² de 91,30%, então pode-se afirmar que configuração dos pedestais não influenciou nos valores de resistência do sistema de piso elevado. Além disso, é possível afirmar, com um nível de confiança de 95%, que a espessura das placas cerâmicas influencia diretamente na carga máxima suportada pelo sistema, uma vez que o p-valor foi de 0,011 e o R² de 91,30%. A tensão de ruptura do sistema de piso elevado foi correspondente com a resistência das placas cerâmicas isoladas, os resultados médios de carga de ruptura para espessura de 12 mm foram de 3.759,9 N, para espessura de 16 mm foram de 7.04,7 N e para espessura de 20 mm foram de 12.268,4 N. Dessa forma, o presente trabalho teve uma grande contribuição para o setor de construção civil, visto que através do mesmo foi possível determinar a influência da espessura dos porcelanatos nos sistemas de piso

elevado, além de fornecer indicadores que mostram a necessidade de criação de norma brasileira específica para sistemas de piso elevado, com aplicação de materiais cerâmicos.

Palavras-chave: Piso elevado, porcelanato, espessura, tensão de ruptura, coeficiente de restituição.

ABSTRACT

The raised floor systems have their main use in commercial environments, with this various types of materials have been used to compose the system, among these, porcelain tiles. Some characteristics, such as the thickness of the material, can directly influence the performance of the raised floor systems and cause the system to be unsuitable for use. However, research studies focusing on the performance of raised floor systems using ceramic as a finishing layer, due to the resistance to loads and deformations supported, have not been carried out extensively. Thus, the main objective of this study was to analyze the influence of porcelain tile thickness on the resistance of raised floor systems, through mechanical resistance and the deformations caused by the force applied at different points in the system. The tests consisted in the characterization of the porcelain tiles, by determining the breaking strength, modulus of rupture, water absorption, impact resistance and the characterization of the prototypes of the raised floor system, by determining the impact and static load. The analysis of the results was carried out by evaluating the ultimate load and deformation supported by the system and the restitution coefficient and impact damping factor, in addition to the qualitative analysis of the system after such procedures. The results showed the thickness of the ceramic tiles directly interferes in the maximum load supported by the system. The ultimate load of the raised floor system was corresponding to the breaking strength of the ceramic tiles. In this way, the present work had a great contribution to the civil construction sector, since through it, it was possible to determine the influence of the thickness of porcelain tiles in raised floor systems, in addition to providing indicators that show the need to create a Brazilian standard specific for raised floor systems, with application of ceramic materials.

Keywords: raised floor, porcelain tile, thickness, breaking strength, hard and soft body impact.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Comportamento tensão x deformação até a fratura para óxido de alumínio
e o vidro26
Figura 2 - Esquema do ensaio de flexão em três pontos27
Figura 3 - Representação esquemática de uma colisão parcialmente inelástica29
Figura 4 - Histórico das publicações na base de dados do ScienceDirect
Figura 5 - Ruínas de Piso Elevado da cidade de Bath
Figura 6 - Piso Elevado com apoios fixos pré-fabricados32
Figura 7 - Piso elevado aplicado em áreas internas com rede elétrica
Figura 8 - Piso elevado aplicado em áreas externas34
Figura 9 - Piso elevado aplicado em rampas35
Figura 10 - Piso elevado aplicado em jardins36
Figura 11 - Painel de piso elevado37
Figura 12 - (a) Painel de aquecimento radiante integrado em piso elevado (camadas)
(b) Seção transversal do piso assentado
Figura 13 - Piso elevado em termoplástico
Figura 14 - (a) Pedestal central e (b) Pedestal de acabamento40
Figura 15 - Recortes de piso elevado com pedestais centrais e pedestais de
acabamento41
Figura 16 - Tipos de pedestal regulável: (a) Pedestal externo (b) Pedestal interno (c)
Pedestal de acabamento42
Figura 17 - Componentes do pedestal regulável42
Figura 18 - Intertravamento do sistema de piso elevado43
Figura 19 - Pedestais do intertravamento do sistema de piso elevado43
Figura 20 - Etapas do procedimento experimental45
Figura 21 – Componentes do sistema de piso elevado estudado (a) placas poliméricas
(b) Placa de porcelanato (c) esquema do protótipo (d) pedestal (e) partes dos
pedestais46
Figura 22 – Placas Cerâmicas (a) Espessuras (b) Superfície porcelanato47
Figura 23 – Máquina de calibragem de superfície48
Figura 24 - Equipamento Porosímetro51
Figura 25 - Esquema de corte das amostras: $x \ge 40$ cm, $y \ge 40$ cm, $a = 20$ cm51

Figura 26 – Ensaio de impacto de corpo duro (a) Perspectiva do protótipo do sistema de piso elevado (b) Vista de cima, da placa de porcelanato com região de impacto delimitada......55 Figura 27 - Ensaio de impacto de corpo mole (a) Perspectiva do protótipo do sistema de piso elevado (b) Vista de cima, da placa de porcelanato com região de impacto delimitada......56 Figura 28 - Protótipo para ensaio de carga concentrada ABNT NBR 15575 (a) Perspectiva do protótipo do sistema de piso elevado (b) Vista de cima, da placa de porcelanato com região de carga delimitada......57 Figura 29 - Ensaio de carga concentrada BS EN 12825 (a1) Perspectiva do protótipo do sistema de piso elevado configuração 01 (a2) Perspectiva do protótipo do sistema de piso elevado configuração 02 (a3) Perspectiva do protótipo do sistema de piso elevado configuração 03 (b1), (b2), (b3) Vista de cima, das placas de porcelanato com área da carga delimitada......57 Figura 30 - Ensaio de carga concentrada BS EN 12825 (a) Vista de cima das áreas de acoplamento dos pedestais (b) Disposição configuração 01 (c) Disposição configuração 02 (d) Disposição configuração 03......58 Figura 31 - Ensaio de impacto de corpo duro.....60 Figura 32 - Ensaio de impacto de corpo mole realizado61 Figura 33 - Ensaio de impacto de carga concentrada ABNT NBR 1557563 Figura 34 - Ensaio de carga concentrada BS EN 12825......64 Figura 35 - Resultado de Carga de Ruptura (CR) e Resistência à flexão (MPa)68 Figura 36 - Resultado de Absorção de água (%) e Densidade aparente (g/cm³).....69 Figura 38 - Resultado de Coeficiente de restituição......70 Figura 42 – Difratograma das amostras de espessuras 20 mm, 16 mm e 12 mm73 Figura 43 – Imagem obtida em MEV da superfície da peça 1 de espessura de 12 mm com diferentes ampliações.....74 Figura 44 – Imagem obtida em MEV da superfície da peça 2 de espessura de 12 mm com diferentes ampliações.....74

Figura 45 – Imagem obtida em MEV da superfície da peça 3 de espessura de 12 mm
com diferentes ampliações75
Figura 46 – Imagem obtida em MEV da superfície da peça 1 de espessura de 16 mm
com diferentes ampliações75
Figura 47 – Imagem obtida em MEV da superfície da peça 2 de espessura de 16 mm
com diferentes ampliações75
Figura 48 – Imagem obtida em MEV da superfície da peça 3 de espessura de 16 mm
com diferentes ampliações76
Figura 49 – Imagem obtida em MEV da superfície da peça 1 de espessura de 20 mm
com diferentes ampliações76
Figura 50 – Imagem obtida em MEV da superfície da peça 2 de espessura de 20 mm
com diferentes ampliações76
Figura 51 – Imagem obtida em MEV da superfície da peça 3 de espessura de 20 mm
com diferentes ampliações77
Figura 52 - Visualização do ensaio de impacto de corpo duro (a) DBS1 12 (b) DBS1
16 (c) DBS1 2078
Figura 53 - Coeficiente de Restituição (KR) e Fator de Amortecimento (FA) com corpo
duro de massa 250 g79
Figura 54 - Coeficiente de Restituição (KR) e Fator de Amortecimento (FA) com corpo
duro de massa 350 g
Figura 55 - Coeficiente de Restituição (KR) e Fator de Amortecimento (FA) com corpo
duro de massa 500 g80
Figura 56 - Coeficiente de Restituição (KR) e Fator de Amortecimento (FA) com corpo
duro de massa 250g nos protótipos com porcelanato de 20 mm
Figura 57 - Espectrograma do impacto de corpo duro de massa 250g
Figura 58 - Espectrograma do impacto de corpo duro de massa 250g
Figura 59 - Visualização do ensaio de impacto de corpo mole (a) MBS1 20 porcelanato
intacto e (b) MBS1 20 base do sistema colapsou84
Figura 60 - Visualização do ensaio de impacto de corpo mole (a) MBS1 16 falha do
porcelanato com 360 J e (b) MBS1 16 base do sistema com falhas
Figura 61 - Visualização do ensaio de impacto de corpo mole (a) MBS1 12 falha do

Figura 62 – Análise do ensaio de carga concentrada ABNT NBR 15575 - Tensão x
DeslocamentoFonte: Autora87
Figura 63 – Valores médios e desvio padrão de deslocamento vertical ABNT NBR
15575
Figura 64 – Análise do ensaio de carga concentrada segundo BS EN 12825 - Tensão
x Deformação A, B e C – Configuração 0190
Figura 65 – Análise do ensaio de carga concentrada segundo BS EN 12825 - Tensão
x Deformação A, B e C – Configuração 0291
Figura 66 – Análise do ensaio de carga concentrada segundo BS EN 12825 - Tensão
x Deformação A, B e C – Configuração 0392
Figura 67 - Análise do ensaio de carga concentrada segundo BS EN 12825 -
Configuração dos protótipos em relação à Tensão e Deformação A, B e C93
Figura 68 – Visualização do ensaio de carga concentrada segundo BS EN 12825 (a)
DBS1 20 (b) DBS2 20 vista de frente (b) DBS2 20 vista de cima94
Figura 69 – Análise do ensaio de carga concentrada segundo BS EN 12825 - Tensão
x Deslocamento Vertical – Configuração 0195
Figura 70 – Análise do ensaio de carga concentrada segundo BS EN 12825 - Tensão
x Deslocamento Vertical – Configuração 0296
Figura 71 – Análise do ensaio de carga concentrada segundo BS EN 12825 - Tensão
x Deslocamento Vertical – Configuração 0396
Figura 72 – Correlação da tensão de ruptura das placas cerâmicas e da tensão de
ruptura do sistema de piso elevado101

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Grupos de absorção de água em função dos métodos de fabricação24
Tabela 2 - Massa de corpo mole, altura e energia do impacto ABNT NBR 1557562
Tabela 3 - Fatores e níveis para avaliação da resistência à carga concentrada BS.65
Tabela 4 - Experimentos realizados66
Tabela 5 - Fatores e níveis da resistência à carga concentrada ABNT NBR 15575,
impacto de corpo mole e impacto de corpo duro66
Tabela 6 - Experimentos realizados66
Tabela 7 - Análise química das peças cerâmicas estudadas72
Tabela 9 - Análise do coeficiente de restituição (KR) e fator de amortecimento (FA) no
ensaio de impacto de corpo duro77
Tabela 10 - Análise Qualitativa - Impacto Corpo Mole84
Tabela 11 – Classificação dos sistemas de piso elevado BS EN 1282597
Tabela 12 - Análise de variância – ANOVA – Tensão Máxima
Tabela 13 - Análise de variância – ANOVA – Deformação Ext. A
Tabela 14 - Análise de variância – ANOVA – Deformação Ext. B
Tabela 15 - Análise de variância – ANOVA – Deformação Ext. C100
Tabela 16 - Análise de variância – ANOVA – Deslocamento vertical100
Tabela 17 - Carga de ruptura esperada para diferentes valores de espessura,
conforme equações lineares102

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AA – Absorção d'água ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas ANOVA – Análise de Variância BS - British Standard CBS1 12 - Protótipo Carga Concentrada norma BS, configuração 01, espessura 12 mm CBS1 16 - Protótipo Carga Concentrada norma BS, configuração 01, espessura 16 mm CBS1 20 - Protótipo Carga Concentrada norma BS, configuração 01, espessura 20 mm CCB – Centro Cerâmico do Brasil CNBR1 12 - Protótipo Carga Concentrada norma NBR, configuração 01, espessura 12 mm CNBR1 16 - Protótipo Carga Concentrada norma NBR, configuração 01, espessura 16 mm CNBR1 20 - Protótipo Carga Concentrada norma NBR, configuração 01, espessura 20 mm CR – Carga de ruptura DBS1 12 – Protótipo Corpo Duro, configuração 01, espessura 12 mm DBS1 16 – Protótipo Corpo Duro, configuração 01, espessura 16 mm DBS1 20 – Protótipo Corpo Duro, configuração 01, espessura 30 mm DETEC – Departamento de Tecnologia Cerâmica DRX – Difração de raios X EN – European Standard FA – Fator de Amortecimento q – Gramas H – Altura ISO – International Organization for Standardization kgF – Quilograma força KR – Coeficiente de Restituição LVDT – Transformador Diferencial Variável Linear

- MBS1 12 Protótipo Corpo Mole, configuração 01, espessura 12 mm
- MBS1 16 Protótipo Corpo Mole, configuração 01, espessura 16 mm
- MBS1 20 Protótipo Corpo Mole, configuração 01, espessura 20 mm
- MEV Microscopia de varredura eletrônica
- min Minutos
- mm Milímetros
- MPa Mega Pascal
- N Newtons
- NBR Norma Brasileira
- PP Placa de Porcelanato
- RF Resistência à flexão
- SPE Sistema de Piso Elevado
- Tg Temperatura de transição vítrea
- TG Termogravimetria
- UNESC Universidade do Extremo Sul Catarinense
- μm Micrometros

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO20
1.1.	OBJETIVOS
1.1.1.	Objetivo geral22
1.1.2.	Objetivos específicos22
2.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA23
2.1.	MATERIAIS CERÂMICOS23
2.1.1	Cerâmica de revestimento24
2.2.	PROPRIEDADES MECÂNICAS24
2.2.1.	Módulo de elasticidade25
2.2.2.	Módulo de ruptura27
2.2.3.	Coeficiente de restituição28
2.2.4.	Fator de amortecimento29
2.3.	PISO ELEVADO
2.3.3.	Locais de Aplicação33
2.3.4.	Tipos de sistema de piso elevado
2.3.5.	Estrutura e Componentes
2.4.	NORMATIZAÇÃO44
3.	PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL45
3.1.	DETERMINAÇÃO DOS COMPONENTES DO SISTEMA DE PISO ELEVADO 46
3.2.	APOIOS E PEDESTAIS: DETERMINAÇÃO DA ALTURA DO SISTEMA47
3.3.	DETERMINAÇÃO DAS PLACAS CERÂMICAS47
3.4.	COLETA E PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS DE PLACAS CERÂMICAS.47
3.5.	CARACTERIZAÇÃO DAS PLACAS CERÂMICAS48
3.5.1	Determinação da carga de ruptura e módulo de resistência à flexão49

3.5.2	Determinação da absorção de água pela ABNT NBR ISO 10545,					
porosidade aparente e densidade50						
3.5.3	Determinação da resistência ao impacto pela medição do coeficiente de					
restituição pela ABNT NBR ISO 1054552						
3.5.4	Determinação da análise química53					
3.5.5	Determinação da análise quantitativa de fases54					
3.5.6	Determinação da análise microestrutural54					
3.6.	CONFECÇÃO E INSTRUMENTAÇÃO DOS PROTÓTIPOS55					
3.6.1	Protótipo para ensaio de impacto de corpo duro BS EN 1282555					
3.6.2	Protótipo para ensaio de impacto de corpo mole BS EN 1282556					
3.6.3	Protótipo para ensaio de carga concentrada ABNT NBR 1557556					
3.6.4	Protótipo para ensaio de carga concentrada BS EN 1282557					
3.7.	CARACTERIZAÇÃO DOS PROTÓTIPOS59					
3.7.1	Determinação do impacto de corpo duro BS EN 1282559					
3.7.2	Determinação do impacto de corpo mole BS EN 1282561					
3.7.3	Determinação da carga concentrada ABNT NBR 1557562					
3.7.4	Determinação da carga concentrada BS EN 1282563					
3.8.	PLANEJAMENTO ESTATÍSTICO65					
4.	RESULTADOS E DISCUSSÕES67					
4.1.	CARACTERIZAÇÃO DAS PLACAS CERÂMICAS67					
3.5.7	Determinação da análise microestrutural73					
4.2.	CARACTERIZAÇÃO DOS PROTÓTIPOS77					
5.	CONCLUSÃO104					
REFER	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS106					

1. INTRODUÇÃO

As primeiras aplicações do sistema de piso elevado datam da década de 1950. No entanto, foi a partir dos anos 2000 que sua adoção ganhou impulso significativo, impulsionada pelo avanço da tecnologia (LIN; LINDEN, 2005). Desde então, essa solução tornou-se recorrente nos ambientes corporativos, principalmente pela eficiência da ventilação, qualidade do ar e redução do consumo de energia, além de facilitar instalações técnicas nos espaços sob o revestimento, proporcionar maior rapidez e facilidade na manutenção, garantir o aproveitamento dos espaços que estão em obsolescência, dando flexibilidade aos usuários para alteração dos layouts das áreas quando necessário (SCHIAVON; LEE; BAUMAN; WEBSTER, 2010; PASUT; BAUMAN; CARLI, 2014). Com isso, os sistemas de piso elevado têm conquistado destaque crescente, sendo presença comum em edifícios comerciais, frequentemente combinados com "Underfloor Air Distribution" (UFAD), que é um método de distribuição de ar posicionado na área aberta sob o piso elevado. Essa integração proporciona melhor circulação do ar, gerando aumento na eficiência energética e na qualidade do ar destes edifícios (AHMAD; GOGA; MOHAN, 2023).

Devido as comunicações serem realizadas através de computadores e as tecnologias serem em sua maioria baseadas na Internet, obrigaram as empresas se adaptarem a essas novas tecnologias (PASUT; BAUMAN; CARLI, 2014). Foi relatado que estes sistemas já representam cerca de 50% dos novos projetos de construção na Alemanha, Áustria e Dinamarca, segundo Olesen (2002). E que já estavam instalados em 85% das casas rurais no norte da China, conforme Zhuang et al. (2009) e em quase todos os edifícios residenciais na Coréia, diante de Yeo, et al. (2003). Com base nestas informações, é possível supor que esses números tenham aumentado significativamente ao longo do tempo, nas mais diversas regiões do mundo.

Diante disso, o desenvolvimento dos produtos e das estruturas utilizadas para sistemas de piso elevado também passou por muitas inovações. Os sistemas modernos de piso elevado podem exibir uma ampla variedade de painéis de piso, estruturas inferiores e componentes auxiliares (YANG; ZHANG, 2015). O sistema pode ser composto por diversos tipos de materiais e possui camadas e geometrias complexas e devem atender aos requisitos de desempenho estrutural (KIM et al., 2017).

Os sistemas de piso elevado apresentados neste trabalho, serão constituídos por placas autotravantes de piso removíveis, apoiadas sobre os suportes telescópicos, ambos de polipropileno termoplástico, que estabelecem um espaço entre a base de concreto e o piso elevado acabado, conforme estudo de IDALÊNCIO et al. (2022). Em relação aos pisos removíveis que compõem a camada de acabamento do sistema, existe a possibilidade de utilização de variados materiais, tais como, concreto, carpete, placas de rochas naturais, madeira e cerâmica, podendo ser o porcelanato ou até mesmo novos materiais como o a phase change material (PCM), visto no estudo de Kitagawa et al (2023). No que se refere ao porcelanato, segundo CSTB (2018), a espessura mínima deve ser 18 mm, porém o mercado europeu atual costuma utilizar espessura de 20 mm.

Materiais cerâmicos possuem uma limitada capacidade de deformação plástica na maioria das suas aplicações, por isso são conhecidos pela sua característica frágil, com isso a resistência mecânica destes materiais é ditada pela capacidade do material sofrer aplicação de uma carga sem levá-lo à ruptura, o que faz desse material particularmente sensível à presença de descontinuidades internas, que acabam determinando sua resistência final (XIAO et al., 2020).

Considerando que as placas cerâmicas são frequentemente utilizadas em sistemas de piso elevado, torna-se necessário considerar os fatores intrínsecos das propriedades desses materiais, uma vez que tais características influenciam diretamente o seu desempenho. Embora tenha uma quantidade substancial de estudos focados no desempenho térmico de sistemas de piso elevado (BAUMAN, 2003; ZHANG et al 2014; RAFTERY et al, 2015; GAO et al, 2017; YUAN et al, 2020; FAN et al, 2020; QIN et al, 2022 e CHEN et al 2023), ainda há uma lacuna em termos de pesquisas que se dediquem especificamente a avaliar a resistência a cargas e deformações ao empregar porcelanato como camada de acabamento de sistemas de piso elevado.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo geral

Analisar o desempenho dos sistemas de piso elevado por meio da avaliação da resistência mecânica e das deformações resultantes da aplicação de força. Especificamente, investigar a tipologia de porcelanato não esmaltado em espessuras de 12, 16 e 20 mm como camada de acabamento, visando preencher tal lacuna de conhecimento.

1.1.2. Objetivos específicos

Para atingir o objetivo geral da proposta, são estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

- Analisar se amostras da tipologia de porcelanato técnico, nas espessuras requeridas (12, 16, 20 mm), são aptas à utilização em pisos elevados.
- Determinar se os sistemas de piso elevado estudados atendem a normas brasileira de desempenho ABNT NBR 15575 (2013) e a norma europeia de sistemas de piso elevado BS EN 12825 (2001), nos parâmetros de impacto de corpo mole e duro e carga concentrada;
- Avaliar se o local e aplicação da força interfere na carga máxima resistida pelo sistema.
- Correlacionar a carga de ruptura das placas de porcelanato com a resistência do sistema de pisos elevados.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. MATERIAIS CERÂMICOS

Os materiais cerâmicos cobrem uma enorme variedade de aplicações, sendo utilizados em diversos ramos da ciência e tecnologia. A maioria dos materiais cerâmicos é classificada conforme a utilização em: vidros, produtos estruturais à base de argila, louças brancas, refratários, abrasivos, cimentos, e as recentes cerâmicas avançadas (PFEIFER, 2009). Estes materiais são tipicamente isolantes à passagem de eletricidade e calor, e são mais resistentes a altas temperaturas e ambientes abrasivos quando comparados aos metais e aos polímeros, por exemplo. Com relação ao comportamento mecânico, os cerâmicos são duros, porém quebradiços (CALLISTER JR, 2020).

De forma geral a cerâmica pode ser dividida em dois grandes grupos, "tradicional" e "avançada".

- Cerâmica tradicional: Parte de matérias-primas naturais ou pouco beneficiadas, de pureza variável, em especial as argilas. Os processos de conformação tradicional incluem prensagem, extrusão, torneamento e colagem. O material conformado é exposto a um tratamento térmico ou queima cujo controle não é tão rígido quanto no processamento avançado, objetivando a densificação e aumento de resistência dos produtos finais. Produtos tradicionais típicos são os de aplicação doméstica ou na construção civil, como louça de mesa ou sanitários, tijolos, telhas, tubos, pisos e azulejos. As propriedades mais importantes nesses produtos são as mecânicas e as estéticas (OLIVEIRA, HOTZA, 2015).

- Cerâmica Avançada: Também conhecida como cerâmica de alto desempenho ou de engenharia parte de matérias-primas sintéticas ou beneficiadas industrialmente até atingir um alto grau de pureza (SRIVASTAVA *et al.*, 2022). Além dos processos tradicionais de conformação, processos especiais foram desenvolvidos, ou adaptados de outras áreas, para obtenção de formas e acabamentos superficiais particulares. Assim como as etapas anteriores, o tratamento térmico ou etapa de sinterização deve ser muito bem controlada para obtenção de produtos de alto valor agregado, isentos de defeitos. Produtos avançados típicos são caracterizados por suas funções ou propriedades específicas, tais como elétricas, magnéticas, nucleares, ópticas, mecânicas, térmicas, químicas e/ou biológicas (OLIVEIRA, HOTZA, 2015).

2.1.1 Cerâmica de revestimento

Os revestimentos cerâmicos podem ser classificados em função de seu acabamento superficial em esmaltados ou não esmaltados, pelo modo de conformação, em prensados, extrudados ou fabricados por outras técnicas e ainda pelo grupo de absorção de água (AA) (DONDI; RAIMONDO; ZANELLI, 2014), conforme mostra a Tabela 1 (ABNT NBR ISO 13006, 2020).

Tabela 1 - Grupos de absorção de água em função dos métodos de fabricação

	Métodos de Fabricação		
Absorção de água AA(%)	Extrudado (A)	Prensado (B)	Outros (C)
AA ≤ 0,5	Ala	Bla	Cla
0,5 < AA ≤ 3		Blb	
3 < AA ≤ 6	Alla	Blla	Clla
6 < AA ≤ 10	Allb	BIIb	CIIb
AA > 10	AIII	BIII	CIII

Fonte: ABNT NBR ISO 13006, 2020.

Os revestimentos são usados para recobrimento de chão, paredes ou mesmo tetos, tanto em ambientes internos como externos (MONFORT *et al.*, 2014). Quando usados como revestimento de chão, são chamados normalmente de pisos; quando usados como revestimento de paredes, são conhecidos popularmente como azulejos (OLIVEIRA, HOTZA, 2015).

2.2. PROPRIEDADES MECÂNICAS

As propriedades importantes dos materiais sólidos podem ser agrupadas em seis categorias diferentes: mecânica, elétrica, térmica, magnética, óptica e deteriorativa. Para cada uma existe um tipo característico de estímulo capaz de provocar diferentes respostas. As propriedades mecânicas relacionam deformação com uma carga ou força aplicada, são exemplos o módulo de elasticidade e o módulo de ruptura (CALLISTER JR, 2020).

Serão abordadas neste trabalho as propriedades mecânicas dos materiais, por serem elementos fundamentais para a elaboração do estudo.

2.2.1. Módulo de elasticidade

Uma das principais propriedades mecânicas, juntamente com o Módulo de Ruptura, é o Módulo de Elasticidade (E) ou, como também é chamado, Módulo de Young. Essa propriedade elástica é definida como sendo a tensão necessária para produzir uma deformação unitária (ϵ) e pode ser representada pela Lei de Hooke, que está demonstrada pela Eq. 1, onde σ é a tensão, *E* é o módulo de elasticidade e ϵ é a deformação (VAN VLACK, 1984; CALLISTER JR, 2020).

$$\sigma = E \cdot \varepsilon$$
 Eq. 1

O módulo de elasticidade é propriedade decorrente da força das ligações interatômicas do material (BUROV, 2015), por esse motivo, os materiais cerâmicos apresentam um valor elevado de módulo de elasticidade, em comparação com outros materiais (VAN VLACK, 1984).

As propriedades elásticas dos materiais dependem das fases presentes e da forma e quantidade de poros no material (SELIMEFENDIGIL; ÖZTOP; DORANEHGARD, 2021). Para um material com mais de uma fase, o módulo de elasticidade será um valor intermediário das fases presentes. Por esse mesmo ponto de vista, os poros podem ser considerados como fases, cujo módulo de elasticidade é zero, por isso, o aumento dos poros reduz as propriedades elásticas dos materiais cerâmicos (VAN VLACK, 1984; MORRELL, 1985; LIU *et al.*, 2017).

Os materiais cerâmicos, em geral, podem ser considerados isotrópicos, ou seja, apresentam as mesmas propriedades elásticas independente da orientação cristalográfica. Isso porque as cerâmicas são, em sua maioria, policristalinas ou amorfas e com uma orientação dos grãos aleatória, gerando assim, um módulo de elasticidade médio (VAN VLACK, 1984; MORRELL, 1985).

Para a obtenção do módulo de elasticidade pode-se optar por métodos dinâmicos ou estáticos. Devido a maior precisão da análise, o método dinâmico tem sido a melhor opção comparada com o método estático. Na análise estática, é gerado um diagrama de tensão x deformação, a partir de uma carga aplicada no material, no caso das cerâmicas, resistência à flexão ou compressão. Na região linear do diagrama tem-se uma aproximação do módulo de elasticidade (MORRELL, 1985). Um exemplo de diagrama tensão x deformação pode observado na Figura 1.





Fonte: CALLISTER JR, 2020

Os materiais cerâmicos, de uma maneira genérica, apresentam alto módulo de elasticidade, são frágeis e muito duros. A resistência à tração dos materiais frágeis é muito menor que a resistência à compressão e o módulo de ruptura (HUANG *et al.*, 2018). O alongamento plástico da maioria dos materiais cerâmicos na temperatura ambiente é praticamente desprezível. Por outro lado, alguns monocristais como por exemplo NaCl, MgO e KBr apresentam considerável alongamento plástico quando ensaiados em flexão (PADILHA, 2000).

2.2.2. Módulo de ruptura

Considerando que os materiais cerâmicos são, em sua maioria, frágeis, a resistência mecânica destes materiais é ditada pela capacidade do material sofrer aplicação de uma carga sem levá-lo à ruptura (XIAO *et al.*, 2020).

Para os materiais cerâmicos o melhor ensaio para se conhecer o comportamento de tensão x deformação é o ensaio de flexão. Nesse ensaio, o corpo de prova é apoiado sobre dois roletes e o corpo de prova sofre uma força na parte superior, gerando uma tensão de compressão na parte superior e uma tensão de tração na parte inferior (CALLISTER JR, 2020). O esquema do ensaio de flexão pode ser observado na Figura 2.





Fonte: CALLISTER JR, 2020

Para o cálculo do módulo de ruptura a partir do ensaio de flexão em 3 pontos, é usada a Eq. 2, onde σ_f é o módulo de ruptura de flexão (MPa), F_f é a carga aplicada (N), *L* é a distância entre os cutelos (mm), *b* é a largura do corpo de prova (mm) e *d* é a altura do corpo de prova (mm).

$$\sigma_f = \frac{3. F. L}{2. b. d^2}$$
 Eq. 2

2.2.3. Coeficiente de restituição

Os revestimentos cerâmicos possuem excelentes propriedades de durabilidade (ASMATULU, 2012), apesar disso sua resistência ao impacto é um aspecto crítico, visto que a queda de um objeto pesado pode causar o aparecimento de descamação ou até mesmo a ruptura da superfície (ENRÍQUEZ *et al.*, 2019).

Segundo Dondi *et al.* (2016), a resistência ao impacto depende principalmente da tensão interna, fissuras superficiais, defeitos críticos, espessura e porosidade do material. Uma forma de mensurar essa resistência é através do coeficiente de restituição (KR), que é apresentado como uma medida da elasticidade de uma determinada colisão, ou seja, corresponde à energia cinética dissipada durante sucessivos impactos. Desta forma, o coeficiente de restituição (KR) pode ser definido como a razão entre a velocidade que antecede o impacto (v1) e a posterior (v2) à colisão (ARYAEI et al., 2010; HLOSTA et al., 2018).

Por meio da manipulação matemática, o coeficiente de restituição é obtido pela expressão indicada na Eq. 3, na qual Δt é o intervalo de tempo entre dois impactos consecutivos, g é a aceleração da gravidade e h é a altura em que é solta a esfera.

$$KR = \sqrt{\frac{\Delta t^2 \cdot g}{8h}}$$
 Eq. 3

Os valores resultantes para o coeficiente de restituição podem variar entre 0 e 1 ($0 \le e \le 1$). O coeficiente de restituição apresenta valor igual a 1 quando há uma colisão perfeitamente elástica. Neste caso, toda energia foi conservada, logo a energia dissipada é nula. Por outro lado, quando uma colisão é perfeitamente inelástica, o valor do coeficiente de restituição é igual a 0, pois toda energia cinética foi dissipada na colisão. Entretanto, os materiais em sua maioria, apresentam uma colisão parcialmente inelástica, ou seja, perdem sua energia de forma gradativa, conforme a ilustra a Figura 3.

Para esta situação, os valores encontrados para os coeficientes de restituição são maiores que 0 e inferiores a 1 (0<e<1) (ARYAEI et al., 2010; HASTIE, 2013; HLOSTA et al., 2018; MUELLER et al., 2015).

Figura 3 - Representação esquemática de uma colisão parcialmente inelástica.



Fonte: ARYAEI et al., 2010

2.2.4. Fator de amortecimento

Segundo Silva e Novak (2015), o amortecimento é a perda de energia de um sistema vibrante, que pode ser transmitida para fora do sistema através de mecanismos de radiação ou pode ser dissipada internamente no sistema. Vibrações resultam da contínua e repetitiva conversão da energia cinética em potencial e viceversa. Para um sistema vibrante livre a perda de energia, devida ao amortecimento, provoca o decaimento de vibrações. O fator de perda η, também conhecido como fator de amortecimento, é definido como a razão entre a energia perdida por ciclo (W) e o pico de energia potencial (V) conforme a Eq. 4 (OLIVEIRA, 2006).

$$\eta = \frac{W}{2.\pi.V}$$
 Eq. 4

O fator de amortecimento η quantifica o amortecimento de um sistema mecânico bem como a dissipação interna de fluidos, metais, polímeros, materiais viscoelásticos entre outros (OLIVEIRA, 2006).

Segundo (PEREIRA *et al.*, 2012), normalmente os estudos de amortecimento são aplicados no estudo de metais e nas áreas de engenharia mecânica e engenharia civil, apesar disso, esses autores desenvolvera um algoritmo para determinação do amortecimento de materiais cerâmicos pela técnica das frequências naturais de vibração via excitação por impulso.

2.3. PISO ELEVADO

2.3.1. Histórico de pesquisas

Como estudos científicos sobre sistemas de piso elevado, com uso de cerâmica como camada de acabamento, em função da resistência a cargas e deformações suportadas, não foram realizados extensivamente, foi realizado um levantamento de publicações na plataforma *ScienceDirect.* Para isso, as principais palavras-chave utilizadas foram:

- Piso elevado Raised Floor.
- Piso cerâmico elevado Raised Ceramic Floor.
- Espessura do piso elevado Thickness Raised Floor.
- Espessura do piso cerâmico elevado Thickness Raised Ceramic Floor.

A

Figura 4 mostra o histórico das publicações na base de dados do *ScienceDirect* relacionadas com piso elevado, no qual as barras azuis mostram o número de publicações, indicadas pelo eixo principal a esquerda e o ano de publicação, indicado pelo eixo horizontal.



Figura 4 - Histórico das publicações na base de dados do ScienceDirect

Fonte: Autora

Pode-se visualizar que o número de publicações para o termo "piso elevado" é limitado, já para os outros termos buscados não foi possível encontrar publicações. Salientando que para o termo "piso elevado" a busca traz principalmente estudos relacionados com as condições térmicas do ambiente de instalação e ainda estudos relacionados com instalações aviárias, mas nenhuma publicação referente à influência da camada de acabamento destes sistemas.

2.3.2. Histórico de aplicações de piso elevado

A primeira aplicação de piso elevado foi realizada na antiga cidade inglesa de Bath, durante o império Romano. Os chamados *West baths* e *East baths* possuíam ambientes cujo aquecimento era proporcionado por insuflamento do ar aquecido sob uma camada de piso elevado (BERNADES,2009). Essas placas eram suspensas através de lajotas empilhadas, como na Figura 5.



Figura 5 - Ruínas de Piso Elevado da cidade de Bath

Fonte: BERNARDES, 2009

Na década de 1950 o piso elevado apareceu sendo aplicado em locais externos e as placas de revestimento de piso elevado tinham seus vértices apoiados em argamassa disposta diretamente sobre a camada de proteção da impermeabilização, formando um espaço de entrepiso (MACELROY; WINTERBOTTOM, 2000). Este método de execução do piso elevado externo, utilizando argamassa nos seus vértices, dificultava o processo de manutenção da impermeabilização por envolver retrabalho, pois era necessário refazer os apoios e principalmente em regiões sujeitas a ciclos de gelo e degelo, onde ocorre a tendência de degradação deste apoio de argamassa. Então em 1990 iniciou-se o uso de peças pré-fabricadas e blocos cerâmicos como apoio, ilustrado na Figura 6, substituindo a antiga argamassa (MACELROY; WINTERBOTTOM, 2000).

Figura 6 - Piso Elevado com apoios fixos pré-fabricados



Fonte: MACELROY, 2000.

O sistema de piso elevado passou por um grande desenvolvimento, do assentamento de pontos utilizando argamassa como apoios, evoluindo para o sistema composto por apoios telescópios, facilitando o nivelamento e sua durabilidade (MACELROY; WINTERBOTTOM, 2000)

Com a evolução técnica dos ambientes corporativos, o piso elevado se mostrou uma saída para o problema da infraestrutura necessária ao funcionamento das estações de trabalho modernas (JIN; BAI; YANG, 2019). Por não ter sido desenvolvida para tal aplicação, a tecnologia apresentou problemas como peso excessivo das placas de aço, que comprometia a flexibilidade de layout, baixa capacidade de adequação a ambientes prontos e falta de modulação (REMASTER, 2017).

Era normalmente utilizado em passeios do nível térreo dos empreendimentos e em áreas de deck de piscina. Todavia, com a consolidação e evolução dessa tecnologia nos últimos anos e diante de suas múltiplas vantagens, hoje sua utilização alcança um número maior de situações, tanto em áreas internas, como áreas externas de sacadas, bases de jardim, playgrounds, proteção de instalações em áreas técnicas, entre outras (REMASTER, 2021).

2.3.3. Locais de Aplicação

Devido ao foco do trabalho ser em revestimentos cerâmicos, em específico o porcelanato, as aplicações serão demostradas em conformidade a este material.

• Piso elevado interno

Desenvolvido para ambientes corporativos, quando associado ao uso da rede elétrica modular, proporciona vãos de 7 cm a 15 cm reguláveis, otimizando o gabarito da construção, aceitando diversos tipos de revestimento, incluindo porcelanato, granito, carpetes e piso vinílico (REMASTER,2021).

Os pisos elevados em ambientes internos com placas removíveis, como na Figura 7, podem receber diversos tipos de acabamentos também removíveis de materiais como madeira, porcelanato, carpete, vinílico, granito, mármore ou laminado melamínico. Porém ainda existem os pisos cujas placas são configuradas pelo próprio material de acabamento, como porcelanato, granito ou ardósia, estes dão maior liberdade ao usuário em caso de mudança do layout.



Figura 7 - Piso elevado aplicado em áreas internas com rede elétrica

Fonte: REMASTER, 2021.

• Piso elevado externo

Com altura de vão variável entre 8,5 cm e 2 metros, pode ser aplicado em halls, áreas de piscina, quadras, entre outros locais externos (REMASTER, 2017).

As placas de revestimento utilizadas nos pisos elevados devem apresentar resistência mecânica superior às demais aplicações como revestimento de piso. Devido à necessidade de elevada resistência mecânica acaba sendo direcionado o uso de pisos elevados a locais de pequenas solicitações e com trânsito exclusivo de pessoas (BERNADES,2009).

Cada vez mais novas tecnologias têm sido estudadas permitindo ampliar a aplicação do sistema em áreas externas. Os usos atuais são inúmeros, pode-se citar a elevação da cota de passeios por motivos paisagísticos e o uso em escadas ou bordas de piscinas permitindo instalações subterrâneas com fácil acesso à manutenção, como ilustrado na Figura 8.



Figura 8 - Piso elevado aplicado em áreas externas

Fonte: REMASTER, 2017.

• Banheiros e áreas molhadas

Por ser um sistema construtivo integrado, proporciona produtividade na execução e facilidade de manutenção das tubulações pois permite a criação de um vão para encaminhamento da tubulação entre a laje e o piso acabado. A solução é

composta por painéis de polipropileno sobre os quais é instalado o revestimento, além de pedestais fixos e reguláveis, com isso é altamente indicado para aplicação em banheiros, vestiários e cozinhas, possibilitando a drenagem das águas utilizadas na limpeza por ralo convencional (REMASTER,2021).

Rampas

A possibilidade de regular a altura dos pedestais elimina a necessidade de obras de alvenaria adicionais, proporcionando economia de materiais e mão de obra e ganhos de produtividade (REMASTER, 2017). Exemplo de utilização do sistema de piso elevado em rampas é mostrado na

Figura 9.



Figura 9 - Piso elevado aplicado em rampas

Fonte: REMASTER, 2017.

• Jardins

O sistema de piso elevado pode elevar o jardim, conforme ilustrado na Figura **10**, permitindo que o espaço acima da laje seja usado para reter e armazenar água da chuva. Com isso, reduz o consumo de água potável e os custos de operação para manutenção do jardim. Além disso, otimiza o uso do espaço do condomínio dedicado à construção de bacias de retenção - obrigatórias em cidades como São Paulo para auxiliar no combate a enchentes (REMASTER, 2017).



Figura 10 - Piso elevado aplicado em jardins

Fonte: REMASTER, 2017.

2.3.4. Tipos de sistema de piso elevado

Com o passar dos anos, os pisos elevados estão passando por uma mudança gradual de função de uso específico para aplicações de espaço mais gerais, juntamente com isso, o desenvolvimento dos produtos e das estruturas utilizadas também passou por muitas inovações. Os sistemas modernos de piso elevado podem exibir uma ampla variedade de painéis de piso, estruturas inferiores e componentes auxiliares (YANG; ZHANG, 2015).

Apesar da existência de vários sistemas, a maior parte deles seguem uma estrutura parecida, contendo algum material para revestimentos superiores (de cobertura), laterais (nas bordas) e inferiores e uma camada intermediária (ILÇE et al. 2019). Esta estrutura pode ser visualizada no esquema representado na


Figura 11 - Painel de piso elevado

Fonte: ILÇE,2019.

Legenda:

- (1) Camada intermediária;
- (2) Revestimento lateral (borda);
- (3) Revestimento inferior.
- (4) Revestimento superior (cobertura)

A camada intermediária, representada pelo número 1, pode ser produzida em várias espessuras e tamanhos especiais de acordo com o tipo de revestimento que será utilizado, geralmente o tamanho utilizado é de 60 x 60 cm. Essa estrutura pode ser construída de painéis de MDF, CRS (silicato de cálcio reforçado com fibra), painéis compostos de madeira resistente à água, painéis de PVC, aço galvanizado e etc (ILÇE et al. 2019).

O Revestimento lateral (borda), representado pelo número 2, normalmente são painéis revestidos com elastômero ou faixa de PVC, desta forma a estrutura fica protegida contra impactos e umidade (ILÇE et al. 2019).

O Revestimento inferior, representado pelo número 3, pode ser construído de HPL (*High pressure laminate*, em português, laminado de alta pressão), placa de folha

de alumínio, aço galvanizado, PVC ou outros materiais. Alguns materiais possuem benefícios específicos, como a folha de alumínio, que desenvolve condutividade eletrônica e constitui uma barreira contra a umidade, e o revestimento de aço galvanizado aumenta sua capacidade de carga (ILÇE et al. 2019)

O Revestimento superior (cobertura), representado pelo número 4, pode ser escolhido conforme o tipo mais adequado, deve-se analisar por aspectos funcionais, técnicos e estéticos (ILÇE et al. 2019). Nos espaços internos, normalmente, são aplicados materiais como porcelanato, madeira, vinílico, termoplástico, granito e mármore. Já nas áreas externas os acabamentos mais utilizados são porcelanato, granito, mármores e pisos emborrachados (BERNADES,2009). Com relação aos porcelanatos, segundo CSTB (2018), a espessura mínima deve ser 18 mm, porém o mercado europeu atual costuma utilizar espessuras de 20 mm.

Apesar disso, em alguns casos específicos, o sistema não segue a estrutura mostrada anteriormente, pois precisa cumprir outras funções, como aquecer ou resfriar ambientes. Um outro exemplo de estrutura de piso elevado são os painéis de aquecimento radiante integrado, isto é, um painel de piso radiante com sistema de tubulação de água integrado no módulo de piso elevado. Apresenta as vantagens de um piso elevado e de um sistema de aquecimento por piso radiante. Ele garante acessibilidade aos cabos sem sacrificar o conforto e o potencial de economia de energia do sistema de aquecimento por piso radiante. Além disso, a implantação do sistema é rápida, aumentando a flexibilidade da gestão. Esse sistema é composto por vários materiais e possui camadas e geometrias complexas (KIM et al., 2017). Exemplo de sua configuração e seção transversal é mostrado na Figura 12.





Fonte: KIM,2017.

Legenda:

- (1) é o material de acabamento;
- (2) é a placa superior;
- (3) é um tubo de água;
- (4) é uma placa de transferência de calor;
- (5) é o espaço vazio interno;
- (6) é placa inferior.

2.3.5. Estrutura e Componentes

As informações a seguir são apresentadas conforme os materiais e componentes que compõem o sistema de piso elevado que foi utilizado no presente trabalho.

• Revestimento superior (cobertura)

Atualmente a indústria oferece diversas tipologias de revestimento superior para piso elevado. Todos têm idêntica função e seguem os mesmos princípios; a diferença está na modulação, na capacidade de carga concentrada ou distribuída e nas possibilidades de regulagem. Na Figura 13 é possível visualizar um sistema de piso elevado com revestimento superior em termoplástico.

Figura 13 - Piso elevado em termoplástico



Fonte: REMASTER, 2021.

Nestas diversas opções de acabamento para as placas de pisos elevados, que inclusive podem sair da fábrica inclusos ou não dependendo da opção do cliente, encontra-se o porcelanato, material que possui como principais características: absorção de água menor ou igual a 0,5%, estrutura homogênea e de baixíssima porosidade (ABNT NBR ISO 13006, 2020).

• Apoios ou pedestais

Existem diversos tipos de suportes de sistema de piso elevados, antigamente destacavam-se os pilaretes de concreto, blocos de alvenaria e apoios metálicos. Os apoios mais utilizados são os pré-fabricados sintéticos. No mercado, os modelos de suporte são feitos de diversos tipos de polímeros, como por exemplo, polipropileno, polietileno, policarbonato, poliestireno expandido e PVC (Policloreto de Vinil) (BERNADES,2009).

Diversos fabricantes projetam o sistema para atender todos os tipos de projetos, então o piso elevado é projetado para a utilização de dois modelos diferentes de pedestais, o pedestal fixo que pode ser utilizado em alturas de 7 a 15 cm e o pedestal regulável que vai de 8,5 a 200 cm de altura (REMASTER,2021).

Pedestal Fixo

Possui o pedestal central e o pedestal de acabamento, conforme ilustrado na Figura 14, o primeiro garante o apoio da placa do piso e o apoio perimetral, permitindo interligação e travamento entre placas de piso elevado adjacente e o segundo permite o apoio das placas do piso no perímetro do ambiente e garante reforço das placas recortadas, mantendo a resistência mecânica do conjunto (REMASTER, 2021).

Figura 14 - (a) Pedestal central e (b) Pedestal de acabamento



Fonte: REMASTER, 2021.

As placas aceitam infinitos recortes, adaptando-se a qualquer ambiente de parede e/ou vigas, sem alteração de suas características ou estabilidade, devendo apenas ser reforçadas nos locais de corte com os pedestais de acabamento (REMASTER,2021). Exemplo de recorte pode ser visualizado na Figura 15.

Figura 15 - Recortes de piso elevado com pedestais centrais e pedestais de acabamento



Fonte: REMASTER, 2021.

• Pedestal Regulável

Na utilização do pedestal regulável, a altura de instalação é definida conforme a necessidade do cliente ou condições do contra piso, podendo ser de 85 cm a 2 m (REMASTER,2021). Os tipos de pedestais reguláveis podem ser visualizados na Figura 16.

Figura 16 - Tipos de pedestal regulável: (a) Pedestal externo (b) Pedestal interno (c) Pedestal de acabamento



Fonte: REMASTER, 2021.

E os componentes deste tipo de pedestal podem ser vistos na Figura 17.



Figura 17 - Componentes do pedestal regulável

A função do componente pedestal é para apoio e intertravamento das placas de piso elevado e para apoio das áreas de recorte. A bucha faz parte do conjunto pedestal regulável, para ajuste fino de altura. A rosca niveladora é utilizada para regulagem do nivelamento do acoplamento com bucha. O tubo rígido, com espessura de 2 mm é utilizado para regulagem da altura de todo o sistema de piso elevado, podendo ser usado com comprimentos de 85 cm a 2 m. A base serve como apoio do conjunto e como regulador de ajuste fino para altura do acoplamento com a bucha (REMASTER,2021).

Intertravamento

Fonte: REMASTER, 2021.

O intertravamento entre as placas garante uma perfeita estabilidade horizontal do conjunto (REMASTER,2021). Conforme ilustrado na Figura 18.



Figura 18 - Intertravamento do sistema de piso elevado

Fonte: REMASTER, 2021.

Na Figura 19 estão representados todos os pedestais na cor verde, os quais fazem parte do intertravamento das placas

Figura 19 - Pedestais do intertravamento do sistema de piso elevado



Fonte: REMASTER, 2021.

2.4. NORMATIZAÇÃO

Atualmente não há uma norma brasileira que faça a regulamentação da utilização especificamente do revestimento cerâmico juntamente com a estrutura de piso elevado. Há a norma ABNT NBR 11802:1991: Pisos Elevados (ABNT NBR 11802, 1991), que regulamenta a estrutura de piso elevado, mas não há a regulamentação do componente revestimento cerâmico sobre o sistema e também há a norma ABNT NBR 15575: Edificações habitacionais – Desempenho (ABNT NBR 15575, 2013), que regulamenta os requisitos para os sistemas de pisos em geral, porém pisos em estruturas de concreto são diferentes do sistema de piso elevado. Pela pesquisa bibliográfica, foi possível encontrar uma norma, *BS EN 12825: Raised access floors (2001)*, que faz a regulamentação das características do sistema de piso elevado apenas nos países europeus, com informações da carga mínima que o sistema deve suportar, mas não indica as características mínimas que o componente, revestimento cerâmico, deve possuir.

Os critérios para verificação de atendimento a norma foram discutidos juntamente com os resultados, no item 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES, do presente trabalho.

3. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

O procedimento adotado para a realização do trabalho está indicado sequencialmente na Figura 20, que mostra o fluxograma das atividades que foram realizadas:



Figura 20 - Etapas do procedimento experimental

Fonte: Autora

Cada uma das etapas descritas no fluxograma da Figura **20**, são descritas detalhadamente a seguir.

3.1. DETERMINAÇÃO DOS COMPONENTES DO SISTEMA DE PISO ELEVADO

Foi selecionado o sistema de piso elevado do fabricante REMASTER composto pelo material polimérico polipropileno, conforme mostrado na Figura 21.

Figura 21 – Componentes do sistema de piso elevado estudado (a) placas poliméricas (b) Placa de porcelanato (c) esquema do protótipo (d) pedestal (e) partes dos pedestais



Fonte: Autora

Não foi possível obter muitas informações relacionadas aos critérios utilizados pelo fabricante para desenvolvimento do sistema de piso elevado, visto que se referem a informações confidenciais. No entanto, isso não influenciou na realização do presente trabalho e na obtenção de resultados de qualidade.

3.2. APOIOS E PEDESTAIS: DETERMINAÇÃO DA ALTURA DO SISTEMA

A altura dos pedestais foi regulada com um tubo rígido de altura de 1200 mm, especificado pelo fabricante da estrutura de piso elevado. Essa altura foi selecionada por ser a altura mais crítica do sistema, conforme indicado na figura 19.

3.3. DETERMINAÇÃO DAS PLACAS CERÂMICAS

As amostras de revestimentos cerâmicos foram selecionadas, conforme a classificação Bla, ou seja, tipologia porcelanato, com espessuras de 12, 16 e 20 mm, conforme ilustrado na Figura 22. As considerações de estudar tais espessuras estão expostas no planejamento estatístico (item 3.8).



Figura 22 – Placas Cerâmicas (a) Espessuras (b) Superfície porcelanato

Fonte: Autora

3.4. COLETA E PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS DE PLACAS CERÂMICAS

As amostras de revestimentos cerâmicos foram fabricadas pela empresa italiana *Marazzi Ceramic*, pertencente ao grupo *Mohawk Industries Inc*. A quantidade coletada foi de 270 peças, considerando sobra e possíveis perdas.

As amostras possuíam dimensão de 60x60 cm e espessura de 20 mm de um mesmo lote de fabricação, ou seja, corresponderam ao mesmo ciclo e temperatura de queima.

Para conseguir as diferentes espessuras, as peças foram submetidas ao processo de calibração de acabamento da superfície. As placas passaram por uma

máquina de calibragem (marca Keda), que possui rolos calibradores com cordão diamantado à base de liga de diamante, que retiram a parte superficial, camada mais grossa das peças cerâmicas, até chegar nas espessuras desejadas. Na Figura 22 pode ser vista uma imagem da máquina e dos rolos utilizados.



Figura 23 – Máquina de calibragem de superfície

Fonte: Autora

Após o desgaste todas as peças foram medidas com auxílio de um paquímetro (marca Mitutoyo, modelo Absolute) conforme a metodologia da norma NBR ISO 10545-2 e adotou-se como variação permitida das espessuras reproduzidas em relação à espessura padrão estabelecida, o valor de 5%, conforme estipulado pela norma ABNT NBR ISO 13006 (2020).

Vale ressaltar que as peças desgastadas passaram por um processo e inspeção, confirmando a inexistência de falhas, tricas ou fissuras que pudessem interferir nos resultados.

3.5. CARACTERIZAÇÃO DAS PLACAS CERÂMICAS

Após preparação, as amostras foram submetidas aos testes de caracterização: determinação da carga de ruptura e módulo de resistência à flexão pela ABNT NBR ISO 10545 (2020), determinação da absorção de água pela ABNT NBR ISO 10545 (2020) e determinação da resistência ao impacto pela medição do coeficiente de restituição pela ABNT NBR ISO 10545 (2020), determinação da análise química, determinação da análise de quantitativa de fases, porosidade aparente, densidade e determinação da análise microestrutural. A seguir são descritos os procedimentos de caracterização das amostras.

3.5.1 Determinação da carga de ruptura e módulo de resistência à flexão

O princípio deste ensaio é a determinação da força de ruptura, carga de ruptura e módulo de resistência à flexão de uma placa pela aplicação de uma força, a uma taxa específica, no centro da placa, onde o ponto de aplicação está em contato com a superfície de uso da placa. Foram necessários os seguintes equipamentos:

• Equipamento universal (marca EMIC), duas barras de apoios cilíndricas, feitas de metal, sendo as partes em contato com o corpo de prova a ser ensaiado cobertas com borracha de dureza de (50 ± 5) IRHD (ISO 48-2, 2018) e apoio cilíndrico central, de mesmo diâmetro das barras de apoio e revestido com a mesma borracha, para transmissão da carga.

• Estufa com capacidade de operar a 105 ± 5 °C.

Para realização do ensaio foram removidas todas as partículas aderidas no verso de cada corpo de prova. As peças foram secas em estufa mantida a (105 ± 5) °C durante um período mínimo de 24 h, em seguida as amostras foram resfriadas até alcançar a temperatura ambiente. Os corpos de prova foram ensaiados no máximo 3 h após atingir a temperatura ambiente e então foram colocados sobre os suportes de apoio no equipamento, com a superfície esmaltada ou de uso voltada para cima, de modo que fique para fora da barra de apoio uma saliência, conforme indicado na ABNT NBR ISO 10545 (2020).

A posição da barra central é equidistante entre os apoios. O equipamento aplica a carga uniformemente, de forma a se obter uma taxa de aumento da carga de 1 ± 0.2 N/mm²/s. Quando a placa é rompida, o equipamento instantaneamente interrompe a aplicação de carga e fornece a força de ruptura, F. Após o rompimento, foi medida a menor espessura da sessão de ruptura de cada placa.

Com a força F conhecida é possível realizar o cálculo da carga de ruptura, *S*, expressa em newtons, calculada pela Eq. 5:

$$S = \frac{Fl_2}{B}$$
 Eq. 5

Onde:

F é a força de ruptura, expressa em newtons;

 l_2 é a distância entre as barras de apoio, em mm;

B é o lado menor do corpo de prova, em mm.

O módulo de resistência à flexão, *R*, expresso em N/mm², é calculado pela Eq. 6:

$$R = \frac{3Fl_2}{2Bh^2} = \frac{3S}{2h^2}$$
 Eq. 6

Onde:

F é a carga de ruptura, expressa em newtons;

 l_2 é a distância entre as barras de apoio, em mm;

b é o lado menor do corpo de prova, em mm;

h é a espessura mínima do corpo de prova ensaiado, medida após o ensaio, ao longo da borda de fratura, em mm.

O resultado da carga de ruptura e da resistência à flexão é a média aritmética da amostragem.

3.5.2 Determinação da absorção de água pela ABNT NBR ISO 10545, porosidade aparente e densidade

Para realização deste ensaio, utilizou-se um Porosímetro, marca Servitech, conforme a Figura 24, que consiste em uma câmara de vácuo, com capacidade suficiente para acomodar os corpos de prova e evacuar a uma pressão de 91 ± 5 kPa abaixo da pressão atmosférica padrão de 101 kPa. Além disso, foi necessário também utilizar estufa (105 ± 5 °C), balança, com exatidão de 0,01 % da massa do corpo de prova, àgua destilada ou deionizada, dessecador, pano de microfibra, álcool etílico comercial e flanela.

Figura 24 - Equipamento Porosímetro



Fonte: Autora

A amostragem deve ser realizada de acordo com a dimensão das placas, como as placas terão dimensão de 60x60 cm, o número de placas que foram ensaiadas foi de 3, que foram cortadas, conforme mostrado na Figura 25, totalizando 12 amostras para o ensaio.





Fonte: ANBT NBR ISO 10545, 2020.

Para a realização do ensaio, os corpos de prova foram secos até massa constante (a massa constante é alcançada quando, após duas pesagens

subsequentes, o peso final não altera mais do que 0,1%), em estufa por um mínimo de 24 h.

As amostras foram pesadas com uma precisão de 0,01, sendo a massa seca, m1, de cada corpo de prova determinada.

As placas foram colocadas no porosímetro, verticalmente, com um dos lados cortados voltado para o fundo, sem contato entre os corpos de prova. O equipamento evacuou até uma pressão de 91 \pm 5 kPa abaixo da pressão atmosférica padrão de 101 kPa e manteve-se durante 30 \pm 2 min. Em seguida, mantendo o vácuo, adicionou-se lentamente água suficiente, tomando não mais do que 10 min para cobrir as placas em pelo menos 5 cm. Depois ocorreu a liberação do vácuo e as placas permanecem submersas por 15 \pm 2 min. Então enxugou-se cada amostra levemente com um pano de microfibra úmido para remover todas as gotas de água visíveis da superfície e determinar a massa saturada *m*2, de cada amostra, com uma precisão de 0,01 da massa.

Com as massas m_1 e m_2 conhecidas, de cada placa, a absorção de água, Ev, expressa como a porcentagem de massa seca, é calculada usando a Eq. 7:

$$E_v = 100 imes rac{(m_2 - m_1)}{m_1}$$
 Eq. 7

Onde:

Ev é a aborção de água, expressa em percentual;

m1 é a massa do cropo de prova seco;

 m^2 é a massa do cropo de prova saturado.

A partir da massa saturada de água (*m*2), de três corpos de prova de cada espessura, foi determinada a porosidade aparente e densidade das placas cerâmicas, pelo princípio de Arquimedes (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2016).

3.5.3 Determinação da resistência ao impacto pela medição do coeficiente de restituição pela ABNT NBR ISO 10545

O princípio deste ensaio é a determinação do coeficiente de restituição através da queda livre de uma esfera de aço de uma altura fixa, sobre o corpo de

prova e realizada a medida da altura de restituição. O coeficiente de restituição é a razão entre a velocidade relativa de partida e a velocidade relativa de aproximação no impacto (ABNT NBR ISO 10545, 2020). Para realização deste ensaio, foi necessário a utilização de esfera de aço-cromo, com diâmetro de $19 \pm 0,05$ mm, dispositivo para liberação da esfera, o qual consiste em uma base metálica, instalada sobre parafusos niveladores, com uma barra de aço vertical que se liga a um eletro-ímã, um tubo-guia e um apoio da unidade de ensaio e dispositivo temporizador eletrônico, que, por meio de um microfone, mede o intervalo de tempo entre o primeiro e o segundo impacto.

A amostragem foi de cinco corpos de prova, com dimensões de 75x75 mm, cortados de cinco placas. Os corpos de prova foram fixados sobre blocos de concreto curados, por meio de adesivo de resina epóxi rígida.

Para a realização do ensaio, ajustou-se o dispositivo para liberação da esfera e acondicionou-se a unidade de ensaio abaixo do eletroímã, de modo que a esfera de aço, quando liberada do eletro-ímã, atinja o centro da unidade de ensaio. A esfera de aço foi solta de uma altura de 1 m acima da face do corpo de prova para permitir que a esfera impacte por duas vezes sobre a superfície, o tempo entre os impactos foi anotado, com resolução de milissegundo, e calculada a altura de repique e o coeficiente de restituição.

A superfície da placa foi examinada quanto à existência de sinais de lascamentos ou trincas.

3.5.4 Determinação da análise química

O princípio deste ensaio é informar a natureza e a proporção dos elementos químicos presentes em um determinado material, com isso a análise química das amostras foi determinada por fluorescência de raios-X, utilizando um equipamento da marca Bruker, modelo S8 Tiger, seguindo a norma ABNT NBR 12677/2014. As amostras foram preparadas por fusão de pérola com tetraborato de lítio e a perda ao fogo foi realizada por calcinação até 1000°C.

Para a obtenção do pó necessário para a realização do ensaio, as peças de porcelanato foram moídas em moinho de bolas laboratorial (marca Servitech, capacidade 1 L) e passados em peneira malha ABNT #80. Esta análise foi realizada com 3 amostras

de cada espessura para eliminar a possibilidade de falta de homogeneidade da matéria-prima entre as amostras.

3.5.5 Determinação da análise quantitativa de fases

Os insumos em pó, passantes em malha ABNT #230, foram analisados mineralogicamente para identificação das fases cristalinas presentes por meio de difração de raios-X (DRX), utilizando padrão interno de alumina e quantificação RIR (*Reference Intensity Ratio*). Os equipamentos utilizado para a realização deste ensaio foram um difratômetro de pó da marca RIGAKU e modelo RU200B 12KW com goniômetro horizontal θ-2θ, um anodo rotatório de Cu, uma câmara multi-propósito também da marca RIGAKU e uma câmara de alta temperatura. A técnica utilizada para varredura normal, com tubo selado de Cu, possui as seguintes especificidades: unidade de raios-X da marca RIGAKU e modelo Ultima IV, 2Theta/Theta, varredura normal de 5° a 65°, passo 0,0100/segundo, velocidade de 25°/min e tensão de 40 kv e 20 mA.

Esta análise foi realizada com 3 amostras de cada espessura. Da mesma forma que na determinação da análise química, essa análise foi realizada nas diferentes espessuras para eliminar a possibilidade de falta de homogeneidade da matéria-prima entre as amostras.

3.5.6 Determinação da análise microestrutural

A análise microestrutural das peças foi realizada por microscopia eletrônica de varredura (MEV), através de imagens obtidas em diferentes ampliações, com MEV-EDS, utilizando um equipamento da marca FEI e modelo Inspect 50 (MEV com filamento de tungstênio). Para esta análise foram retirados pequenos corpos de prova com auxílio de uma serra, possuindo um tamanho suficiente para caber no equipamento.

3.6. CONFECÇÃO E INSTRUMENTAÇÃO DOS PROTÓTIPOS

A metodologia utilizada para confecção e instrumentação dos protótipos é descrita a seguir, conforme cada teste a ser realizado.

2.1.1 Protótipo para ensaio de impacto de corpo duro BS EN 12825

O principal fator no protótipo deste ensaio foi marcar a região de impacto do corpo percursor sobre o porcelanato, então o posicionamento desta região, que foi o centro do protótipo, está representado na Figura 26.

Para coletar medidas de coeficiente de restituição e fator de amortecimento, foi fixado um acelerômetro (marca PCB Piezotronics e modelo 350C04) na superfície da placa cerâmica, conforme ilustrado pela Figura 26, combinado com a utilização do *software LabView*. Com isso, foi possível capturar ondas de impacto de acordo com o tempo, de forma que fosse possível discriminar as propriedades das ondas de impacto em função das frequências em que ocorrem. O ensaio foi realizado em triplicata, para cada espessura estudada (12, 16 e 20 mm).

Figura 26 – Ensaio de impacto de corpo duro (a) Perspectiva do protótipo do sistema de piso elevado (b) Vista de cima, da placa de porcelanato com região de impacto delimitada



Fonte: Autora

Legenda:

- (1) Area delimitada de impacto
- (2) Acelerômetro

2.1.2 Protótipo para ensaio de impacto de corpo mole BS EN 12825

No ensaio de impacto de corpo mole, o posicionamento para a aplicação do impacto também ficou na área central do protótipo, conforme representado em vermelho na Figura 27. Devido ao tamanho do corpo mole, a área de impacto ocupou boa parte da superfície da placa de porcelanato, por isso foi dimensionado para atingir o centro do protótipo. O ensaio foi realizado em triplicata, para cada espessura estudada (12, 16 e 20 mm).

Figura 27 - Ensaio de impacto de corpo mole (a) Perspectiva do protótipo do sistema de piso elevado (b) Vista de cima, da placa de porcelanato com região de impacto delimitada



Fonte: Autora

Legenda:

(1) Area delimitada de impacto

2.1.3 Protótipo para ensaio de carga concentrada ABNT NBR 15575

No ensaio de carga concentrada pela norma ABNT NBR ISO 15575 (2013), o posicionamento para a aplicação da carga ocorreu na área central do protótipo, conforme indicado em vermelho na Figura 28 e as medidas de deslocamento vertical foram realizadas através do auxílio de um LVDT (Transformador Diferencial Variável Linear (marca HBM, modelo WA-T)), conectado a uma unidade de aquisição de dados controlada pelo *software Catman Easy*. Devido às diretrizes do método do ensaio por esta norma, o dimensionamento foi realizado para receber a carga no centro do

protótipo. O ensaio foi realizado em triplicata, para cada espessura estudada (12, 16 e 20 mm).

Figura 28 - Protótipo para ensaio de carga concentrada ABNT NBR 15575 (a) Perspectiva do protótipo do sistema de piso elevado (b) Vista de cima, da placa de porcelanato com região de carga delimitada



Fonte: Autora

Legenda:

(1) Area delimitada para aplicação da carga

2.1.4 Protótipo para ensaio de carga concentrada BS EN 12825

No ensaio de carga concentrada, os posicionamentos da aplicação da carga se deram por meio da área indicada em vermelho na Figura 29. As medidas de deformação foram realizadas através da colagem de extensômetros (marca Excel e modelo BA unidirecional) nas superfícies das placas cerâmicas e as medidas de deslocamento vertical foram realizadas através de um LVDT, Transformador Diferencial Variável Linear (marca HBM, modelo WA-T), ambos conectados a uma unidade de aquisição de dados controlada pelo *software Catman Easy*. A área de contato do aplicador de cargas e a disposição dos extensômetros, identificados como A, B e C estão descritos a seguir.

Figura 29 - Ensaio de carga concentrada BS EN 12825 (a1) Perspectiva do protótipo do sistema de piso elevado configuração 01 (a2) Perspectiva do protótipo do sistema

de piso elevado configuração 02 (a3) Perspectiva do protótipo do sistema de piso elevado configuração 03 (b1), (b2), (b3) Vista de cima, das placas de porcelanato com área da carga delimitada



Legenda:

(1) Area delimitada para aplicação da carga

Estas áreas foram determinadas conforme indicação da norma: centro do protótipo, centro de uma aresta na lateral do protótipo e a área mais frágil do sistema. Para determinar a possível área mais frágil, foi verificada a disposição dos apoios (pedestais) do sistema de piso elevado, como pode-se visualizar na Figura 30, a área delimitada em verde são as regiões em que são acoplados os pedestais no sistema, assim a região em que não havia pontos de apoio (pedestais) foi determinada como sendo a mais frágil. Na Figura **30**, é possível visualizar como ficou a disposição das cargas em relação aos apoios do sistema.

Figura 30 - Ensaio de carga concentrada BS EN 12825 (a) Vista de cima das áreas de acoplamento dos pedestais (b) Disposição configuração 01 (c) Disposição configuração 02 (d) Disposição configuração 03



Fonte: Autora

Com isso, a configuração 01, no centro do protótipo, possui área completa de um pedestal, abaixo da região de aplicação de carga, a configuração 03 possui metade da área de um pedestal e a configuração 02 não possui pedestal abaixo da região de aplicação de carga sobre os protótipos.

Foram fixados, através de adesivo à base de cianoacrilato, 3 extensômetros, nomeados como A, B e C. O extensômetro A foi disposto à tangente de 45º da aresta da placa cerâmica. Os extensômetros B e C foram dispostos a uma distância de 2 cm da área de aplicação da carga, alinhados com o centro dela, nas direções horizontal e vertical respectivamente.

O ensaio foi realizado em triplicata, para cada espessura estudada (12, 16 e 20 mm), por meio de um cilindro hidráulico, com capacidade de carga de 50 tf (marca ENERPAC) e um aplicador de carga no formato de um cubo, de ferro fundido com dimensão de 25 ± 0.1 mm.

A finalização da aplicação de carga sobre os sistemas foi pelo surgimento visível de fissura nas placas cerâmicas.

3.7. CARACTERIZAÇÃO DOS PROTÓTIPOS

Após a confecção e instrumentação, os protótipos foram submetidos aos testes de caracterização: determinação do impacto de corpo rígido pela e determinação do impacto de corpo mole, ambos pela BS EN 12825 (2001) e determinação da carga concentrada pelas normas BS EN 12825 (2001) e ABNT NBR 15575 (2013).

2.2.1 Determinação do impacto de corpo duro BS EN 12825

O princípio deste ensaio é avaliar se um elemento suporta ou não uma carga de impacto de um corpo rígido. Um corpo com massa e forma conhecidas é liberado de uma altura estabelecida, em queda livre, que, ao atingir o componente, provoca danos verificáveis, como mostra o esquema da Figura 31. Foi necessário a utilização de um corpo percursor de impacto com massa de 4,5 \pm 0,05 kg e uma extremidade hemisférica de 50 mm, um tubo guia de 75 mm de diâmetro interno com altura de 600 \pm 10 mm, acelerômetro (marca PCB Piezotronics e modelo 350C04) e o *Software LabView*. Os corpos de prova foram preparados com os materiais e procedimentos descritos anteriormente.





Fonte: Autora

Aplicou-se os impactos por meio do corpo percursor de impacto, liberado em queda livre, os corpos de prova foram retirados aleatoriamente da produção real e foram representativos da produção diária real ou pretendida.

O impacto com o corpo duro de 4,5 kg rompe a peça cerâmica com apenas um impacto, conforme ensaios preliminares, então foram utilizados corpos com massas menores, sendo estas 250, 350 e 500 ±10 g. A norma BS EN 12825 (2001) especifica, como resultado final, que seja realizada apenas a observação visual da camada de

acabamento, sendo apenas um indicador qualitativo. Entretanto, para este estudo, como forma de quantificar o resultado desse ensaio, foram realizadas medidas de coeficiente de restituição e fator de amortecimento, através do acelerômetro e *software LabView*®.

Os testes foram executados com os corpos percursores de impacto indicados anteriormente, a uma altura de 0,60 m. Cada teste foi repetido 3 vezes por amostra, quando a mesma não fosse rompida. Todos os ensaios foram reproduzidos no mesmo local de queda e com fixação do acelerômetro na mesma posição.

2.2.2 Determinação do impacto de corpo mole BS EN 12825

O princípio deste ensaio é avaliar se um painel suporta ou não uma carga de impacto de um corpo mole, através de um corpo com massa e forma conhecidas, liberado de altura estabelecida que ao atingir o componente provoca deslocamentos ou deformações ou rupturas verificáveis (BS EN 12825, 2001), conforme representado na Figura 32.



Figura 32 - Ensaio de impacto de corpo mole realizado

Fonte: Autora

Então, foi necessário a utilização de um corpo percursor de impacto, sendo este um saco de lona plano (máximo 300 mm de diâmetro) contendo areia seca de 2 a 4 mm de diâmetro e massa de (40 ± 0.8) kg, um dispositivo para içar e realizar a liberação instantânea do corpo percursor de impacto e a haste de medição com comprimento igual à altura de queda prescrita.

Os impactos foram aplicados por meio do corpo percursor, a uma altura de 1 m. Porém neste trabalho também foi realizado impacto com alturas de 0,30, 0,45, 0,60, 0,90, 1,20, 1,80 e 2,40 m, indicadas na norma ABNT NBR 15575 (2013) para este ensaio, conforme Tabela 2.

Impacto	Massa	Altura	Energia
	(kg)	(m)	(J)
Aplicar um impacto de corpo mole, para cada energia	40 40 40 40 40 40 40	0,30 0,45 0,60 0,90 1,20 1,80 2,40	120 180 240 360 480 720 960

Tabela 2 - Massa de corpo mole, altura e energia do impacto ABNT NBR 15575

Fonte: Autora

O resultado final é a observação visual da camada de acabamento. O painel não deve entrar em colapso.

2.2.3 Determinação da carga concentrada ABNT NBR 15575

O ensaio consiste em submeter um protótipo do sistema de piso em laboratório ou um sistema de piso real construído a uma carga vertical padronizada e avaliar a ocorrência de ruptura ou qualquer outro tipo de dano no sistema de piso e, no caso de sistema de pisos suspensos, medir a flecha no centro do piso (ABNT NBR 15575, 2013). Foi necessário a utilização de um gabarito para posicionamento dos discos de aplicação da carga, este gabarito é formado por um triângulo equilátero de 450 mm de lado, trinta discos para aplicação da carga, com diâmetro máximo de 205 mm e peso de 100 kg, LVDT (marca HBM, modelo WA-T) e *Software Catman Easy*.

O protótipo de piso elevado foi construído já no local do ensaio, protegido de cargas e impactos.

Na realização do ensaio foram carregados os três discos posicionados pela delimitação do triangulo e depois acrescentados outros discos sobre eles, até atingir a carga de 3000 N, conforme indicado na Figura 33. O procedimento deve distribuir as cargas uniformemente, não permitindo que quaisquer dos pontos de carga, em qualquer momento do ensaio, tenham uma diferença superior a 100 N em relação aos demais.



Figura 33 - Ensaio de impacto de carga concentrada ABNT NBR 15575

O tempo total para o procedimento de aplicação de carga foi de 3 minutos e 20 segundos. Após a conclusão da aplicação de carga são esperados mais 2 minutos e registrada a medida de deslocamento vertical, no centro do sistema de piso, expressa em milímetros. Foi observado e registrado se houve danos no sistema de piso ainda com carga.

2.2.4 Determinação da carga concentrada BS EN 12825

Fonte: Autora

O princípio deste ensaio é aplicar uma carga continuamente crescente ao sistema de piso elevado até que ocorra a falha de qualquer um dos componentes do sistema (BS EN 12825, 2001), conforme ilustrado pela Figura 34. Foi necessário a utilização de um equipamento cilindro hidráulico (marca ENERPAC), um aplicador de carga no formato de um cubo, de ferro fundido com dimensão de $(25 \pm 0,1)$ mm, barras para firmar o sistema de piso elevado, extensômetros (marca excel e modelo BA unidirecional), LVDT (marca HBM, modelo WA-T) e *Software Catman Easy*.



Figura 34 - Ensaio de carga concentrada BS EN 12825

Fonte: Autora

Uma carga continuamente crescente foi aplicada a uma velocidade máxima de 120 N/s ± 10 % até ocorrer a falha de qualquer parte do sistema. A deflexão na parte inferior do painel foi continuamente registrada do início até o ponto de falha.

O resultado é apresentado através de um gráfico mostrando a deflexão versus a carga de teste aplicada, com a indicação da falha dos componentes.

3.8. PLANEJAMENTO ESTATÍSTICO

O planejamento experimental estatístico foi realizado visando a avaliação da influência da espessura e a posição da carga sobre os protótipos de piso elevado.

Os fatores e os níveis foram as variáveis do ensaio de carga concentrada pela norma BS EN 12825 (2001). Foi realizado um planejamento do tipo 2², com três pontos centrais, e os experimentos foram executados conforme Tabela 3.

		Níveis	
Fatores	-1	0	1
Espessura (mm)	12	16	20
Configurações Prototótipos	1	2	3
Fonto: Autora			

Tabela 3 - Fatores e níveis para avaliação da resistência à carga concentrada BS

Fonte: Autora

Os níveis do fator de espessura foram definidos baseados na espessura das peças que são ofertadas para uso em sistemas de pisos elevados no Brasil e no exterior, sendo o nível 0 a espessura que a empresa Eliane Revestimentos Cerâmicos tem por objetivo inserir em seu portifólio atual, como espessura padrão para comercialização dos sistemas de piso elevado ofertados. O nível -1 foi definido, como sendo um propósito de longo prazo para comercialização do sistema, visando redução de custo com a menor espessura e o nível +1 foi definido por ser a espessura mínima indicada para sistema de pisos elevados no mercado europeu.

Os níveis do fator de configuração dos protótipos foram definidos conforme indicação da norma. O nível -1 foi definido como sendo no centro do sistema, o nível +1 no centro de uma aresta, e o nível 0 entre estes dois pontos, conforme mostrado na Tabela 4.

Níveis	Posição	Espessura (mm)	Ensaio
-1 e -1	1	12	CBS1 12
-1 e +1	1	20	CBS1 20
0 e 0	2	16	
0 e 0	2	16	CBS2 16
0 e 0	2	16	
+1 e -1	3	12	CBS3 12
+1 e +1	3	20	CBS3 20

Tabela 4 - Experimentos realizados

Fonte: Autora

Analisando o tipo de planejamento e os ensaios foram realizados 7 testes, considerando a necessidade de realizar os testes em triplicada, foram submetidas ao teste 21 amostras. As variáveis de resposta analisadas, por meio de análise estatística, foram a carga máxima suportada pelo sistema, deformação e deslocamento vertical.

Para os ensaios de carga concentrada pela norma ABNT NBR 15575 (2013), ensaio de impacto de corpo mole e ensaio de corpo duro, não é possível fazer a variação da posição da carga. Com isso, a

Tabela 5 mostra que a variável para estes testes foi apenas a espessura e a Tabela 6 indica os experimentos realizados.

	Níveis		
Fatores	-1	0	1
Espessura (mm)	12	16	20

Tabela 5 - Fatores e níveis da resistência à carga concentrada ABNT NBR 15575, impacto de corpo mole e impacto de corpo duro

Tabela 6 - I	Experimentos	realizados
--------------	--------------	------------

Níveis	Posição	Espessura(mm)	Ensaio Carga concentrada NBR	Ensaio de Corpo Mole	Ensaio de Corpo Duro
1 e -1	1	12	CNBR1 12	MBS1 12	DBS1 12
1 e +1	1	20	CNBR1 20	MBS1 20	DBS1 20
1 e 0	1	16	CNBR1 16	MBS1 16	DBS1 16
Eonto	Autoro				

Fonte: Autora

Fonte: Autora

Os testes foram realizados em triplicada, portanto, 27 amostras foram submetidas aos testes.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados deste trabalho são apresentados e discutidos nos itens subsequentes.

4.1. CARACTERIZAÇÃO DAS PLACAS CERÂMICAS

Os resultados da caracterização das placas de porcelanato, pelos ensaios de carga de ruptura e módulo de resistência à flexão, absorção de água e resistência ao impacto pela mediação do coeficiente de restituição, determinação da análise química, determinação da análise quantitativa de fases, porosidade aparente, densidade e determinação da análise microestrutural são apresentados a seguir.

4.1.1. Carga de ruptura e módulo de resistência à flexão

Os resultados de carga de ruptura e módulo de resistência a flexão podem ser observados na Figura 35. As barras azuis representam a carga de ruptura conforme indicado pelo eixo principal à esquerda, enquanto a linha vermelha indica a resistência à flexão, representada pelo eixo secundária à direita. As barras de erro compreendem o desvio padrão de cada propriedade, calculado por meio da variação das amostras testadas.

Observa-se que as amostras apresentaram resultados de carga de ruptura e resistência à flexão de acordo com o especificado pela norma ISO 13006 (2020), superando os valores mínimos de 1500 N e 35 MPa, respectivamente.

Estatisticamente, pode-se afirmar que à medida que a espessura da amostra aumenta, há o aumento da carga de ruptura. No que se refere ao módulo de resistência à flexão, é possível afirmar que todas as amostras apresentaram resultados iguais, independente da espessura analisada, apoiando o estudo de Silva et al, (2014), que a carga de ruptura está relacionada com a composição química e composição de fases do material, quando estas forem constantes entre as espessuras, uma placa com maior espessura terá carga de ruptura mais elevada comparado com placas de menor espessura e que a resistência a flexão está relacionada com a microestrutura do material, com isso amostras com diferentes espessuras e mesma composição microestrutural tendem a ter valores semelhantes. O mesmo comportamento da carga de ruptura em relação a espessura também foi encontrado nos estudos de Abad-Coronel, *et al* (2023).



Figura 35 - Resultado de Carga de Ruptura (CR) e Resistência à flexão (MPa)

4.1.2. Absorção de água, densidade e porosidade aparente

Os resultados de absorção de água das amostras, podem ser visualizados na Figura 36. As barras azuis correspondem à absorção de água, conforme indicado pelo eixo vertical principal, enquanto a linha vermelha representa a densidade aparente do material, indicada pelo eixo vertical à direita. As barras de erro representam o desvio padrão, calculado por meio da variação da amostragem.

Observa-se que as placas apresentaram resultados muito baixos de absorção de água, com valores abaixo de 0,1%, indicando que as amostras possuem classificação Bla UGL, conforme especificação da norma ISO 13006 (2020), para tipologia porcelanato.

Além disso, pode-se afirmar que há uma leve tendência a aumentar os valores de absorção de água com a diminuição da espessura. Esse fato pode ser explicado pelas amostras de menor espessura terem sido submetidas ao processo de desgaste na superfície, causando abertura de poros na camada superficial. Isso, por sua vez, contribuiu para um aumento na porosidade aberta do material, contribuindo para um leve aumento dos valores de absorção de água, conforme está representando na Figura 07. Este resultado também foi encontrado no estudo de Wiśniewska, Pichór e Kłosek-Wawrzyn (2021), no qual foi possível confirmar que a absorção de água aumenta com o aumento da porosidade aberta total. Em relação à densidade aparente das amostras, todas apresentaram resultados semelhantes, mesmo comportamento da resistência a flexão, também encontrado no estudo de Darweesh (2019). Já no estudo de García-Tem et al (2012), foi apresentado uma relação linear ($R^2 = 0.997$) entre resistência a flexão e a densidade aparente do material.



Figura 36 - Resultado de Absorção de água (%) e Densidade aparente (g/cm³)

Fonte: Autora

Os resultados dos valores médios de porosidade aparente aberta analisada pelo método de Arquimedes podem ser visualizados na Figura 38. As barras azuis mostram a porosidade aberta em percentual, indicada pelo eixo principal. As barras de erro compreendem o desvio padrão, calculado por meio da variação da amostragem.

É possível observar que as amostras de 12 mm apresentaram maior porosidade aberta, porém estatisticamente todas as amostras apresentaram o mesmo percentual de porosidade aberta.



Figura 37 - Resultado de Porosidade Aparente Aberta (%)

Fonte: Autora

4.1.3. Coeficiente de restituição

Os resultados de coeficiente de restituição das amostras, realizado conforme a norma ABNT NBR ISO 10545 (2017), podem ser visualizados na Figura 38. As barras azuis mostram o coeficiente de restituição indicado pelo eixo principal. As barras de erro compreendem o desvio padrão, calculado por meio da variação da amostragem.

Observa-se que as placas apresentaram valores semelhantes de coeficiente de restituição, em média 0,80, mostrando estatisticamente, que para este método de ensaio as espessuras das amostras não tiveram influência no resultado de coeficiente de restituição.

Figura 38 - Resultado de Coeficiente de restituição



Fonte: Autora

Em relação à análise qualitativa, as amostras testadas não apresentaram ocorrências de falha na superfície, como podem ser observadas nas Figuras 40, 41 e 42 nos corpos de prova de tamanho 7,5x7,5 cm.

Figura 39 – Corpos de prova livres de falha da espessura 12 mm



Fonte: Autora





Fonte: Autora

Figura 41 – Corpos de prova livres de falha da espessura 20 mm



Fonte: Autora

4.1.4. Análise química

Os resultados da caracterização química das amostras estudadas encontramse na Tabela 2. Observa-se que os dados obtidos apontam uma similaridade na quantidade de óxidos presentes entre as diferentes espessuras. A composição de óxidos encontrada nas amostras é típica da produção de um porcelanato tradicional italiano, conforme estudo de Rambaldi (2021).

	C	Quantidades (%)
Óxido	12 mm	16 mm	20 mm
SiO ₂	71,4	70,98	71,31
Al ₂ O ₃	19,03	19,09	19,02
Fe ₂ O ₃	1,16	1,16	1,17
TiO ₂	0,61	0,62	0,61
CaO	0,87	0,87	0,86
MgO	0,31	0,32	0,3
Na ₂ O	3,99	4,04	4,06
K ₂ O	1,97	1,97	1,96
P ₂ O ₅	0,26	0,27	0,2
ZrO ₂	0,18	0,18	0,18
P.F.	0,06	0,11	0,12
λ			

Tabela 7 - Análise química das peças cerâmicas estudadas

Fonte: Autora

4.1.5. Análise quantitativa de fases
A análise de fases cristalinas foi realizada em três amostras de cada espessura, para avaliar possíveis influências nos resultados subsequentes, segundo Silva et al, (2014) diferentes fases cristalinas presentes em materiais cerâmicos podem influenciar nos valores de resistência, como também apresentado no estudo de e Zhuginissov et al (2023) e Wiśniewska, Pichór e Kłosek-Wawrzyn (2021). Os difratogramas correspondem a uma amostra de cada espessura e estão representados na Figura 7. É notável que as análises são semelhantes entre as amostras de cada espessura.

As análises das fases cristalinas presentes nas peças de porcelanato de cada espessura estudada são apresentadas nas Figuras 43, 44 e 45. É apresentado apenas um difratograma por espessura, pois as análises são semelhantes entre as peças, da mesma forma como foram semelhantes para as peças de cada espessura. As fases encontradas estão condizentes com a tipologia do produto porcelanato.



Figura 42 – Difratograma das amostras de espessuras 20 mm, 16 mm e 12 mm

Fonte: Autora

3.5.7 Determinação da análise microestrutural

A análise da microestrutura consistiu em analisar a sinterização do material, com isso as Figuras 44 a 52 mostram as imagens de MEV das 3 peças ensaiadas de cada espessura. Com o propósito de avaliar a sinterização do material e identificar possíveis influências nos resultados subsequentes, conforme indicado por Kizinievič et al (2015), Ge et al (2019) e Wang, Sun e Liu (2020) a microestrutura do material influencia diretamente nos resultados de resistência. As imagens obtidas por microscopia eletrônica de varredura (MEV) de uma amostra por espessura, estão representadas na Figura 5. Nas imagens da menor espessura, 12 mm, as quais foram submetidas a um maior desgaste, observa-se um aumento no diâmetro dos poros. Essa característica sugere a possibilidade de um menor grau de sinterização no centro das peças, conforme indicado no estudo de Wiśniewska, Pichór e Kłosek-Wawrzyn (2021).

Figura 43 – Imagem obtida em MEV da superfície da peça 1 de espessura de 12 mm com diferentes ampliações



Fonte: Autora

Figura 44 – Imagem obtida em MEV da superfície da peça 2 de espessura de 12 mm com diferentes ampliações



Fonte: Autora

Figura 45 – Imagem obtida em MEV da superfície da peça 3 de espessura de 12 mm com diferentes ampliações



Figura 46 – Imagem obtida em MEV da superfície da peça 1 de espessura de 16 mm com diferentes ampliações



Fonte: Autora

Figura 47 – Imagem obtida em MEV da superfície da peça 2 de espessura de 16 mm com diferentes ampliações



Fonte: Autora

Figura 48 – Imagem obtida em MEV da superfície da peça 3 de espessura de 16 mm com diferentes ampliações



Figura 49 – Imagem obtida em MEV da superfície da peça 1 de espessura de 20 mm com diferentes ampliações



Fonte: Autora

Figura 50 – Imagem obtida em MEV da superfície da peça 2 de espessura de 20 mm com diferentes ampliações



Fonte: Autora

Figura 51 – Imagem obtida em MEV da superfície da peça 3 de espessura de 20 mm com diferentes ampliações



4.2. CARACTERIZAÇÃO DOS PROTÓTIPOS

Os resultados da caracterização dos protótipos do sistema de piso elevado, através dos ensaios de impacto de corpo duro, impacto de corpo mole, carga concentrada BS EN 12825 (2001) e carga concentrada ABNT NBR 15575 (2013) estão descritos a seguir.

4.2.1. Impacto de corpo duro

A Tabela 8 apresenta os valores médios de coeficiente de restituição e fator de amortecimento dos protótipos submetidos ao ensaio de impacto de corpo duro, de acordo com a massa do corpo percursor de impacto, e em relação aos protótipos identificados como, DBS1 20, DBS1 16 e DBS1 12, correspondendo respectivamente às espessuras de 20, 16 e 12 mm. As medidas de coeficiente de restituição e fator de amortecimento são adimensionais.

Tabela 8 - Análise do coeficiente de restituição (KR) e fator de amortecimento (FA) no ensaio de impacto de corpo duro

			DBS1 12		DBS1 16		DBS1 20	
Altura (m)	Energia (J)	Massa (g)	KR	FA	KR	FA	KR	FA
0,6	1,5	250	0,11	0,13	0,20	0,11	0,32	0,08

0,6	2,1	350	Falhou	Falhou	Falhou	Falhou	0,25	0,05
0,6	3,0	500	Falhou	Falhou	Falhou	Falhou	0,14	0,04

Os protótipos com espessura de 12 mm e 16 mm apresentaram falha quando submetidos ao impacto realizado com as esferas de 350 g e 500 g. Em ambos os casos, a ruptura foi instantânea, ocorrendo na primeira queda. Desta forma, não foi possível capturar as medidas dos coeficientes de restituição e dos fatores de amortecimento para estas amostras. O protótipo com espessura de 20 mm suportou o impacto realizado com as diferentes massas. Entretanto, o protótipo apresentou falha logo após ser submetido ao terceiro impacto realizado com o corpo de 500 g. As falhas ocorridas durante os testes de impacto de corpo duro, são mostradas na Figura 52.

Figura 52 - Visualização do ensaio de impacto de corpo duro (a) DBS1 12 (b) DBS1 16 (c) DBS1 20



Fonte: Autora

Os resultados do fator de amortecimento e coeficiente de restituição dos protótipos estudados estão indicados na Figura 53. As barras azuis mostram o coeficiente de restituição indicado pelo eixo principal à esquerda, a linha vermelha indica a grandeza do fator de amortecimento de cada amostra, indicada pelo eixo secundário à direita. As barras de erro compreendem o desvio padrão de cada propriedade, calculado por meio da variação das três amostras testadas.

Na análise da Figura 53 para os impactos ocasionados com o corpo duro de 250 g, para o qual foi possível mensurar os coeficientes de restituição e fatores de

amortecimento para todas as espessuras de protótipos, é possível verificar, estatisticamente, que quanto maior a espessura do porcelanato, maior o coeficiente de restituição. Além disto, é notória a tendência linear para o aumento dos valores obtidos nos ensaios, principalmente quando avaliado também o desvio padrão das medições, no qual a variação de coeficiente de restituição, entre as amostras de cada espessura testada, é quase nula. Mueller et al (2015), em seu trabalho observaram que a espessura de uma placa é um fator significativo para os valores do coeficiente de restituição. Além disto, estes mesmos autores, mencionam que o valor do KR depende também da velocidade de impacto do corpo percursor.

Em relação ao fator de amortecimento, pode-se perceber que quanto menor a espessura do porcelanato, a tendência foi aumentar o fator de amortecimento do sistema, porém ao verificar o desvio padrão das medições, pode-se dizer que estatisticamente o fator de amortecimento é igual para todas as espessuras estudadas.



Figura 53 - Coeficiente de Restituição (KR) e Fator de Amortecimento (FA) com corpo duro de massa 250 g.

A

Figura 54 e a Figura 55 indicam os impactos ocasionados com o corpo duro de 350 g e 500 g. Para estes ensaios não foi possível mensurar resultados para os protótipos de espessura 12 mm e 16 mm, conforme mencionado anteriormente. Desta

Fonte: Autora

forma, ficando evidente que os resultados destas propriedades possuem influência do peso do corpo percursor de impacto duro.



Figura 54 - Coeficiente de Restituição (KR) e Fator de Amortecimento (FA) com corpo duro de massa 350 g.





Com isso, para a análise da influência do peso do corpo percursor de impacto na resistência ao impacto de corpo duro dos protótipos com porcelanato de espessura de 20 mm foi confeccionado o gráfico da Figura 56, sendo possível afirmar, estatisticamente, que existe uma tendência linear, quanto maior for peso do corpo percursor de impacto duro, menor é o coeficiente de restituição. Em relação ao fator de amortecimento, analisando o desvio padrão das amostras pode-se afirmar estatisticamente que o fator de amortecimento foi o mesmo, independente do peso do corpo de impacto.



Figura 56 - Coeficiente de Restituição (KR) e Fator de Amortecimento (FA) com corpo duro de massa 250g nos protótipos com porcelanato de 20 mm

Neste ensaio também foram coletadas as medidas da frequência e amplitude de impacto ocasionado por estes corpos percursores de impacto, que forma um gráfico de espectro de frequência. Os resultados estão dispostos nos gráficos a seguir, no qual as linhas mostram a amplitude, grandeza adimensional, indicada pelo eixo vertical, em cada frequência do sinal de impacto, expressa em Hz, indicado pelo eixo horizontal.

Na Figura 57 é apresentado o espectro do sinal captado do impacto do corpo duro de massa 250g sobre dos protótipos DBS1 12, DBS1 16 e DBS1 20. É possível visualizar que os sinais captados neste impacto mudam conforme a espessura do porcelanato. Para as espessuras de 12 e 16 mm é evidente a similaridade do comportamento do sinal, visto que nestes casos o corpo percursor quica na superfície

Fonte: Autora

do protótipo e logo faz com que as placas de porcelanato apresentem falha, ou seja, ocasionando a ruptura do mesmo, em uma amplitude máxima aproximada de 0,002 na frequência aproximada de 12000 Hz. Já o comportamento do protótipo com porcelanato de 20 mm apresenta um comportamento completamente diferente, no qual o corpo percursor de impacto choca várias vezes com superfície sem danificá-la, como pode ser visto pelos diversos picos de amplitude, sendo possível levantar algumas hipóteses, como por exemplo, quanto menor a amplitude nesta frequência, podem ocorrer danos na superfície dos protótipos, por amortecimento sendo resultado do dano.



Figura 57 - Espectrograma do impacto de corpo duro de massa 250g.

Fonte: Autora

O espectro da Figura 58 permite visualizar a variação do sinal de impacto dos corpos percursores de diferentes massas (250, 350 e 500 g) sobre o protótipo DBS1 20, que refere-se ao sistema de piso com porcelanato de espessura 20 mm. É possível visualizar que os sinais captados nestes impactos mudam conforme a massa do corpo percursor e é evidente a similaridade do comportamento do sinal entre os diferentes corpos percursores, porém as amplitudes são menores conforme se aumenta o peso do corpo percursor de impacto. Dessa forma, analisando a frequência aproximada de

12000 Hz, na linha do corpo duro de 500 g, a amplitude apresenta valores aproximados de 0,0002, sendo possível identificar que foi nesta medida de impacto que ocorreu a ruptura da placa de porcelanato.



Figura 58 - Espectrograma do impacto de corpo duro de massa 250g.

Em relação à avaliação dos critérios da norma BS EN 12825 (2001), a mesma solicita que o ensaio seja realizado com corpo rígido de massa 4,5 kg, porém esta massa ocasiona a falha no porcelanato do sistema de piso elevado em apenas um impacto, neste caso, nenhum dos protótipos estudados seriam aprovados.

A norma ABNT NBR 15575 (2013) exige que até 5 J de energia não se tenha ocorrência da ruptura total da camada de acabamento. Ao comparar esse padrão com os resultados dos protótipos expostos nas Figura 39 e Figura 40 pode-se afirmar que nenhum dos protótipos apresentaram desempenho mínimo exigido para utilização, visto que os protótipos DBS1 12 e DBS1 16, que correspondem respectivamente aos porcelanatos de espessura de 12 mm e 16 mm, apresentaram falha da placa de porcelanato na energia de 2,1 J, e o protótipo DBS1 20, que corresponde ao porcelanato de espessura de 20 mm, apresentou falha após a terceira medida do impacto com energia de 3 J.

4.2.2. Impacto de corpo mole

Fonte: Autora

Para a análise do ensaio de corpo mole os resultados foram separados entre análise da base do sistema de piso elevado (material polipropileno) e na análise da placa de porcelanato (material cerâmico) e as indicações referem-se a pior condição de ruptura entre os protótipos ensaiados.

A Tabela 9 apresenta as ocorrências de impacto de corpo mole no sistema de piso elevado, de acordo com a altura em que o corpo percursor de impacto foi liberado. Os protótipos identificados MBS1 20, MBS1 16 e MBS1 12 correspondem, respectivamente às espessuras de 20, 16 e 12 mm. A

Figura 59, Figura 60 e Figura 61 mostram as placas após os impactos.

Altura (m)	Energia (J)	MBS1 20	MBS1 16	MBS1 12
0,30	120	Sem falhas	Sem falhas	<i>Porcelanato: Falhou</i> Sistema: Sem falhas
0,45	180	Sem falhas	Sem falhas	-
0,60	240	Sem falhas	Sem falhas	-
0,90	360	Sem falhas	Porcelanato: Falhou Sistema: Com falhas	-
1,00	400	Sem falhas	-	-
1,20	480	Sem falhas	-	-
1,80	720	Porcelanato: Sem falhas Sistema: Colapsou	-	-
2,40	960	-	-	-

Tabela 9 - Análise Qualitativa - Impacto Corpo Mole

Fonte: Autora

Figura 59 - Visualização do ensaio de impacto de corpo mole (a) MBS1 20 porcelanato intacto e (b) MBS1 20 base do sistema colapsou



Figura 60 - Visualização do ensaio de impacto de corpo mole (a) MBS1 16 falha do porcelanato com 360 J e (b) MBS1 16 base do sistema com falhas



Fonte: Autora

Figura 61 - Visualização do ensaio de impacto de corpo mole (a) MBS1 12 falha do porcelanato com 120 J e (b) MBS1 12 base do sistema intacta



Fonte: Autora

O resultado apresentado indica que para o sistema de piso elevado MBS1 20, com porcelanato de espessura 20 mm, a base teve desempenho inferior que o porcelanato, pois a base entrou em colapso com uma energia de impacto de 720 J e o porcelanato não apresentou falhas. Para o sistema de piso elevado MBS1 16, com porcelanato de espessura 16 mm, a base e o porcelanato tiveram o mesmo desempenho, apresentando falha com energia de 360 J. Já para o sistema de piso elevado com porcelanato de espessura 12 mm, a base teve desempenho superior que o porcelanato, pois o porcelanato falhou com uma energia de impacto de 120 J e a base ficou intacta.

Os níveis de desempenho alcançados neste ensaio, conforme a norma ABNT NBR 15575 (2013), foram inferiores ao mínimo (M) para todos os sistemas de piso elevado, pois a norma exige nível mínimo de não ocorrência de falhas, para os impactos de energia de 120, 180, 240 e 360 J e não ocorrência de ruínas para os impactos de energia de 480, 720 e 960 J, o que ocorreu com o protótipo MBS1 20, de espessura 20 mm, no qual a base do sistema colapsou.

Pela norma BS EN 12825 (2001) o sistema não deve entrar em colapso com impacto de corpo mole à altura de 1 m, ou seja, com energia de impacto de 400 J, neste caso, apenas o protótipo MBS1 20, de espessura 20 mm, foi aprovado.

4.2.3. Carga concentrada ABNT NBR 15575

Para a análise deste ensaio, além da avaliação final do sistema, foram coletadas as medidas de deslocamento vertical no centro dos protótipos ao longo das aplicações de carga. As medidas de todos os protótipos ensaiados foram dispostas em um gráfico que pode ser visualizado na

Figura 62.

Figura 62 é a representação do gráfico tensão (N) x deslocamento (mm), no qual as linhas são os protótipos estudados. Nesta figura fica evidente o máximo deslocamento vertical de cada protótipo até a máxima aplicação de carga de 3000 N. Não foi possível estabelecer uma tendência devido à elevada variabilidade dos resultados apresentados entre as espessuras. Esse fator pode ser explicado, devido à conexão dos pedestais e da placa de apoio e intertravamento do sistema de piso elevado, ser realizada de forma manual, o que pode não ter sido acoplado até o último ajuste, possibilitando o deslocamento vertical entre o pedestal e a placa de apoio, fazendo com que o sistema se ajustasse com a aplicação das cargas, interferindo assim nos resultados de deslocamento.





Fonte: Autora

Para verificação do desempenho dos protótipos, conforme indicado pela norma ABNT NBR 15575 (2013), os sistemas de pisos não podem apresentar ruptura ou quaisquer outros danos, quando submetidos a cargas verticais concentradas, não podendo ainda apresentar deslocamentos verticais superiores a 2 mm. Os valores de deslocamento de acordo com a máxima carga estão resumidos na

Figura 63, na qual o eixo vertical refere-se ao deslocamento vertical e o eixo horizontal refere-se aos protótipos estudados, sendo CNBR1 12, protótipo com espessura de 12 mm, CNBR 16, com espessura de 16 mm e por último CNBR 20, com espessura de 20 mm.





Fonte: Autora

Neste caso nenhum dos protótipos estudados poderia ser aprovado com nível de desempenho mínimo (M) em relação ao deslocamento, porém, este fato pode ter sido facilitado pela dificuldade de realizar os ajustes dos pedestais e da placa de apoio com maior precisão. Todos os protótipos permaneceram intactos.

4.2.4. Carga concentrada segundo BS EN 12825

Para a análise deste ensaio, além da avaliação final do sistema, os resultados médios de cada configuração de protótipo foram anotados em gráficos tensão (N) x deformação (µm), de modo que fosse possível visualizar as deformações dos extensômetros A, B e C ao longo da aplicação de carga, em cada uma das espessuras estudadas (12, 16 e 20 mm). A carga foi aplicada nos protótipos até a falha de qualquer componente do sistema.

Na Figura 64 podem ser visualizados os resultados dos protótipos de sistema de piso elevado com porcelanato de espessuras 12, 16 e 20 mm, na configuração 01, lembrando que esta configuração é a que recebe a aplicação de carga no centro do sistema, onde este local de aplicação possui um pedestal na parte inferior da placa, ficando totalmente apoiada. Os resultados indicam que, nesta configuração, o sistema de piso elevado com maior resistência à carga foi o sistema confeccionado com porcelanato de 20 mm, depois o sistema com 16 mm e por último o sistema com 12 mm.

Em relação a deformação os resultados tiveram grande variabilidade, principalmente dos extensômetros A e B, é possível que algum dos extensômetros destas posições estivesse com algum defeito e não comunicaram o sinal de deformação corretamente, como pode ser visto no sistema CBS1 20 Ext A, no qual a linha não seguiu a mesma tendência de deformação das demais medidas. Em relação à deformação do extensômetro C, é possível perceber que as placas que mais deformaram foram as placas com espessura de 12 mm, depois 16 mm e por último 20 mm.



Figura 64 – Análise do ensaio de carga concentrada segundo BS EN 12825 -Tensão x Deformação A, B e C – Configuração 01

Na Figura 65 e na

Figura 66 podem ser visualizados os resultados dos protótipos de sistema de piso elevados com porcelanato de espessuras 12, 16 e 20 mm, nas configurações 02 e 03, respectivamente. Os resultados indicam que, nestas configurações, os sistemas de piso elevado com maior resistência à tensão foram similares à configuração 01, no qual o sistema com porcelanato de 20 mm teve maior resistência em relação ao sistema com porcelanato de 16 mm e 12 mm. Outra questão que pôde ser visualizada pela escala dos gráficos é que os resultados dos sistemas na configuração 02 tiveram as menores resistências em relação às configurações 01 e 03.

Em relação à deformação, os resultados também tiveram grande variabilidade, como na configuração 01, os extensômetros A e B tiveram medidas com certa instabilidade, como pode ser visto nas linhas do sistema CBS2 20 Ext. A, CBS2 20 Ext. B e CBS3 20 Ext. B. Em relação às medidas do extensômetro C é possível

perceber que os porcelanatos de todas as espessuras tiveram deformação próximas na configuração 02, já na deformação 03 tiveram comportamento similar com a configuração 01, porém com valores menores.







Figura 66 – Análise do ensaio de carga concentrada segundo BS EN 12825 -Tensão x Deformação A, B e C – Configuração 03

A Figura 67 representa os resultados de tensão relacionada com a posição da carga das configurações estudadas, sendo que as barras azuis mostram a tensão máxima resistida pelo sistema. A identificação da configuração dos protótipos e a identificação das falhas estão indicadas no eixo horizontal, sendo que as falhas da placa de porcelanato estão identificadas como PP e a falha da base do sistema de piso elevado está identificada como SPE. As barras de erro compreendem ao desvio padrão, calculado por meio da variação das três amostras testadas. Foram retiradas as medidas identificadas com algum possível erro de leitura dos extensômetros.



Figura 67 – Análise do ensaio de carga concentrada segundo BS EN 12825 – Configuração dos protótipos em relação à Tensão e Deformação A, B e C

Fonte: Autora

Nas configurações 01 e 03, foi observada leve tendência a uma maior resistência à ruptura do sistema, o que pode ser verificado a partir dos valores mais elevados de tensão nestas posições. Ao analisar as barras de erro, definidas pelo desvio padrão médio da amostra, fica constatado estatisticamente que a tensão de ruptura é igual nas configurações 01 e 03, exceto para a espessura de 12 mm que as resistências foram similares entre as configurações, o que pode ser explicado pelo fato de que a configuração 01 possuir uma área total de apoio de um pedestal sob a carga e na configuração 03 possuir metade da área de apoio de um pedestal sob a carga. Enquanto, na configuração 02, não há nenhum componente de apoio sob a carga, demonstrando que esta configuração realmente é a mais frágil do sistema.

Na análise do protótipo CBS2 20, da configuração 02, é de grande importância observar a análise qualitativa representada no eixo horizontal da Figura 67. Este protótipo apresentou comportamento distinto em relação aos demais protótipos. Houve falha na base do sistema (material polimérico) antes da ruptura do porcelanato (material cerâmico), o qual ficou intacto, como pode ser visualizado na Por outro lado, nos protótipos CBS1 20 e CBS3 20, pertencentes às configurações 01 e 03, foi notável apenas ocorrência de flexão nas placas.

Ao comparar a curva tensão-deformação deste protótipo com os estudos de Asfaw, et al (2020) e Xu, et al (2019) que analisaram curvas tensão-deformação de barras de ligas metálicas e compósitos, os resultados ficaram diferentes, já que não se trata do mesmo tipo de material.

O comportamento da flambagem do tudo de polipropileno do sistema de piso elevado também é um fator de importante análise, com o estudo de Damanpack, Bodaghi e Liao (2018), Ostrowski, Dudek e Sadowski (2020) e Sun, et al (2021) e que analisaram a flambagem sob compressão axial de tubos de ligas metálicas, os resultados da análise visual da flambagem apresentaram semelhanças, porém na visualização da curva de tensão-deformação, não ocorreu similaridade

Por outro lado, nos protótipos CBS1 20 e CBS3 20, pertencentes às configurações 01 e 03, foi notável apenas ocorrência de flexão nas placas.

Figura 68 – Visualização do ensaio de carga concentrada segundo BS EN 12825 (a) DBS1 20 (b) DBS2 20 vista de frente (b) DBS2 20 vista de cima



Fonte: Autora

Na análise do deslocamento vertical sofrido pelos protótipos os resultados foram apontados em gráficos tensão (N) x deslocamento (mm), de modo que fosse

possível visualizar o deslocamento, ao longo da aplicação de carga, em cada uma das espessuras estudadas (12, 16 e 20 mm). É indicada uma medida de deslocamento, por espessura, pois foi inserido apenas um LVDT para registro dos valores desta característica.

Na Figura 69 pode, ser visualizado os resultados dos protótipos de sistema de piso elevados com porcelanato de espessuras 12, 16 e 20 mm. Na configuração 01, os resultados indicam que quanto menor a espessura do porcelanato, maior o deslocamento vertical do sistema. Este fato pode ter influência do peso da placa de porcelanato, pois quanto maior a espessura do porcelanato, maior o peso do mesmo, fazendo com que a placa fique mais ajustada sobre os apoios do sistema.





Fonte: Autora

Na Figura 70 e na Figura 71 constam os resultados de deslocamento vertical dos protótipos com porcelanato de espessuras 12, 16 e 20 mm, nas configurações 02 e 03. Os resultados indicam que o deslocamento vertical do sistema nas configurações 02 e 03 teve a mesma tendência que a configuração 01, no qual os protótipos com porcelanatos de menor espessura tiveram maior deslocamento vertical.

Figura 70 – Análise do ensaio de carga concentrada segundo BS EN 12825 -Tensão x Deslocamento Vertical – Configuração 02



Figura 71 – Análise do ensaio de carga concentrada segundo BS EN 12825 -Tensão x Deslocamento Vertical – Configuração 03



Com os valores apresentados pode-se dizer que quanto maior a espessura do porcelanato, maior a carga suportada pelo sistema de piso elevado e menor é a deformação da placa e menor deslocamento vertical do sistema.

Os critérios da norma BS EN 12825 (2001) indicam que os sistemas de piso elevado devem apresentar tensão de ruptura mínima maior ou igual a 4000 N e deslocamento vertical máximo de 4 mm. Mesmo assim, esses valores podem variar conforme a classe do sistema, indicada na Tabela 11.

norma BS EN 12825 (2001) estabelece que sistemas de piso elevado devem apresentar tensão de ruptura mínima igual ou superior a 4000 N e um deslocamento vertical máximo de 4 mm. No entanto, os protótipos do sistema de piso elevado com porcelanato de 12 mm de espessura não atenderam a essa norma, já que sua tensão de ruptura ficou abaixo de 4000 N. Por outro lado, nos sistemas com porcelanato de 16 mm e 20 mm de espessura, todos os protótipos foram aprovados, uma vez que cumpriram os requisitos. No que diz respeito à deflexão, os deslocamentos verticais em cada sistema foram inferiores a 2,5 mm, levando a uma aprovação geral. Com base nisso, o sistema CBS 16 foi classificado como 2A e o sistema CBS 20 como 5A, de acordo com a classificação prevista nessa norma.

Cla	asse de Resistência	Clas	sse de Deflexão
Classe	Tensão de Ruptura (N)	Classe	Deslocamento (mm)
1	≥ 4000	А	≤ 2,5
2	≥ 6000	В	≤ 3,0
3	≥ 8000	С	≤ 4,0
4	≥ 9000		
5	≥ 10000		
6	≥ 12000		

Fonte: Autora

Um dos propósitos de classificar os sistemas de piso elevado pela norma BS EN 12825 (2001) está relacionado com o fato de que esta norma traz a informação sobre a tensão de trabalho do sistema, ou seja, as solicitações do local em que o sistema será utilizado não devem exceder a tensão de trabalho.

Dessa forma, a tensão de trabalho é a tensão de ruptura dividida pelo fator de segurança, conforme Eq.9. A norma indica dois valores de fator de segurança, 2,0 e

3,0. Com isso é possível relacionar as solicitações do local em que o sistema será instalado com a tensão de ruptura.

$$Tensão \ de \ trabalho = \frac{Tensão \ de \ ruptura}{Fator \ de \ Segurança}$$
Eq. 8

Diante disso, para verificação se o sistema poderá ser utilizado em determinados lugares, deve-se verificar quais as solicitações de trabalho requeridas pelo sistema.

A seguir, as tabelas apresentadas indicam os resultados da análise de variância (ANOVA) realizada para avaliar a influência das variáveis independentes (configuração, espessura e interação entre elas) na variável dependente (tensão máxima suportada, deformação do extensômetro A e deformação do extensômetro B). Optou-se por trabalhar com nível de significância de 95%, ou seja, sempre que o valor "P" obtido na ANOVA for inferior a 0,05 será considerado que a variável de resposta influenciou de forma significativa no resultado do ensaio.

Dentre os principais pontos a serem avaliados na ANOVA pode-se citar o valor de F (fator de Fisher) que é calculado pela divisão entre os quadrados médios para o modelo (*mean squares for the model, MSm*) e os quadrados médios residuais (*residual mean squares, MSr*). Já o valor de "p", de um ponto de vista mais prático, pode-se afirmar que representa a chance ou a probabilidade do efeito (ou da diferença) observada entre os tratamentos/categorias ser devido ao acaso, e não aos fatores que estão sendo estudados. Como toda probabilidade, o valor de "p" irá variar entre 0 e 1. Já o parâmetro R², representa a proporção da variabilidade na variável resposta explicada pela variável preditora ou variável explanatória. Também conhecido como coeficiente de determinação. Além disso, ele dá uma ideia de quão bem se pode predizer a variável resposta a partir da(s) variável(eis) preditora(s) (PADOVANI, 2014).

Na Tabela 12, é possível afirmar com 95% de confiança que a espessura do porcelanato influencia os resultados da tensão máxima suportada, pois o valor de P foi inferior a 0,05. Por outro lado, as variáveis configuração e interação configuração e espessura não apresentaram influência significativa nos resultados.

Fonte	DF	SS	MS	F	Р
Configuração	1	1153,86	1153,86	0,05	0,840
Espessura	1	747748,73	747748,73	31,48	0,011
Configuração x Espessura	1	1226,49	1226,49	0,05	0,835
Erro	3	71264,31	23754,77		
Total	6	821393,40			
R ²	91,30%				
Fonto: Autoro					

Tabela 11 - Análise de variância – ANOVA – Tensão Máxima

Com a análise da Tabela 12 e da Tabela 13, os valores de P foram maiores do que 0,05 em todas as variáveis independentes, o que significa que não há influência significativa da configuração, espessura e interação configuração e espessura nos resultados de deformação dos extensômetros A e B, respectivamente.

É importante ressaltar que foram observados problemas de comunicação nos sinais de deformação em alguns protótipos, o que pode ter afetado os resultados obtidos em alguns casos. No entanto, mesmo considerando esses problemas, os resultados da ANOVA não foram significativamente afetados.

Fonte	DF	SS	MS	F	Р
Configuração	1	8931,37	8931,37	5,03	0,111
Espessura	1	10906,23	10906,23	6,14	0,089
Configuração x Espessura	1	4429,87	4429,87	2,49	0,212
Erro	3	5331,18	1777,06		
Total	6	29598,64			
R ²	81,98%				
Fonte: Autora					

Tabela 12 - Análise de variância - ANOVA - Deformação Ext. A

Fonte: Autora

Fonte	DF	SS	MS	F	Р

Configuração	1	717,49	717,49	0,16	0,716
Espessura	1	5924,45	5924,45	1,33	0,333
Configuração x Espessura	1	7,68	7,68	0,00	0,970
Erro	3	13413,15	4471,05		
Total	6	20062,78			
R ²	33,14%				

A Tabela, mostra que deformação do Ext. C, a espessura do porcelanato afeta significativamente os resultados, enquanto a configuração do local onde a carga é aplicada e a interação entre configuração e espessura não têm impacto significativo.

Tabela 14 - Análise de variância - ANOVA - Deformação Ext. C

Fonte	DF	SS	MS	F	Р
Configuração	1,00	29	28,62	0,03	0,878
Espessura	1,00	14008	14008,29	13,60	0,035
Configuração x Espessura	1,00	3412	3412,16	3,31	0,166
Erro	3,00	3090	1030,05		
Total	6,00	20539			
R ²	84,95%				
— . . .					

Fonte: Autora

A Tabela 15, demonstra que para o deslocamento vertical, nenhum dos fatores (espessura, configuração e interação entre configuração e espessura) tem impacto significativo nos resultados.

Tabela 15	- Análise de	variância -	ANOVA -	Deslocamento	vertical
-----------	--------------	-------------	---------	--------------	----------

Fonte	DF	SS	MS	F	Р
Configuração	1	0	0,00	0,00	0,960
Espessura	1	2	2,27	3,58	0,155
Configuração x Espessura	1	0	0,11	0,17	0,706
Erro	3	2	0,64		
Total SS	6	4			
R ²	55,60%				
Fonte: Autora					

Os resultados da tensão de ruptura dos protótipos de piso elevado com placas de porcelanato e da tensão de ruptura das placas de porcelanato independes do sistema de piso elevado, podem ser visualizados na Figura 72. As barras azuis representam a tensão máxima de ruptura das placas de porcelanato independentes e as barras em vermelho, referem-se a tensão máxima de ruptura dos protótipos de piso elevado completos. As barras de erro, compreendem o desvio padrão, calculado por meio da variação dos resultados da amostragem.

É possível perceber que o sistema polimérico pouco contribui para o aumento da resistência do conjunto, é visível que há uma tendência de que ocorra o incremento da resistência quando comparado a resistência da peça cerâmica, mas este é tão pequeno, que ao considerar o desvio padrão das medidas, representado pelas barras de erro, não se pode afirmar, estatisticamente, que a base do sistema de piso elevado afeta a resistência do conjunto do sistema. Portanto, pode-se comprovar que a resistência do conjunto do sistema de pisos elevado é igual a resistência das placas cerâmicas, através do fator de correlação 0,999 calculado através do coeficiente de correlação de Pearson (r), o que significa que as duas séries estão perfeitamente correlacionadas de forma positiva.



Figura 72 – Correlação da tensão de ruptura das placas cerâmicas e da tensão de ruptura do sistema de piso elevado

Fonte: Autora

A equação linear y = 4009,8x - 632,21 indica que a carga de ruptura das placas aumenta em cerca de 4009,8 unidades para cada unidade de aumento de espessura. Já a equação linear y = 4498,7x - 1004,9 indica que a carga de ruptura dos protótipos aumenta em cerca de 4498,7 unidades para cada unidade de aumento na espessura. Dessa forma, é possível constatar que a carga de ruptura é influenciada pela espessura. Quanto maior a espessura, maior é a carga de ruptura, o que sugere que o material se torna mais resistente conforme a espessura aumenta.

Além disso, com a determinação destas equações, é possível fazer previsões sobre a carga de ruptura esperada para diferentes valores de espessura, como por exemplo, para determinar a carga de ruptura esperada, da placa isolada como no protótipo, para uma espessura de 10 mm, nas mesmas condições das espessuras estudadas, é necessário substituir o valor de x na equação correspondente para obter o valor de y, que representa a carga de ruptura esperada. Com isso, pode-se visualizar na Tabela **15**17, os valores de carga de ruptura para espessuras de 8 e 10mm.

Espessura	CR (N)	CR (N)
	Placas isoladas	Protótipos
8 mm	2575,6	2594,1
10 mm	3377.6	3493.8
	0011,0	0.00,0

Tabela 16 - Carga de ruptura esperada para diferentes valores de espessura, conforme equações lineares

Fonte: Autora

Com essas previsões, torna-se possível avaliar o desempenho esperado do material em diferentes espessuras e assim, realizar a especificação adequada para a aplicação desejada, garantindo que a espessura escolhida atenda aos requisitos de resistência necessários.

Como análise geral dos resultados apresentados, é possível afirmar que, estatisticamente, a disposição dos pedestais utilizados no sistema, é suficiente para garantir homogeneidade da resistência do sistema de piso elevado e que a espessura das placas cerâmicas interfere na carga máxima, sendo constatado que a espessura da peça não contribui para a deformação do sistema de forma significativa, provavelmente devido a característica dos materiais cerâmicos serem rígidos e pouco deformáveis. Sendo assim a deformação do sistema está muito mais relacionada ao sistema de piso elevado composto basicamente por materiais poliméricos e, portanto, flexíveis, do que ao corpo cerâmico (COLLINI; CARFAGNI, 2014. CALLISTER JR, 2020. HASSAN; KURGAN, 2020).

5. CONCLUSÃO

As análises dos sistemas de piso elevado estudados, indicaram que as espessuras do porcelanato técnico, interferem diretamente na resistência do piso elevado e que a disposição dos pedestais utilizados no sistema, é suficiente para garantir homogeneidade desta resistência, ou seja, o local de aplicação da força, não interferiu na carga máxima suportada pelo sistema.

Por meio das análises estatísticas, foi possível afirmar que o aumento da espessura das placas proporcionou o aumento da tensão suportada pelo sistema, fazendo com que as placas de porcelanato sejam aptas para uso no sistema de piso elevado, porém o que determinará sua utilização, serão as solicitações requeridas pelo local de uso do sistema.

A caracterização dos sistemas de piso elevado, permitiu determinar que os sistemas estudados não atendem as normas ABNT NBR 15575 (2013) e BS EN 12825 (2001). No teste de resistência ao impacto de corpo duro, todos os protótipos foram reprovados em ambas as normas. Na resistência ao impacto de corpo mole apenas o protótipo com porcelanato de espessura 20 mm foi aprovado na norma BS EN 12825 (2001) e os demais protótipos reprovados em ambas as normas. Na resistência a carga concentrada, pela norma NBR 15575 (2013), o teste foi inconclusivo, devido ao encaixe manual do sistema e pela norma BS EN 12825 (2001), apenas os protótipos com porcelanatos de espessura 16 e 20 mm foram aprovados. Entretanto as exigências destas normas, podem não ser a mais adequadas para limitar a aplicação de materiais cerâmicos nestes sistemas.

Por fim, a resistência suportada pelos sistemas de piso elevado foi similar a resistência das placas de porcelanato, sendo estas determinantes para a especificação de uso destes sistemas.

Dessa forma, entende-se que o presente estudo, não só contribuiu para determinar que a espessura ideal dos porcelanatos especificados para uso em sistemas de piso elevado, dependerá do local que o sistema será instalado, mas também como indicador da necessidade de criação de norma brasileira específica para sistemas de piso elevado com aplicação de materiais cerâmicos.

104

6. SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS

- Reproduzir o estudo inserindo a medição da deflexão e módulo de elasticidade versus espessura;
- Reproduzir o estudo com as placas soltas ao invés de fixadas nos sistemas, eliminando uma possível interferência de deflexão;
- Reproduzir o estudo com outros revestimentos cerâmicos e espessuras;
- Estudar a influência da altura dos pedestais na resistência de sistemas de pisos elevados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABAD-CORONEL, Cristian; PALADINES, Ángeles; ULLOA, Ana Liz; PALTÁN, César A.; FAJARDO, Jorge I. **Comparative Fracture Resistance Analysis of Translucent Monolithic Zirconia Dioxide Milled in a CAD/CAM System**. Ceramics, [S.L.], v. 6, n. 2, p. 1179-1190, 31 maio 2023. MDPI AG. http://dx.doi.org/10.3390/ceramics6020071.

AHMAD, Shafi; GOGA, Geetesh; MOHAN, Ravindra. **Predicting the thermal comfort** of occupants in an indoor auditorium space with different UFAD ventilation arrangements. Materials Today: Proceedings, [S.L.], v. 80, p. 62-69, 2023. http://dx.doi.org/10.1016/j.matpr.2022.10.115.

ASFAW, Amedebrhan M.; SHERIF, Muhammad M.; XING, Guohua; OZBULUT, ARYAEI, A; HASHEMNIA, K; JAFARPUR, K. 2010. **Experimental and numerical study of ball size effect on restitution coefficient in low velocity impacts**. International Journal of Impact Engineering. https://doi.org/10.1016/j.ijimpeng.2010.04.005

Osman E. Experimental Investigation on Buckling and Post-buckling Behavior of Superelastic Shape Memory Alloy Bars. Journal Of Materials Engineering And Performance, [S.L.], v. 29, n. 5, p. 3127-3140, 29 abr. 2020. Springer Science and Business Media LLC.

ASMATULU, R. Nanocoatings for corrosion protection of aerospace alloys. Corrosion Protection And Control Using Nanomaterials, [S.L.], p. 357-374, 2012. Elsevier. http://dx.doi.org/10.1533/9780857095800.2.357.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15575**. **Coletânea de normas técnicas: Edificações habitacionais — Desempenho**. Rio de Janeiro. ABNT, 2013. 32p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR ISO 10545. Placas cerâmicas. Parte 3: Determinação da absorção de água, porosidade aparente, densidade relativa aparente e densidade aparente. Rio de Janeiro. ABNT, 2020. 9p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR ISO 10545. Placas cerâmicas. Parte 4: Determinação da carga de ruptura e módulo de resistência à flexão. Rio de Janeiro. ABNT, 2020. 9p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR ISO 10545. Placas cerâmicas. Parte 5: Determinação da resistência ao impacto pela medição do coeficiente de restituição**. Rio de Janeiro. ABNT, 2017. 13p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 11802: Pisos** elevados. 1 ed. Rio de Janeiro: Abnt, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR ISO 12677. Análise química de produtos refratários por fluorescência de raios X (XRF) — Método do corpo de prova fundido**. Rio de Janeiro. ABNT, 2014. 84p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR ISO 13006. Placas Cerâmicas – Definições, Classificação, Características e Marcação**. Rio de Janeiro. ABNT, 2020. 53p.

BAUMAN, FS. Underfloor Air Distribution (UFAD) **Design Guide**. ASHRAE Journal, 2003.

BUROV, E.B. Plate **Rheology and Mechanics. Treatise On Geophysics**, [S.L.], p. 95-152, 2015. Elsevier. http://dx.doi.org/10.1016/b978-0-444-53802-4.00112-3.

CACCIA, Camila Schmitt. **Placas cerâmicas para revestimento: planilha eletrônica para auxílio na especificação**. 2012. 84 f. Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

CALLISTER JR., William D; RETHWISCH, David G. **Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução. Livros Técnicos e Científicos**. 10.ed. Rio de Janeiro: LTC, 2020. 701 p.

CHAWLA, Krishan K. **Composite Materials**, [S.L.], 2019. Springer International Publishing. http://dx.doi.org/10.1007/978-3-030-28983-6.

CHEN, Meng; ZHANG, Zhongbin; DENG, Qingqing; FENG, Yanzhen; WANG, Xiaolin. **Optimization of underfloor air distribution systems for data centers based on orthogonal test method: a case study**. Building And Environment, [S.L.], v. 232, p. 110071, mar. 2023. http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2023.110071.

COLLINI, Luca; CARFAGNI, Gianni Royer. **Flexural strength of glass–ceramic for structural applications**. Journal Of The European Ceramic Society, [S.L.], v. 34, n. 11, p. 2675-2685, set. 2014. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2013.10.032.

CSTB. Revêtements de sol céramiques - Spécifications techniques pour le classement UPEC. v. 92, 26 p. 2018

DARWEESH, H.H.M. Recycling of glass waste in ceramics—part I: physical, mechanical and thermal properties. SN Appl. Sci. 1, 1274 (2019). https://doi.org/10.1007/s42452-019-1304-8

DONDI, Michele; RAIMONDO, Mariarosa; ZANELLI, Chiara. **Clays and bodies for ceramic tiles: reappraisal and technological classification.** Applied Clay Science, [S.L.], v. 96, p. 91-109, jul. 2014. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.clay.2014.01.013.

DONDI, M. *et al.* **Resistance to impact of porcelain stoneware tiles**. Ceramics International, [S.L.], v. 42, n. 5, p. 5731-5736, abr. 2016. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.ceramint.2015.12.104.

ENRÍQUEZ, E. *et al.* Absence of surface flaking in hierarchical glass-ceramic coating: high impact resistant ceramic tiles. Journal Of The European Ceramic Society, [S.L.], v. 39, n. 14, p. 4450-4456, nov. 2019. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2019.05.047.

FAN, Yaming; LI, Xiangdong; ZHENG, Minfeng; WENG, Rengui; TU, Jiyuan. Numerical Study on Effects of Air Return Height on Performance of an Underfloor Air Distribution System for Heating and Cooling. Energies, [S.L.], v. 13, n. 5, p. 1070, 1 mar. 2020. MDPI AG. http://dx.doi.org/10.3390/en13051070

FARZAD, Mahsa; SHAFIEIFAR, Mohamadreza; AZIZINAMINI, Atorod. **Experimental** and numerical study on an innovative sandwich system utilizing UPFRC in bridge applications. Engineering Structures, [S.L.], v. 180, p. 349-356, fev. 2019. http://dx.doi.org/10.1016/j.engstruct.2018.11.052

GAO, Yang; LIU, Jinxiang; YUAN, Xiaolei; ZHANG, Kai; YANG, Yujia; WANG, Yu. **Air-conditioning system with underfloor air distribution integrated solar chimney in data center**. Procedia Engineering, [S.L.], v. 205, p. 3420-3427, 2017. http://dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2017.09.852

GARCÍA-TEN, J.; SABURIT, A.; BERNARDO, E.; COLOMBO, P. **Development of lightweight porcelain stoneware tiles using foaming agents**. Journal Of The European Ceramic Society, [S.L.], v. 32, n. 4, p. 745-752, abr. 2012. http://dx.doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2011.10.028.

GE, Xuexiang; ZHOU, Mingkai; WANG, Huaide; CHEN, Lishun; LI, Xian; CHEN, Xiao. **Effects of flux components on the properties and pore structure of ceramic foams produced from coal bottom ash**. Ceramics International, [S.L.], v. 45, n. 9, p. 12528-12534, jun. 2019. http://dx.doi.org/10.1016/j.ceramint.2019.03.190.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. **Fundamentos Física**: gravitação, ondas e termodinâmica. 10. ed. Rio de Janeiro: Ltc, 2016. 643 p.

HASSAN, Ahmed Hassan Ahmed; KURGAN, Naci. **Bending analysis of thin FGM skew plate resting on Winkler elastic foundation using multi-term extended Kantorovich method**. Engineering Science and Technology, An International Journal, [S.L.], v. 23, n. 4, p. 788-800, ago. 2020. http://dx.doi.org/10.1016/j.jestch.2020.03.009.

HASTIE, D. B. 2013. Experimental measurement of the coefficient of restitution of irregularshaped particles impacting on horizontal surfaces. Chemical Engineering Science. https://doi.org/10.1016/j.ces.2013.07.010

HBM. **HBM Catman Easy**: Software. Disponível em: https://www.hbm.com/. Acesso em: 11 nov. 2022.
HLOSTA, J.; ZUROVEC, D.; ROZBROJ, J.; RAMÍREZ-GÓMEZ, A.; NECAS, J.; ZEGZULKA, J. 2018. **Experimental determination of particle-particle restitution coefficient via double pendulum method**. Chemical Engineering Research and Design. https://doi.org/10.1016/j.cherd.2018.05.016

HUANG, Zhongwei et al. Theoretical Basis of Abrasive Jet. Abrasive Water Jet Perforation And Multi-Stage Fracturing, [S.L.], p. 1-62, 2018. Elsevier. http://dx.doi.org/10.1016/b978-0-12-812807-7.00001-7.

IDALÊNCIO, Guilherme Farias et al. **Raised Floor Systems with Ceramic Tiles. U.Porto Journal Of Engineering**, [S.L.], v. 8, n. 6, p. 13-27, 28 nov. 2022. University of Porto. http://dx.doi.org/10.24840/2183-6493_008.006_0002.

INTERNATIONAL STANDARD . ISO 48-2: Rubber, vulcanized or thermoplastic — Determination of hardness — Part 2: Hardness between 10 IRHD and 100 IRHD. 1 ed. Switzerland: ISO, 2018.

ILÇE, Abdullah Cemil; BOZDAYI, Ayşe Müge; USTA, İlker. **The investigation of the raised floor panels from the aspect of physical characteristics**. Technology, Ankara, v. 2, n. 12, p. 117-128, jan. 2019.

JIN, Chaoqiang; BAI, Xuelian; YANG, Chao. Effects of airflow on the thermal environment and energy efficiency in raised-floor data centers: a review. Science Of The Total Environment, [S.L.], v. 695, p. 133801, dez. 2019. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.133801.

KIM, Dong-Woo; JOE, Goo-Sang; PARK, Sang-Hoon; YEO, Myoung-Souk; KIM, Kwang-Woo. **Experimental Evaluation of the Thermal Performance of Raised Floor Integrated Radiant Heating Panels**. Energies, [S.L.], v. 10, n. 10, p. 1632, 17 out. 2017. http://dx.doi.org/10.3390/en10101632.

KITAGAWA, Haruka; ASAWA, Takashi; RIO, Maria Alejandra del; KUBOTA, Tetsu; TRIHAMDANI, Andhang Rakhmat. **Thermal energy simulation of PCM-based radiant floor cooling systems for naturally ventilated buildings in a hot and humid climate**. Building And Environment, [S.L.], v. 238, p. 110351, jun. 2023. http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2023.110351.

KIZINIEVIč, Olga; BALKEVIčIUS, Valdas; PRANCKEVIčIENė, Jolanta; KIZINIEVIč, Viktor. Analysis of the effect of syenite alkali aluminium concentrate (SAAC) on the properties of ceramic products containing the centrifugation waste of a mineral wool melt. Ceramics International, [S.L.], v. 41, n. 9, p. 11234-11241, nov. 2015. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.ceramint.2015.05.074.

LAMNINI, Soukaina; PUGLIESE, Diego; BAINO, Francesco. Zirconia-Based Ceramics **Reinforced by Carbon Nanotubes: a review with emphasis on mechanical properties**. Ceramics, [S.L.], v. 6, n. 3, p. 1705-1734, 6 ago. 2023. MDPI AG. http://dx.doi.org/10.3390/ceramics6030105.

LIN, Y.J.P.; LINDEN, P.F. **A model for an underfloor air distribution system**. Energy and Buildings, [S.L.], v. 37, n. 4, p. 399-409, abr. 2005. http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2004.07.011

LIU, Dong et al. Towards understanding the influence of porosity on mechanical and fracture behaviour of quasi-brittle materials: experiments and modelling. International Journal Of Fracture, [S.L.], v. 205, n. 1, p. 57-72, 12 jan. 2017. Springer Science and Business Media LLC. http://dx.doi.org/10.1007/s10704-017-0181-7.

MACELROY, W.P. WINTERBOTTOM, D. **Up on a pedestal.** Landscape Architecture, Jan, 2000. n.79. Pages 78-80.

MONFORT, E. et al. **Ceramic Manufacturing Processes**. Comprehensive Materials Processing, [S.L.], p. 71-102, 2014. Elsevier. http://dx.doi.org/10.1016/b978-0-08-096532-1.00809-8.

MORRELL R., Handbook of Properties of Technical & Engineering Ceramics - An Introduction for the Engineer and Designer, Her Majesty's Stationery Office, 1985.

MUELLER, P.; BOETTCHER, R.; RUSSELL, A.; TRUEE, M.; TOMAS, J. 2015. A novel approach to evaluate the elastic impact of spheres on thin plates. Chemical Engineering Science. https://doi.org/10.1016/j.ces.2015.08.056

NI. **LabView**: software. Software. Disponível em: https://www.ni.com/pt-br.html. Acesso em: 11 nov. 2022.

NORMA EUROPÉIA: **BS-EN 12825:2001: Raised access floors**. Londres BSI. 2001. 36p.

OLESEN, B.W. Radiant floor heating in theory and practice. ASHRAE Journal. 2002, 44, 19.

OLIVEIRA, André de. Adição de amortecimento estrutural usando materiais viscoelásticos. 2006. 165 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestre em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

OLIVEIRA, Antonio Pedro Novaes de; HOTZA, Dachamir. **Tecnologia de fabricação de revestimentos cerâmicos**. Editora da UFSC, 2015.

OSTROWSKI, Krzysztof; DUDEK, Mateusz; SADOWSKI, Łukasz. **Compressive** behaviour of concrete-filled carbon fiber-reinforced polymer steel composite tube columns made of high performance concrete. Composite Structures, [S.L.], v. 234, p. 111668, fev. 2020. http://dx.doi.org/10.1016/j.compstruct.2019.111668.

PADOVANI, Carlos Roberto (ed.). **Delineamento de Experimentos**. São Paulo, Brazil: UNESP, 2014. 128 p.

PADILHA, Angelo Fernando. **Engenharia de Materiais: microestrutura e propriedades**. São Paulo: Hemus, 1997. 349 p.

PASUT, Wilmer; BAUMAN, Fred; CARLI, Michele de. **The use of ducts to improve the control of supply air temperature rise in UFAD systems: cfd and lab study.** Applied Energy, [S.L.], v. 134, p. 490-498, dez. 2014. http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.08.002.

PEREIRA, A. H. A. *et al.* Algoritmo para determinação do amortecimento de materiais cerâmicos pela técnica das freqüências naturais de vibração via excitação por impulso. Cerâmica, São Carlos, v. 58, n. 0, p. 229-237, 2012.

PFEIFER, Michael. Material Properties and Materials Science. Materials Enabled Designs, [S.L.], p. 59-114, 2009. Elsevier. http://dx.doi.org/10.1016/b978-0-7506-8287-9.00004-5.

QIN, Chao; FANG, Hong-Qiang; WU, Shi-Hai; LU, Wei-Zhen. **Establishing multicriteria optimization of return vent height for underfloor air distribution system**. Journal Of Building Engineering, [S.L.], v. 57, p. 104800, out. 2022. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.jobe.2022.104800.

RAFTERY, Paul; BAUMAN, Fred; SCHIAVON, Stefano; EPP, Tom. Laboratory testing of a displacement ventilation diffuser for underfloor air distribution systems. Energy And Buildings, [S.L.], v. 108, p. 82-91, dez. 2015. http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.09.005.

RAMBALDI, Elisa. **Pathway towards a high recycling content in traditional ceramics**. Ceramics, v. 4, n. 3, p. 486-501, 2021. https://doi.org/10.3390/ceramics4030036.

REMASTER, 2017, **Sistemas Construtivos: Piso elevado**. Revista Téchne. Agosto de 2017. Páginas 34-36.

REMASTER, 2021. Fabricante de piso elevado. Disponível em: https://www.remaster.com.br/sistema-do-piso. Acesso em 31 de março de 2021

SCHIAVON, Stefano; LEE, Kwang Ho; BAUMAN, Fred; WEBSTER, Tom. **Influence of raised floor on zone design cooling load in commercial buildings**. Energy And Buildings, [S.L.], v. 42, n. 8, p. 1182-1191, ago. 2010. http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2010.02.009.

SELIMEFENDIGIL, Fatih; ÖZTOP, Hakan F.; DORANEHGARD, Mohammad Hossein. Impacts of elasticity and porosity of the channels on the performance features of thermoelectric module mounted system and efficient computations with multi-proper orthogonal decomposition approach. Journal Of The Taiwan Institute Of Chemical Engineers, [S.L.], v. 124, p. 359-368, jul. 2021. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.jtice.2021.02.022

SILVA, Andre L.; FELTRIN, Jucilene; BÓ, Marcelo dal; BERNARDIN, Adriano M.; HOTZA, Dachamir. **Effect of reduction of thickness on microstructure and properties of porcelain stoneware tiles**. Ceramics International, [S.L.], v. 40, n. 9, p. 14693-14699, nov. 2014. http://dx.doi.org/10.1016/j.ceramint.2014.05.150.

SILVA, Edson Vinícius Garcia da; NOVAK, Paulo Rogério. Determinação do amortecimento de materiais por meio da técnica de excitação por impulso. Pato Branco: Utfpr, 2015. 10 p

SRIVASTAVA, Shashank Kumar et al. **Existence of advanced ceramic materials in** human life. Advanced Ceramics for Versatile Interdisciplinary Applications, [S.L.], p. 1-14, 2022. Elsevier. http://dx.doi.org/10.1016/b978-0-323-89952-9.00013-0.

STANDARD BRITISH: BS-EN 12825:2001: **Raised access floors**. London BSI. 2001. 36p.

SUN, Zhi-Chao; CAO, Jing; HUANG, Long; YIN, Zhi-Kun; ZHENG, Li-Shuang. Buckling behavior of AA6061 circular tube under axial compression by considering contact condition of tube end. International Journal Of Lightweight Materials And Manufacture, [S.L.], v. 4, n. 3, p. 383-392, set. 2021. http://dx.doi.org/10.1016/j.ijlmm.2021.06.001.

SCIENCEDIRECT. Journals & Books. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/. Acesso em: 16 nov. 2022.

VAN VLACK, Lawrence H. **Princípios de ciência e tecnologia dos materiais.** Rio de Janeiro: Campus, 1984. 567 p.

WANG, Wei; SUN, Kai; LIU, Haitao. Effects of different aluminum sources on morphologies and properties of ceramic floor tiles from red mud. Construction And Building Materials, [S.L.], v. 241, p. 118119, abr. 2020. http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118119.

WANG, Haoran; CHEN, Zhaoke; ZHANG, Ruiqian; HE, Zongbei; WU, Yan; CHEN, Yihan; XIONG, Xiang. **Preparation and tensile behavior of SiCf/SiC mini composites containing different types and thicknesses of interphase.** Ceramics International, [S.L.], v. 46, n. 14, p. 22297-22306, out. 2020. http://dx.doi.org/10.1016/j.ceramint.2020.05.309.

WIśNIEWSKA, Kornelia; PICHÓR, Waldemar; KłOSEK-WAWRZYN, Ewelina. Influence of Firing Temperature on Phase Composition and Color Properties of Ceramic Tile Bodies. Materials, [S.L.], v. 14, n. 21, p. 6380, 25 out. 2021. MDPI AG. http://dx.doi.org/10.3390/ma14216380.

WIśNIEWSKA, Kornelia; PICHÓR, Waldemar; KłOSEK-WAWRZYN, Ewelina. Impact of the addition of dolomite to cream-firing clays on the technological and color properties of sintered ceramics. International Journal Of Applied Ceramic Technology, [S.L.], v. 18, n. 3, p. 1063-1073, 12 fev. 2021. Wiley. http://dx.doi.org/10.1111/ijac.13719.

XIAO, Zhuohao et al. **Materials development and potential applications of transparent ceramics: a review**. Materials Science And Engineering: R, [S.L.], v. 139, p. 100518, jan. 2020. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.mser.2019.100518.

XU, Lihua; LU, Qiuru; CHI, Yin; YANG, Yingxin; YU, Min; YAN, Yanxiang. Axial compressive performance of UHPC filled steel tube stub columns containing steel-polypropylene hybrid fiber. Construction And Building Materials, [S.L.], v. 204, p. 754-767, abr. 2019. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.01.202.

YANG, J.; ZHANG, G. **Raised Floor Systems for the Sustainable Fit-Out of Office Buildings**. **Smart & Sustainable Built Environments**, [S.L.], p. 138-147, 18 jan. 2008. Blackwell Publishing Ltd. http://dx.doi.org/10.1002/9780470759493.ch14.

YEO, Myoung-Souk; YANG, In-Ho; KIM, Kwang-Woo. **Historical changes and recent energy saving potential of residential heating in Korea**. Energy And Buildings, [S.L.], v. 35, n. 7, p. 715-727, ago. 2003. http://dx.doi.org/10.1016/s0378-7788(02)00221-9.

YUAN, Xiaolei; XU, Xinjie; LIU, Jinxiang; PAN, Yiqun; KOSONEN, Risto; GAO, Yang. **Improvement in airflow and temperature distribution with an in-rack UFAD system at a high-density data center**. Building And Environment, [S.L.], v. 168, p. 106495, jan. 2020. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106495.

ZHANG, G., YANG, J., SIDWELL AC. Raised floor system: a paradigm of future office building fitout? Advances in Building Technology, 2002, Pages 1577–1584. http://doi.org/10.1016/B978-008044100-9/50195-9.

ZHANG, Kai; ZHANG, Xiaosong; LI, Shuhong; JIN, Xing. **Review of underfloor air distribution technology**. Energy And Buildings, [S.L.], v. 85, p. 180-186, dez. 2014. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.09.011.

ZHUANG, Zhi; LI, Yuguo; CHEN, Bin; GUO, Jiye. **Chinese kang as a domestic heating system in rural northern China—A review**. Energy And Buildings, [S.L.], v. 41, n. 1, p. 111-119, jan. 2009. http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2008.07.013

ZHUGINISSOV, Maratbek T.; NURLYBAYEV, Ruslan E.; ORYNBEKOV, Yelzhan S.; ZHUMADILOVA, Zhanar O.; KHAMZA, Yerlan Y.; BULENBAYEV, Maxat Z. The Influence of the Burning Environment on the Properties of Ceramic Products Based on Fusible Raw Materials. Ceramics, [S.L.], v. 6, n. 2, p. 872-885, 29 mar. 2023. MDPI AG. <u>http://dx.doi.org/10.3390/ceramics6020050</u>.