



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE - UFCG
CENTRO DE TECNOLOGIAS E RECURSOS NATURAIS - CTRN
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA CIVIL – UAEC

**AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA A IMPACTOS DE CORPO-DURO EM
SISTEMAS DE PISO COM REVESTIMENTO CERÂMICO DE ACORDO COM
OS CRITÉRIOS DE NÍVEL DE DESEMPENHO DA ABNT NBR 15575:2013**

SÁVIO VINÍCIUS SARMENTO DE SOUZA

Orientador: Prof. Dr. Milton Bezerra das Chagas Filho

Co-orientador: M. Sc. Rodrigo Mendes Patrício Chagas

Campina Grande – PB

2019

SÁVIO VINÍCIUS SARMENTO DE SOUZA

**AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA A IMPACTOS DE CORPO-DURO EM
SISTEMAS DE PISO COM REVESTIMENTO CERÂMICO DE ACORDO COM
OS CRITÉRIOS DE NÍVEL DE DESEMPENHO DA ABNT NBR 15575:2013**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Unidade Acadêmica de Engenharia Civil (UAEC) da Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, como um dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Área de Habilitação: Construção Civil

Orientador: Prof. Dr. Milton Bezerra
Chagas Filho

Co-orientador: M. Sc. Rodrigo Mendes
Patrício Chagas

Campina Grande - PB

2019

É concedida à Universidade Federal de Campina Grande permissão para reproduzir cópias desta monografia e emprestar e vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste trabalho acadêmico pode ser reproduzida sem autorização prévia do autor.

Sávio Vinícius Sarmiento de Souza

Souza, Sávio V. Sarmiento de

Avaliação da resistência a impactos de corpo-duro em sistemas de piso com revestimento cerâmico de acordo com os critérios de nível de desempenho da norma ABNT NBR15575:2013.

Campina Grande, 2019

69 p

Trabalho de Conclusão de Curso. Centro de Recursos Naturais,
Universidade Federal de Campina Grande

SÁVIO VINÍCIUS SARMENTO DE SOUZA

**AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA A IMPACTOS DE CORPO-DURO EM
SISTEMAS DE PISO COM REVESTIMENTO CERÂMICO DE ACORDO COM
OS CRITÉRIOS DE NÍVEL DE DESEMPENHO DA ABNT NBR 15575:2013**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Unidade Acadêmica de Engenharia Civil (UAEC) da Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, como um dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Área de Habilitação: Construção Civil

Campina Grande – PB, 05 de setembro de 2019.

Prof. Dr. Milton Bezerra Chagas Filho
Orientador
*Unidade Acadêmica de Engenharia Civil
Universidade Federal de Campina Grande*

Prof. M. Sc. Rodrigo Mendes Patrício Chagas
Universidade Federal de Campina Grande

Prof^ª. Dr^ª. Marília Marcy Cabral de Araújo
*Unidade Acadêmica de Engenharia Civil
Universidade Federal de Campina Grande*

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus por estar comigo em todos os momentos, me dando força, determinação e suporte. Tenho a certeza que Deus é a base de tudo.

À minha mãe, por todo seu trabalho diário, seu esforço e dedicação para me permitir ter total foco nos estudos e ter o papel mais importante na conquista dos meus sonhos, dedico a ela todas minhas conquistas. À senhora, todo o meu amor.

À meu pai, que apesar da distância teve sempre a minha pessoa em suas orações, e pelo qual tenho amor incondicional.

À minha vó (minha segunda mãe) que desde criança me criou, ensinando-me os valores básicos da vida, me ajudou a crescer e me tornar a pessoa que sou hoje. Muito obrigado por tudo minha avó, saiba que te amo muito, a sua missão está sendo cumprida de forma exemplar.

Aos meus irmãos, Lara e Saulo, que me fazem ter força para me tornar exemplo para ambos. Vocês me ajudaram a crescer mesmo sem saber, amo vocês.

A meu primo Caio, que além de primo sempre foi um irmão pra mim, me dando total suporte em todos os momentos da minha vida acadêmica e além dela.

À todos meus familiares, pelo apoio que sempre me deram, e que permitiram que esse sonho fosse concretizado. Muito obrigado por todo o suporte.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Milton Bezerra das Chagas Filho, meus sinceros agradecimentos por tudo. Não somente pela orientação, mas também pelos seus grandiosos ensinamentos, pelas conversas enriquecedoras, conselhos de ética, educação e postura frente ao mundo da Engenharia Civil.

Ao meu co-orientador, M. Sc. Rodrigo Mendes Patrício Chagas, pela sua grande contribuição na pesquisa, pelo seu acompanhamento, e por todos os momentos compartilhados na pesquisa.

Aos meus colegas e amigos da graduação, por estarem juntos comigo e me incentivarem a crescer, e por compartilharem os momentos bons e ruins.

Aos meus colegas de trabalho, os quais se tornaram irmãos, e me deram suporte em momentos de grande pressão na minha vida, me ajudando a crescer profissionalmente.

Ao meu colega e amigo Felipe Souza pela grande ajuda prestada a mim durante todas as atividades do TCC. Pois sei que se não fosse com essa ajuda, não teria conseguido.

Aos meus amigos de longa data, em especial Thales, Lucas e Fernanda.

RESUMO

Em 2013 a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) lançou a segunda versão da “Norma de Desempenho” ABNT NBR 15575:2013, que trata do desempenho em todos os tipos de edificações residenciais, estabelecendo critérios mínimos de desempenho aos quais a construção deve atender. Esta norma é dividida em seis partes. A parte 3 trata sobre o desempenho em sistemas de pisos. A segurança estrutural destes é garantida entre outros fatores pela resistência a impactos de corpo-duro, tema deste presente trabalho. Este requisito se faz importante porque pode ocorrer manifestações patológicas na camada de acabamento. No caso da camada de acabamento em revestimento cerâmico pode ocorrer fraturas, mossas e lascamentos por exemplo devido à baixa resistência a impactos de objetos comuns no dia-a-dia dos usuários das edificações. Este trabalho se justifica devido a necessidade de obter-se um traço ideal para produzir a argamassa da camada de contrapiso que dará suporte a camada de acabamento. Assim, objetiva-se avaliar o desempenho de sistemas de piso com revestimento cerâmico em relação a resistência a impactos de corpo-duro, tendo contrapisos executados a partir de dois traços de argamassas. Inicialmente foram desenvolvidos os ensaios de caracterização nos materiais constituintes das argamassas, nas próprias argamassas e também nas placas cerâmicas. Foram confeccionados protótipos de contrapisos, com dois traços de argamassa em volume: 1:6 (cimento e areia) e 1:0,25:6 (cimento, cal e areia). Após o tempo de cura dos protótipos de 7 dias, foi executada a camada de acabamento com revestimento cerâmico em cada protótipo. A seguir, foi executado o ensaio de resistência a impacto de corpo-duro nos exemplares de piso (em nove pontos distribuídos nos protótipos). Os resultados obtidos para este ensaio, concluíram que os pisos atenderam ao nível de desempenho mínimo (M).

Palavras-chaves: traço; sistema de pisos; impactos de corpo-duro.

ABSTRACT

In 2013, the Brazilian Association of Technical Standards (ABNT) released the second version of the “Performance Standard” ABNT NBR 15575: 2013, which deals with performance in all types of residential buildings, establishing minimum performance criteria that the building must meet. . This standard is divided into six parts. Part 3 deals with performance on flooring systems. The structural safety of these is guaranteed among other factors by the resistance to impact of hard body, theme of this work. This requirement is important because pathological manifestations may occur in the finishing layer. In the case of the ceramic coating finishing layer, fractures, dents and chipping can occur for example due to the low impact resistance of everyday objects of building users. This work is justified due to the need to obtain an ideal mixture to produce the subfloor mortar that will support the finishing layer. Thus, the objective is to evaluate the performance of ceramic-coated floor systems in relation to the resistance to hard-body impacts, having subfloors made from two mixtures of mortars. Initially the characterization tests were developed in the mortar constituent materials, in the mortars themselves and also in the ceramic tiles. Prototypes of subfloors were made, with two traces of mortar in volume: 1: 6 (cement and sand) and 1: 0.25: 6 (cement, lime and sand). After the prototype curing time of 7 days, the ceramic coated finishing layer was performed on each prototype. Then, the hard-body impact resistance test was performed on the floor specimens (at nine points distributed in the prototypes). The results obtained for this trial concluded that the floors met the minimum performance level (M).

Keywords: mixture; flooring system; hardbody impacts.

Lista de siglas, símbolos e abreviaturas

ABCERAM	Associação Brasileira de Cerâmica;
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas;
Abs	Absorção de água (%);
ACI	Argamassa colante tipo I;
BNH	Banco Nacional da Habitação;
CAGEPA	Companhia de Água e Esgotos da Paraíba;
CH – I	Cal hidratada do grupo I;
CP	Corpo-de-prova;
CTRN	Centro de Tecnologias e Recursos Naturais;
DIN	<i>Deutsches Institut für Normung;</i>
ELS	Estado Limite de Serviço;
ELU	Estado Limite Último;
I	Nível de desempenho intermediário;
IPT	Instituto de Pesquisa e Tecnologia;
J	Joule: unidade usada para medir energia;
M	Nível de desempenho mínimo;
$M_{\text{arg+molde}}$	Massa da argamassa somada a massa do molde;
M_{molde}	Massa do molde;
MPa	Mega Pascal;
NBR	Norma Brasileira;
PEI	<i>Porcelain Enamel Institute;</i>
r	Dimensão média dos lados de uma placa cerâmica
R	Tamanho médio de 10 placas;
S	Nível de desempenho superior;
UAEC	Unidade Acadêmica de Engenharia Civil;
UFMG	Universidade Federal de Campina Grande;
USP	Universidade de São Paulo;
V_{molde}	Volume do molde;
ρ_{fresca}	Massa específica da argamassa fresca;

Sumário

CAPÍTULO I	16
1. Introdução	16
1.1 Considerações iniciais.....	16
1.2 Justificativa	18
1.3 Objetivos	19
1.3.1 Objetivo Geral	19
1.3.2 Objetivos Específicos	19
1.4 Organização do Trabalho	20
CAPÍTULO II	21
2. Revisão Bibliográfica	21
2.1 Sistemas de Piso	21
2.2 Camada de Contrapiso.....	23
2.3 Argamassas de contrapiso.....	24
2.4 Revestimento Cerâmico	25
2.5 Norma de Desempenho.....	26
2.6 Resistência a impactos de corpo-duro	28
2.7 Manifestações patológicas em revestimentos cerâmicos.....	29
CAPÍTULO III	31
3. Materiais e Métodos	31
3.1 Materiais	31
3.2 Métodos	32
3.2.1 Planejamento da pesquisa	32
3.2.1.1 Variáveis de estudo	34
3.3 Ensaios	35
3.3.1 Ensaios de caracterização dos aglomerantes	35
3.3.1.1 Finura do cimento e da cal	35
3.3.1.2 Determinação da massa específica do cimento.....	35
3.3.1.3 Determinação da massa unitária do cimento e da cal	35
3.3.2 Ensaios de caracterização do agregado miúdo	36

3.3.2.1	Composição granulométrica	36
3.3.2.2	Massa unitária	36
3.3.2.3	Massa específica	36
3.3.2.4	Inchamento	36
3.3.2.5	Umidade.....	36
3.3.3	Ensaio com os corpos-de-prova de argamassa	37
3.3.4	Análise visual e caracterização geométrica das placas cerâmicas	37
3.3.5	Ensaio de resistência a impactos de corpo-duro	40
CAPÍTULO IV		44
4.	Resultados e discussões	44
4.1	Caracterização do agregado miúdo	44
4.2	Caracterização do cimento	46
4.3	Caracterização da cal	47
4.4	Produção e ensaios dos corpos-de-prova de argamassa de contrapiso	47
4.5	Avaliação das placas cerâmicas	50
4.6	Ensaio de resistência a impactos de corpo-duro	51
4.6.1	Protótipos com camada de contrapiso executada com argamassa no traço 1:6 em volume	52
4.6.2	Protótipos com camada de contrapiso executada com argamassa no traço 1:0,25:6 em volume	54
4.6.3	Análise comparativa dos resultados nos protótipos	57
4.6.3.1	Comparação dos resultados relativos ao ELS	57
4.6.3.2	Comparação dos resultados relativos ao ELU	59
CAPÍTULO V		62
5.	Conclusões	62
5.1	Com relação a influência do traço da argamassa na resistência a impactos de corpo-duro em sistemas de piso	62
5.2	Produção de protótipos de sistema de piso com revestimento cerâmico utilizando dois traços de argamassa	62

5.3 Realização dos ensaios de resistência a impactos de corpo-duro	62
5.4 Avaliação do nível de desempenho dos sistemas de piso	63
5.5 Sugestões para estudos futuros	63
NORMAS CITADAS	64
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	65

Lista de Figuras

Figura 1: Causas das manifestações patológicas em revestimentos cerâmicos	16
Figura 2: Camadas de um sistema genérico de piso	21
Figura 3: Seção genérica da estrutura de um piso com revestimento cerâmico	26
Figura 4: Fluxograma das atividades de pesquisa	33
Figuras 5 e 6: Análise visual e características geométricas das peças – Laboratório de Estruturas - UAEC – UFCG	38
Figuras 7 a); b); c): Execução da camada de contrapiso – Laboratório de Estruturas - UAEC – UFCG	40
Figuras 8 e 9: Execução das camadas de fixação e acabamento em revestimento cerâmico – Laboratório de Estruturas – UAEC – UFCG	41
Figuras 10 a) Esquema de divisão em pontos de queda da esfera; (b) Execução do ensaio	42
Figura 11: Curva granulométrica do agregado miúdo	46
Figura 12: Resistência à compressão média dos cp's de argamassa – Traços 1:6 e 1:0,25: 6	49
Figuras 13 e 14: Dano causado em um protótipo – traço argamassa de 1:6	54
Figuras 15: Danos causados em um protótipo – traço argamassa de 1:6	56
Figuras 16 e 17: Dano causads em pontos centrais de protótipos– traço argamassa de 1:0,25:6.....	56
Figura 18: Frequência relativa dos danos causados pelos impactos nos pontos 1, 2 e 3 dos protótipos, referentes a energia de 5 J – Traço 1:6	57
Figura 19: Frequência relativa dos danos causados pelos impactos nos pontos 1, 2 e 3 dos protótipos, referentes a energia de 5 J – Traço 1: 0,25: 6.....	58
Figura 20: Frequência relativa dos danos causados pelos impactos no ponto 1 dos protótipos, referentes a energia de 5 J – Traços 1:6 e 1: 0,25: 6	59
Figura 21: Frequência relativa dos danos causados pelos impactos nos pontos 1, 2 e 3 dos protótipos, referentes a energia de 30 J – Traço 1:6.....	59
Figura 22: Frequência relativa dos danos causados pelos impactos nos pontos 1, 2 e 3 dos protótipos, referentes a energia de 30 J – Traço 1:0,25:6	60

Figura 23: Frequência relativa dos danos causados pelos impactos no ponto 1 dos protótipos, referentes a energia de 30 J – Traços 1:6 e 1: 0,25: 661

Lista de Tabelas

Tabela 1 – Exigências do Usuário	27
Tabela 2 – Critérios de desempenho para impacto de corpo duro em sistemas de piso)	28
Tabela 3 – Dados, propriedades e recomendações do fabricante	38
Tabela 4 – Energia potencial em cada ponto do protótipo de acordo com o ponto de aplicação para cada estado limite	42
Tabela 5 – Propriedades físicas do agregado miúdo	44
Tabela 6 – Resumo dos ensaios físicos no cimento Portland	46
Tabela 7 – Resumo dos ensaios físicos na cal CH-1	47
Tabela 8 – Dados do traço em massa e consumo dos materiais dos cp's – Traço 1:0,25:6	48
Tabela 9 – Dados do traço em massa e consumo dos materiais dos cp's – Traço 1:6	48
Tabela 10 – Resultados do ensaio de densidade da argamassa fresca	48
Tabela 11 – Resultados referentes ao Ensaio de Resistência à compressão	49
Tabela 12 – Análise visual e medida das dimensões reais das placas cerâmicas	50
Tabela 13 – Dados referentes a energia acumulada em cada ponto de queda da esfera no protótipo	52
Tabela 14 – Resultados obtidos para os protótipos 8, 9, 19, 20 e 21 com traço 1:6 em volume, para o ELS	52
Tabela 15 – Resultados obtidos para os protótipos 7, 15, 16, 17 e 18 com traço 1:6 em volume, para o ELU	53
Tabela 16 – Resultados obtidos para os protótipos 2, 4, 11, 13 e 14.com traço 1: 0,25: 6 em volume, para o ELS	55

Tabela 17 – Resultados obtidos para os protótipos 3, 5, 6, 10 e 12 com traço 1: 0,25: 6 em volume, para o ELU	55
---	----

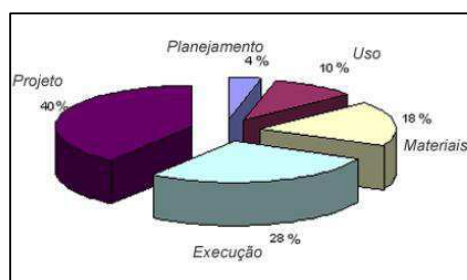
CAPÍTULO I

1 Introdução

1.1 Considerações Iniciais

Os revestimentos cerâmicos estão sujeitos a diversas manifestações patológicas, que são originadas devido à falta de planejamento, a um projeto detalhado, procedimentos de aquisição dos materiais, controle da execução e ao uso¹. A figura 1 a seguir ilustra percentualmente esses fatores:

Figura 1: Causas das manifestações patológicas em revestimentos cerâmicos (Fonte: PROJETO REVESTIR, 2008)



O descolamento de placas cerâmicas é uma das manifestações patológicas mais preocupantes e que envolve a segurança de uso e operação do empreendimento, devido aos riscos envolvidos². Riscos e desgastes em pisos, manchamentos nas superfícies, eflorescências e gretamento representam, ainda, outras manifestações patológicas, muitas vezes com danos irreparáveis.

Segundo Ribeiro (2016), O desempenho em piso, parede e fachadas varia de acordo com a região da obra. “No litoral, por exemplo, tem-se demandas muito diferentes,

¹ FANTINI, Paloma Rodriguez. *Patologias em revestimentos cerâmicos em escolas de Maringá-PR*, p.18. Monografia de Pós-Graduação no Curso de Construção de Obras Públicas. Universidade Federal do Paraná, Maringá, 2010.

² GAIL. *Manual de execução: pisos*, Guarulhos, São Paulo.

e os revestimentos cerâmicos terão funções mais importantes ainda no desempenho da edificação³”.

No Brasil, as discussões sobre o tema “desempenho” não foram tão discutidas como na Europa e nos EUA, até a década de 80. Neste decênio, a discussão sobre esse assunto se tornou mais forte no país devido ao trabalho desenvolvido pelo Instituto de Pesquisa e Tecnologia de São Paulo (IPT) que realizou pesquisas para a elaboração de critérios voltados à avaliações de soluções inovadoras para o Banco Nacional da Habitação (BNH). Os trabalhos do mesmo instituto geraram a primeira versão dos critérios de desempenho desenvolvidos em conjunto com o BNH⁴.

No ano de 2000, a Caixa Econômica Federal financiou um projeto para a criação de um método de avaliação de sistemas construtivos inovadores baseado no conceito de desempenho, que foi o primeiro passo concreto para a publicação, em 12 de maio de 2008, da ABNT NBR 15575/2008 – Edifícios Habitacionais de até 5 pavimentos – Desempenho, com uma carência de 2 anos para sua aplicação⁵.

Como o setor não se considerava preparado para absorver as mudanças que ela impunha, solicitou sua revisão. Assim resultou na versão atual, publicada em 19 de fevereiro de 2013 e válida a partir de 19 de julho de 2013. Essa norma trata do desempenho das habitações, qualquer que seja o número de pavimentos. Ela não é uma norma prescritiva, ou seja, não indica como o prédio deve ser construído, mas sim ao que ele deve atender para que tenha o desempenho desejado (Mínimo, Intermediário ou Superior), independentemente de seu sistema construtivo. O objetivo final é atender às

³ RIBEIRO, Fabiana A. A&C Web, Revista digital. *Destacamento das placas é a principal patologia dos revestimentos cerâmicos*, 2016. Disponível em: https://www.aecweb.com.br/cont/m/rev/destacamento-das-placas-e-a-principal-patologia-dos-revestimentos-ceramicos_13650_10_16

⁴ FILHO, Vamberto M. dos Santos. *Norma de desempenho: Uma visão da história e de seu atendimento no cenário atual da indústria da construção civil*, p.10. Revista Especialize online IPOG edição vol 01, nº 10, Goiânia, 2015.

⁵ KERN, Andrea P. et al. *O processo de implantação de normas de desempenho na construção: Um comparativo entre a Espanha (CTE) e Brasil (ABNT NBR 15575/2013)*, p. 91. Gestão e Tecnologias de Projeto (Portal de revistas da USP) vol. 9, nº 01, São Paulo, 2014.

necessidades do usuário, no que diz respeito à segurança, habitabilidade e sustentabilidade⁶.

A segurança estrutural dos sistemas de piso é uma das exigências que deve ser garantida, para que ateste a segurança do mesmo.

Um dos requisitos necessários para garantir o desempenho estrutural dos sistemas de piso, por sua vez, é a resistência a impactos de corpo duro. Dessa forma, de acordo com a Norma ABNT NBR 15575:2013, o sistema de pisos não pode sofrer ruptura ou traspasse sob qualquer energia de impacto de corpo duro. Ainda assim, é tolerada a ocorrência de fissuras, lascamentos e outros danos em impactos de segurança.

1.2 Justificativa

A qualidade e a durabilidade dos revestimentos cerâmicos estão ligados ao planejamento e a escolha dos materiais, à qualidade do material e da execução e à manutenção do revestimento ao longo de sua vida útil⁷.

O aparecimento de manifestações patológicas exige que sejam feitos serviços de manutenção, gerando custos não previstos pelas empresas construtoras e insatisfação por parte dos usuários, ou até mesmo acidentes⁸.

Outro fator que deve-se considerar é a influência mútua entre as camadas do sistema de piso, desde a camada de base até a camada de revestimento. Tem-se utilizado, segundo FIORITO (1994) a expressão “estrutura de revestimento”. Assim torna-se plausível pensar na influência da camada de contrapiso na resistência a impactos de corpo-duro.

⁶ CHVATAL, K. M. S. *Avaliação do procedimento simplificado da NBR 15575 para determinação do nível de desempenho térmico de habitações*, p. 120. Revista Ambiente Construído edição n° 4, vol. 14, Porto Alegre, 2014.

⁷ UCHÔA, João Carlos B. *Análise numérica e experimental da fadiga termomecânica em argamassas colantes no sistema de revestimento cerâmico*, Tese de Doutorado, p. 2. Universidade de Brasília, Brasília, 2015.

⁸ RHOD, Alexandra Barcelos. *Manifestações patológicas em revestimentos cerâmicos: Análise da frequência de ocorrência em áreas internas de edifícios em uso em Porto Alegre*, Trabalho de Diplomação, p.10. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

Assim, voltado especialmente para os sistemas de piso, este trabalho se justifica pelo fato de que a busca pelo traço ideal para argamassas do contrapiso poderá trazer um bom parâmetro para que atenda aos requisitos normativos de desempenho estrutural dos sistemas de piso com revestimento cerâmico, que é a resistência a impactos de corpo-duro.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo Geral

O objetivo geral é avaliar a influência do traço das argamassas utilizadas para a camada de contrapiso na resistência a impactos de corpo-duro em sistemas de piso com revestimento cerâmico, utilizando os traços em volume de argamassa 1:6 (cimento e areia) e 1:0,25:6 (cimento, cal e areia). E baseando-se nos critérios de desempenho estabelecidos no requisito “Resistência a impactos de corpo-duro” da Norma ABNT NBR 15575 – 3 :2013 – Norma de Desempenho.

1.3.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos são:

- Produzir um sistema de piso com revestimento cerâmico utilizando protótipos com dois traços em volume de argamassa na confecção da camada de contrapiso: 1:6 (cimento e areia) e 1:0,25:6 (cimento, cal e areia)
- Realizar ensaios de resistência à impactos de corpo-duro com as diferentes amostras;
- Avaliar o desempenho do sistema de piso de acordo com os resultados obtidos nos ensaios e a partir daí classificá-lo de acordo com os níveis de desempenho do requisito “Resistência a impactos de corpo-duro” da Norma ABNT NBR 15575-3:2013;

1.4 Organização do Trabalho

Este trabalho será composto de 5 capítulos:

- No capítulo I, a Introdução apresenta um apanhado histórico sobre a Norma de Desempenho no Brasil, seguido de uma breve resumo sobre esta norma, mais especificamente sobre a parte 3 da mesma, passando por uma definição dos sistemas de piso e a importância da utilização do revestimento cerâmico. Além disso, foi feita ainda a exposição dos objetivos do trabalho, um resumo da metodologia do trabalho e a justificativa do trabalho;

- No capítulo II, foi feita uma revisão bibliográfica com algumas literaturas que darão embasamento ao tema do trabalho;

- No capítulo III, foram apresentados os materiais e os métodos utilizados na pesquisa, citando as normas utilizadas para cada ensaio.

- No capítulo IV, apresentou-se os resultados obtidos e as devidas análises.

- No capítulo V, são apresentadas as conclusões do trabalho e também sugestões de possíveis trabalhos.

CAPÍTULO II

2 Revisão Bibliográfica

2.1 Sistemas de Piso

Na norma ABNT NBR 15575:2013-3 sistema de piso é definido como um sistema horizontal ou inclinado formado por um conjunto parcial ou total de camadas (por exemplo, camada estrutural, camadas de contrapiso, camada de fixação, camada de acabamento) destinado a cumprir a função de estrutura, vedação e tráfego⁹. O detalhamento de um sistema de piso idealizado pela norma é mostrado na Figura 2.

Figura 2: Camadas de um sistema genérico de piso (ABNT NBR 15575: 2013)



A camada estrutural do sistema de piso é a responsável por absorver diversas cargas da edificação. Assim, a mesma deve ter resistência mecânica adequada as cargas previstas no projeto estrutural, além de apresentar boas condições superficiais compatíveis com as demais camadas do piso que irá receber¹⁰.

A camada de impermeabilização é definida pela norma ABNT NBR 9575/10 como sendo o estrato com a função de prover uma barreira contra a passagem de fluidos.

⁹ ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15575 – Edificações habitacionais – Desempenho (Parte 3: Requisitos para os sistemas de piso), p. 7, Rio de Janeiro, 2013.

¹⁰ RIBEIRO, Luiz F. P. *Comparativo entre métodos de execução de contrapiso tradicional e com argamassa fluida - estudo de caso em obra da empresa Eztec, Monografia*, p.19, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017.

Esta camada é, geralmente, empregada em áreas molhadas e áreas externas (coberturas, terraços e etc). A impermeabilização tem como funções aumentar a vida útil das estruturas, impedir a corrosão das armaduras do concreto, proteger as superfícies da umidade. Sistemas flexíveis pré-fabricados como mantas asfálticas e sistemas flexíveis moldados no local, como membranas asfálticas e acrílicas, e argamassas poliméricas são utilizados para tal camada¹¹.

Sabe-se que as estruturas estão sujeitas aos efeitos das dilatações e contrações de acordo com o gradiente térmico atuante e do coeficiente de dilatação térmica do material. Este comportamento pode ocasionar fissuras e movimentos da estrutura. Assim, em alguns casos faz-se necessário uma camada de isolamento térmico.

Esta fração do sistema de piso tem como função reduzir as diferenças de temperatura atuantes sobre a camada impermeabilizante, objetivando o aumento da vida útil do sistema¹². Geralmente, essa camada é utilizada em locais de temperaturas muito baixas ou muito altas durante boa parte do ano.

O estrato de isolamento acústico é necessário para evitar ou minimizar os ruídos entre os ambientes. Estes ruídos podem ser definidos em dois tipos principais: o ruído aéreo e o ruído de impacto¹³. De acordo com a Norma de Desempenho, ruído de impacto é o som produzido pela percussão sobre um corpo sólido e transmitido através do ar, já ruído aéreo é definido como um som produzido e transmitido pelo ar.

A camada de contrapiso é de extrema importância para o sistema de piso, uma vez que deve regularizar a laje ou base de concreto, tornando-a plana e dando condições de suporte para a camada de revestimento¹⁴.

¹¹ VEDACIT. *Manual técnico – Impermeabilização de estruturas*, 6º edição.

¹² SOARES, Felipe F. *A importância do projeto de impermeabilização em obras de construção civil, Projeto de Graduação*, p.34, Escola Politécnica da Universidade do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.

¹³ OGAWA, Matheus de Oliveira A. et al. *Isolamento acústico ao ruído de impacto em lajes de edifícios habitacionais, Monografia*, p.10, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2014.

¹⁴ SOUZA, Natália C. *Análise de desempenho do contrapiso autonivelante em relação ao sistema tradicional, Dissertação*, p.28, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013.

A camada de fixação tem por objetivo fazer a ligação entre as camadas de contrapiso e a de acabamento.

A camada de acabamento é o estrato mais superficial do sistema de piso, composta de um ou mais tipos de revestimento, como placas cerâmicas, mantas vinílicas, laminados, etc. Esta camada possui funções estéticas, de proteção e segurança do piso e o material de acabamento deve ser cuidadosamente escolhido de acordo com o uso a que se destina o local, de acordo com os níveis de desempenho necessários e também com as pretensões do usuário.

2.2 Camada de Contrapiso

Segundo a BS804 “O contrapiso consiste de camada(s) de argamassa ou enchimento aplicada(s) sobre laje, terreno ou sobre uma camada intermediária de isolamento ou de impermeabilização¹⁵.”

Barros (1991) diz que a camada de contrapiso deve apresentar algumas características como espessura, regularidade superficial, resistência mecânica, compactidade e durabilidade adequadas ao cumprimento de suas funções.

Segundo Souza (2013), a camada de contrapiso consiste na camada colocada logo acima da laje (camada estrutural) sobre a qual se aplicará um acabamento final, podendo ou não ter uma camada de fixação entre eles. Segundo a mesma autora, o contrapiso tem, entre outras funções, a de melhorar a acústica, embutir instalações, nivelar a superfície da laje e absorver deformações. A espessura considerada razoável é entre 2 e 6 cm, espaço suficiente para cumprir as funções citadas¹⁶.

A Norma ABNT 13573:96 recomenda que a camada de contrapiso deve ser constituída por uma argamassa de cimento e areia média úmida, com traço em volume de

¹⁵ BARROS, Mercia M. S. B e SABATINNI, Fernando H. *Tecnologia de produção de contrapisos para edifícios habitacionais e comerciais*, Dissertação, p. 03, Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, São Paulo, 1991.

¹⁶ RIBEIRO, Luiz F. P. *Comparativo entre métodos de execução de contrapiso tradicional e com argamassa fluida – estudo de caso em obra da empresa Eztec*, Monografia, p.20, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017.

uma parte de cimento para seis partes de areia, ou por argamassa de cimento, cal hidratada e areia média úmida, com traço recomendado em volume 1:0,25:6, respectivamente.

A mesma norma indica que a espessura desta camada deve ser compreendida entre 15 mm e 25 mm, e que deve ser executada com antecedência mínima de sete dias em relação ao assentamento do revestimento cerâmico, visando reduzir o efeito da retração da argamassa sobre o piso cerâmico a ser executado.

2.3 Argamassas de contrapiso

As argamassas de cimento são mais resistentes, porém de pior trabalhabilidade. Adiciona-se cal para torná-las mais plásticas e facilitar o acabamento. Tais argamassas mistas são utilizadas nos contrapisos¹⁷.

Segundo Barros e Sabbatini (1991), as argamassas para contrapisos são classificadas em dois tipos:

- 1) **Argamassa fluida:** Tem a mesma consistência da argamassa de revestimento (20% a 25% de umidade). Seu uso tem sido restrito na produção de contrapisos, sendo mais utilizada para assentamento de alguns tipos de revestimentos como os cerâmicos e as pedras. Tem seu uso restrito devido aos equipamentos utilizados para o adensamento, sendo estes de grandes dimensões, e também devido ao grande potencial de fissuração decorrente da elevada umidade da argamassa.
- 2) **Argamassa seca** (tipo “farofa”): Apresenta a mesma composição e dosagem da argamassa plástica, exceto pela quantidade de água na mistura que varia de 9% a 11%.¹⁸ Esse tipo de argamassa tem seu uso mais difundido pois a compactação pode ser feita manualmente e as condições de cura são mais favoráveis em função da baixa umidade¹⁹. A norma alemã DIN 13318:2000 classifica as argamassas de

¹⁷ FIORITO, Antônio J. S. I. *Manual de argamassas e revestimentos: Estudos e procedimentos de execução*, p.29 – São Paulo: Pini, 1994.

¹⁸ BARNBROOK, George. *Floor screeds. Concrete*, London, p. 27-29, Mar. 1992 (Current Practice Sheets n.73).

¹⁹ CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DU BÂTIMENT. *Chapes et dalles à base de liants hydrauliques. Cahier du CSTB*, Paris, n.1974, p. 1-15, Sep. 1982 (DTU 26.2).

contrapiso em duas categorias de acordo com sua consistência: **semisseca e fluida**.

- 1) **Argamassa semisseca:** De baixa consistência no estado fresco, possui água apenas a necessária para permitir a compactação.
- 2) **Argamassa fluida:** Apresenta uma consistência tal que a argamassa ocupa sua posição sem necessidade de compactação²⁰.

2.4 Revestimento cerâmico

Revestimento cerâmico é o conjunto formado pelas placas cerâmicas, pela argamassa de assentamento e pelo rejunte²¹.

A norma ABNT 13753:1996 estabelece os requisitos para execução de pisos com revestimento cerâmico assentados sob argamassa colante. De maneira geral, este tipo de sistema é mostrado na Figura 3.

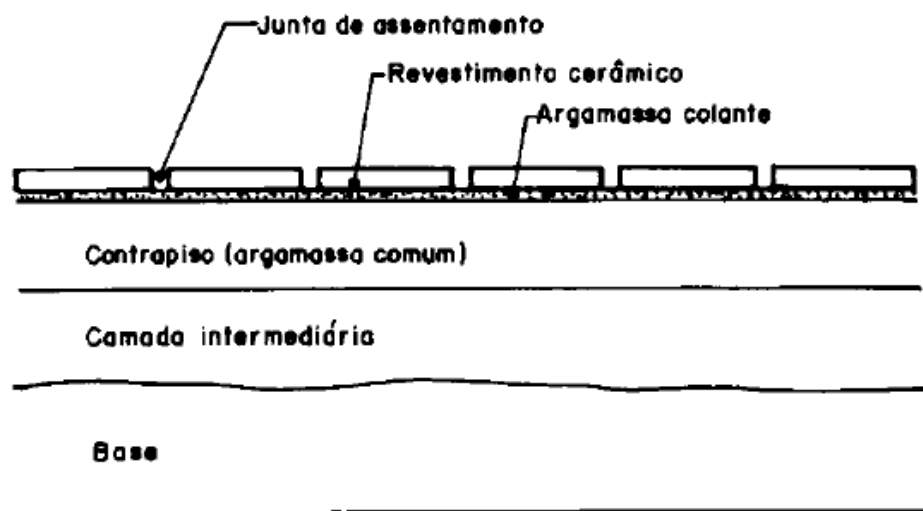
Segundo a Associação Brasileira de Cerâmica, ABCERAM (2016), cerâmica compreende todos os materiais inorgânicos, não metálicos, obtidos geralmente após tratamento térmico em temperaturas elevadas.

Ainda segundo a ABCERAM os materiais de revestimento (placas cerâmicas) são aqueles materiais, na forma de placas usados na construção civil para revestimento de paredes, pisos, bancadas e piscinas de ambientes internos e externos. Recebem designações tais como: azulejo, pastilha, porcelanato, grês, lajota, piso, etc.

²⁰ RIBEIRO, Luiz F. P. *Comparativo entre métodos de execução de contrapiso tradicional e com argamassa fluida – estudo de caso em obra da empresa Eztec, Monografia*, p.29, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017.

²¹ Sindicato da Indústria da Construção Civil no Estado de Minas Gerais. *Placas cerâmicas para revestimento, Publicação Programa Qualimat Sinduscon-MG*, p.21, Sinduscon-MG, Belo Horizonte, 2009.

Figura 3: Seção genérica da estrutura de um piso com revestimento cerâmico (ABNT 13753:1996)



A grande vantagem da utilização do revestimento cerâmico reside, principalmente, nas seguintes características: durabilidade do material; facilidade de limpeza; higiene; qualidade do acabamento final; estanqueidade à água e aos gases; segurança ao fogo; aspecto estético e visual agradável²².

2.5 Norma de Desempenho

No que diz respeito a estrutura, a norma de desempenho é dividida em seis partes, descritas a seguir:

- Parte 1: Requisitos gerais;
- Parte 2: Sistemas estruturais;
- Parte 3: Sistemas de pisos;
- Parte 4: Sistemas de vedações verticais externas e internas;

²² SILVA, Marinilda N. Pereira et al. *Revestimentos cerâmicos e suas aplicabilidades*, Artigo, p. 89, disponível em periodicos.set.edu.br, Maceió, 2015.

- Parte 5: Sistemas de coberturas; e
- Parte 6: Sistemas hidrossanitários

Na norma também é apresentada uma divisão de três áreas de exigência do usuário: Segurança, habitabilidade e sustentabilidade. Cada área é subdividida em responsabilidades, onde se atribui desempenho mínimo que deve ser atendido pelo edifício quando em uso, durante a vida útil, e desempenhando sua função no meio em que está inserido²³. Essas exigências são apresentadas na Tabela 1, a seguir.

Tabela 1 – Exigências do Usuário (ABNT NBR 15575:2013)

Segurança	Habitabilidade	Sustentabilidade
Segurança Estrutural Segurança contra o Fogo Segurança no Uso e na Operação	Estanqueidade Desempenho Térmico Desempenho Acústico Desempenho Lumínico Saúde, Higiene e Qualidade do ar Funcionalidade e Acessibilidade Conforto Tátil e Antropodinâmico	Durabilidade Manutenibilidade Impacto Ambiental

Para que a Norma de Desempenho possa ser aplicada no setor da construção, há necessidade de capacitação, orientações claras e estudo sistematizado dos conceitos, critérios e dos métodos de avaliação referenciados na Norma, a fim de superar as resistências, conflitos e erros de atendimento aos requisitos.

²³ LORENZI, Luciani S. *Análise crítica e proposições de avanço nas metodologias de ensaios experimentais de desempenho à luz da ABNT NBR 15575 (2013) para edificações habitacionais de interesse social térreas*, p. 23. Tese de Doutorado em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

2.6 Resistência a impactos de corpo-duro

Resistir aos impactos de corpo-duro previsíveis nas condições normais de serviço, sem apresentar ruína é um dos requisitos da Norma ABNT NBR 15575:2013 para que o sistema de piso atenda ao desempenho estrutural.

A Norma citada descreve que os impactos com maiores energias (10J, 20J e 30J) referem-se ao estado-limite último, e os de menores energias (2,5J, 3,75J e 5J) referem-se aos estados-limites de utilização.

A avaliação desse requisito é feita através de ensaios em laboratório executados em protótipos ou na própria obra, devendo o corpo-de-prova representar fielmente as condições executivas da obra, inclusive tipos de apoio/vinculações, e respeitar as normas de aplicação da camada de acabamento²⁴.

As energias de impacto são obtidas por meio da queda livre de esferas de aço (de 0,5 kg e 1,0 kg) sobre a camada de acabamento do sistema de piso, em três diferentes alturas para cada energia.

Os critérios e níveis de desempenho são avaliados para as energias máximas de cada estado limite (5J para o ELS e 30 J para o ELU) e são apresentados na tabela 2.

Tabela 2 – Critérios de desempenho para impacto de corpo-duro em sistemas de piso (ABNT NBR 15575:2013)

Energia de impacto de corpo duro (J)	Critérios de desempenho	Nível de desempenho
5	Não ocorrência de ruptura total da camada de acabamento Admitindo falhas superficiais como mossas, lascamentos, fissuras e desagregações	M
30	Não ocorrência de ruína e traspassamento Admitindo falhas como mossas, lascamentos, fissuras e desagregações	
5		I

²⁴ ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15575 – Edificações habitacionais – Desempenho (Parte 3: Requisitos para os sistemas de piso), p.10, Rio de Janeiro, 2013.

	Não ocorrência de falhas Profundidade da mocha: $p \leq 5$ mm	
30	Não ocorrência de ruína e traspasseamento Admitidas falhas superficiais como mochas, fissuras e desagregações	
5	Não ocorrência de falhas Profundidade da mocha: $p \leq 2$ mm	S
30	Não ocorrência de ruína e traspasseamento Admitidas falhas superficiais como mochas, fissuras e desagregações	

2.7 Manifestações patológicas em revestimentos cerâmicos

Segundo Rodrigue; Westcot (2003), patologia na construção civil é a área do conhecimento que se dedica ao estudo das irregularidades em edifícios, desde suas origens até as respectivas manifestações. A palavra patologia também pode ser usada para identificar a relação de causa-efeito de um conjunto de manifestações associadas entre si.

Para fazer o diagnóstico de um problema no sistema revestimento cerâmico é preciso analisar o conjunto que compõe esse sistema. Geralmente, o problema não está ligado apenas a um fator isolado, mas, sim a várias falhas e imperfeições e ao uso inadequado da peça cerâmica, pois o sistema citado anteriormente é composto pela relação entre vários materiais que trabalham de formas diferentes. Para se obter o conjunto de dados necessários para o diagnóstico do problema, muitas vezes é preciso localizar o projeto e as pessoas por ele responsáveis. Dependendo do tempo e/ou outros fatores, esse trabalho pode se tornar bastante difícil²⁵.

A maioria dos problemas patológicos de revestimentos cerâmicos que ocorrem durante a vida útil da edificação tem origem nas fases de concepção do projeto e de execução do serviço. Os problemas originados na fase de projeto podem ser causados pela falta de um projeto específico que defina as características do revestimento, das camadas de regularização, de fixação e do acabamento, ou ainda por erros de concepção de projeto. Essas causas se devem geralmente a falta de conhecimento técnico sobre o assunto, ou

²⁵ PEZZATO, Leila Maria. *Patologias no sistema revestimento cerâmico: um estudo de caso em fachadas*, p.68. Dissertação de mestrado em Arquitetura e Urbanismo. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.

pela falta de experiência. Já os problemas gerados na fase de execução do revestimento ocorrem, em geral, pela falta de treinamento da mão-de-obra²⁶.

Grande parte das manifestações patológicas em revestimento cerâmico pode ser atribuída à falta de compreensão das interfaces entre seus diversos componentes. Essa falta de compreensão está ligada às deficiências no conhecimento técnico de toda a cadeia produtiva²⁷.

A parte 2 da Norma ABNT 15575:2013 define alguns termos relevantes em relação a manifestações patológicas em revestimentos cerâmicos:

- A) Fissura de componente estrutural:** Seccionamento na superfície ou em toda seção transversal de um componente, com abertura capilar, provocado por tensões normais ou tangenciais. As fissuras podem ser classificadas como ativas (variação da abertura em função de movimentações higrotérmicas ou outras) ou passivas (abertura constante).
- B) Trinca:** Expressão coloquial qualitativa aplicável a fissuras com abertura maior ou igual a 0,6 mm.
- C) Mossa:** Vestígio de pancada ou pressão.
- D) Falha:** Ocorrência que compromete o estado de utilização do sistema ou elemento. Essa ocorrência pode resultar de fissuração ou deslocamentos acima de limites aceitáveis, avarias no sistema ou no elemento estrutural ou nas interfaces com outros sistemas ou elementos.
- E) Ruína:** Característica do estado-limite último, por ruptura, por perda de estabilidade ou por deformação excessiva²⁸.

²⁶ BARROS, M. M. S. B.; TANIGUTI, E. K.; RUIZ, L. B.; SABBATINI, F. H. *Tecnologia construtiva racionalizada para produção de revestimentos cerâmicos verticais*, p.8. Notas de aula, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2997.

²⁷ CAMPANTE, E. F.; SABBATINI, F. H. *Metodologia de diagnóstico, recuperação e prevenção de manifestações patológicas em revestimentos cerâmicos de fachada*, p.9-10. Boletim técnico n.301, Universidade de São Paulo, São Paulo.

²⁸ ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15575 – Edificações habitacionais – Desempenho (Parte 2: Requisitos para os sistemas estruturais), Rio de Janeiro, 2013.

CAPÍTULO III

3 Materiais e Métodos

Neste item serão descritos os materiais e a metodologia utilizados no trabalho, de acordo com a Norma ABNT NBR 15575:2013.

3.1. Materiais

Os materiais usados nesta pesquisa foram:

- Agregado miúdo: areia média;
- Água potável: Água para consumo humano fornecida pela Companhia de Água e Esgotos da Paraíba (CAGEPA);
- Argamassa colante AC I (sacos de 20 Kg);
- Solução indicadora de azul de metileno a 1%;
- Bandeja de alumínio;
- Betoneira 400 l: Utilizada para produção das argamassas de contrapiso;
- Cal hidratada CH 1;
- Cerâmica 60 cm x 60 cm;
- Cimento CP II-E 32: Cimento Portland com adição de filler, sendo escolhido devido a facilidade de sua compra no comércio local.
- Colher de pedreiro;
- Compactador manual;
- Desempenadeira de aço dentada;
- Desempenadeira de aço lisa;
- Esferas maciças de aço: A primeira com massa de $1 \text{ kg} \pm 5 \text{ g}$ e outra com massa de $0,5 \text{ kg} \pm 2 \text{ g}$;
- Martelo de borracha;
- Nível de bolha
- Pá;
- Régua de nível: De 40,0 cm para sarrafear a argamassa de contrapiso;
- Réguas de alumínio 3,0 m

3.2. Métodos

Este trabalho foi executado de maneira mais abrangente em quatro etapas. Estas por sua vez são subdivididas em etapas específicas.

- **1º Etapa:** Caracterização dos materiais utilizados para produção das argamassas de contrapiso (cimento, areia e cal), das próprias argamassas e das placas cerâmicas.

- **2º Etapa:** Produção da camada de contrapiso de cada protótipo, sendo 10 protótipos para cada traço, totalizando 20 protótipos. Estes foram executados com o traço em volume de 1:6 de cimento e areia média úmida, e com o traço em volume de 1:0,25:6 de cimento, cal hidratada e areia média úmida. Os protótipos foram executados com as seguintes dimensões: 60 cm x 60 cm x 2,5 cm (comprimento, largura e espessura, respectivamente).

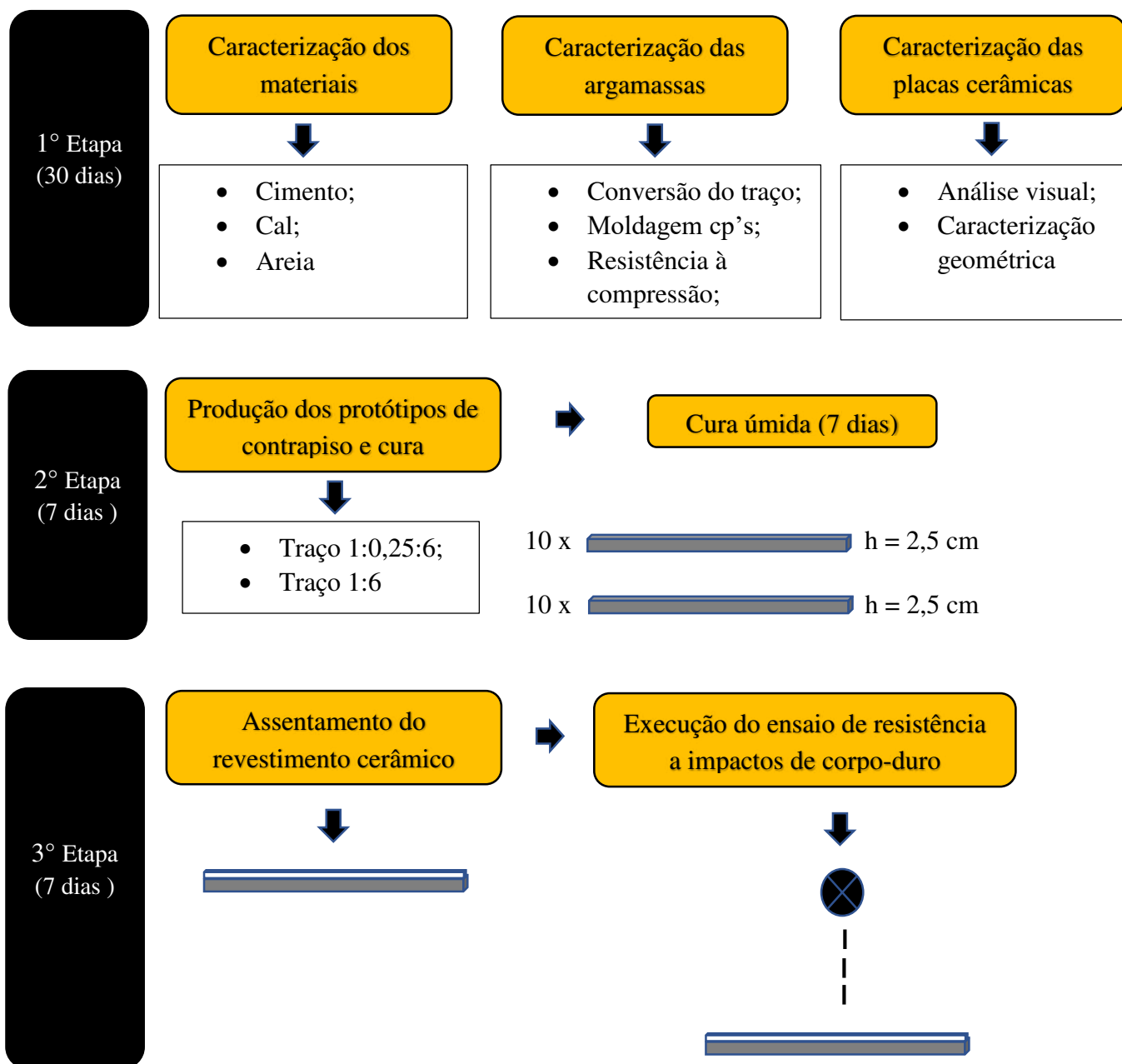
- **3º Etapa:** Após o período de cura de cada protótipo de 7 dias de acordo com a norma ABNT NBR 13753:1996 deve-se proceder a execução da camada de acabamento em revestimento cerâmico 60cm x 60 cm com a utilização de argamassa industrializada AC I, como camada de fixação.

- **4º Etapa:** Com os protótipos prontos e respeitando os tempos de cura de cada etapa, foi realizado o ensaio de resistência a impactos de corpo-duro. O fluxograma das atividades é detalhado na figura 4.

3.2.1 Planejamento da pesquisa

Esta pesquisa que tem por objetivo avaliar a influência do traço da argamassa de contrapiso na resistência a impactos de corpo-duro do sistema de piso com revestimento cerâmico. Assim foram testados dois traços de argamassa de contrapiso, feita a caracterização dos materiais utilizados e após isto, o ensaio de resistência a impacto de corpo-duro nos protótipos de sistema de piso.

Figura 4: Fluxograma de atividades da pesquisa



3.2.1.1 Variáveis de estudo

As variáveis são divididas em: parâmetros fixados, variáveis independentes e variáveis dependentes.

A) Parâmetros fixados

- Cimento;
- Agregado miúdo;
- Argamassa colante;
- Placa cerâmica;
- Teor de umidade das argamassas.

B) Variável independente

Variável fixada na pesquisa com o intuito de observar sua influência ao serem modificadas, sobre as variáveis dependentes.

- **Traço da argamassa de contrapiso:** Os traços em volume foram definidos pela norma ABNT NBR 13573: 96 - Revestimento de piso interno ou externo com placas cerâmicas e com utilização de argamassa colante: Procedimento. A partir dos mesmos, foram obtidos os traços em massa para cálculo do consumo dos materiais nas misturas.

C) Variáveis dependentes

São as variáveis que são alteradas em função da variação das variáveis independentes. Essas variáveis são definidas a partir do que se deseja testar em determinada pesquisa. As variáveis determinadas para o presente trabalho foram:

- Resistência a compressão da argamassa; e
- Resistência a impactos de corpo-duro nos protótipos de piso.

3.3 Ensaios

3.3.1 Ensaios de caracterização dos aglomerantes

Estes ensaios visam determinar as propriedades dos aglomerantes (cimento e cal) constituintes das argamassas e também permitir a moldagem dos corpos-de-prova de argamassa.

3.3.1.1 Finura do cimento e da cal

A norma utilizada para estes ensaios foi a norma ABNT MB 3432:1991 – Cimento Portland: Determinação da finura por meio da peneira 75 μm (n^o 200). Estes ensaios objetivam a determinação do percentual de material fino (< 75 μm) contidos nas amostras de cimento e de cal.

3.3.1.2 Determinação da massa específica do cimento e da cal

Para estes ensaios foi utilizada a norma NBR NM 23:2000 – Cimento Portland e outros materiais em pó: Determinação da massa específica. O objetivo destes experimentos é determinar a massa específica real dos aglomerantes utilizados nas argamassas de contrapiso.

3.3.1.3 Determinação da massa unitária do cimento e da cal

Para determinar a massa unitária dos aglomerantes das argamassas de contrapiso foi utilizada a norma NM 45: 2006 – Agregados: Determinação da massa unitária e do volume de vazios, sendo esta uma adaptação válida para se conseguir determinar tal parâmetro, visto que não se têm uma norma específica para os aglomerantes voltada para determinação da massa unitária.

3.3.2 Ensaios de caracterização do agregado miúdo

O objetivo desses ensaios com o agregado da argamassa é determinar as principais propriedades do mesmo e também permitir a moldagem dos corpos-de-prova de argamassa.

3.3.2.1 Composição granulométrica

Estes ensaios são executados de acordo com as normas NBR NM 248:2003 – Agregados: Determinação da composição granulométrica. A partir desse ensaio é possível determinar a composição granulométrica do agregado, a dimensão máxima característica e o módulo de finura.

3.3.2.2 Massa unitária

Os ensaios para determinação da massa unitária e massa específica dos grãos foram executados com base na norma NM 45: 2006 – Agregados: Determinação da massa unitária e do volume de vazios. A massa unitária do agregado miúdo é de fundamental importância para a conversão do traço em volume para o traço em massa.

3.3.2.3 Massa específica

Os ensaios para determinação da massa unitária e massa específica dos grãos foram executados com base na norma NM 52: 2009 – Agregado miúdo: Determinação de massa específica e massa específica aparente.

3.3.2.4. Inchamento

Este ensaio tem como norma a ABNT NBR 6467:2006 – Agregados: Determinação do inchamento do agregado miúdo – Método de ensaio. A partir desse ensaio e do ensaio de umidade do agregado miúdo, pode-se fazer a correção da quantidade de água e agregado a serem adicionados as misturas para produzir as argamassas.

3.3.2.5 Umidade

O ensaio é realizado de acordo com a norma ABNT NBR 9939:2011 – Agregados Determinação da umidade total, por secagem, em agregado graúdo. Ensaio executado com um dia de antecedência em relação a execução da camada de contrapiso dos protótipos.

3.3.3. Ensaios com os corpos-de-prova de argamassa

1° Etapa: Conversão dos traços em volume para traço em massa. Os traços em volume são de 1:6 (Cimento e areia, respectivamente) e 1:0,25:6 (Cimento, cal e areia, nesta ordem) tomados a partir da norma ABNT NBR 13573:1996 – Revestimento de piso interno ou externo com placas cerâmicas e com utilização de argamassa colante – Procedimento.

2° Etapa: Com o traço em massa, foi calculado o consumo dos materiais constituintes da argamassa.

3° Etapa: Confeccção dos corpos-de-prova de argamassa para os traços definidos. Foram confeccionados 4 corpos-de-prova cilíndricos por idade, com as dimensões de 10cm x 5cm para as idades de 7, 14 e 28 dias de cura. Ao passo que confecciona-se os corpos-de-prova é feito a determinação da **densidade da argamassa fresca**, a qual foi determinada de acordo com a norma ABNT NBR 13278: 2005 – Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e teto: Determinação da densidade de massa e teor de ar incorporado. O teor de água da mistura foi determinado conforme estudo feito por Barros e Sabattini (1991), para confeccção de argamassa seca (tipo “farofa”)

4° Etapa: Após o período de cura de cada idade, foram realizados os ensaios de compressão axial dos corpos-de-prova de acordo com a norma ABNT NBR 13278: 2005 – Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e teto: Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. É importante citar que a cura dos corpos-de-prova cilíndricos foi do tipo submersa, em um reservatório com água no Laboratório de Estruturas no bloco BK da UFCG.

3.3.4. Análise visual e caracterização geométrica das placas cerâmicas

Foi feita a análise visual das placas cerâmicas adquiridas para a pesquisa. Para esta etapa baseou-se nas normas ABNT NBR 13816:1997 – Placas cerâmicas para revestimento – Terminologia e ABNT NBR 13818:1997 - Placas cerâmicas para revestimento – Especificação e métodos de ensaio. As figuras 5 e 6 ilustram esta etapa.

Figuras 5 e 6: Análise visual e características geométricas das peças – Laboratório de Estruturas - UAEC – UFCG



A cerâmica utilizada foi adquirida no comércio de material de construção local, sendo as placas de tamanho nominal 60cm x 60cm. O motivo da escolha deste tipo de placa deu-se pela sua utilização constante em residências de baixo e médio padrão da cidade de Campina Grande – PB, na qual foi realizado a presente pesquisa.

Foram adquiridas, no total, 21 placas cerâmicas do mesmo produto e mesmo lote. Todas as placas foram submetidas a exames visuais para análise do estado das mesmas e também foram conferidas suas dimensões reais (r).

Os principais dados e propriedades das placas cerâmicas estudadas são apresentadas na tabela 3.

Tabela 3 – Dados, propriedades e recomendações do fabricante

Itens	Subitens	Unidade	Dados
Dados do produto	Tamanho nominal	cm	60 x 60
	Processo de fabricação	–	Via úmida
	Tipologia	–	BIIb
	Acabamento superficial	–	Esmaltado
	Acabamento lateral	–	Não retificado
	Superfície	–	sem relevo
	Indicação de local de uso	–	Pisos residenciais e não-residenciais internos de tráfego médio; paredes internas.

Propriedades geométricas	Dimensão de fabricação	mm	600,0 x 600,0
	Espessura	mm	8,6 ± 5%
	Retitude lateral	%	± 0,5
	Ortogonalidade	%	± 0,6
	Curvatura lateral	%	± 0,5
	Curvatura central	%	± 0,5
	Desvio de r em relação a W	%	0,6
	Desvio de r em relação a R	%	0,5
Propriedades físicas	Absorção da água	%	6 a 10
	Módulo de Resistência à Flexão	MPa	≥18
	Carga de ruptura	N	≥800
	Abrasão superficial (PEI)	–	4
	Expansão por umidade	mm/m	<0,6
	Resistência ao gretamento	–	Não gretar
	COF (Coeficiente de atrito dinâmico)	–	Classe I (< 0,4)
Propriedades químicas	Hipoclorito de sódio (20 mg/L)	–	≥GB
	Ácido clorídrico (3%)	–	≥GLB
Resistência ao manchamento	Óleo de oliva	classe de limpabilidade	≥3
	Iodo		≥3
	Verde de cromo		≥3
Recomendações de assentamento	Junta de assentamento	mm	4
	Argamassa parede	–	ACI ou superior
	Argamassa piso	–	ACI ou superior

3.3.5 Produção dos protótipos de sistema de piso e ensaio de resistência a impactos de corpo-duro

Os protótipos e o ensaio propriamente dito foram executados no Laboratório de Estruturas no Bloco CW – UAEC – UFCG.

1° Etapa: Produção da camada de contrapiso.. Foram confeccionadas fôrmas de madeira nas dimensões 60cm x 60cm e com altura de 4 cm e dispostas acima de um lona plástica no laboratório de Estruturas da UFCG no Bloco CW – UAEC – UFCG. Em um dia foi executada a camada de contrapiso de cada um dos 10 protótipos do traço em volume 1:0,25:6 (cimento, cal e areia, nesta ordem). Em outro dia foi feito o mesmo procedimento para os 10 protótipos do traço 1:6 (cimento e areia). A figura 7 ilustra etapas da produção da camada de contrapiso, a seguir, retratam parte desta etapa.

Figuras 7 – (a), (b) e (c) - Execução da camada de contrapiso – Laboratório de Estruturas - UAEC – UFCG.



(a)

(b)

(c)

2° Etapa: Execução das camadas de fixação e de acabamento com revestimento cerâmico. Após 7 dias de cura dos contrapisos do traço de 1:0,25:6 foram executadas as camadas de fixação e de acabamento, para os 10 protótipos deste traço. O procedimento foi feito para os 10 protótipos do traço de 1:6. As figuras 8 e 9 mostram parte da execução desta etapa.

Figuras 8 e 9: Execução das camadas de fixação e acabamento em revestimento cerâmico – Laboratório de Estruturas – UAEC – UFCG



3º Etapa: Execução do ensaio de resistência a impactos de corpo-duro nos 20 protótipos de sistema de piso.

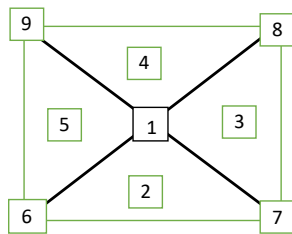
O método deste ensaio é apresentado no Anexo A da norma ABNT NBR 15575:2013 – Edificações habitacionais – Desempenho. Parte 3: Requisitos para o sistema de piso.

Devido ao limite de tempo e espaço para confecção dos protótipos, foi feita uma modificação em relação a norma supracitada: A mesma norma estabelece que deve-se realizar um impacto de corpo-duro (esfera) para cada protótipo. Porém, foram executados 10 corpos-de-prova por traço de argamassa de contrapiso, totalizando 20 protótipos. Já que estes são suficientes para serem ensaiados com as energias máxima do Estado Limite de Utilização (5 J) e máxima do Estado Limite Último (30 J).

Em cada protótipo foi feita a marcação do centro geométrico, a partir do cruzamento das diagonais, e estas formaram 4 triângulos equiláteros no protótipo. Assim foram marcados mais 8 pontos em cada, e realizado ensaios com as energias intermediárias.

A figura 10 (a) mostra o esquema de divisão do protótipo em pontos de aplicação, execução do ensaio e a figura 10 (b) apresenta execução do ensaio.

Figuras 10 – (a) Esquema de divisão em pontos de queda da esfera; (b) Execução do ensaio;



(a)



(b)

As energias aplicadas nos pontos de cada protótipo são detalhadas a seguir na tabela 4.

Tabela 4 – Energia potencial em cada ponto do protótipo de acordo com o ponto de aplicação para cada estado limite.

Protótipo	Ponto de aplicação	Estado Limite	m esfera (Kg)	Altura de queda (m)	Energia (J)
X	1	ELS	0,5	1	5
	2				
	3				
	4			0,75	3,75
	6				
	7				
	5			0,5	2,5
	8				
	9				

Y	1	ELU	1	3	30
	2				
	3				
	4			2	20
	6				
	7				
	5			1	10
	8				
	9				

CAPÍTULO IV

4 Resultados e discussões

Este capítulo apresenta os resultados e discussões da pesquisa realizada. Primeiramente serão apresentados os resultados referentes à caracterização dos materiais utilizados para produção das argamassas de contrapisos (aglomerantes e agregado), e das placas cerâmicas. Após estes serão apresentados os resultados dos ensaios com a argamassa fresca. E por fim, serão expostos os resultados dos ensaios de resistência a impacto de corpo-duro com os protótipos de contrapiso.

4.1 Caracterização do agregado miúdo

A tabela 5 apresenta os resultados dos ensaios de caracterização física dos agregados miúdos.

Tabela 5 – Propriedades físicas do agregado miúdo

Composição Granulométrica (ABNT NBR NM 248:2016)			
Peneiras	Material retido	Porcentagens em massa (%)	
(mm)	(g)	Retidas	Acumuladas
4,8	0,84	0,084	0,08
2,4	28,94	2,89	2,98
1,2	82,86	8,29	11,26
0,6	239,94	23,99	35,26
0,3	516,60	51,66	86,92
0,15	108,03	10,80	97,72
Soma	1000,00	97,72	-

Ensaio	Limites	Valor obtido
Módulo de finura (ABNT NBR NM 248:2016)	-	MF = 2,34
Massa unitária no estado solto (ABNT NBR NM 45:2016)	-	MU = 1,34 g/cm ³
Massa específica seca (ABNT NBR 16605: 2017)	-	Y _s = 2,51 g/cm ³
Umidade (DNER – ME 196/98)	-	h = 5,87 %

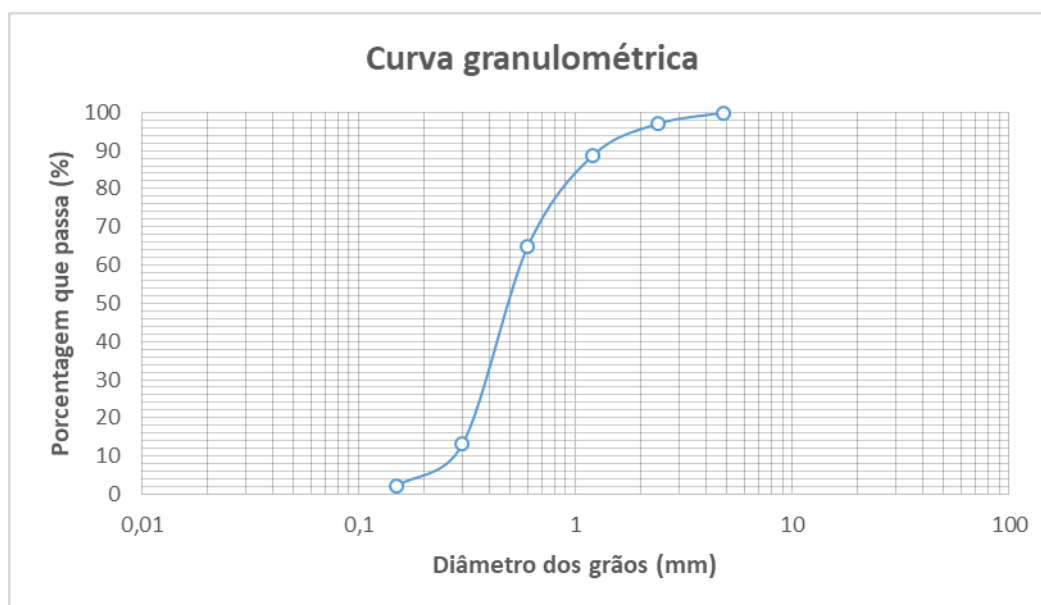
Umidade crítica (ABNT NBR 6467: 2006)	-	hc = 3,2 %
Inchamento médio (ABNT NBR 6467: 2006)	-	im = 1,18

a) Granulometria

A figura 11 apresenta a curva granulométrica do agregado miúdo. A curva apresenta-se bem-graduada, o que significa que há grãos com diâmetros diversos e assim, proporciona melhor comportamento sob o ponto de vista de engenharia. As partículas menores ocupam os vazios deixados pelas maiores, criando um encaixe entre elas e resultando numa menor compressibilidade e maior resistência.

O módulo de finura da areia foi de 2,34, o que a caracteriza como areia média. Sendo assim, esta é uma areia adequada para a produção de argamassa de contrapiso, de acordo com a norma ABNT NBR 13573: 96 - Revestimento de piso interno ou externo com placas cerâmicas e com utilização de argamassa colante: Procedimento.

Figura 11: Curva granulométrica do agregado miúdo



b) Massa específica seca

Obteve-se o valor de massa específica seca igual a 2,51 g/cm³.

c) Massa unitária no estado solto

A massa unitária no estado solto é de 1,34 g/cm³. Este valor foi de fundamental importância para o cálculo dos traços das argamassas em massa. Já que partiu-se de traços em volume.

d) Inchamento

Obteve-se valor de inchamento médio igual a 1,18 e de umidade crítica igual a 3,2%. A umidade real da areia utilizada foi de 5,87%, sendo estes valores de fundamental importância para se fazer a correção do traço durante a produção das argamassas em campo.

4.2 Caracterização do cimento

Foi utilizado o cimento Portland composto, tipo CP II – F, Classe 32 de acordo com a norma ABNT NBR 11578:1991. Sua escolha deveu-se a facilidade de obtenção na comércio local. A tabela 6 apresenta o resumo dos resultados dos ensaios feitos com o cimento.

Tabela 6 – Resumo dos ensaios físicos no cimento Portland

<i>Ensaio</i>	<i>Limites</i>	<i>Valor obtido</i>
Módulo de finura (ABNT NBR 11579:2012)	≤ 12	2,76%
Massa unitária (ABNT NBR NM 45:2016)	-	1,14 g/cm ³
Massa específica real (ABNT NBR 16605: 2017)	-	3,0 g/cm ³

a) Finura

O módulo de finura obtido foi de 2,76% e portanto, atende ao valor normalizado.

b) Massa unitária

O valor obtido de massa unitária do cimento Portland foi 1,14 g/cm³, e é de fundamental importância para o cálculo dos traços das argamassas em massa, partindo-se dos traços em volume.

c) Massa específica real

O valor obtido de massa específica real do cimento Portland foi 3,0 g/cm³.

4.3 Caracterização da cal

Foi utilizada a cal hidratada CH-I devido a facilidade de obtenção no mercado local e ao maior grau de pureza em relação as cals CH-II e CH-III. A tabela 7 apresenta o resumo dos resultados dos ensaios feitos com a cal.

Tabela 7 – Resumo dos ensaios físicos na cal CH-1

<i>Ensaio</i>	<i>Limites</i>	<i>Valor obtido</i>
Módulo de finura (ABNT NBR 11579:2012)	≤ 12	3,66%
Massa unitária (ABNT NBR NM 45:2016)	-	0,82 g/cm ³

4.4 Produção e ensaios dos corpos-de-prova de argamassa de contrapiso

a) Moldagem dos corpos-de-prova

Os traços das argamassas estudadas em volume são de 1:6 (cimento e areia, respectivamente) e 1:0,25:6 (cimento, cal e areia, nesta ordem). As tabelas 8 e 9 apresentam os dados relativos a conversão dos traços em volume para traço em massa e o consumo dos materiais para confecção dos corpos-de-prova.

Tabela 8 – Dados do traço em massa e consumo dos materiais dos cp's – Traço 1:0,25:6

Massa da amostra de argamassa (g)			6000	
Material	Traço em volume	Massa unitária	Traço em massa	Consumo
Cimento	1	1,14	1,00	728,82
Cal	0,25	0,82	0,18	131,06
Areia	6	1,34	7,05	5140,12

Tabela 9 – Dados do traço em massa e consumo dos materiais dos cp's – Traço 1:6

Massa da amostra de argamassa (g)			6000	
Material	Traço em volume	Massa unitária	Traço em massa	Consumo
Cimento	1	1,14	1,00	745,10
Cal	0	0,82	0,00	0,00
Areia	6	1,34	7,05	5254,90

Foram confeccionados 4 corpos-de-prova para cada idade de cura. Sendo estas idades de 7, 14 e 28 dias.

A quantidade de água utilizada em cada traço foi a correspondente a 11% de umidade em relação a massa da amostra de 6000 g, que resulta em 660 ml de água.

b) Determinação da densidade da argamassa fresca

Em sequência a produção dos cp's foi realizado o ensaio de determinação da densidade da argamassa fresca. A tabela 10 apresenta os dados e resultados deste ensaio.

Tabela 10 – Resultados do ensaio de densidade da argamassa fresca

Traço 1:0,25:6		Traço 1:6	
Mmolde (g)	99,4	Mmolde (g)	99,4
Vmolde (cm ³)	400	Vmolde (cm ³)	400
Marg+molde (g)	815,4	Marg+molde (g)	838,2
ρ_{fresca} (Kg/m ³)	1790,00	ρ_{fresca} (Kg/m ³)	1847,00

Assim, os valores obtidos de densidade de argamassa fresca foram de $\rho_{fresca} = 1790,0 \text{ Kg/m}^3$ para o traço de 1:0,25:6, e de $1847,0 \text{ Kg/m}^3$ para o traço de 1:6.

c) Ensaio de Resistência a compressão dos corpos-de-prova

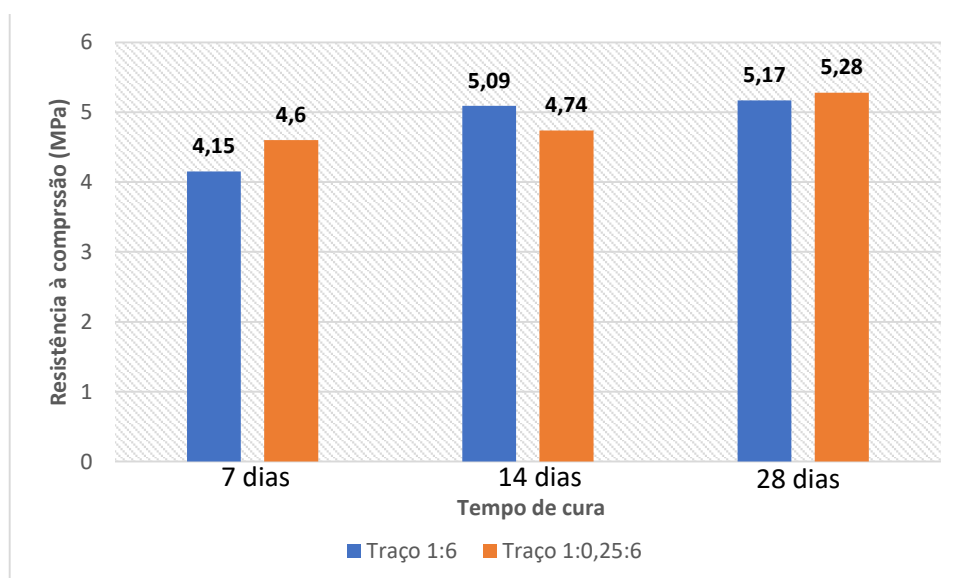
Após as datas de cura úmida de 7, 14 e 28 dias, foi realizado o ensaio de resistência a compressão dos corpos-de-prova de argamassa dos dois traços. Os valores médios de resistência dos quatro cp's ensaiados para cada data de cura estão dispostos na tabela 11.

Tabela 11 – Resultados referentes ao Ensaio de Resistência à compressão

Traço	Tempo de cura (dias)	Resistência à compressão(MPa)
1:6	7	4,15
	14	5,08
	28	5,17
1:0,25:6	7	4,6
	14	4,74
	28	5,28

A figura 12 apresenta o gráfico comparativo das médias de resistência a compressão dos corpos-de-prova de argamassas dos dois traços.

Figura 12: Resistência à compressão média dos cp's de argamassa – Traços 1:6 e 1:0,25:6



A partir da análise do gráfico constata-se que para o tempo de cura de 28 dias, a resistência obtida para os cp's de argamassa no traço de 1:0,25:6 é de 5,28 MPa, sendo portanto ligeiramente maior que o mesmo parâmetro analisado para os cp's com traço de 1:6, que obteve valor médio de 5,17 MPa. Sendo esta diferença igual a 0,11 MPa, em termos percentuais de apenas 2,08%.

4.5 Avaliação das placas cerâmicas

Os resultados referentes as dimensões geométricas das placas cerâmicas e da avaliação visual encontram-se na tabela 12.

Tabela 12 – Análise visual e medida das dimensões reais das placas cerâmicas

Placa	Defeito	r (cm)
1	Presença de fissura superficial.	61,2
2	Sem defeitos visíveis a olho nu.	59,5
3	Pequeno destaque do esmalte em ponto isolado da placa.	59,6
4	Pequeno destaque do esmalte em ponto isolado da placa.	59,5
5	Sem defeitos visíveis a olho nu.	59,5
6	Sem defeitos visíveis a olho nu.	59,6
7	Pequeno destaque do esmalte em pontos da placa.	60,1
8	Sem defeitos visíveis a olho nu.	59,4
9	Sem defeitos visíveis a olho nu.	60,1
10	Pequeno destaque do esmalte em ponto isolado da placa.	59,5
11	Pequeno destaque do esmalte em ponto isolado da placa.	61,5
12	Sem defeitos visíveis a olho nu.	59,5
13	Pequeno destaque do esmalte em ponto isolado da placa da extremidade.	60,1
14	Sem defeitos visíveis a olho nu.	61,1
15	Sem defeitos visíveis a olho nu.	59,2
16	Pequena fissura do esmalte na extremidade.	61,1
17	Defeito considerável no esmalte.	60,1
18	Pequena protuberância no esmalte.	61,2
19	Pequeno risco no esmalte na extremidade	60,3
20	Pequeno destaque do esmalte em ponto isolado da placa.	60,5
21	Sem defeitos visíveis a olho nu.	59,5

A partir da análise da tabela 9 feita com todas as placas observa-se que apenas 43% não apresentaram algum defeito perceptíveis. Os defeitos relacionados a pontos de destaque do esmalte das peças representam 58% das irregularidades nas placas.

Observou-se ainda que a dimensão real individual média (r_{med}) foi de 60,1 cm. A dimensão real média (R) foi de 59,55 cm.

4.6 Ensaio de resistência a impactos de corpo-duro

Com os protótipos de sistema de piso prontos e com a aquisição das esferas de aço de 0,50 Kg e 1,00 Kg foi possível a execução do ensaio de resistência a impactos de corpo-duro.

Para mapeamento dos protótipos no local de ensaio e melhor controle de alguns aspectos que envolvem a execução do ensaio foram anotados em cada protótipo o número da cerâmica assentada e o traço da argamassa da camada de contrapiso.

Foram utilizadas as energias de impacto referentes aos Estados Limite de Serviço (ELS) e Estado Limite Último (ELU). A tabela 13 a seguir relaciona os pontos de aplicação com as energias acumuladas nos mesmos. Considerou-se a aceleração da gravidade $g = 10 \text{ m/s}^2$. O esquema que detalha os pontos de queda nos protótipos está indicado na Figura 9 (A) no capítulo III.

As energias de 2,5J, 3,75J e 5,0J referem-se ao estado limite de serviço. Já as energias de 10,0J, 20,0J, e 30J ao estado limite último. A norma ABNT NBR 15575 – Edificações habitacionais – Desempenho (Parte 3: Requisitos para os sistemas de piso) adota as energias de 5J e 30J como parâmetros para os critérios de desempenho, e consequente determinação do nível de desempenho do sistema de piso.

Tabela 13 – Dados referentes a energia acumulada em cada ponto de queda da esfera no protótipo.

Protótipo	Ponto de aplicação	m esfera (Kg)	Altura de queda (m)	Energia (J)
X	1	0,5	1	5
	2			
	3			
	4		0,75	3,75
	6			
	7			
	5		0,5	2,5
	8			
	9			
Y	1	1	3	30
	2			
	3			
	4		2	20
	6			
	7			
	5		1	10
	8			
	9			

4.6.1 Protótipos com camada de contrapiso executada com argamassa no traço 1:6 em volume

Para o Estado Limite de Serviço (ELS) dos protótipos de piso com camada de contrapiso executada com argamassa no traço 1:6 em volume, foi obtida a distribuição em frequência absoluta dada na tabela 14. Os protótipos utilizados para estes ensaios foram os com numeração: 8, 9, 19, 20 e 21.

Tabela 14 – Resultados obtidos para os protótipos 8, 9, 19, 20 e 21 com traço 1:6 em volume, para o ELS

Energia (J)	Dano causado	Nº Protótipos
5	Nenhum dano.	1
	Mossa com fissuras radiais.	6
	Mossa sem fissuras.	8
	Total	15
	Mossa sem fissuras.	3

3,75	Mossa com 3 ou menos fissuras radiais de pequenas extensões.	3
	Mossa com 3 ou menos fissuras radiais de grandes extensões.	6
	Mossa com profundidade considerável	1
	Mossa com mais de 3 fissuras radiais de pequenas extensões.	2
Total		15
2,5	Nenhum dano.	2
	Mossa sem fissuras.	4
	Mossa com 3 ou menos fissuras radiais de pequenas extensões.	7
	Mossa com 3 ou menos fissuras radiais de grandes extensões.	2
Total		15

Já para o Estado Limite Último (ELU) referente ao mesmo traço em volume de 1:6 da argamassa de contrapiso, foi obtida a distribuição em frequência absoluta dada na tabela 15. Os protótipos ensaiados para o ELU foram os de numeração: 7, 15, 16, 17 e 18.

Os ensaios de impacto nos pontos 4, 6 e 7 (referentes a energia de 20 J) na maioria dos protótipos não foram realizados devido aos danos causados nesses pontos pelos impactos nos pontos 1, 2 e 3.

Os ensaios no protótipo 16 não foram realizados em todos os pontos já que o ponto 5 deste ficou comprometido devido aos impactos nos pontos 1, 2 e 3 do mesmo. Assim, foram realizados no total 14 ensaios referentes aos pontos 5, 8 e 9 dos protótipos relativos a energia de 10 J.

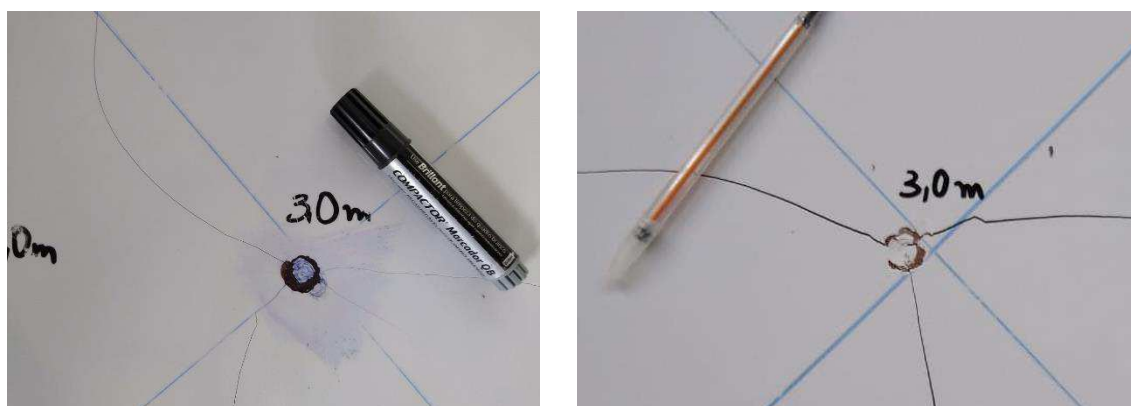
Tabela 15 – Resultados obtidos para os protótipos 7, 15, 16, 17 e 18 com traço 1:6 em volume, para o ELU

Energia (J)	Dano causado	N° Protótipos
30	Lascamentos, fissuras radiais e desagregações.	2
	Lascamento, fissuras radiais extensas ($\geq 0,1$ mm), desagregação e destaque do esmalte.	2
	Lascamento, fissuras radiais extensas ($< 0,1$ mm), desagregação e falhas no esmalte.	9
	Lascamento, desagregação e rachaduras (4 a 5 mm)	2

	Total	15
10	Mossa com fissuras e sem trincas.	1
	Mossa com fissuras e com trincas.	2
	Lascamento, fissuras e desagregação.	4
	Lascamento e desagregação com trinca.	3
	Lascamento e desagregação com rachadura.	1
	Lascamento, desagregação, fissura e trinca.	3
	Total	14

As figuras 13 e 14 ilustram os danos causados em alguns protótipos com camada de contrapiso executada com traço em volume de 1:6, após a execução dos ensaios de impacto de corpo-duro.

Figuras 13 e 14 : Danos causado em um protótipo – traço argamassa de 1:6



4.6.2 Protótipos com camada de contrapiso executada com argamassa no traço 1:0,25: 6 em volume

Para os cinco protótipos ensaiados com as energias referentes ao Estado Limite de Serviço (ELS) foram obtidos os resultados resumidos na tabela 16 de distribuição em frequência absoluta dos danos causados pelos impactos. Os protótipos ensaiados para o ELS foram os de números: 2, 4, 11, 13 e 14.

Tabela 16 – Resultados obtidos para os protótipos 2, 4, 11, 13 e 14.com traço 1: 0,25: 6 em volume, para o ELS

Energia (J)	Dano causado	N° Protótipos
5	Mossa sem fissuras e sem destaque do esmalte	5
	Mossa com fissuras radiais e/ou circulares	6
	Mossa considerável com destaque do esmalte	2
	Mossa considerável sem destaque do esmalte	2
	Total	15
3,75	Nenhum dano.	1
	Mossa com fissuras radiais de pequenas extensões.	7
	Mossa com fissuras radiais de grandes extensões.	2
	Mossa profundidade considerável sem fissuras	2
	Mossa de pequena profundidade e sem fissuras	3
	Total	15
2,5	Nenhum dano.	3
	Mossa sem fissuras.	9
	Mossa com fissuras sem destaque do esmalte	2
	Mossa com fissura de grande extensão e destaque do esmalte.	1
	Total	15

Para os cinco protótipos ensaiados com as energias referentes ao Estado Limite Último (ELU) os resultados estão resumidos na tabela 17 de distribuição em frequência absoluta dos danos causados pelos impactos. Os protótipos ensaiados para o ELU foram os de numeração: 3, 5, 6, 10 e 12.

Neste caso, os exemplares de piso foram ensaiados quase que em sua totalidade apenas nos pontos 1, 2 e 3, pois ao executar o ensaio nestes pontos observou-se comprometimento dos demais pontos (4 à 9). Sendo assim, a análise destes protótipos resumem-se a energia máxima do ELU, de 30 J.

Tabela 17 – Resultados obtidos para os protótipos 3, 5, 6, 10 e 12 com traço 1: 0,25: 6 em volume, para o ELU.

Energia (J)	Dano causado	N° Protótipos
30	Ruína no local.	3

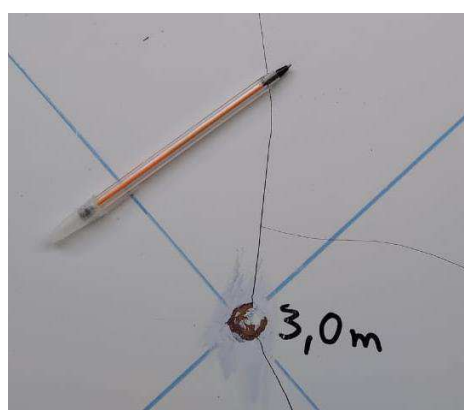
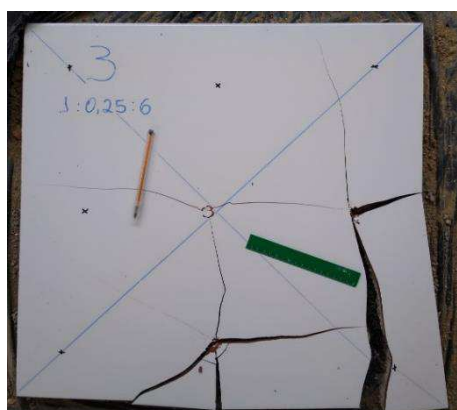
Lascamento, fissuras radiais extensas, desagregação e destaque do esmalte.	6
Lascamento, trincas de 0,5 mm a 2,5 mm de abertura, desagregação e destaque do esmalte	3
Lascamento, trincas de 0,5 mm a 2,5 mm de abertura, fissuras radiais, desagregação e destaque do esmalte	3
Total	15

As figuras 15, 16 e 17 mostram alguns danos causados nos protótipos ensaiados com argamassa de contrapiso de traço 1: 0,25: 6, após os impactos das esferas de aço.

Figura 15: Dano causado em um protótipo – traço argamassa de 1: 0,25: 6



Figuras 16 e 17: Danos causados nos pontos centrais de protótipos– traço argamassa de 1: 0,25: 6



4.6.3 Análise comparativa dos resultados nos protótipos

Para chegar-se a uma resposta sobre a possível influência do traço da argamassa de contrapiso na resistência a impactos de corpo-duro do sistema de piso é imprescindível que se faça a comparação dos resultados obtidos para cada traço de argamassa de contrapiso.

Deve-se comparar não somente os danos causados pelos ensaios de impacto de resistência a corpo-duro como também buscar confrontar os resultados dos ensaios de resistência a compressão dos corpos-de-prova de argamassa para os dois traços.

4.6.3.1 Comparação dos resultados relativos ao ELS

As figuras 18 e 19 apresentam os gráficos relativos a energia de 5 J, energia máxima do ELS (determinada pela Norma de Desempenho) para os protótipos dos dois traços.

Figura 18: Frequência relativa dos danos causados pelos impactos nos pontos 1, 2 e 3 dos protótipos, referentes a energia de 5 J – Traço 1:6

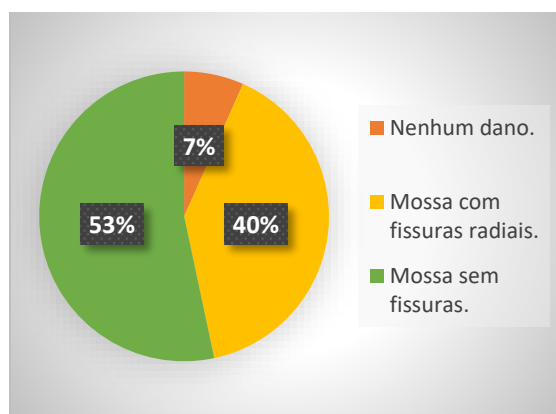
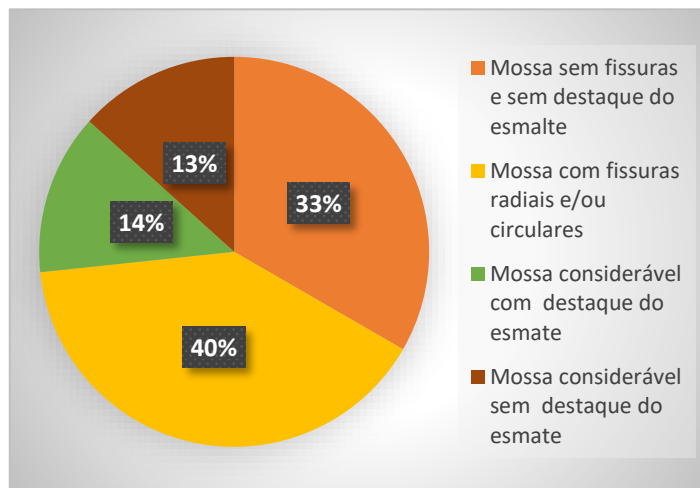


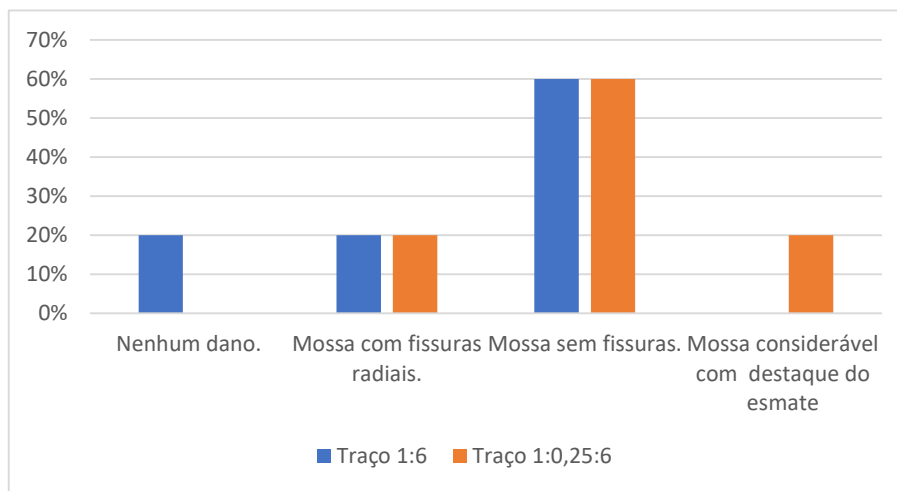
Figura 19: Frequência relativa dos danos causados pelos impactos nos pontos 1, 2 e 3 dos protótipos, referentes a energia de 5 J – Traço 1: 0,25: 6



Considerando os impactos da esfera de 0,5 Kg nos pontos 1, 2 e 3 dos protótipos, pode-se constatar que para o traço de 1:6, 53% dos impactos nestes pontos provocaram mossas sem a presença de fissuras. Já para o traço de 1:0,25:6, 40% dos impactos acarretaram no revestimento cerâmico moosa com fissuras radiais e/ou circulares, sendo portanto este dano o mais frequente nos protótipos com traço 1:0,25:6 e também a frequência igual do mesmo dano referente aos protótipos com o traço 1:6.

Considerando apenas os ensaios realizados no centro geométrico do protótipo (ponto 1) como recomenda a Norma de Desempenho, tem-se o gráfico comparativo entre os efeitos causados nos protótipos dos dois traços, mostrado na Figura 20.

Figura 20: Frequência relativa dos danos causados pelos impactos no ponto 1 dos protótipos, referentes a energia de 5 J – Traços 1:6 e 1: 0,25: 6



Pode-se então perceber que com os ensaios realizados somente no centro de cada protótipo relativo aos dois traços, a frequência de ocorrência de “mossa sem fissuras” é de 60%, sendo portanto o dano mais recorrente para os exemplares referentes aos dois traços. Percebe-se também que o “dano” mozza com fissura ocorre com a mesma frequência para os dois traços (20%).

4.6.3.2 Comparação dos resultados relativos ao ELU

As figuras 21 e 22 apresentam os gráficos relativos a energia de 30 J, energia máxima do ELU (determinada pela Norma de Desempenho) para os protótipos dos dois traços.

Figura 21: Frequência relativa dos danos causados pelos impactos nos pontos 1, 2 e 3 dos protótipos, referentes a energia de 30 J – Traço 1:6

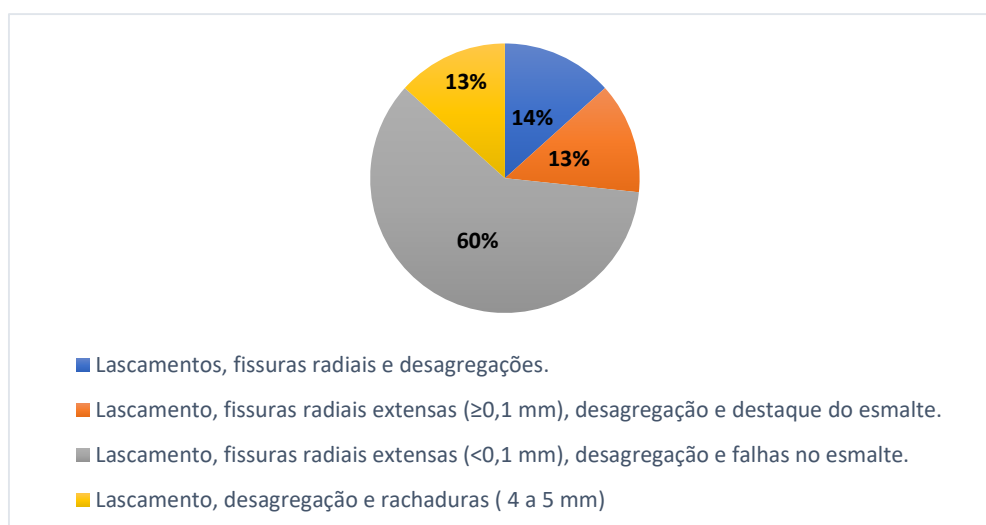
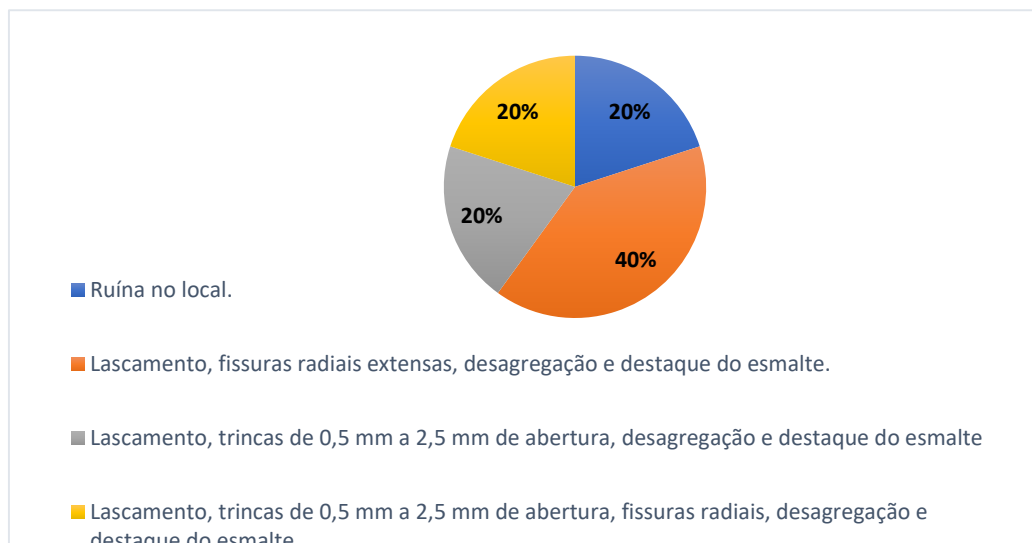


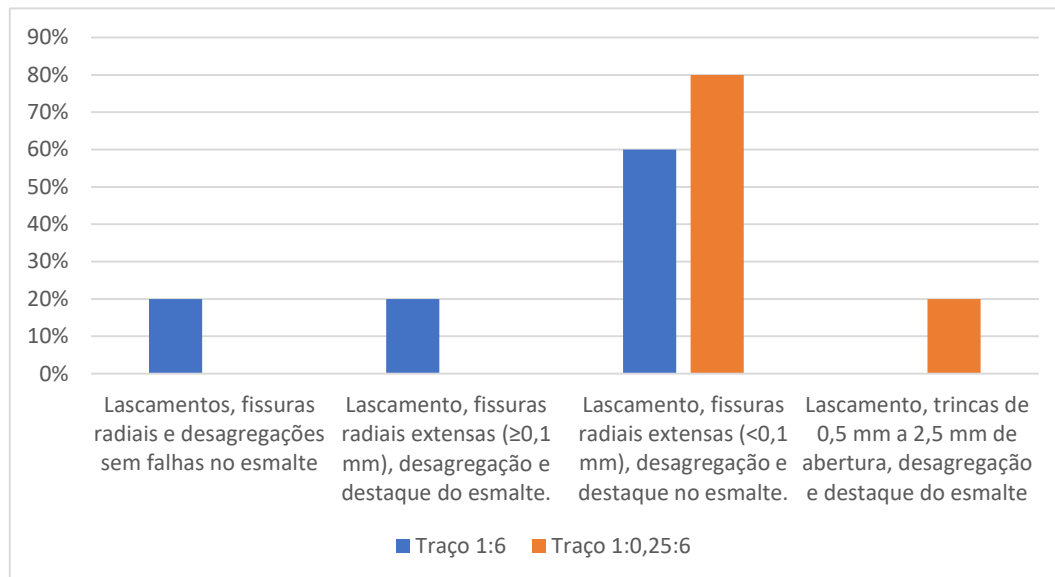
Figura 22: Frequência relativa dos danos causados pelos impactos nos pontos 1, 2 e 3 dos protótipos, referentes a energia de 30 J – Traço 1:0,25:6



Considerando os impactos da esfera de 1,0 Kg nos pontos 1, 2 e 3 dos exemplares pode-se constatar que para o traço de 1:6, 60% dos impactos produziram “lascamento, fissuras radiais extensas com abertura menor que 0,1 mm, desagregação e destaque do esmalte”. Sendo portanto, o dano mais frequente nos protótipos do traço 1:6. Este dano foi o que mais ocorreu também para os protótipos com traço 1:0,25:6, porém com uma menor frequência relativa, de 40%. É importante destacar que 20% dos impactos realizados nestes pontos provocaram “ruína local” do protótipo.

Analisando os impactos realizados no centro geométrico de cada protótipo, o ponto 1, foi comparada a frequência relativa dos danos causados neste ponto para cada traço, e o gráfico de tal análise é apresentado na figura 23.

Figura 23: Frequência relativa dos danos causados pelos impactos no ponto 1 dos protótipos, referentes a energia de 30 J – Traços 1:6 e 1: 0,25: 6



Pode-se então perceber que com os ensaios realizados somente no centro de cada protótipo relativo aos dois traços, a ocorrência de “lascamento, fissuras radiais extensas ($< 0,1$ mm de abertura), desagregação e destaque no esmalte” é a mais frequente. Para o traço de 1:6 este dano representa 60% das ocorrências dos impactos no centro dos exemplares. Já para o traço 1:0,25:6, o mesmo dano corresponde a 80% dos danos causados pelo impacto da esfera de 1,0 Kg no centro dos exemplares. Vale destacar que em um protótipo do traço 1:0,25:6 ocorreu trinca no centro do mesmo, após o impacto da esfera.

CAPÍTULO V

5 Conclusões

Dos resultados obtidos, pode-se concluir que:

5.1 Com relação a influência do traço da argamassa na resistência a impactos de corpo-duro em sistemas de piso

A argamassa produzida para a camada de contrapiso, seja com o traço em volume de 1:6 (cimento e areia, respectivamente), seja com o traço também em volume de 1:0,25:6 (cimento, cal e areia, nesta ordem) não acarreta influência significativa na resistência a impactos de corpo-duro.

5.2 Produção de protótipos de sistema de piso com revestimento cerâmico utilizando dois traços de argamassa

Foram produzidos dez protótipos de sistemas de piso com camada de contrapiso com traço de argamassa de 1:0,25:6 em volume (cimento, cal e areia) e dez com argamassa no traço 1:6 (cimento e areia, respectivamente), que apresentaram desempenho satisfatório nesta camada, frente aos bons níveis de planeza e nivelamento.

Após este estrato, foi executada a camada de fixação com argamassa colante tipo ACI com fixação dupla (aplicada no contrapiso e na face interna da placa cerâmica), obtendo-se sucesso nesta etapa. Concomitantemente a esta fase, foram assentadas as placas cerâmicas em cada protótipo que correspondem a camada de acabamento, seguindo os procedimentos indicados pela norma ANBT NBR 13573:1996 – Revestimento de piso interno ou externo com placas cerâmicas e com utilização de argamassa colante – Procedimento. Nesta etapa conseguiu-se atender as expectativas.

5.3 Realização dos ensaios de resistência a impactos de corpo-duro

Os ensaios foram realizados de acordo com o método de ensaio dado na Parte 3 da norma de Desempenho. Os resultados obtidos apresentaram-se dentro do esperado, com características dos danos mencionadas na norma em questão, como mossas, fissuras, desagregações, ruína e trincas.

Além dos impactos realizados no centro de cada protótipo, neste ensaio foi idealizado uma metodologia diferente, já que foram realizados no mesmo protótipo mais oito impactos em diferentes locais do mesmo.

5.4 Avaliação do nível de desempenho dos sistemas de piso

A) Protótipos com traço 1:6

Considerando os ensaios realizados nos pontos 1, 2 e 3 dos protótipos, obteve-se nível de desempenho mínimo (M).

Examinando os ensaios realizados apenas no ponto 1 (centro geométrico) de cada protótipo, obteve-se também nível de desempenho mínimo (M).

B) Protótipos com traço 1:0,25:6

Avaliando os ensaios realizados nos pontos 1, 2 e 3 dos protótipos, obteve-se nível de desempenho mínimo (M).

Refletindo sobre os ensaios executados somente no ponto 1 de cada protótipo, obteve-se nível de desempenho mínimo (M).

5.5 Sugestões para estudos futuros

A) Estudo da influência da camada de fixação do sistema de piso na resistência a impacto de corpo-duro. Utilizar a mesma camada de revestimento cerâmico e variar o tipo de argamassa colante: AC I, AC II e AC III.

B) Realizar estudo de sistemas de piso com diferentes tipos de revestimentos cerâmicos, não variando as demais camadas do sistema e então executando o ensaio de resistência a impactos de corpo-duro.

NORMA CITADAS

1. ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - NBR NM 23– Cimento Portland e outros materiais em pó: Determinação da massa específica, 2000.
2. ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - NM 248– Agregados: Determinação da composição granulométrica, 2003.
3. ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - NM 45 – Agregados: Determinação da massa unitária e do volume de vazios, 2006.
4. ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - NM 45– Agregados: Determinação da massa unitária e do volume de vazios, 2006.
5. ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - NM 52: 2009 – Agregado miúdo: Determinação de massa específica e massa específica aparente.
6. ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS MB 3432– Cimento Portland: Determinação da finura por meio da peneira 75 μm (nº 200). Rio de Janeiro, 1991.
7. ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15575 – Edificações habitacionais – Desempenho (Parte 3: Requisitos para os sistemas de piso), Rio de Janeiro, 2013.
8. ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15575 – Edificações habitacionais – Desempenho (Parte 2: Requisitos para os sistemas estruturais), Rio de Janeiro, 2013.
9. ABNT– ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13573- Revestimento de piso interno ou externo com placas cerâmicas e com utilização de argamassa colante: Procedimento, Rio de Janeiro, 1996.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. A&C Web, Revista digital. *Destacamento das placas é a principal patologia dos revestimentos cerâmicos*, 2016. Disponível em: https://www.aecweb.com.br/cont/m/rev/destacamento-das-placas-e-a-principal-patologia-dos-revestimentos-ceramicos_13650_10_16
2. BARNBROOK, George. *Floor screeds. Concrete*, London, Mar. 1992 (Current Practice Sheets n.73).
3. BARROS, M. M. S. B.; TANIGUTI, E. K.; RUIZ, L. B.; SABBATINI, F. H. *Tecnologia construtiva racionalizada para produção de revestimentos cerâmicos verticais*. Notas de aula, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.
4. BARROS, Mercia M. S. B e SABATINNI, Fernando H. *Tecnologia de produção de contrapisos para edifícios habitacionais e comerciais*, Dissertação. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, São Paulo, 1991.
5. CAMPANTE, E. F.; SABBATINI, F. H. *Metodologia de diagnóstico, recuperação e prevenção de manifestações patológicas em revestimentos cerâmicos de fachada*. Boletim técnico n.301, Universidade de São Paulo, São Paulo.
6. CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DU BÂTIMENT. *Chapes et dalles à base de liants hydrauliques. Cahier du CSTB*, Paris, n.1974, p. 1-15, Sep. 1982 (DTU 26.2).
7. CHAGAS FILHO, Milton Bezerra das, *Notas de Aula da Disciplina de Técnicas de Edificações – Norma de Desempenho*, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande 2018.
8. CHAGAS, Rodrigo M. P. *Estudo do concreto laterítico dosado com aditivo plastificante à base de lignosulfonato*. Tese de Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental. Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2011.
9. CHVATAL, K. M. S. *Avaliação do procedimento simplificado da NBR 15575 para determinação do nível de desempenho térmico de habitações*. Revista Ambiente Construído edição n° 4, vol. 14, Porto Alegre, 2014.
10. DINIZ, Vinícius de Melo. *Estudo de desempenho de um revestimento cerâmico interno para piso, em Boa Vista – Roraima, aplicando parâmetros da ANBT NBR*

- 15575-3:2013, *Trabalho de Conclusão de Curso*. Universidade Federal de Roraima, Boa Vista, 2015.
11. FANTINI, Paloma Rodriguez. *Patologias em revestimentos cerâmicos em escolas de Maringá-PR*. Monografia de Pós-Graduação no Curso de Construção de Obras Públicas. Universidade Federal do Paraná, Maringá, 2010.
 12. FILHO, Vamberto M. dos Santos. *Norma de desempenho: Uma visão da história e de seu atendimento no cenário atual da indústria da construção civil*. Revista Especialize online IPOG edição vol 01, nº 10, Goiânia, 2015.
 13. FIORITO, Antônio J. S. I. *Manual de argamassas e revestimentos – Estudos e procedimentos de execução*. Editora Pini, São Paulo, 1994.
 14. FIORITO, Antônio J. S. I. *Manual de argamassas e revestimentos: Estudos e procedimentos de execução*. São Paulo: Pini, 1994.
 15. GAIL. *Manual de execução: pisos*, Guarulhos, São Paulo.
 16. KERN, Andrea P. et al. *O processo de implantação de normas de desempenho na construção: Um comparativo entre a Espanha (CTE) e Brasil (ABNT NBR 15575/2013)*. Gestão e Tecnologias de Projeto (Portal de revistas da USP) vol. 9, nº 01, São Paulo, 2014.
 17. LORENZI, Luciani S. *Análise crítica e proposições de avanço nas metodologias de ensaios experimentais de desempenho à luz da ABNT NBR 15575 (2013) para edificações habitacionais de interesse social térreas*. Tese de Doutorado em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.
 18. OGAWA, Matheus de Oliveira A. et al. *Isolamento acústico ao ruído de impacto em lajes de edifícios habitacionais, Monografia*. Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2014.
 19. PEZZATO, Leila Maria. *Patologias no sistema revestimento cerâmico: um estudo de caso em fachadas*. Tese de mestrado em Arquitetura e Urbanismo. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.
 20. RHOD, Alexandra Barcelos. *Manifestações patológicas em revestimentos cerâmicos: Análise da frequência de ocorrência em áreas internas de edifícios em uso em Porto Alegre, Trabalho de Diplomação*. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

21. RIBEIRO, Luiz F. P. *Comparativo entre métodos de execução de contrapiso tradicional e com argamassa fluida - estudo de caso em obra da empresa Eztec, Monografia*. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017.
22. RIBEIRO, Luiz F. P. *Comparativo entre métodos de execução de contrapiso tradicional e com argamassa fluida – estudo de caso em obra da empresa Eztec, Monografia*. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017.
23. RIBEIRO, Luiz F. P. *Comparativo entre métodos de execução de contrapiso tradicional e com argamassa fluida – estudo de caso em obra da empresa Eztec, Monografia*. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017.
24. SILVA, Marinilda N. Pereira et al. *Revestimentos cerâmicos e suas aplicabilidades, Artigo*. Disponível em periodicos.set.edu.br, Maceió, 2015.
25. Sindicato da Indústria da Construção Civil no Estado de Minas Gerais. *Placas cerâmicas para revestimento, Publicação Programa Qualimat Sinduscon-MG*. Sinduscon-MG, Belo Horizonte, 2009.
26. Sindicato da Indústria da Construção Civil no Estado de Minas Gerais. *Placas cerâmicas para revestimento, Publicação Programa Qualimat Sinduscon-MG*. Sinduscon-MG, Belo Horizonte, 2009.
27. SOARES, Felipe F. *A importância do projeto de impermeabilização em obras de construção civil, Projeto de Graduação*. Escola Politécnica da Universidade do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.
28. SOUZA, Natália C. *Análise de desempenho do contrapiso autonivelante em relação ao sistema tradicional, Dissertação*. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013.
29. UCHÔA, João Carlos B. *Análise numérica e experimental da fadiga termomecânica em argamassas colantes no sistema de revestimento cerâmico, Tese de Doutorado*, Universidade de Brasília, Brasília, 2015.
30. VEDACIT. *Manual técnico – Impermeabilização de estruturas*, 6º edição.

