



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

**ESTUDO DE ARGAMASSAS DE ASSENTAMENTO DE BLOCOS
CERÂMICOS EM ALVENARIA DE VEDAÇÃO INTERNA COM BASE NOS
CRITÉRIOS DE DESEMPENHO DA ABNT NBR 15575-4:2013**

FELIPE MATHEUS RODRIGUES DE QUEIROZ SOUZA

Orientador: Prof. Dr. Milton Bezerra das Chagas Filho
Coorientador: M. Sc. Eng^o Rodrigo Mendes Patrício Chagas

Campina Grande – PB.

2019

FELIPE MATHEUS RODRIGUES DE QUEIROZ SOUZA

**ESTUDO DE ARGAMASSAS DE ASSENTAMENTO DE BLOCOS
CERÂMICOS EM ALVENARIA DE VEDAÇÃO INTERNA COM BASE NOS
CRITÉRIOS DE DESEMPENHO DA ABNT NBR 15575-4:2013**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à
Universidade Federal de Campina Grande –
UFCG, para o encerramento do componente
curricular e conclusão da graduação em
Engenharia Civil.
Área de Concentração: Construção civil

Orientador: Prof. Dr. Milton Bezerra Chagas Filho

Coorientador: M. Sc. Eng^o Rodrigo Mendes Patrício Chagas

Campina Grande - PB

2019

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCG

Souza, Felipe Matheus Rodrigues de Queiroz
Estudo de argamassas de assentamento de blocos cerâmicos em alvenaria de vedação
interna com base nos critérios de desempenho da ABNT NBR 15575-4:2013
Campina Grande, 2019

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

FELIPE MATHEUS RODRIGUES DE QUEIROZ SOUZA

**ESTUDO DE ARGAMASSAS DE ASSENTAMENTO DE BLOCOS
CERÂMICOS EM ALVENARIA DE VEDAÇÃO INTERNA COM BASE NOS
CRITÉRIOS DE DESEMPENHO DA ABNT NBR 15575-4:2013**

Campina Grande – PB, 06 de dezembro de 2019.

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

Prof.^a Dra. Marília Marcy Cabral de Araújo
Avaliadora Interna
Unidade Acadêmica de Engenharia Civil
Universidade Federal de Campina Grande

Prof. Me. Eng^o Rodrigo Mendes Patrício Chagas
Avaliador Externo
Unidade Acadêmica de Engenharia Civil
Universidade Federal de Campina Grande

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus, que me deu forças para superar todos os momentos árduos durante essa caminhada.

À Universidade Federal de Campina Grande e ao Centro de Tecnologia e Recursos Naturais; à Unidade Acadêmica de Engenharia Civil;

Ao meu orientador Professor Dr. Milton Bezerra das Chagas Filho, sempre presente e atencioso, com seus ensinamentos encantadores, amizade e disposição.

Ao meu coorientador Me. Eng^o Rodrigo Mendes Patrício Chagas pelas orientações, amizade e atenção. Sua presença foi fundamental para vencer este desafio.

Aos meus pais, Selma e Queiroz, por todo incentivo e paciência. Nos dias difíceis, seus afagos e cuidados foram primordiais para vencer essa etapa de minha vida.

Aos meus irmãos e companheiros Rodrigo e Thiago, por me apoiarem incondicionalmente nessa jornada, pela amizade e cuidado.

Aos Laboratoristas Francisco, Edvaldo e Solange pelo apoio, atenção e cordial amizade.

Ao meu companheiro de pesquisas e estágio Sávio Vinícius Sarmiento de Souza. Seu companheirismo e apoio nos momentos difíceis durante esta pesquisa foram fundamentais para seguir em frente e superar todas as adversidades.

Aos meus amigos sempre presentes, Erveton Victor e João Vitor Tavares, que fizeram parte da minha formação, e que me mostram continuamente que amizades verdadeiras resistem ao tempo e a distância.

RESUMO

O aumento da demanda pela qualidade das edificações no setor da construção civil tem se mostrado cada vez mais crescente. Objetivando atender essa demanda e garantir a qualidade dos serviços, estabelecer requisitos e padrões de eficiência são fundamentais. Diante desse cenário, entrou em vigor, a Norma de Desempenho das Edificações Habitacionais ABNT NBR 15575: 2013. Assim, para cada subsistema da edificação, critérios quantitativos são estabelecidos a fim de garantir padrões mínimos de qualidade, oferecendo ganhos a projetistas, construtoras e usuários. Nesta pesquisa foram feitas verificações do desempenho estrutural de vedações verticais internas, baseadas no estudo do comportamento das argamassas de assentamento de blocos cerâmicos. Para estimar a resistência do sistema de vedação por meio de ensaios de impacto de corpo mole, foram produzidos dois painéis de alvenaria, empregando para cada painel um traço de argamassa de assentamento, sendo 1:2:8 e 1:1:7 os traços em volume. Foram estudados o comportamento da argamassa no estado fresco e endurecido, sendo realizado os ensaios de índice de consistência da argamassa, densidade de massa e determinação da resistência à compressão aos 7, 14 e 28 dias. Para os ensaios de impacto de corpo mole, os resultados indicaram uma maior resistência do traço 1:2:8, uma vez que, obtiveram-se valores de deslocamentos (máximos e instantâneos) inferiores aos deslocamentos do traço 1:1:7, e aos limites impostos pela ABNT NBR 15575-4: 2013. Isto, provavelmente, se deve a maior resistência à compressão da argamassa à idade de 28 dias. Portanto, baseado nos resultados dos deslocamentos transversais nas duas alvenarias, constatou-se, segundo os critérios da ABNT NBR 15575-4: 2013, um nível de desempenho satisfatório para as energias de impacto aplicadas, identificando o comportamento estável das vedações e não ocorrência do Estado Limite Último (ELU).

Palavras chave: alvenaria de vedação, argamassa, deslocamentos.

ABSTRACT

The increasing demand for the high quality for buildings in the construction sector has been growing steadily. In order to reach this demand and ensure the quality of services, establishing requirements and efficiency standards are the key. Thus, the Performance Standard of Housing Buildings ABNT NBR 15575: 2013 came as an answer for this demand. Therefore, for each building subsystem, quantitative criteria are established in order to guarantee minimum quality standards, offering gains to designers, builders and users. In this research, the structural performance of internal vertical masonry was verified, based on the study of the behavior of ceramic block laying mortars. To estimate the strength of the masonry system by means of the soft-body impact tests, two masonry panels were produced, using for each prototype a laying mortar trace: 1:2:8 and 1:1:7 strokes. Thus, the behavior of the mortar in the fresh and hardened state was studied, being performed the tests of mortar consistency index, mass density and determination of compressive strength at 7, 14 and 28 days. The results indicated a higher resistance of the 1:2:8 stroke by soft-body impacts on the seal, since displacement values (maximum and instantaneous) were lower than the 1:1:7 stroke displacements and the limits imposed by ABNT NBR 15575-4: 2013. This is probably due to the higher compressive strength of mortar at the age of 28 days. Therefore, based on the results of the transverse displacements in the two masonry, it was found, according to the criteria of ABNT NBR 15575-4: 2013, a satisfactory performance level, identifying the stable behavior of the walls and non occurrence of the Ultimate Limit State (ULS).

Keywords: sealing masonry, mortar, displacements.

Lista de Figuras

Figura 2.1: Representação dos blocos cerâmicos de vedação.	26
Figura 2.2: Exemplo de blocos cerâmicos 9x19x39cm usados em alvenarias a espelho (cutelo).....	32
Figura 2.3: Aplicação de juntas de argamassa nos sistemas de vedações verticais.....	33
Figura 2.4: Construção de uma edificação utilizando alvenaria de vedação em blocos cerâmicos.....	34
Figura 2.5: Distribuição das manifestações patológicas nas alvenarias.	36
Figura 2.6: Fissuras horizontais nos sistemas de vedações verticais (Fonte: Thomaz, 1989).....	38
Figura 3.1: Fluxograma de atividades da pesquisa.....	41
Figura 3.2: Medição da espessura das paredes externas e septos dos blocos cerâmicos realizada no Laboratório de Estruturas – UAEC – UFCG.	43
Figura 3.3: Medição do desvio em relação ao esquadro no bloco cerâmico.	43
Figura 3.4: Determinação da planeza da face a partir da flecha formada na diagonal do bloco cerâmico.....	44
Figura 3.5: Compressão axial do bloco cerâmico executada no Laboratório de Estruturas – UAEC – UFCG.....	45
Figura 3.6: Ensaio de determinação do índice de consistência da argamassa.	47
Figura 3.7: Ensaio de determinação da densidade da argamassa fresca.....	47
Figura 3. 8: Ensaio de compressão no corpo-de-prova executado no Laboratório de Engenharia de Pavimentos – UAEC – UFCG.....	48
Figura 3.9: Modulação e disposição dos protótipos de alvenarias.	49
Figura 3.10: Execução das alvenarias de vedação no Laboratório de Estruturas – UAEC – UFCG.....	49
Figura 3.11: Montagem do sistema pendular para o ensaio de impacto de corpo mole disposto na posição A, no Laboratório de Estruturas – UAEC – UFCG.....	50
Figura 3.12: Instalação dos dispositivos de medição dos deslocamentos transversais no Laboratório de Estruturas – UAEC – UFCG.....	51
Figura 3.13: Pontos de aplicação da carga na alvenaria de vedação.	52
Figura 4.1: Curva granulométrica do agregado miúdo.....	54
Figura 4.2: Evolução da resistência à compressão das argamassas de assentamento. ...	62

Figura 4.3: Ensaio de resistência à compressão das argamassas de assentamento na prensa Shimadzu Servopulser, no Laboratório de Engenharia de Pavimentos – UFCG.	62
Figura 4.4: Deslocamentos instantâneos em função das energias aplicadas no ponto A.	65
Figura 4.5: Deslocamentos instantâneos em função das energias aplicadas no ponto B.	66
Figura 4.6: Deslocamentos máximos em função das energias aplicadas no ponto A. ...	67
Figura 4.7: Deslocamentos máximos em função das energias aplicadas no ponto B. ...	67

Lista de Tabelas

Tabela 2.1: Características exigidas para os blocos cerâmicos de vedação.	26
Tabela 2.2: Exigências dos usuários conforme a ABNT NBR 15575:2013.	27
Tabela 2.3: Critérios e níveis de desempenho quanto a deslocamentos e ocorrência de falhas sob ação de cargas de serviço (Fonte: Tabela 1, ABNT NBR 15575-4: 2013)...	29
Tabela 2. 4: Impacto de corpo mole para vedações verticais internas.	30
Tabela 2.5: Requisitos de desempenho estrutural (Fonte: ABNT NBR 15575-4: 2013).	31
Tabela 3.1: Tolerância dimensionais individuais relacionadas à dimensão efetiva.	42
Tabela 3.2: Ensaio para caracterização física da cal hidratada CHI.	46
Tabela 3.3: Ensaio de caracterização do agregado miúdo.	46
Tabela 3.4: Massa do corpo impactador, altura e energia de impacto (ensaio de impacto de corpo mole).....	51
Tabela 3.5: Sequência de impactos na alvenaria de vedação de acordo com a ABNT NBR 11675:2016.	52
Tabela 4.1: Composição granulométrica do agregado miúdo.	53
Tabela 4.2: Amostragens e critérios de aceitação e rejeição dos blocos de vedação.	55
Tabela 4.3: Determinação das dimensões das faces dos blocos de vedação 9x9x19 cm.	56
Tabela 4.4: Determinação da espessura das paredes externas e septos dos blocos de vedação.	56
Tabela 4.5: Determinação da espessura das paredes externas e septos dos blocos de vedação.	57
Tabela 4.6: Determinação da planeza das faces e desvio em relação ao esquadro dos blocos de vedação.	57
Tabela 4.7: Determinação do índice de absorção de água dos blocos de vedação.	58
Tabela 4.8: Determinação da resistência à compressão dos blocos de vedação.	59
Tabela 4. 9: Ensaio físicos no cimento	59
Tabela 4.10: Ensaio físicos na cal.	60
Tabela 4.11: Fator água/aglomerante obtido a partir da mesa de consistência das argamassas ensaiadas.....	61

Tabela 4.12: Determinação da densidade de massa fresca para argamassa de assentamento.....	61
Tabela 4.13: Deslocamentos transversais instantâneos e residuais para o traço 1:2:8... 63	63
Tabela 4.14: Deslocamentos transversais instantâneos e residuais para o traço 1:1:7... 63	63
Tabela 4.15: Análise comparativa entre os resultados obtidos no laboratório e limites definidos pela ABNT NBR 15575-4:2013 para o traço 1:2:8.	64
Tabela 4.16: Análise comparativa entre os resultados obtidos no laboratório e limites definidos pela ABNT NBR 15575-4:2013 para o traço 1:1:7.	64

Lista de Siglas, símbolos e abreviaturas

d_h	Deslocamento Instantâneo;
d_{hr}	Deslocamento Horizontal Residual;
γ	Massa específica;
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas;
CAGEPA	Companhia de Água e Esgotos da Paraíba;
CP	Corpo de prova;
CP II F 32	Cimento Portland Composto com adição de filler e resistência aos 28 dias de 32 MPa;
CTRN	Centro de Tecnologia e Recursos Naturais;
ELS	Estado Limite de Utilização;
ELU	Estado Limite Último;
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas;
NBR	Norma Brasileira;
PBPQ-H	Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade do Habitat;
pH	Potencial Hidrogeniônico;
SVVIE	Sistemas de Vedações Verticais Internos e Externos;
UAEC	Unidade Acadêmica de Engenharia Civil;
UFMG	Universidade Federal de Campina Grande;

SUMÁRIO

CAPÍTULO I	16
1. Introdução.....	16
1.1 Considerações iniciais.....	16
1.2 Justificativa	19
1.3 Objetivos.....	20
1.3.1 Objetivo Geral	20
1.3.2 Objetivos Específicos.....	20
1.4 Organização do trabalho	21
CAPÍTULO II.....	22
2. Revisão bibliográfica.....	22
2.1 Argamassas	22
2.1.1 Cimento Portland.....	22
2.1.2 Cal Hidratada.....	23
2.1.3 Agregados.....	24
2.1.4 Água	25
2.2 Blocos Cerâmicos	25
2.3 Norma de Desempenho ABNT NBR 15575-4:2013	27
2.3.1 Desempenho Estrutural	28
2.3.2 Deslocamentos admitidos e limites de falhas para vedações verticais.....	28
2.3.3 Limites das deformações transversais segundo a ABNT NBR 15575-4:2013	30
2.3.4 Requisitos de desempenho estrutural das vedações	31
2.3.5 Estabilidade e resistência	32
2.3.6 Juntas de Argamassa	32
2.4 Processo de execução de alvenarias de vedação.....	33

2.4.1 Alvenaria	33
2.4.2 Alvenaria de vedação	34
2.4.3 Sistemas de vedações verticais e suas funções.....	34
2.5 Manifestações patológicas nos sistemas de vedações verticais	35
2.5.1 Fissuras causadas por retração e expansão.....	37
CAPÍTULO III	39
3 Materiais e Métodos	39
3.1 Materiais	39
3.2 Métodos.....	40
3.2.1 Planejamento da pesquisa.....	40
3.3 Ensaio	41
3.3.1 Blocos cerâmicos.....	42
3.3.2 Cimento Portland.....	45
3.3.3 Cal Hidratada CHI.....	46
3.3.4 Agregado miúdo.....	46
3.3.5 Ensaio nas argamassas	46
3.4 Elevação das alvenarias	48
3.5 Execução do ensaio de impacto de corpo mole	49
CAPÍTULO IV	53
4 Resultados e discussões.....	53
4.1 Caracterização dos agregados	53
4.1.1 Agregado miúdo.....	53
4.2 Blocos cerâmicos	55
.....	55
4.2.1 Características geométricas	55
4.2.2 Características físicas	58
4.2.3 Características mecânicas.....	58

4.3	Caracterização do cimento.....	59
4.4	Caracterização da Cal Hidratada.....	60
4.5	Ensaio nas argamassas.....	60
4.5.1	Argamassa no estado fresco	60
4.5.2	Argamassa no estado endurecido	61
4.6	Ensaio de impacto de corpo mole	62
4.6.1	Medição dos deslocamentos transversais	62
4.6.2	Limites das deformações transversais segundo a ABNT NBR 15575-4:2013	63
4.6.3	Análise comparativa entre os traços de argamassa de assentamento	65
	CAPÍTULO V.....	69
5	Conclusão	69
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	71

1. Introdução

1.1 Considerações iniciais

O setor da construção civil é fundamental em todo o mundo, pois está diretamente ligado ao índice de desenvolvimento de uma nação, visto que altera a infraestrutura de um país e tem a capacidade de geração de emprego e renda. Além disso, a indústria da construção mostra-se cada vez mais preocupada com a qualidade de suas edificações, surgindo assim um aumento da demanda pela qualidade dos serviços advindos desse segmento.

De acordo com Bicalho (2009)¹ a qualidade estabelece na atividade empresarial um conceito de destaque alcançando um espaço de interesse cada vez maior no setor da construção. Apesar das construtoras cumprirem seu papel no que diz respeito a divulgação, são poucos os que abstraem o seu real significado.

Diante desse cenário, a Norma ABNT NBR – 15575: 2013 – “Edificações habitacionais – Desempenho” surgiu com a necessidade de estabelecer novos padrões e critérios de eficiência para as edificações habitacionais, sendo tratada por uma das mais relevantes auto-regulamentações técnicas já realizadas por um setor econômico no país.

Atualmente, em mercados cada vez mais competitivos e globalizados qualquer processo produtivo necessita de um mínimo de padronização, representando assim para os consumidores uma garantia de respeito a padrões mínimos de qualidade, e para os produtores um maior controle de produtos e processos, aumento de produtividade e melhoria na qualidade dos serviços executados. Em vigor desde julho de 2013, a norma ABNT NBR 15575: 2013 estabelece importantes critérios para a construção civil, passando por um processo de melhoria contínua no seu conteúdo.

O caminho trilhado nos últimos quinze anos teve início com uma publicação técnica elaborada pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) no ano de 1998, para o Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade do Habitat (PBPQ-H), que resultou no surgimento da Comissão de Estudos da ABNT no ano 2000, cujos trabalhos se estenderam até 2008, quando o primeiro texto foi publicado, com exigibilidade prevista

¹ BICALHO, Felipe Cançado. *Sistema de gestão da qualidade para empresas construtoras de pequeno porte*. 2009. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009.

para 2010, tendo sido prorrogado para 2012, quando ocorreu nova prorrogação, objetivando permitir o término do trabalho de revisão.²

Esta norma é dividida em seis partes, e cada uma delas corresponde a um elemento diferente da construção. Essas partes referem-se à estrutura, pisos, vedações, coberturas e instalações, como segue:

- Parte 1 – Requisitos gerais;
- Parte 2 – Requisitos para os sistemas estruturais;
- Parte 3 – Requisitos para os sistemas de pisos;
- Parte 4 – Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas;
- Parte 5 – Requisitos para os sistemas de coberturas;
- Parte 6 – Requisitos para os sistemas hidrossanitários.

Uma das diretrizes da Norma ABNT NBR 15575: 2013 define os requisitos mínimos de desempenho que a edificação depois de finalizada deve apresentar. Então, o foco é voltado ao usuário; traduzindo as suas necessidades ao longo da vida útil da edificação, objetivando, assim, a conservação do desempenho da mesma e, conseqüentemente, a preservação de valor do patrimônio.

Para Menezes (2006)³, a avaliação de desempenho objetiva analisar a adequação ao uso de uma técnica construtiva ou produto, destinada a cumprir uma função. Para alcançar essa finalidade, a avaliação de desempenho deve submeter a edificação habitacional e/ou suas partes constituintes a um exame sistemático, fundamentado em métodos de avaliação eficazes, produzindo uma avaliação concisa sobre o comportamento esperado do produto.

O desempenho das edificações está diretamente ligado ao impacto ambiental das mesmas, pois, à medida que as construções têm menor durabilidade, apresentando manifestações patológicas e necessitando reparos ou mesmo a demolição, aumenta o

² NETO, Celso de Sampaio Amaral *et al.* *Norma de desempenho, um marco regulatório na construção civil*. São Paulo: [s. n.], 2014.

³ MENEZES, Renato Acriz. *Avaliação de desempenho estrutural dos sistemas construtivos em solo-cimento e concreto celular aplicados em edificações de casas populares no estado do Amazonas*. 2006. 166 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, Universidade Federal de Uberlândia, 2006, p. 9.

impacto ambiental gerado pela construção civil.⁴ De acordo com Boselli e Dunowicz (2009), o aparecimento de manifestações patológicas em edifícios habitacionais, resulta em uma obsolescência prematura de edifícios e seu entorno, que leva ao declínio da qualidade de vida, durabilidade e segurança dos moradores.⁵

Neste cenário, o presente estudo propõe avaliar o emprego de dois traços de argamassas de assentamento de blocos cerâmicos em alvenaria de vedação com base nos requisitos de desempenho da ABNT NBR 15575-4: 2013. Objetivando, assim, atender às necessidades dos usuários mediante as condições de exposição a qual o sistema está submetido.

Com enfoque em torno da quarta parte da Norma de Desempenho, que abrange os sistemas de vedações verticais das edificações habitacionais, tanto internas como externas, essa parte da norma define critérios relacionados ao desempenho estrutural, segurança no uso e operação, desempenho térmico e acústico, estanqueidade, lumínico, entre outros.

Um destes aspectos, o qual este estudo se coloca, é sobre o desempenho estrutural da alvenaria de vedação, no que diz respeito à avaliação de traços de argamassa de assentamento de blocos cerâmicos. Sendo utilizado, portanto, o ensaio-tipo para aferir a conformidade do sistema de vedação, empregando amostras representativas das condições de projeto e utilização. Assim, no que se refere ao requisito estrutural, as paredes externas e internas, com função estrutural ou de vedação devem suportar os impactos que possam vir a sofrer durante a própria utilização da edificação habitacional, isto é, choques acidentais ou por choques provocados por tentativas de intrusões intencionais ou não.

O envelhecimento precoce das edificações contemporâneas tem como fator determinante a manifestação de patologias e problemas de desempenho estrutural. Assim, além do dispêndio gerado para investidores e proprietários, a depender do tipo e gravidade da manifestação patológica apresentada na edificação, pode ser necessário recorrer à demolição chegando até à substituição total do edifício. Logo, no que se refere às

⁴ KERN, Andrea Parisi; SILVA, Adriana; KAZMIERCZAK, Claudio de Sousa. *O processo de implantação de normas de desempenho na construção: um comparativo entre a Espanha (CTE) e Brasil (NBR 15575/2013)*. Gestão e Tecnologia de Projetos, São Paulo, 16 abr. 2014.

⁵ BOSELLI, T.; DUNOWICZ, R. *La calidad y la conservación de la vivienda social: bases para el aseguramiento de la sustentabilidad del hábitat*. In: ENCONTRO NACIONAL, 5.; ENCONTRO LATINO-AMERICANO SOBRE EDIFICAÇÕES E COMUNIDADES SUSTENTÁVEIS, 3., Recife, 2009.

vedações verticais das edificações é fundamental avaliar e garantir o desempenho desses sistemas conforme os critérios da ABNT NBR 15575-4: 2013.

1.2 Justificativa

Alvenarias de vedação são destinadas a compartimentar espaços, preenchendo os vãos de estruturas de concreto armado, aço ou outras estruturas. Logo, estes sistemas de vedações verticais possuem grande participação nos edifícios e residências convencionais, devendo suportar não somente o peso próprio e cargas de utilização, como armários, redes do dormir, impactos acidentais e tentativas de intrusões intencionais ou não. Percebe-se, então, a necessidade de garantir e melhorar o desempenho desses sistemas, bem como de suas interfaces com os demais subsistemas, mostrando-se, assim, uma estratégia pontual e eficaz para aprimorar o desempenho da edificação habitacional.

Este trabalho visa, portanto, obter maiores informações a respeito do comportamento da argamassa de assentamento de blocos cerâmicos em alvenaria de vedação interna a fim de ter uma ideia geral do nível de desempenho deste sistema de vedação vertical conforme a ABNT NBR 15575-4: 2013.

Assim, verifica-se a necessidade de uma análise comparativa do comportamento de dois tipos de traços de argamassa de assentamento de blocos cerâmicos. Um deles diz respeito ao traço 1:2:8, o qual é um dos traços mais comumente utilizados na construção civil, e o traço 1:1:7 utilizado na dosagem de argamassa para assentamento de alvenaria da obra Heron Marinho Business & Living, localizada na cidade de Campina Grande – PB.

Devido a importância dos sistemas de vedações verticais no desempenho global da edificação, o presente estudo busca aplicar os critérios de desempenho da norma ABNT NBR 15575-4: 2013. Analisar-se-á, portanto a resistência das vedações internas de edificações a impactos de corpo mole, a fim de que as mesmas atendam aos níveis de requisitos mínimos exigidos pela norma, consumando assim o desempenho estrutural da edificação e garantindo segurança e conforto aos seus usuários.

1.3 Objetivos

Este trabalho tem como objetivos:

1.3.1 Objetivo Geral

Estudar o comportamento de argamassas de assentamento de blocos cerâmicos em alvenaria de vedação interna empregando os requisitos e critérios da Norma de Desempenho ABNT NBR 15575 – 4: 2013.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Avaliar a resistência de um sistema de vedação vertical empregando duas amostras com dois tipos de traços de argamassa de assentamento e um tipo de bloco cerâmico;
- Desenvolver ensaios de caracterização dos materiais que serão usados na pesquisa;
- Determinar os valores dos deslocamentos transversais instantâneos e residuais das amostras produzidas mediante ensaios de impactos de corpo mole no conjunto alvenaria;
- Analisar o desempenho estrutural das vedações quanto aos requisitos de desempenho da ABNT NBR 15575-4: 2013;
- Inspeccionar visualmente as amostras no que diz respeito à eventuais ocorrências de rupturas, fendilhamentos, destacamentos nas juntas de argamassa e fissuras;
- Avaliar o nível de desempenho dos protótipos produzidos com base na ANBT NBR 15575-4: 2013.

1.4 Organização do trabalho

A estrutura do trabalho está dividida em cinco capítulos:

- No **Capítulo I** apresenta-se a importância da Norma de Desempenho ABNT NBR 15575-4: 2013 no que diz respeito aos padrões e critérios de eficiência de edificações habitacionais, envolvendo os sistemas de vedações verticais internas e sua relação no desempenho global da edificação. São apresentados os objetivos gerais e específicos do trabalho, bem como a justificativa que motivou o estudo idealizado;
- No **Capítulo II** apresenta-se algumas literaturas que servirão como embasamento para a abordagem do estudo em questão;
- O **Capítulo III** trata dos materiais e métodos. Apresenta-se, portanto, a descrição experimental de que trata o trabalho e os materiais que foram empregados na pesquisa;
- No **Capítulo IV**, trata-se da Análise e resultados do estudo. É apresentado a análise dos resultados obtidos e faz-se a comparação com os critérios estabelecidos pela Norma de Desempenho ABNT NBR 15575 – 4: 2013;
- No **Capítulo V** apresentam-se as conclusões obtidas da pesquisa.

CAPÍTULO II

2. Revisão bibliográfica

2.1 Argamassas

A argamassa é um material de construção comumente formado por uma mistura homogênea de um ou mais aglomerantes (cimento ou cal), areia e água; e, por vezes, apresenta a presença de aditivos que melhoram determinadas propriedades do conjunto.

As funções das argamassas estão diretamente relacionadas ao fim que se destinam. Segundo Paulo (2006)⁶, pode-se elencar algumas dessas possíveis funções:

- Unir com solidez elementos de alvenaria e contribuir para resistência aos esforços horizontais que ocorrem numa alvenaria de vedação;
- Absorver deformações que ocorram naturalmente nas alvenarias;
- Selar as juntas contra a infiltração de água;
- Dar acabamento em tetos e paredes, em regularização de pavimentos, na reparação de obras de concreto, etc.

Para Fiorito (1994)⁷ as argamassas podem ser de cal, de cimento ou mistas de cal e cimento. As argamassas que contem a cal são utilizadas em alvenarias de vedação, e também para emboço e reboco, devido a sua plasticidade. No que tange as alvenarias de vedações a argamassa de assentamento tem como finalidade unir blocos ou tijolos cerâmicos, e para colocação de azulejos, tacos, ladrilhos e cerâmica para revestimento.

2.1.1 Cimento Portland

Para Maccari (2012)⁸, o cimento Portland é um pó fino que, em contato com a água, tem a característica de unir firmemente diversos tipos de materiais de construção. E, no que diz respeito à função de aglomerante, em algumas argamassas, o cimento é

⁶ PAULO, R. S. V. M. N. Caracterização de argamassas industriais. Dissertação (Mestrado em Gestão Ambiental, Materiais e Valorização de Resíduos), Universidade de Aveiro, Aveiro – Portugal, 2006, p. 25.

⁷ FIORITO, A. J. S. Manual de argamassas de revestimento: estudos e procedimentos de execução. 1 ed. São Paulo, Pini, 1994.

⁸ MACCARI, Guilherme Herdt. Argamassa de assentamento com saibro: um estudo das práticas na região de Tubarão/SC. 2012. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade do Extremo Sul Catarinense, 2012.

responsável pela ligação das partículas soltas da massa, tendo grande influência em suas propriedades mecânicas.

Segundo Fiorito (1994)⁹, a contribuição do cimento nas propriedades da argamassa está ligada sobretudo para a resistência mecânica. O cimento Portland possui propriedade aglomerante desenvolvida pela reação de seus constituintes com a água, sendo, portanto, chamado de aglomerante hidráulico. A finura do cimento é uma das características que tem importante influência sobre as argamassas. O autor ainda enfatiza que o fato de o cimento Portland ser composto por essas finas partículas, há uma considerável contribuição para a retenção de água de mistura e para a plasticidade.

O fator água/cimento é determinante na resistência de argamassas e concretos. Segundo a lei de Abrams a resistência é inversamente proporcional ao valor deste fator. De acordo com (MEHTA E MONTEIRO, 1994)¹⁰ o aumento na quantidade de água na mistura aumenta a porosidade, acarretando, assim, um enfraquecimento da matriz de argamassa, por conseguinte a diminuição da resistência mecânica.

2.1.2 Cal Hidratada

Segundo Sabbatini (1998)¹¹, Amthauer (2001)¹² e Casali (2008)¹³, a cal, sendo o aglomerante aéreo, é de fundamental importância na composição da mistura de argamassa. As principais funções da cal hidratada são: melhoria nas condições de trabalhabilidade, devido ao aumento da coesão e plasticidade; aumento da retenção de água; aumento da aderência; e diminuição da retração por secagem.

Fiorito (1994) afirma que numa argamassa onde há apenas a presença de cal, sua função básica é trabalhar como aglomerante da mistura. Já em argamassas mistas, de cal e cimento, devido a finura da cal há retenção de água em volta de suas partículas, conseqüentemente uma maior retenção de água na argamassa. Portanto, a cal pode

⁹ FIORITO, A. J. S. Manual de argamassas de revestimento: estudos e procedimentos de execução. 1 ed. São Paulo, Pini, 1994.

¹⁰ MEHTA, P.K.; MONTEIRO, P.J.M. Concreto: estrutura, propriedades e materiais. 1 ed. São Paulo: PINI, 1994.

¹¹ SABBATINI, Fernando Henrique. Argamassas de assentamento para paredes de alvenaria resistente. São Paulo, ABCP, 2.ed. 1998.

¹² AMTHAUER, Paulo Roberto. Argamassa de Assentamento – Uma Verificação do Estágio Atual na Cidade de Ijuí. 2001. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade do Extremo Sul Catarinense. Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, 2001.

¹³ CASALI, Juliana Machado et al. Estudo da interação entre a argamassa de assentamento e o bloco de concreto para alvenaria estrutural: transporte de água e aderência. 2008. 348 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

contribuir para uma melhor hidratação do cimento, além de auxiliar na capacidade de absorver deformações e contribuir para trabalhabilidade.

Tristão (1995)¹⁴ afirma que, como a cal aumenta a plasticidade da argamassa e este aumento, por sua vez, tem influência direta na capacidade de espalhamento da argamassa sobre uma superfície, infere-se que a cal tem a função de melhorar a extensão de aderência das argamassas, resultando na durabilidade do revestimento e menores chances de fissuração na mistura da argamassa.

2.1.3 Agregados

De acordo com a ABNT NBR 7211: 2005, agregados miúdos são “agregados cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 4,75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 150 µm, em ensaio realizado de acordo com a ABNT NBR NM 248.

Segundo Fiorito (1994)¹⁵ as areias utilizadas na preparação de argamassas podem ser originárias de rios, cava e britagem (areia de brita, areia artificial). A granulometria do agregado tem influência nas proporções de aglomerantes e água na mistura. Assim, pode-se observar que quando a curva granulométrica não apresenta continuidade ou excesso de finos, ocorre um maior consumo de água de amassamento, diminuindo a resistência mecânica e causando maior retração por secagem na argamassa.

Com relação à custos na fabricação da argamassa, o agregado miúdo apresenta-se como um produto imprescindível nesse sentido. Para Tristão (1995) são atribuídas as areias funções de reduções de custos e também a de conferir às argamassas propriedades que a pasta não possui. O autor ainda frisa que a adição do agregado a argamassas mistas de cal e cimento, barateia o produto, visto que diminui o consumo de cimento e cal além de eliminar em partes as modificações de volume.

A escolha de uma areia adequada para a confecção de argamassas deve ser uma opção preponderantemente técnica, pois a areia é um componente essencial para a mistura e possui grande influência nas propriedades das argamassas que interferem fortemente no

¹⁴ TRISTÃO, F. A. Influência da composição granulométrica da areia nas propriedades das argamassas de revestimento. 1995. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), UFSC, Florianópolis, 1995.

¹⁵ FIORITO, A. J. S. Manual de argamassas de revestimento: estudos e procedimentos de execução. 1 ed. São Paulo, Pini, 1994.

desempenho da alvenaria estrutural, como: trabalhabilidade, capacidade de aderência e resiliência (SABBATINI, 1998).

De acordo com Thomas, Ercio *et al.* (2009)¹⁶ as areias devem ser lavadas e bem granuladas, para argamassas de assentamento é recomendado areias médias (módulo de finura em torno de 2 a 3). Areias com porcentagens elevadas de material silto-argiloso não são recomendadas (conhecidas no Brasil com diversos nomes: “saibro”, “caulim”, “arenoso”, “areia de estrada”, “areia de barranco” etc), sendo que a areia deve atender às especificações da norma ABNT NBR 7211.

2.1.4 Água

Fiorito (1994)¹⁷ afirma que a água confere continuidade à mistura, facilitando a ocorrência das reações entre todos os componentes, sobretudo as do cimento. A água se caracteriza como o recurso utilizado pelo pedreiro para ajustar a consistência da mistura, fazendo a sua adição até a obtenção da trabalhabilidade desejada, sendo necessário atender o teor de dosagem do traço pré-estabelecido, de acordo com os ensaios específicos para cada tipo de argamassa.

2.2 Blocos Cerâmicos

De acordo com a Norma ABNT NBR 15270-1: 2005 (Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural e de vedação – Terminologia e requisitos) os blocos cerâmicos de vedação são componentes da alvenaria de vedação que possuem furos prismáticos perpendiculares às faces que os contêm. Normalmente são empregados com os furos dispostos horizontalmente, devendo resistir somente ao peso próprio e a pequenas cargas de ocupação.

Os blocos cerâmicos utilizados na execução das alvenarias de vedação, com ou sem revestimentos, devem atender à norma ABNT NBR 15270-1: 2005, a qual, define os termos, fixa os requisitos dimensionais, físicos e mecânicos exigíveis no controle de recebimento. Na Figura 2.1 são apresentados os dois tipos de blocos considerados na execução de alvenarias de vedações quanto ao direcionamento de seus furos prismáticos.

¹⁶ THOMAZ, Ercio *et al.* Código de práticas N° 01: Alvenaria de vedação em blocos cerâmicos. São Paulo - SP: [s. n.], 2009. 72 p. v. Único.

¹⁷ FIORITO, A. J. S. Manual de argamassas de revestimento: estudos e procedimentos de execução. 1 ed. São Paulo, Pini, 1994.

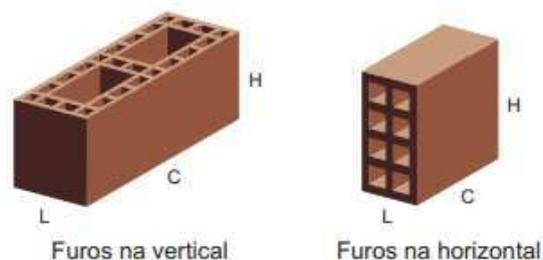


Figura 2.1: Representação dos blocos cerâmicos de vedação.

Existem outros tipos de componentes cerâmicos que integram as alvenarias de vedação, com funções específicas como a canaleta U, que permite a construção de cintas de amarração, vergas e contravergas, a canaleta J, os blocos de amarração e outros que podem ser especificados em projetos, desde que atendam aos requisitos exigidos pela ABNT NBR 15270: 2005, no que se refere aos desempenhos geométricos, físicos e mecânicos. As características apresentadas na Tabela 2.1 devem ser verificadas para os blocos cerâmicos conforme os métodos de ensaios empregados na ABNT NBR 15270:3-2005.

Tabela 2.1: Características exigidas para os blocos cerâmicos de vedação.

Características visuais	Não apresentar quebras, superfícies irregulares ou deformações
Forma	Prisma reto
Tolerância dimensional individual relacionada à dimensão efetiva	± 5 mm (largura, altura ou comprimento)
Tolerância dimensional relacionada à média das dimensões efetivas	± 3 mm (largura, altura ou comprimento)
Espessura das paredes internas dos blocos	≥ 6 mm
Espessura das paredes externas dos blocos	≥ 7 mm
Desvio em relação ao esquadro	≤ 3 mm
Planeza das faces	Flecha ≤ 3 mm
Resistência à compressão (área bruta)	$\geq 1,5$ MPa (para furos na horizontal)
	$\geq 3,0$ MPa (para furos na vertical)
Índice de absorção de água (AA)	$8\% \leq AA \leq 22\%$

Essa norma define os métodos de ensaios para avaliação de conformidade dos mesmos, sendo determinado, portanto, as características geométricas, físicas e mecânicas.

A presente norma especifica que, para avaliação de desempenho dos blocos de vedação, além de uma inspeção geral (identificação dos blocos, marca do fabricante, defeitos visuais), deve ser realizada uma inspeção minuciosa para determinação de suas propriedades geométricas (valores de dimensões das faces, espessuras dos septos e paredes externas, desvio em relação ao esquadro e planeza das faces, de suas características físicas (índice de absorção de água) e sua caracterização mecânica (resistência à compressão).

2.3 Norma de Desempenho ABNT NBR 15575-4:2013

Em 2013, foi publicado pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), a NBR 15575-4: 2013 que normatiza os sistemas verticais das edificações habitacionais, tanto internas como externas. Como as vedações atuam em sintonia com a estrutura e sofrem ações decorrentes de sua movimentação e uso contínuo, faz-se necessário análises e ensaios normatizados a fim de garantir o desempenho global da edificação habitacional.

No que tange às edificações habitacionais, as exigências dos usuários se traduzem pelo nível de condições que são necessárias à segurança, conforto, saúde do homem e satisfação de uso da ocupação. Sob as diversas ações que atuam na habitação, a edificação e suas partes constituintes devem atender aos critérios e exigências aplicáveis que se encontram na ABNT NBR 15575: 2013, conforme especifica a Tabela 2.2 abaixo:

Tabela 2.2: Exigências dos usuários conforme a ABNT NBR 15575:2013.

Segurança	- Segurança estrutural
	- Segurança contra o fogo
	- Segurança no uso e operação
Habitabilidade	- Estanqueidade
	- Conforto hidrotérmico
	- Conforto acústico
	- Conforto lumínico
	- Saúde, higiene e qualidade do ar
	- Funcionalidade e acessibilidade
	- Conforto tátil e antropodinâmico
Sustentabilidade	- Durabilidade e Manutenibilidade
	- Impacto ambiental

2.3.1 Desempenho Estrutural

De acordo com CBIC (2013)¹⁸ são considerados na ABNT NBR 15575-4: 2013 os Estados Limites Últimos (ELU) e os Estados Limites de Utilização (ELS). O primeiro diz respeito a paralisação do uso da construção por ruína, deformação plástica, instabilidade da estrutura. Já o segundo implica no comprometimento da durabilidade da estrutura ou aparecimento de falhas pontuais que possam vir a prejudicar os níveis de desempenho da edificação habitacional.

Para os sistemas de vedações verticais, o ELU se caracteriza como um estado no qual a alvenaria não satisfaz os critérios de desempenho e segurança (risco de colapso e ruínas). Por outro lado, o ELS é o instante a partir do qual o desempenho das vedações é prejudicado, seja com deslocamentos exagerados, fissuras ou falhas diversas (SAMPAIO et al., 2014).¹⁹

2.3.2 Deslocamentos admitidos e limites de falhas para vedações verticais

No que tange aos requisitos de fissuração, deslocamentos e surgimento de falhas nos sistemas de vedações verticais, é fundamental limitar essas ocorrências a fim de garantir o livre funcionamento dos elementos componentes da edificação, e conseqüentemente assegurar o desempenho global da construção. Os Sistemas de Vedações Verticais Internos e Externos (SVVIE), considerando as combinações de cargas possíveis de atuarem, devem atender aos limites de deslocamentos instantâneos (d_h) e residuais (d_{hr}) indicados na Tabela 2.3, sem apresentar falhas caracterizando o estado limite serviço. Vale pontuar que estes limites se aplicam aos SVVIE destinados a edificações habitacionais de até cinco pavimentos.²⁰

A resistência e a deformabilidade dos sistemas de vedações verticais são estabelecidas por meio de ensaios específicos. Assim, o ensaio de impacto de corpo mole procura representar choques acidentais gerados na utilização da edificação, atos de vandalismo, tentativas de intrusão etc. Sob ação desses impactos o sistema de alvenaria

¹⁸ *Desempenho de edificações habitacionais: guia orientativo para atendimento à norma ABNT NBR 15575/2013.*/Câmara Brasileira da Indústria da Construção. -Fortaleza: Gadioli Cipolla Comunicação, 2013.

¹⁹ NETO, Celso de Sampaio Amaral et al. *Norma de desempenho, um marco regulatório na construção civil.* São Paulo: [s. n.], 2014.

²⁰ *Desempenho de edificações habitacionais: guia orientativo para atendimento à norma ABNT NBR 15575/2013.*/Câmara Brasileira da Indústria da Construção. -Fortaleza: Gadioli Cipolla Comunicação, 2013.

não pode sofrer ruptura ou instabilidade, assim como apresentar fissuras que comprometam o estado de utilização da edificação.

Tabela 2.3: Critérios e níveis de desempenho quanto a deslocamentos e ocorrência de falhas sob ação de cargas de serviço (Fonte: Tabela 1, ABNT NBR 15575-4: 2013).

Elemento	Solicitação	Critério
SVVIE com função estrutural	Cargas verticais: $S_d = S_{gk} + 0,7 S_{qk} + S_{wk}$ (desconsiderar S_{wk} no caso de alívio da compressão)	Não ocorrência de falhas; Limitação dos deslocamentos horizontais: $d_h \leq h/500$ $d_{hr} \leq h/2500$
SVVIE com ou sem função estrutural	Cargas permanentes e deformações impostas $S_d = S_{gk} + S_{ek}$	Não ocorrência de falhas, tanto nas paredes como nas interfaces da parede com outros componentes
SVVE (paredes de fachadas) com ou sem função estrutural	Cargas horizontais: $S_d^{(a)} = 0,9 S_{gk} + 0,8 S_{wk}$. Não ocorrência de falhas; . Limitação dos deslocamentos horizontais ^(b) $d_h \leq h/500$ (SVVE com função estrutural); $d_{hr} \leq h/2500$ (SVVE com função estrutural); $d_h \leq h/350$ (SVVE com função de vedação); $d_{hr} \leq h/1750$ (SVVE com função de vedação). Entende-se neste critério como SVVE as paredes de fachada

Onde:

h é a altura do elemento parede;

d_h é o deslocamento horizontal instantâneo;

d_{hr} é o deslocamento horizontal residual;

S_{gk} é a solicitação característica devida a cargas permanentes;

S_{ek} é o valor característico da solicitação devida à deformação específica do material;

S_{qk} é o valor característico da solicitação devida a cargas acidentais ou sobrecargas de uso;

S_{wk} é o valor característico da solicitação devida ao vento.

^(a) No caso de ensaios de tipo considerar $S_d = S_{gk} + 0,8 S_{wk}$

(b) Para paredes de fachada leves ($G \leq 60 \text{ kgf/m}^2$), sem função estrutural, os valores de deslocamento instantâneo (d_h) podem atingir o dobro dos valores acima indicados nesta tabela.

2.3.3 Limites das deformações transversais segundo a ABNT NBR 15575-4:2013

Na tabela 2.4 são apresentados os requisitos e critérios da ABNT NBR 15575-4:2013 para impactos de corpo mole em sistemas de vedações verticais internas, com ou sem função estrutural. No presente estudo, analisa-se a vedação sem função estrutural, atentando assim, aos critérios de desempenho definidos para as respectivas energias empregadas. Avaliar-se-á, portanto, os requisitos mínimos para as energias de 10 J e 20 J aplicadas ao sistema de vedação, o qual não deve sofrer ruptura ou instabilidade que caracterize o estado limite último. Também não devem apresentar fissuras, escamações, delaminações ou qualquer outro tipo de falha que possa comprometer o estado de utilização, observando-se ainda os limites de deslocamentos instantâneos e residuais.

Tabela 2. 4: Impacto de corpo mole para vedações verticais internas.

Elemento	Energia de Impacto (J)	Critério de desempenho
Vedações com função estrutural	360	Não ocorrência de ruína (ELU)
	240	São admitidas falhas localizadas
	180	Não ocorrência de falhas (ELS)
	120	Não ocorrência de falhas (ELS). Limitação dos deslocamentos horizontais: $d_h \leq h/250$; $d_{hr} \leq h/1250$
	60	Não ocorrência de falhas (ELS)
Vedações sem função estrutural	120	Não ocorrência de ruína (ELU) São admitidas falhas localizadas
	60	Não ocorrência de falhas (ELS). Limitação da ocorrência de deslocamento: $d_h \leq h/125$; $d_{hr} \leq h/625$

Fonte: ABNT NBR 15575-4:2013.

2.3.4 Requisitos de desempenho estrutural das vedações

Para Silva (2003)²¹, os sistemas de vedações verticais condicionam fortemente o desempenho do edifício, visto que, sua posição com os demais subsistemas faz com que sua otimização seja imprescindível para racionalização da edificação como um todo.

O autor ainda afirma que o não atendimento aos critérios de desempenho são fontes constantes de desperdícios, retrabalhos e de manifestações patológicas. Assim, o subsistema de vedação vertical deverá atender aos requisitos funcionais no que diz respeito às exigências dos usuários e condições de exposição e uso das paredes externas e divisórias internas da edificação.

Os requisitos de segurança estrutural são estudados com base nos conceitos de ELU (estado limite último), sendo aquele que condiciona a estrutura a ruína e o ELS (estado limite de utilização) que determina a formação de fissuras, fendilhamentos, falhas ou deformações, comprometendo, assim, a durabilidade e desempenho da edificação ou os níveis de satisfação do usuário. Logo, a Tabela 2.5 designa os principais fatores a se avaliar de acordo com o requisito de desempenho estrutural das vedações verticais.

Tabela 2.5: Requisitos de desempenho estrutural (Fonte: ABNT NBR 15575-4: 2013).

REQUISITOS DE DESEMPENHO ESTRUTURAL FATORES A CONSIDERAR: Fachadas e Divisórias internas	
ELS	ELU
Deformações	Estabilidade e resistência
Ações do vento*	
Alterações volumétricas	Ação de vento*
Impactos	
Cargas concentradas	Alterações volumétricas
Interação com instalações	
Interação com portas	Impactos
Peças suspensas	
* Ação normalmente desconsiderada para divisórias internas	

É válido pontuar que todos os requisitos constantes na Tabela acima influenciam no desempenho global da edificação, assim como no desempenho final do sistema de vedação vertical. Logo, para cada item torna-se necessário alcançar o desempenho

²¹ SILVA, Margarete Maria de Araújo, *Diretrizes para o projeto de alvenarias de vedação*. São Paulo, 2003. 167p

estabelecido pela ABNT NBR 15575-4: 2013, baseado nas resoluções construtivas de seus respectivos ensaios.

2.3.5 Estabilidade e resistência

Segundo Silva (2003)²², o requisito referente à estabilidade deve ser compreendido como a capacidade do sistema de vedação garantir sua integridade física quando solicitado por ações mecânicas, resultantes do peso próprio, cargas suspensas, choque e impactos intencionais, esforços de arrancamento etc. Importante frisar que, no tocante à resistência mecânica do sistema de vedação vertical o que condiciona, basicamente, são as características relacionadas aos seus componentes, isto é, tipo de bloco utilizado e traço utilizado na argamassa de assentamento. A Figura 2.2 ilustra o bloco cerâmico com dimensões de 9x19x39 cm utilizado na execução de alvenarias de vedação.



Figura 2.2: Exemplo de blocos cerâmicos 9x19x39cm usados em alvenarias a espelho (cutelo).

2.3.6 Juntas de Argamassa

Silva (2003) cita que as juntas de argamassa desempenham funções primordiais no que diz respeito ao desempenho do sistema de vedação, pois lhe conferem monolicidade, unificando solidamente os blocos cerâmicos à medida que os ajuda a resistir aos esforços laterais, de choque e de impactos. Distribuindo também de maneira

²² SILVA, Margarete Maria de Araújo, *Diretrizes para o projeto de alvenarias de vedação*. São Paulo, 2003. 167p

uniforme as cargas atuantes nos blocos e absorvendo as deformações naturais as quais estejam sujeitos. Na Figura 2.3 é apresentado a aplicação das juntas de argamassa nos sistemas de vedações.



Figura 2.3: Aplicação de juntas de argamassa nos sistemas de vedações verticais.

Para que as argamassas de assentamento possam cumprir tais funções nos sistemas de vedação é necessário apresentar as seguintes propriedades: trabalhabilidade no estado fresco, capacidade de retenção de água, capacidade de aderência, durabilidade, resistência mecânica e capacidade de absorver deformações.

2.4 Processo de execução de alvenarias de vedação

2.4.1 Alvenaria

Para Silva (2017)²³, a alvenaria pode ser compreendida como a parede constituída por blocos ou pedras, naturais ou artificiais, que são ligadas entre si por juntas de argamassa, a fim de formar um conjunto coeso e rígido. As alvenarias mais comumente utilizadas no Brasil são as formadas do processo construtivo tradicional, através do qual há uma estrutura reticulada de concreto armado e as alvenarias desempenham o papel de

²³ SILVA, Patrícia Emília Villela; MOREIRA, Rodrigo Resende. Projeto de alvenaria de vedação - Diretrizes para a elaboração, histórico, dificuldades e vantagens da implementação e relação com a NBR 15575. Orientador: Profa. Dra. Helena Carasek. 2017. 70 p. Monografia (Graduação de Engenharia Civil) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2017.

vedação do edifício. Os principais constituintes dessa alvenaria são os blocos cerâmicos e os blocos de concreto.

2.4.2 Alvenaria de vedação

Segundo Silva (2017), a alvenaria de vedação é assim denominada quando não possui a capacidade de suporte de cargas, além do seu peso próprio. Sendo possível, portanto, realizar cortes na alvenaria sem causar danos à estabilidade estrutural da edificação, dado que as lajes, vigas e pilares são elementos estruturais dimensionados para resistir aos esforços solicitantes do edifício. A Figura 2.4 ilustra a construção de uma edificação habitacional utilizando alvenaria de vedação em blocos cerâmicos.



Figura 2.4: Construção de uma edificação utilizando alvenaria de vedação em blocos cerâmicos.

2.4.3 Sistemas de vedações verticais e suas funções

De acordo com a Norma ABNT NBR 15575-4: 2013 (Edificações habitacionais – Desempenho, Parte 4: Sistemas de vedações verticais internas e externas – SVVIE) os sistemas de vedações são partes da edificação habitacional que limitam verticalmente a edificação e seus ambientes, como as fachadas, paredes ou divisórias internas. Sendo um sistema constituído por paredes, esquadrias e revestimentos. Assim, é entendido como um subsistema do edifício, o qual tem como função proteger a edificação habitacional contra a ação de intempéries, animais, tipos de ruídos e poeiras; oferecendo segurança estrutural, estanqueidade, resistência ao fogo, isolamento térmico e acústico e durabilidade.

Para Lordsleem Júnior (2004)²⁴ os sistemas de vedações estão correlacionados ao surgimento de manifestações patológicas, sendo responsável também pela habitabilidade dos abrigos; garantindo, então, conforto, saúde, higiene e segurança de utilização. Logo, pode-se dizer que é um fator preponderante no que diz respeito ao desempenho de grande parte do edifício.

Ainda segundo Lordsleem Júnior (2004), a vedação vertical possui importante papel na racionalização da obra, possuindo interface com todos os demais subsistemas da edificação. Este sistema pode corresponder a até 6% do custo total da obra. Considerando sua interface com subsistemas da obra como as instalações hidrossanitárias e elétricas, estrutura e outros, esse custo pode chegar a até 40% do custo total do edifício.

2.5 Manifestações patológicas nos sistemas de vedações verticais

Para Magalhães (2004), as construções devem ser idealizadas de forma a resistir à ação de cargas de sua própria estrutura e utilização, como também à ação de agentes e fenômenos naturais, e efeitos relacionados a interação de seus materiais constituintes. Assim, as alvenarias, como parte dos subsistemas da edificação, estão sujeitas à ocorrência de manifestações patológicas e diversos outros sintomas.

Dentre os vários problemas encontrados em alvenarias pode-se destacar as fissuras, falta de prumo e planicidade, desvio em relação ao esquadro, desnivelamento de superfície, entre outros. Segundo Rodrigues (2013)²⁵, o problema das fissuras é o mais crítico, devido a três aspectos fundamentais: o aviso prévio de um eventual estado perigoso para a estrutura; o comprometimento do desempenho da edificação no que tange aos quesitos de estanqueidade à água, durabilidade e isolamento acústica; e, por fim, o constrangimento psicológico que a fissuração da edificação habitacional exerce sobre os seus usuários.

²⁴ LORDSLEEM JÚNIOR, A. C. Execução e inspeção da alvenaria racionalizada. 3.ed São Paulo: O Nome da Rosa, 2004. 104 p.

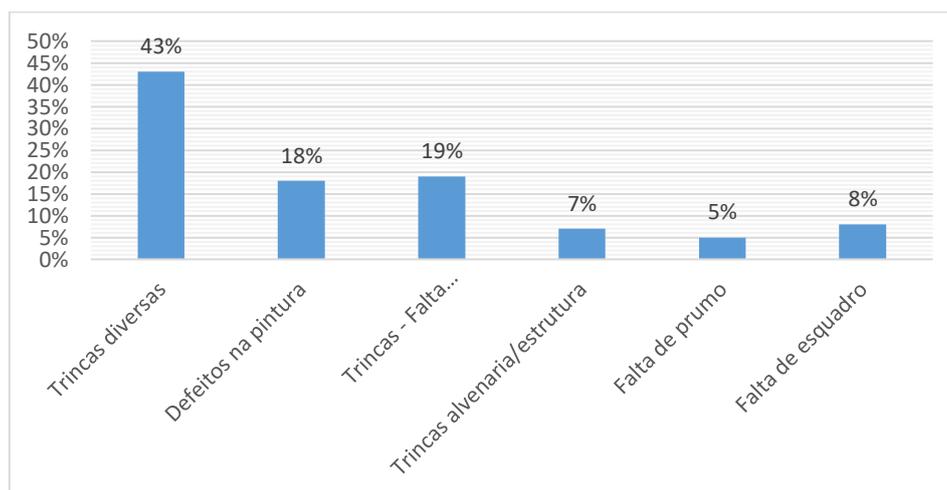
²⁵ RODRIGUES, Aretusa Carvalho. Levantamento das principais manifestações patológicas em edificações residenciais de uma construtora de Porto Alegre. Orientador: Profa. Angela Borges Masuero. 2013. 102 p. Trabalho de conclusão (Graduação de Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

Duarte (1998)²⁶ considera que as fissuras proporcionam extrema preocupação aos usuários da edificação e desacreditam o construtor. De fato, Massetto e Sabbatini (1998)²⁷ afirmam que há grande incidência de manifestações patológicas relacionadas à “perda de desempenho” e fissuração dos sistemas de vedações verticais em edifícios novos de São Paulo. E reiteram:

[...] um material de comportamento desconhecido e qualidade duvidosa, aplicado com técnicas não adequadas e solidário a uma estrutura muito deformável, tende a apresentar grande potencial de fissuração logo nas primeiras idades ou até mesmo durante a obra.

Segundo observações feitas por Brandão (2007)²⁸, em edificações no estado de Goiás, o maior índice de manifestações patológicas em alvenarias foi verificado na etapa executiva da parede, com um percentual de 22%, sendo que desse total, as fissuras apresentaram um percentual de 69%. Na Figura 2.5 pode ser vista a distribuição dessas diversas manifestações nas vedações.

Figura 2.5: Distribuição das manifestações patológicas nas alvenarias.



Fonte: Adaptado de Brandão (2007)

²⁶ Duarte, R. B. Fissuras em alvenarias: causas principais, medidas preventivas e técnicas de recuperação. Porto Alegre: CIENTEC, 1998 (Boletim Técnico,25).

²⁷ MASSETTO, Leonardo Tolaine; SABBATINI, Fernando Henrique. Estudo comparativo da resistência das alvenarias de vedação de blocos utilizadas na região de São Paulo. Anais.. São Paulo: Epusp/PCC, 1998.

²⁸ BRANDÃO, Rosana Melo de Lucas. Levantamento das manifestações nas edificações, com até cinco anos de idade, executadas no estado de Goiás. Orientador: Prof. Dr. André Luiz B. Geyer. 2007. 224 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2007.

2.5.1 Fissuras causadas por retração e expansão

Segundo Magalhães (2004)²⁹, as fissuras causadas por retração podem ser originadas em vedações verticais de duas formas: uma pela retração dos materiais constituintes da alvenaria (blocos, argamassa de assentamento) e outra pela possível movimentação por retração de outros elementos construtivos. A retração da argamassa é definida por Scartezini (2002)³⁰ como um fenômeno físico que ocorre com materiais de base cimentícia, no qual o volume inicialmente no estado plástico diminui baseado nas condições de umidade do sistema e a evolução da matriz de cimento.

Para Brandão (2007), a retração da argamassa pode estar associada ao excesso de cimento ou finos no agregado. O revestimento pode apresentar fissuras decorrentes das reações expansivas da argamassa de assentamento por hidratação retardada do óxido de magnésio na cal ou por reação cimento-sulfatos, ou ainda, devido à presença de argilominerais no agregado, apresentando assim, as chamadas fissuras horizontais.

Cincotto (1989)³¹ afirma que, ao expandir, a argamassa de assentamento se rompe, e reitera que fissuras localizadas no sentido horizontal possuem como prováveis causas a redução da argamassa por quantidade excessiva de finos, cimento como único material de ligamento ou água sem impurezas.

Segundo Thomaz (1989)³², as fissuras horizontais ocasionadas pela hidratação retardada da cal da argamassa de assentamento, surgem, geralmente, no topo da alvenaria, isto é, nos locais onde os esforços de compressão causados pelo peso próprio da alvenaria são menores. Na Figura 2.6 vê-se tais fissuras.

²⁹ MAGALHÃES, Ernani Freitas. Fissuras em alvenarias: configurações típicas e levantamento de incidências no Estado do Rio Grande do Sul. Orientador: Prof. Dra. Denise Carpena Coitinho Dal Molin. 2004. 177 p. Trabalho de conclusão (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

³⁰ SCARTEZINI, L.M.B. Influência do tipo e preparo do substrato na aderência dos revestimentos de argamassas: estudo da evolução ao longo do tempo, influência da cura e avaliação da perda de água da argamassa fresca. 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2002.

³¹ CINCOTTO, M. A. Patologia das argamassas de revestimento: análise e recomendações – Publicação 1.801. 2 ed. São Paulo, IPT, 1989.

³² THOMAZ, E. Tecnologia, gerenciamento e qualidade na construção. São Paulo: PINI, 2001.

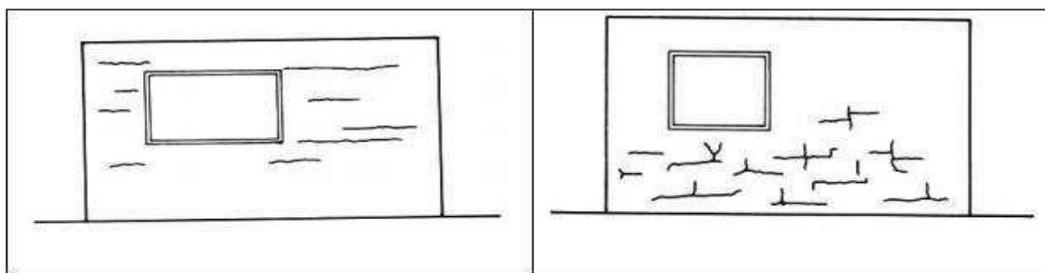


Figura 2.6: Fissuras horizontais nos sistemas de vedações verticais (Fonte: Thomaz, 1989).

CAPÍTULO III

3 Materiais e Métodos

Neste capítulo serão descritos os materiais e métodos utilizados na pesquisa.

3.1 Materiais

Os materiais utilizados na pesquisa foram:

- **Cimento:** CP II F 32 – Cimento Portland composto com adição de filler. Sua escolha foi feita em virtude da facilidade de obter o mesmo no mercado da construção local;

- **Bloco cerâmico 8 furos:** 9x19x19 – Bloco de vedação comumente utilizado na região de Campina Grande – PB;

- **Agregado miúdos:** areia quartzosa encontrada na região de Campina Grande - PB que é utilizada na construção local;

- **Defletômetro:** utilizado como método alternativo no registro dos deslocamentos transversais;

- **Cal hidratada CHI:** aglomerante utilizado nas composições das argamassas, fornecendo aumento de plasticidade e trabalhabilidade da mistura;

- **Água potável:** destinada ao consumo humano fornecida pela CAGEPA;

- **Vergas:** utilizadas com o intuito de distribuir as tensões ao longo da alvenaria nos pontos de esquadrias, evitando assim possíveis fissuras;

- **Saco cilíndrico de couro:** saco de couro com peso total de 40 kg e h = 90 cm, para ser usado como corpo mole;

- **Serragem:** material utilizado para composição do peso requerido no saco cilíndrico, a fim de obter uma fácil remodelagem do saco após aplicação dos impactos sobre as alvenarias;

- **Fio de aço:** para sustentação do saco cilíndrico;

- **Sistema pendular:** constituído pelos perfis metálicos presentes no Laboratório de Estruturas – UAEC – UFCG.

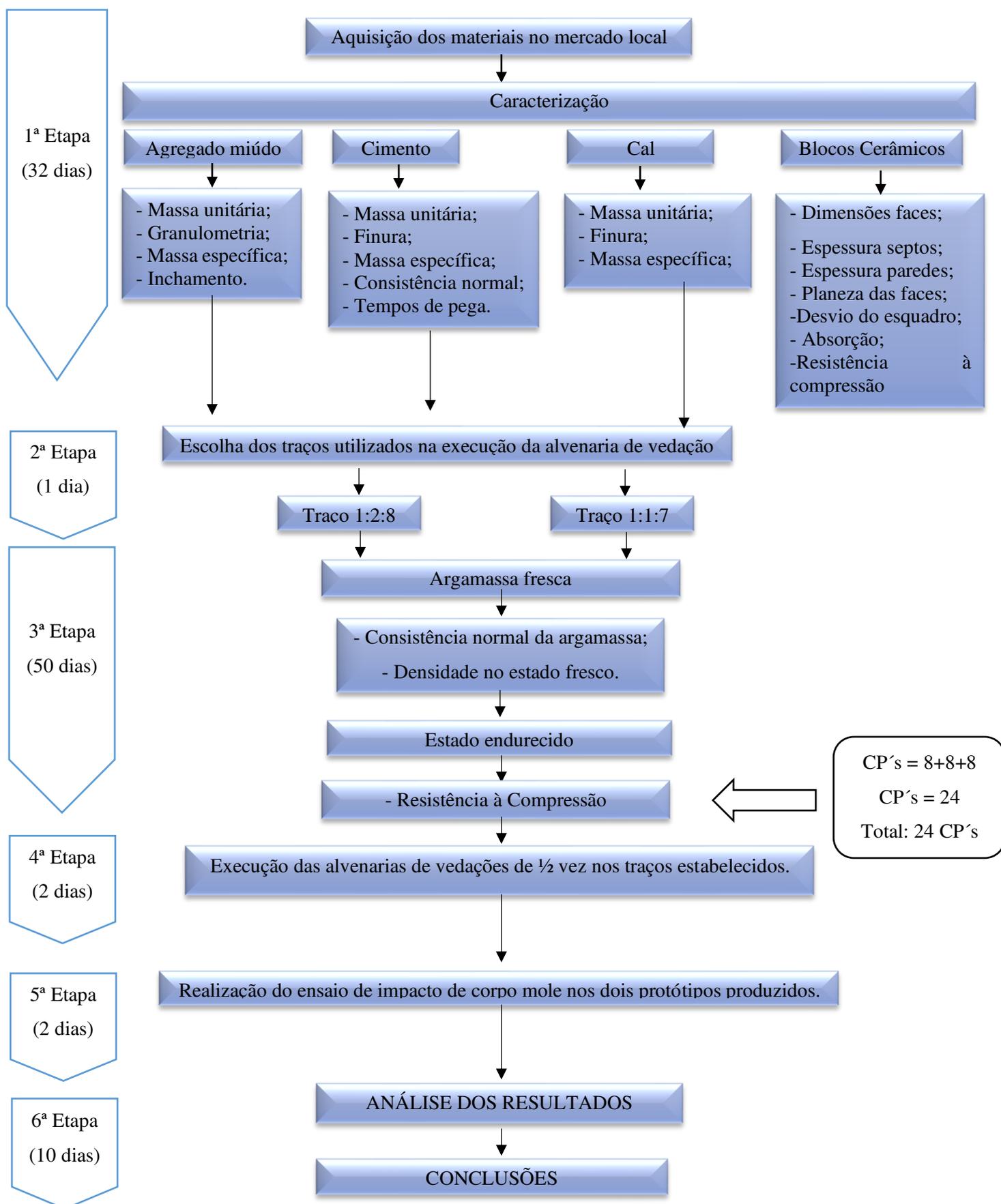
3.2 Métodos

O estudo experimental foi realizado conforme ilustra no fluxograma da Figura 3.1. Está dividido em seis etapas:

- **1ª Etapa:** Inicialmente foi realizado a aquisição dos materiais no mercado local e a consequente caracterização das propriedades dos mesmos (blocos cerâmicos, agregados e aglomerantes), a fim de obter parâmetros relevantes que servirão para os cálculos de dosagem das argamassas;
- **2ª Etapa:** Foi definido os traços das argamassas de assentamento utilizados para assentar os blocos cerâmicos de 8 furos (9cm x19cm x19cm) em um sistema de vedação vertical interna. Os traços em volumes adotados foram 1:2:8 e 1:1:7;
- **3ª Etapa:** Ensaios na argamassa fresca. Após isso, foram moldados corpos-de-prova cilíndricos que foram rompidos a 7, 14 e 28 dias da data de moldagem;
- **4ª Etapa:** Produção dos protótipos. Foi feito a execução de duas alvenarias do tipo meia vez (à espelho), variando em cada uma o tipo de traço escolhido. Em seguida, executou-se a caiação dos protótipos, para uma melhor identificação de fissuras e deslocamentos após realização dos impactos do sistema de aplicação de cargas;
- **5ª Etapa:** Para produção dos impactos, afasta-se o saco cilíndrico de couro, a partir da posição original de repouso, produzindo um movimento pendular, em direção ao centro da parede. Aplicar três impactos no sistema de vedação e verificar por meio de inspeção visual eventuais ocorrências de rupturas, destacamento nas juntas e fendilhamentos;
- **6ª Etapa:** Resultados, análise e conclusão da pesquisa.

3.2.1 Planejamento da pesquisa

Esta pesquisa tem por objetivo o estudo de argamassas de assentamento de blocos cerâmicos em alvenaria de vedação com base nos critérios de desempenho da ABNT NBR 15575-4:2013. Assim, foram feitas análises na argamassa de assentamento em seu estado fresco e endurecido. O estudo feito é baseado em ensaios adotando procedimentos normalizados.



3.3 Ensaios

Figura 3.1: Fluxograma de atividades da pesquisa.

3.3.1 Blocos cerâmicos

Foi utilizado o bloco cerâmico de 8 furos com dimensões padrões de 9x19x19, sendo escolhido por ser um dos componentes de vedação mais utilizados na região e mais facilmente disponível no mercado. É um componente vazado, constituindo as alvenarias externas ou internas que não têm a função de resistir a cargas verticais, além do peso da alvenaria da qual faz parte. Os ensaios desenvolvidos visaram determinar as características geométricas, físicas e mecânicas, objetivando, assim, verificar a uniformidade de produção dos blocos de acordo com os critérios da ABNT NBR 15270-3:2005 e apontar possíveis desvios nos parâmetros fixados pela norma.

3.3.1.1 Características geométricas

a. Medidas das faces – Dimensões efetivas

Determinação dos valores de largura (L), altura (H) e comprimento (C) dos blocos, fazendo-se medições por meio de régua metálica e paquímetros. Na tabela 3.1 são apresentadas as tolerâncias dimensionais relacionadas às medições individuais dos blocos baseado na ABNT NBR 15270-1:2005.

Tabela 3.1: Tolerância dimensionais individuais relacionadas à dimensão efetiva.

Grandezas controladas	Tolerância individual mm
Largura (L)	± 5
Altura (H)	
Comprimento (C)	

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

b. Determinação da espessura das paredes externas e septos dos blocos

A espessura das paredes externas do bloco cerâmico deve ser medida com o intuito de localizar o ponto onde a parede apresenta a menor espessura, requerendo uma tolerância de no mínimo 7 mm para cada parede externa. Já as medições nas espessuras dos septos devem ser obtidas na região central destes, utilizando no mínimo quatro medidas, e buscando os septos de menor espessura, estes devem ter dimensões maiores ou iguais a 6 mm.



Figura 3.2: Medição da espessura das paredes externas e septos dos blocos cerâmicos realizada no Laboratório de Estruturas – UAEC – UFCG.

c. Determinação do desvio em relação ao esquadro

A medição é realizada entre uma das faces destinadas ao assentamento e a maior face destinada ao revestimento do bloco, empregando-se o esquadro e a régua metálica. A tolerância especificada pela ABNT NBR 15270-3:2015 é de no máximo 3 mm de desvio.



Figura 3.3: Medição do desvio em relação ao esquadro no bloco cerâmico.

d. Determinação da planeza das faces

Deve-se determinar a planeza de uma das faces destinadas ao revestimento através de uma flecha formada na diagonal, sendo empregado novamente, o esquadro e a régua metálica. A flecha deve ser no máximo 3 mm.



Figura 3.4: Determinação da planeza da face a partir da flecha formada na diagonal do bloco cerâmico.

3.3.1.2 Características físicas

a. Índice de absorção de água

A absorção de água é entendida como uma propriedade na qual o corpo cerâmico tem uma relação direta com a porosidade da peça. Características como a resistência ao impacto, a resistência mecânica e resistência química estão associadas com a absorção de água. O índice de absorção d'água de cada corpo de prova é determinado pela expressão abaixo:

$$AA(\%) = \frac{m_u - m_s}{m_s} \times 100 \quad \text{Equação 3.3}$$

Sendo que:

m_u = massa úmida do corpo de prova;

m_s = massa seca do corpo de prova;

AA (%) = índice de absorção d'água.

3.3.1.3 Características mecânicas

a. Determinação da resistência a compressão dos blocos de vedação

No caso dos sistemas de vedações verticais, a resistência à compressão dos blocos, além de ser um indicador geral de sua qualidade, exerce influência na resistência ao cisalhamento e à compressão de alvenarias solicitadas por deformações impostas da estrutura, deve-se, portanto, empregar blocos que atendam às condições e requisitos da ABNT NBR 15270-3:2005. Assim, blocos cerâmicos com resistência mínima à compressão de 1,4 MPa podem ser utilizados em alvenarias de vedações. Na Figura 3.5 vê-se tal configuração.



Figura 3.5: Compressão axial do bloco cerâmico executada no Laboratório de Estruturas – UAEC – UFCG.

3.3.2 Cimento Portland

Foi utilizado o cimento Portland CP II F 32. Os ensaios desenvolvidos no cimento foram:

- **Determinação da massa unitária (ABNT NBR NM 45:2016):** É adotado para as transformações de traço em volume para traços em massa durante os procedimentos de dosagem das argamassas;
- **Determinação da massa específica real (ABNT NBR 16605:2017):** Estabelecer a massa específica do cimento CP II F 32 através de ensaios utilizando o frasco volumétrico de Le Chatelier;
- **Determinação do módulo de finura (ABNT NBR 11579: 2012):** Por meio do ensaio de peneiramento a seco é determinado o módulo de finura do cimento Portland com o emprego da peneira N° 200;

3.3.3 Cal Hidratada CHI

A cal utilizada foi do tipo CHI, obtida no comércio local. A caracterização física foi realizada através de ensaios de massa unitária e módulo de finura. Na Tabela 3.2 são apresentados os ensaios para caracterização física da cal.

Tabela 3.2: Ensaios para caracterização física da cal hidratada CHI.

Material	Ensaios
Cal Hidratada CHI	- Massa unitária (ABNT NBR NM 45:2016); - Módulo de finura (ABNT NBR 11579:2012).

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019

3.3.4 Agregado miúdo

Foi utilizado a areia quartzosa comumente encontrada na região local. Na tabela 3.3 apresentam-se os ensaios normatizados para caracterização do agregado miúdo.

Tabela 3.3: Ensaios de caracterização do agregado miúdo.

Material	Ensaios
Agregado miúdo (areia)	- Massa unitária (ABNT NBR NM 45:2016); - Massa específica (ABNT NBR 16605:2017); - Granulometria (ABNT NBR NM 248:2003); - Inchamento (ABNT NBR 6467:2006).

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019

3.3.5 Ensaios nas argamassas

3.3.5.1 Índice de consistência na argamassa

A determinação do índice de consistência da argamassa obedeceu aos critérios da ABNT NBR 13276:2016. O ensaio da mesa de consistência ou “Flow Table” é definido através da determinação da consistência, coesão e plasticidade, que são variáveis da trabalhabilidade da argamassa, objetivando, assim, definir a relação água/materiais secos na mistura. O ensaio foi executado para os dois traços definidos na pesquisa, o traço 1:2:8 e o traço 1:1:7. A Figura 3.6 ilustra o procedimento de ensaio.



Figura 3.6: Ensaio de determinação do índice de consistência da argamassa.

3.3.5.2 Densidade de massa no estado fresco

A densidade de massa foi obtida de acordo com os parâmetros estabelecidos pela ABNT NBR 13278: 2005. Essa característica da argamassa está intimamente ligada ao seu rendimento e uso, isto é, que volume ela rende para aplicação. Assim, foi determinado a relação entre o volume e massa da argamassa fresca, conforme ilustra a Figura 3.7.



Figura 3.7: Ensaio de determinação da densidade da argamassa fresca.

3.3.5.3 Resistência à compressão

Foram moldados para os dois traços escolhidos corpos-de-prova cilíndricos de 5,0cm x 10,0cm e rompidos nas idades de 7, 14 e 28 dias da data de moldagem. O ensaio de resistência à compressão simples foi executado em conformidade com os critérios da ABNT NBR 13279:2005. A cura se deu por imersão em água à temperatura ambiente (cerca de 28°C). A Figura 3.8 ilustra o ensaio de rompimento no Laboratório de Engenharia de Pavimentos, na prensa Shimadzu Servopulser, modelo EHF-EM100K1-020-0A, com carga aplicada à velocidade de $0,25 \pm 0,05$ MPa/s.



Figura 3. 8: Ensaio de compressão no corpo-de-prova executado no Laboratório de Engenharia de Pavimentos – UAEC – UFCG.

3.4 Elevação das alvenarias

Foi executado a elevação das duas paredes de vedação, baseado nos dois traços fixados. A execução foi baseada nos critérios e definições da ABNT NBR 11675:2016, estabelecendo, assim, o método para verificação da resistência aos impactos de corpo mole. Definiram-se as dimensões do corpo-de-prova em função da modulação do painel especificado pela norma. Assim, cada alvenaria foi executada nas dimensões de 2,45m x 3,6m.

Realizou-se a pintura com cal dos protótipos produzidos, para uma melhor identificação de fissuras, deslocamentos, falhas e fendilhamentos após realização dos impactos no sistema de vedação executado. A Figura 3.9 ilustra a modulação do painel

sugerido pela norma ABNT NBR 11675:2016, bem como a planta baixa com a referida disposição dos protótipos no Laboratório de Estruturas – UAEC – UFCG. A execução dos protótipos é mostrada na figura 3.10.

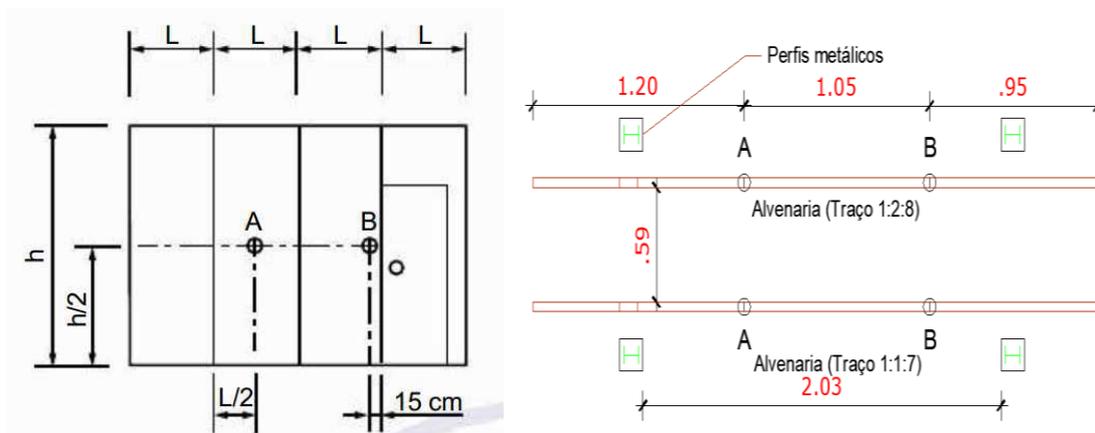


Figura 3.9: Modulação e disposição dos protótipos de alvenarias.



Figura 3.10: Execução das alvenarias de vedação no Laboratório de Estruturas – UAEC – UFCG.

3.5 Execução do ensaio de impacto de corpo mole

O ensaio para avaliação dos impactos de corpo mole foi baseado nos requisitos da ABNT NBR 11675: 2016. Como dispositivo para registro dos deslocamentos transversais da alvenaria foi adotado o mecanismo adaptado pela ABNT NBR 11675: 2016, bem como

foi utilizado um defletômetro com precisão de 0,01 mm para auxiliar na obtenção dos deslocamentos.

Durante o ensaio o saco cilíndrico é abandonado em movimento pendular, em direção aos pontos especificados pela ABNT NBR 11675: 2016, sendo a altura da queda determinada de forma a produzir a energia de impacto de utilização e de segurança, que é especificado pela ABNT NBR 15575: 2013 – 4 para paredes internas sem função estrutural. Logo, os requisitos são que, sob ação de impacto de corpo mole, as alvenarias internas devem apresentar resistência satisfatória, e suas deformações devem manter-se dentro dos limites aceitáveis. Na Figura 3.11 é apresentado a montagem do sistema pendular e suspensão do saco cilíndrico no ponto de aplicação da carga.

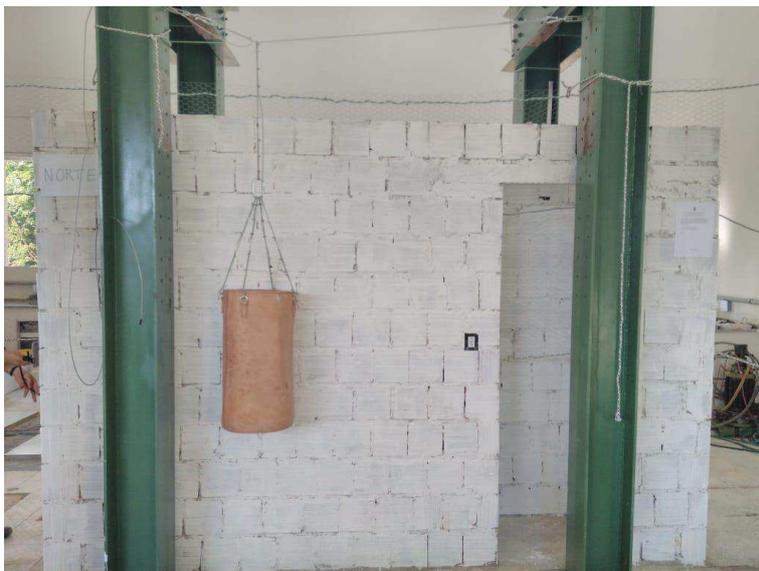


Figura 3.11: Montagem do sistema pendular para o ensaio de impacto de corpo mole disposto na posição A, no Laboratório de Estruturas – UAEC – UFCG.

A Figura 3.12 ilustra a montagem dos equipamentos medidores dos deslocamentos transversais instantâneos e residuais.



Figura 3.12: Instalação dos dispositivos de medição dos deslocamentos transversais no Laboratório de Estruturas – UAEC – UFCG.

No presente estudo não foi utilizado as energias preconizadas pela ABNT NBR 11675:2016, uma vez que as alvenarias produzidas se configuram com engaste apenas na sua base, dispondo de suas laterais e topo livres. Logo, optou-se por uma minoração na aplicação das cargas em cerca de 30 % do valor mínimo proposto pela norma técnica. É apresentado na Tabela 3.4 a massa do corpo impactador e a altura correspondente à energia de impacto adotada, objetivando a realização do ensaio de impacto de corpo mole.

Tabela 3.4: Massa do corpo impactador, altura e energia de impacto (ensaio de impacto de corpo mole).

Impactador	m (kg)	h (cm)	E (J)
Corpo mole de acordo com a ABNT NBR 11675:2016	40	2,5	10
		5,0	20

A sequência de impactos de corpo mole nas alvenarias de vedação é definida e normatizada pela ABNT NBR 11675:2016. A Tabela 3.5 ilustra tal sequência e suas respectivas energias aplicadas. O ensaio foi executado para os dois sistemas de vedações verticais propostos, os quais se diferenciam pelo traço de argamassa de assentamento. Na figura 3.13 são apresentados os pontos de aplicação da carga na alvenaria.

Tabela 3.5: Sequência de impactos na alvenaria de vedação de acordo com a ABNT NBR 11675:2016.

Sequência de impactos para aplicação		
Quantidade	Energia (J)	Ponto de aplicação
1	10	A
1	10	B
3*	20	A
3*	20	B

* - Impactos sucessivos

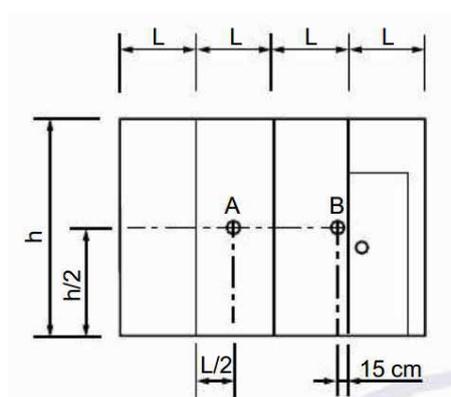


Figura 3.13: Pontos de aplicação da carga na alvenaria de vedação.

CAPÍTULO IV

4 Resultados e discussões

Este capítulo apresenta os resultados e discussões do estudo realizado. A ordem de apresentação dos resultados dos ensaios tem a sequência: caracterização do agregado miúdo, blocos cerâmicos, cimento, cal e ensaios na argamassa no estado fresco e estado endurecido – ensaios de consistência normal, densidade em massa no estado fresco e resistência à compressão simples.

4.1 Caracterização dos agregados

4.1.1 Agregado miúdo

Os ensaios de caracterização física estão apresentados na Tabela 4.1.

Tabela 4.1: Composição granulométrica do agregado miúdo.

Composição Granulométrica (ABNT NBR NM 248:2016)			
<i>Peneiras</i>	<i>Material retido</i>	<i>Porcentagens em massa (%)</i>	
<i>(mm)</i>	<i>(g)</i>	<i>Retidas</i>	<i>Acumuladas</i>
4,8	0,84	0,084	0,084
2,4	28,94	2,894	2,978
1,2	82,86	8,286	11,264
0,6	239,94	23,994	35,258
0,3	516,60	51,66	86,918
0,15	108,03	10,803	97,721
Soma	1000,00	97,721	-
<i>Ensaio</i>		<i>Limites</i>	<i>Valor obtido</i>
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)		-	$\gamma_s = 2,51 \text{ g/cm}^3$
Inchamento (ABNT NBR 6467: 2006)		-	$\frac{V_h}{V_s} = 1,18$

a) Granulometria

A Figura 4.1 apresenta a curva granulométrica do agregado miúdo. A areia apresenta-se bem graduada, onde as partículas menores ocupam os vazios respectivos às maiores criando um entrosamento, do qual resulta maior resistência e menor compressibilidade, ideais para argamassas de assentamento. O módulo de finura da areia foi 2,34, o que a caracteriza como areia média; o que indica que é uma areia adequada para produção de argamassas de assentamento.

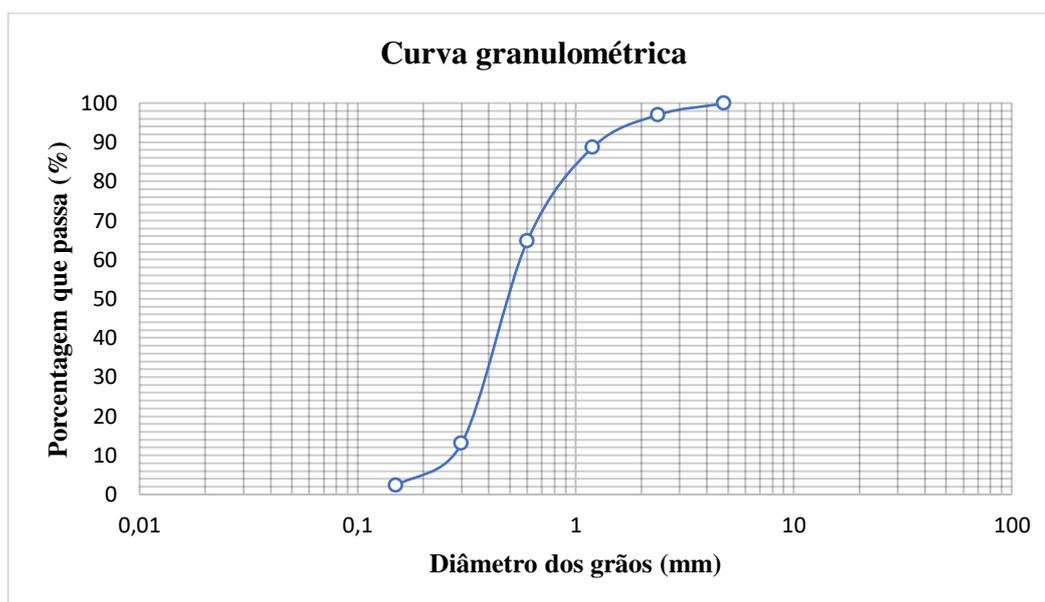


Figura 4.1: Curva granulométrica do agregado miúdo.

b) Massa unitária no estado solto

A massa específica no estado solto do agregado miúdo é $\gamma_{ss} = 1,34 \text{ g/cm}^3$.

c) Massa específica seca

A massa específica do agregado miúdo é $\gamma_s = 2,51 \text{ g/cm}^3$.

d) Inchamento do agregado miúdo

A partir da análise gráfica do inchamento, obteve-se uma umidade crítica de 3,2% e inchamento médio de 1,18. Esses valores foram necessários para fazer a correção da umidade no traço da argamassa de assentamento, uma vez que a areia utilizada na produção das argamassas apresentava-se com umidade considerável. Determinou-se,

portanto, o teor de umidade da areia conforme os procedimentos normatizados pela DNER-ME 196/98. O valor obtido foi de 5,87 %.

4.2 Blocos cerâmicos

Tendo a finalidade de caracterização e aceitação ou rejeição dos blocos cerâmicos, os ensaios de absorção e resistência à compressão foram efetuados após aprovação nos ensaios de características geométricas. No que se refere à aceitação ou rejeição dos lotes por amostragem, a Tabela 4.2 ilustra tais critérios.

Tabela 4.2: Amostragens e critérios de aceitação e rejeição dos blocos de vedação.

Inspeções e ensaios realizados	Nº Blocos ensaiados		Blocos não-conforme			
			1ª amostragem		2ª amostragem	
	1ª amostra	2ª amostra	Nª aceitação	Nª rejeição	Nª aceitação	Nª rejeição
Identificação dos blocos	13	-	0	1	-	-
Características visuais	13	13	2	5	6	7
Características geométricas	13	-	2	3	-	-
Caracterização física	6	-	1	2	-	-
Caracterização mecânica	13	-	2	3	-	-

(-) não se aplica a dupla amostragem.

4.2.1 Características geométricas

a) Valores das dimensões efetivas

Na Tabela 4.3 são apresentados os resultados referentes às medições das faces do bloco cerâmico de 9x19x19cm, isto é, valores da largura, altura e comprimento. A medição foi realizada nas duas faces do bloco, de acordo com a dimensão adotada. As medições destacadas em vermelho não estão dentro da tolerância permitida (5mm), no entanto, houve a aceitação da amostragem.

Tabela 4.3: Determinação das dimensões das faces dos blocos de vedação 9x9x19 cm.

Dimensões das faces (Dimensões efetivas)						
Blocos	Largura (cm)		Altura (cm)		Comprimento (cm)	
B1	8,5	8,5	18,6	18,5	18,5	18,6
B2	8,5	8,5	18,5	18,5	18,5	19
B3	8,5	8,5	18,5	18,5	18,5	18,5
B4	8,5	8,5	18,5	18,5	18,5	18,5
B5	8,4	8,5	18,5	18,5	18,5	18,5
B6	8,5	8,4	18,5	18,5	18,5	18,2
B7	8,4	8,5	18,3	18,4	18,5	18,1
B8	8,5	8,2	18,5	18,5	18,5	18,7
B9	8,5	8,5	18,5	18,5	18,5	18,5
B10	8,5	8,5	18,5	18,5	18,5	18,5
B11	8,5	8,5	18,5	18,5	18,5	18,5
B12	8,4	8,5	18,5	18,5	18,5	18,5
B13	8,6	8,5	18,5	18,5	18,5	19

b) Valores dos septos e paredes externas do bloco de vedação

De acordo com as Tabelas 4.4 e 4.5 houve aceitação da amostragem para as medições dos septos e paredes externas do bloco cerâmico. Em ambos os ensaios foram executadas quatro medições, as quais estão dentro do limite recomendado pela ABNT NBR 15270-3:2005, apenas o bloco B5 na sua segunda medição não atendeu à tolerância especificada.

Tabela 4.4: Determinação da espessura das paredes externas e septos dos blocos de vedação.

Espessura das paredes externas				
Blocos	Medida 1 (mm)	Medida 2 (mm)	Medida 3 (mm)	Medida 4 (mm)
B1	7,0	9,0	8,0	9,0
B2	9,0	9,0	8,0	10,0
B3	9,0	9,0	7,0	8,0
B4	8,0	10,0	8,0	8,0
B5	8,0	6,0	7,0	8,0
B6	8,0	7,0	8,0	8,0
B7	9,0	7,0	9,0	10,0
B8	7,0	9,0	8,0	7,0
B9	8,0	8,0	8,0	7,0
B10	8,0	7,0	7,0	8,0
B11	8,0	8,0	10,0	9,0
B12	8,0	9,0	9,0	10,0
B13	9,0	7,0	7,0	10,0

Tabela 4.5: Determinação da espessura das paredes externas e septos dos blocos de vedação.

Blocos	Espessura dos septos			
	Medida 1 (mm)	Medida 2 (mm)	Medida 3 (mm)	Medida 4 (mm)
B1	10	9	10	10
B2	11	10	9	8
B3	9	9	9	10
B4	12	10	9	7
B5	10	9	9	10
B6	11	9	8	8
B7	8	9	9	9
B8	9	10	9	9
B9	9	9	7	8
B10	9	10	10	9
B11	10	9	9	7
B12	10	10	10	8
B13	10	10	10	12

c) Planeza das faces e desvio em relação ao esquadro

Na determinação da planeza das faces de acordo com o procedimento preconizado pela ABNT NBR 15270-3: 2013 não houve discrepância nas medições realizadas da tolerância de 3 mm, logo a amostragem em questão foi aprovada. Assim, tem-se uma maior assertividade na planicidade da alvenaria de vedação. Para as medidas de desvio em relação ao esquadro foi realizado uma medição em cada face do bloco cerâmico e, de acordo com a Tabela 4.6 a amostragem foi rejeitada, uma vez que o número de blocos não-conformes foi maior que 3, não atendendo assim ao limite estabelecido pela ABNT NBR 15270-3: 2013.

Tabela 4.6: Determinação da planeza das faces e desvio em relação ao esquadro dos blocos de vedação.

Planeza das faces		Desvio em relação ao esquadro		
Blocos	Medida 1 (mm)	Blocos	Medida 1 (mm)	Medida 2 (mm)
B1	3,0	B1	10,0	2,0
B2	2,0	B2	3,0	4,0
B3	2,0	B3	5,0	6,0
B4	3,0	B4	6,0	6,0
B5	2,0	B5	4,0	5,0

B6	3,0	B6	1,0	1,0
B7	3,0	B7	4,0	3,0
B8	1,5	B8	6,0	6,0
B9	3,0	B9	3,0	3,0
B10	5,0	B10	3,0	4,0
B11	1,5	B11	6,0	5,0
B12	3,0	B12	1,0	0,0
B13	3,0	B13	2,0	2,5

Tolerância: $\leq 3\text{mm}$

4.2.2 Características físicas

A Tabela 4.7 ilustra o índice de absorção para os seis CPs ensaiados, os quais estão dentro do limite imposto pela norma. Portanto, indicados para

Tabela 4.7: Determinação do índice de absorção de água dos blocos de vedação.

Índice de Absorção (%)			
Blocos	Massa seca (g)	Massa úmida (g)	AA (%)
B1	2340	2580	10,3
B2	2330	2570	10,3
B3	2330	2580	10,7
B4	2240	2480	10,7
B5	2320	2570	10,8
B6	2310	2550	10,4

Tolerância: $8\% \leq AA \leq 22\%$

4.2.3 Características mecânicas

Para a determinação das características mecânicas foi executado o ensaio de resistência à compressão dos blocos de vedação, baseado na ABNT NBR 15270-3:2005. Assim, é verificado a capacidade de carga que os blocos de vedação suportam quando submetidos a forças exercidas perpendicularmente sobre suas faces opostas, sendo determinado, portanto, a resistência mecânica adequada, simulando assim, a pressão exercida pelo peso da construção sobre os tijolos. Na Tabela 4.8 são apresentados os valores da resistência à compressão de todos os CPs ensaiados. Não houve aceitação do lote ensaiado, devido ao não atendimento da resistência mínima.

Tabela 4.8: Determinação da resistência à compressão dos blocos de vedação.

Resistência à Compressão				
Blocos	Área (cm ²)	Força (kgf)	Tensão (kgf/cm ²)	Tensão (MPa)
B1	169,26	440	2,60	0,260
B2	170,88	1300	7,61	0,761
B3	164,56	820	4,98	0,498
B4	165,54	820	4,95	0,495
B5	171	1000	5,85	0,585
B6	160,95	1360	8,45	0,845
B7	165,44	1100	6,65	0,665
B8	166,32	1140	6,85	0,685
B9	165,44	540	3,26	0,326
B10	165,44	880	5,32	0,532
B11	163,68	800	4,89	0,489
B12	164,56	1020	6,20	0,620
B13	170,72	1160	6,79	0,679

Tolerância: $\geq 1,5$ Mpa

4.3 Caracterização do cimento

Os ensaios de caracterização do cimento CP II – F 32 estão identificados na Tabela 4.9.

Tabela 4. 9: Ensaios físicos no cimento

<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) Módulo de finura

O módulo de finura atende ao valor normalizado. Esta propriedade está diretamente ligada ao seu desempenho. Quanto maior for a finura, menor será sua exsudação e os tipos de segregação que ocorrem com o mesmo. Melhorando assim, a resistência da primeira idade, trabalhabilidade e impermeabilidade.

b) Massa unitária

O valor obtido para a massa unitária do cimento foi de 1,14 g/cm³.

c) Massa específica real

A massa específica real do cimento é $\gamma_s = 2,51$ g/cm³.

4.4 Caracterização da Cal Hidratada

A Tabela 4.10 apresenta os valores obtidos para cada ensaio.

Tabela 4.10: Ensaio físicos na cal.

<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

4.5 Ensaio nas argamassas

Após a caracterização dos componentes da argamassa, foram realizados os ensaios para caracterização das dosagens de argamassa de assentamento no estado fresco, e consequente avaliação das propriedades no estado endurecido.

4.5.1 Argamassa no estado fresco

As propriedades das argamassas em seu estado fresco estão intimamente ligadas à sua trabalhabilidade, manuseio e aplicação enquanto a mesma ainda não começou a endurecer. Segundo Silva (2005)³³ a consistência é influenciada pelos seguintes fatores: relação água/aglomerante, granulometria da areia, natureza e qualidade do aglomerante.

³³ SILVA, R. P.; BARROS, M. M.S.B.; PILEGGI, R.L. G. JOHN, V.M. Avaliação do comportamento da argamassa no estado fresco através dos métodos de mesa de Consistência, dropping ball e squeeze flow. In: VI Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas. Anais... Florianópolis-SC, Maio de 2005.

4.5.1.1 Índice de consistência na argamassa

Foi realizado conforme a ABNT NBR 13276:2005. Este ensaio teve como objetivo avaliar a trabalhabilidade da argamassa a fim de se obter a relação água/aglomerante adequada para a mistura. O espalhamento da argamassa na mesa de consistência foi de 260 ± 5 mm, o qual é tido como referência para uma boa trabalhabilidade e manuseio de argamassas de assentamento e revestimento na prática. Os resultados obtidos a partir da mesa de consistência das argamassas ensaiadas são apresentados na Tabela 4.11.

Tabela 4.11: Fator água/aglomerante obtido a partir da mesa de consistência das argamassas ensaiadas.

Traço	Relação a/agl.	Espalhamento (mm)		
1:2:8	0,83	260	265	265
1:1:7	0,83	259	259	257

4.5.1.2 Densidade de massa fresca

O ensaio de densidade de massa é normatizado pela ABNT NBR 13278: 2005. A Tabela 4.12 ilustra os valores de densidades encontrados para os dois traços de argamassa utilizados nesta pesquisa, sendo utilizado um recipiente de volume conhecido.

Tabela 4.12: Determinação da densidade de massa fresca para argamassa de assentamento.

Traço	Massa (g)	Volume (cm ³)	Densidade (g/cm ³)
1:2:8	803,9	400	2,00
1:1:7	783,3	400	1,96

4.5.2 Argamassa no estado endurecido

4.5.2.1 Resistência à compressão

Na Figura 4.2 é apresentado a evolução da resistência à compressão das argamassas de assentamento em função das idades de rompimento.

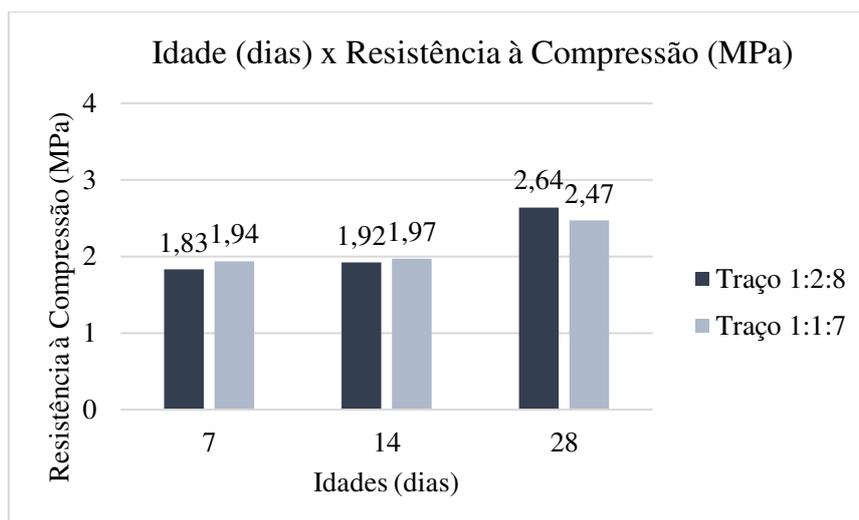


Figura 4.2: Evolução da resistência à compressão das argamassas de assentamento.



Figura 4.3: Ensaio de resistência à compressão das argamassas de assentamento na prensa Shimadzu Servopulser, no Laboratório de Engenharia de Pavimentos – UFCG.

4.6 Ensaio de impacto de corpo mole

4.6.1 Medição dos deslocamentos transversais

Para medição dos deslocamentos transversais foi instalado o dispositivo para registro gráfico em posição coincidente com o centro de massa do saco de couro, na face do corpo de prova oposta àquela que sofrerá atuação direta do impacto. Para cada um dos impactos aplicados, devem-se apresentar, com arredondamento para milímetros, os

valores dos deslocamentos transversais instantâneos e residuais. Na Tabela 4.13 apresentam-se os valores dos deslocamentos em função das energias de impacto aplicadas para o traço 1:2:8. A Tabela 4.14 ilustram-se os mesmos parâmetros para o traço 1:1:7. Para os dois traços não houveram manifestações no protótipo, como fissuras ou trincas, apenas vibração e registro das medidas de deslocamentos no equipamento instalado.

Tabela 4.13: Deslocamentos transversais instantâneos e residuais para o traço 1:2:8.

Deslocamentos transversais instantâneos e residuais (mm) - Traço 1:2:8				
Energia (J)	Instantâneo (mm)	Residual (mm)	Instantâneo (mm)	Residual (mm)
<i>Impactos</i>	<i>Ponto A</i>		<i>Ponto B</i>	
10 J	0,7	0,00	2,41	0,00
<i>Impactos sucessivos</i>	<i>Ponto A</i>		<i>Ponto B</i>	
20 J	2,95	0,73	4,29	0,93
20 J	3,46	0,84	5,35	0,66
20 J	3,6	0,79	5,09	0,76

Tabela 4.14: Deslocamentos transversais instantâneos e residuais para o traço 1:1:7.

Deslocamentos transversais instantâneos e residuais (mm) - Traço 1:1:7				
Energia (J)	Instantâneo (mm)	Residual (mm)	Instantâneo (mm)	Residual (mm)
<i>Impactos</i>	<i>Ponto A</i>		<i>Ponto B</i>	
10 J	0,87	0,00	1,38	0,03
<i>Impactos sucessivos</i>	<i>Ponto A</i>		<i>Ponto B</i>	
20 J	3,9	0,59	4,91	0,86
20 J	4,72	0,65	5,46	0,8
20 J	4,54	1,22	4,92	2,00

4.6.2 Limites das deformações transversais segundo a ABNT NBR 15575-4:2013

Com o intuito de comparação entre os deslocamentos transversais obtidos para as duas alvenarias de vedação e os limites preconizados pela ABNT NBR 15575-4: 2013 é válido apresentar as energias de impacto adotadas em função dos deslocamentos encontrados e deslocamentos máximos permitidos para o ELS, de acordo com a ABNT NBR 15575-4: 2013. A Tabela 4.15 apresenta os resultados referente ao traço 1:2:8 para os pontos de aplicação A e B definidos. O ponto 1 refere-se à energia de 10 J e os pontos

2, 3 e 4 referem-se à energia aplicada de 20 J com impactos sucessivos nos protótipos. Na Tabela 4.16 os mesmos parâmetros são identificados para o traço 1:1:7.

Tabela 4.15: Análise comparativa entre os resultados obtidos no laboratório e limites definidos pela ABNT NBR 15575-4:2013 para o traço 1:2:8.

Laboratório	Deslocamentos (mm)	Energia (J)				Energia (J)			
		Ponto A				Ponto B			
		10		20		10		20	
		1	2	3	4	1	2	3	4
	d_h	0,70	2,95	3,46	3,60	2,41	4,29	5,35	5,09
	d_{hr}	0,00	0,73	0,84	0,79	0,00	0,93	0,66	0,76
	d_{topo}	1,40	5,90	6,92	7,20	4,82	8,58	10,70	10,18
ABNT NBR 15575- 4:2013 (ELS)	d_h	9,76							
	d_{hr}	1,95							
	d_{topo}	19,50							

Onde:

- d_h é o deslocamento transversal instantâneo;
- d_{hr} é o deslocamento transversal residual;
- d_{topo} é o deslocamento no topo da alvenaria de vedação, isto é, o deslocamento máximo obtido na configuração do protótipo analisado obtido analiticamente.

Tabela 4.16: Análise comparativa entre os resultados obtidos no laboratório e limites definidos pela ABNT NBR 15575-4:2013 para o traço 1:1:7.

Laboratório	Deslocamentos (mm)	Energia (J)				Energia (J)			
		Ponto A				Ponto B			
		10		20		10		20	
		1	2	3	4	1	2	3	4
	d_h	0,87	3,90	4,72	4,54	1,38	4,91	5,46	4,92
	d_{hr}	0,00	0,59	0,65	1,22	0,03	0,86	0,80	2,00
	d_{topo}	1,74	7,80	9,44	9,08	2,76	9,82	10,92	9,84
ABNT NBR 15575- 4:2013 (ELS)	d_h	9,76							
	d_{hr}	1,95							
	d_{topo}	19,50							

4.6.3 Análise comparativa entre os traços de argamassa de assentamento

A fim de analisar a resistência dos traços de argamassa de assentamento, verificou-se por meio de gráficos comparativos os deslocamentos transversais obtidos para cada sistema de vedação. A análise foi feita levando em consideração o ponto de aplicação da carga e o tipo de deslocamento transversal. Na Figura 4.4 é levado em consideração os seguintes aspectos:

- Tipo de deslocamento: Deslocamento transversal instantâneo;
- Ponto de aplicação da carga: Ponto A

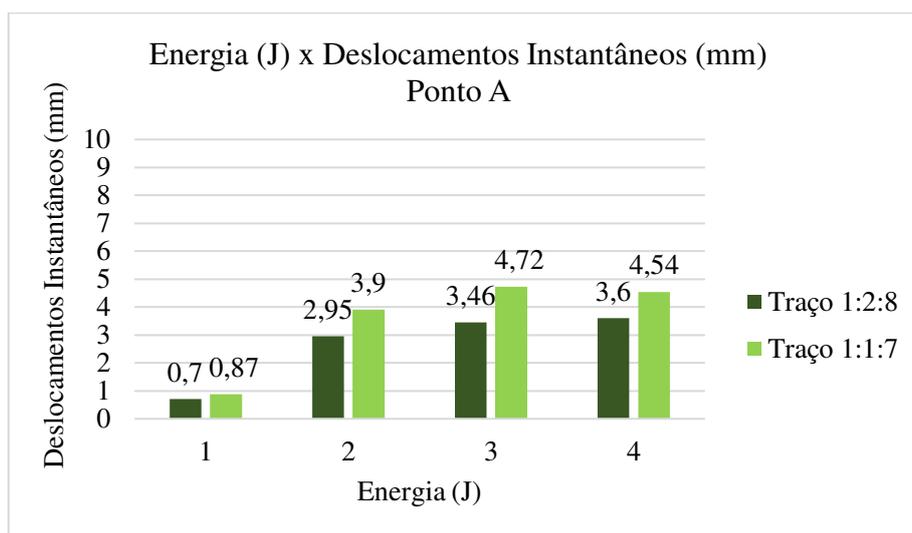


Figura 4.4: Deslocamentos instantâneos em função das energias aplicadas no ponto A.

Observou-se, portanto, uma maior resistência da argamassa de assentamento do traço 1:2:8, uma vez que se obteve menores valores de deslocamentos para a energia de 20 J. No que tange ao valor máximo de deslocamento instantâneo imposto pela ABNT NBR 15575-4: 2013, os dois sistemas verticais atenderam ao critério de desempenho do ELS, isto é, deslocamentos inferiores à 9,76 mm.

Na Figura 4.5 apresenta-se a análise comparativa para o ponto de aplicação B e deslocamentos instantâneos segundo as mesmas energias de impacto.

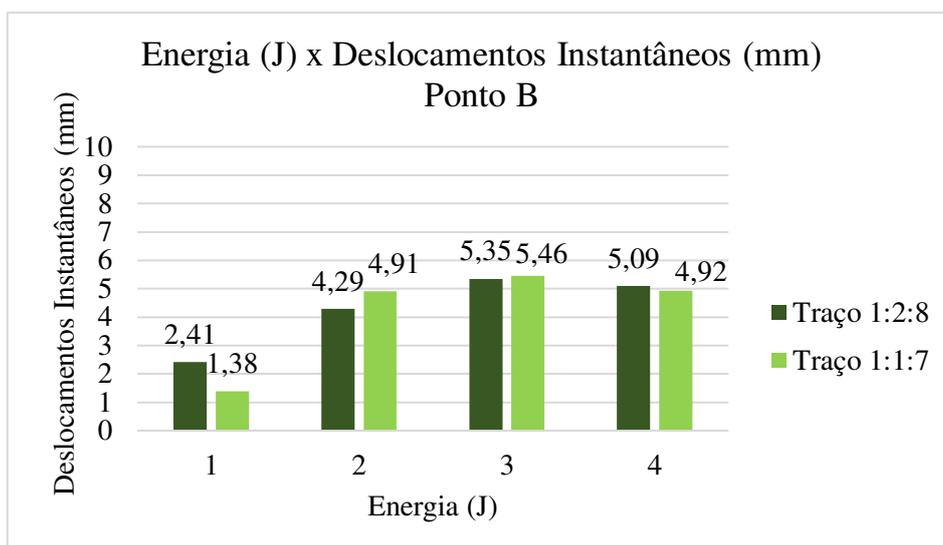


Figura 4.5: Deslocamentos instantâneos em função das energias aplicadas no ponto B.

Devido à configuração de aplicação das cargas no protótipo, o ponto B está suscetível à maiores deslocamentos em relação ao ponto A, uma vez que dista 15 cm do vão livre da porta (ver figura da página 52). Ainda assim, os deslocamentos médios obtidos para o traço 1:2:8 foram menores do que os deslocamentos médios do traço 1:1:7 em cerca de 4%. Também para o ponto B foi atendido os critérios de desempenho preconizados pela norma técnica no Estado Limite de Serviço (ELS), de modo que não houve o aparecimento de trincas, fissuras ou destacamentos nas juntas de argamassa e os deslocamentos registrados foram inferiores à 9,76 mm.

Avaliou-se também os deslocamentos máximos no protótipo, ou seja, em seu topo. Neste ponto a borda é livre, havendo assim uma maior flexibilidade da alvenaria e o consequente aumento de deformação. Na Figura 4.6 apresenta-se os deslocamentos máximos no ponto de aplicação A, para os dois traços de argamassas de assentamento, seguindo os mesmos níveis de energia aplicados.

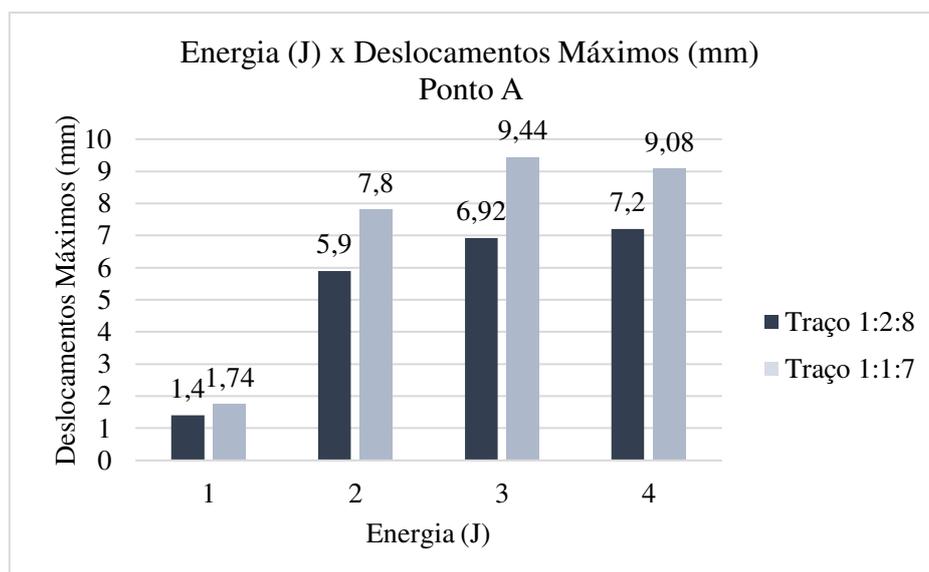


Figura 4.6: Deslocamentos máximos em função das energias aplicadas no ponto A.

De acordo com a Tabela 4.18 o limite de deslocamento máximo para o topo da parede é de 19,5 mm. Assim, analisando o gráfico da figura 4.8, apesar dos valores muito altos de deslocamentos transversais, percebe-se o atendimento aos requisitos de desempenho da ABNT NBR 15575-4:2013 no que se refere ao ELS. O traço 1:2:8 apresentou-se mais resistente, uma vez que se registrou valores menores de deslocamentos. De forma análoga aos deslocamentos instantâneos, os deslocamentos máximos foram registrados para o ponto B conforme ilustra a Figura 4.7.

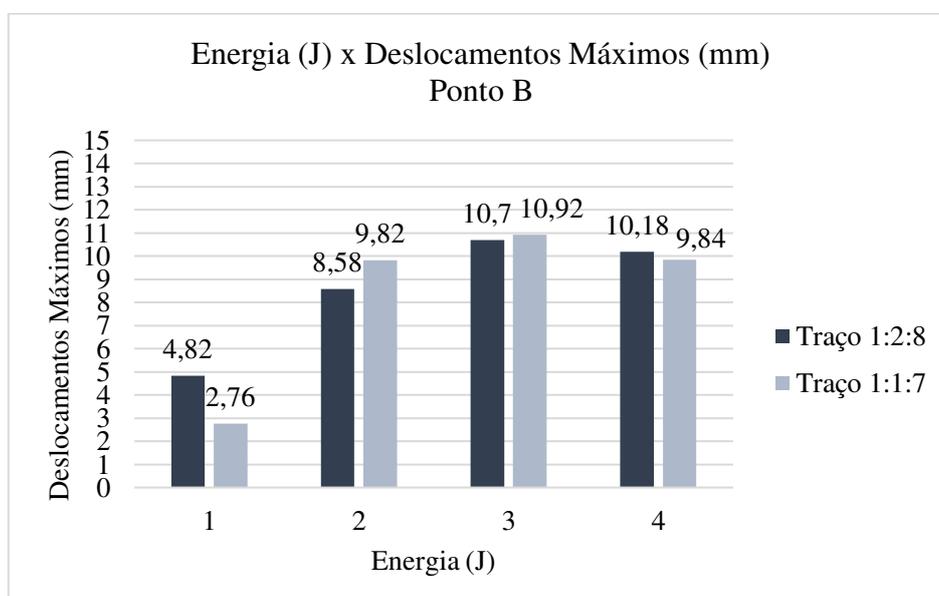


Figura 4.7: Deslocamentos máximos em função das energias aplicadas no ponto B.

Assim como analisado no ponto A, a argamassa de assentamento no traço 1:2:8 mostrou-se novamente mais resistente, apresentando deslocamento transversal médio inferior ao limite da norma técnica e cerca de 4% menor que o deslocamento médio no traço 1:1:7. É válido pontuar que, em nenhum dos níveis de energia aplicados houve ocorrência de ruína dos protótipos, assim o Estado Limite Último (ELU) não foi atingido, configurando o atendimento aos níveis de desempenho da ABNT NBR 15575-4:2013.

CAPÍTULO V

5 Conclusão

Dos resultados obtidos pode-se concluir que:

5.1 *Com relação à resistência dos sistemas de vedações verticais*

- no que se refere à resistência dos sistemas de vedações verticais internas quando submetidos a impactos (utilização e segurança) de corpo mole, simulando as condições de uso da edificação e de acordo com o protótipo elaborado, vale destacar o atendimento aos requisitos de desempenho da ABNT NBR 15575-4:2013, uma vez que os valores dos deslocamentos máximos obtidos ficaram abaixo dos limites aceitáveis e pela ausência de danos nos componentes da alvenaria de vedação, isto é, a não ocorrência do Estado Limite Último (ELU).

5.2 *Com relação aos deslocamentos transversais instantâneos e residuais*

- na avaliação dos deslocamentos transversais instantâneos e residuais provocados pelo corpo mole, para as alvenarias produzidas, sem fins estruturais, os valores dos deslocamentos apresentados, foram inferiores ao limite estabelecido pela ABNT NBR 15575-4:2013, confirmando assim, o desempenho satisfatório;

5.3 *Com relação ao desempenho estrutural das vedações*

- os valores de deslocamentos obtidos possuem relação direta com a resistência da argamassa de assentamento. Constatou-se que o traço 1:2:8 foi mais resistente em razão dos menores valores de deslocamentos (máximos e instantâneos) na alvenaria produzida com essa argamassa, a qual obteve também, uma maior resistência à compressão à idade de 28 dias, idade em que foi executado o ensaio de corpo mole. É válido pontuar também, que a maior quantidade de cal no traço 1:2:8 comparada ao traço 1:1:7, pode propiciar menor módulo de deformação às paredes, em função de seu poder de retenção de água, possuindo assim, um maior potencial de acomodar movimentações resultantes de deformações impostas.

5.4 Com relação às inspeções visuais das amostras

- após aplicação das cargas nos pontos definidos pela ABNT NBR 11675:2016 realizou-se a análise visual nos protótipos. Sendo, portanto, constatado a não ocorrência de manifestações como fissuras, escamações, eventuais trincas, delaminações, destacamento nas juntas de argamassa e fendilhamentos. Assim, não houve comprometimento do estado de utilização das alvenarias.

5.5 Com relação ao nível de desempenho dos protótipos

- de posse dos resultados dos deslocamentos nas alvenarias, constatou-se, segundo os critérios da ABNT NBR 15575-4:2013, um nível de desempenho “M”, isto é, um desempenho satisfatório, o qual identifica o comportamento estável da vedação, sem apresentar alterações.

- é importante observar que, quando a edificação estiver em uso, portanto sujeitas a impactos dinâmicos de corpo mole, tanto para vedações externas como internas, estas devem possuir um nível de desempenho que mantenha seus deslocamentos dentro de certos limites, os quais são estabelecidos pela ABNT NBR 15575-4:2013. Assim, em qualquer situação, a resistência a impactos de corpo mole pode ser convenientemente aumentada com a introdução de alguns elementos no sistema, tais como:

- Cintas de amarração;
- Pilares armados e grauteados;
- Ferros corridos nas juntas de assentamento;
- Telas metálicas embutidas no revestimento das paredes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AMTHAUER, Paulo Roberto. Argamassa de Assentamento – Uma Verificação do Estágio Atual na Cidade de Ijuí. 2001. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade do Extremo Sul Catarinense. Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, 2001.
2. BICALHO, Felipe Cançado. *Sistema de gestão da qualidade para empresas construtoras de pequeno porte*. 2009. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009.
3. BOSELLI, T.; DUNOWICZ, R. *La calidad y la conservación de la vivienda social: bases para el aseguramiento de la sustentabilidad del hábitat*. In: ENCONTRO NACIONAL, 5.; ENCONTRO LATINO-AMERICANO SOBRE EDIFICAÇÕES E COMUNIDADES SUSTENTÁVEIS, 3., Recife, 2009.
4. BRANDÃO, Rosana Melo de Lucas. Levantamento das manifestações nas edificações, com até cinco anos de idade, executadas no estado de Goiás. Orientador: Prof. Dr. André Luiz B. Geyer. 2007. 224 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2007.
5. CASALI, Juliana Machado et al. Estudo da interação entre a argamassa de assentamento e o bloco de concreto para alvenaria estrutural: transporte de água e aderência. 2008. 348 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.
6. CHAGAS, Rodrigo Mendes Patrício. Estudo do concreto laterítico dosado com aditivo plastificante à base de lignosulfonato / Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia. Campina Grande, 2011.
7. CINCOTTO, M. A. Patologia das argamassas de revestimento: análise e recomendações – Publicação 1.801. 2 ed. São Paulo, IPT, 1989.

8. Desempenho de edificações habitacionais: guia orientativo para atendimento à norma ABNT NBR 15575/2013./Câmara Brasileira da Indústria da Construção. -Fortaleza: Gadioli Cipolla Comunicação, 2013.
9. Duarte, R. B. Fissuras em alvenarias: causas principais, medidas preventivas e técnicas de recuperação. Porto Alegre: CIENTEC, 1998 (Boletim Técnico,25).
10. FIORITO, A. J. S. Manual de argamassas de revestimento: estudos e procedimentos de execução. 1 ed. São Paulo, Pini, 1994.
11. KERN, Andrea Parisi; SILVA, Adriana; KAZMIERCZAK, Claudio de Sousa. O processo de implantação de normas de desempenho na construção: um comparativo entre a Espanha (CTE) e Brasil (NBR 15575/2013). Gestão e Tecnologia de Projetos, São Paulo, 16 abr. 2014.
12. LORDSLEEM JÚNIOR, A. C. Execução e inspeção da alvenaria racionalizada. 3.ed São Paulo: O Nome da Rosa, 2004. 104 p.
13. MACCARI, Guilherme Herdt. Argamassa de assentamento com saibro: um estudo das práticas na região de Tubarão/SC. 2012. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade do Extremo Sul Catarinense, 2012.
14. MAGALHÃES, Ernani Freitas. Fissuras em alvenarias: configurações típicas e levantamento de incidências no Estado do Rio Grande do Sul. Orientador: Prof. Dra. Denise Carpena Coitinho Dal Molin. 2004. 177 p. Trabalho de conclusão (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.
15. MASSETTO, Leonardo Tolaine; SABBATINI, Fernando Henrique. Estudo comparativo da resistência das alvenarias de vedação de blocos utilizadas na região de São Paulo. Anais. São Paulo: Epusp/PCC, 1998.
16. MEHTA, P.K.; MONTEIRO, P.J.M. Concreto: estrutura, propriedades e materiais. 1 ed. São Paulo: PINI, 1994.

17. MENEZES, Renato Acriz. Avaliação de desempenho estrutural dos sistemas construtivos em solo-cimento e concreto celular aplicados em edificações de casas populares no estado do Amazonas. 2006. 166 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, Universidade Federal de Uberlândia, 2006, p. 9.
18. NETO, Celso de Sampaio Amaral et al. Norma de desempenho, um marco regulatório na construção civil. São Paulo: [s. n.], 2014.
19. PAULO, R. S. V. M. N. Caracterização de argamassas industriais. Dissertação (Mestrado em Gestão Ambiental, Materiais e Valorização de Resíduos), Universidade de Aveiro, Aveiro – Portugal, 2006, p. 25.
20. RODRIGUES, Aretusa Carvalho. Levantamento das principais manifestações patológicas em edificações residenciais de uma construtora de Porto Alegre. Orientador: Profa. Angela Borges Masuero. 2013. 102 p. Trabalho de conclusão (Graduação de Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.
21. SABBATINI, Fernando Henrique. Argamassas de assentamento para paredes de alvenaria resistente. São Paulo, ABCP, 2.ed. 1998.
22. SCARTEZINI, L.M.B. Influência do tipo e preparo do substrato na aderência dos revestimentos de argamassas: estudo da evolução ao longo do tempo, influência da cura e avaliação da perda de água da argamassa fresca. 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2002.
23. SILVA, Margarete Maria de Araújo, Diretrizes para o projeto de alvenarias de vedação. São Paulo, 2003. 167p.
24. SILVA, Patrícia Emília Villela; MOREIRA, Rodrigo Resende. Projeto de alvenaria de vedação - Diretrizes para a elaboração, histórico, dificuldades e vantagens da implementação e relação com a NBR 15575. Orientador: Profa. Dra. Helena Carasek. 2017. 70 p. Monografia (Graduação de Engenharia Civil) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2017.

25. SILVA, R. P.; BARROS, M. M.S.B.; PILEGGI, R.L G. JOHN, V.M. Avaliação do comportamento da argamassa no estado fresco através dos métodos de mesa de Consistência, dropping ball e squeeze flow. In: VI Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas. Anais... Florianópolis-SC, maio de 2005.

26. THOMAZ, E. Tecnologia, gerenciamento e qualidade na construção. São Paulo: PINI, 2001.

27. THOMAZ, Ercio *et al.* Código de práticas N° 01: Alvenaria de vedação em blocos cerâmicos. São Paulo - SP: [s. n.], 2009. 72 p. v. Único.

28. TRISTÃO, F. A. Influência da composição granulométrica da areia nas propriedades das argamassas de revestimento. 1995. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), UFSC, Florianópolis, 1995.