

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Anne Caroline Dal Bello

**ESTUDO COMPARATIVO DA RESISTÊNCIA DE
ADERÊNCIA À TRAÇÃO DE REVESTIMENTOS DE
ARGAMASSA APLICADOS MANUALMENTE E COM
PROJEÇÃO MECÂNICA CONTÍNUA**

Avaliador:
Defesa: dia __/__/2017 às _____ horas
Local: UFRGS / Engenharia Nova Oswaldo Aranha, 99, sala 304
Anotações com sugestões para qualificar o trabalho são bem- vindas. O aluno fará as correções e lhe passará a versão final do trabalho, se for de seu interesse.

Porto Alegre

Julho 2017

ANNE CAROLINE DAL BELLO

**ESTUDO COMPARATIVO DA RESISTÊNCIA DE
ADERÊNCIA À TRAÇÃO DE REVESTIMENTOS DE
ARGAMASSA APLICADOS MANUALMENTE E COM
PROJEÇÃO MECÂNICA CONTÍNUA**

Trabalho de Diplomação apresentado ao Departamento de
Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal
do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do
título de Engenheiro Civil

Orientadora: Angela Borges Masuero
Coorientadora: Carina Mariane Stolz

Porto Alegre

Julho 2017

ANNE CAROLINE DAL BELLO

**ESTUDO COMPARATIVO DA RESISTÊNCIA DE
ADERÊNCIA À TRAÇÃO DE REVESTIMENTOS DE
ARGAMASSA APLICADOS COM PROJEÇÃO MECÂNICA
CONTÍNUA E MANUAL**

Este Trabalho de Diplomação foi julgado adequado como pré-requisito para a obtenção do
título de ENGENHEIRO CIVIL

Porto Alegre, julho de 2017

Prof.^a Angela Borges Masuero
Dra. pela Universidade Federal do Rio
Grande do Sul
Orientadora

Carina Mariane Stolz
Dra. Pela Universidade Federal do Rio
Grande do Sul
Coorientadora

BANCA EXAMINADORA

Prof. Daniel Pagnussat
UFRGS
Dr. pela Universidade Federal do Rio Grande
do Sul

Lais Zucchetti
UFRGS
Msc. pela Universidade Federal do Rio
Grande do Sul

Dedico este trabalho a meus pais, Andrea Amantio e Lucia, que sempre me apoiaram, especialmente durante o período do meu Curso de Graduação.

AGRADECIMENTOS

À Deus que permitiu que tudo isso acontecesse, por ter me dado saúde e forças para superar todas as dificuldades nos últimos anos e por estar sempre ao meu lado, me acompanhado e iluminando meu caminho.

À UFRGS, por possibilitar a minha graduação em uma das melhores universidades públicas do país.

Aos meus pais que sempre me incentivaram e deixaram de lado os próprios sonhos para que eu pudesse realizar os meus, a vocês, meus sinceros agradecimentos por tudo.

Aos meus irmãos, que sempre fizeram o possível para me ajudar durante a graduação, em especial, a minha irmã Ana que sempre me cuidou com muita dedicação e carinho e ao meu cunhado Luiz, que sempre esteve presente nos momentos em que mais precisei.

Ao meu namorado, Davi, que me auxiliou neste trabalho e sempre foi compreensível e paciente em todas as minhas ausências. Obrigada pelo companheirismo e dedicação ao longo desta caminhada.

À Prof.^a Angela, por todo aprendizado transmitido durante a graduação e pela competência com a qual orientou este trabalho.

À Carina e ao Daniel, meus sinceros agradecimentos por todas as correções e sugestões propostas neste trabalho.

À Gabriela Cechin, pelo apoio na orientação e realização dos ensaios.

Ao estagiário da obra onde parte deste trabalho foi realizado, Maurício, meus agradecimentos por me auxiliar a desenvolver as atividades.

Ao pessoal do Laboratório Norie, muito obrigada por todo aprendizado durante grande parte da minha graduação.

A todos os professores, por me proporcionarem conhecimento, educação e caráter. Contribuindo significativamente no processo de formação profissional, a vocês, meus eternos agradecimentos.

Ainda que eu tenha o dom de profetizar e conheça todos os mistérios e toda a ciência; ainda que eu tenha tamanha fé, a ponto de transportar os montes, se não tiver amor, nada serei.

I Coríntios 13:2

RESUMO

Diversas empresas da construção civil estão introduzindo novos mecanismos para otimizar a sua produção, desta forma, a utilização de projetores mecânicos para a aplicação do revestimento de argamassa pode ser uma forma de aumentar a racionalização, diminuir a dependência da mão de obra e, portanto, a variabilidade da produção. Nesse contexto, surge a necessidade de conhecer a influência dos fatores que exercem variabilidade no processo produtivo e conseqüentemente, alterações no desempenho dos revestimentos. Buscando compreender melhor o desempenho das diferentes formas de aplicação, este trabalho visa avaliar a resistência de aderência à tração em revestimentos de argamassa aplicados com projeção mecânica contínua e manualmente. Para isso, foram analisadas duas paredes em obra, uma revestida com argamassa projetada e outra com aplicação manual. A parede que recebeu acabamento projetado, armazenava a argamassa seca em silos, a outra parede recebeu revestimento aplicado manualmente armazenava a argamassa de múltiplo uso em sacos. É importante ressaltar que a obra fez uso de duas argamassas amplamente comercializadas no mercado da região metropolitana de Porto Alegre/RS e dois métodos de aplicação de revestimento utilizando cada qual a argamassa específica para a sua finalidade. Estes revestimentos foram avaliados quanto à influência das propriedades reológicas das argamassas e a influência da posição de aplicação na parede, do ponto de vista de altura, na resistência de aderência à tração. Através de análise de variância (ANOVA) dos resultados obtidos, verificou-se que as diferentes alturas de aplicação da argamassa não foram estatisticamente significativas. Além disso, a forma de aplicação da argamassa influenciou significativamente nos valores de resistência de aderência à tração obtidos. Foi possível observar que na parede que recebeu projeção mecânica, todos os corpos de prova atenderam a resistência de aderência mínima exigida por norma, por outro lado, a parede que recebeu revestimento aplicado manualmente apresentou 21,57% dos corpos de prova com valores de resistência de aderência inferiores aos mínimos estabelecidos pela norma, com maior variabilidade de desempenho dos mesmos. Além disso, através da análise visual dos corpos de prova extraídos da parede que recebeu projeção manual, foi possível observar uma maior presença de vazios na interface.

Palavras-chave: Argamassa. Projeção Mecânica. Aplicação Manual. Resistência de Aderência.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Sequência de aderência da argamassa-substrato.....	22
Figura 2 - Ângulos de contato de líquidos com superfícies sólidas	23
Figura 3 - Mecanismo de incorporação de ar quando um tensoativo aniônico, com uma cadeia de hidrocarboneto não polar é adicionado à pasta de cimento	24
Figura 4 - Representação diagramática de formação de flocos pelas partículas de cimento antes da adição de um tensoativo redutor de água e a dispersão dos flocos após a adição	25
Figura 5 - Aderência entre a argamassa e o substrato	26
Figura 6 - Situações inadequadas de aderência entre a argamassa e o substrato.....	28
Figura 7 - Fatores que exercem influência na aderência de revestimentos	29
Figura 8 - Recipiente acoplado denominado “canequinha”.	34
Figura 9 - Tipos de bombas de projeção.....	36
Figura 10 - Fluxograma das etapas do projeto de pesquisa.....	38
Figura 11 - Silos para armazenamento da argamassa de projeção e múltiplo uso	39
Figura 12 - Aspecto visual do compressor de ar..	40
Figura 13 - Equipamento de projeção contínua.....	41
Figura 14 - Rotâmetro com a vazão de 550 litros/hora	42
Figura 15 - Armazenamento da argamassa ensacada	43
Figura 16 - Argamassadeira utilizada para a aplicação do revestimento aplicado manualmente em obra.....	43
Figura 17 - Formas de ruptura no ensaio de resistência de aderência à tração sem chapisco conforme a NBR 13528 (ABNT, 2010)	45
Figura 18 - Modulação da parede (cotas em centímetros).....	46
Figura 19 - Posição das pastilhas (cotas em centímetros)	47
Figura 20 - Aplicação do revestimento, ressaltando-se as distintas inclinações da mangueira em relação ao plano da parede.....	48
Figura 21 - Etapas da execução do revestimento interno com projeção.....	49
Figura 22 - Aspecto da parede cujo revestimento foi executado com argamassa projetada, evidenciando as juntas de assentamento marcadas.....	50
Figura 23 - Realização dos cortes.....	50
Figura 24 - Disposição das pastilhas	51
Figura 25 - Aderímetro utilizado para a realização do ensaio de resistência de aderência à tração	52

Figura 26 - Posição das pastilhas (cotas em centímetros)	53
Figura 27 - Execução do revestimento da parede com argamassa aplicada manualmente	54
Figura 28 - Marcação das juntas de assentamento	55
Figura 29 - Aspecto visual final da posição das pastilhas	56
Figura 30 - Fluxograma dos ensaios realizados em laboratório	57
Figura 31 - Retenção de água (NBR 13277 (ABNT, 2005b)).....	60
Figura 32 - Densidade de massa e teor de ar incorporado.....	61
Figura 33 - Perfil típico de carga versus deslocamento do Squeeze-flow.....	62
Figura 34 - Ensaio de Squeeze-flow (NBR 15839 (ABNT, 2010))	62
Figura 35 - Resistência à tração na flexão e Resistência à compressão aos 28 dias (NBR 13279 (ABNT, 2005))	63
Figura 36 - Corpos de prova preparados para a absorção de água por capilaridade aos 28 dias (NBR 15259 (ABNT, 2005)).....	64
Figura 37 - Módulo de elasticidade dinâmico aos 28 dias (NBR 15630 (ABNT, 2008)).....	65
Figura 38 - Densidade de massa aparente no estado endurecido aos 28 dias (NBR 13280 (ABNT, 2005))	65
Figura 39 - Ensaio de compressão axial com os blocos cerâmicos (NBR 15270-3 (ABNT,2005))	69
Figura 40 - Squeeze Flow Argamassa aplicada manualmente (AM) e Argamassa projetada mecanicamente (AP).....	72
Figura 41 - Resumo dos resultados obtidos no estado fresco para a argamassa projetada mecanicamente e para a argamassa aplicada manualmente	75
Figura 42 - Resumo dos resultados obtidos no estado endurecido para a argamassa projetada mecanicamente e para a argamassa aplicada manualmente	79
Figura 43 - Influência da altura de lançamento da argamassa e da forma de projeção na resistência de aderência à tração.....	85
Figura 44 - Aspecto visual dos corpos de prova do revestimento aplicado com projeção mecanizada extraídos da faixa inferior da parede	88
Figura 45 - Aspecto visual dos corpos de prova do revestimento aplicado com projeção mecanizada extraídos da faixa intermediária da parede	89
Figura 46 - Aspecto visual dos corpos de prova extraídos do revestimento aplicado com projeção mecanizada da faixa superior da parede	89
Figura 47 - Irregularidades encontradas na parede projetada mecanicamente. r.....	90

Figura 48 -Aspecto visual dos corpos de prova extraídos do revestimento aplicado manualmente da faixa inferior da parede	91
Figura 49 - Aspecto visual do corpo de prova extraído da faixa inferior	92
Figura 50 - Aspecto visual dos corpos de prova extraídos do revestimento aplicado manualmente da faixa intermediária da parede	92
Figura 51 - Aspecto visual dos corpos de prova extraídos do revestimento aplicado manualmente da faixa superior da parede	93
Figura 52 - Pastilhas efetivas e não efetivas.....	94

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Tensão superficial de diferentes soluções	24
Quadro 2 - Limites de resistência à tração (Ra) para emboço e camada única conforme a NBR 13749 (ABNT, 2013)	45
Quadro 3 - Resumo da quantidade de determinações e corpos de prova em cada ensaio.....	58

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dimensões médias dos blocos ensaiados	66
Tabela 2 - Índice de absorção de água dos blocos usados como substrato (NBR 15270-3 (ABNT, 2005))	67
Tabela 3 - Índice de absorção inicial dos blocos usados como substrato (NBR 15270-3 (ABNT, 2005))	68
Tabela 4 - Recomendação das faixas ideais da taxa inicial de sucção para ocorrência da máxima aderência entre a argamassa e o substrato	68
Tabela 5 - Resistência à compressão axial dos blocos cerâmicos usados como substrato (NBR 15270-3 (ABNT, 2005))	69
Tabela 6 - Determinação do índice e da perda de consistência	71
Tabela 7 - Densidade de massa média no estado fresco das argamassas e teor de ar incorporado	73
Tabela 8 - Classificação da densidade de massa no estado fresco para os diferentes tipos de argamassa	73
Tabela 9 - Quantidade de água perdida (15 minutos)	74
Tabela 10 - Módulo de elasticidade dinâmico (Ed) para a argamassa projetada mecanicamente e manualmente aos 28 dias	76
Tabela 11 - Resistência à compressão da argamassa projetada mecanicamente e manualmente aos 28 dias	77
Tabela 12 - Resistência à tração na flexão da argamassa projetada mecanicamente e manualmente aos 28 dias	77
Tabela 13 - Absorção de água e coeficiente de capilaridade aos 28 dias	77
Tabela 14 - Densidade de massa aparente no estado endurecido aos 28 dias	78
Tabela 15 - Resistência de aderência a tração para a argamassa projetada mecanicamente	81
Tabela 16 - Resistência de aderência a tração para a argamassa aplicada manualmente	82
Tabela 17 - Dados estatísticos das faixas	83
Tabela 18 - Dados de resistência de aderência à tração de diferentes alturas de aplicação do revestimento	83
Tabela 19 - Análise estatística do ensaio de resistência de aderência à tração para as duas paredes analisadas	84

Tabela 20 - Comparação múltipla de médias pelo método de Fisher das diferentes faixas de aplicação do revestimento	86
Tabela 21 - Análise estatística da influência da altura no ensaio de resistência de aderência à tração para a parede com projeção mecânica	86
Tabela 22 - Análise estatística da influência da altura no ensaio de resistência de aderência à tração para a parede com aplicação manual	86
Tabela 23 - Umidade média das paredes ensaiadas.....	95
Tabela 24 - Dados meteorológicos nos dias de extração dos testemunhos	96

LISTA DE SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland

ANOVA – Análise de variância

ASTM – *American Society for Testing and Materials*

ISO – *International Organization for Standardization*

LAMTAC – Laboratório de Materiais e Tecnologia do Ambiente Construído

NBR – Norma Brasileira Regulamentada

NM – Norma Mercosul

NORIE – Núcleo Orientado para a Inovação da Edificação

PBQPH – Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat

RS – Rio Grande do Sul

SBTA – Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas

TCC – Trabalho de Conclusão de Curso

UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

LISTA DE SÍMBOLOS

g – gramas

m – metro

mm – milímetros

MPa – mega Pascal

Ra – Resistência à tração

s – segundos

θ – ângulo de contato entre os materiais

°C – graus Celsius

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 JUSTIFICATIVA DA ESCOLHA DO TEMA	15
2 DIRETRIZES DA PESQUISA	18
2.1 OBJETIVOS	18
2.1.1 Objetivo principal	18
2.1.2 Objetivos específicos	18
2.2 DELIMITAÇÕES	19
2.3 LIMITAÇÕES	19
3 ARGAMASSA: APLICAÇÃO COMO REVESTIMENTO	20
3.1 FUNÇÕES DO REVESTIMENTO	20
3.2 ADERÊNCIA DOS REVESTIMENTOS	21
3.2.1 Adesão inicial	22
3.2.2 Adesão	25
3.2.3 Aderência	25
3.2.3.1 Mecanismo de ligação argamassa-substrato	26
3.2.3.2 Fatores que influenciam no desempenho da aderência	28
3.3 PROPRIEDADES DA ARGAMASSA	29
3.3.1 Trabalhabilidade	29
3.3.2 Consistência e plasticidade	30
3.3.3 Retenção de água	30
3.3.4. Massa específica e teor de ar incorporado	31
3.3.5 Resistência mecânica	31
3.3.6 Capacidade de absorver deformações	31
3.4 SISTEMAS DE APLICAÇÃO DA ARGAMASSA	32
3.4.1 Processo convencional de aplicação do revestimento	32
3.4.2 Projeção mecânica	32
3.4.2.1 Histórico	32
3.4.2.2 Tipos de equipamento	34
3.4.2.2.1 <i>Projetor com o recipiente acoplado</i>	34
3.4.2.2.2 <i>Bombas de projeção de argamassa</i>	35
4 METODOLOGIA	37
4.1 CARACTERIZAÇÃO DA OBRA	38

4.1.1	Obra estudada	38
4.1.2	Processo de produção da argamassa projetada mecanicamente	39
4.1.3	Processo de produção da argamassa aplicada manualmente	42
4.2	AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DO REVESTIMENTO	44
4.2.1	Análise em campo	44
4.2.1.1	Parede com revestimento projetado mecanicamente	45
4.2.1.2	Execução do ensaio com argamassa aplicada manualmente	52
4.2.2	Análise em laboratório	56
4.2.2.1	Ensaio no estado fresco	59
4.2.2.1.1	<i>Índice de consistência</i>	59
4.2.2.1.2	<i>Retenção de água – Perda de água (15 minutos)</i>	59
4.2.2.1.3	<i>Densidade de massa e teor de ar incorporado</i>	60
4.2.2.1.4	<i>Squeeze-flow</i>	61
4.2.2.2	Ensaio no estado endurecido	63
4.2.2.2.1	<i>Resistência à tração na flexão e à compressão</i>	63
4.2.2.2.2	<i>Absorção de água por capilaridade e coeficiente de capilaridade</i>	64
4.2.2.2.3	<i>Módulo de elasticidade dinâmico</i>	64
4.2.2.2.4	<i>Densidade de massa aparente no estado endurecido</i>	65
4.2.2.3	Ensaio com o bloco cerâmico	65
4.2.2.3.1	<i>Determinação da massa seca e do índice de absorção de água (AA)</i>	66
4.2.2.3.2	<i>Determinação do índice de absorção inicial (AAI)</i>	67
4.2.2.3.3	<i>Determinação da resistência à compressão dos blocos de vedação</i>	69
5	RESULTADOS	70
5.1	ENSAIOS NO ESTADO FRESCO	70
5.1.1	Índice de consistência	70
5.1.2	Squeeze Flow	71
5.1.3	Densidade de massa e teor de ar incorporado	72
5.1.4	Retenção de água	73
5.2	ENSAIOS NO ESTADO ENDURECIDO	76
5.2.1	Módulo de elasticidade dinâmico	76
5.2.2	Resistência à tração na flexão e à compressão	76
5.2.3	Absorção de água por capilaridade e coeficiente de capilaridade	77
5.2.4	Densidade de massa aparente no estado endurecido	78
5.2.5	Resistência de aderência à tração	80
5.2.5.1	Aspecto visual das rupturas do ensaio de aderência	87

<i>5.2.5.1.1 Argamassa projetada mecanicamente</i>	87
<i>5.2.5.1.2 Argamassa aplicada manualmente</i>	90
<i>5.2.5.1.3 Umidade das paredes</i>	94
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	97
6.1 CONCLUSÕES	97
6.1 RECOMENDAÇÕES PARA ESTUDOS FUTUROS	97
REFERÊNCIAS	99

1 INTRODUÇÃO

A inovação tecnológica não é um tema novo, porém está ainda pouco presente na atual indústria da construção civil brasileira. Sabbatini (1989) conceitua inovação tecnológica como:

[..] um aperfeiçoamento tecnológico, resultado das atividades de pesquisa e desenvolvimento internas ou externas à empresa, aplicado ao processo de produção do edifício objetivando a melhoria de desempenho, qualidade ou custo do edifício ou de uma parte do mesmo.

Desta forma, visando obter uma maior competitividade, uma redução nos custos e melhorias no produto final, diversas empresas da construção civil estão introduzindo novos mecanismos para otimizar a sua produção. Um dos produtos que está sendo influenciado por esse cenário é o revestimento de argamassa.

A importância do aprofundamento dos estudos sobre argamassas justifica-se por estas serem produtos de grande utilização na construção civil. Pode-se encontrá-las em revestimentos e assentamentos de alvenarias e como produto básico para outros fins na construção civil (YOSHIDA, BARROS E BOTTURA, 1995).

O revestimento de argamassa é definido pela NBR 13529 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013) como “cobrimento de uma superfície com uma ou mais camadas superpostas de argamassa, apto a receber acabamento decorativo ou constituir-se em acabamento final, decorativo ou não”.

O revestimento possui diversas funções, entre as quais podemos citar (SABBATINI, 1998):

- a) proteger os elementos de vedação dos edifícios da ação direta dos agentes agressivos;
- b) auxiliar as vedações no cumprimento das suas funções como, por exemplo, o isolamento termo-acústico e a estanqueidade à água e aos gases;
- c) regularizar a superfície dos elementos de vedação, servindo de base regular e adequada ao recebimento de outros revestimento os ou constituir-se no acabamento final;
- d) contribuir para a estética da fachada.

Apesar de sua importância, sua “prática construtiva ainda está longe dos horizontes delineados pelos estudos nesta área, culpa em parte de conceitos dúbios ou contraditórios assumidos por

pesquisas, eminentemente tecnológicas, ou, ainda, por descaso e falta de importância dada ao tema”, afirma Leal (2003). Contudo, cabe ressaltar que existem muitos fatores envolvidos, tais como diferentes substratos disponíveis, diferentes tipos de argamassas, variadas técnicas de aplicação e o surgimento de novos equipamentos de aplicação do revestimento.

Esta falta de controle tecnológico e conhecimento técnico na produção e execução do revestimento de argamassa resultam no aparecimento de manifestações patológicas, fato que compromete o adequado cumprimento de suas principais funções de proteção e acabamento estético das edificações.

O processo convencional de aplicação de argamassa, seguido de sarrafeamento e desempenho, detém baixos níveis de produtividade, elevados percentuais de perda, alta variabilidade e problemas na qualidade do produto, além de ser dependente da habilidade e do conhecimento do operador. Desta forma, a utilização de projetores mecânicos para a aplicação do revestimento de argamassa pode ser uma forma de aumentar a racionalização, diminuir a dependência da mão de obra e, portanto, a variabilidade da produção (PARAVISI, 2008). Nesse contexto, surge a necessidade de verificar a influência dos fatores que exercem variabilidade no processo produtivo, entre os quais, a influência da aderência de sistemas de revestimentos de argamassa com projeção mecânica e manual.

O único método brasileiro para a determinação da resistência de aderência à tração em obra é o ensaio regulamentado pela NBR 13528 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2010), onde os corpos de prova são extraídos de um substrato ou base que pode ser, por exemplo, parede de alvenaria, componente de alvenaria (bloco ou tijolo) ou superfície de concreto (estrutura ou painéis). O sistema de revestimento pode ser composto por chapisco ou apresentar camada única. A extração dos corpos de prova é realizada através de um equipamento que aplica uma carga central e ortogonal ao plano do revestimento, denominado de dinamômetro.

O ensaio também pode ser realizado através da construção de paredes testes em laboratórios que possam reproduzir as condições reais de aplicação do revestimento, ou em obra. Em ambos os casos, é necessário ter um controle sobre as variáveis em estudo, devido ao fato do método apresentar elevado coeficiente de variação nos resultados, conforme apontam os trabalhos de Gonçalves (2004), Costa (2007), Costa e Carasek (2009) e Masuero *et al.* (2012).

São muitos fatores que contribuem para o aumento da variabilidade da aderência, tais como fatores climáticos, tipo de substrato, tipo de aparelho utilizado para a extração dos corpos de

prova, argamassa utilizada, altura de lançamento da argamassa no substrato, a influência do operador na execução do revestimento e a movimentação da alvenaria e da estrutura.

Desta forma, para o presente projeto de pesquisa, torna-se necessário estudar a resistência de aderência com o intuito de diminuir possíveis variáveis relacionadas com o tipo de aplicação do revestimento, seja ela manual ou mecanizada, verificando a influência do método de execução da parede.

1.1 JUSTIFICATIVA DA ESCOLHA DO TEMA

A escolha para o tema deste projeto de pesquisa, baseou-se no estudo bibliográfico de vários autores que avaliaram a aderência de revestimentos de argamassa, dentre os quais, destacam-se:

- a) Grossi (2014) publicou a monografia intitulada como “Aderência de revestimento em argamassa cimentícia: influência do substrato nas resistências de aderência dos revestimentos”. O autor concluiu, a partir dos resultados obtidos, que as propriedades do substrato que mais influenciam na capacidade de adesão ao revestimento são a rugosidade, a porosidade e a sucção de água. Além disso, a argamassa de revestimento deve ter uma adequada consistência para permitir um melhor espalhamento sobre toda a superfície do substrato e máxima penetração de aglomerantes da pasta da argamassa nos poros do substrato, gerando um intertravamento adequado;
- b) Zanelatto (2012) publicou a dissertação de mestrado intitulada como “Avaliação da influência da técnica de execução no comportamento dos revestimentos de argamassa aplicados com projeção mecânica contínua”, a qual avaliou, dentre outras variáveis, a resistência de aderência à tração de revestimentos aplicados com projeção mecânica contínua. Os resultados obtidos pela autora apresentaram um acréscimo significativo da resistência de aderência quando a argamassa é aplicada com a projeção mecânica contínua em comparação com a projeção manual;
- c) Fernandes (2012) publicou o trabalho intitulado “Desempenho mecânico de revestimento interno de parede produzido com argamassa projetada aplicado sobre blocos cerâmicos lisos”. O autor avaliou a resistência de aderência à tração de revestimentos aplicados com projeção mecânica contínua em três alturas

distintas. O trabalho identificou que o revestimento na altura de 0,7 m obteve resistência de aderência média superior em relação às demais, sendo 2,63% superior em relação às extrações a 1,40 m e 13,15% superior ao aplicado a 2,10 m;

d) Duailibe *et al.* (2005) publicaram um trabalho sobre a influência do tipo de projeção da argamassa na resistência de aderência à tração e permeabilidade à água. Neste trabalho os autores compararam a resistência de aderência em dois sistemas de aplicação de argamassas: aplicação manual e projeção mecânica por spray a ar comprimido, através da “canequinha”. Nos resultados apresentados, observa-se que os revestimentos com aplicação por projeção apresentam maior resistência de aderência e menor permeabilidade à água;

e) Gonçalves (2004) publicou a dissertação de mestrado intitulada como “Variabilidade e fatores de dispersão da resistência de aderência nos revestimentos em argamassa” sobre a sistematização dos fatores que influenciam na dispersão dos valores de aderência, visto que, pesquisas realizadas em laboratório possuem poucas variáveis; em uma obra, a propriedade estudada possui um efeito de dispersão muito maior. O autor destaca que, além das outras variáveis presentes para a determinação da resistência de aderência à tração, a influência que a ergonomia do operador exerce no momento do lançamento da argamassa no substrato. Tais fatores foram essencialmente importantes para a determinação das diretrizes deste projeto de pesquisa;

f) Carasek e Djanikian (1997) avaliaram a aderência de argamassas a base de cimento Portland quando aplicadas em substratos porosos. O trabalho apresentou o desempenho de 6 diferentes traços de argamassa aplicados sobre unidades de alvenaria. Os autores concluíram que o fenômeno mecânico da aderência das argamassas testadas em blocos cerâmicos é formado pelo intertravamento dos cristais de etringita, ocorrendo a ruptura, geralmente, por uma falha de coesão da argamassa na região de contato com o bloco cerâmico. Além disso, para as argamassas avaliadas, as que obtiveram melhores valores de resistência de aderência foram as que continham maiores teores de cimento;

g) Ioppi (1995) estudou a influência que algumas propriedades do substrato e da argamassa no estado fresco e endurecido exercem na resistência de aderência dos revestimentos. O autor concluiu que é importante preocupar-se com o

desempenho do sistema como um todo para a obtenção de resultados satisfatórios.

Não obstante, notou-se uma lacuna no que se refere a comparação da aderência de revestimentos de argamassa quando aplicados da forma manual e mecanizada. Dois sistemas amplamente utilizados na construção civil que, com o passar do tempo, recebem mais influência da tecnologia e do conhecimento e que são de extrema importância pelo papel que desempenham ao longo da vida útil da edificação. Além disso, o presente projeto de pesquisa busca avaliar, no âmbito da aderência, como o revestimento aplicado pela forma convencional (manual) e com bomba de projeção se comporta ao longo da altura da parede.

2 DIRETRIZES DA PESQUISA

Nos próximos itens estão descritas as diretrizes para o desenvolvimento do projeto de pesquisa.

2.1 OBJETIVOS

Os itens que seguem, apontam os objetivos.

2.1.1 Objetivo principal

O presente trabalho busca avaliar a influência que a forma de execução do revestimento exerce na qualidade final, do ponto de vista da aderência do revestimento ao substrato, quando este é aplicado sem chapisco, em paredes internas de blocos cerâmicos racionalizados com projeção mecânica e manual.

2.1.2 Objetivos específicos

São objetivos específicos desse projeto de pesquisa:

- a) verificar a influência das propriedades reológicas da argamassa aplicada manualmente e com projeção mecânica na resistência de aderência à tração das argamassas;
- b) avaliar a influência da forma de aplicação, na resistência de aderência à tração do revestimento;
- c) avaliar a influência da altura da parede na resistência de aderência à tração dos revestimentos.

2.2 DELIMITAÇÕES

Os sistemas e materiais avaliados são usualmente empregados em Porto Alegre/RS.

2.3 LIMITAÇÕES

O presente projeto limita-se a avaliar apenas um tipo de argamassa de projeção e um tipo de argamassa convencional sobre um tipo de bloco racionalizado cerâmico de vedação.

3 ARGAMASSA: APLICAÇÃO COMO REVESTIMENTO

Esse capítulo visa abordar os principais aspectos encontrados na literatura técnica referente ao assunto deste projeto de pesquisa. Serão apresentadas algumas funções, definições das propriedades e os métodos de aplicação do revestimento.

3.1 FUNÇÕES DO REVESTIMENTO

O revestimento é responsável por grandes ganhos relacionados ao desempenho da edificação, dentre os quais pode-se citar melhorias no desempenho acústico e térmico. A importância do revestimento pode ser expressa numericamente, de acordo com a Associação Brasileira de Cimento Portland (2002), um revestimento de argamassa com espessura entre 30 a 40% da espessura da parede, pode ser responsável por 50% do isolamento acústico, 30% do isolamento térmico, contribuindo em 100% pela estanqueidade de uma vedação de alvenaria comum.

A NBR 13749 (ABNT, 2013) determina as principais funções dos revestimentos de argamassa:

- a) ser compatível com o acabamento decorativo (pintura, papel de parede, revestimento cerâmico e outros);
- b) ter resistência mecânica decrescente ou uniforme, a partir da primeira camada em contato com a base, sem comprometer a sua durabilidade ou acabamento final;
- c) ser constituído por uma ou mais camadas super-postas de argamassas contínuas e uniformes;
- d) ter propriedade hidrofugante, em caso de revestimento externo de argamassa aparente, sem pintura e base porosa. No caso de não se empregar argamassa hidrofugante deve ser executada pintura específica para esse fim;
- e) ter propriedade impermeabilizante, em caso de revestimento externo de superfícies em contato com o solo;
- f) resistir à ação de variações normais de temperatura e umidade do meio, quando externos.

Desta forma, algumas propriedades da argamassa tornam-se fundamentais para satisfazer às funções citadas anteriormente (ISAIA, 2007), dentre as quais, destacam-se:

- a) apresentar adequadas condições de trabalhabilidade, consistência e plasticidade;
- b) capacidade de retenção de água;
- c) aderência;
- d) apresentar resistência a esforços de tração e cisalhamento;

- e) apresentar baixo módulo de elasticidade;
- f) ser capaz de absorver as deformações causadas pela movimentação térmica e higroscópica e as movimentações de origem estrutural.

Além disso, para os revestimentos de argamassa cumprirem suas funções, devem possuir suas características e propriedades de acordo com o meio em que estão expostos, com as condições de execução, com a natureza da base, com as especificações de desempenho e com o acabamento final previsto (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND, 2002).

As definições para as principais propriedades que a argamassa deve apresentar estão descritas a seguir, dentre elas, a aderência, que é tema deste projeto de pesquisa.

3.2 ADERÊNCIA DOS REVESTIMENTOS

Neste projeto de pesquisa, a aderência se refere ao sistema formado pelo bloco cerâmico de vedação e a argamassa industrializada, desta forma, optou-se pela utilização da divisão citada em Cincotto *et al.* (1995) onde os termos utilizados para a aderência são divididos em: adesão inicial, adesão e aderência (figura 1). A adesão inicial começa a partir do primeiro contato da argamassa com o substrato, a adesão se refere a etapa na qual a argamassa está pronta para receber o sarrafeamento e a aderência se refere à argamassa no estado endurecido.

Figura 1 - Sequência de aderência da argamassa-substrato

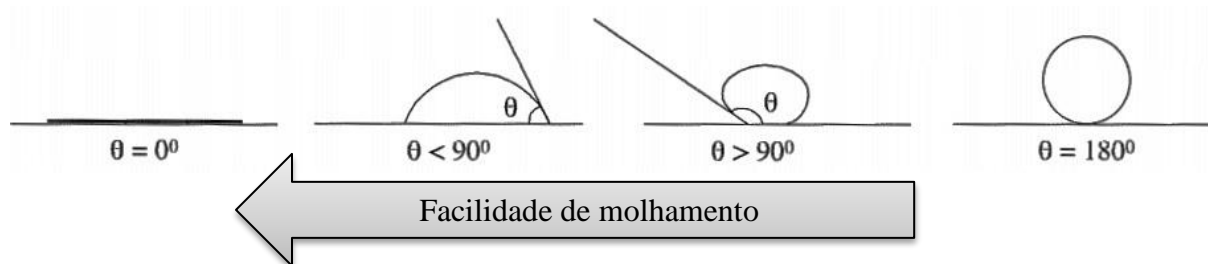


(fonte: elaborada pelo autor)

3.2.1 Adesão inicial

A adesão inicial, também denominada de “pegajosidade” representa a capacidade que a argamassa possui de se unir inicialmente à um substrato no estado fresco. Segundo Cincotto *et al.* (1995), a adesão inicial é a propriedade responsável por determinar no futuro, o comportamento do conjunto substrato-argamassa quanto ao desempenho decorrente da aderência. A adesão inicial depende das características de trabalhabilidade da argamassa e das características relacionadas ao substrato, dentre as quais é possível citar a porosidade, rugosidade ou tratamento prévio que contribua para aumentar a superfície de contato entre as interfaces. Entretanto, Isaia (2007) inclui que a adesão inicial está diretamente ligada à tensão superficial da argamassa. A redução da tensão superficial da argamassa favorece a “molhagem” do substrato, reduzindo desta forma o ângulo de contato entre as superfícies e implementando a adesão (figura 2).

Figura 2 - Ângulos de contato de líquidos com superfícies sólidas



(fonte: Karmanov, I., Wetting or non-wetting liquid, Phys. Edu., 2000, 77, 58)

Desta forma, torna-se importante compreender a teoria das ligações interfaciais para obter um melhor entendimento da adesão inicial da argamassa.

O trabalho de adesão, entende-se como a energia de ligação entre um sólido e um líquido e pode ser representado pela equação de Dupré e Young (equação 1).

$$W_A = \gamma_{LA}(1 + \cos \theta) \quad (\text{equação 1})$$

Onde:

W_A = trabalho de adesão;

γ_{LA} = tensão do líquido/ar;

θ = ângulo de contato entre os materiais;

Desta forma, quando θ é igual a 0° , tem-se $\cos \theta$ igual a 1, que representa um líquido perfeitamente molhável. Por sua vez, quando θ é igual a 180° , tem-se $\cos \theta$ igual a -1 e o líquido não molha a superfície (figura 2).

Pretto (2010) inclui ainda que a facilidade de molhamento irá depender tanto das propriedades do fluido e do sólido, como da interação entre eles. Do ponto de vista do fluido, deve-se levar em consideração o ângulo de contato que formará com a superfície, sua tensão superficial e viscosidade. Do ponto de vista do substrato, a facilidade de molhamento irá depender tanto da composição química da superfície, como de sua rugosidade, que altera o ângulo de contato. Da interação entre eles, deve-se ter as menores tensões interfaciais possíveis, bem como altas pressões capilares.

Alterando a composição da argamassa, é possível modificar a tensão superficial, contribuindo para uma diminuição do ângulo de contato e uma molhagem mais eficiente da superfície. De

acordo o trabalho publicado por Carasek (1996), a diminuição do ângulo de contato é função inversa do teor de cimento da argamassa.

O quadro 1 apresenta a tensão superficial de diferentes soluções, na temperatura de 22 °C em um tensiômetro Nouy. É possível observar que a tensão superficial diminui com acréscimo de cal e aditivos incorporadores de ar.

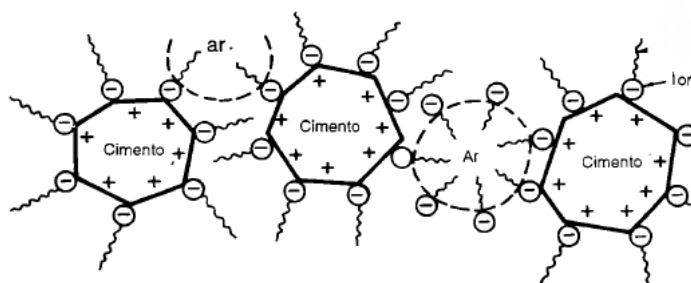
Quadro 1 - Tensão superficial de diferentes soluções

Soluções	Tensão superficial (dina/cm)
Água destilada	71,1
Água destilada + cal	66,9
Água destilada + cimento	66,7
Água destilada + cal + cimento	42,2
Água + aditivo incorporador de ar	39,5

(fonte: CARASEK, 1996)

Como visto no quadro 1, a adição de cal à argamassa de cimento diminui a tensão superficial, contribuindo para molhar de maneira mais efetiva a superfície dos agregados e do substrato. Além disso, produtos denominados tensoativos, englobam aditivos que são geralmente empregados para a incorporação de ar ou redução de água e propiciam efeito semelhante. Lea (1971) descreve o mecanismo dos tensoativos incorporadores de ar, a autora explica que “na interface ar-água, os grupos polares estão orientados em direção à fase aquosa, diminuindo a tensão superficial, promovendo a formação de bolhas e neutralizando a tendência das bolhas a coalescerem” (figura 3).

Figura 3 - Mecanismo de incorporação de ar quando um tensoativo aniônico, com uma cadeia de hidrocarboneto não polar é adicionado à pasta de cimento

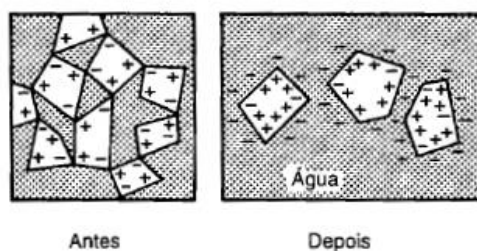


(fonte: MEHTA *et al.*, 1994)

De acordo com Mehta *et al.* (1994), no caso dos tensoativos redutores de água, “quando uma pequena quantidade de água é adicionada ao cimento, sem a presença de tensoativos, não se

obtem um sistema bem disperso, primeiro, porque a água possui tensão superficial elevada, segundo, as partículas de cimento tendem a se aglomerar ou formar flocos”. Os autores ainda explicam que quando um tensoativo com cadeia hidrofílica, ou seja, presença de OH em vários grupos da cadeia, entra em contato com a água, o tensoativo orienta uma extremidade polar em direção a água, diminuindo a tensão superficial da água (figura 4).

Figura 4 - Representação diagramática de formação de flocos pelas partículas de cimento antes da adição de um tensoativo redutor de água e a dispersão dos flocos após a adição



(fonte: MEHTA *et al.*, 1994)

3.2.2 Adesão

A adesão é caracterizada pelo enrijecimento da argamassa, período de tempo em que o revestimento está à espera do sarrafeamento, com a ocorrência do aumento da consistência e diminuição da plasticidade. Para o sarrafeamento ser executado, é necessário que a argamassa já tenha perdido uma certa quantidade de água, modificando as características reológicas do revestimento.

Na etapa subsequente, a argamassa começa a perder água por evaporação para o ambiente e por sucção para o substrato, caracterizando assim, o processo da aderência (SANTOS, 2003).

3.2.3 Aderência

O termo aderência é utilizado para descrever a resistência e a extensão do contato entre a argamassa e o substrato. A aderência é definida pela NBR 13278 (ABNT, 2010), como:

Propriedade do revestimento de resistir as tensões atuantes na interface com o substrato. A aderência não é uma propriedade da argamassa, sendo a interação entre as camadas constituintes do sistema de revestimento que se pretende avaliar (base, preparo da base e revestimento).

De acordo com Isaia (2007), pode-se dizer que a aderência deriva de três propriedades na interface formada pelo sistema argamassa-substrato:

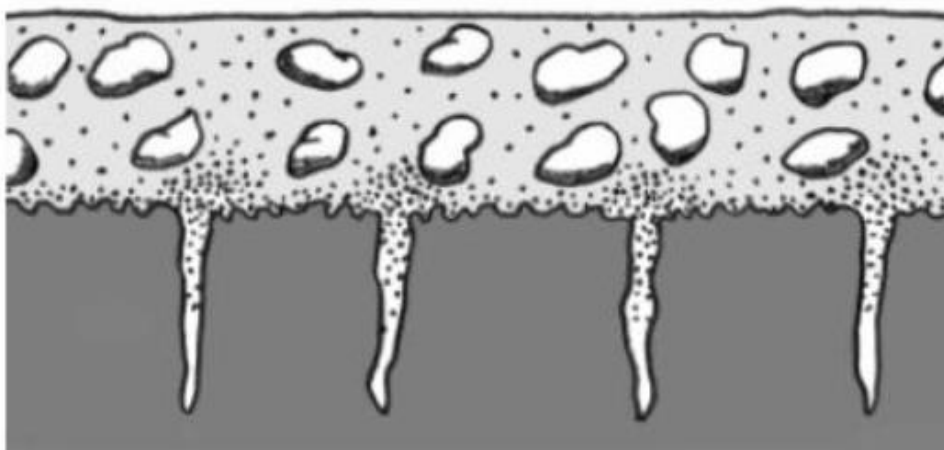
- a) resistência de aderência à tração;
- b) resistência de aderência ao cisalhamento;
- c) extensão da aderência.

Embora todos os itens citados anteriormente assumam grande importância para o desenvolvimento da aderência, cabe salientar que proporcionar a extensão da aderência, definida como a razão da área de contato efetivo pela área total possível a ser unida, é um fator fundamental. A extensão da aderência pode ser adquirida proporcionando adequadas condições de trabalhabilidade, contribuindo para um melhor espalhamento e permitindo a extensão do contato da argamassa com o substrato.

3.2.3.1 Mecanismo de ligação argamassa-substrato

O fenômeno de aderência da argamassa ao substrato é essencialmente mecânico, o substrato succiona parte da água de amassamento contendo os aglomerantes (figura 5), ocorrendo no interior dos poros a precipitação dos produtos de hidratação, seja dos géis de silicato do cimento, seja do hidróxido de cálcio da cal e, transcorrido um período de tempo, se estabelece a função de ancoragem do revestimento à base (ISAIA, 2007).

Figura 5 - Aderência entre a argamassa e o substrato



(fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND, 2002)

Entretanto, na tese de doutorado de Costa (2014), foi possível observar que a porcentagem de partículas que penetram nos poros dos substratos comuns no mercado nacional, não atinge 1% do volume total de partículas lançadas na melhor das hipóteses de penetração. A aderência é

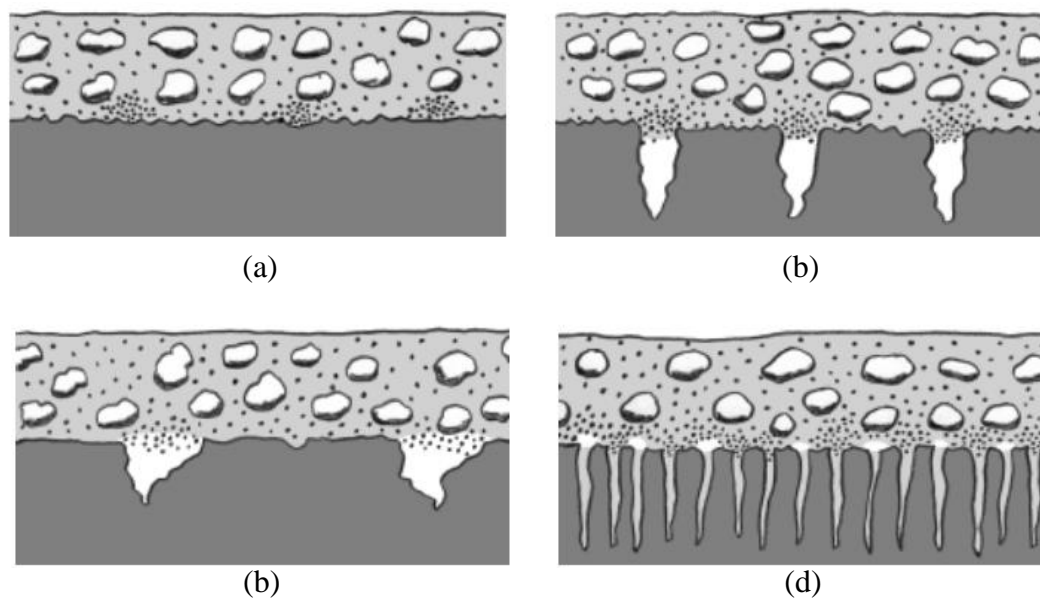
limitada pela porosidade do substrato, que segundo a literatura, a porosidade típica de materiais cerâmicos está na faixa de 20 a 30%, e de concretos, de 10 a 15%, portanto, mesmo que a argamassa fosse formulada com finos suficientes para preencher todos os poros por partículas e produtos hidratados a contribuição desta ancoragem mecânica na aderência seria parcial, dependendo também da porosidade do substrato.

Gonçalves (2004) inclui que a aderência é beneficiada se a interface argamassa-substrato apresentar uma área maior de contato, sendo contínua e prolongada. A existência de falhas na interface, provavelmente é uma das causas que mais contribui para a grande variabilidade da resistência à tração. Nesse contexto, proporcionar uma adequada trabalhabilidade para a argamassa, pode contribuir para aumentar a área de contato entre a base e o revestimento.

Garantir a extensão da aderência, é um dos fatores de grande contribuição para o desenvolvimento da aderência, a propriedade é formada pela razão entre a área de contato efetivo e a área total possível de ser unida. Desta forma, o diâmetro, a natureza e a distribuição dos tamanhos dos poros determinam a rugosidade superficial e a capacidade de absorção da base, podendo ampliar ou não a extensão de aderência e a ancoragem do revestimento (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND, 2002).

A figura 6 apresenta situações em que a aderência entre a argamassa e o substrato não está aceitável devido ao fato da superfície do substrato não apresentar porosidade superficial adequada.

Figura 6 – Situações inadequadas de aderência entre a argamassa e o substrato. (a) baixa porosidade do substrato; (b) capilares sem força de sucção; (c) existência de macroporos no substrato e (d) excesso de microporos no substrato



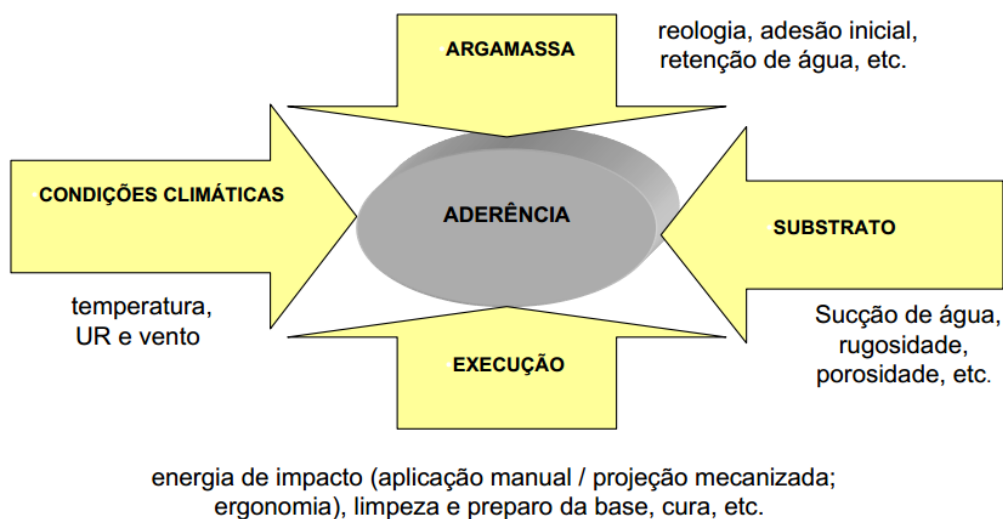
(fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND, 2002)

3.2.3.2 Fatores que influenciam no desempenho da aderência

A aderência está intimamente ligada com a trabalhabilidade da argamassa, a energia na qual o revestimento é aplicado e as características do substrato. Além disso, Isaia (2007) inclui outros fatores que exercem grande influência na aderência, como por exemplo, a constituição e proporção dos materiais na mistura, características do substrato (porosidade, absorção de água e rugosidade) e o seu preparo (limpeza e tratamento superficial). Soma-se a isso, a influência da mão de obra e as condições climáticas durante a aplicação do revestimento, que podem ser decisivos no desempenho da aderência.

A figura 7 apresenta resumidamente os principais fatores que exercem influência na aderência de argamassas quando aplicadas sobre substratos porosos.

Figura 7 - Fatores que exercem influência na aderência de revestimentos



(fonte: ISAIA, 2007)

A capacidade do revestimento de manter e desempenhar as suas funções ao longo do tempo é uma propriedade complexa e, como a figura 7 apresenta, depende de vários fatores. Desta forma, torna-se importante adotar procedimentos adequados desde o projeto até uso final da edificação. A aderência, é uma propriedade fundamental, que na sua ausência, pode comprometer a estrutura, sendo uma porta de entrada para diversas manifestações patológicas, contribuindo para o aparecimento de trincas e fissuras, que em muitos casos podem causar o descolamento do revestimento do substrato.

3.3 PROPRIEDADES DA ARGAMASSA

Nos próximos itens, serão detalhadas as definições para as principais propriedades que a argamassa deve apresentar para satisfazer suas funções.

3.3.1 Trabalhabilidade

A propriedade no estado fresco que define a facilidade com que as argamassas são aplicadas, misturadas e transportadas é a trabalhabilidade. É uma propriedade complexa e depende de outras propriedades, como por exemplo: consistência, plasticidade, retenção de água e de consistência, exsudação, coesão, densidade de massa e adesão inicial.

A trabalhabilidade da argamassa deve se adequar ao tipo de aplicação, e desta forma será diferente caso a argamassa seja aplicada manualmente, com colher de pedreiro, ou projetada mecanicamente. No segundo caso, as argamassas devem ter uma consistência mais fluida e apresentar uma alta plasticidade, permitindo assim o bombeamento através do mangote e a projeção na pistola com o auxílio de ar comprimido. A trabalhabilidade não garante somente condições adequadas de execução, mas também possui forte influência em propriedades no estado endurecido, como por exemplo, a aderência (ISAIA, 2007).

3.3.2 Consistência e plasticidade

Roselló (1976) indica classificações para consistência ou fluidez das argamassas:

- a) argamassa seca: a pasta aglomerante somente preenche os vazios entre os agregados, deixando-os ainda em contato. Existe o atrito entre as partículas que resulta em uma massa áspera;
- b) argamassa plástica: uma fina camada de pasta aglomerante “molha” a superfície dos agregados, dando uma boa adesão entre eles com uma estrutura pseudo-sólida;
- c) argamassa fluida: as partículas de agregado estão imersas no interior da pasta aglomerante, sem coesão interna e com tendência a gerar segregação. Os grãos de areia não oferecem nenhuma resistência ao deslizamento, mas a argamassa é tão líquida que se espalha sobre a base.

Desta forma, o maior ou menor grau de fluidez da argamassa está associado com a capacidade da mistura de resistir ao escoamento, ou seja, argamassas com uma consistência mais fluida apresentam misturas com menores valores de tensão de escoamento (ISAIA, 2007).

3.3.3 Retenção de água

A retenção de água é uma propriedade que determina a capacidade que a argamassa tem de garantir a sua trabalhabilidade quando sujeita à alguma ação que provoque a perda de água de amassamento, como por exemplo, a evaporação da água quando a argamassa é aplicada em condições climáticas desfavoráveis (alta temperatura, baixa umidade relativa do ar e ventos fortes) ou ainda quando o substrato que irá receber o revestimento possui alta sucção de água (ISAIA, 2007).

3.3.4 Massa específica e teor de ar incorporado

A massa específica é definida como a relação entre a massa e o volume do material. E pode ser abordada por duas diferentes formas: em termos absolutos, sem considerar os vazios que podem estar presentes no volume da amostra tratada e em termos relativos, que considera os vazios (SABBATINI e BAÍA, 2000).

Designa-se o termo teor de ar incorporado, para representar a quantidade de ar presente em uma determinada amostra de argamassa. A massa específica da argamassa é fortemente influenciada pelo teor de ar incorporado (principalmente quando o ar é incorporado por meio de aditivos) e pela massa específica dos outros constituintes da mistura, prioritariamente do agregado (ISAIA, 2007).

3.3.5 Resistência mecânica

A resistência mecânica é a propriedade que define a capacidade dos revestimentos de suportar solicitações mecânicas. São exemplos destas solicitações os esforços de abrasão superficial, cargas de impacto e movimentos do revestimento de contração e expansão devido aos efeitos da umidade (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND, 2002).

Selmo (1989) define a propriedade de resistência mecânica como “a propriedade dos revestimentos de possuírem um estado de consolidação interna capaz de suportar esforços mecânicos das mais diversas origens e que se traduzem, em geral por tensões simultâneas de tração, compressão e cisalhamento”.

3.3.6 Capacidade de absorver deformações

A capacidade de absorver deformações é definida como a propriedade do revestimento de absorver esforços internos ou externos de diversas origens e retomar a dimensão original quando cessam os esforços, sem apresentar possíveis danos, como por exemplo, rupturas e fissuras prejudiciais que possam comprometer o desempenho do revestimento em relação a aderência, estanqueidade e durabilidade (IOPPI, 1995).

Os revestimentos argamassados estão sujeitos a várias tensões de tração, como por exemplo a retração de secagem, retração térmica ou ações externas ao revestimento, solicitações essas que abrem caminho para a ocorrência de fenômenos patológicos, em especial, as fissuras. Desta

forma, o módulo de elasticidade relaciona-se com o comportamento elástico da argamassa e pode fornecer informações sobre a sua deformabilidade e rigidez (CINCOTTO *et al.*, 1995).

3.4 SISTEMAS DE APLICAÇÃO DA ARGAMASSA

Nos itens a seguir, serão apresentados dois métodos de aplicação de revestimentos de argamassa; aplicação manual (convencional) e a projeção mecânica de argamassa.

3.4.1 Processo convencional de aplicação do revestimento

O processo no qual a argamassa é lançada ao substrato de forma manual, é denominado de processo convencional de aplicação do revestimento. É a forma mais comum e tradicional para aplicação de argamassas.

O processo convencional consiste primeiramente, na preparação da base e em seguida determina-se a espessura do revestimento, através das “taliscas”. Recomenda-se que as taliscas sejam feitas com pequenos pedaços de peça cerâmica e que se utilize a mesma argamassa que será usada no revestimento. Após o taliscamento, costuma-se fazer as mestras, que servem o próximo passo é o lançamento da argamassa contra o substrato, que é feito com o auxílio da colher de pedreiro. Em seguida a argamassa passa pelo processo de aperto, fazendo pressão com a colher de pedreiro no revestimento recém aplicado, com o intuito de aumentar a extensão da aderência da argamassa no substrato (SANTOS, 2003).

A próxima etapa é o sarrafeamento do revestimento, que consiste na regularização da superfície utilizando de régua de alumínio apoiadas nas taliscas. Para finalizar, o desempeno é executado, fazendo movimento circulares no revestimento com a ferramenta denominada desempenadeira.

3.4.2 Projeção mecânica

Nos itens que seguem, será apresentado um breve histórico da projeção mecanizada de argamassa e os equipamentos convencionais de aplicação do revestimento.

3.4.2.1 Histórico

A invenção do cimento Portland por Joseph Aspdin, na Inglaterra em 1824 foi um catalisador para o desenvolvimento da tecnologia na construção civil. A rápida aceitação do concreto e da

argamassa levou a inovações na mistura, transporte e aplicação. Um exemplo disso, foi a *cement gun*, chamada pelo americano Carl Akeley de *gunite* em 1911 que se transformou na indústria da projeção que conhecemos hoje. A *gunite* baseava-se em um processo que utilizava uma mistura de cimento e areia seca que era introduzida em câmaras de ar comprimido. A água era adicionada imediatamente antes da mistura sair da pistola. Esse processo ficou conhecido como *dry process*, ou processo via seca, devido ao fato da mistura ser transportada no estado seco e a água ser adicionada momentos antes da mistura sair da pistola (AUSTIN, 1996).

O *wet-mix process* ou processo via úmida foi mencionado pela primeira vez na literatura em 1916, alguns anos após a sua criação do processo via seca. O processo via úmida consistia na mistura de todos os componentes da argamassa, inclusive a água. Subsequentemente, a argamassa era acondicionada em uma câmara pressurizada e lançada através de ar comprimido. Contudo, o processo obteve pouca atenção, grande parte devido ao fato do equipamento não ter sido padronizado.

Em 1950, foi introduzida a *True Gun*, um compressor com reservatório duplo que fornecia um fluxo contínuo para a mistura via úmida. Após isso, a aplicação via úmida finalmente tornou-se viável e econômica (AUSTIN, 1996).

No Brasil, a projeção de argamassas teve início na década de 70, em São Paulo. A primeira tentativa da introdução de equipamentos de projeção não obteve o sucesso esperado, devido ao fato, em grande parte, da falta de especialização da mão de obra para a aplicação do revestimento e falta de planejamento e logística do canteiro de obras (CRESCÊNCIO *et al.*, 2000).

Muitas pesquisas desenvolvidas até o momento tiveram pouca abordagem nos aspectos do sistema de produção, restringindo-se ao desempenho do produto final. Entretanto, Paravisi (2008) estudou a eficiência global do processo, sobre sua contribuição para a redução de perdas, falhas do produto e da variabilidade, bem como para o aumento da produtividade. A autora ressalta a importância do planejamento para se obter bons resultados, devido à organização da produção do sistema mecanizado ser mais complexa e exigir maior esforço para eliminar processos manuais que podem gerar gargalos, causando perdas por espera entre as etapas de produção, reduzindo desta forma, a produtividade.

3.4.2.2 Tipos de equipamento

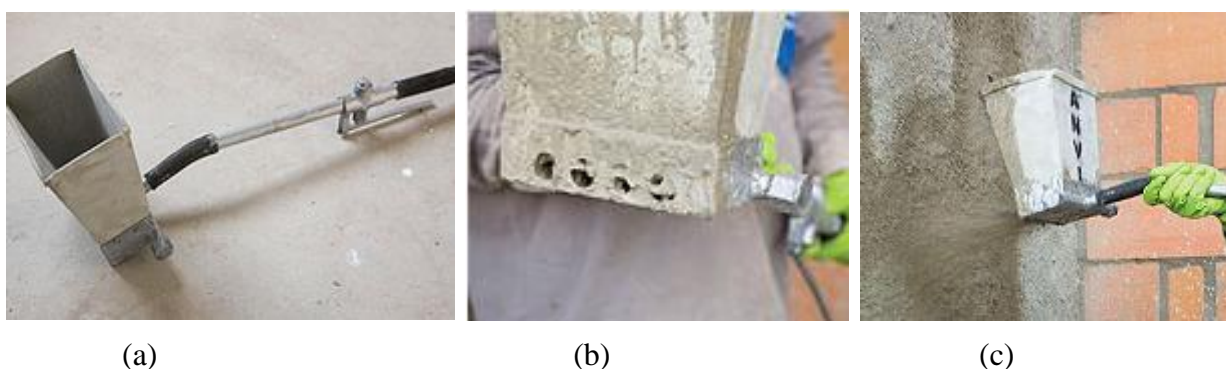
Atualmente, no mercado brasileiro pode ser encontrado equipamentos pequenos de projeção com recipiente acoplado, bombas de projeção e bombas de projeção com o misturador acoplado.

3.4.2.2.1 Projettor com o recipiente acoplado

A escolha pelo projetor com o recipiente acoplado, deve-se em grande parte pela facilidade no manuseio do equipamento, os riscos de entupimento diminuem devido ao fato do equipamento não necessariamente exigir uma argamassa específica para projeção, podendo ser utilizada argamassa produzida em obra.

O mais simples dos equipamentos de projeção baseia-se no abastecimento do recipiente acoplado diretamente no estoque de argamassa fresca, e subsequentemente, com o auxílio de um compressor, que introduz o ar comprimido diretamente no recipiente acoplado, a argamassa é projetada (figura 8). A principal diferença deste equipamento quando comparado com as bombas de projeção é devido ao fato da argamassa não ser bombeada. Desta forma, a introdução da mecanização acontece somente na aplicação da argamassa, ou seja, a preparação e transporte da mistura é feita pela forma tradicional, não agregando grandes mudanças quando comparado ao processo de aplicação manual (PARAVISI, 2008).

Figura 8 - Recipiente acoplado denominado “canequinha”. (a) vista do recipiente; (b) projeção da argamassa; (c) detalhe da saída da argamassa



(fonte: CICHINELLI, 2010)

A figura 8 apresenta o recipiente acoplado para projeção de argamassa, conhecido também como *canequinha*, mas ainda é possível encontrar pistolas de projeção que seguem o mesmo processo. O sistema de pistola de projeção é composto por um depósito de argamassa fresca em

formato de funil, sobre uma pistola de projeção. De acordo com Crescêncio *et al.* (2000), recomenda-se que o bico de projeção tenha um diâmetro duas vezes superior ao diâmetro máximo do agregado presente na argamassa fresca e a regularem do diâmetro da abertura da saída pode ser feita girando-se o disco presente na ponta da pistola.

3.4.2.2.2 Bombas de projeção de argamassa

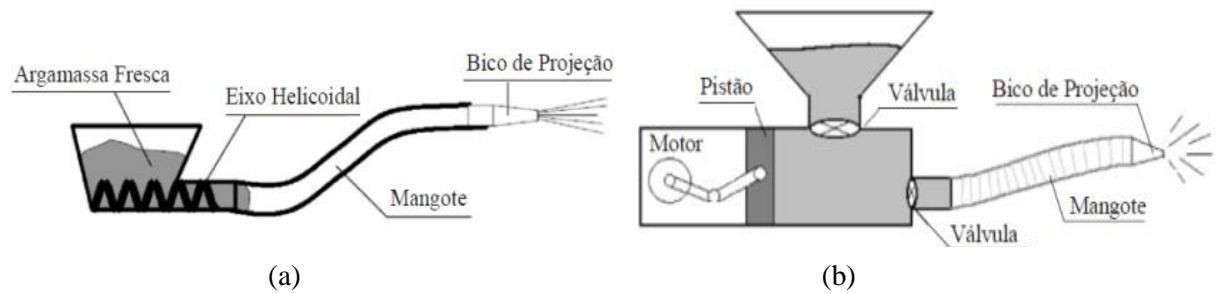
As bombas de projeção são equipamentos mais sofisticados e exigem maiores alterações na produção do revestimento em obra (CRESCÊNCIO *et al.*, 2000). A aplicação é feita pelo bombeamento da argamassa fresca através do mangote até a pistola, para então ser projetada por ar comprimido. Algumas bombas possuem misturador acoplado, onde a argamassa fresca é preparada na câmara de mistura e a argamassa seca chega através de bombeamento de silos de armazenamento ou colocação manual de sacos de argamassa.

Crescêncio *et al.* (2000) inclui ainda a forma de aplicação do revestimento com bombas de projeção, onde a aplicação recomendada deve ser realizada através filetes contínuos de cima para baixo com passes horizontais formando faixas menores de 2,0 m de largura. Quando for necessário executar revestimentos com mais de 2,0 cm de espessura, a aplicação deve ser feita em diversas camadas com espessuras inferiores que 2,0 cm, desta forma, evita-se possíveis fissuras no revestimento. Apesar de tais recomendações serem feitas também por fabricantes de argamassa no Brasil, em obra verifica-se que a argamassa projetada é aplicada geralmente de baixo para cima, na horizontal e na vertical, e em muitas vezes, é aplicada aleatoriamente (MASUERO, 2016).

Além disso, Maidl (1995) afirma que durante a projeção, é importante manter um ângulo de 90° entre o mangote e o substrato.

As bombas de projeção de argamassa dividem-se em dois casos: bombas do tipo helicoidal ou pistão (figura 9). As bombas helicoidais, ao girar o eixo sem fim, conduzem a argamassa para o mangote e posteriormente para a pistola.

Figura 9 – Tipos de bombas de projeção. (a) Projeção por eixo helicoidal; (b) projeção por pistão.



(fonte: PARAVISI, 2008 apud SANTOS, 2003)

A introdução das bombas de projeção exige uma maior organização e planejamento do canteiro de obras, além disso, surge a necessidade de um controle na preparação da argamassa que confira características apropriadas para ser bombeada, como destaca Santos (2003), sobre a importância das características da argamassa no estado fresco, sendo importante fornecer:

- a) adequadas pressões de bombeamento, pois elevadas pressões podem comprometer o funcionamento da bomba de projeção;
- b) vazão de projeto, pois baixas vazões podem influenciar na produtividade da projeção do revestimento;
- c) adesão inicial ao substrato, a argamassa deve apresentar fluidez adequada para ser bombeada e deve garantir a adesão inicial ao substrato.

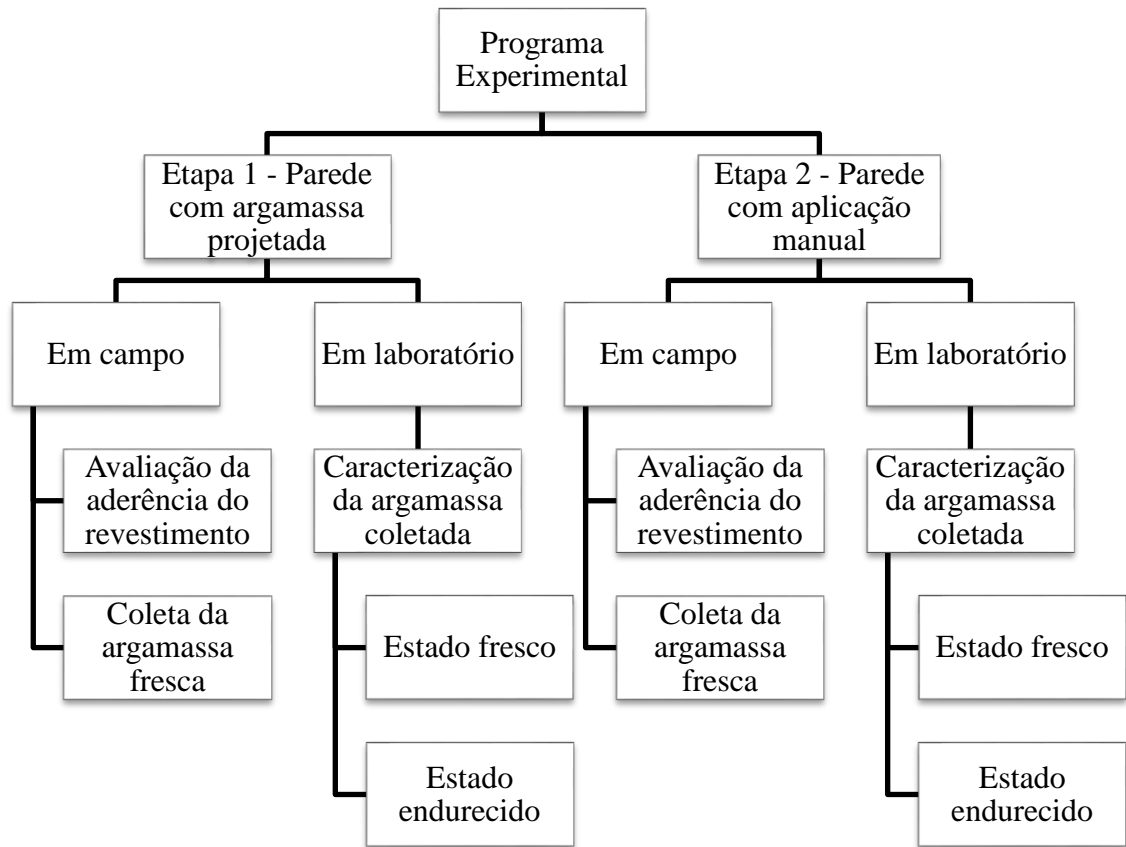
4 METODOLOGIA

A revisão bibliográfica apresentada no capítulo anterior permitiu verificar a necessidade de um aprofundamento nos estudos relacionados aos métodos de aplicação do revestimento de argamassa amplamente difundidos: a aplicação manual e a aplicação por projeção, no âmbito da aderência dos revestimentos. Desta forma, optou-se pela realização do ensaio de resistência de aderência à tração, descrito pela NBR 13528 (ABNT, 2010) em obra, com o intuito de obter uma melhor aproximação da realidade.

Em face disto, o presente capítulo apresenta a obra em estudo, com os principais processos que foram adotados para a aplicação do revestimento. Além disso, serão descritos os ensaios de avaliação do revestimento em obra e em laboratório.

Para este trabalho, foram avaliadas duas paredes revestidas com argamassas industrializadas distintas. Uma delas recebeu revestimento projetado, de argamassa armazenada em silos, a outra parede recebeu revestimento aplicado manualmente, com a argamassa de múltiplo uso armazenada em sacos. É importante ressaltar que a obra fez uso de duas argamassas amplamente comercializadas no mercado da região metropolitana de Porto Alegre/RS e dois métodos de aplicação de revestimento utilizando cada qual a argamassa específica para a sua finalidade. A figura 10 apresenta um fluxograma para melhor entendimento das etapas do programa experimental.

Figura 10 - Fluxograma das etapas do projeto de pesquisa



(fonte: elaborada pelo autor)

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA OBRA

Nos próximos itens serão descritas algumas informações sobre a obra onde foi realizado o estudo e o processo de produção das argamassas.

4.1.1 Obra estudada

A obra estudada está na fase final de construção, tendo previsão de conclusão para julho de 2017. A empresa responsável pela execução é de grande porte, com 5 anos de atuação no mercado da construção civil e mercado imobiliário e com atuação no estado do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. Possui certificado de qualidade Nível "A" do PBQP-H (Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat) e ISO 9001-2000.

Ao todo, serão construídas 6 torres residenciais (incluindo o pavimento térreo, 15 pavimentos tipos, cobertura e reservatório superior) e um edifício garagem. Cada torre possui 63

apartamentos, totalizando 378 apartamentos residenciais. Nas torres A, B, C e D as unidades possuem 2 dormitórios e nas torres E e F possuem 3 dormitórios (com suíte e possibilidade de living estendido). Em grande parte dos locais terá revestimento de argamassa regularizado e tinta PVA sobre massa PVA, exceto em banheiros e cozinhas que possuirão tinta acrílica sobre massa PVA.

4.1.2 Processo de produção da argamassa projetada mecanicamente

Para a confecção do revestimento projetado mecanicamente, o armazenamento da argamassa é feito através de silos que foram dispostos em lugares específicos no canteiro de obras, para facilitar o abastecimento (figura 11).

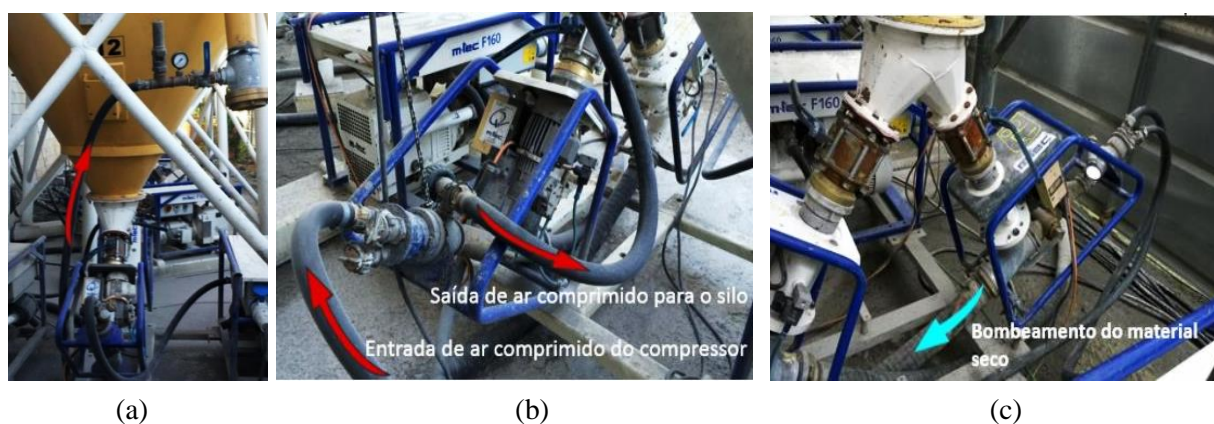
Figura 11 – Silos para armazenamento da argamassa de projeção e múltiplo uso



(fonte: elaborada pelo autor)

O transporte da argamassa seca até as misturadoras é realizado com o auxílio de compressores, de ar (figura 12) que geram uma corrente de ar comprimido contínua que, ao entrar em contato com a argamassa seca na saída do silo, a impulsiona até a misturadora através de mangueiras, como apresenta a figura 13 (a), que são devidamente dimensionadas de acordo com as características do material a ser transportado (ZANELATO, 2012).

Figura 12 – Aspecto visual do compressor de ar. (a) Entrada de ar comprimido no silo; (b) Entrada de ar comprimido no compressor e a saída para o silo; (c) Saída do material seco.



(fonte: ASANO, 2016)

A bomba de argamassa utilizada na obra de estudo é do modelo PFT-G4 e possui o misturador integrado no equipamento, recebendo a argamassa seca que vem diretamente do silo por mangueiras. Nesse caso, faz-se necessário o acoplamento de um filtro sobre misturador, de acordo com a figura 13 (b). Os filtros têm como principal objetivo diminuir a pressão na entrada de argamassa do misturador, sendo assim extremamente importantes, pois retêm a argamassa e permitem a saída do ar comprimido (CRESCÊNCIO *et al.*, 2000).

Figura 13 – Equipamento de projeção contínua. (a) Mangueiras transportando o material seco até a misturadora; (b) Filtro para redução da pressão na entrada de argamassa.



(fonte: elaborada pelo autor)

A introdução da água no processo de fabricação da argamassa em misturadores acontece na câmara de mistura. A água introduzida se mistura à argamassa com o auxílio de uma pá rotativa, sendo em seguida depositada na entrada da bomba helicoidal e sob pressão chega na pistola de projeção. A água introduzida na câmara de mistura pode ser controlada através de um registro conectado a um sistema de ajuste da vazão de água, denominado rotâmetro (ZANELATTO, 2012). Para este trabalho, a parede que recebeu revestimento projetado foi executada a uma vazão de 550 litros/hora (figura 14). A vazão escolhida foi devido ao fato de sua frequente utilização pelas equipes de projeção na obra.

Figura 14 - Rotômetro com a vazão de 550 litros/hora



(fonte: elaborada pelo autor)

4.1.3 Processo de produção da argamassa aplicada manualmente

Após a conclusão do revestimento da maior parte das torres, a obra optou por substituir a argamassa armazenada em silos por argamassa ensacada de múltiplo uso. No momento da substituição faltava executar o revestimento interno de todos os pavimentos térreos e alguns pavimentos superiores. Visto que havia um percentual significativo de paredes a receberem revestimento, optou-se também por avaliar o desempenho mecânico de uma parede com aplicação manual do revestimento, com argamassa de múltiplo uso.

A argamassa utilizada na fase final da obra era armazenada em sacos (figura 15) sobre pallets para evitar o contato com a umidade.

Figura 15 - Armazenamento da argamassa ensacada



(fonte: elaborada pelo autor)

Para a argamassa ensacada foi utilizado um misturador mecânico que apresenta eixo horizontal e possui grelha serrilhada para a abertura de sacos e carregamento de argamassa em seu interior (figura 16).

Figura 16 – Argamassadeira utilizada para a aplicação do revestimento aplicado manualmente em obra a) Aspecto visual do misturador mecânico; b) grelha serrilhada; c) eixo horizontal



(a)

(b)

(c)

(fonte: elaborada pelo autor)

O misturador mecânico localiza-se no pavimento térreo e o transporte da argamassa até os locais de aplicação é feito através de giricas. O controle da quantidade de água é feito manualmente através do registro acoplado no misturador mecânico.

4.2 AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DO REVESTIMENTO

Para avaliar o desempenho do revestimento, foram realizados ensaios em obra e em laboratório. Nos próximos itens, será descrita a forma como esses ensaios foram realizados para ambas paredes avaliadas.

4.2.1 Análise em campo

Em campo, foi realizado o ensaio de resistência de aderência à tração, descrito pela NBR 13528 (ABNT, 2010), em duas paredes internas de blocos cerâmicos ranhurados. A seguir, são apresentados os aparelhos e ferramentas necessários para o ensaio, descritos pela NBR 13528 (ABNT, 2010):

- a) equipamento de tração que permita a aplicação contínua de carga
- dinamômetro de tração que permite a aplicação contínua de carga;
- b) pastilha metálica circular, não deformável sob a carga do ensaio, com seção circular de 50 ± 1 mm de diâmetro;
- c) dispositivo de corte, com borda diamantada e dispositivo que garanta a estabilidade do equipamento durante o corte para evitar a danificação do corpo de prova;
- d) paquímetro para determinação do diâmetro e espessura do revestimento;
- e) cola à base de resina epóxi, poliéster ou similar destinada à colagem da pastilha na superfície do revestimento.

A resistência de aderência à tração representa a máxima tensão que um revestimento suporta quando submetido a esforço normal de tração. A NBR 13749 (ABNT, 2013) admite valores limites para o revestimento de argamassa que variam de acordo com o local de aplicação e o tipo de acabamento que será executado posteriormente. Para a obra em estudo, as paredes em

análise são internas, com acabamento em pintura, sendo o valor mínimo a ser admitido para a aderência à tração de 0,20 MPa. Esses valores estão apresentados no quadro 2.

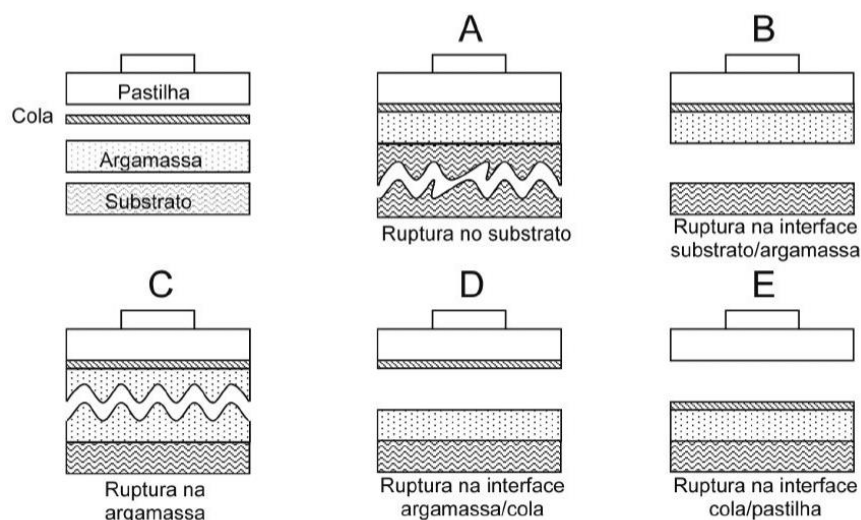
Quadro 2 - Limites de resistência à tração (Ra) para emboço e camada única conforme a NBR 13749 (ABNT, 2013)

Local		Acabamento	Ra (MPa)
Parede	Interna	Pintura ou base para reboco	$\geq 0,20$
		Cerâmica ou laminado	$\geq 0,30$
	Externa	Pintura ou base para reboco	$\geq 0,30$
		Cerâmica ou laminado	$\geq 0,30$
Teto			$\geq 0,20$

(fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013)

O ensaio também classifica o corpo de prova de acordo com a ruptura, como demonstra a figura 17 para um sistema de revestimento sem chapisco.

Figura 17 - Formas de ruptura no ensaio de resistência de aderência à tração sem chapisco conforme a NBR 13528 (ABNT, 2010)

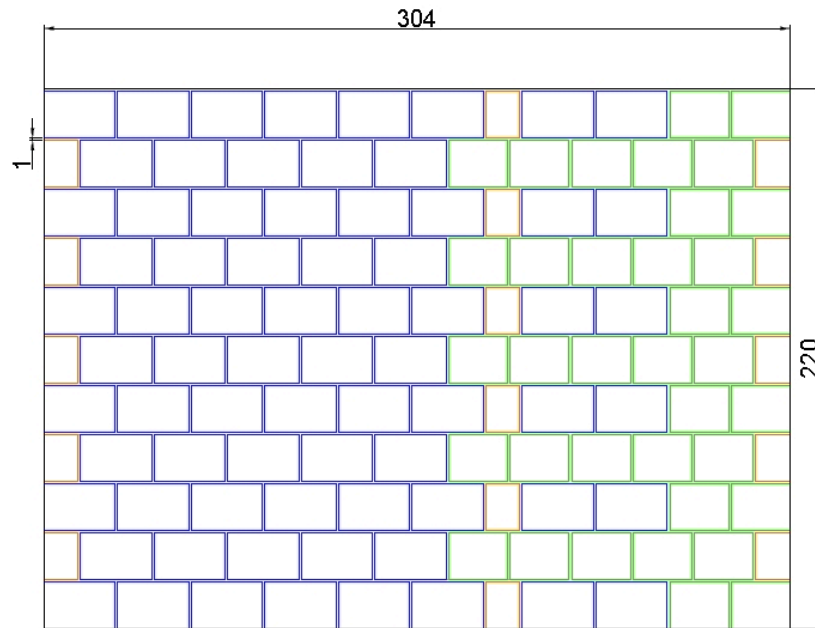





(fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2010)

4.2.1.1 Parede com revestimento projetado mecanicamente

A parede que recebeu revestimento projetado mecanicamente, a uma vazão de 550 litros/hora e com argamassa armazenada em silos, possui dimensões de 2,20 x 3,04 metros (figura 18).

Figura 18 - Modulação da parede (cotas em centímetros)

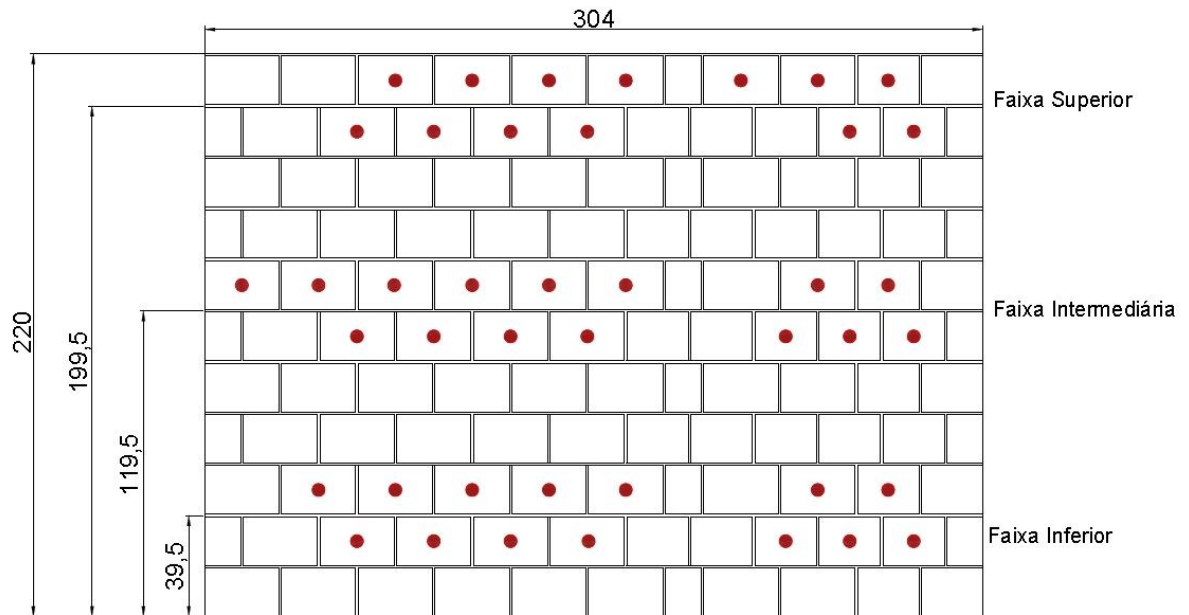
**Legenda:**

-  BE.191929.00—BLOCO DE 29x19cm
-  BE.191924.00—BLOCO DE 24x19cm
-  BE.191914.00—BLOCO DE 14x19cm

(fonte: elaborada pelo autor)

Como este projeto de pesquisa busca avaliar também a influência da altura de projeção na resistência de aderência à tração ao longo da parede. Optou-se pela disposição das pastilhas em 3 diferentes alturas, sendo posicionadas no bloco com o intuito de diminuir a variabilidade do ensaio, como demonstra a figura 19.

Figura 19 - Posição das pastilhas (cotas em centímetros)



Legenda:

● Pastilhas do ensaio de aderência

(fonte: elaborada pelo autor)

Se justifica a escolha de 3 faixas em alturas distintas visando verificar a variação da resistência de aderência à tração da argamassa do revestimento, pois o ângulo formado entre o mangote e a parede varia ao longo da altura, como é possível constatar na figura 20. Desta forma, cada faixa receberá no mínimo 12 corpos de provas para atender as exigências normativas.

Figura 20 - Aplicação do revestimento, ressaltando-se as distintas inclinações da mangueira em relação ao plano da parede. Abaixo de cada posição do operador está representada a inclinação aproximada da mangueira com o plano horizontal.



(fonte: elaborada pelo autor)

A figura 21 apresenta o processo de aplicação do revestimento projetado mecanicamente. Para a obra analisada, na preparação do substrato não é realizada limpeza prévia e o revestimento interno foi realizado em camada única, sem aplicação de chapisco. Cabe ressaltar também que algumas taliscas foram executadas com pedaços de cerâmicas ou com barras de ferro, conforme figura 21 (b).

Figura 21 - Etapas da execução do revestimento interno com projeção. (a) parede a ser revestida; (b) posicionamento das taliscas/mestras; (c) projeção de argamassa; (d) sarrafeamento; (e) remoção das barras de referência; (f) desempenho



(fonte: elaborada pelo autor)

Antes da parede interna receber projeção, foram realizadas medidas com o auxílio de uma fita métrica, com intuito de marcar as juntas de assentamento. Com o revestimento no estado endurecido, as juntas de assentamento foram localizadas e marcadas, pois preferiu-se evitar posicionar pastilhas nas juntas de assentamento, para reduzir a variabilidade do ensaio. A figura 22 apresenta a parede com as marcações das juntas, realizadas quando o revestimento já estava no estado endurecido.

Figura 22 - Aspecto da parede cujo revestimento foi executado com argamassa projetada, evidenciando as juntas de assentamento marcadas.



(fonte: elaborada pelo autor)

Com o revestimento na idade de 28 dias, iniciou-se a determinação da posição dos corpos de prova ao longo da parede. Os cortes foram realizados a seco com o auxílio de uma serra copo (figura 23) com velocidade inicial baixa, sendo aumentada à medida que a serra penetrava no revestimento. Todos os cortes chegaram à profundidade de aproximadamente 2 mm no substrato, seguindo recomendações normativas.

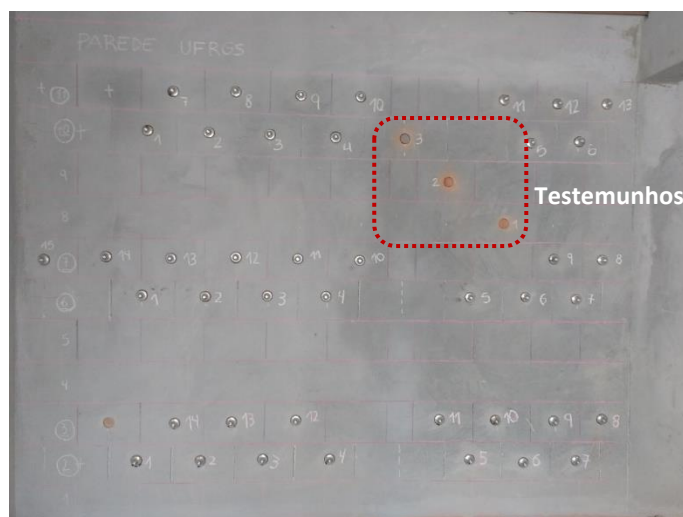
Figura 23 - Realização dos cortes



(fonte: elaborada pelo autor)

Após a remoção das impurezas que poderiam estar presentes no revestimento e na pastilha com o auxílio de um pincel seco, iniciou-se a colagem das pastilhas com uma resina epóxi que apresenta dois componentes. Na figura 24 é apresentada a configuração final da disposição das pastilhas coladas. Para a execução da parede com revestimento de argamassa projetada contínua foram dispostos ao todo 42 corpos de prova e também foram retirados 3 testemunhos, para a verificação da umidade do revestimento. Os testemunhos foram retirados com o revestimento aos 27 dias de idade, ou seja, antes da realização do ensaio de resistência de aderência à tração. Os 3 testemunhos do revestimento na área onde foram realizadas as determinações de resistência de aderência, foram acondicionados em sacos plásticos que não permitiam trocas de umidade com o ambiente. Em laboratório, os testemunhos foram pesados e em seguida foram colocados em uma estufa a uma temperatura de aproximadamente 100 °C até atingirem massa constante.

Figura 24 - Disposição das pastilhas



(fonte: elaborada pelo autor)

Transcorridas aproximadamente 24 horas da colagem das pastilhas, iniciou-se o ensaio de resistência de aderência à tração, com o auxílio de um aderímetro (figura 25), conforme prescrito na NBR 13528 (ABNT, 2010).

Figura 25 – Aderímetro utilizado para a realização do ensaio de resistência de aderência à tração



(fonte: elaborada pelo autor)

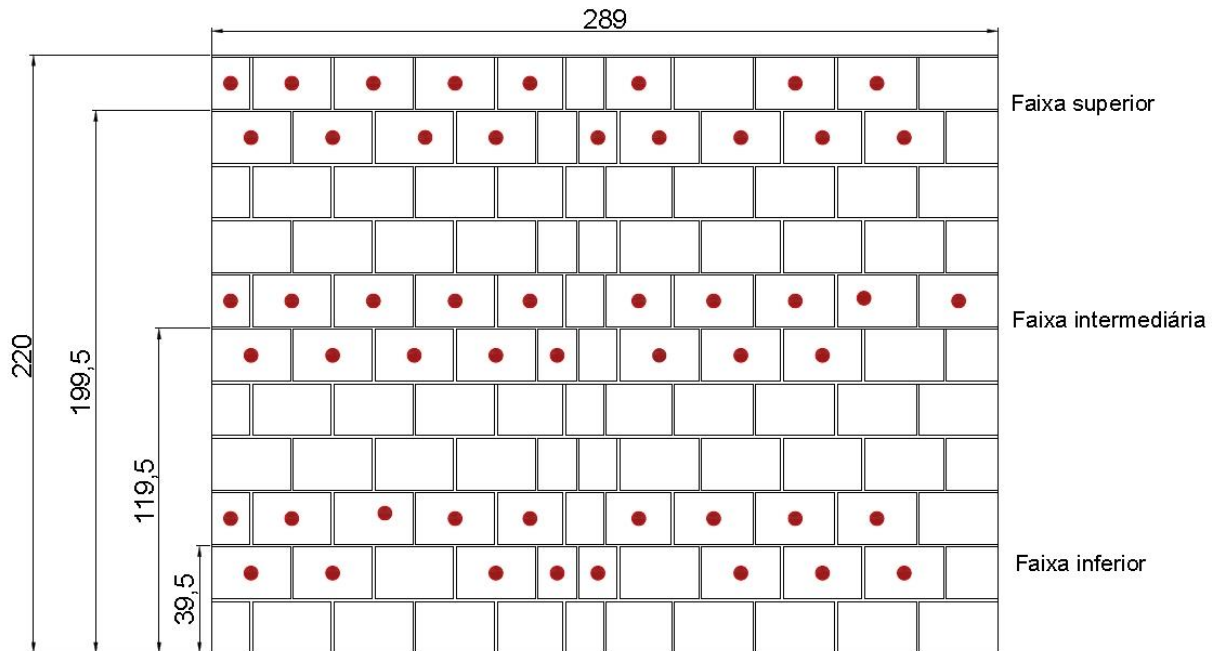
A classificação quanto à forma de ruptura foi realizada conforme preconiza a NBR 13528 (ABNT, 2010) para um sistema de revestimento sem a execução de chapisco. Ao término de cada extração, para cada corpo de prova, determinou-se a resistência de aderência à tração, a área, a forma de ruptura e a espessura do revestimento submetido ao ensaio.

4.2.1.2 Execução do ensaio com argamassa aplicada manualmente

A parede que recebeu revestimento aplicado manualmente com argamassa múltiplo uso armazenada em sacos possui dimensões de 2,89 x 2,20 metros (figura 26).

Da mesma forma para a parede que recebeu projeção mecânica, a parede que recebeu aplicação manual também teve os corpos de prova do ensaio de resistência de aderência à tração divididos em três alturas distintas, com o intuito de identificar faixas que apresentassem alterações na resistência avaliada devido a influência do operador. A figura 26 apresenta a distribuição das pastilhas.

Figura 26 - Posição das pastilhas (cotas em centímetros)



Legenda:

● Pastilhas do ensaio de aderência

(fonte: elaborada pelo autor)

Para a execução da parede com argamassa aplicada manualmente não foi realizada limpeza prévia no substrato e o revestimento foi executado em camada única, sem fazer uso de chapisco e emboço.

A figura 27 apresenta as etapas de execução da parede que recebeu aplicação manual. Após a produção da argamassa, a mesma foi transportada através de giricas até o local de aplicação do revestimento. O prumo das paredes já havia sido verificado e já haviam algumas taliscas feitas, o operador então iniciou o procedimento de criação de taliscas auxiliares. Em seguida, as mestras foram criadas e iniciou-se a aplicação do revestimento, seguida de sarrafeamento e desempenho.

Figura 27 - Execução do revestimento da parede com argamassa aplicada manualmente. a) Parede a receber o revestimento; b) Posicionamento e confecção das taliscas auxiliares; c) Verificação do prumo em relação à talisca já existente; d) Criação de taliscas auxiliares; e) Construção da mestra; f) Aplicação do revestimento; g) Início do sarrafeamento; h) Finalização do sarrafeamento; i) Desempeno



(fonte: elaborada pelo autor)

Antes da aplicação do revestimento, foram realizadas com uma fita métrica medidas de todas as juntas de assentamento da parede em análise. Com o revestimento no estado endurecido, as juntas foram localizadas e marcadas. A figura 28 apresenta a marcação das juntas.

Figura 28 - Marcação das juntas de assentamento

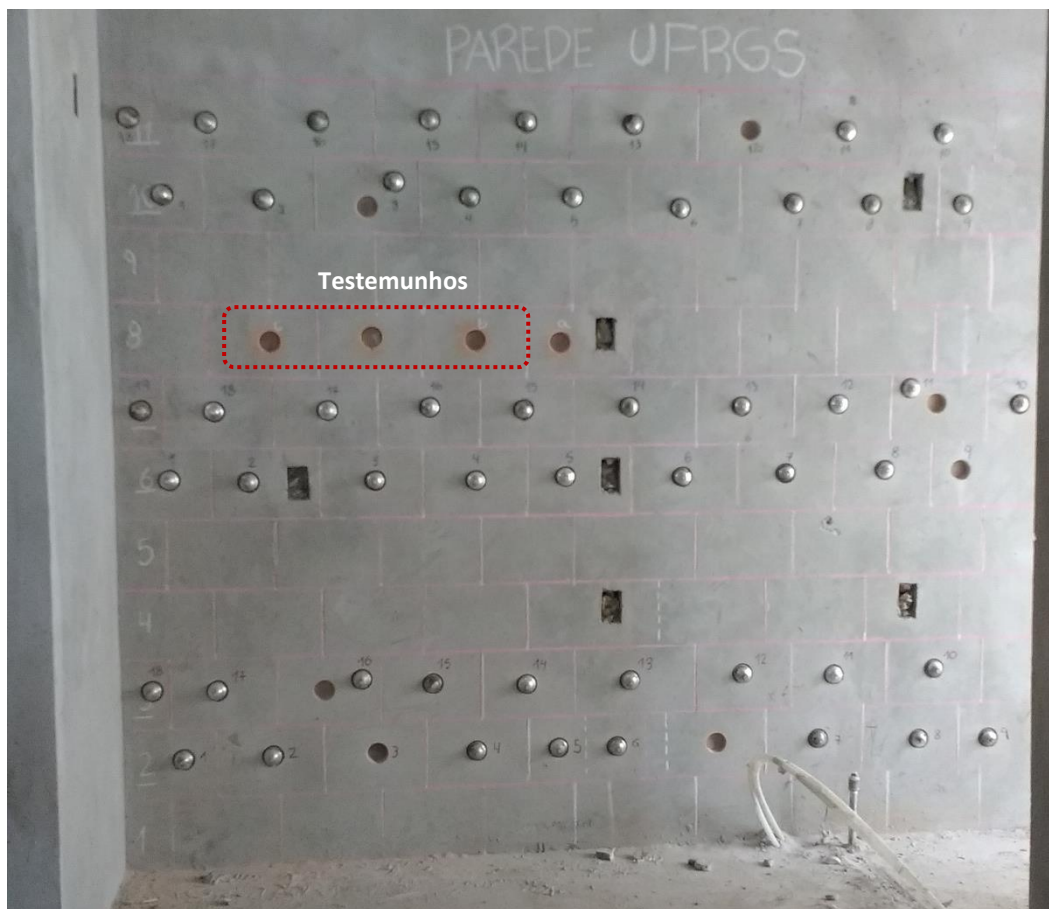


(fonte: elaborada pelo autor)

Após 28 dias da aplicação do revestimento, iniciou-se a preparação da parede para a realização do ensaio de resistência de aderência à tração descrito pela NBR 13528 (ABNT, 2010). O procedimento de execução do ensaio foi o mesmo adotado para a parede com projeção mecânica contínua e já citado no item 4.2.1.1.

A figura 29 apresenta o aspecto final da parede ensaiada, com a divisão das pastilhas em três principais faixas incluindo a extração dos testemunhos que foram utilizados para a verificação da umidade da parede.

Figura 29 – Aspecto visual final da posição das pastilhas



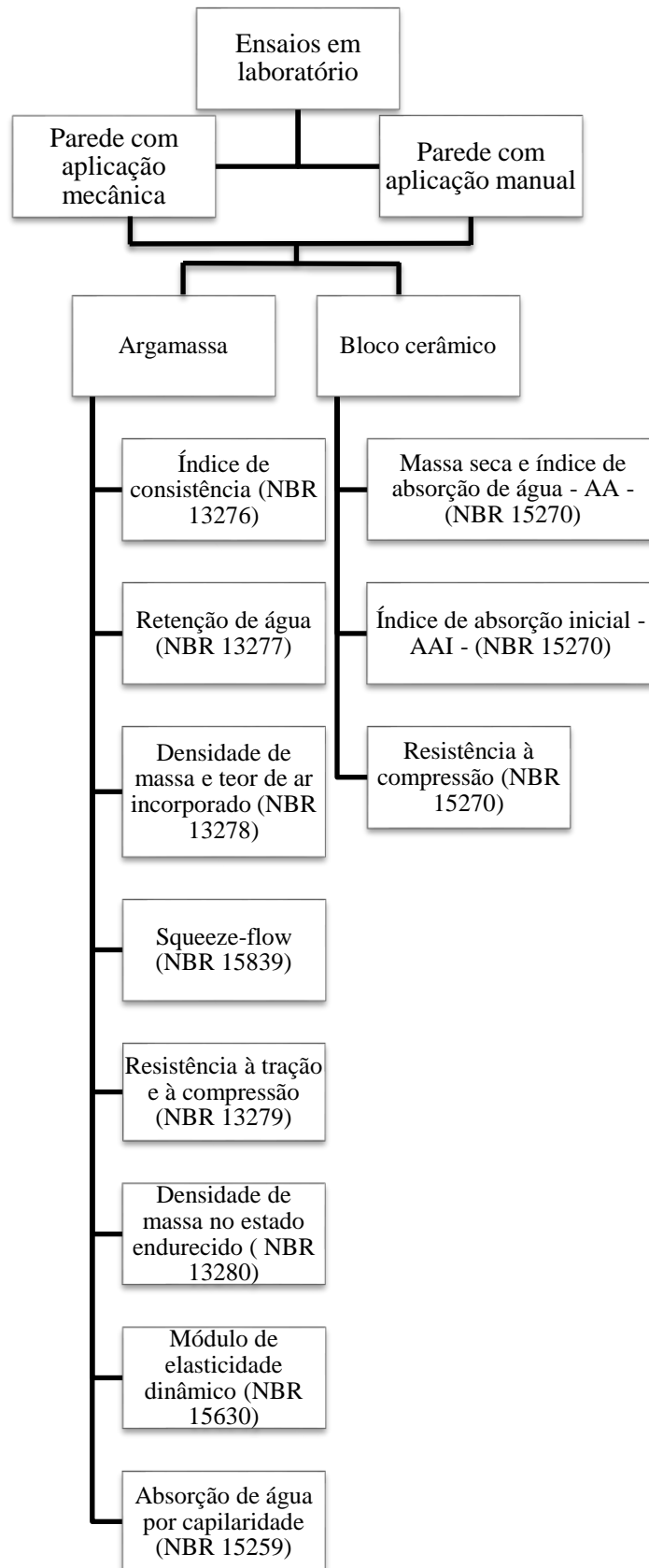
(fonte: elaborada pelo autor)

4.2.2 Análise em laboratório

Neste item será apresentado uma descrição dos ensaios que foram realizados em laboratório, citando algumas alterações nos mesmos devido às delimitações deste projeto de pesquisa.

Para melhor entendimento do planejamento, inicia-se este item com um fluxograma esquemático, apresentado na figura 30, que resume os ensaios que foram realizados em laboratório.

Figura 30 – Fluxograma dos ensaios realizados em laboratório



(fonte: elaborada pelo autor)

Visto que a obra está aproximadamente 10 km de distância do laboratório, para a avaliação do revestimento em estudo, estipulou-se um tempo de 50 minutos desde a coleta da argamassa na obra até o início dos ensaios no estado fresco em laboratório. Desta forma, a argamassa coletada foi acondicionada em um recipiente que não permitia trocas de ar com o ambiente e então encaminhada para ser analisada. Os ensaios deste projeto começam exatamente 50 minutos após a coleta da argamassa.

Os parâmetros adotados aqui foram os mesmos usados por Cechin (2016), que também realizou uma pesquisa que envolve caracterização em laboratório de argamassas produzidas em obra.

O quadro 3 apresenta a quantidade de determinações e corpos de prova moldados para avaliação das argamassas no estado fresco e endurecido.

Quadro 3 – Resumo da quantidade de determinações e corpos de prova em cada ensaio

Caracterização das argamassas	
Índice de consistência NBR 13276 (ABNT, 2005)	6 determinações
Densidade de massa NBR 13278 (ABNT, 2005)	2 determinações
Teor de ar incorporado NBR NM 47 (ABNT, 2002)	2 determinações
Perda de água aos 15 minutos - adaptado NBR 13277 (ABNT, 2005)	2 determinações
Squeeze-flow NBR 15839 (ABNT, 2010)	1 determinação aos 50, 55, 100 e 105 minutos)
Módulo de elasticidade dinâmico NBR 15630 (ANBT, 2008)	3 corpos de prova
Absorção de água por capilaridade NBR 15259 (ABNT, 2005)	3 corpos de prova
Resistência à tração na flexão NBR 13279 (ABNT, 2005)	3 corpos de prova
Resistência à compressão NBR 13279 (ABNT, 2005)	6 corpos de prova
Densidade de massa aparente NBR 13280 (ABNT, 2005)	12 corpos de prova

(fonte: elaborada pelo autor)

4.2.2.1 Ensaio no estado fresco

Conforme já mencionado, os ensaios de caracterização da argamassa iniciaram 50 minutos após a coleta da argamassa na obra em estudo. A seguir serão apresentados os ensaios realizados no estado fresco, juntamente com algumas alterações feitas nas metodologias existentes.

4.2.2.1.1 *Índice de consistência*

Para a determinação das consistências da argamassa, foi utilizado o método da mesa de consistência, conforme preconiza a NBR 13276 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005a).

4.2.2.1.2 *Retenção de água - Perda de água (15 minutos)*

A retenção de água foi determinada conforme a NBR 13277 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005b), que define o método de determinação da retenção de água para argamassa de assentamento e revestimento de paredes e tetos.

O ensaio foi realizado com o objetivo de determinar a água retida na amostra, para isso, a torneira de escape do funil foi aberta e a bomba de sucção foi ligada durante 15 minutos. Após isso, a torneira de escape foi fechada e registrou-se a massa.

Nesse ensaio, para o cálculo da retenção de água, é necessário conhecer a relação água/argamassa fresca, que no caso deste projeto de pesquisa é desconhecido, pois não se sabe a quantidade de água, em gramas, que foi inserida no equipamento durante a projeção, apenas a vazão. Desta forma, para a realização deste ensaio, adotou-se a metodologia de Cechin (2016), onde o procedimento para a realização do ensaio seguiu a metodologia que a norma preconiza, porém, como variável de resposta adotou-se a diferença de massa do conjunto formado pelo prato e a argamassa fresca, antes e após a sucção com bomba a vácuo após 15 minutos. Esta diferença de massa recebeu a denominação de “Perda de água (15 minutos)”. O aparelho utilizado está demonstrado na figura 31.

Figura 31 - Retenção de água (NBR 13277 (ABNT, 2005b))



(fonte: elaborada pelo autor)

4.2.2.1.3 Densidade de massa e teor de ar incorporado

Para determinar a densidade de massa e o teor de ar incorporado seguiu-se as recomendações prescritas na NBR 13278 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005c) para argamassa de assentamento e revestimento de paredes e tetos como apresenta a figura 32 (a).

Além disso, foi determinado o teor de ar incorporado como preconiza a NBR NM 47 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2002) que estabelece o método para a determinação do teor de ar a partir da mudança do volume da argamassa devido a uma mudança na pressão. A aparelhagem utilizada para a realização deste ensaio está apresentada na figura 32 (b).

Figura 32 - Densidade de massa e teor de ar incorporado. a) Densidade de massa e teor de ar incorporado (NBR 13278 (ABNT, 2005)); b) Teor de ar incorporado (NBR NM 47 (ABNT, 2002)).



(a)

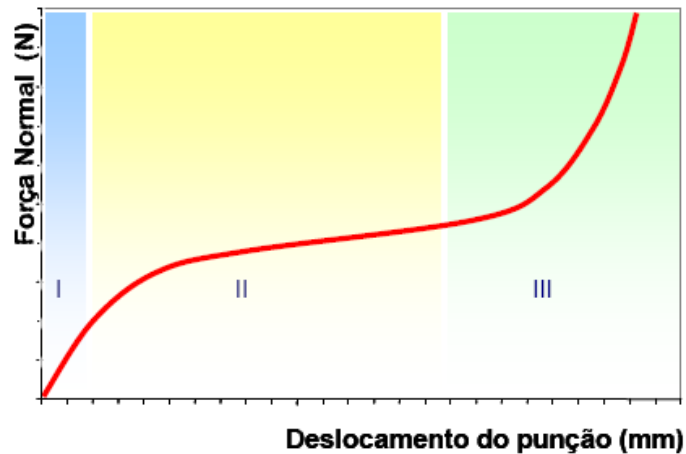
(b)

(fonte: elaborada pelo autor)

4.2.2.1.4 Squeeze-flow

O ensaio squeeze-flow, determinado pela NBR 15839 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2010) baseia-se na medida do esforço necessário para a compressão uniaxial de uma amostra cilíndrica de argamassa entre duas placas paralelas, gerando deformações por cisalhamento e alongamento da amostra. Os resultados do ensaio são apresentados na forma de um gráfico de carga (N) versus o deslocamento (mm), conforme mostra a figura 33, apresentando 3 estágios distintos. O estágio I caracteriza-se por um pequeno deslocamento e mostra a deformação plástica do material. O estágio II apresenta a deformação plástica ou fluxo viscoso da amostra e o estágio III evidencia um grande deslocamento e enrijecimento por deformação, caracterizado pela aproximação dos agregados e o atrito formado pelos mesmos (CARDOSO *et al.*, 2005).

Figura 33 - Perfil típico de carga versus deslocamento do Squeeze-flow



(fonte: CARDOSO *et al.*, 2005)

A utilização do squeeze-flow é eficiente para caracterizar a reologia das argamassas e objetiva complementar a caracterização da argamassa no estado fresco.

Para a execução do ensaio, a NBR 15839 (ABNT, 2010) determina tempos e velocidades para a execução do ensaio. O tempo decorrido desde o término do preparo da argamassa até a execução do ensaio deve ser de 10 e 60 minutos para a velocidade de 3 mm/s e de 15 e 65 minutos para a velocidade de 0,1 mm/s. Devido ao tempo de 50 minutos de deslocamento da argamassa para o laboratório de ensaio, os tempos foram adaptados, sendo eles de 50 e 100 minutos para a velocidade de 3 mm/s e 55 e 105 para a velocidade de 0,1 mm/s. A figura 34 apresenta um exemplo de argamassa após a realização do squeeze-flow.

Figura 34 – Ensaio de Squeeze-flow (NBR 15839 (ABNT, 2010))



(fonte: elaborada pelo autor)

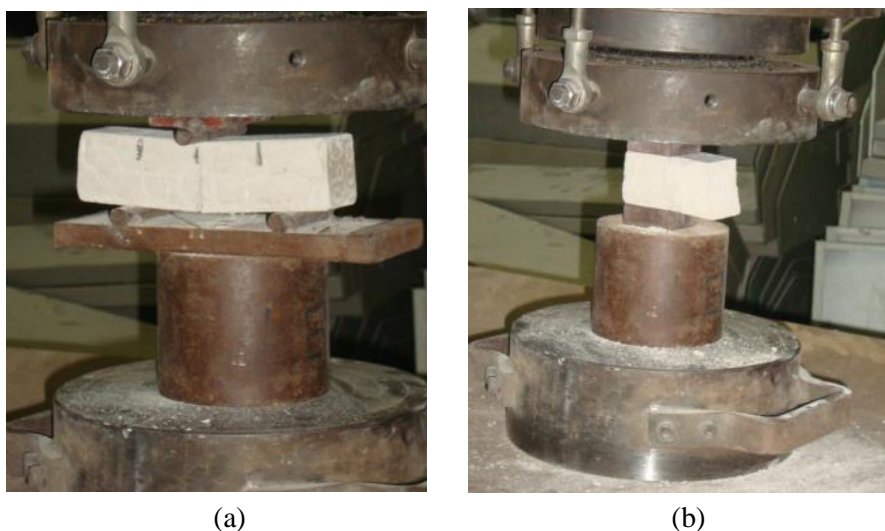
4.2.2.2 Ensaio no estado endurecido

Para os ensaios no estado endurecido foram moldados 12 corpos de prova de dimensões 4x4x16 cm. Sendo que 3 corpos de provas foram utilizados para o ensaio de resistência. Cada molde recebeu duas camadas de argamassa e para acomodá-la, o molde foi submetido a 30 quedas na mesa de consistência. Cabe ressaltar que os corpos foram acomodados em uma sala climatizada com condições controladas de temperatura a $(23\pm 2\text{ }^\circ\text{C})$ e umidade relativa do ar a $(60\pm 5\%)$ e foram mantidos nessas condições até o momento do ensaio. Os ensaios mecânicos foram realizados em uma prensa da marca EMIC, com capacidade de até 2000 KN, com preparação e execução de ensaio seguindo as prescrições normativas. A seguir serão apresentados os ensaios realizados no estado endurecido e algumas alterações feitas nas metodologias existentes.

4.2.2.2.1 Resistência à tração na flexão e à compressão

No estado endurecido foi realizado o ensaio para determinação da resistência à tração na flexão e à compressão, como demonstra a figura 35 (a) e (b), conforme preconiza a NBR 13279 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005).

Figura 35 - Resistência à tração na flexão e Resistência à compressão aos 28 dias (NBR 13279 (ABNT, 2005)). a) Resistência à tração na flexão; b) Resistência à compressão

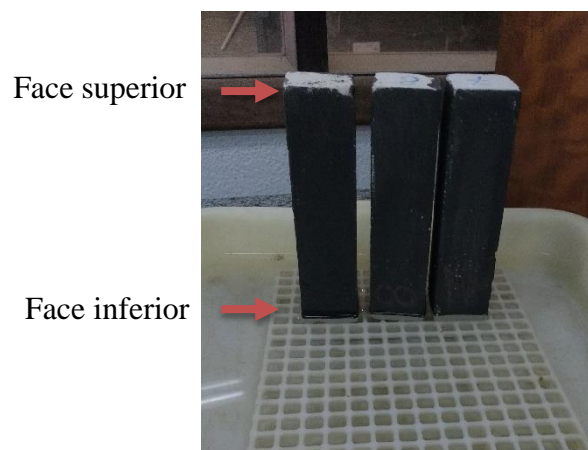


(fonte: elaborada pelo autor)

4.2.2.2.2 Absorção de água por capilaridade e coeficiente de capilaridade

O ensaio de absorção de água por capilaridade foi realizado conforme os procedimentos estabelecidos pela NBR 15259 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005), porém, para a argamassa aplicada manualmente, o ensaio ocorreu em um dia com elevadas temperaturas, proporcionando resultados que não eram esperados. Em face disto, os corpos de provas foram secados em uma estufa e submetidos ao ensaio de absorção novamente, fazendo-se uso de uma tinta automotiva com propriedades impermeabilizantes para selar lateralmente o corpo de prova, garantindo uma absorção unidirecional. Diante disso, optou-se por pintar o corpo de prova, exceto na face em contato com água e 5 mm da lateral acima dela (face inferior demonstrada na figura 36) e a face oposta a ela (face superior demonstrada na figura 36) permitindo a absorção da água.

Figura 36 - Corpos de prova preparados para a absorção de água por capilaridade aos 28 dias (NBR 15259 (ABNT, 2005))



(fonte: elaborada pelo autor)

4.2.2.2.3 Módulo de elasticidade dinâmico

Para o ensaio de módulo de elasticidade dinâmico utilizou-se os procedimentos de ensaio descritos pela NBR 15630 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008), conforme apresenta a figura 37.

Figura 37 - Módulo de elasticidade dinâmico aos 28 dias (NBR 15630 (ABNT, 2008))



(fonte: elaborada pelo autor)

4.2.2.2.4 Densidade de massa aparente no estado endurecido

O ensaio foi realizado conforme preconiza a NBR 13280 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008). Utilizou-se uma balança para a pesagem de cada um dos corpos de prova e um paquímetro para a verificação das dimensões dos mesmos (figura 38).

Figura 38 - Densidade de massa aparente no estado endurecido aos 28 dias (NBR 13280 (ABNT, 2005))



(fonte: elaborada pelo autor)

4.2.2.3 Ensaio com o bloco cerâmico

Neste item serão apresentados os ensaios realizados com o bloco cerâmico utilizado para a construção das paredes analisadas. Todos os ensaios foram realizados em 5 unidades de blocos cerâmicos de vedação.

O bloco utilizado na obra em estudo é um bloco cerâmico de vedação, pertencente à família dos blocos de 29 cm, com superfície ranhurada. O quadro 3 apresenta os ensaios que foram realizados com o bloco cerâmico.

Quadro 3 - Ensaios realizados com o substrato

Norma	Descrição
NBR 15270 (ABNT, 2005)	Parte 3 – Determinação da massa seca e do índice de absorção de água (AA)
NBR 15270 (ABNT, 2005)	Parte 3 – Determinação do índice de absorção inicial (AAI)
NBR 15270 (ABNT, 2005)	Parte 3 – Determinação da resistência à compressão dos blocos estruturais e de vedação

(fonte: elaborada pelo autor)

De acordo com a NBR 15270 (ABNT, 2005), para a determinação das características geométricas (largura, altura, comprimento, espessura das paredes externas e septos, planeza das faces e desvio em relação ao esquadro) e para o ensaio de resistência à compressão, as amostras são constituídas de 13 corpos de prova. Para o ensaio de determinação do índice de absorção d'água, a amostra é constituída de seis corpos de prova. Para este trabalho, escolheu-se uma amostra constituída por 6 blocos para serem avaliados, porém, durante o transporte dos mesmos para o laboratório, um dos blocos de largura 14 cm tornou-se impróprio para ser estudado, desta forma, foram avaliados 2 blocos com largura de aproximadamente 14 cm e 3 blocos com largura de aproximadamente 19 cm, fornecidos pela obra. A tabela 1 apresenta as dimensões médias dos blocos.

Tabela 1 – Dimensões médias dos blocos ensaiados

Bloco	Altura média (mm)	Comprimento médio (mm)	Largura média (mm)	Área bruta (cm ²)	Área líquida (cm ²)
14.1	189,63	287,00	139,13	399,30	163,71
14.2	190,13	286,00	138,64	396,52	162,58
19.1	191,54	290,50	190,55	553,55	199,28
19.2	191,53	289,50	190,81	552,41	198,87
19.3	191,31	290,00	190,67	552,96	199,06

(fonte: elaborada pelo autor)

4.2.2.3.1 Determinação da massa seca e do índice de absorção de água (AA)

Para a determinação do índice de absorção de água, os blocos foram acondicionados em um forno com temperatura de aproximadamente 100 °C até atingirem massa constante. Em

seguida, os blocos cerâmicos foram pesados e ficaram submersos durante 24 horas. Após isso os blocos foram pesados e os resultados obtidos estão apresentados na tabela 2.

Tabela 2 - Índice de absorção de água dos blocos usados como substrato (NBR 15270-3 (ABNT, 2005))

Índice de absorção de água (AA)				
Bloco	Índice de absorção de água (%)	Média (%)	Desvio Padrão (%)	Coefficiente de variação (%)
14.1	13,07	13,44	0,53	3,97
14.2	13,82			
19.1	13,15	13,15	0,03	0,23
19.2	13,16			
19.3	13,10			

(fonte: elaborada pelo autor)

De acordo com a parte 1 da NBR 15270 (ABNT, 2005) onde estão definidos os requisitos para blocos cerâmicos para alvenaria de vedação, o índice de absorção de água não deve ser inferior a 8% nem superior a 22%. Portanto, os índices médios obtidos para os blocos ensaiados estão dentro dos requisitos exigidos pela norma, apresentando valores de 13,44% e 13,15%.

4.2.2.3.2 Determinação do índice de absorção inicial (AAI)

A taxa de absorção inicial de um bloco cerâmico é definida como a quantidade de água absorvida por um bloco seco quando parcialmente imerso em água. A absorção é influenciada pela porosidade dos blocos, sendo mais alta para blocos que possuem maior porosidade, desta forma, quando os blocos apresentam elevada taxa de absorção inicial, seria adequado umedecer a superfície de assentamento para que não ocorra redução da aderência final entre o substrato e a argamassa (RIZZATTI *et al.*, 2011).

Para a determinação do índice de absorção de água inicial, os blocos secos foram colocados em um recipiente com uma lâmina de água de 3 mm (\pm 2 mm) durante 60 segundos e então registrou-se a massa dos blocos seguindo as recomendações normativas da NBR 15270 (ABNT, 2005) – Parte 3. Os resultados obtidos no ensaio estão apresentados na tabela 3.

Tabela 3 - Índice de absorção inicial dos blocos usados como substrato (NBR 15270-3 (ABNT, 2005))

Índice de absorção de água inicial (AAI)				
Bloco	Índice de absorção de água inicial (g/193,55cm ²)/min	Média (g/193,55cm ²)/min	Desvio Padrão (g/193,55cm ²)/min	Coefficiente de variação (%)
14.1	57,93	57,89	0,05	0,09
14.2	57,86			
19.1	50,60	53,33	2,10	3,94
19.2	53,33			
19.3	54,74			

(fonte: elaborada pelo autor)

A norma americana ASTM C 67 (AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, 1983) estabelece o método de ensaio para a determinação do IRA (*Initial Rate Absorption*) que determina a absorção de água do bloco após a imersão do mesmo durante 60 segundos em uma lâmina de água a uma profundidade de 3,2 mm, verificando o grau de sucção inicial. O método de ensaio proposto pela norma brasileira é similar à norma americana. A tabela 4 apresenta algumas faixas recomendadas para a taxa de absorção inicial de blocos cerâmicos ensaiados através da norma americana.

Tabela 4 - Recomendação das faixas ideais da taxa inicial de sucção para ocorrência da máxima aderência entre a argamassa e o substrato

Autores	Tipo de bloco analisado	Faixa de recomendação da taxa Inicial de sucção IRA (g/200cm ² /min)
PALMER & PARSON (1934)	Cerâmico	20 a 30
British Ceramic Research Association (WEST, 1975)	Cerâmico	10 a 25
National Building Research Institute – NBRI (1978)	Sílico - calcário	14 a 35
HAN & KISHITANI (1984)	Cerâmico	12 a 22
MCGILEY (1990)	Cerâmico	5 a 15
ASTM C-62 (1992)	Cerâmico	< 30
GROOT & LARBI (1999)	Cerâmico	30 a 50

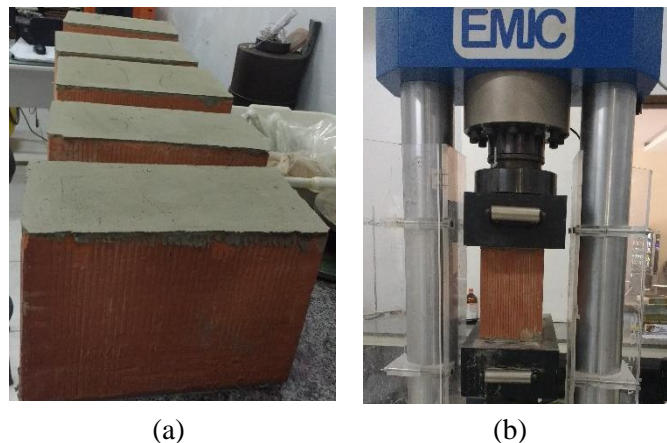
(fonte: CARASEK *et al.*, 2001)

De acordo com os resultados obtidos através do ensaio descrito pela NBR 15270 (ABNT, 2005) – Parte 3, as taxas de absorção inicial de água encontradas para este trabalho apresentam-se um pouco elevadas quando comparadas aos valores apresentados na tabela 4.

4.2.2.3.3 Determinação da resistência à compressão dos blocos de vedação

Após a realização dos ensaios descritos nos itens 4.2.2.3.1 e 4.2.2.3.2, os blocos cerâmicos foram capeados com uma argamassa com o intuito de deixar as faces planas e uniformes para então serem submetidos ao ensaio de compressão axial, como apresenta a figura 39.

Figura 39 - Ensaio de compressão axial com os blocos cerâmicos (NBR 15270-3 (ABNT,2005)).
a) Blocos capeados; b) Execução do ensaio de compressão axial



(fonte: elaborada pelo autor)

A tabela 5 apresenta o resultado do ensaio de resistência à compressão axial obtido através do ensaio dos cinco blocos cerâmicos.

Tabela 5 – Resistência à compressão axial dos blocos cerâmicos usados como substrato (NBR 15270-3 (ABNT, 2005))

Bloco	Resistência à compressão (MPa)	Resistência à compressão média (MPa)	Desvio Padrão (%)	Coefficiente de variação (%)
14.1	9,85	7,97	2,67	33,47
14.2	6,08			
19.1	5,31	5,31	0,78	14,72
19.2	6,18			
19.3	4,62			

(fonte: elaborada pelo autor)

A NBR 15270 (ABNT, 2005) define o valor mínimo de 3 MPa para a resistência à compressão de blocos cerâmicos de vedação, calculada na área bruta. De acordo com os resultados obtidos, foi possível verificar que todos atingiram o valor mínimo exigido por norma.

5 RESULTADOS

Neste capítulo estão apresentados os resultados dos ensaios propostos na metodologia deste trabalho. Para tratamento de alguns dados, utilizou-se o software Statística 7 e realizou-se a análise de variância (ANOVA) dos valores obtidos. Para o melhor entendimento dos resultados, nos itens que seguem, serão apresentados os resultados dos ensaios realizados no laboratório com a argamassa no estado fresco e no estado endurecido e o ensaio de resistência de aderência à tração realizado na obra.

Os ensaios realizados com as argamassas em análise foram classificados de acordo com a NBR 13281 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005) que especifica os requisitos exigíveis para a argamassa de assentamento e revestimento.

5.1 ENSAIOS NO ESTADO FRESCO

Nesse item serão apresentados os resultados no estado fresco para as argamassas industrializadas que foram utilizadas neste trabalho.

5.1.1 Índice de consistência

A NBR 13281 (ABNT, 2005) não especifica classificação para a determinação do índice de consistência, devido ao fato de não existirem valores de referência para tanto. Contudo, foi possível observar que ambas argamassas possuem boa trabalhabilidade pela sua facilidade de aplicação e manuseio.

A tabela 6 apresenta os valores obtidos do índice de consistência aos 50 e 100 minutos. É possível observar que, no decorrer do tempo as argamassas tiveram uma redução no índice, conseqüentemente, na trabalhabilidade.

Tabela 6 - Determinação do índice e da perda de consistência

Argamassa	Realização do ensaio (min)	Índice de const. médio (mm)	Desvio padrão (mm)	CV (%)
Projeção mecânica	50	300	11,48	3,82
	100	275	5,51	2,00
Aplicação manual	50	323	9,72	3,01
	100	272	7,64	2,81

(fonte: elaborada pelo autor)

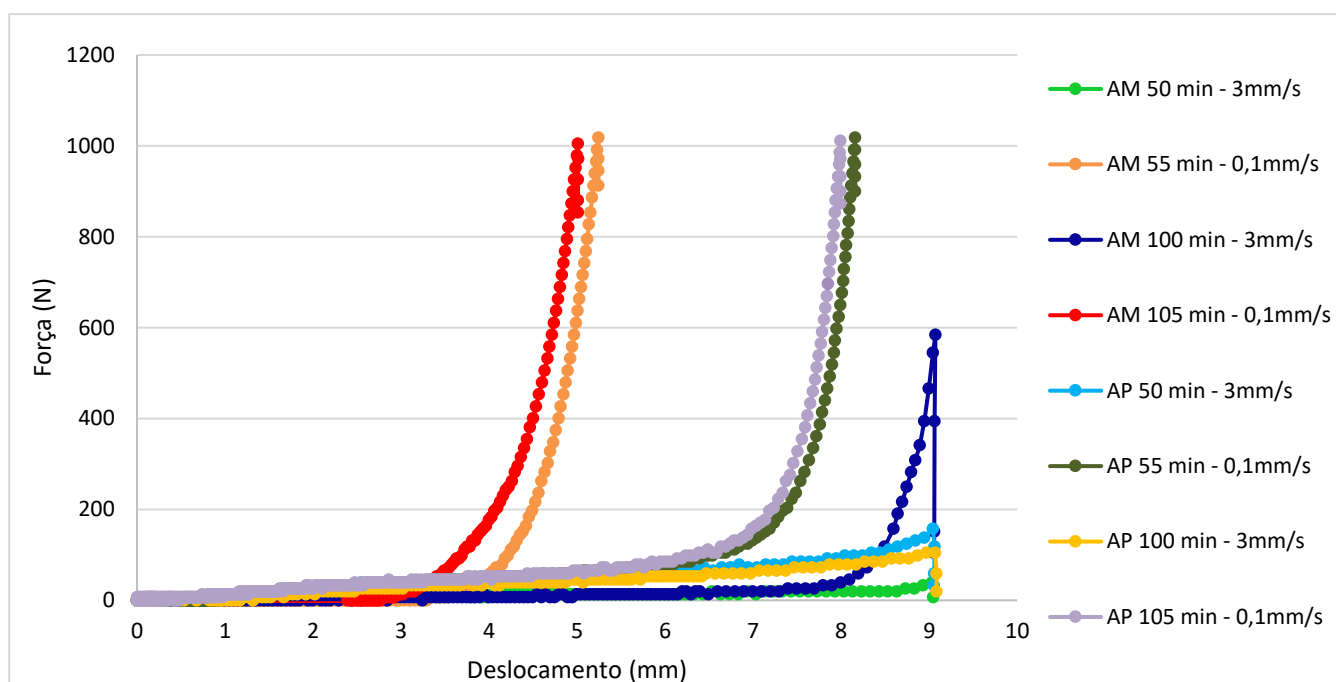
Como era de se esperar, a argamassa para projeção apresentou uma perda de consistência ao longo do tempo menor quando comparada com a argamassa aplicada manualmente devido aos aditivos que a argamassa projetada possui, que inclusive dispensa aguardar um determinado período para executar a operação de desempenho.

5.1.2 Squeeze Flow

A figura 40 apresenta as curvas de força versus deslocamento para as argamassas industrializadas testadas. Verifica-se ambas as argamassas possuem um comportamento semelhante quando ensaiadas com a velocidade de 3 mm/s, apresentando baixa resistência ao escoamento e um estágio plástico prolongado, de forma que seu deslocamento máximo foi em torno de 9 mm, atingindo a força máxima de ensaio de 600 N.

Para a velocidade de 0,1 mm/s as argamassas apresentaram resultados semelhantes quando ensaiadas aos 55 e 105 minutos, com deslocamentos reduzidos quando comparadas à velocidade de 3 mm/s, fato que pode estar relacionado com o maior tempo que os grãos têm para se reorganizar dentro da argamassa com um deslocamento mais lento, fato que permite que eles travem o fluxo, dificultando o deslocamento (enrijecimento por deformação dos grãos). A argamassa aplicada manualmente apresentou maior resistência ao fluxo do que a projetada, o que indica que esta argamassa pode apresentar maior resistência ao espalhamento na parede, dificultando o molhamento do substrato.

Figura 40 - Squeeze Flow Argamassa aplicada manualmente (AM) e Argamassa projetada mecanicamente (AP)



(fonte: elaborada pelo autor)

5.1.3 Densidade de massa e teor de ar incorporado

A tabela 7 apresenta os resultados médios densidade de massa no estado fresco e teor de ar incorporado. Verificou-se que a argamassa aplicada mecanicamente apresentou menores valores de ar incorporado e conseqüentemente, uma densidade de massa maior.

Quando comparados os valores de densidade de massa no estado endurecido (tabela 14) com os teores de ar incorporado obtidos no estado fresco (tabela 7), através da NBR 13278 (ABNT, 2005), foi possível observar que a argamassa com maior teor de ar incorporado também apresentou a maior densidade no estado endurecido, resultado que não era esperado. Deste modo, a argamassa aplicada manualmente, que possui o maior teor de ar incorporado, foi a que apresentou maior resistência ao fluxo no *Squeeze Flow*, fato esse que pode ter influenciado no adensamento dos corpos de prova, ocasionando a redução da densidade de massa aparente no estado endurecido.

Entretanto, cabe ressaltar que foram utilizadas argamassas distintas, cada uma específica para o seu uso e que além do teor de ar incorporado, existem outros parâmetros que influenciam na

densidade de massa no estado endurecido da argamassa em análise, como por exemplo, o agregado empregado.

Tabela 7 - Densidade de massa média no estado fresco das argamassas e teor de ar incorporado

Argamassa	Tempo	Densidade de massa (kg/m ³) NBR 13278 (ABNT, 2005)	Teor de ar incorporado (%) NBR NM 47 (ABNT, 2002)
Projeção mecânica	50 minutos	1967,02	2,35
	100 minutos	1959,81	2,49
Aplicação manual	50 minutos	1376,89	2,8
	100 minutos	1360,17	3,1

(fonte: elaborada pelo autor)

De acordo com a NBR 13281 (ABNT, 2005), para o ensaio de densidade de massa no estado fresco, as argamassas analisadas classificam-se em D5 e D2 (tabela 8).

Tabela 8 - Classificação da densidade de massa no estado fresco para os diferentes tipos de argamassa

Argamassa	Tempo (minutos)	Classificação NBR 13281 (ABNT, 2005)
Projeção mecânica	50	D5
	100	D5
Aplicação manual	50	D2
	100	D2

(fonte: elaborada pelo autor)

5.1.4 Retenção de água

Além de manter a trabalhabilidade das argamassas quando lançadas em substratos absorventes, a propriedade da argamassa de reter água contribui para a necessária hidratação do cimento da mistura, propiciando sua reação completa (BAÍÁ; SABBATINI, 2000).

De acordo com Martinelli (1989), "se uma argamassa com baixa capacidade de retenção de água é assentada com blocos de alta sucção, a argamassa entrará imediatamente em um estado de rigidez dada a perda de água. Assim a argamassa perde a plasticidade desejada. Este processo também deixa a argamassa mais porosa, na camada de contato, prejudicando a aderência e a estanqueidade".

Para este trabalho, verificou-se uma elevada taxa de absorção inicial do substrato, além disso, os menores valores de resistência de aderência à tração ocorreram para a argamassa aplicada manualmente, que perdeu uma maior quantidade de água quando comparada com a argamassa projetada mecanicamente (tabela 9).

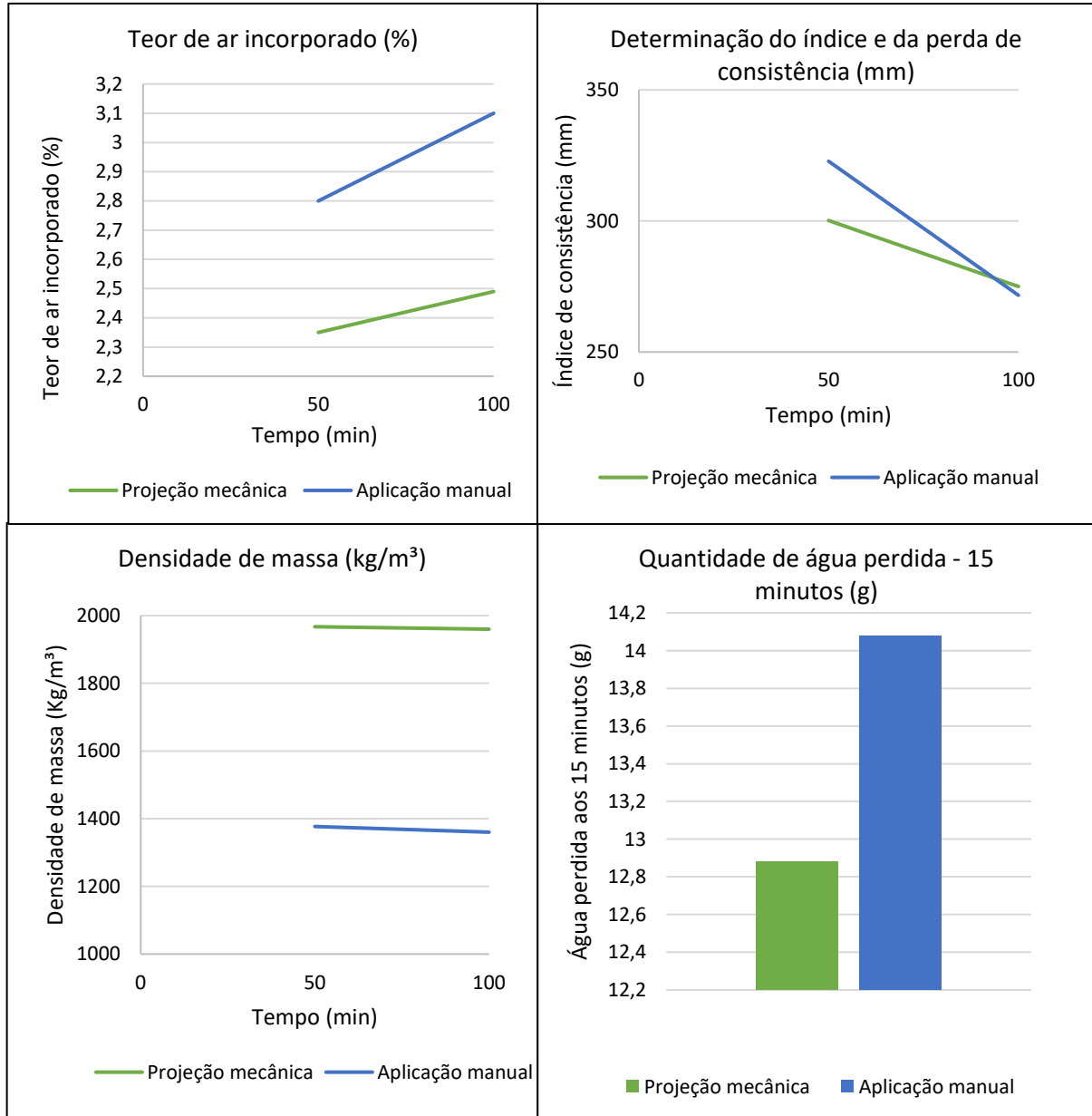
Tabela 9 - Quantidade de água perdida (15 minutos)

Argamassa	Quantidade de água perdida - 15 minutos (g)
Projeção mecânica	12,88
Aplicação manual	14,08

(fonte: elaborada pelo autor)

A figura 41 apresenta um resumo dos resultados obtidos para a caracterização das argamassas no estado fresco, com o intuito de facilitar o entendimento e a análise das propriedades das argamassas estudadas.

Figura 41 - Resumo dos resultados obtidos no estado fresco para a argamassa projetada mecanicamente e para a argamassa aplicada manualmente



(fonte: elaborada pelo autor)

5.2 ENSAIOS NO ESTADO ENDURECIDO

Nesse item serão apresentados os resultados dos ensaios de caracterização no estado endurecido para as argamassas industrializadas que foram utilizadas neste trabalho.

5.2.1 Módulo de elasticidade dinâmico

A tabela 10 apresenta os valores do módulo de elasticidade dinâmico das argamassas. É possível observar que a argamassa aplicada manualmente apresentou elevado módulo de elasticidade dinâmico, conseqüentemente, apresentou valores inferiores de resistência de aderência à tração quando comparada com a argamassa projetada mecanicamente, como será visto no item 5.2.5. Cabe ressaltar que quanto maior o valor do módulo, menos deformável é a argamassa. Por outro lado, as argamassas que apresentam menor módulo de elasticidade, ou seja, são mais elásticas, as tensões de tração são baixas e praticamente constantes qualquer que seja a espessura da camada de argamassa (IOPPI, 2005).

Tabela 10 - Módulo de elasticidade dinâmico (E_d) para a argamassa projetada mecanicamente e manualmente aos 28 dias

Argamassa	Ed médio (GPa)	Desvio Padrão (GPa)	CV (%)
Projeção mecânica	6,78	0,33	4,89
Aplicação manual	10,48	0,24	2,34

(fonte: elaborada pelo autor)

5.2.2 Resistência à tração na flexão e à compressão

Os valores de resistência à tração na flexão e resistência à compressão, aos 28 dias de idade estão apresentados nas tabelas 11 e 12, onde é possível observar que as argamassas apresentaram comportamento semelhante na resistência à tração na flexão e à compressão.

De acordo com a NBR 13281 (ABNT, 2005), as argamassas avaliadas quanto a resistência à compressão, apresentam classificação P3 e quanto a resistência à tração na flexão, apresentam classificação R2.

Tabela 11 - Resistência à compressão da argamassa projetada mecanicamente e manualmente aos 28 dias

Resistência à Compressão				
Argamassa	Média (MPa)	DP (MPa)	CV (%)	Classificação NBR 13281 (ABNT, 2005)
Projeção mecânica	2,92	0,36	12,41	P3
Aplicação manual	2,67	0,17	6,19	P3

(fonte: elaborada pelo autor)

Tabela 12 - Resistência à tração na flexão da argamassa projetada mecanicamente e manualmente aos 28 dias

Resistência à Tração na Flexão				
Argamassa	Média (MPa)	DP (MPa)	CV (%)	Classificação NBR 13281 (ABNT, 2005)
Projeção mecânica	1,20	0,13	10,69	R2
Aplicação manual	1,22	0,22	18,44	R2

(fonte: elaborada pelo autor)

5.2.3 Absorção de água por capilaridade e coeficiente de capilaridade

A tabela 13 apresenta os valores de absorção de água por capilaridade e determinação do coeficiente de capilaridade, onde foi possível observar uma elevada absorção de água da argamassa projetada mecanicamente quando comparada a argamassa aplicada manualmente.

De acordo com a NBR 13281 (ABNT, 2005), a argamassa projetada mecanicamente classifica-se como C6 e a argamassa aplicada manualmente como C5.

Tabela 13 - Absorção de água e coeficiente de capilaridade aos 28 dias

Argamassa	A ₁₀ (g/cm ²)	A ₉₀ (g/cm ²)	C (g/dm ² .min ^{1/2})	C _{médio} (g/dm ² .min ^{1/2})	Desvio Padrão	CV (%)	Classificação NBR 13281 (ABNT, 2005)
Projeção mecânica	0,59	1,56	15,80	16,04	0,91	5,67	C6
	0,59	1,63	17,05				
	0,54	1,49	15,28				
Aplicação manual	0,27	0,59	5,19	5,56	0,22	3,95	C5
	0,27	0,62	5,58				
	0,28	0,63	5,56				

(fonte: elaborada pelo autor)

5.2.4 Densidade de massa aparente no estado endurecido

Os valores obtidos com o ensaio de densidade de massa no estado endurecido são apresentados na tabela 14 e de acordo com a NBR 13281 (ABNT, 2005) classificam-se como M5.

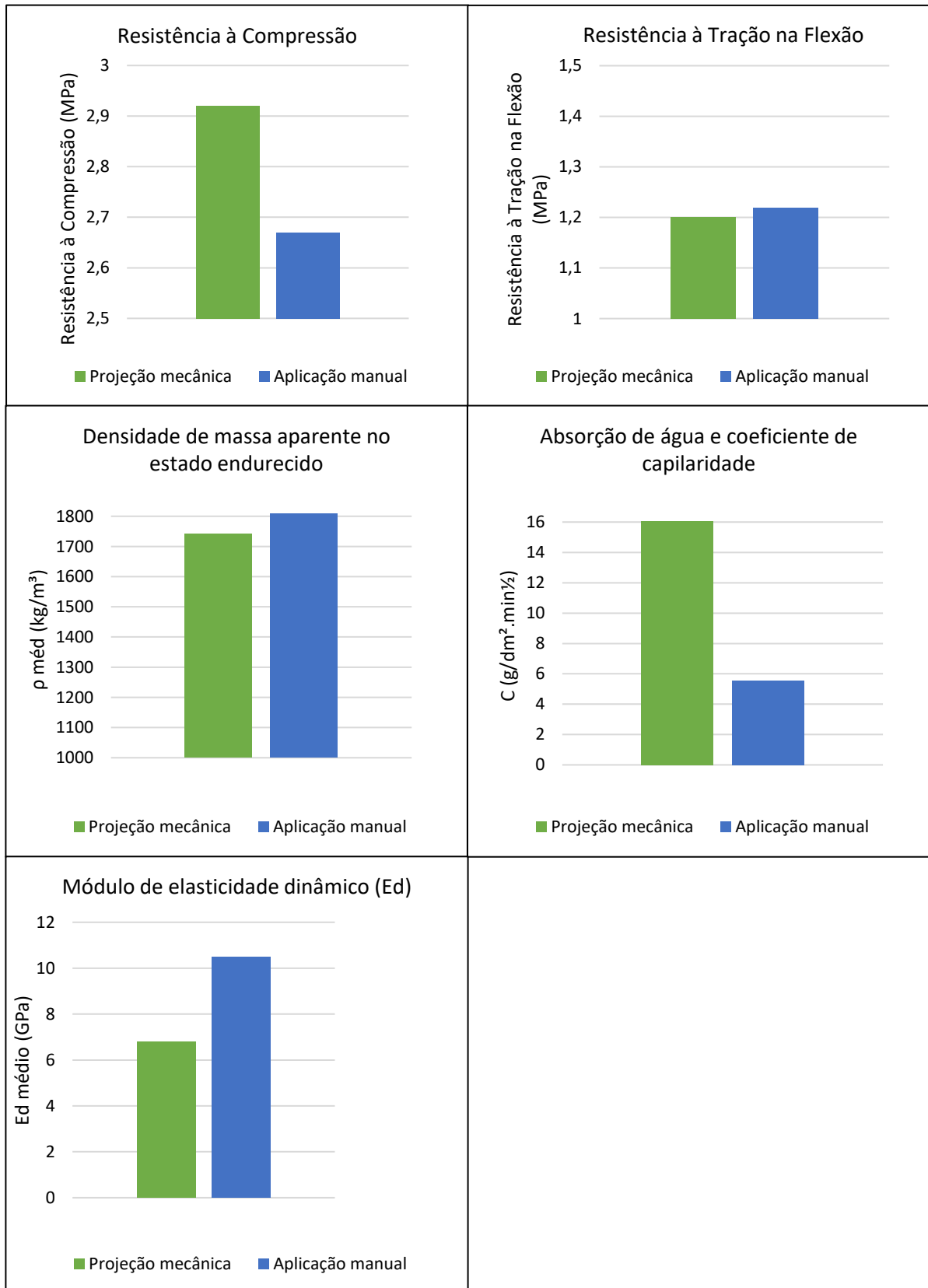
Tabela 14 - Densidade de massa aparente no estado endurecido aos 28 dias

Argamassa	ρ méd (kg/m ³)	Desvio Padrão	CV (%)	Classificação NBR 13281 (ABNT, 2005)
Projeção mecânica	1741,94	14,16	0,81	M5
Aplicação manual	1807,97	32,00	1,77	M5

(fonte: elaborada pelo autor)

A figura 42 apresenta um resumo dos resultados obtidos para a caracterização das argamassas no estado endurecido, com o intuito de facilitar o entendimento e a análise das propriedades das argamassas estudadas.

Figura 42 - Resumo dos resultados obtidos no estado endurecido para a argamassa projetada mecanicamente e para a argamassa aplicada manualmente



(fonte: elaborada pelo autor)

5.2.5 Resistência de aderência à tração

A tabela 15 apresenta os resultados de resistência de aderência à tração das 3 faixas de alturas em estudo, para a argamassa projetada mecanicamente, aos 28 dias de idade.

Tabela 15 - Resistência de aderência a tração para a argamassa projetada mecanicamente

Argamassa projetada mecanicamente														
Faixa	Número da Pastilha	d1 (mm)	d2 (mm)	dm (mm)	Área (mm²)	Tensão (MPa)	Tensão Corrigida (MPa)	Local do ensaio	Formas de ruptura					Critério de aceitação
									Ruptura no substrato	Ruptura interf. Subs/Argam	Ruptura na argamassa	Ruptura interf. argam/cola	Ruptura na interf. cola/past	
Superior	1	44,95	44,68	44,82	1577,4	0,63	0,78	Bloco						Aceito
	2	48,15	47,96	48,06	1813,7	0,79	0,86	Bloco						Aceito
	3	44,01	46,29	45,15	1601,1	0,72	0,88	Bloco						Aceito
	4	47,66	47,66	47,66	1784,0	0,44	0,48	Bloco						Aceito
	5	47,34	47,69	47,52	1773,2	0,47	0,52	Bloco						Aceito
	6	42,44	45,05	43,75	1503,0	0,68	0,89	Bloco						Aceito
	7	48,19	47,88	48,04	1812,2	0,86	0,93	Bloco						Aceito
	8	47,80	47,89	47,85	1797,9	0,75	0,82	Bloco						Aceito
	9	47,57	47,55	47,56	1776,5	0,4	0,44	Bloco						Aceito
	10	47,70	47,86	47,78	1793,0	0,58	0,64	Bloco						Aceito
	11	48,00	47,91	47,96	1806,2	0,59	0,64	Bloco						Aceito
	12	47,40	47,87	47,64	1782,1	0,36	0,40	Bloco						Aceito
	13	44,14	43,65	43,90	1513,3	0,5	0,65	Bloco						Aceito
Intermediária	1	47,39	47,36	47,38	1762,7	0,48	0,53	Bloco						Aceito
	2	45,89	46,06	45,98	1660,1	0,68	0,80	Bloco						Aceito
	3	47,77	48,24	48,01	1809,9	0,58	0,63	Bloco						Aceito
	4	48,77	48,10	48,44	1842,5	0,59	0,63	Bloco						Aceito
	5	45,72	47,36	46,54	1701,2	0,53	0,61	Bloco						Aceito
	6	47,69	47,71	47,70	1787,0	0,76	0,84	Bloco						Aceito
	7	45,53	45,78	45,66	1637,1	0,78	0,94	Bloco						Aceito
	8	47,26	47,70	47,48	1770,6	0,69	0,77	Bloco						Aceito
	9	47,02	47,25	47,14	1744,9	0,76	0,86	Bloco						Aceito
	10	46,00	46,34	46,17	1674,2	0,47	0,55	Bloco						Aceito
	11	46,53	47,36	46,95	1730,9	0,49	0,56	Bloco						Aceito
	12	47,59	47,78	47,69	1785,9	0,6	0,66	Bloco						Aceito
	13	48,07	48,22	48,15	1820,5	0,55	0,59	Bloco						Aceito
	14	44,69	44,44	44,57	1559,8	0,62	0,78	Bloco						Aceito
	15	46,52	46,50	46,51	1699,0	0,52	0,60	Bloco						Aceito
Inferior	1	48,26	48,05	48,16	1821,3	0,59	0,64	Bloco						Aceito
	2	42,25	45,05	43,65	1496,4	0,59	0,77	Bloco						Aceito
	3	48,12	48,00	48,06	1814,1	0,28	0,30	Bloco						Aceito
	4	37,76	47,83	42,80	1438,4	0,2	0,27	Bloco						Aceito
	5	45,23	42,92	44,08	1525,7	0,51	0,66	Bloco						Aceito
	6	48,28	47,94	48,11	1817,9	0,56	0,60	Bloco						Aceito
	7	38,46	47,19	42,83	1440,4	0,47	0,64	Bloco						Aceito
	8	48,06	48,07	48,07	1814,5	0,64	0,69	Bloco						Aceito
	9	47,89	48,16	48,03	1811,4	0,53	0,57	Bloco						Aceito
	10	47,72	46,60	47,16	1746,8	0,57	0,64	Bloco						Aceito
	11	47,49	48,10	47,80	1794,1	0,64	0,70	Bloco						Aceito
	12	48,22	48,48	48,35	1836,0	0,58	0,62	Bloco						Aceito
	13	48,33	47,26	47,80	1794,1	0,54	0,59	Bloco						Aceito
	14	44,89	45,76	45,33	1613,5	0,32	0,39	Bloco						Aceito

(fonte: elaborada pelo autor)

A tabela 16 apresenta os resultados de resistência de aderência à tração das 3 faixas de alturas em estudo, para a argamassa aplicada manualmente, aos 28 dias de idade.

Tabela 16 - Resistência de aderência a tração para a argamassa aplicada manualmente

Argamassa projetada manualmente															
Faixa	Número da Pastilha	d1 (mm)	d2 (mm)	dm (mm)	Área (mm ²)	Tensão (MPa)	Tensão Corrigida (MPa)	Local do ensaio	Formas de ruptura					Critério de aceitação	
									Ruptura no substrato	Ruptura interf. Subs/Argam	Ruptura na argamassa	Ruptura interf. argam/cola	Ruptura na interf. cola/past		
Superior	1	52,29	52,51	52,4	2156,5	0,21	0,19	Bloco						Não aceito	
	2	52,13	52,03	52,08	2130,3	0,28	0,26	Bloco						Aceito	
	3	52,14	52,28	52,21	2140,9	0,59	0,54	Bloco						Aceito	
	4	52,3	52,33	52,32	2149,5	0,28	0,26	Bloco						Aceito	
	5	51,97	51,82	51,9	2115,1	0,19	0,18	Bloco						Não aceito	
	6	52,34	52,34	52,34	2151,6	0,31	0,28	Bloco						Aceito	
	7	52,07	52,39	52,23	2142,5	0,69	0,63	Bloco						Aceito	
	8	52,1	51,81	51,96	2120,0	0,29	0,27	Bloco						Aceito	
	9	52,09	52,22	52,16	2136,4	0,48	0,44	Bloco						Aceito	
	10	52,3	52,43	52,37	2153,6	0,16	0,15	Bloco						Não aceito	
	11	52,48	52,3	52,39	2155,7	0,27	0,25	Bloco						Aceito	
	13	52,86	52,73	52,8	2189,1	0,22	0,20	Bloco						Não aceito	
	14	52,46	52,48	52,47	2162,3	0,64	0,58	Bloco						Aceito	
	15	54,04	50,24	52,14	2135,2	0,61	0,56	Bloco						Aceito	
	17	52,18	52,37	52,28	2146,2	0,57	0,52	Bloco						Aceito	
	18	52,69	52,63	52,66	2178,0	0,6	0,54	Bloco						Aceito	
	Intermediária	1	51,68	52,11	51,9	2115,1	0,35	0,32	Bloco						Aceito
		2	52,1	51,68	51,89	2114,7	0,66	0,61	Bloco						Aceito
3		48,16	51,37	49,77	1945,1	0,29	0,29	Bloco						Aceito	
4		52,2	50,65	51,43	2077,0	0,24	0,23	Bloco						Aceito	
5		52,12	52,44	52,28	2146,6	0,68	0,62	Bloco						Aceito	
6		52,71	52,38	52,55	2168,5	0,58	0,53	Bloco						Aceito	
7		52,22	52,08	52,15	2136,0	0,2	0,18	Bloco						Não aceito	
8		52,24	52,17	52,21	2140,5	0,32	0,29	Bloco						Aceito	
10		51,99	51,89	51,94	2118,8	0,42	0,39	Bloco						Aceito	
11		52,32	52,32	52,32	2149,9	0,3	0,27	Bloco						Aceito	
12		51,82	52,23	52,03	2125,8	0,22	0,20	Bloco						Aceito	
13		51,01	52,13	51,57	2088,7	0,39	0,37	Bloco						Aceito	
14		53,31	52,42	52,87	2195,0	0,72	0,64	Bloco						Aceito	
15		52,33	52,72	52,53	2166,8	0,36	0,33	Bloco						Aceito	
16		52,35	52,2	52,28	2146,2	0,38	0,35	Bloco						Aceito	
17		52,12	52,22	52,17	2137,6	0,51	0,47	Bloco						Aceito	
18		52,05	52,29	52,17	2137,6	0,55	0,51	Bloco						Aceito	
19		52,45	51,89	52,17	2137,6	0,17	0,16	Bloco						Não aceito	
Inferior		1	51,96	53,29	52,63	2175,1	0,54	0,49	Bloco						Aceito
	2	51,95	50,4	51,18	2056,9	0,1	0,10	Bloco						Não aceito	
	4	42,4	52,03	47,22	1750,9	0,32	0,36	Bloco						Aceito	
	5	46,94	40,94	43,94	1516,4	0,51	0,66	Bloco						Aceito	
	6	52,1	52,02	52,06	2128,6	0,54	0,50	Bloco						Aceito	
	7	52,35	51,49	51,92	2117,2	0,35	0,32	Bloco						Aceito	
	8	51,87	51,59	51,73	2101,7	0,43	0,40	Bloco						Aceito	
	9	52,08	51,84	51,96	2120,5	0,25	0,23	Bloco						Aceito	
	10	52,59	51,22	51,91	2116,0	0,37	0,34	Bloco						Aceito	
	11	50,12	51,89	51,01	2043,2	0,15	0,14	Bloco						Não aceito	
	12	52,16	51,94	52,05	2127,8	0,19	0,18	Bloco						Não aceito	
	13	52,08	51,76	51,92	2117,2	0,59	0,55	Bloco						Aceito	
	14	52,39	53,55	52,97	2203,7	0,11	0,10	Bloco						Não aceito	
	15	52,63	52,07	52,35	2152,4	0,3	0,27	Bloco						Aceito	
	16	52,29	52,72	52,51	2165,2	0,23	0,21	Bloco						Aceito	
	17	51,74	52,37	52,06	2128,2	0,23	0,21	Bloco						Aceito	
	18	52,24	52,17	52,21	2140,5	0,06	0,06	Bloco						Não aceito	

(fonte: elaborada pelo autor)

A tabela 17 apresenta o resumo dos resultados da média, desvio padrão e coeficiente de variação do ensaio de resistência de aderência à tração das 3 faixas de alturas em estudo, para a argamassa aplicada de forma manual e mecânica.

Tabela 17 - Dados estatísticos das faixas

		Faixa Superior	Faixa Interm.	Faixa Inferior
Aplicação Manual	Média (MPa)	0,28	0,34	0,27
	Desvio Padrão (MPa)	0,17	0,15	0,17
	Coef. de variação (%)	62,42	45,73	63,66
Projeção Mecânica	Média (MPa)	0,65	0,63	0,63
	Desvio Padrão (MPa)	0,19	0,13	0,15
	Coef. de variação (%)	28,61	20,31	23,81

(fonte: elaborada pelo autor)

A tabela 18 apresenta o comparativo de alguns dados já publicados de Fernandes (2012) e Costa e Silva (2013) sobre resistência de aderência à tração de revestimentos de argamassa testados em diferentes alturas e duas formas de aplicação da argamassa, a forma tradicional manual e a projetada mecanicamente, com os dados obtidos nesta pesquisa. É possível observar que a argamassa projetada mecanicamente, no âmbito da aderência dos revestimentos, tem apresentado melhores resultados quando comparada à projeção manual.

Tabela 18 - Dados de resistência de aderência à tração de diferentes alturas de aplicação do revestimento

Argamassa	Faixa	Autores		
		Fernandes (2012)	Costa e Silva (2013)	Dal Bello (2017)
Projeção mecânica	Faixa superior	0,33 MPa	0,36 MPa	0,65 MPa
	Faixa intermediária	0,37 MPa	0,41 MPa	0,63 MPa
	Faixa inferior	0,38 MPa	0,41 MPa	0,63 MPa
Aplicação manual	Faixa superior	-	0,28 MPa	0,28 MPa
	Faixa intermediária	-	0,25 MPa	0,34 MPa
	Faixa inferior	-	0,3 MPa	0,27 MPa

(fonte: elaborada pelo autor)

De acordo com Gonçalves (2004), a resistência de aderência entre a argamassa e o substrato relaciona a interação de diferentes propriedades e características dos dois materiais. É de se esperar altos coeficientes de variação, visto que argamassas variam de composição e substratos

convencionais apresentam elevada variabilidade quanto a sucção. Desta forma, não se deve aceitar a média como parâmetro de referência, visto que os resultados apresentam alta variabilidade. No entanto, ainda não existe um consenso de como encarar um conjunto de dados tão dispersos.

Scartezini (2002) confirmou em sua dissertação de mestrado que independentemente do tipo e do preparo do substrato, os valores de resistência aderência dos corpos de prova obtidos sobre as juntas de assentamento são estatisticamente diferentes e superiores aos resultados obtidos pelos corpos de prova localizados sobre os blocos, tornando-se necessário tratar tais dados separadamente. O que efetivamente aconteceu para este trabalho, pois todos os corpos de prova foram posicionados no bloco, porém, mesmo não ocorrendo rupturas nas juntas de assentamento dos blocos cerâmicos, para ambas argamassas avaliadas, foram obtidos altos coeficientes de variação.

Desta forma, optou-se por realizar uma análise de variância (ANOVA) de todos os resultados obtidos para as duas paredes analisadas, com 95% de confiança, no Software Estatística 7, verificou-se que o sistema utilizado para aplicação da argamassa influenciou significativamente nos valores obtidos de resistência de aderência à tração e a altura de aplicação do revestimento, com Fator p igual a 4,62%, foi estatisticamente significativa nos valores obtidos (tabela 19).

Tabela 19 - Análise estatística do ensaio de resistência de aderência à tração para as duas paredes analisadas

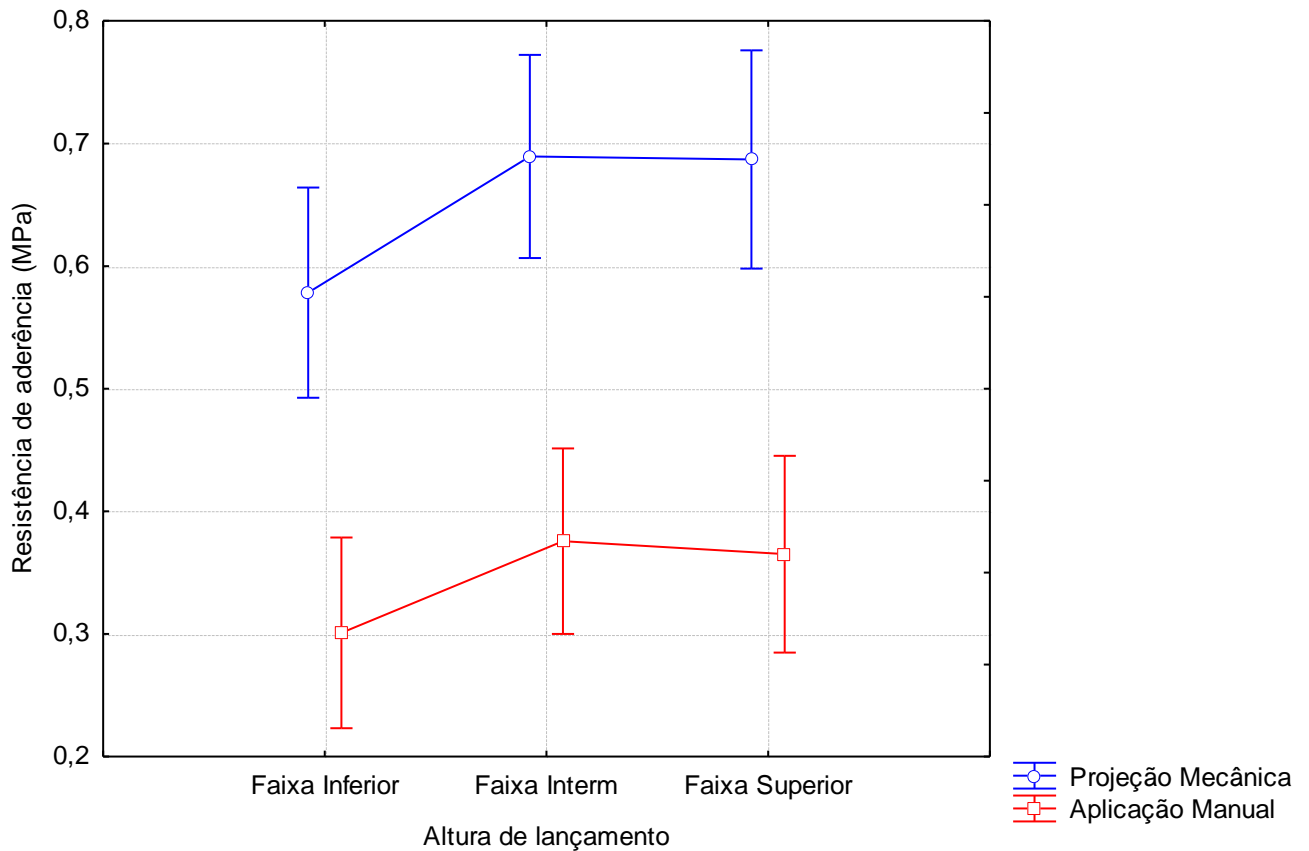
	SQ	GDL	MQ	Fcalc	Fator p	Significativo
Tipo de aplicação	2,12711	1	2,12711	81,6524	0,000000	Sim
Altura	0,16596	2	0,08298	3,1854	0,046228	Sim
Tipo de aplicação*Altura	0,00848	2	0,00424	0,1627	0,850095	Não
Erro	2,26642	87	0,02605			

SQ: soma quadrática; GDL: graus de liberdade; MQ: média quadrática; Fcalc: valor calculado de F

(fonte: elaborada pelo autor)

A figura 43 mostra esta diferença entre as diferentes técnicas de aplicação, sendo que a projeção mecânica apresentou valores significativamente superiores à aplicação manual.

Figura 43 - Influência da altura de lançamento da argamassa e da forma de projeção na resistência de aderência à tração



(fonte: elaborada pelo autor)

Visando analisar todas as interações que ocorreram entre as argamassas estudadas, realizou-se uma análise múltipla de médias, através do método de Fisher no programa Statistica 7. A tabela 20 apresenta a análise realizada com todos os dados das diferentes faixas de aplicação, onde é possível observar que as resistências de aderência à tração são estatisticamente iguais, quando compara-se a mesma argamassa aplicada em faixas diferentes. Comparando-se argamassas diferentes, todas apresentaram-se estatisticamente diferentes entre si.

Tabela 20 - Comparação múltipla de médias pelo método de Fisher das diferentes faixas de aplicação do revestimento

Argamassa	1	2	3	4	5	6
1 Mekan – F. Inf		0,067522	0,084186	0,000008	0,000681	0,000509
2 Mekan – F. Inter	0,067522		0,968270	0,000000	0,000000	0,000000
3 Mekan – F. Sup	0,084186	0,968270		0,000000	0,000001	0,000001
4 Manual – F. Inf	0,000008	0,000000	0,000000		0,174195	0,256931
5 Manual – F. Inter	0,000681	0,000000	0,000001	0,174195		0,848426
6 Manual – F. Sup	0,000509	0,000000	0,000001	0,256931	0,848426	

(fonte: elaborada pelo autor)

As tabelas 21 e 22 apresentam a análise de variância da influência da altura de projeção quando as paredes são comparadas separadamente. Com os dados obtidos, é possível confirmar o que já havia sido verificado na análise múltipla de médias, que tanto para a parede que recebeu projeção mecânica, quanto a parede que recebeu aplicação manual, quando analisadas separadamente, a altura de projeção do revestimento não foi significativa.

Tabela 21 - Análise estatística da influência da altura no ensaio de resistência de aderência à tração para a parede com projeção mecânica

	SQ	GDL	MQ	Fcalc	Fator p	Significativo
Altura	0,11278	2	0,05639	2,3573	0,108033	Não
Erro	0,93295	39	0,02392			

SQ: soma quadrática; GDL: graus de liberdade; MQ: média quadrática; Fcalc: valor calculado de F

(fonte: elaborada pelo autor)

Tabela 22 - Análise estatística da influência da altura no ensaio de resistência de aderência à tração para a parede com aplicação manual

	SQ	GDL	MQ	Fcalc	Fator p	Significativo
Altura	0,056148	2	0,028074	1,0106	0,371630	Não
Erro	1,333472	48	0,027781			

SQ: soma quadrática; GDL: graus de liberdade; MQ: média quadrática; Fcalc: valor calculado de F

(fonte: elaborada pelo autor)

De acordo com o relatório de pesquisa do laboratório NORIE/LAMTAC da UFRGS, onde paredes internas receberam projeção mecânica contínua e foram avaliadas no canteiro de obras quanto a resistência de aderência à tração, em três diferentes alturas e não tiveram acompanhamento, foi possível concluir a partir dos dados, que a variabilidade dos resultados não permitiu a identificação de diferenças significativas entre os valores nas diferentes alturas

de projeção. Por outro lado, para este trabalho onde ocorreu acompanhamento das paredes avaliadas, foi possível identificar uma diferença estatística nos valores de resistência de aderência à tração por faixa de altura de projeção devido à redução na variabilidade dos resultados de aderência, oriundos possivelmente pela projeção específica do revestimento para este estudo. Portanto, mesmo obtendo um Fator p igual a 4,62% neste trabalho, a influência da altura de projeção do revestimento na resistência de aderência à tração é inconclusiva.

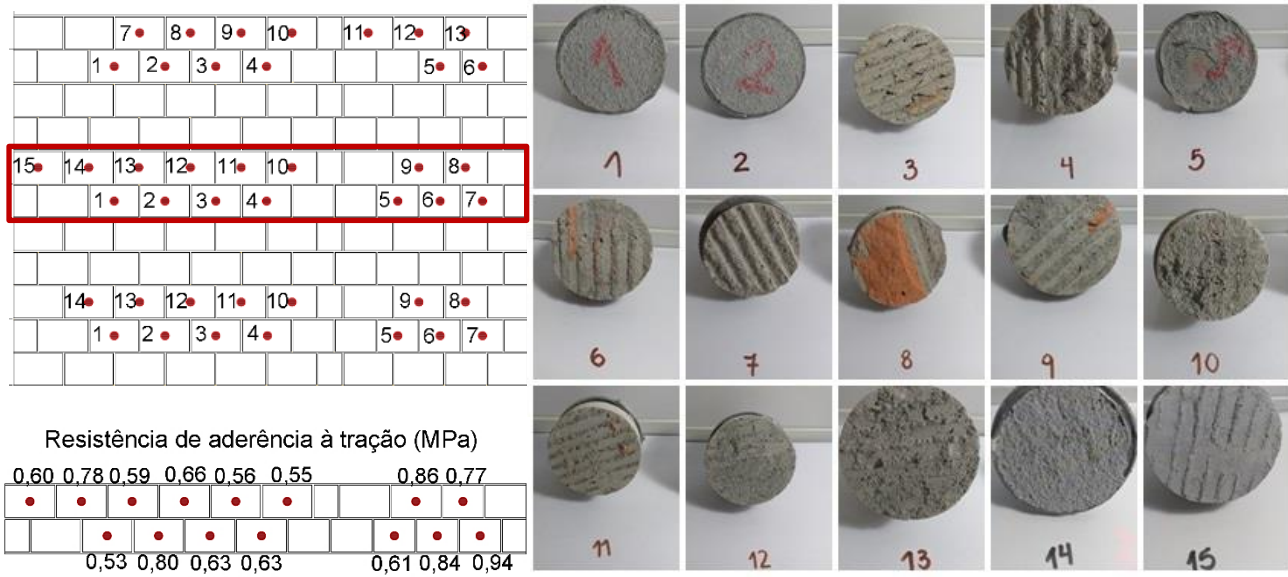
5.2.5.1 Aspecto visual das rupturas do ensaio de aderência

Nesse item serão apresentados os levantamentos fotográficos realizados com cada pastilha após o arrancamento das mesmas.

5.2.5.1.1 Argamassa projetada mecanicamente

A figura 44 apresenta as formas de ruptura dos corpos de prova extraídos da faixa inferior da parede a qual apresentou predominantemente rupturas na interface entre a argamassa e o substrato e rupturas na argamassa. Cabe ressaltar também que corpo de prova número 4 foi o que apresentou a menor resistência de aderência entre todas as faixas para a argamassa projetada mecanicamente (0,27 MPa), provavelmente devido a existência de uma fissura.

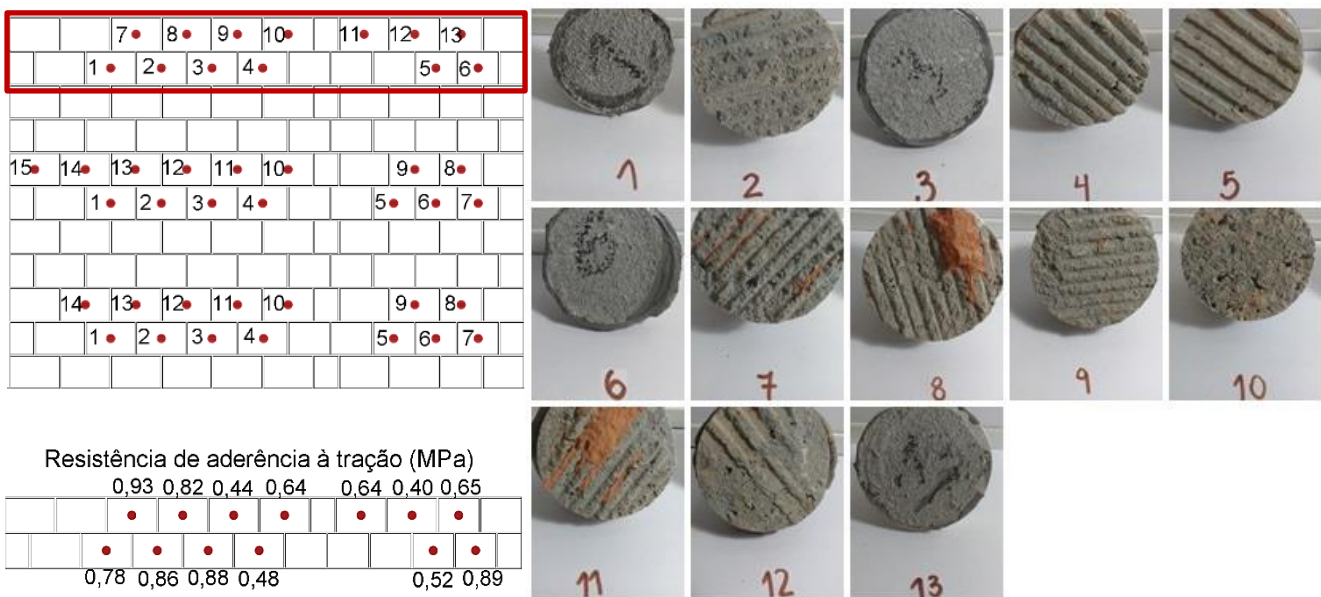
Figura 45 – Aspecto visual dos corpos de prova do revestimento aplicado com projeção mecanizada extraídos da faixa intermediária da parede



(fonte: elaborada pelo autor)

A figura 46 apresenta formas de ruptura dos corpos de prova extraídos da faixa superior da parede, a qual apresentou 3 formas de rupturas, sendo elas na argamassa, na interface substrato/argamassa e ruptura no substrato.

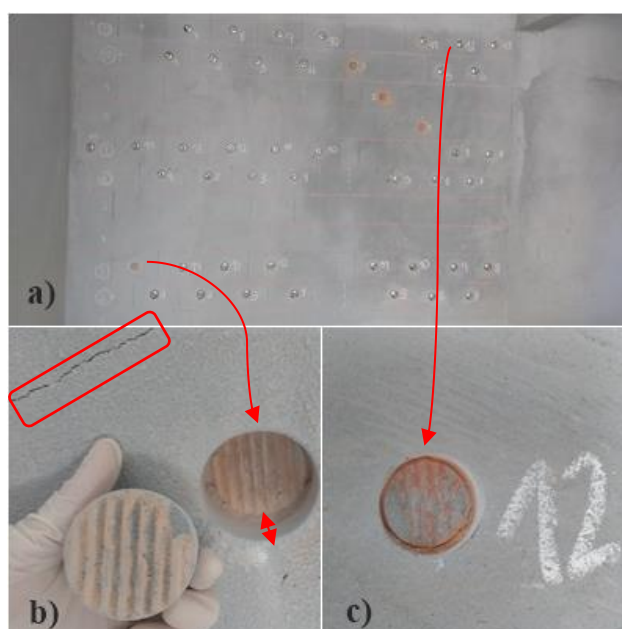
Figura 46 - Aspecto visual dos corpos de prova extraídos do revestimento aplicado com projeção mecanizada da faixa superior da parede



(fonte: elaborada pelo autor)

Para os corpos de prova extraídos nas extremidades superior e inferior da parede, havia uma diferença significativa de espessura como mostra a figura 47 (b) e (c) indicando um possível desaprumo da parede e a utilização do revestimento de argamassa como forma de correção. Outro fator observado foi a presença de fissuras na parede, possivelmente por retração na secagem, como a figura 47 (b) apresenta. O corpo de prova apresentado na figura 47 (b) pertence à faixa inferior e houve ruptura do corpo de prova na interface argamassa-substrato durante a execução do furo na parede com a serra copo.

Figura 47 - Irregularidades encontradas na parede projetada mecanicamente. (a) Localização dos corpos de prova da parede com projeção mecânica; (b) Ruptura do corpo de prova durante a execução do furo com a serra copo; (c) Espessura reduzida da parede na parte superior.



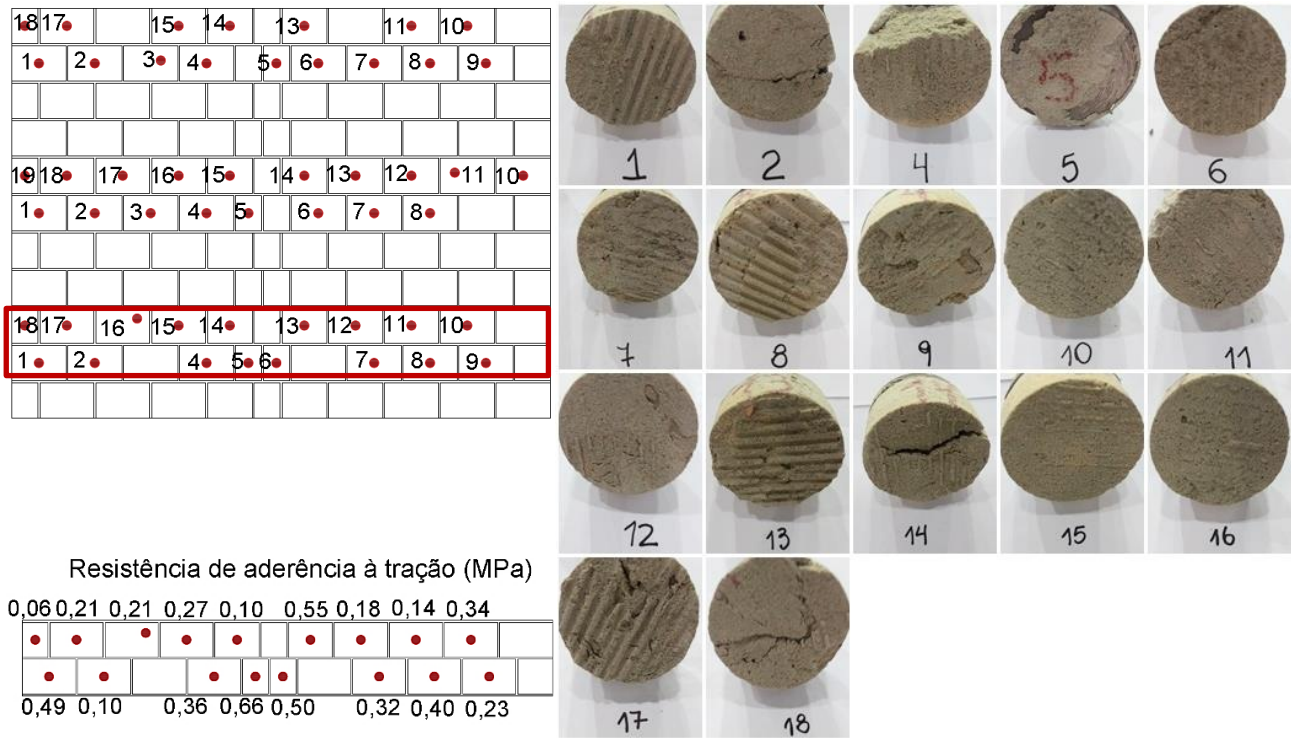
(fonte: elaborada pelo autor)

5.2.5.1.2 Argamassa aplicada manualmente

A figura 48 apresenta as formas de ruptura dos corpos de prova extraídos da faixa inferior da parede, a qual apresentou 2 formas de rupturas, sendo elas a ruptura na interface entre o bloco e a argamassa e a ruptura na argamassa. A resina epóxi utilizada foi eficiente em todos os corpos de prova, com exceção do corpo de prova número 5 em que uma parte próxima à borda da pastilha não foi coberta pela resina, porém, mesmo com o erro, a resistência de aderência do corpo de prova número 5 foi de 0,66 MPa. O corpo de prova número 18 foi o que apresentou a

menor resistência de aderência dentre todas as faixas para a argamassa projetada manualmente (0,06 MPa).

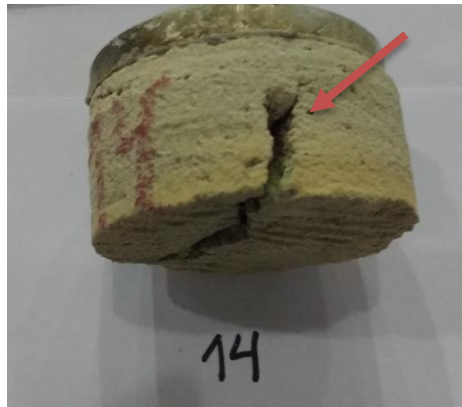
Figura 48 -Aspecto visual dos corpos de prova extraídos do revestimento aplicado manualmente da faixa inferior da parede



(fonte: elaborada pelo autor)

Outro fator observado em alguns corpos de prova, como no corpo de prova número 14 que obteve 0,10 MPa de resistência de aderência à tração, não atingindo a resistência mínima prevista em norma, foi a ausência de argamassa em espaços consideravelmente grandes (figura 49), muito provavelmente devido à falta de energia no momento de aplicação e pela posição do revestimento estar numa faixa ergonomicamente desfavorável para o operador.

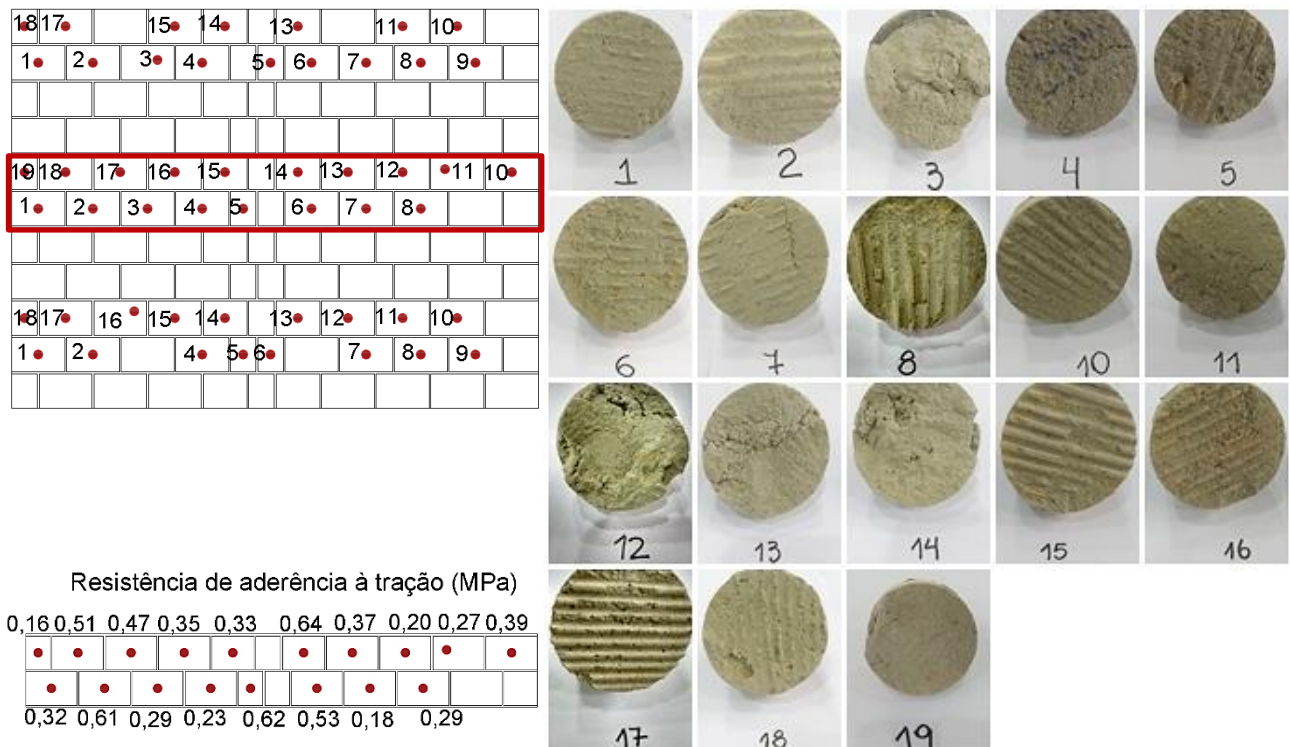
Figura 49 - Aspecto visual do corpo de prova extraído da faixa inferior



(fonte: elaborada pelo autor)

A figura 50 apresenta as formas de ruptura dos corpos de prova extraídos da faixa intermediária da parede, a qual apresentou 2 formas de rupturas, sendo elas a ruptura na interface entre o bloco e a argamassa e a ruptura na argamassa. Para a faixa intermediária, dentre os corpos de prova ensaiados, o corpo de prova número 19 foi o que apresentou a menor resistência de aderência à tração (0,16 MPa).

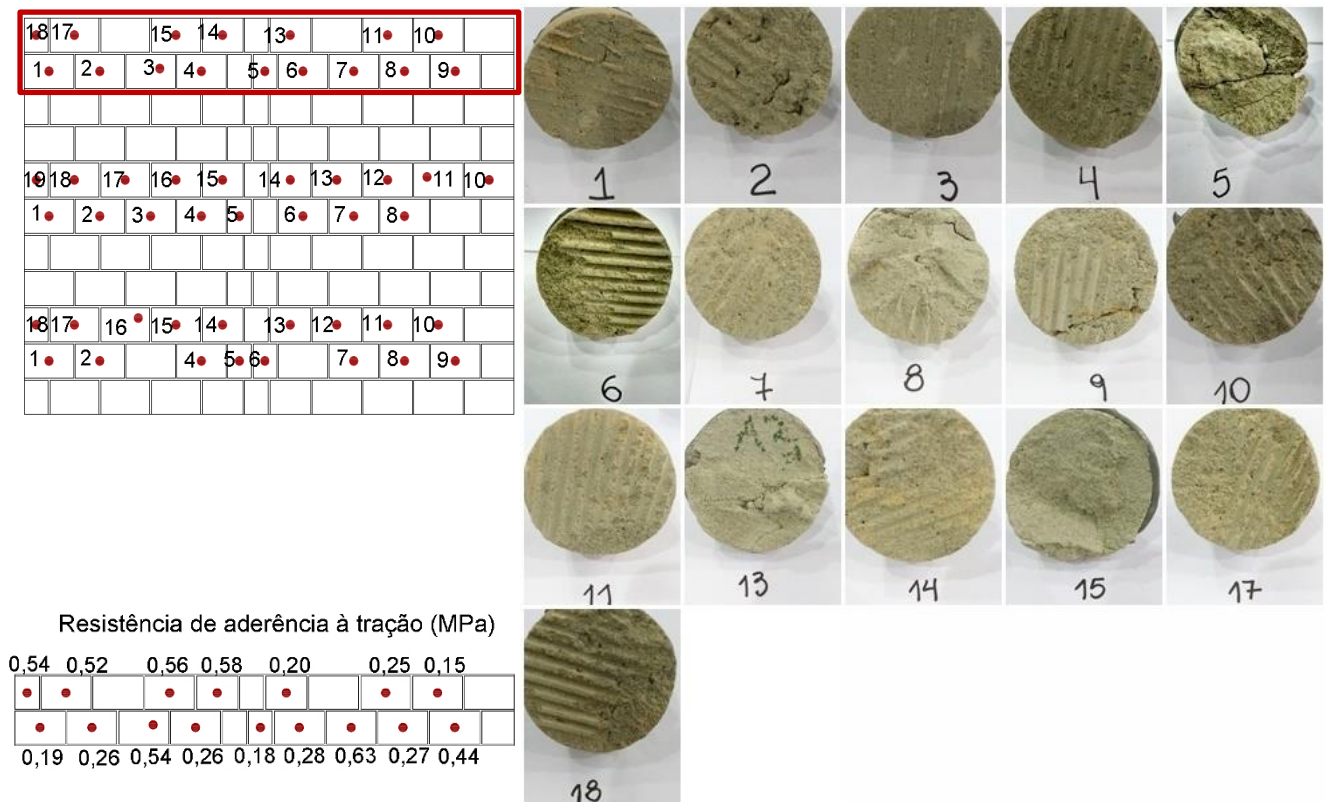
Figura 50 - Aspecto visual dos corpos de prova extraídos do revestimento aplicado manualmente da faixa intermediária da parede



(fonte: elaborada pelo autor)

A figura 51 apresenta as formas de ruptura dos corpos de prova extraídos da faixa superior da parede, a qual apresentou 2 formas de rupturas, sendo elas a ruptura na interface entre o bloco e a argamassa e a ruptura na argamassa. Para a faixa intermediária, dentre os corpos de prova ensaiados, o corpo de prova número 10 foi o que apresentou a menor resistência de aderência à tração (0,15 MPa).

Figura 51 - Aspecto visual dos corpos de prova extraídos do revestimento aplicado manualmente da faixa superior da parede

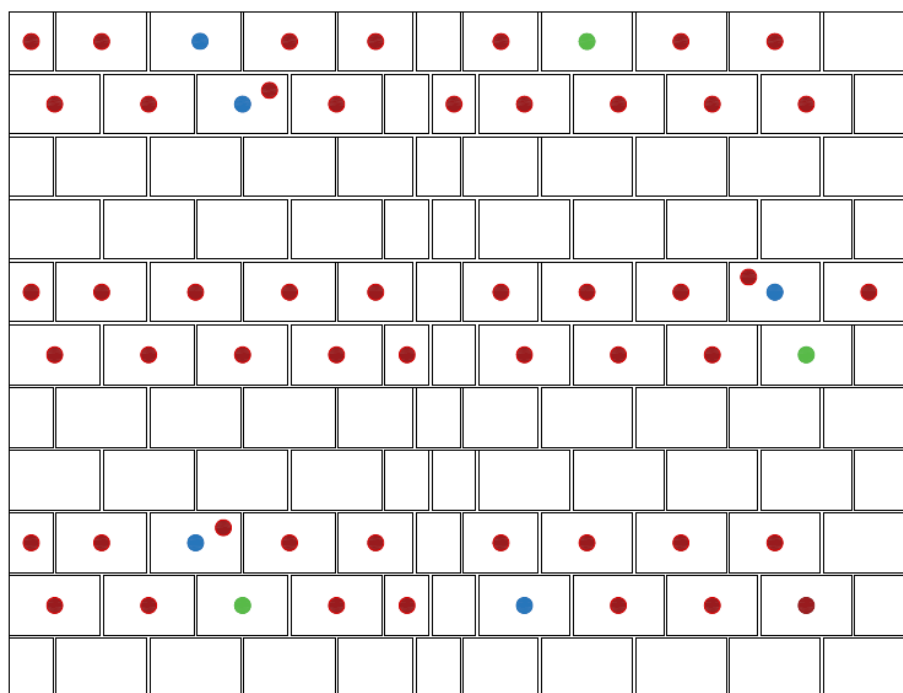


(fonte: elaborada pelo autor)

Para a realização do ensaio de aderência em obra, foram encontradas algumas dificuldades. A figura 50 apresenta em vermelho as pastilhas que realmente foram efetivas para a realização do ensaio. Os círculos em azul representam as pastilhas que caíram no momento da perfuração da serra copo na parede ensaiada, para isso foram feitos furos auxiliares próximos, tomando cuidado para deixar no mínimo 50 mm entre um furo e outro, conforme recomendações normativas.

Conforme descrito na metodologia, após 24 horas da aplicação da resina epóxi na pastilha, realizou-se o arracamento. No decorrer deste período de tempo, algumas pastilhas foram encontradas caídas no dia seguinte para a realização do arracamento, tais pastilhas estão representadas através de círculos verde na figura 52.

Figura 52 - Pastilhas efetivas e não efetivas



- Pastilhas efetivas
- Corpos de prova que caíram durante a perfuração
- Pastilhas encontradas caídas no dia seguinte

(fonte: elaborada pelo autor)

5.2.5.1.3 Umidade das paredes

Para a determinação da umidade, foram extraídos 3 testemunhos de cada parede e foram acondicionados em um recipiente de modo que não permitisse trocas de umidade entre o testemunho e o ambiente. Os testemunhos foram pesados e em seguida foram colocados em uma estufa de aproximadamente 100 °C até atingirem massa constante. Cabe ressaltar que a extração dos testemunhos para a verificação da umidade ocorreu com o revestimento aos 27 dias.

A tabela 23 apresenta a umidade média das paredes ensaiadas. É possível observar que a parede que recebeu aplicação manual apresentou um maior valor de umidade quando comparada com a parede que recebeu projeção mecânica.

Tabela 23 - Umidade média das paredes ensaiadas

	Extração dos testemunhos	Idade do revestimento	Umidade média (%)	Desvio padrão (%)	CV (%)
Parede com projeção Mecânica	23/08/2016	27 dias	2,05	0,54	26,29
Parede com aplicação Manual	09/03/2017	27 dias	3,68	0,15	4,18

(fonte: elaborada pelo autor)

Optou-se pela realização do ensaio de resistência de aderência à tração nas paredes internas da obra em análise para que a temperatura externa não fosse um fator de influência. Inicialmente, para este trabalho estava previsto a realização dos ensaios em um curto período de tempo, para que não houvesse grande variação na temperatura externa. Mesmo tomando todos os cuidados para a escolha das paredes, devido a questões de logística da obra, só foi possível realizar os ensaios em épocas do ano bem distintas, ou seja, a parede que recebeu acabamento projetado recebeu o revestimento no inverno e a parede com aplicação manual recebeu o revestimento no verão.

A tabela 24 apresenta as temperaturas máximas e mínimas e a umidade relativa média do dia em que foram extraídos os testemunhos. É possível observar grande variação nas temperaturas, porém os valores de umidade relativa média foram praticamente iguais.

A parede que recebeu revestimento projetado mecanicamente, mesmo com temperaturas relativamente baixas, obteve menor percentual de umidade, principalmente devido ao fato da parede estar localizada no 14º pavimento enquanto a parede que recebeu revestimento aplicado manualmente, mesmo com temperaturas elevadas, apresentou o maior percentual de umidade devido ao fato da parede estar localizada no pavimento térreo e conseqüentemente estar sujeita à infiltrações de umidade do terreno, por meio da capilaridade.

Tabela 24 - Dados meteorológicos nos dias de extração dos testemunhos

	Temperatura máxima (°C)	Temperatura mínima (°C)	Umidade Relativa Média (%)
23/08/2016	22,5	6,0	60,5
09/03/2017	34,2	23,6	62,0

(fonte: Instituto Nacional de Meteorologia)

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste último capítulo deste trabalho são apresentadas as conclusões do trabalho e as recomendações para estudos futuros, sintetizando as contribuições desta pesquisa para a resistência de aderência à tração de paredes internas envolvendo duas formas de aplicação do revestimento amplamente difundidas.

6.1 CONCLUSÕES

O trabalho contemplou a análise do desempenho mecânico no ponto de vista da aderência dos revestimentos de dois métodos de aplicação de argamassa amplamente utilizados atualmente, quando aplicados em blocos cerâmicos de paredes internas.

A partir da análise dos resultados obtidos com a realização dos ensaios de resistência de aderência à tração através do arrancamento, foi possível observar que a parede que recebeu projeção mecânica com argamassa específica para projeção, todos os corpos de prova atenderam a resistência de aderência mínima exigida por norma, sendo que, a parede que recebeu revestimento aplicado de forma manual, com argamassa específica para aplicação manual apresentou 21,57% dos corpos de prova com valores de aderência inferiores aos mínimos estabelecidos pela norma e além disso, os resultados foram muito variáveis.

Este trabalho permitiu concluir através da ANOVA, que para a análise de uma mesma argamassa e a sua respectiva forma de aplicação, que a altura de aplicação do revestimento não foi significativa. Porém, comparando as duas argamassas distintas e as formas de aplicação do revestimento, foi possível concluir através dos dados obtidos, que o tipo de aplicação do revestimento exerce grande influência nos resultados finais de resistência de aderência à tração.

6.1 RECOMENDAÇÕES PARA ESTUDOS FUTUROS

Embora este trabalho tenha fornecido contribuições que colaboraram para um melhor entendimento da resistência de aderência à tração de revestimentos quando aplicados com projeção mecânica contínua e manualmente, sugere-se a realização de outros estudos que venham gerar conhecimentos para melhorias nesse processo:

- a) em campo, analisar a produtividade e o custo para aplicação do revestimento com projeção mecânica contínua e manual tradicional para uma mesma área ou unidade.
- b) em campo, analisar a resistência de aderência à tração em paredes com acompanhamento e sem acompanhamento durante a aplicação do revestimento.
- b) em laboratório, analisar a resistência de aderência à tração utilizando uma mesma argamassa para as duas formas de aplicação do revestimento, desde que a argamassa utilizada satisfaça as propriedades exigidas para a sua aplicação com projeção mecânica e manual tradicional.

REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM C 67 – 83** - Standard Method of Sampling and Testing Brick and Structural Claytile, 1983.

ASANO, N. E. **Tecnologia construtiva de revestimento externo de argamassa com projeção contínua**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Manual de revestimentos de argamassa**. [S. I.]: 2002. Paginação irregular. Disponível em: <<http://www.comunidadeconstrucao.com.br/upload/ativos/279/anexo/ativosmanu.pdf>>. Acesso em: 2 nov. 2016.

ASOCIACIÓN MERCOSUR DE NORMALIZACIÓN. **NM 47: 02**: Determinação do teor de ar em concreto fresco – Método pressométrico. [s. l.], 2002

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13276**: argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Preparo da mistura e determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2005a.

_____. **NBR 13277**: argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da retenção de água. Rio de Janeiro, 2005b.

_____. **NBR 13278**: Argamassa para assentamento de paredes e tetos – Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado. Rio de Janeiro: ABNT, 1995.

_____. **NBR 13279**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

_____. **NBR 13280**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 13281**: argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Requisitos. Rio de Janeiro, 2005d.

_____. **NBR 13528**: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Determinação da resistência de aderência à tração. Rio de Janeiro, 2010.

_____. **NBR 13529:** Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Terminologia. Rio de Janeiro, 2013.

_____. **NBR 13749:** Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Especificação. Rio de Janeiro, 2013.

_____. **NBR 15259:** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 15270:** Parte 1: Blocos cerâmicos para alvenaria de vedação - Terminologia e requisitos. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 15270:** Parte 3: Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural e de vedação – Métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 15630:** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – determinação do módulo de elasticidade dinâmico através da propagação de onda ultrasônica. Rio de Janeiro, 2008.

_____. **NBR 15839:** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Caracterização reológica pelo método squeeze-flow. Rio de Janeiro: ABNT, 2010.

AUSTIN, S. (Ed.). **Sprayed concrete technology**. CRC Press, 2002. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIAIS. p. 225-226

BAÍA, L. L. M.; SABBATINI, F. H. **Projeto e execução de revestimento de argamassa. Série: Primeiros passos da qualidade no canteiro de obras**. São Paulo. O Nome da Rosa, 2000. 82p.

CARASEK, H. **Aderência de argamassas à base de cimento portland a substratos porosos: avaliação dos fatores intervenientes e contribuição ao estudo do mecanismo da ligação**. São Paulo, 1996

CARASEK, H.; DJANIKIAN, J. G. **Aderência de argamassas a base de cimento Portland a unidades de alvenaria**. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, São Paulo: EPUSP. Departamento de Engenharia de Construção Civil, 1997.

CARASEK, H.; CASCUDO, O. & SCARTEZINI, L. M. **Importância dos materiais na aderência dos revestimentos de argamassas.** Brasília, IV SBTA, 2001.

CARDOSO, F. A.; PILEGGI, R. G.; JOHN, V. M. **Caracterização reológica de argamassas pelo método de squeeze-flow.** In: Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas, 6. International Symposium on Mortars Technology, 1. 2005. Anais, Florianópolis, VIII SBTA, 2005, p.121-143.

CECHIN, G. **Influência de equipamentos de projeção e variáveis de baixo controle no comportamento de argamassa projetada.** Porto Alegre. 2016. 172 f. Qualificação de mestrado (Pós-graduação) – Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.

CICHINELLI, G. C.; PROJETADO, Acabamento. **Projeção de argamassas aumenta produtividade e qualidade dos revestimentos: conheça os principais cuidados para usá-la corretamente e alguns produtos disponíveis.** Revista Técnica, v. 158, 2010.

CINCOTTO, M. A.; SILVA, M. A. C.; CARASEK, H. **Argamassas de revestimento: características, propriedades e métodos de ensaio.** São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas (Publicação IPT 2378), 1995. Boletim Técnico 68 IPT.

COSTA, E. B. C. **Investigação do método de ensaio de determinação da resistência de aderência de revestimentos de argamassa.** 2007. 205f. Dissertação (mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2007.

COSTA, E. B. C.; CARASEK, H. **Influência dos parâmetros de ensaio na determinação da resistência de aderência de revestimentos de argamassa.** ANTAC – Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 9, n. 4, p. 17-35, 2009. Disponível em: <<http://seer.ufrgs.br/ambienteconstruido/article/view/9480/7077>>. Acesso em: 20 nov. 2016.

COSTA, E. B. C. **Análise de parâmetros influentes na aderência de matrizes cimentícias.** 2014. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo

CRESCÊNCIO, R. M. et al. **Execução de revestimentos com argamassa projetada.** ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, v. 8, p. 1067-1074, 2000.

DUAILIBE, R. P.; CAVANI, G. de R.; OLIVEIRA, M. C. B. **Influência do tipo de projeção da argamassa na resistência de aderência à tração e permeabilidade à água.** SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DE ARGAMASSAS, v. 6, p. 508-517, 2005

FERNANDES, W. L. **Desempenho mecânico de revestimento interno de parede produzido com argamassa projetada aplicado sobre blocos cerâmicos lisos.** 2012. 73 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

GONÇALVES, S. R. de C. **Variabilidade e fatores de dispersão da resistência de aderência nos revestimentos em argamassa—estudo de caso.** Brasília, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, 2004

GROSSI, M. F. **Aderência de Revestimento em Argamassa Cimentícia: influência do substrato nas resistências de aderência dos revestimentos** 2014. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2014.

IOPPI, P. R.; PRUDÊNCIO JR, L. R.; IRIYAMA, W. J. **Estudo da absorção inicial de substratos de concreto: Metodologia de Ensaio e Influência na aderência das argamassas de revestimento.** Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas. Anais... Goiânia, ANTAC, p. 93-104, 1995.

ISAIA, G. C. **Materiais de Construção civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais.** In: CARASEK, H. **Materiais Compósitos de Aglomerantes Minerai: Argamassas.** São Paulo, Ibracon, 2007, vol. 2. Capítulo 26, p. 870-904.

LEA, F. M. **The Chemistry of Cement and Concrete,** Chemical Publishing Company, Inc., New York, 1971, p. 596.

LEAL, F. E. C. B. **Estudo do desempenho do chapisco como procedimento de preparação de base em sistemas de revestimento.** 2003. 101p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade de Brasília, Brasília.

MACIEL, L. L.; BARROS, M. M. S. B.; SABBATINI, F. H. **Recomendações para a execução de revestimentos de argamassa para paredes de vedação internas e exteriores e tetos.** São Paulo: EPUSP, 1998

- MAIDL, B. R. **Equipment for the Production of Sprayed Concrete**. In: AUSTIN, S. A.;
- MARTINELLI, F. A. **Contribuição ao estudo de dosagem das argamassas mistas destinadas ao assentamento e revestimento de alvenarias**. São Paulo, EPUSP, 1989, Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção Civil) - CPGECC/Escola Politécnica da USP.
- MASUERO, A. B.; STOLZ, C. M.; ANTUNES, G. R. Análise da Influência do Equipamento Utilizado no Ensaio de Resistência de Aderência à Tração. In: **CONGRESSO PORTUGUÊS DE ARGAMASSAS**. 2012.
- MASUERO, A. B. **Relatório de pesquisa**. 2016
- MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M.; CARMONA FILHO, A. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais**. Pini, 1994.
- PARAVISI, S. **Avaliação de sistemas de produção de revestimentos de fachada com aplicação mecânica e manual de argamassa**. 2008. 179 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- PRETTO, M. E. J. **Influência da rugosidade gerada pelo tratamento superficial do substrato de concreto na aderência do revestimento de argamassa**. 2007.
- RELATÓRIO DE PESQUISA; NORIE/LAMTAC - Laboratório de Materiais e Tecnologia do Ambiente Construído – UFRGS
- RIZZATTI, E. et al. **Tipologia de blocos cerâmicos estruturais: influência da geometria dos blocos no comportamento mecânico da alvenaria**. Revista Matéria, v. 16, n. 2, p. 730-746, 2011.
- ROBINS, P. J. (Eds.). **Sprayed Concrete: properties, design and application**. New York: McGraw-Hill, 1995.
- ROSELLÓ, M. T. V. **Morteros de cemento para albanileria**. Patronato de Investigación Científica y Técnica" Juan de la Cierva" del Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Instituto Eduardo Torroja de la Construcción y del Cemento, 1976.

SABBATINI, F. H. **Desenvolvimento de métodos, processos e sistemas construtivos**. São Paulo, 1989. Tese (doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

SABBATINI, F. H.; BAÍA, L. L. M. **Projeto e execução de revestimento de argamassa**. 2. ed. São Paulo: O Nome da Rosa, 2000.

SANTOS, C. C. N. **Critérios de projetabilidade para argamassas industrializadas de revestimento utilizando bomba de argamassa com eixo helicoidal**. Brasília, 2003. 138 p. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia)–Universidade de Brasília, UnB.

SCARTEZINI, L. M. B. **Influência do tipo e preparo do substrato na aderência dos revestimentos de argamassa: estudo da evolução ao longo do tempo, influência da cura e avaliação da perda de água da argamassa fresca**. 2002. 262p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2002.

SELMO, S. M. S. **Dosagem de argamassas de cimento portland e cal para revestimento externo de fachadas dos edifícios**. 1989. 251 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) -Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1989.

SILVA, A. J. C.; MOTA, J. M. F.; BARBOSA, F. R. **Avaliação da influência da altura na resistência de aderência de argamassas de revestimento aplicadas por projeção mecânica**. ANAIS, Fortaleza, X SBTA, 2013.

YOSHIDA, A. T.; BARROS, M. M. S. BOTTURA de. **Caracterização de argamassas no estado fresco – Peculiaridades da análise de argamassas industrializadas**. In: Simpósio brasileiro de tecnologia das argamassas, 1, 1995, Goiânia. Anais... Goiânia: SBTA, 1995.

ZANELATTO, K. C. **Avaliação da influência da técnica de execução no comportamento dos revestimentos de argamassa aplicados com projeção mecânica contínua**. 2012. 123p. Tese (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.