

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
COECI - COORDENAÇÃO DO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

GUILHERME ROQUE CHIELLA

**ANÁLISE DE ADERÊNCIA DE DIFERENTES ARGAMASSAS PARA
REVESTIMENTO ATRAVÉS DE MÉTODOS DISTINTOS DE ENSAIO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

TOLEDO

2018

GUILHERME ROQUE CHIELLA

**ANÁLISE DE ADERÊNCIA DE DIFERENTES ARGAMASSAS PARA
REVESTIMENTO ATRAVÉS DE MÉTODOS DISTINTOS DE ENSAIO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel, do curso de Engenharia Civil, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Eduardo Tino Balestra

TOLEDO

2018



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Câmpus Toledo
Coordenação do Curso de Engenharia Civil



TERMO DE APROVAÇÃO

Título do Trabalho de Conclusão de Curso de Nº 157

**Análise de aderência de diferentes argamassas para revestimento
através de métodos distintos de ensaio**

por

Guilherme Roque Chiella

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado às 13:50h do dia **07 de novembro de 2018** como requisito parcial para a obtenção do título **Bacharel em Engenharia Civil**. Após deliberação da Banca Examinadora, composta pelos professores abaixo assinados, o trabalho foi considerado **APROVADO**.

Prof.^a Dra. Lucia Bressiani
(UTFPR – TD)

Prof. Dr. Gustavo Savaris
(UTFPR – TD)

Prof. Dr. Carlos Eduardo Tino Balestra
(UTFPR – TD)
Orientador

Visto da Coordenação
Prof. Dr. Fúlvio Natércio Feiber
Coordenadora da COECI

A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus pela graça da vida e pela oportunidade de estudar em uma Universidade Federal.

Aos meus pais, família, amigos e colegas pelo incentivo, pelos auxílios e pela paciência durante esta jornada acadêmica.

Ao Prof. Dr. Carlos Eduardo Tino Balestra por suas precisas orientações e dedicação para a realização deste trabalho.

Aos membros da banca avaliadora, Prof.^a Dra. Lucia Bressiani e Prof. Dr. Gustavo Savaris, pelas contribuições realizadas, sempre com o intuito de aperfeiçoar este trabalho.

Aos laboratoristas da UTFPR *campus* Toledo pelo auxílio e disposição para a realização dos ensaios necessários, estendendo-se a toda comunidade do *campus*.

Ao proprietário e aos funcionários da obra na qual foram realizados os revestimentos argamassados para os ensaios, que estavam sempre à disposição para contribuir com o desenvolvimento deste estudo.

À Direção da UNIOESTE *campus* Cascavel pelo empréstimo do equipamento para a realização do ensaio de resistência de aderência à tração.

À Direção da UNIPAR *campus* Toledo, e ao seu laboratorista, por ceder o laboratório para a realização dos ensaios de caracterização das argamassas.

À fabricante de cimentos Itambé pelo fornecimento do cimento CP II-F-32.

Ao laboratório Consolotec – Controle Tecnológico Ltda. pelo empréstimo de ferramentas para a realização dos ensaios.

RESUMO

CHIELLA, Guilherme Roque. **ANÁLISE DE ADERÊNCIA DE DIFERENTES ARGAMASSAS PARA REVESTIMENTO ATRAVÉS DE MÉTODOS DISTINTOS DE ENSAIO**. 2018. 72 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Engenharia Civil. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Toledo, 2018.

As primeiras pesquisas realizadas com argamassas colantes no Brasil datam da década de 1960, motivadas por descolamentos de revestimentos. O descolamento da argamassa está ligado diretamente à propriedade de aderência deste material. O controle tecnológico desta propriedade é realizado pelo ensaio de resistência de aderência à tração, recomendado pela norma NBR 13528 (ABNT, 2010). Entretanto, o equipamento recomendado pela norma para a realização deste ensaio possui elevado custo de aquisição. Deste modo, propôs-se neste trabalho a análise de desempenho de um equipamento desenvolvido de menor custo, e de simples operação e manuseio, para o controle qualitativo em obras correntes e de menor porte. Para isso, foi realizado o ensaio de resistência de aderência à tração, em uma obra localizada na cidade de Toledo, na qual foram produzidos quatro painéis de revestimento argamassado que se distinguem pelo traço (à base de cimento ou mista) e pelo número de camadas (com ou sem chapisco). À título de comparação, o ensaio foi executado tanto com o equipamento proposto pela norma, quanto com o equipamento desenvolvido. Contudo, enquanto que, para o equipamento recomendado pela norma, o arrancamento da amostra é obtido por tensão axial de tração, para o equipamento desenvolvido este arrancamento é realizado pelo princípio de alavanca. Os resultados apontaram que as argamassas mistas possuíram resistência de aderência média cerca de 50% menor em relação às argamassas apenas à base de cimento. Entretanto, o painel de argamassa mista apresentou maior resistência de aderência quando acompanhado de uma camada de chapisco, mostrando assim a importância desta camada para a aderência do revestimento no substrato. No tocante ao equipamento desenvolvido, não se obteve correlação direta com o equipamento proposto pela norma, possivelmente pela diferença no método de arrancamento das amostras. Os valores de resistência determinados com o equipamento desenvolvido mostraram-se, em média, inferiores ao equipamento recomendado pela norma em todos os ensaios.

Palavras-chave: Revestimento argamassado. Ensaio de resistência de aderência à tração. Equipamento desenvolvido. Princípio de alavanca. Análise de desempenho.

ABSTRACT

CHIELLA, Guilherme Roque. **ADHERENCE ANALYSIS OF DIFFERENT MORTARS FOR COVERING BY DIFFERENT TEST METHODS**. 2018. 72 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Engenharia Civil. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Toledo, 2018.

The first researches with paste-bearing mortars in Brazil date back to the 1960s, motivated by coverings detachments. The mortar detachment is directly attached to the adherence property of this material. The technological control of this property is performed by the tensile bond strength test, prescribed by NBR 13528 (ABNT, 2010). However, the equipment prescribed by the standard for this test has a high acquisition cost. In this work, we propose the performance analysis of a developed equipment of lower cost, and of simple operation and handling, for the qualitative control in current works and of smaller size. For this, a tensile bond strength test was carried out in a work located in the city of Toledo, in which four panels of mortar covering were produced, distinguished by the trace (cement or mixed) and by the number of layers (with or without roughcast). By way of comparison, the test was performed both with the equipment proposed by the standard and with the equipment developed. However, for the equipment prescribed by the standard, the pulling of the sample is obtained by axial tensile tension, for the developed equipment this pullout is performed by the lever principle. The results showed that mixed mortars had an average adherence resistance about 50% lower than cement based mortars. However, the mixed mortar panel presented higher adherence strength when accompanied by a layer of roughcast, thus showing the importance of this layer for the adherence of the covering to the substrate. Regarding the equipment developed, there was no direct correlation with the equipment proposed by the standard, possibly due to the difference in the method of pulling the samples. The resistance values determined with the developed equipment were, on average, lower than the equipment prescribed by the standard in all tests.

Keywords: Mortar covering. Tensile bond strength test. Developed equipment. Lever principle. Performance analysis.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1 – Diferentes tipos de aplicações de argamassas: (a) elevação de alvenaria; (b) revestimento de paredes; (c) assentamento de peças cerâmicas; (d) contrapiso; (e) reparo estrutural | 16 |
| Figura 2 – Destaque da interface argamassa-bloco cerâmico | 17 |
| Figura 3 – Penetração da pasta de cimento nos poros do substrato | 18 |
| Figura 4 – Variedades de revestimentos de parede: (a) revestimento de paredes com chapisco e múltiplas camadas e pintura; (b) revestimento de paredes com chapisco e monocamada e pintura; (c) revestimento decorativo monocamada (RDM) | 20 |
| Figura 5 – Causas e exemplos de patologias em argamassas | 21 |
| Figura 6 – Descolamento de revestimentos em fachadas históricas..... | 22 |
| Figura 7 – (a) Descolamento de placa cerâmica; (b) Descolamento pela ruptura do emboço..... | 22 |
| Figura 8 – Descolamento de revestimento em fachada de edifício | 23 |
| Figura 9 – Ensaio de resistência de aderência à tração conforme NBR 13528 (ABNT, 2010) | 24 |
| Figura 10 – Formas de ruptura no ensaio de resistência de aderência à tração para um sistema de revestimento com chapisco..... | 25 |
| Figura 11 – Equipamentos utilizados para o ensaio de arrancamento de argamassa. (a) Dinamômetro de tração desenvolvido pela empresa Consultare; (b) Dinamômetro de tração desenvolvido pela Dyna Proceq; (c) Braço de alavanca desenvolvido de acordo com o modelo EPUSP/ENCOL | 26 |
| Figura 12 – Visualização da interface entre o revestimento de argamassa, o chapisco e a base (bloco cerâmico) | 28 |
| Figura 13 – Resistência média de aderência à tração para as diferentes condições de preparo da base | 29 |
| Figura 14 – Curvas de distribuição granulométrica das areias..... | 30 |
| Figura 15 – Porcentagem de ruptura média dos revestimentos para as três condições de umidade após a realização do ensaio de resistência de aderência à tração | 31 |
| Figura 16 – Composição granulométrica do agregado miúdo..... | 33 |

| | |
|--|----|
| Figura 17 – Etapas do ensaio de Chapman: (a) massa de cimento; (b) volume inicial no frasco; (c) volume final no frasco e ensaio realizado | 34 |
| Figura 18 – Etapas do ensaio de Le Chatelier para a determinação da massa específica do cimento: (a) massa de cimento; (b) volume inicial no frasco; (c) volume final no frasco; (d) ensaio realizado | 35 |
| Figura 19 – Etapas do ensaio de Le Chatelier para a determinação da massa específica da cal: (a) massa de cal; (b) volume inicial no frasco; (c) volume final no frasco; (d) ensaio realizado | 35 |
| Figura 20 – Painéis de revestimento de argamassa utilizados para os ensaios: (a) Painel 1; (b) Painel 2; (c) Painéis 3 e 4 | 37 |
| Figura 21 – Etapas da produção e aplicação das argamassas: (a) Aplicação do chapisco; (b) Execução de taliscas para garantir a espessura de 3cm do revestimento; (c) Aplicação da argamassa de revestimento | 38 |
| Figura 22 – Corpos de prova em processo de cura para os ensaios da NBR 13279 (ABNT, 2005a): (a) Traço 1:6; (b) Traço 1:2:9..... | 38 |
| Figura 23 – Dispositivo e etapas do ensaio de flexão da norma NBR 13279 (ABNT, 2005a): (a) Dispositivo para o ensaio de flexão; (b) Corpo de prova posicionado como uma viga biapoiada com carga pontual aplicada em seu centro; (c) Corpo de prova após a ruptura..... | 39 |
| Figura 24 – Dispositivo e etapas do ensaio de compressão da NBR 13279 (ABNT, 2005a): (a) Dispositivo para o ensaio de compressão; (b) Corpo de prova posicionado no dispositivo; (c) Corpo de prova após a ruptura | 40 |
| Figura 25 – Delimitação do corpo de prova pelo corte | 41 |
| Figura 26 – Pontos utilizados para a realização do ensaio: (a) Pontos no painel 1; (b) Pontos no painel 2; (c) Pontos no painel 3; (d) Pontos no painel 4 | 42 |
| Figura 27 – Etapas da realização do ensaio de aderência utilizando-se o equipamento recomendado pela norma: (a) Encaixe do equipamento com a pastilha; (b) Arrancamento da amostra | 43 |
| Figura 28 – Etapas da realização do ensaio de aderência utilizando-se o equipamento desenvolvido: (a) Encaixe do equipamento com a pastilha; (b) Aferição do nivelamento do equipamento; (c) Equipamento posicionado com o recipiente na extremidade; (d) Colocação de areia no recipiente; (e) Pesagem da massa que levou uma das amostras à ruptura..... | 44 |

| | |
|---|----|
| Figura 29 – Características do equipamento alternativo para o ensaio de resistência de aderência à tração | 45 |
| Figura 30 – Detalhamento dos perfis em seção T e U, respectivamente, do equipamento desenvolvido | 46 |
| Figura 31 – (a) Equipamento construído; (b) Pastilha | 46 |
| Figura 32 – Esquema estrutural do equipamento desenvolvido | 47 |
| Figura 33 – Indicação da direção da tensão $\sigma_{tm\acute{a}x}$ com relação à tensão σ_t | 48 |
| Figura 34 – Gráfico de dispersão dos resultados de resistência apresentados nas Tabelas 7 e 8 para o Painel 1 | 53 |
| Figura 35 – Gráfico de dispersão dos resultados de resistência apresentados nas Tabelas 9 e 10 para o Painel 2 | 55 |
| Figura 36 – Gráfico de dispersão dos resultados de resistência apresentados nas Tabelas 11 e 12 para o Painel 3 | 57 |
| Figura 37 – Gráfico de dispersão dos resultados de resistência apresentados nas Tabelas 13 e 14 para o Painel 4 | 59 |
| Figura 38 – Quantidade de amostras por local de ruptura | 63 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1 – Limites de resistência de aderência à tração (R_a) para revestimentos de argamassa para emboço e camada única | 24 |
| Tabela 2 – Massas específica dos materiais utilizados para a produção das argamassas..... | 49 |
| Tabela 3 – Resistência à tração na flexão para a argamassa de traço 1:6 | 49 |
| Tabela 4 – Resistência à compressão para a argamassa de traço 1:6 | 50 |
| Tabela 5 – Resistência à tração na flexão para a argamassa de traço 1:2:9 | 50 |
| Tabela 6 – Resistência à compressão para a argamassa de traço 1:2:9 | 50 |
| Tabela 7 – Resultados do ensaio de resistência de aderência à tração para o Painel 1 utilizando o equipamento desenvolvido..... | 52 |
| Tabela 8 – Resultados do ensaio de resistência de aderência à tração para o Painel 1 utilizando o equipamento recomendado pela norma..... | 52 |
| Tabela 9 – Resultados do ensaio de resistência de aderência à tração para o Painel 2 utilizando o equipamento desenvolvido..... | 54 |
| Tabela 10 – Resultados do ensaio de resistência de aderência à tração para o Painel 2 utilizando o equipamento recomendado pela norma..... | 54 |
| Tabela 11 – Resultados do ensaio de resistência de aderência à tração para o Painel 3 utilizando o equipamento desenvolvido..... | 56 |
| Tabela 12 – Resultados do ensaio de resistência de aderência à tração para o Painel 3 utilizando o equipamento recomendado pela norma..... | 56 |
| Tabela 13 – Resultados do ensaio de resistência de aderência à tração para o Painel 4 utilizando o equipamento desenvolvido..... | 58 |
| Tabela 14 – Resultados do ensaio de resistência de aderência à tração para o Painel 4 utilizando o equipamento recomendado pela norma..... | 58 |
| Tabela 15 – Médias, desvios padrão e coeficientes de variação das resistências obtidas para os ensaios | 60 |
| Tabela 16 – Teste de variância ANOVA aplicado nos resultados obtidos no Painel 1 | 61 |
| Tabela 17 – Teste de variância ANOVA aplicado nos resultados obtidos no Painel 2 | 62 |
| Tabela 18 – Teste de variância ANOVA aplicado nos resultados obtidos no Painel 3 | 62 |

| | |
|--|----|
| Tabela 19 – Teste de variância ANOVA aplicado nos resultados obtidos no Painel 4 | 62 |
|--|----|

SUMÁRIO

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO | 12 |
| 1.1 | HISTÓRICO E DEFINIÇÕES DE ARGAMASSA..... | 12 |
| 1.2 | JUSTIFICATIVA..... | 13 |
| 1.3 | OBJETIVOS..... | 13 |
| 1.3.1 | Objetivo geral..... | 13 |
| 1.3.2 | Objetivos específicos | 14 |
| 1.4 | DELIMITAÇÃO DA PESQUISA | 14 |
| 2 | REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 15 |
| 2.1 | TIPOS DE ARGAMASSA E SUAS PRINCIPAIS PROPRIEDADES..... | 15 |
| 2.2 | REVESTIMENTO DE ARGAMASSA..... | 18 |
| 2.3 | PATOLOGIAS EM REVESTIMENTOS DE ARGAMASSA | 20 |
| 2.4 | ENSAIOS PARA DETERMINAÇÃO DA ADERÊNCIA A ARGAMASSA..... | 23 |
| 2.5 | FATORES QUE INFLUENCIAM NA ADERÊNCIA DO REVESTIMENTO..... | 26 |
| 2.5.1 | Influência do equipamento utilizado para a realização do ensaio de aderência e do modo de aplicação da argamassa | 26 |
| 2.5.2 | Influência do chapisco | 27 |
| 2.5.3 | Influência da cal no traço da argamassa | 28 |
| 2.5.4 | Influência do substrato..... | 28 |
| 2.5.5 | Influência do preparo do substrato | 28 |
| 2.5.6 | Influência do tempo de cura..... | 30 |
| 2.5.7 | Influência da granulometria do agregado miúdo..... | 30 |
| 2.5.8 | Influência da umidade da argamassa | 30 |
| 3 | MATERIAIS E MÉTODOS | 32 |
| 3.1 | MATERIAIS | 32 |
| 3.2 | MÉTODOS..... | 32 |
| 3.2.1 | Ensaio de caracterização dos materiais..... | 32 |
| 3.2.2 | Descrição do local de realização dos ensaios | 36 |
| 3.2.3 | Determinação dos revestimentos | 36 |
| 3.2.4 | Caracterização das argamassas de revestimento | 38 |
| 3.2.5 | Descrição do ensaio de aderência..... | 40 |
| 3.2.6 | Características do equipamento desenvolvido | 45 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 4 | RESULTADOS E DISCUSSÕES | 49 |
| 4.1 | CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS UTILIZADOS E DAS ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO..... | 49 |
| 4.2 | APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS DOS ENSAIOS DE ADERÊNCIA ... | 51 |
| 4.3 | ANÁLISE DOS RESULTADOS..... | 60 |
| 4.3.1 | Influência da presença da cal e do chapisco nos resultados | 60 |
| 4.3.2 | Análise de desempenho do equipamento desenvolvido | 61 |
| 4.3.3 | Local de ruptura..... | 63 |
| 5 | CONSIDERAÇÕES FINAIS | 65 |
| 5.1 | SUGESTÃO DE TRABALHOS FUTUROS..... | 65 |
| | REFERÊNCIAS..... | 67 |

1 INTRODUÇÃO

1.1 HISTÓRICO E DEFINIÇÕES DE ARGAMASSA

De acordo com Martingança, Martingança e Costa (2005) os primeiros registros de uso da argamassa datam de meados de 8000 – 7000 a C., na antiga Galileia, hoje região conhecida como Israel. Essa argamassa era composta por cal e gesso, e sua fabricação era familiar, com registros de utilização em construções, em estátuas votivas e, mais tarde, nas cisternas de Jerusalém.

Conforme Fiorito (2009) ao fim da II Guerra Mundial, com o intuito de racionalizar os serviços de colocação de revestimentos cerâmicos e proporcionar maior qualidade com um menor custo, as primeiras pesquisas com argamassas colantes foram realizadas nos Estados Unidos. Já em 1964, se iniciaram pesquisas também no Brasil, contudo, motivadas por descolamento de revestimento de pisos e paredes, ocasionados por mão de obra desqualificada que, por sua vez, não possuía o conhecimento adequado da aplicação do material, ora utilizando a dosagem errada de cimento, ora pela displicência em terminar o mais rápido possível um serviço.

Segundo Santiago (2007) as definições de argamassa sofreram alterações na qual a deixou menos restritiva, ao passo que, em meados do século XVII, se definia argamassa como um composto de cal e areia, ou cal e pó de material cerâmico, com a simples função de unir pedras. Mehta e Monteiro (2006) descrevem a argamassa como um concreto sem agregado graúdo, composta apenas por água, agregado miúdo e aglomerante, e a norma NBR 13529 (ABNT, 2013a) cita que suas propriedades dependem da proporção e do tipo dos aglomerantes e agregados utilizados, ainda podendo, de acordo com a NBR 13281 (ABNT, 2005b) ser dosada em obra ou ser industrializada.

As argamassas podem ser classificadas segundo o tipo de aglomerante. Neste ponto, argamassas simples, são compostas por um único aglomerante (cimento ou cal) ou argamassas mistas, compostas por mais de um aglomerante (cimento e cal). Em ambos os casos podem ser colocados aditivos químicos na mistura (FIORITO, 2009).

A determinação do aglomerante utilizado é função da sua finalidade. Enquanto a argamassa à base de cimento possui características de endurecimento, resistência a curto prazo e impermeabilização, que favorecem o uso em alvenarias de

alicerce, chapisco e obras hidráulicas, a argamassa à base de cal possui propriedades de plasticidade e elasticidade, que propiciam um acabamento de maior qualidade para a utilização em emboço e reboco (FIORITO, 2009).

Segundo Silva (2006) as argamassas de cal foram caindo em desuso, sendo substituídas por argamassas a base de cimento por esta adquirir maior resistência mecânica em um tempo mais curto. Assim, atualmente, a maior parte das argamassas utilizadas na construção civil utilizam o cimento Portland como aglomerante. Desta forma, este trabalho aborda um estudo a respeito de argamassas de revestimento a base de cimento analisando a aderência de diferentes tipos de argamassa em substrato cerâmico através de um equipamento proposto para ensaios in loco.

1.2 JUSTIFICATIVA

A aderência é uma importante propriedade da argamassa de revestimento, assim como o controle tecnológico de sua execução. Entretanto, o equipamento para realização do ensaio, segundo as prescrições normativas, tem um custo elevado de aquisição, no qual orçamentos realizados apontam valores que chegam a R\$9.000,00, o que impossibilita sua larga utilização em obras correntes.

Desta forma, justificam-se estudos referentes ao desenvolvimento de um equipamento de baixo custo com o objetivo de possibilitar sua aplicação em obras correntes e de menor porte, como método de controle qualitativo da aderência das argamassas em obra.

Além disso, o equipamento proposto é de simples confecção e manuseio, o que aponta uma justificativa também em termos de praticidade em obra.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho é desenvolver e verificar o desempenho de um equipamento para análise de aderência de revestimentos de argamassa à base de cimento.

1.3.2 Objetivos específicos

- a) Realizar o ensaio de aderência em argamassa à base de cimento para revestimento em substrato cerâmico de acordo com o a norma NBR 13528 (ABNT, 2010), utilizando tanto o equipamento desenvolvido neste trabalho quanto o equipamento indicado pela norma para fins de comparação de resultados.
- b) Comparar resultados obtidos entre o equipamento desenvolvido e o equipamento recomendado pela norma utilizando argamassas com diferentes dosagens e diferentes camadas sobre um substrato cerâmico.

1.4 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA

Este trabalho limita-se a comparação do equipamento construído a um equipamento recomendado pela norma NBR 13528 (ABNT, 2010).

Além disso, também se limita à comparação de dois traços de argamassas, bem como à aplicação de chapisco para o preparo de base que, nesta pesquisa, é composta por blocos cerâmicos.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 TIPOS DE ARGAMASSA E SUAS PRINCIPAIS PROPRIEDADES

Quando se refere à função exercida pela argamassa, Carasek (2017) classifica as mesmas conforme o Quadro 1. O enfoque deste trabalho são argamassas utilizadas para revestimentos de paredes e tetos a base de cimento e a base de cimento e cal (mistas).

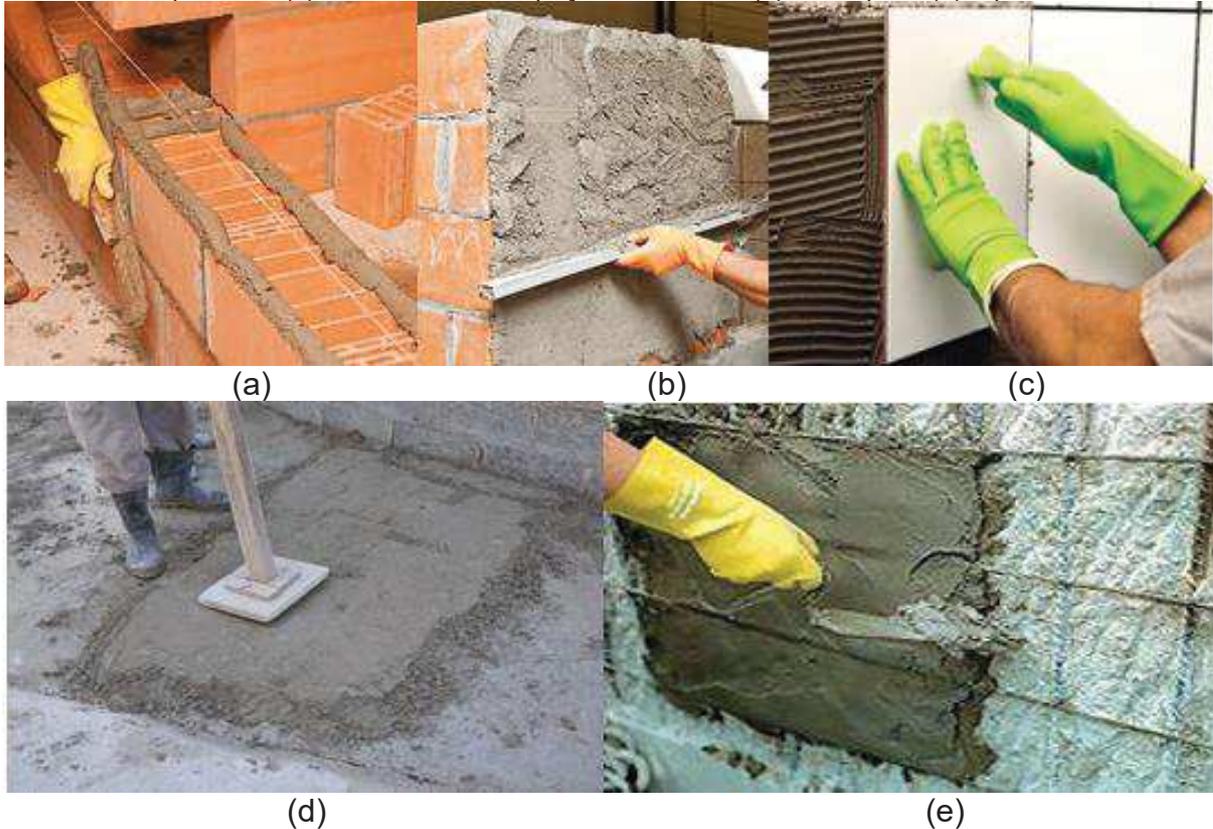
Quadro 1 – Classificação da argamassa de acordo com a sua função

| Função | Tipos |
|--|--|
| Para construção de alvenarias | <ul style="list-style-type: none"> • Argamassa de assentamento (elevação da alvenaria); • Argamassa de fixação – ou encunhamento – (alvenaria de vedação). |
| Para revestimentos de paredes e tetos | <ul style="list-style-type: none"> • Argamassa de chapisco; • Argamassa de emboço; • Argamassa de reboco; • Argamassa de camada única; • Argamassa para revestimento decorativo monocamada. |
| Para revestimento de pisos | <ul style="list-style-type: none"> • Argamassa de contrapiso; • Argamassa de alta resistência. |
| Para revestimentos cerâmicos (paredes/pisos) | <ul style="list-style-type: none"> • Argamassa colante de assentamento de peças cerâmicas; • Argamassa de rejuntamento. |
| Para recuperação de estruturas | <ul style="list-style-type: none"> • Argamassa de reparo. |

Fonte: Adaptado de CARASEK (2017).

A Figura 1 exemplifica os tipos de argamassa conforme a sua função.

Figura 1 – Diferentes tipos de aplicações de argamassas: (a) elevação de alvenaria; (b) revestimento de paredes; (c) assentamento de peças cerâmicas; (d) contrapiso; (e) reparo estrutural



Fonte: Reis (2012); Venturini (2011); Scandaroli (2009); Busian (2013); Nakamura (2009).

Fiorito (2009) ainda complementa que as argamassas mistas de cimento e cal unem as propriedades de resistência do cimento, com a de plasticidade da cal, que são utilizadas para assentamento de alvenaria, revestimentos cerâmicos e preparo de paredes para recebimento de revestimentos cerâmicos.

A trabalhabilidade da argamassa é definida por Carasek (2017) como sendo a facilidade com que uma argamassa pode ser aplicada e misturada de maneira homogênea e uniforme, sendo esta, uma das mais importantes propriedades das argamassas, seja de assentamento, seja de revestimento. Esta propriedade deriva de outras características, e são definidas pela autora como:

- a) Consistência: indica a fluidez da argamassa, quanto menos fluida, mais consistente essa será, isso significa dizer que a argamassa tem maior dificuldade em deformar-se sob a ação de cargas;

- b) Plasticidade: tendência de a argamassa continuar deformada após a retirada de tensões de deformação;
- c) Retenção de água e de consistência: é a habilidade que a argamassa fresca tem de manter sua trabalhabilidade mesmo com ações que induzam a perda de água, podendo ser por evaporação ou absorção de água da base;
- d) Coesão: forças físicas de atração entre as partículas sólidas da argamassa e as ligações químicas da pasta aglomerante;
- e) Exsudação: caracteriza-se pela separação da água com a argamassa fresca, fazendo com que a água se concentre na superfície e os agregados desçam por gravidade;
- f) Densidade de massa: razão entre massa e volume da argamassa;
- g) Adesão inicial: capacidade de a argamassa frescas aderir à um substrato.

A aderência é outra importante propriedade no que remete às argamassas de revestimento que são foco desta pesquisa. Esta propriedade consiste na capacidade que o revestimento possui de resistir às tensões atuantes na interface com o substrato (CARASEK, 2017). Apesar de ser um importante atributo do revestimento argamassado, a aderência não é uma propriedade da argamassa, mas sim da interação entre as camadas do revestimento entre si ou com o substrato, como ilustra a Figura 2 (ABNT NBR 13528:2010, p.1).

Figura 2 – Destaque da interface argamassa-bloco cerâmico



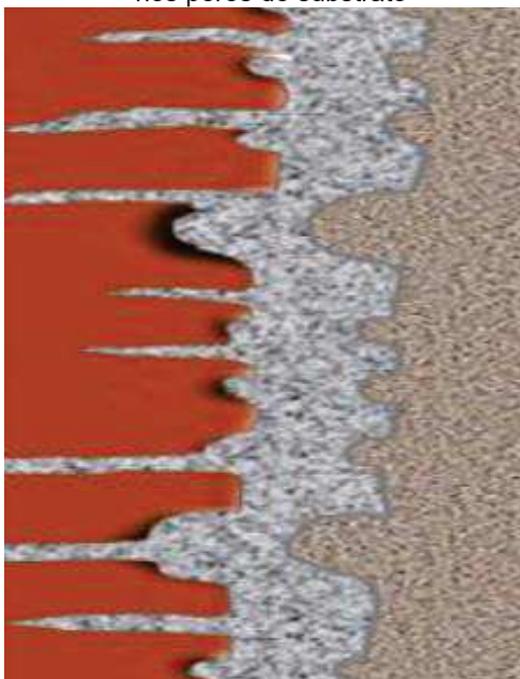
Fonte: Adaptado de Carasek (2017).

Segundo Carasek (2017), a aderência que ocorre na interface argamassa-substrato provém da união de três propriedades: a resistência de aderência à tração; ao cisalhamento e a extensão de aderência. Esta última propriedade é a relação entre

a área de contato efetivo com a área total com possibilidade de ser unida. Isso significa dizer que quanto maior for esta relação, melhor será o contato entre a argamassa e o substrato e maior será a aderência.

De acordo com Pereira, Silva e Costa (2013) a porosidade do substrato tem grande influência na aderência do revestimento de argamassa. Isso porque a aderência entre a argamassa e o substrato poroso é um fenômeno mecânico. Segundo os autores, esse mecanismo é qualificado pela transferência de água entre o substrato e a argamassa, o que possibilita a penetração da pasta de cimento nos poros do substrato, conforme ilustra a Figura 3. Essa penetração proporciona a ancoragem do revestimento na argamassa conforme análises em micrografias obtidas pelos autores, sendo a etringita (produto resultante da hidratação do aluminato tricálcico do cimento) a principal responsável pela resistência de aderência.

Figura 3 – Penetração da pasta de cimento nos poros do substrato



Fonte: Pereira, Silva e Costa (2013).

2.2 REVESTIMENTO DE ARGAMASSA

A NBR 13529 (ABNT, 2013a) define revestimento de argamassa como a superposição de uma ou mais camadas de argamassa que cobrem uma superfície, e que é suscetível a receber acabamento decorativo ou então possuir a função de

acabamento final. Dentre suas principais propriedades estão a aderência e o endurecimento.

De acordo com Silva (2006) dentre as principais funções dos revestimentos argamassados estão:

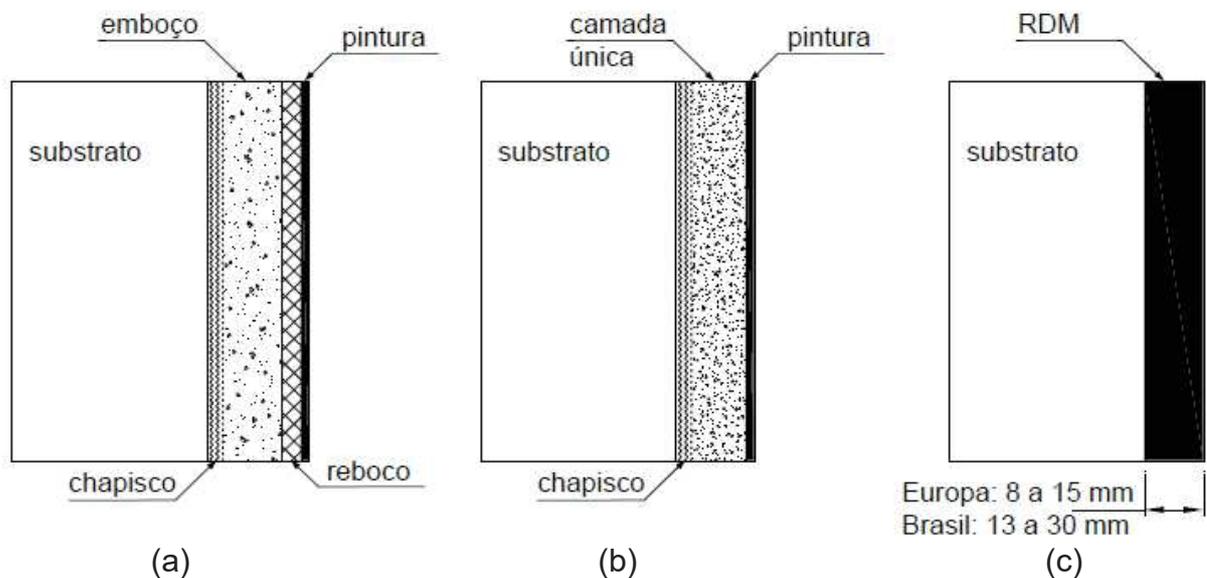
- a) Aumentar a durabilidade das construções protegendo-as de agentes agressivos;
- b) Auxílio às vedações em questões de estanqueidade e isolamento termo-acústico;
- c) Servir como acabamento aumentando assim o padrão da edificação.

De acordo com a NBR 13529 (ABNT, 2013a) o revestimento de argamassa pode ser constituído por três possíveis camadas: chapisco, emboço e reboco. O primeiro possuindo a função de preparo da base, deixando a superfície a uniforme quanto à absorção de água e proporcionando maior aderência ao revestimento. Já o seguinte, para que possa receber a próxima camada de revestimento, tem a função de regularizar o chapisco, ou a superfície da base quando esta não for chapiscada. Por sua vez, o último, após cobrir o emboço, recebe o acabamento decorativo (pintura, por exemplo) ou então ser o revestimento final.

Além disso, Carasek (2017) afirma que o revestimento argamassado pode ser constituído em camada única, ou como é chamado, “reboco paulista”, que é o revestimento aplicado com apenas um tipo de argamassa em uma camada, alternativa mais comum no Brasil.

Outra alternativa de revestimento muito utilizada na Europa, e que está em fase de normalização no Brasil, é o RDM (Revestimento técnico decorativo monocamada). Conforme Carasek (2017), este é um revestimento multifuncional, pois além de regularizar, o RDM também tem a função de proteger e decorar. É um material de composição variável, que geralmente contém cimento, cal hidratada, diversos agregados, pigmentos inorgânicos, fungicidas e muitos aditivos, com função de incorporador de ar e retenção de água. A Figura 4 ilustra os três tipos de revestimento argamassado citados.

Figura 4 – Variedades de revestimentos de parede: (a) revestimento de paredes com chapisco e múltiplas camadas e pintura; (b) revestimento de paredes com chapisco e monocamada e pintura; (c) revestimento decorativo monocamada (RDM)



Fonte: Carasek (2017).

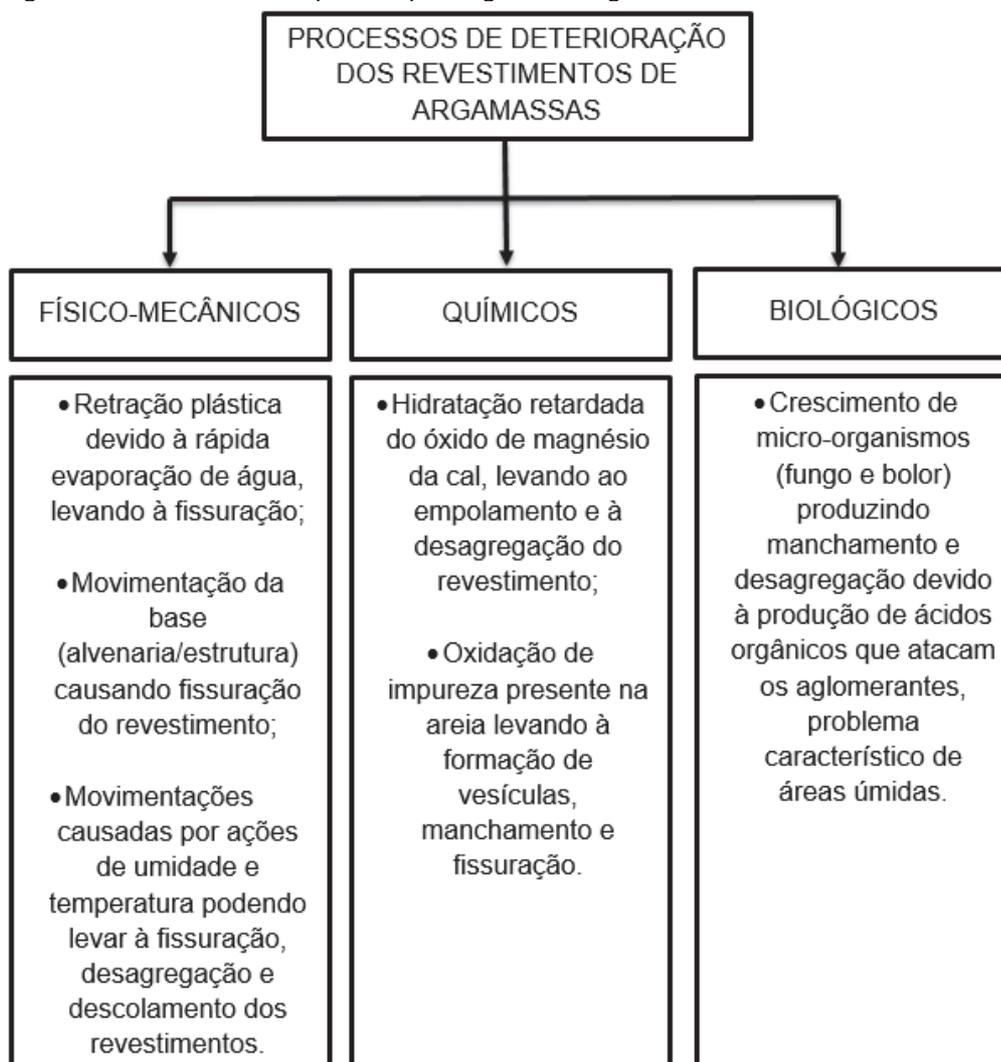
2.3 PATOLOGIAS EM REVESTIMENTOS DE ARGAMASSA

Carasek (2017) indica que as principais causas de patologias em revestimentos são:

- a) Físico-mecânicas;
- b) Químicas;
- c) Biológicas.

Carasek (2017) ainda cita que, provavelmente, estas patologias ocorrem simultaneamente. A Figura 5 aponta alguns exemplos relacionados à suas causas.

Figura 5 – Causas e exemplos de patologias em argamassas



Fonte: Adaptado de Carasek (2017).

Entretanto, a patologia ligada diretamente à propriedade de aderência do revestimento é o descolamento, exemplificado na Figura 6. Segundo Bauer (1997), não há restrição quanto à extensão dos descolamentos, podendo estar concentrado em uma pequena área ou então atingir toda a alvenaria. O autor classifica descolamento como a separação de uma ou mais camadas do revestimento.

Figura 6 – Descolamento de revestimentos em fachadas históricas



Fonte: Japiassú et al. (2014).

Ainda segundo Bauer (1997) o descolamento em placas é motivado pela falha na aderência entre as camadas de argamassa ou dessas com o substrato, a Figura 7 demonstra essa patologia. Esta falha pode ser explicada pela:

- a) Presença de desmoldantes (em substrato de concreto) ou resíduos em qualquer substrato;
- b) Molhagem deficiente da base, em alguns casos pela ausência de chapisco;
- c) Argamassa muito espessa ou com muito cimento;
- d) Acabamento superficial inadequado de camada intermediária ou;
- e) Aplicação de camadas de argamassas com resistência inadequadas interpostas;
- f) Aplicação em poucos pontos da placa cerâmica.

Figura 7 – (a) Descolamento de placa cerâmica; (b) Descolamento pela ruptura do emboço

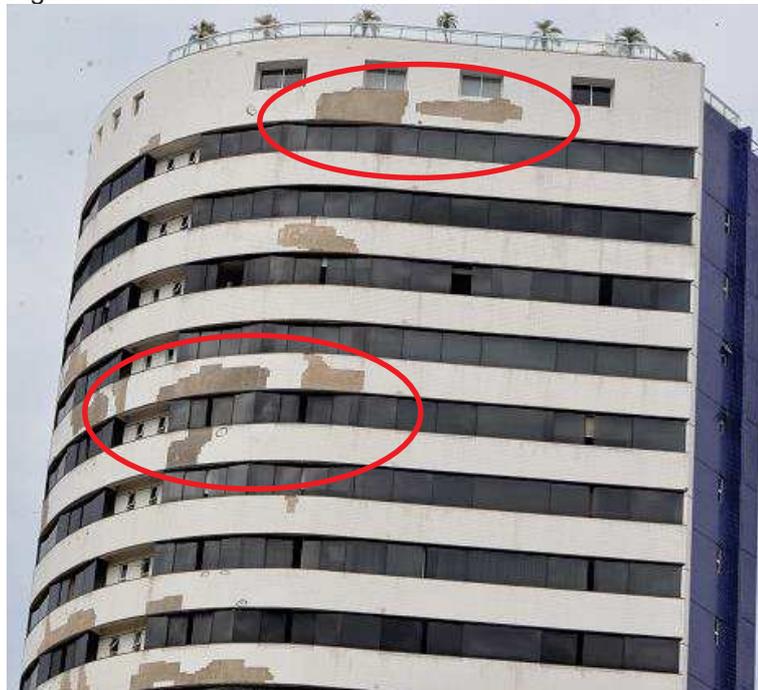


Fonte: Cichinelli (2006).

De acordo com Alves (2017) a falta de manutenção associada com as ações de intempéries são as principais causas de descolamentos dos revestimentos cerâmicos de edifícios residenciais. Segundo a autora, este problema pode afetar tanto o edifício, pelo fato do revestimento servi-lo como proteção, mas também causa

riscos a quem estiver no perímetro da edificação. A Figura 8 ilustra o descolamento de revestimento em fachada de edifício.

Figura 8 – Descolamento de revestimento em fachada de edifício



Fonte: Gilásio (2017).

2.4 ENSAIOS PARA DETERMINAÇÃO DA ADERÊNCIA A ARGAMASSA

De acordo com a NBR 13749 (ABNT, 2013b), devem ser feitas averiguações dos revestimentos executados em áreas de 1m² a cada 50m² para tetos e 100m² para paredes. Estas averiguações são realizadas através da percussão no revestimento com algum instrumento rijo, como por exemplo um martelo de madeira. Caso o revestimento apresente um som cavo, deve-se estimar a área total com falha a ser reparada.

Porém, caso a fiscalização por parte dos executantes envolvidos, julgue necessário, deve ser realizado o ensaio de resistência de aderência à tração conforme a NBR 13528 (ABNT, 2010), com a execução em pontos aleatórios a cada 100m² ou menos da área suspeita. Os resultados serão satisfatórios se de cada grupo de doze amostras (com idade igual ou superior a 28 dias), oito apresentarem valores de resistências de aderência (Ra) iguais ou acima dos especificados na Tabela 1 (ABNT NBR 13749:2013b, p.3).

Tabela 1 – Limites de resistência de aderência à tração (Ra) para revestimentos de argamassa para emboço e camada única

| Local | | Acabamento | Ra (MPa) |
|--------|---------|-----------------------------|----------|
| Parede | Interna | Pintura ou base para reboco | ≥ 0,20 |
| | | Cerâmica ou laminado | ≥ 0,30 |
| | Externa | Pintura ou base para reboco | ≥ 0,30 |
| | | Cerâmica | ≥ 0,30 |
| Teto | | | ≥ 0,20 |

Fonte: Adaptado de NBR 13749 (ABNT, 2013b).

O ensaio de resistência de aderência à tração, ilustrado na Figura 9 é realizado em revestimentos argamassados com 28 dias ou mais de idade e superfície limpa, e é composto por um grupo de doze corpos-de-prova com características idênticas, isto é, mesmo tipo e preparo de argamassa e substrato, forma de aplicação e idade (ABNT NBR 13528:2010, p.3).

Figura 9 – Ensaio de resistência de aderência à tração conforme NBR 13528 (ABNT, 2010)



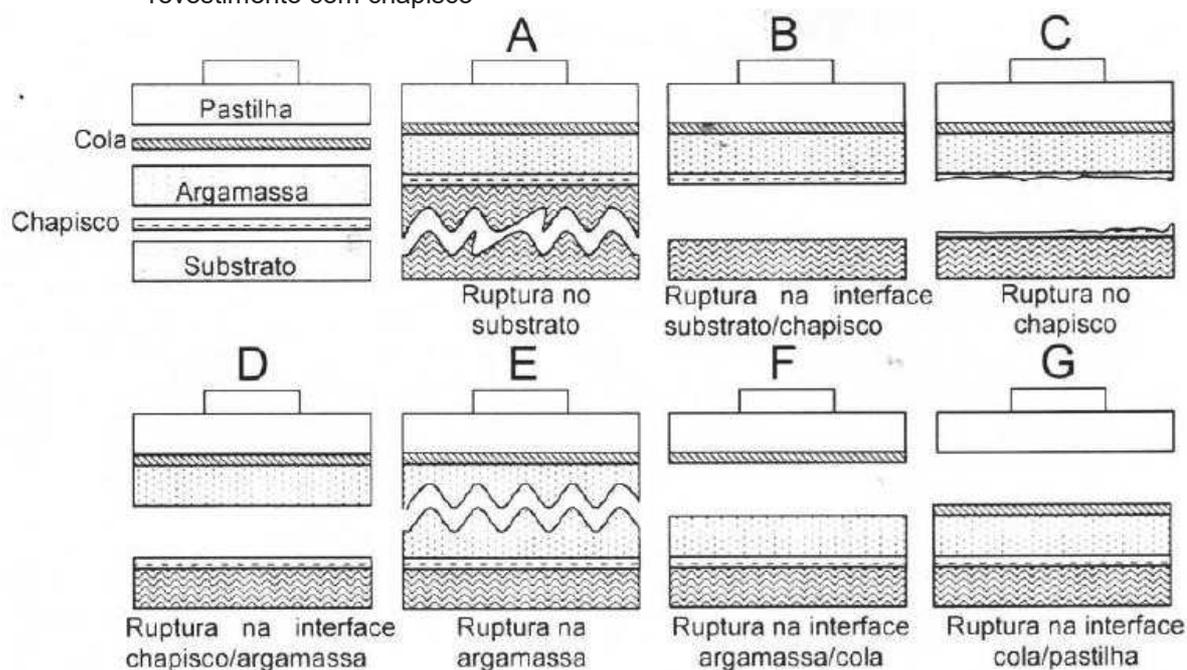
Fonte: UDESC (2016).

A NBR 13528 (ABNT, 2010) ainda indica que os corpos-de-prova devem possuir as mesmas dimensões (diâmetro de 50 mm e o corte adentrando entre 1 a 5 mm no substrato) além de estarem dispostos de modo aleatório. Após a realização do corte da amostra, com o auxílio da serra-copo, uma pastilha metálica é colada na amostra com cola adesiva (epóxi, por exemplo) e, após a secagem da cola, é realizada

a ruptura dos corpos de prova, com o equipamento de tração, e, por fim, é possível determinar a resistência do revestimento.

A Figura 10 indica quais são as possíveis interfaces de ruptura quando realizado o ensaio de aderência à tração de argamassa para revestimentos chapiscados, conforme a NBR 13528 (ABNT, 2010).

Figura 10 – Formas de ruptura no ensaio de resistência de aderência à tração para um sistema de revestimento com chapisco



Fonte: NBR 13528 (ABNT, 2010).

Nos casos em que houver a ruptura nas interfaces substrato/chapisco e chapisco/argamassa (exemplos B e D da Figura 10), o valor obtido no ensaio é o valor de resistência de aderência à tração. Quando a ruptura ocorrer na interface cola/pastilha, exemplo G da Figura 10, o corpo de prova deve ser desprezado por imperfeição na colagem da pastilha.

Nos demais casos, deverá ser colocado na apresentação dos resultados, que o valor da resistência de aderência à tração é maior que o ensaiado, com um sinal de maior que (>), pois não será obtido um valor de resistência de aderência.

A única diferença com relação ao ensaio em revestimentos sem chapisco, é a possibilidade de ocorrência de ruptura na interface argamassa/substrato, caso semelhante às interfaces substrato/chapisco e chapisco/argamassa, no qual o valor obtido no ensaio é o valor de resistência de aderência à tração.

2.5 FATORES QUE INFLUENCIAM NA ADERÊNCIA DO REVESTIMENTO

2.5.1 Influência do equipamento utilizado para a realização do ensaio de aderência e do modo de aplicação da argamassa

Costa e Carasek (2009) realizaram o ensaio de resistência de aderência à tração, com argamassa industrializada e em substrato de concreto, utilizando três equipamentos para arrancamento, conforme indica a Figura 11. O ensaio foi realizado para argamassas com aproximadamente 82 dias.

Figura 11 – Equipamentos utilizados para o ensaio de arrancamento de argamassa. (a) Dinamômetro de tração desenvolvido pela empresa Consultare; (b) Dinamômetro de tração desenvolvido pela Dyna Proceq; (c) Braço de alavanca desenvolvido de acordo com o modelo EPUSP/ENCOL



Fonte: Costa e Carasek (2009).

Os dois primeiros são recomendados pela NBR 13528 (ABNT, 2010) e funcionam de modo hidráulico-manual, diferenciados pela capacidade de carga e pela resolução, enquanto o equipamento da Figura 11a suporta 1kN e possui resolução de 0,05kgf, o equipamento da Figura 11b suporta 6kN e possui resolução de 0,01 MPa. O equipamento da Figura 11c opera pelo princípio de braço de alavanca, possuindo capacidade de carga variável e resolução de 0,38kg (COSTA e CARASEK, 2009).

De acordo com Costa e Carasek (2009) o modo de lançamento da argamassa está ligado diretamente com a aderência da mesma, isto porque quando lançada manualmente, a aderência pode variar de acordo com a habilidade, conhecimento e ergonomia do profissional, deste modo, as autoras preferiram fazer o lançamento por um sistema de projeção mecânica.

Após realizado o ensaio, Costa e Carasek (2009) comprovaram que o tipo de equipamento é de grande influência para a determinação da aderência, isto porque os valores encontrados para o equipamento de braço de alavanca foram cerca de 33-37% menores que os equipamentos recomendados pela norma. Além disso, o

equipamento da Figura 11c apresentou menor coeficiente de variação com relação aos outros.

Segundo Costa e Carasek (2009), isso se deve a dois motivos, primeiro o modo de aplicação de carga se deu por incremento de massa, o que não garante que a carga de ruptura seja a resistência real do revestimento, por este equipamento não oferecer uma leitura gradual. Outro motivo se dá devido à calibração dos dinamômetros e a velocidade de aplicação de carga, uma vez que estes possuem precisão finita e sempre haverá uma variação mínima.

2.5.2 Influência do chapisco

Kazmierczak, Brezezinski e Collatto (2007) realizaram um ensaio de aderência de argamassas aplicadas em substrato de blocos cerâmicos e de concreto com e sem a presença de chapiscos com o objetivo de verificar a influência desta camada na aderência da argamassa. Os resultados obtidos pelos autores mostraram que a presença de uma camada de chapisco com traço 1:3 eleva a resistência de aderência no ensaio de aderência em até 66% para blocos cerâmicos e até 100% para blocos de concreto.

Os autores concluíram que a resistência de aderência entre chapisco e substrato é maior em relação ao chapisco com o emboço, isso se justifica, pois, todos os ensaios realizados pelos mesmos apontaram ruptura ou na interface chapisco/substrato ou no emboço (KAZMIERCZAK, BREZEZINSKI e COLLATTO, 2007).

A maior resistência de aderência ocasionada pela presença do chapisco pode ser explicada devido a interface chapisco/substrato possuir menor quantidade de vazios e ser mais uniforme, quando comparada com a interface argamassa/substrato de superfícies não chapiscadas, que pode apresentar imperfeições provenientes de falhas de aplicação ou trabalhabilidade da argamassa. Essa comparação também é válida quando comparada com a interface argamassa/chapisco em revestimentos com chapisco, como ilustra a Figura 1 (KAZMIERCZAK, BREZEZINSKI e COLLATTO, 2007).

Figura 12 – Visualização da interface entre o revestimento de argamassa, o chapisco e a base (bloco cerâmico)



Fonte: Adaptado de Kazmierczak, Brezezinski e Collatto (2007).

2.5.3 Influência da cal no traço da argamassa

De acordo com Angelim, Angelim e Carasek (2003) a presença da cal no traço da argamassa de revestimento reduz consideravelmente a aderência da mesma. Os ensaios foram realizados para dois traços em volume: 1:1:6 e 1:2:9 (cimento, cal e areia, na umidade crítica). A argamassa com maior dosagem de cal apresentou resistência à tração da ordem de 0,10 MPa, cerca de quatro vezes menor que a com menor dosagem.

2.5.4 Influência do substrato

Outro parâmetro analisado por Kazmierczak, Brezezinski e Collatto (2007) foi o substrato. Segundo os autores, os revestimentos aplicados em blocos cerâmicos possuem maior aderência frente aos aplicados em superfícies de concreto. Essa diferença chega a ser de 70% em superfícies cerâmicas com 7 dias de idade. Porém quando comparadas aos 28 dias, essa diferença pode cair para menos de 14%.

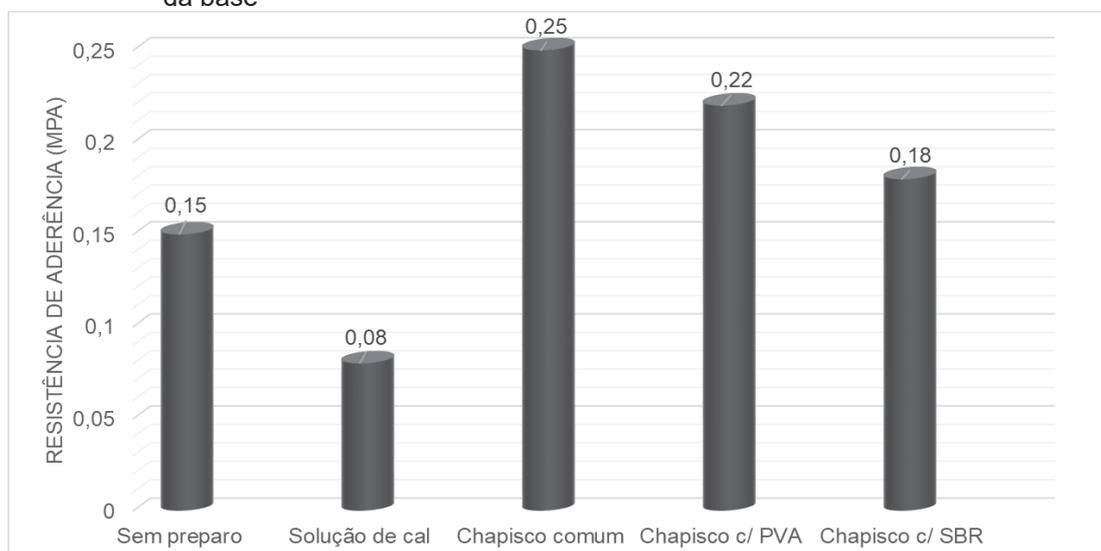
2.5.5 Influência do preparo do substrato

Scartezini et al. (2002) avaliaram a influência do preparo da base para a resistência de aderência à tração dos revestimentos, as condições avaliadas foram:

- a) Revestimento sem preparo, aplicado diretamente sobre a alvenaria;
- b) Revestimento com preparo de uma solução de cal 1:2 (cal e água em massa) aplicado na forma de pintura;
- c) Revestimento com preparo de chapisco comum, argamassa de cimento e areia 1:3 (em volume) aplicado com lançamento manual;
- d) Revestimento com preparo de chapisco com PVA, argamassa de cimento e areia 1:3 (em volume) com adição de polímero de base de acetado de polivinila traço 1:2 (em volume), aplicada de modo convencional;
- e) Revestimento com preparo de chapisco com SBR, argamassa de cimento e areia 1:3 (em volume) com adição de polímero de base de estireno buradieno traço 1:2 (em volume), aplicada de modo convencional.

Como citado anteriormente na Tabela 1, a resistência mínima de aderência à tração para argamassas de revestimento especificada pela norma NBR 13749 (ABNT, 2013b) é de 0,30MPa, para paredes externas. Os resultados apontados por Scartezini et al. (2002), indicados no Figura 13, não satisfazem à esta condição. Entretanto, é possível notar que revestimentos sem chapisco possuem menor aderência que revestimentos chapiscados. De acordo com os autores, este resultado deve-se também à má qualidade do substrato. Contudo, a adição de polímeros ao chapisco não resultou em melhor desempenho com relação a resistência de aderência do revestimento, ainda reduzindo esta capacidade.

Figura 13 – Resistência média de aderência à tração para as diferentes condições de preparo da base



Fonte: Adaptado de Scartezini et al. (2002).

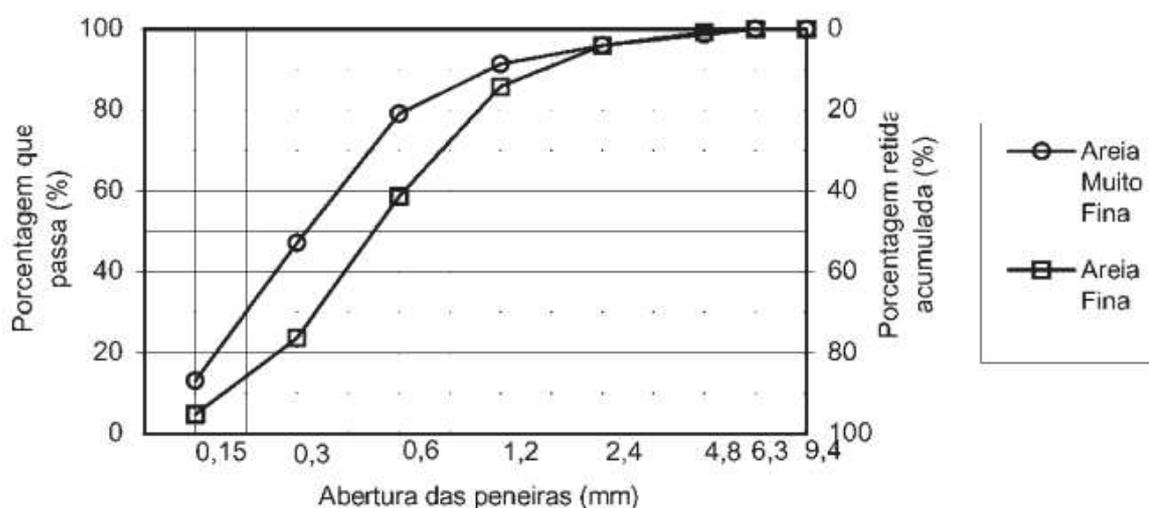
2.5.6 Influência do tempo de cura

Ao comparar a resistência de aderência à tração de revestimentos de argamassa com 7 dias e 28 dias de idade, Kazmierczak, Brezezinski e Collatto (2007) comprovaram que a argamassa com mais idade possui um acréscimo de resistência, para os diferentes sistemas ensaiados, a resistência média obtida aos 7 dias foi de 0,180 MPa, enquanto aos 28 dias foi de 0,203 MPa.

2.5.7 Influência da granulometria do agregado miúdo

Angelim, Angelim e Carasek (2003) fizeram a comparação da resistência de aderência à tração de revestimento argamassados, com 28 dias de idade, para duas granulometrias de agregado miúdo, chamados pelos autores de areia fina (AF) e areia muito fina (AMF), e possuem granulometria conforme indica a Figura 14.

Figura 14 – Curvas de distribuição granulométrica das areias



Fonte: Angelim, Angelim e Carasek (2003).

Foi comprovado que a aderência de revestimentos com areia fina possui resistência média superior a um revestimento com agregado mais fino, cerca de 30% de diferença (ANGELIM, ANGELIM e CARASEK, 2003).

2.5.8 Influência da umidade da argamassa

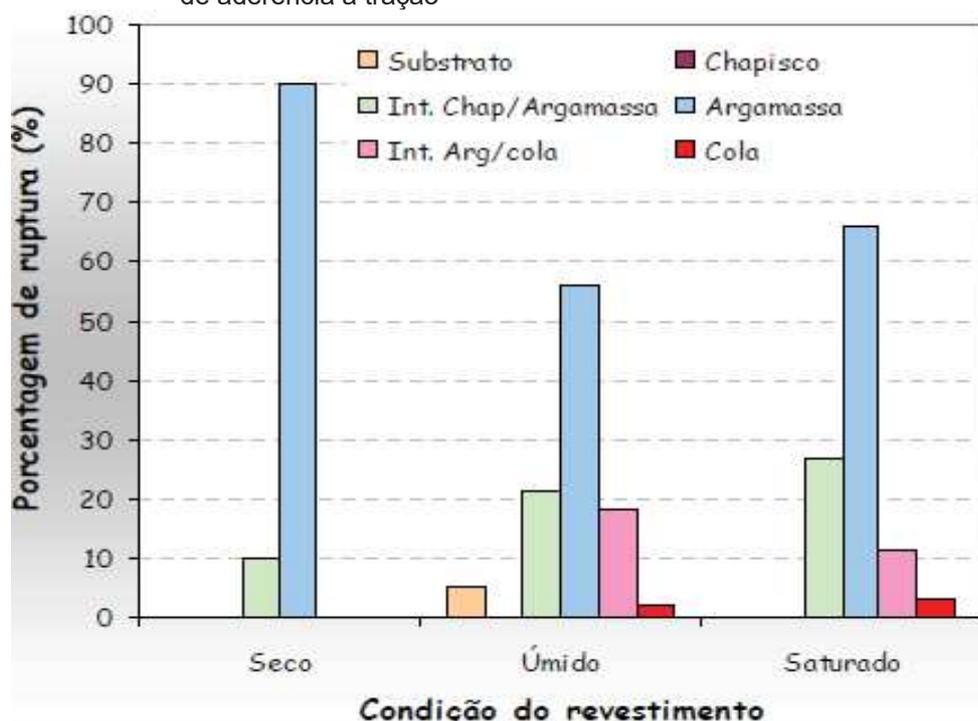
Carasek et al. (2008) avaliaram a influência da umidade da argamassa no revestimento. As condições de umidade utilizadas pelos mesmos foram:

- a) Seco (sem qualquer processo de umidificação);
- b) Úmido (revestimento umedecido por borrifador de água) e;
- c) Saturado (umedecido por jato de água).

Os autores comprovaram que quanto mais próximo do estado saturado da argamassa, menor é a resistência de aderência a tração do revestimento. Isso foi explicado pelo fato dos poros presentes na microestrutura das argamassas bem como na interface argamassa/substrato serem preenchidos pela água (CARASEK et al. 2008).

Entretanto, os resultados de resistência de aderência à tração obtidos por Carasek et al. (2008) não atingiram a resistência mínima atribuída pela norma NBR 13749 (ABNT, 2013b) de 0,30 MPa, que, em média, foram menores que 0,20 MPa. O ensaio realizado apontou que na maioria dos casos, o rompimento do revestimento se deu na argamassa, como indica a Figura 15 podendo ser possível notar também que ao ponto que aumenta a presença de água há a maior incidência de ruptura na interface chapisco/argamassa.

Figura 15 – Porcentagem de ruptura média dos revestimentos para as três condições de umidade após a realização do ensaio de resistência de aderência à tração



Fonte: Carasek et al. (2008).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 MATERIAIS

Os materiais utilizados neste estudo foram:

- a) Areia muito fina com módulo de finura igual à 1,80 e massa específica igual a 2,65g/cm³;
- b) Cimento Portland CP II-F-32 com massa específica igual a 2,97 g/cm³;
- c) Cal hidratada CH-III com massa específica igual a 2,40 g/cm³.

3.2 MÉTODOS

Para este estudo, a metodologia foi segmentada nas seguintes etapas:

- a) Ensaios para a caracterização dos materiais utilizados;
- b) Determinação dos tipos de revestimentos utilizados, variando quanto à presença de chapisco e ao traço;
- c) Ensaios para a caracterização das argamassas de revestimento quanto à suas resistências à tração na flexão e à compressão, conforme norma NBR 13279 (ABNT, 2005a);
- d) Realização do ensaio de aderência em argamassas de revestimento, conforme norma NBR 13528 (ABNT, 2013), tanto para o equipamento recomendado pela norma, quanto para o equipamento desenvolvido para o estudo.

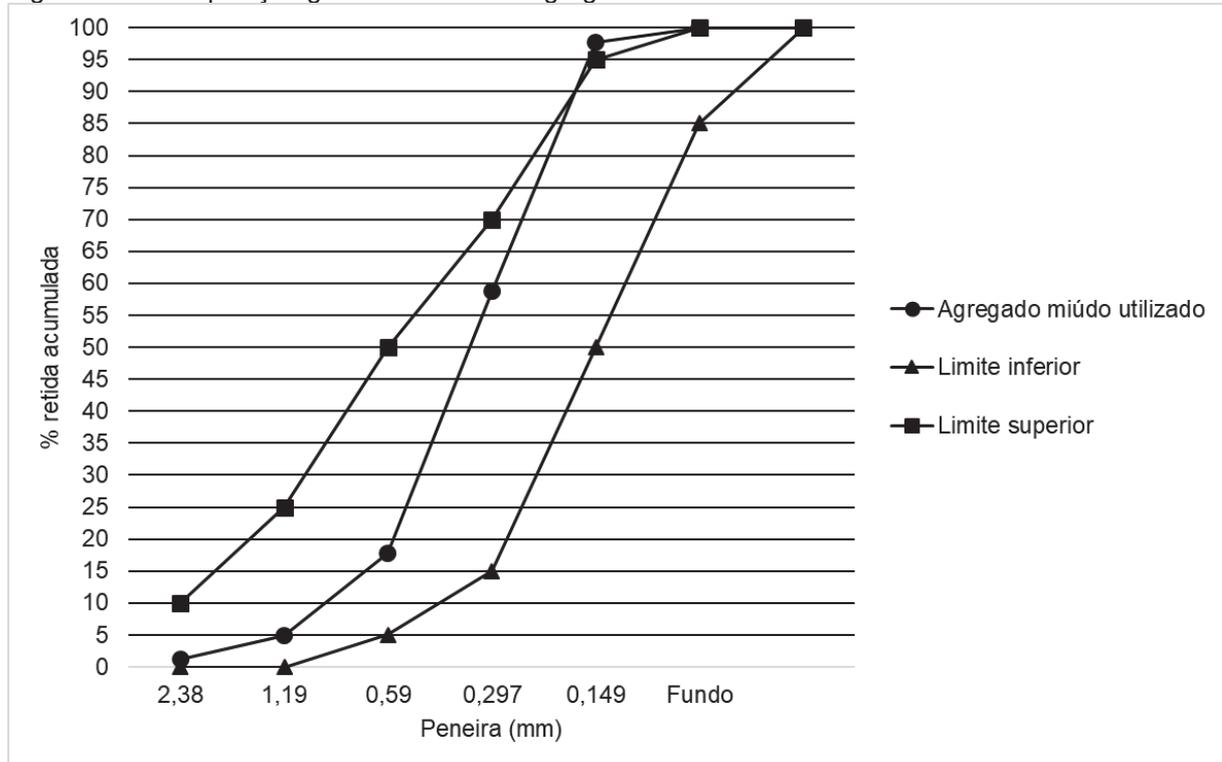
3.2.1 Ensaios de caracterização dos materiais

O agregado miúdo utilizado foi a areia disponível em obra. Para a garantia de que fosse utilizado apenas agregado miúdo, foi realizado o peneiramento onde foi utilizado o material passante na peneira com abertura de 4,75 mm.

Além disso, foi separada uma quantidade de areia para a realização de ensaios de composição granulométrica, conforme a norma NBR NM 248 (ABNT, 2003), e massa específica, conforme a norma NBR 9775 (ABNT, 2011). O ensaio de granulometria foi realizado com peneiramento mecânico e com uma massa de 500 g

de agregado miúdo. A Figura 16 apresenta o gráfico de composição granulométrica da areia utilizada, bem como os limites inferior e superior utilizáveis segundo a norma NBR 7211 (ABNT, 2009).

Figura 16 – Composição granulométrica do agregado miúdo



Fonte: Autor (2018).

O resultado do ensaio apontou que a areia utilizada tem um módulo de finura igual a 1,80 e pode ser classificada como muito fina, pois a porcentagem retida acumulada, em massa, na peneira de abertura de 0,59 mm, é menor que 20%.

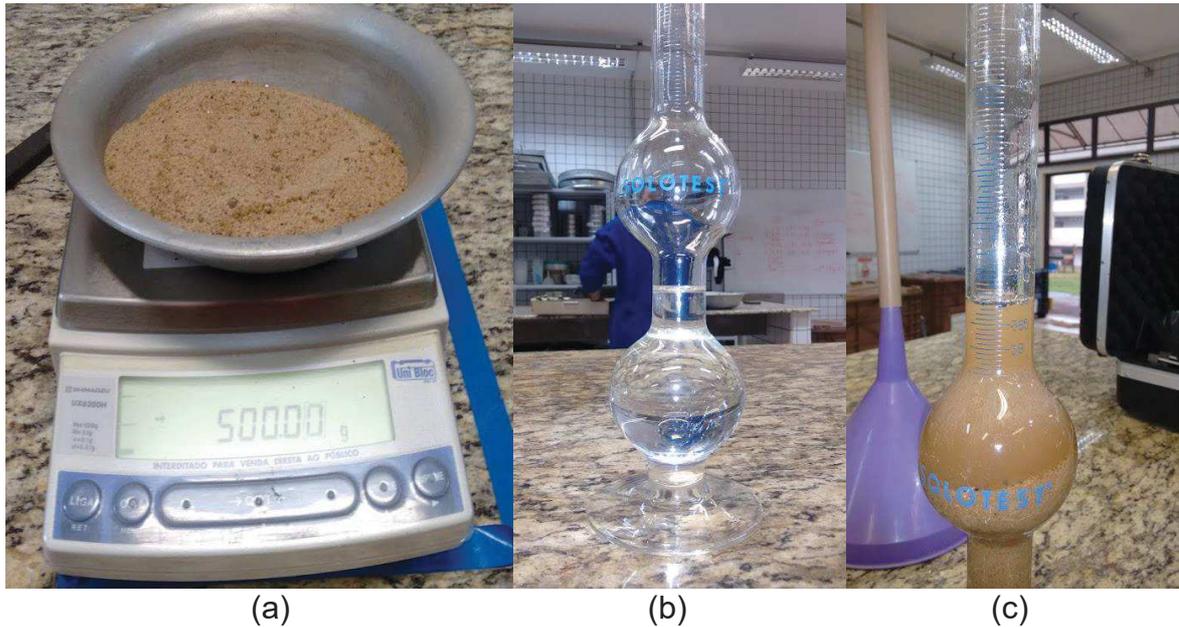
O ensaio de massa específica foi realizado com o frasco de Chapman. Após preparar o frasco com um volume inicial (v_i) de 200 ml de água potável, foi adicionada uma massa de 500 g de agregado seco. Desta forma, o volume final (v_f) observado no frasco foi de 389 ml.

Com estes valores é possível determinar a massa específica (γ) do agregado miúdo através da Equação 1.

$$\gamma = \frac{m}{v_i - v_f} \quad (1)$$

A Figura 17 apresenta algumas das etapas do ensaio realizado.

Figura 17 – Etapas do ensaio de Chapman: (a) massa de cimento; (b) volume inicial no frasco; (c) volume final no frasco e ensaio realizado



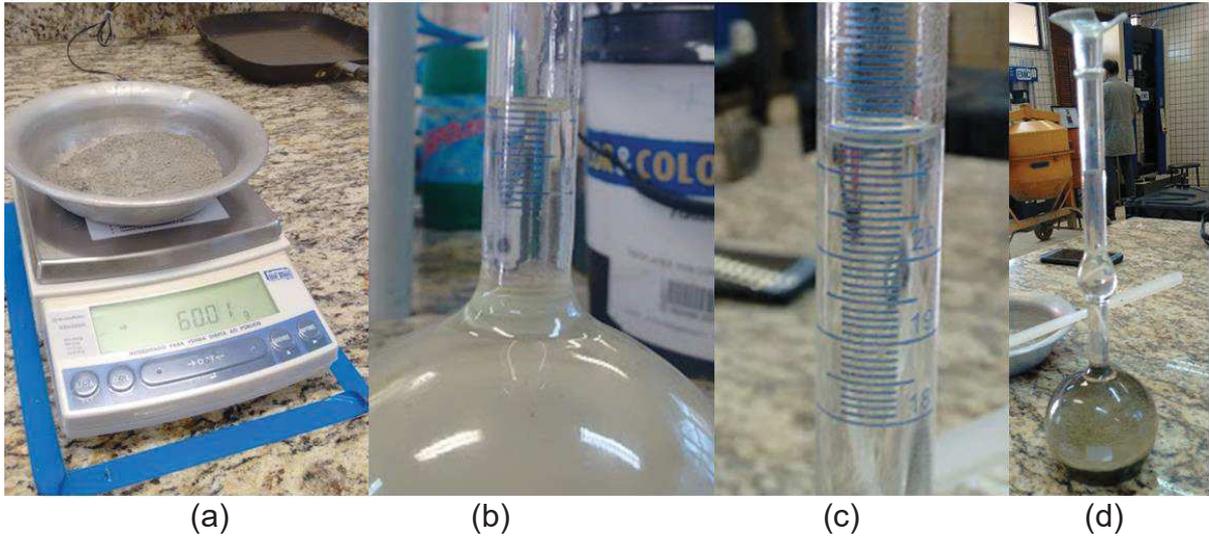
Fonte: Autor (2018).

O cimento utilizado foi o CP II-F-32 e sua massa específica foi determinada em laboratório pelo ensaio do frasco de Le Chatelier, conforme norma NBR 16605 (ABNT, 2017).

Inicialmente separou-se uma massa (m) de 60,01 g de cimento para a realização do ensaio. Em seguida foi adicionado querosene no frasco de Le Chatelier em um volume inicial (v_i) de 1,1 ml. Posteriormente foi introduzida a massa de cimento no interior do frasco e aferido o volume final (v_f), que neste ensaio foi de 21,3 ml.

A Figura 18 apresenta algumas das etapas do ensaio realizado.

Figura 18 – Etapas do ensaio de Le Chatelier para a determinação da massa específica do cimento: (a) massa de cimento; (b) volume inicial no frasco; (c) volume final no frasco; (d) ensaio realizado

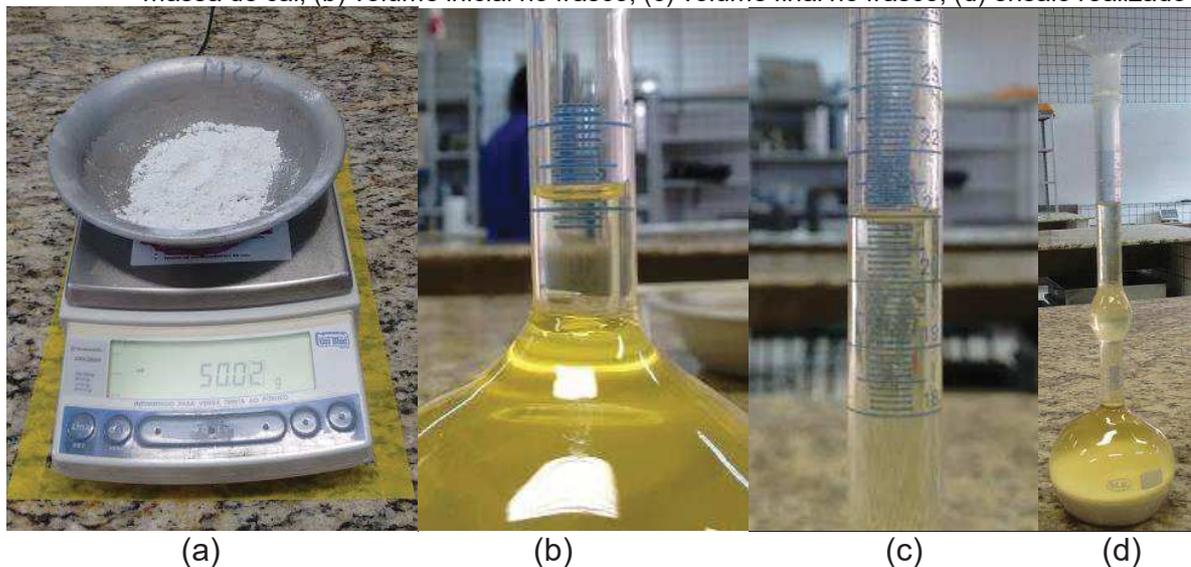


Fonte: Autor (2018).

Para a cal utilizada também foi realizado o ensaio do frasco de Le Chatelier, assim como para o cimento. Tomou-se, inicialmente, uma massa (m) de cal igual a 50,02 g. Em seguida, adicionou-se ao frasco de Le Chatelier um volume inicial (v_i) de querosene 0,1 ml. Após a introdução da cal ao frasco, foi observado um volume final (v_f) de 20,9 ml.

A Figura 19 apresenta algumas das etapas do ensaio realizado.

Figura 19 – Etapas do ensaio de Le Chatelier para a determinação da massa específica da cal: (a) massa de cal; (b) volume inicial no frasco; (c) volume final no frasco; (d) ensaio realizado



Fonte: Autor (2018).

3.2.2 Descrição do local de realização dos ensaios

Os ensaios foram realizados em uma obra localizada no centro da cidade de Toledo – PR, sito a Rua Maripá, nº 5321. Com a autorização do proprietário, foram aplicados revestimentos argamassados em paredes de substrato cerâmicos já construídas.

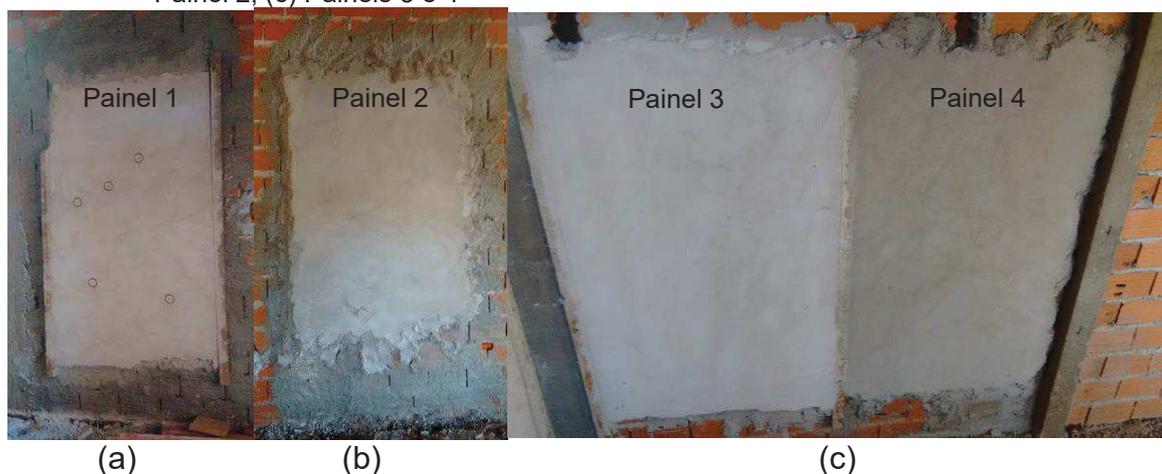
3.2.3 Determinação dos revestimentos

Foram desenvolvidos quatro tipos de revestimentos argamassados, baseados na revisão da literatura, que se diferenciam pelo traço e quantidade de camadas, que foram numerados de 1 a 4 e são os seguintes:

- a) Substrato em bloco cerâmico com revestimento em argamassa com traço 1:2:9 (cimento, cal e areia) com espessura de 3 cm com a presença de chapisco com traço 1:3 (cimento e areia) – Painel 1;
- b) Substrato em bloco cerâmico com revestimento em argamassa com traço 1:6 (cimento e areia) com espessura de 3 cm com a presença de chapisco com traço 1:3 (cimento e areia) – Painel 2;
- c) Substrato em bloco cerâmico com revestimento em argamassa com traço 1:2:9 (cimento, cal e areia) com espessura de 3 cm sem a presença de chapisco – Painel 3;
- d) Substrato em bloco cerâmico com revestimento em argamassa com traço 1:6 (cimento e areia) com espessura de 3 cm sem a presença de chapisco – Painel 4.

Foram separadas duas áreas distintas em que foi aplicado o chapisco e, posteriormente os dois traços de argamassa trabalhados, um em cada área, e uma área em que os dois traços foram aplicados, formando assim os quatro painéis de ensaio apresentados na Figura 20.

Figura 20 – Painéis de revestimento de argamassa utilizados para os ensaios: (a) Painel 1; (b) Painel 2; (c) Painéis 3 e 4



Fonte: Autor (2018).

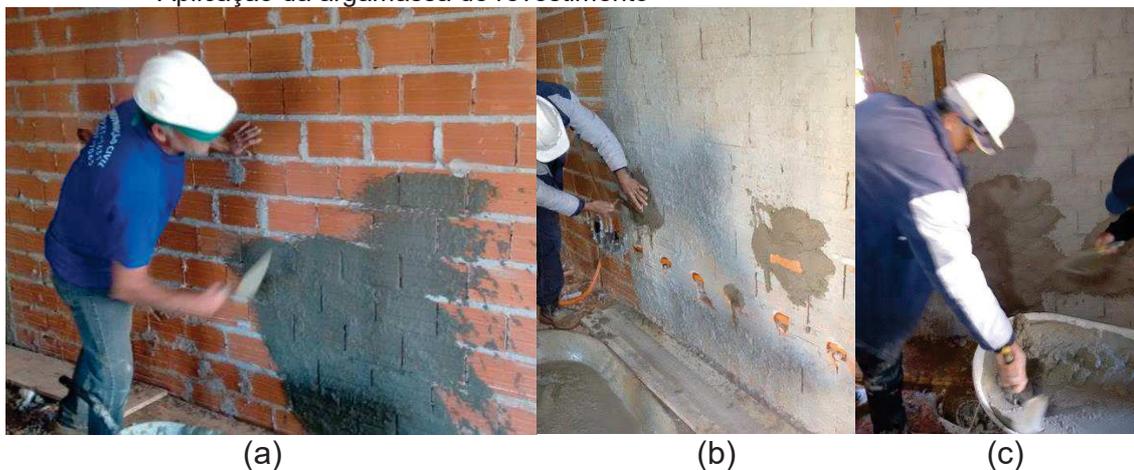
A execução das argamassas foi realizada de modo manual por profissionais qualificados. Como foi proposto um traço em volume, fez uso de um recipiente com volume interno de 20 dm^3 para a separação dos materiais. Inicialmente foram misturados os materiais para a execução do chapisco, de traço 1:3 (cimento e areia), com 20 dm^3 de areia e $6,67 \text{ dm}^3$ de cimento, adicionando-se água para obter trabalhabilidade.

Após 24h da aplicação do chapisco foram aplicadas as argamassas de revestimento, perfazendo todos os painéis (Painéis 1 – 4). Para o traço 1:2:9 (cimento, cal e areia) foram utilizados 20 dm^3 de cimento, 40 dm^3 de cal e 180 dm^3 de areia. Já para o traço 1:6 (cimento e areia) foram utilizados 32 dm^3 de cimento e 192 cm^3 de areia. Em ambos os casos também foi adicionada e água até se obter trabalhabilidade.

A aplicação das argamassas de revestimento foi realizada de forma manual, através do lançamento com uso de uma colher de pedreiro e regularização com régua metálica.

As etapas de produção e aplicação das argamassas estão apresentadas na Figura 21.

Figura 21 – Etapas da produção e aplicação das argamassas: (a) Aplicação do chapisco; (b) Execução de taliscas para garantir a espessura de 3cm do revestimento; (c) Aplicação da argamassa de revestimento



Fonte: Autor (2018).

3.2.4 Caracterização das argamassas de revestimento

As argamassas de revestimento foram caracterizadas através das suas resistências à tração na flexão e à compressão, conforme norma NBR 13279 (ABNT, 2005a).

Após a produção das argamassas em campo, foram confeccionados doze corpos de prova prismáticos (seis para cada traço de argamassa, com exceção do chapisco) com dimensões 4 cm x 4 cm x 16 cm. A norma NBR 13279 (ABNT, 2005a) preconiza a utilização de três corpos de prova para cada traço, porém foram executados seis para maior precisão.

Estes permaneceram em processo de cura em recipientes submersos em água por 28 dias para a realização dos ensaios. A Figura 22 mostra os corpos de prova sob cura submersa.

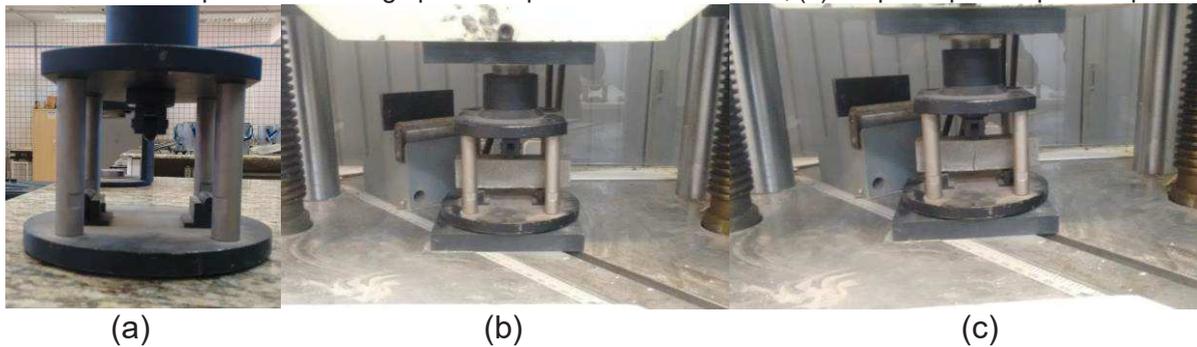
Figura 22 – Corpos de prova em processo de cura para os ensaios da NBR 13279 (ABNT, 2005a): (a) Traço 1:6; (b) Traço 1:2:9



Fonte: Autor (2018).

O ensaio de resistência à tração na flexão consiste na aplicação de uma carga pontual vertical, à uma taxa de 50 N/s, no centro do corpo de prova, posicionado como uma viga biapoiada. Para tanto foi utilizado um dispositivo com 100 mm entre os apoios e que aplicasse de modo pontual a carga recebida para o corpo de prova. A Figura 23 apresenta este dispositivo e etapas do ensaio.

Figura 23 – Dispositivo e etapas do ensaio de flexão da norma NBR 13279 (ABNT, 2005a): (a) Dispositivo para o ensaio de flexão; (b) Corpo de prova posicionado como uma viga biapoiada com carga pontual aplicada em seu centro; (c) Corpo de prova após a ruptura



(a)
Fonte: Autor (2018).

(b)

(c)

Para a determinação da resistência a tração das amostras, a NBR 13279 (ABNT, 2005a) indica a Equação 2.

$$Rf = \frac{1,5 \times Ff \times L}{40^3} \quad (2)$$

Onde:

Rf – resistência à tração na flexão, em MPa;

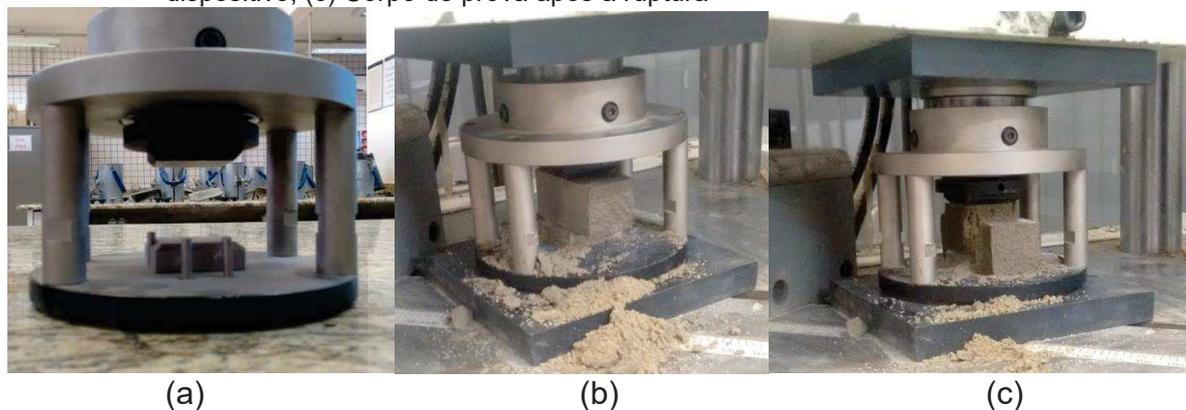
Ff – carga aplicada verticalmente no centro da amostra, em N;

L – distância entre os apoios do dispositivo, neste caso 100 mm.

Com a realização do ensaio de flexão foram obtidas duas metades que foram ensaiadas a compressão, como indica a norma NBR 13279 (ABNT, 2005a). Ou seja, para o ensaio de resistência a compressão foram utilizadas vinte e quatro amostras (doze para cada traço).

As amostras foram submetidas a carregamentos uniaxiais com taxas de 500 N/s e, para a realização deste ensaio, também foi necessária a utilização de um dispositivo, neste caso, que garantisse uma área de 1600 mm² de aplicação de carga. A Figura 24 apresenta este dispositivo e etapas do ensaio.

Figura 24 – Dispositivo e etapas do ensaio de compressão da NBR 13279 (ABNT, 2005a): (a) Dispositivo para o ensaio de compressão; (b) Corpo de prova posicionado no dispositivo; (c) Corpo de prova após a ruptura



Fonte: Autor (2018).

Para a determinação da resistência a compressão das amostras, a NBR 13279 (ABNT, 2005a) indica a Equação 3.

$$R_c = \frac{F_c}{1600} \quad (3)$$

Onde:

R_c – resistência à compressão, em MPa;

F_c – carga de compressão máxima aplicada, em N;

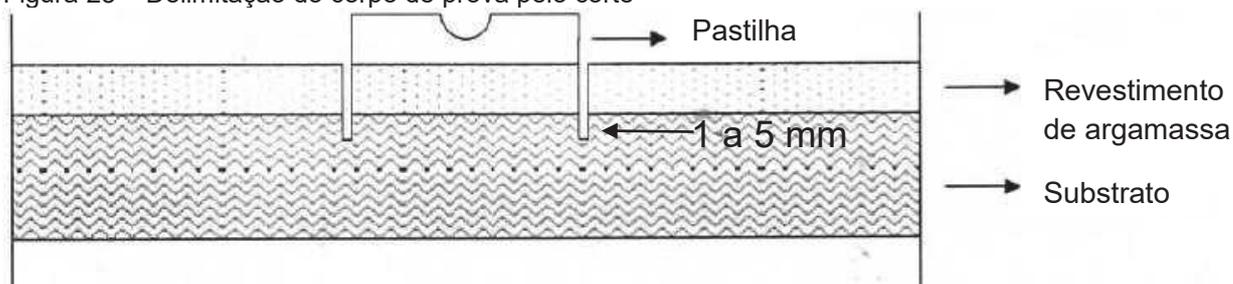
A norma NBR 13279 (ABNT, 2005a) define que o desvio máximo absoluto (que é a razão entre a resistência da amostra individual e a resistência média do ensaio) deve ser de 0,3 MPa para a resistência à tração e de 0,5 MPa para a resistência a compressão. Caso alguma das resistências não obedeceram a este critério deverão ser indicadas nos resultados com um asterisco. Assim, as resistências obtidas para as argamassas foram as médias das resistências individuais que atenderam a este critério.

3.2.5 Descrição do ensaio de aderência

O ensaio foi realizado conforme a norma NBR 13528 (ABNT, 2013) e executado tanto com o equipamento recomendado pela norma quanto com um equipamento desenvolvido para este estudo.

Os cortes dos corpos de prova foram feitos com a argamassa em seu estado endurecido, além de terem sido realizados à seco, com a serra copo posicionada ortogonalmente com a superfície e adentrou entre 1 mm a 5 mm no substrato, como ilustra a Figura 25.

Figura 25 – Delimitação do corpo de prova pelo corte



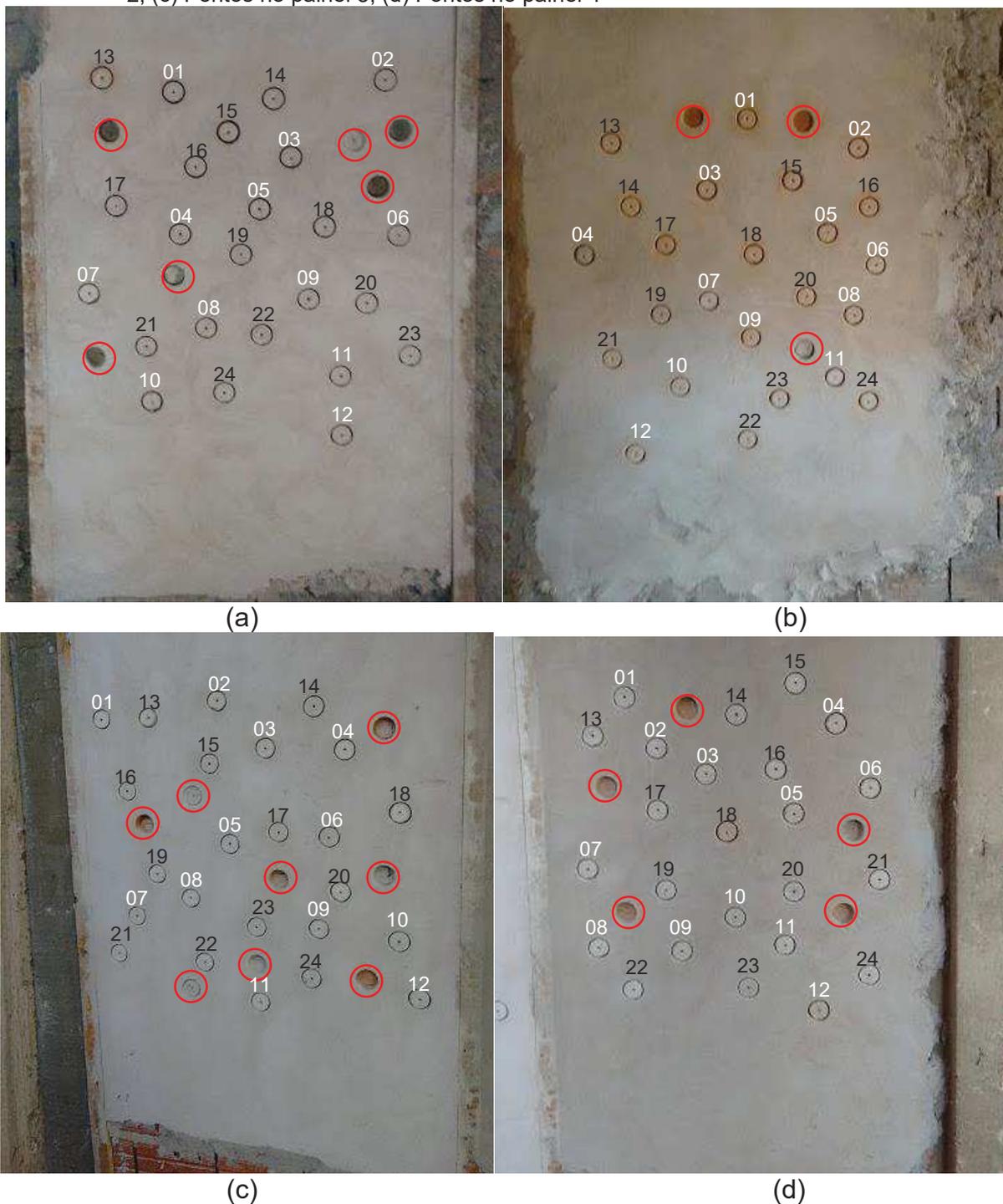
Fonte: NBR 13528 (ABNT, 2010).

A serra copo utilizada possui um diâmetro interno de 50 mm, sendo os corpos de prova distribuídos de modo aleatório nos Painéis 1 – 4, como especifica a NBR 13528 (ABNT, 2010), incluindo amostras nas juntas de assentamento e nos blocos. Por questões de ergonomia e de funcionalidade do equipamento desenvolvido, a região para retirada dos corpos de prova, limitou-se de 30 cm à 150 cm do limite inferior do revestimento.

Ao todo foram ensaiados noventa e seis pontos de revestimento (sendo vinte e quatro por painel e quarenta e oito por equipamento). A Figura 26 apresenta os pontos utilizados para o teste nos quatro painéis. As amostras foram numeradas de 1 à 12 para o ensaio com o equipamento desenvolvido e de 13 à 24 para o ensaio com o equipamento recomendado pela norma.

A Figura 26 ainda mostra com um círculo vermelho os pontos onde não foi possível realizar os ensaios por motivos variados durante a etapa de corte com a serra copo, como, por exemplo: ruptura acidental do revestimento, superfície danificada do revestimento, descolamento da interface argamassa/substrato, descolamento da interface chapisco/substrato.

Figura 26 – Pontos utilizados para a realização do ensaio: (a) Pontos no painel 1; (b) Pontos no painel 2; (c) Pontos no painel 3; (d) Pontos no painel 4



Fonte: Autor (2018).

O processo de colagem das pastilhas foi realizado com cola adesiva instantânea de alta viscosidade, a base de cianoacrilato. Previamente à colagem, foi realizada uma limpeza superficial dos revestimentos para a remoção do excesso de pó que pudesse afetar o desempenho da cola. Em seguida, espalhou-se a cola por toda a superfície da pastilha, sendo feita a aplicação sob o corpo de prova, e

pressionando a mesma por cerca de 30 segundos. Por ser uma cola instantânea, os testes foram realizados 8 horas após a sua aplicação.

O próximo passo foi realizar o arrancamento das amostras. Para o equipamento recomendado pela norma, a carga de tração foi realizada manualmente através de uma manivela, e foi aplicada à uma taxa de carregamento constante, até a ruptura da amostra, que forneceu a carga de ruptura em kgf. O equipamento utilizado possui uma massa de 2 kg, com uma capacidade máxima de 1500 kgf e resolução de 1 kgf. A Figura 27 apresenta etapas da realização do ensaio.

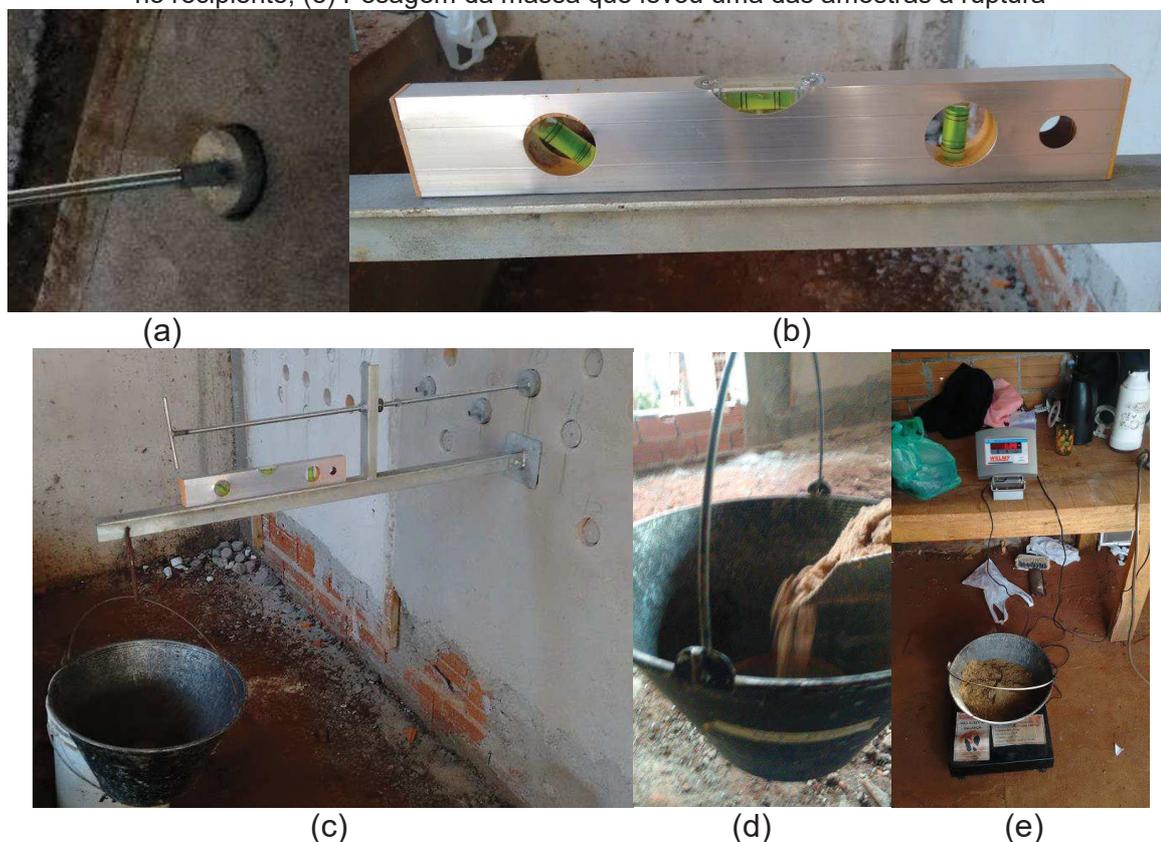
Figura 27 – Etapas da realização do ensaio de aderência utilizando-se o equipamento recomendado pela norma: (a) Encaixe do equipamento com a pastilha; (b) Arrancamento da amostra



Fonte: Autor (2018).

Já para o equipamento desenvolvido, inicialmente foi feito o encaixe do mesmo com a pastilha, através da barra rosqueável e, em seguida, foi averiguado seu nivelamento. Logo após, posicionou-se um recipiente na extremidade do equipamento onde foi colocada areia de modo a impor uma carga que levasse ao arrancamento da argamassa. A Figura 28 ilustra etapas do ensaio.

Figura 28 – Etapas da realização do ensaio de aderência utilizando-se o equipamento desenvolvido: (a) Encaixe do equipamento com a pastilha; (b) Aferição do nivelamento do equipamento; (c) Equipamento posicionado com o recipiente na extremidade; (d) Colocação de areia no recipiente; (e) Pesagem da massa que levou uma das amostras à ruptura



Fonte: Autor (2018).

Assim, com a pesagem dos recipientes carregados, utilizando-se balança com resolução de 0,02 g e capacidade máxima de 100,00 kg, obteve-se a força de arrancamento de cada amostra, causada pelo peso próprio do equipamento e com o peso do recipiente com a areia, ambos em kgf. No item 3.2.6 será descrito com maior rigor as características equipamento desenvolvido.

Após o arrancamento das amostras, com o auxílio do paquímetro, foram aferidos os diâmetros, em mm, das mesmas, e suas consequentes áreas.

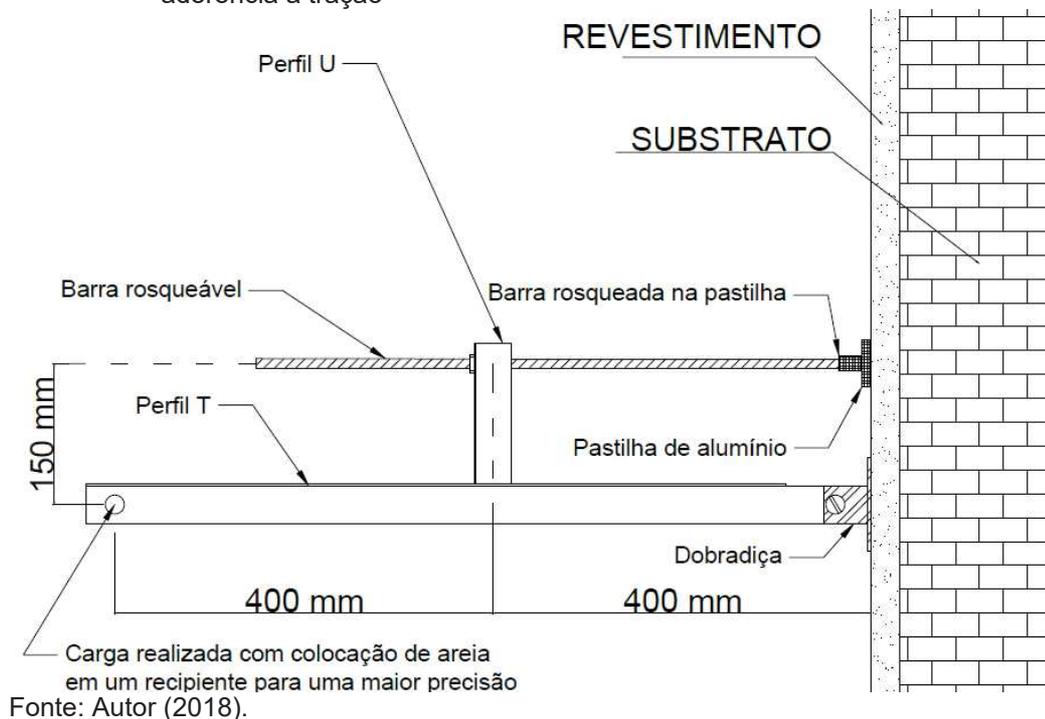
Com as áreas das amostras, em mm^2 , e suas respectivas cargas de ruptura, em N, adotando a aceleração da gravidade como $9,807 \text{ m/s}^2$, foi possível obter a resistência de aderência à tração, em MPa, de cada corpo-de-prova pela razão entre a carga com sua respectiva área.

3.2.6 Características do equipamento desenvolvido

O equipamento desenvolvido é um modelo que visa realizar o ensaio da norma NBR 13528 (ABNT, 2013) de modo simplificado e com baixo custo, quando comparado ao equipamento recomendado pela norma.

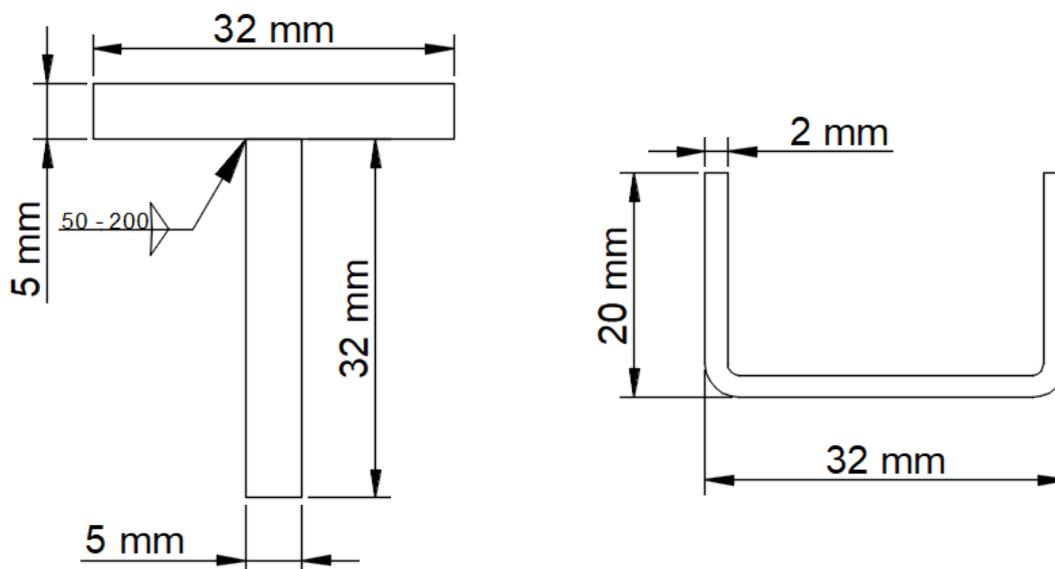
Este equipamento possui uma massa de 2,80 kg e suas dimensões e peças auxiliares do equipamento desenvolvido estão indicadas na Figura 29.

Figura 29 – Características do equipamento alternativo para o ensaio de resistência de aderência à tração



A confecção do equipamento foi realizada em metalúrgica, onde foram utilizados três perfis de aço. Uma barra com seção circular e rosqueável, com 10 mm de diâmetro, para encaixar na pastilha e garantir a ortogonalidade do equipamento com o painel de ensaio. Ainda um perfil soldado em seção T e um perfil laminado em seção U, com suas dimensões demonstradas na Figura 30.

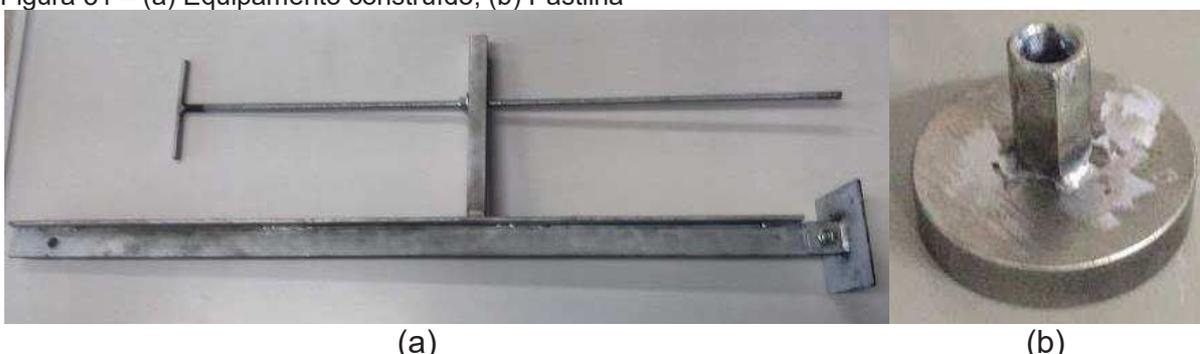
Figura 30 – Detalhamento dos perfis em seção T e U, respectivamente, do equipamento desenvolvido



Fonte: Autor (2018).

A Figura 31 apresenta imagens do equipamento. Na Figura 31a é possível observar como fica disposto o equipamento, enquanto na Figura 31b pode-se notar a abertura para o encaixe da barra rosqueável na pastilha.

Figura 31 – (a) Equipamento construído; (b) Pastilha



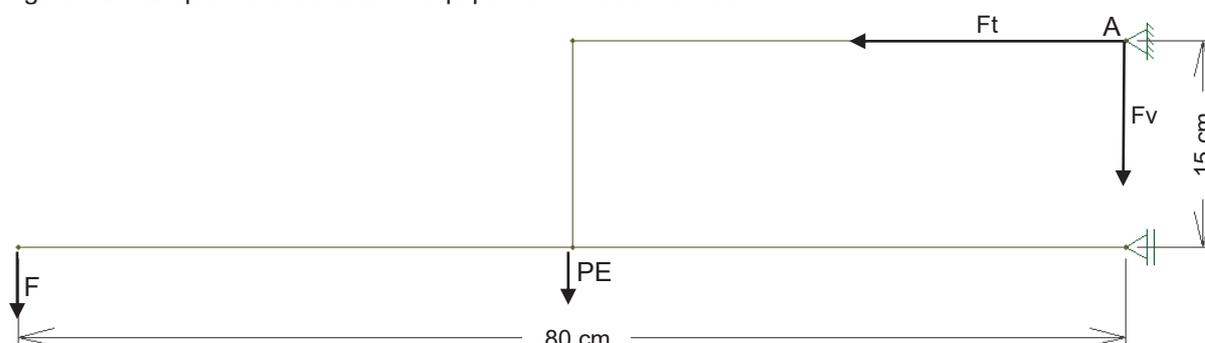
Fonte: Autor (2018).

O princípio de ruptura do equipamento recomendado pela norma é apenas por tração axial, sem qualquer outra carga adicional. Entretanto, para o equipamento desenvolvido, o ensaio é realizado por um sistema de alavanca. Sistema este que provoca, além de um esforço por tração axial (F_t , em N), um esforço cisalhante (F_v , em N) na amostra.

Ambos os esforços deste sistema são gerados pelas reações provocadas pela combinação do peso próprio do equipamento (PE), que é igual a 27,46 N e da força aplicada na extremidade do equipamento (F , em N) aplicada na extremidade do

equipamento para se realizar a ruptura do ensaio. A Figura 32 apresenta a configuração estrutural do equipamento desenvolvido.

Figura 32 – Esquema estrutural do equipamento desenvolvido



Fonte: Autor (2018).

Para se determinar quais são os valores dos esforços F_t e F_v é preciso transportar as componentes F e PE para o ponto A apresentado na Figura 32.

A componente F_v é simplesmente o somatório de F com PE , pois todos são componente verticais, como indica a Equação 4. Já F_t é uma componente horizontal, e é representada pela Equação 5, onde 80 é a distância horizontal de F até o ponto A , 40 é a distância horizontal de PE até o ponto A e 15 é a distância vertical de ambos F e PE até o ponto A , todas as medidas em centímetros.

$$F_v = F + PE \quad (4)$$

$$F_t = \frac{80 \times F + 40 \times PE}{15} \quad (5)$$

Assim, como a ruptura das amostras é obtida pela combinação de duas componentes de carga, isso implica em uma análise mais profunda da tensão de arrancamento do revestimento, pois esta combinação de cargas deve ser analisada pelo princípio do Círculo de Mohr.

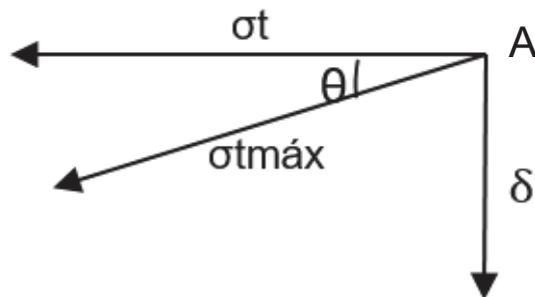
Este princípio aponta uma tensão máxima de arrancamento ($\sigma_{\text{máx}}$, em MPa) que resulta da combinação das tensões atuantes, neste caso uma tensão axial de tração (σ_t , em MPa) e uma tensão de cisalhamento (δ , em Mpa), que são obtidas pela razão de F_t e F_v , respectivamente, pela área de ruptura da amostra.

A Equação 6 demonstra o meio de obtenção da tensão $\sigma_{\text{máx}}$.

$$\sigma_{\text{máx}} = \frac{\sigma_t}{2} + \sqrt{\left(\frac{\sigma_t}{2}\right)^2 + \delta^2} \quad (6)$$

Entretanto, esta tensão $\sigma_{\text{máx}}$ está direcionada à um ângulo (θ , em graus) com relação à tensão σ_t , conforme ilustra a Figura 33. O valor da direção θ pode ser obtido a partir da Equação 7.

Figura 33 – Indicação da direção da tensão $\sigma_{\text{máx}}$ com relação à tensão σ_t



Fonte: Autor (2018).

$$\theta = \arcsen\left(\frac{\delta}{\sqrt{\left(\frac{\sigma_t}{2}\right)^2 + \delta^2}}\right) / 2 \quad (7)$$

Assim, na apresentação dos resultados, constará tanto a tensão de arrancamento direta, provocada por σ_t , quanto a tensão máxima de arrancamento, $\sigma_{\text{máx}}$, acompanhada de sua direção, θ .

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS UTILIZADOS E DAS ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO

Com a realização dos ensaios do frasco de Chapman, para a areia muito fina, e do frasco de Le Chatelier, para o cimento e a cal, a Tabela 2 apresenta os valores de massa específica (γ) destes materiais, que foram obtidos por meio da Equação 1.

Tabela 2 – Massas específica dos materiais utilizados para a produção das argamassas

| Material | m (g) | vi (cm ³) | vf(cm ³) | γ (g/cm ³) |
|----------|--------|-----------------------|----------------------|-------------------------------|
| Areia | 500,00 | 200,00 | 389,00 | 2,65 |
| Cimento | 60,01 | 1,10 | 21,30 | 2,97 |
| Cal | 50,02 | 0,10 | 20,90 | 2,40 |

Fonte: Autor (2018).

Legenda: m – massa do material.

vi – volume inicial identificado no frasco.

vf – volume final identificado no frasco.

γ – massa específica do material.

Com a realização dos ensaios da norma NBR 13279 (ABNT, 2005a), os resultados de resistência à tração na flexão e compressão são apresentados, respectivamente, nas Tabelas 3 e 4 para o traço 1:6 e nas Tabelas 5 e 6 para o traço 1:2:9. Estes resultados foram obtidos por meio das Equações 2 e 3.

Tabela 3 – Resistência à tração na flexão para a argamassa de traço 1:6

| Amostra | Ff (N) | Rf (MPa) |
|---------|--------|----------|
| 1 | 14950 | 35,04 |
| 2 | 15050 | 35,27 |
| 3 | 15300* | 35,86* |
| 4 | 15100 | 35,39 |
| 5 | 14950 | 35,04 |
| 6 | 15100 | 35,39 |
| Média | 15030 | 35,23 |

Fonte: Autor (2018).

Legenda: Ff – carga aplicada verticalmente no centro da amostra.

Rf – resistência à tração na flexão.

Tabela 4 – Resistência à compressão para a argamassa de traço 1:6

| Amostra | Fc (N) | Rc (MPa) |
|---------|--------|----------|
| 1 | 26250 | 16,41 |
| | 26300 | 16,44 |
| 2 | 25000* | 15,63* |
| | 25000* | 15,63* |
| 3 | 26550 | 16,59 |
| | 26450 | 16,53 |
| 4 | 26300 | 16,44 |
| | 26300 | 16,44 |
| 5 | 25500 | 15,94 |
| | 25500 | 15,94 |
| 6 | 26750 | 16,72 |
| | 26700 | 16,69 |
| Média | 26260 | 16,41 |

Fonte: Autor (2018).

Legenda: Fc – carga de compressão máxima aplicada.

Rc – resistência à compressão.

Tabela 5 – Resistência à tração na flexão para a argamassa de traço 1:2:9

| Amostra | Ff (N) | Rf (MPa) |
|---------|--------|----------|
| 1 | 14400 | 33,75 |
| 2 | 14400 | 33,75 |
| 3 | 14450 | 33,87 |
| 4 | 14450 | 33,87 |
| 5 | 14700* | 34,45* |
| 6 | 14750* | 34,57* |
| Média | 14425 | 33,81 |

Fonte: Autor (2018).

Legenda: Ff – carga aplicada verticalmente no centro da amostra.

Rf – resistência à tração na flexão.

Tabela 6 – Resistência à compressão para a argamassa de traço 1:2:9

| Amostra | Fc (N) | Rc (MPa) |
|---------|--------|----------|
| 1 | 18550 | 11,59 |
| | 18550 | 11,59 |
| 2 | 18400 | 11,50 |
| | 18300 | 11,44 |
| 3 | 18550 | 11,59 |
| | 18600 | 11,63 |
| 4 | 18650 | 11,66 |
| | 18650 | 11,66 |
| 5 | 18550 | 11,59 |
| | 18650 | 11,66 |
| 6 | 18450 | 11,53 |
| | 18500 | 11,56 |
| Média | 18533 | 11,58 |

Fonte: Autor (2018).

Legenda: Fc – carga de compressão máxima aplicada.

Rc – resistência à compressão.

A partir da apresentação dos resultados, se percebe que, a argamassa mista apresentou médias de resistências inferiores em comparação à argamassa à base de cimento, apesar de ambas apontarem valores de resistências à tração na flexão muito próximas.

4.2 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS DOS ENSAIOS DE ADERÊNCIA

Neste item são apresentados os resultados do ensaio de resistência de aderência à tração das amostras de argamassas de revestimento ensaiadas, tanto para o equipamento desenvolvido quanto para o equipamento recomendado pela norma NBR 13528 (ABNT, 2010). As amostras foram identificadas conforme Figura 26, do item 3.2.5 deste trabalho.

Vale salientar que a norma NBR 13749 (ABNT, 2013b) preconiza que os resultados serão satisfatórios quando, para um grupo de doze amostras, oito possuírem resistência de aderência iguais ou superiores aos valores especificados na Tabela 1, do item 2.4 deste trabalho.

Além disso, o item 2.4 indica que os resultados de resistência de aderência obtidos nos locais de ruptura que não sejam nas interfaces argamassa/chapisco e chapisco/substrato (para os Painéis 1 e 2) e, não seja a interface argamassa/substrato (para os Painéis 3 e 4) devem estar acompanhados do sinal de maior que (>).

Isso se explica por estes resultados não apresentarem o real valor de aderência nas interfaces das camadas.

Por outro lado, apenas para os resultados do ensaio com o equipamento desenvolvido, os valores de resistência de aderência que foram obtidos apenas com a carga causada pelo peso próprio do equipamento, ou seja, que não foram aplicadas cargas na extremidade do equipamento, estão acompanhados do sinal menor que (<).

Entretanto, nos casos em que as rupturas tenham ocorrido por conta do peso próprio do equipamento desenvolvido e os resultados não tenham ocorrido em alguma das interfaces apresentadas, os valores de resistência de aderência estão acompanhados do sinal de maior que (>).

As Tabelas 7 e 8 apresentam os resultados obtidos para o Painel 1. Para ambos os equipamentos, em duas das amostras de cada ensaio houveram danos ao posicionar o equipamento que impediram de se obter resultados.

Tabela 7 – Resultados do ensaio de resistência de aderência à tração utilizando o equipamento desenvolvido para o Pannel 1, traço 1:2:9 com chapisco

| Amostra | dm (mm) | F (N) | Ft (N) | Fv (N) | σ_t (MPa) | δ (MPa) | $\sigma_{t\max}$ (MPa) | θ | Local de ruptura |
|----------------|---------|-------|--------|--------|------------------|----------------|------------------------|----------|------------------|
| 1 ¹ | N/A | N/A | N/A | N/A | N/A | N/A | N/A | N/A | Arg |
| 2 | 46,00 | 0,00 | 73,23 | 27,46 | >0,04 | >0,02 | >0,05 | 18,43° | Arg |
| 3 | 44,00 | 11,57 | 134,94 | 39,03 | >0,09 | >0,03 | >0,10 | 15,02° | Arg |
| 4 | 46,00 | 0,00 | 73,23 | 27,46 | >0,04 | >0,02 | >0,05 | 18,43° | Arg |
| 5 | 46,50 | 0,00 | 73,23 | 27,46 | >0,04 | >0,02 | >0,05 | 18,43° | Arg |
| 6 | 47,00 | 0,00 | 73,23 | 27,46 | <0,04 | <0,02 | <0,05 | 18,43° | Arg/Chap |
| 7 | 45,00 | 14,51 | 150,64 | 41,97 | >0,09 | >0,03 | >0,10 | 14,57° | Arg |
| 8 ¹ | N/A | N/A | N/A | N/A | N/A | N/A | N/A | N/A | Arg |
| 9 | 46,50 | 36,87 | 269,89 | 64,33 | >0,16 | >0,04 | >0,17 | 12,74° | Arg |
| 10 | 44,00 | 0,00 | 73,23 | 27,46 | >0,05 | >0,02 | >0,05 | 18,43° | Arg |
| 11 | 45,00 | 56,68 | 375,54 | 84,14 | >0,24 | >0,05 | >0,25 | 12,07° | Arg |
| 12 | 45,50 | 0,00 | 73,23 | 27,46 | >0,05 | >0,02 | >0,05 | 18,43° | Arg |
| Média | 45,55 | | | | 0,08 | 0,02 | 0,09 | 16,50° | |

Fonte: Autor (2018).

Legenda: dm – diâmetro médio.

F – força aplicada na extremidade do equipamento.

Ft – força axial de tração.

Fv – força de cisalhamento.

σ_t – tensão axial de tração.

δ – tensão de cisalhamento.

$\sigma_{t\max}$ – tensão máxima de arrancamento.

θ – direção da tensão $\sigma_{t\max}$ com relação à tensão σ_t .

N/A – não aferido.

Arg – ruptura na argamassa.

Arg/Chap – ruptura na interface argamassa-chapisco.

Nota: ¹ Amostra danificada ao posicionar o equipamento.

Tabela 8 – Resultados do ensaio de resistência de aderência à tração utilizando o equipamento recomendado pela norma para o Pannel 1, traço 1:2:9 com chapisco

| Amostra | dm (mm) | F (N) | σ_t (MPa) | Local de ruptura |
|-----------------|---------|--------|------------------|------------------|
| 13 | 46,00 | 333,44 | >0,20 | Arg |
| 14 | 46,50 | 686,49 | >0,40 | Arg |
| 15 ¹ | N/A | N/A | N/A | Arg |
| 16 | 45,00 | 843,40 | >0,53 | Arg |
| 17 ¹ | N/A | N/A | N/A | Arg |
| 18 | 45,50 | 931,67 | >0,57 | Arg |
| 19 | 45,00 | 127,49 | >0,08 | Arg |
| 20 | 47,00 | 676,68 | 0,39 | Arg/Chap |
| 21 | N/A | N/A | N/A | Cola |
| 22 | 46,75 | 568,81 | 0,33 | Arg/Chap |
| 23 | N/A | N/A | N/A | Cola |
| 24 | 46,50 | 627,65 | >0,37 | Arg |
| Média | 45,88 | | 0,36 | |

Fonte: Autor (2018).

Legenda: dm – diâmetro médio.

F – força de arrancamento.

σ – tensão de arrancamento.

N/A – não aferido.

Arg – ruptura na argamassa. (continua)

Arg/Chap – ruptura na interface argamassa-chapisco.

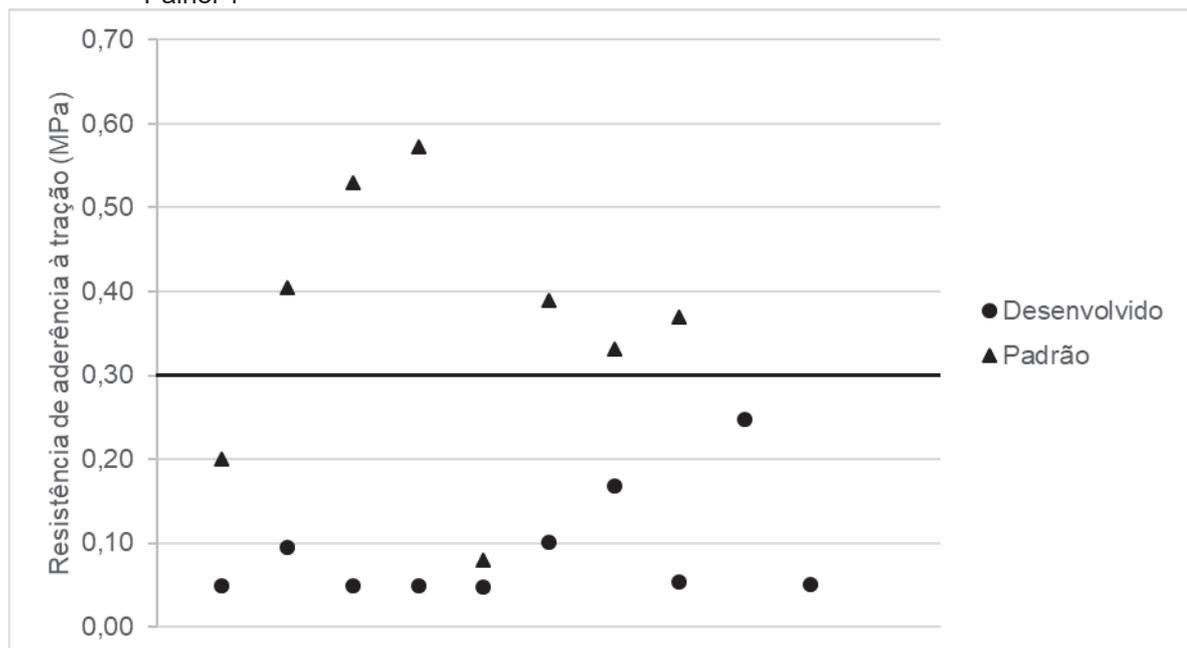
Cola – Ruptura na interface cola-pastilha.

Nota: ¹ Amostra danificada ao posicionar o equipamento.

Como pôde ser observado, o ensaio realizado com o equipamento recomendado pela norma apresentou uma média de resistência maior que o ensaio com o equipamento desenvolvido, com valores de 0,36 MPa e 0,09 MPa, respectivamente.

Entretanto, apesar do ensaio com o equipamento recomendado pela norma apresentar média de resistência maior que 0,30 MPa, apenas seis amostras superaram o limite da norma, como pode ser observado no gráfico de dispersão da Figura 34. Além disso, nota-se também que, para o ensaio com o equipamento desenvolvido, todas as amostras ficaram abaixo deste limite.

Figura 34 – Gráfico de dispersão dos resultados de resistência apresentados nas Tabelas 7 e 8 para o Painel 1



Fonte: Autor (2018).

Para o Painel 2, os resultados estão apresentados nas Tabelas 9 e 10, para o equipamento desenvolvido e para o equipamento recomendado por norma, respectivamente.

Tabela 9 – Resultados do ensaio de resistência de aderência à tração utilizando o equipamento desenvolvido para o Pannel 2, traço 1:6 com chapisco

| Amostra | dm (mm) | F (N) | Ft (N) | Fv (N) | σ_t (MPa) | δ (MPa) | $\sigma_{tm\acute{a}x}$ (MPa) | θ | Local de ruptura |
|---------|---------|--------|--------|--------|------------------|----------------|-------------------------------|----------|------------------|
| 1 | 45,00 | 17,46 | 166,33 | 44,92 | >0,10 | >0,03 | >0,11 | 14,19° | Arg |
| 2 | 46,50 | 25,69 | 210,26 | 53,15 | 0,12 | 0,03 | 0,13 | 13,41° | Chap/Sub |
| 3 | 45,50 | 41,58 | 294,99 | 69,04 | 0,18 | 0,04 | 0,19 | 12,54° | Chap/Sub |
| 4 | 46,00 | 129,06 | 761,55 | 156,52 | 0,46 | 0,09 | 0,48 | 11,17° | Chap/Sub |
| 5 | 45,50 | 21,18 | 186,20 | 48,64 | >0,11 | >0,03 | >0,12 | 13,79° | Arg |
| 6 | N/A | N/A | N/A | N/A | N/A | N/A | N/A | N/A | Cola |
| 7 | 44,00 | 42,76 | 301,27 | 70,22 | >0,20 | >0,05 | >0,21 | 12,50° | Arg |
| 8 | N/A | N/A | N/A | N/A | N/A | N/A | N/A | N/A | Cola |
| 9 | N/A | N/A | N/A | N/A | N/A | N/A | N/A | N/A | Cola |
| 10 | 45,50 | 61,59 | 401,69 | 89,05 | >0,25 | >0,05 | >0,26 | 11,96° | Arg |
| 11 | 48,50 | 0,00 | 73,23 | 27,46 | <0,04 | <0,01 | <0,04 | 18,43° | Chap/Sub |
| 12 | 44,00 | 0,00 | 73,23 | 27,46 | >0,05 | >0,02 | >0,05 | 18,43° | Arg |
| Média | 45,61 | | | | 0,17 | 0,04 | 0,18 | 14,05° | |

Fonte: Autor (2018).

Legenda: dm – diâmetro médio.

F – força aplicada na extremidade do equipamento.

Ft – força axial de tração.

Fv – força de cisalhamento.

σ_t – tensão axial de tração.

δ – tensão de cisalhamento.

$\sigma_{tm\acute{a}x}$ – tensão máxima de arrancamento.

θ – direção da tensão $\sigma_{tm\acute{a}x}$ com relação à tensão σ_t .

N/A – não aferido.

Arg – ruptura na argamassa.

Chap/Sub – ruptura na interface chapisco-substrato.

Cola – Ruptura na interface cola-pastilha.

Tabela 10 – Resultados do ensaio de resistência de aderência à tração utilizando o equipamento recomendado pela norma para o Pannel 2, traço 1:6 com chapisco

| Amostra | dm (mm) | F (N) | σ_t (MPa) | Local de ruptura |
|---------|---------|---------|------------------|------------------|
| 13 | 45,00 | 1372,98 | >0,86 | Arg |
| 14 | 46,00 | 1039,54 | >0,63 | Arg |
| 15 | N/A | N/A | N/A | Cola |
| 16 | N/A | N/A | N/A | Cola |
| 17 | 46,75 | 725,72 | 0,42 | Chap/Sub |
| 18 | N/A | N/A | N/A | Cola |
| 19 | 46,00 | 657,07 | >0,40 | Arg |
| 20 | N/A | N/A | N/A | Cola |
| 21 | 47,00 | 549,19 | 0,32 | Chap/Sub |
| 22 | 46,75 | 1480,86 | >0,86 | Arg |
| 23 | 45,50 | 833,60 | 0,51 | Chap/Sub |
| 24 | 46,50 | 764,95 | 0,45 | Arg/Chap |
| Média | 46,17 | | 0,57 | |

Fonte: Autor (2018).

Legenda: dm – diâmetro médio.

F – força de arrancamento.

σ_t – tensão de arrancamento.

N/A – não aferido.

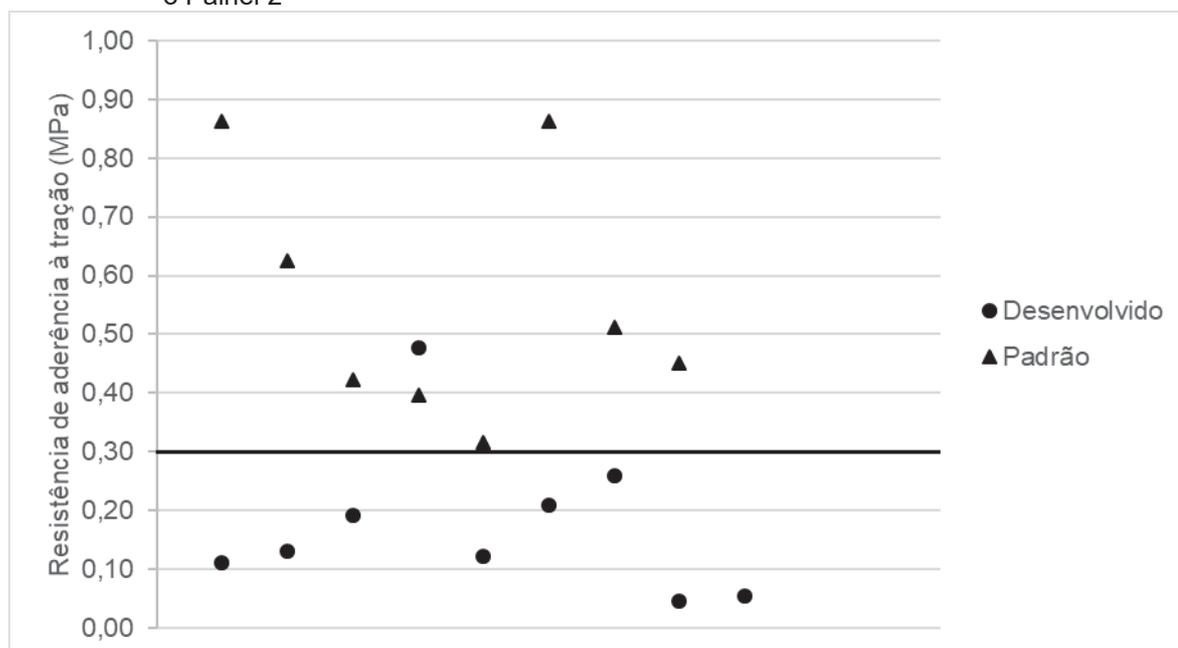
Arg – ruptura na argamassa. (continua)

Arg/Chap – ruptura na interface argamassa-chapisco.
 Chap/Sub – ruptura na interface chapisco-substrato.
 Cola – Ruptura na interface cola-pastilha.

Para este painel também se observou uma média de resistência maior para o equipamento recomendado pela norma comparado ao desenvolvido, com valores de 0,57 MPa e 0,18 MPa, respectivamente.

Ao contrário do apresentado para o Painel 1, no ensaio realizado com o equipamento recomendado pela norma, para o Painel 2, foram obtidas oito amostras que superaram o limite de 0,30 MPa. Entretanto, a Figura 35 apresenta um gráfico de dispersão que ilustra que apenas um dos resultados da Tabela 9 supera este limite.

Figura 35 – Gráfico de dispersão dos resultados de resistência apresentados nas Tabelas 9 e 10 para o Painel 2



Fonte: Autor (2018).

Para os ensaios realizados no Painel 3, apenas duas amostras foram danificadas, estas ao posicionar o equipamento desenvolvido. Os resultados dos ensaios estão dispostos nas Tabelas 11 e 12.

Tabela 11 – Resultados do ensaio de resistência de aderência à tração utilizando o equipamento desenvolvido Painel 3, traço 1:2:9 sem chapisco

| Amostra | dm (mm) | F (N) | Ft (N) | Fv (N) | σ_t (MPa) | δ (MPa) | $\sigma_{t\max}$ (MPa) | θ | Local de ruptura |
|-----------------|---------|-------|--------|--------|------------------|----------------|------------------------|----------|------------------|
| 1 | 46,00 | 0,00 | 73,23 | 27,46 | >0,04 | >0,02 | >0,05 | 18,43° | Arg |
| 2 | 44,00 | 0,00 | 73,23 | 27,46 | >0,05 | >0,02 | >0,05 | 18,43° | Arg |
| 3 | 48,00 | 52,96 | 355,67 | 80,42 | 0,20 | 0,04 | 0,21 | 12,17° | Arg/Sub |
| 4 | 45,50 | 11,77 | 135,99 | 39,23 | >0,08 | >0,02 | >0,09 | 14,99° | Arg |
| 5 ¹ | N/A | N/A | N/A | N/A | N/A | N/A | N/A | N/A | Arg |
| 6 | 48,00 | 12,95 | 142,27 | 40,40 | 0,08 | 0,02 | 0,08 | 14,80° | Arg/Sub |
| 7 | 47,00 | 0,00 | 73,23 | 27,46 | >0,04 | >0,02 | >0,05 | 18,43° | Arg |
| 8 | 48,00 | 8,43 | 118,21 | 35,89 | 0,07 | 0,02 | 0,07 | 15,64° | Arg/Sub |
| 9 | 45,00 | 50,21 | 341,02 | 77,67 | >0,21 | >0,05 | >0,23 | 12,25° | Arg |
| 10 ¹ | N/A | N/A | N/A | N/A | N/A | N/A | N/A | N/A | Arg |
| 11 | 46,50 | 0,00 | 73,23 | 27,46 | >0,04 | >0,02 | >0,05 | 18,43° | Arg |
| 12 | N/A | N/A | N/A | N/A | N/A | N/A | N/A | N/A | Cola |
| Média | 46,44 | | | | 0,09 | 0,03 | 0,10 | 15,95° | |

Fonte: Autor (2018).

Legenda: dm – diâmetro médio.

F – força aplicada na extremidade do equipamento.

Ft – força axial de tração.

Fv – força de cisalhamento.

σ_t – tensão axial de tração.

δ – tensão de cisalhamento.

$\sigma_{t\max}$ – tensão máxima de arrancamento.

θ – direção da tensão $\sigma_{t\max}$ com relação à tensão σ_t .

N/A – não aferido.

Arg – ruptura na argamassa.

Arg/Sub – ruptura na interface argamassa-substrato.

Cola – Ruptura na interface cola-pastilha.

Nota: ¹ Amostra danificada ao posicionar o equipamento.

Tabela 12 – Resultados do ensaio de resistência de aderência à tração utilizando o equipamento recomendado pela norma Painel 3, traço 1:2:9 sem chapisco

| Amostra | dm (mm) | F (N) | σ_t (MPa) | Local de ruptura |
|---------|---------|--------|------------------|------------------|
| 13 | 43,00 | 235,37 | >0,16 | Arg |
| 14 | 47,50 | 578,61 | 0,33 | Arg/Sub |
| 15 | 46,50 | 411,89 | >0,24 | Arg |
| 16 | 46,75 | 509,96 | >0,30 | Arg |
| 17 | 46,00 | 186,33 | >0,11 | Arg |
| 18 | N/A | N/A | N/A | Cola |
| 19 | 45,50 | 784,56 | >0,48 | Arg |
| 20 | 45,75 | 470,74 | >0,29 | Arg |
| 21 | N/A | N/A | N/A | Cola |
| 22 | 48,00 | 431,51 | 0,24 | Arg/Sub |
| 23 | 47,50 | 725,72 | >0,41 | Arg |
| 24 | 48,00 | 509,96 | 0,28 | Arg/Sub |
| Média | 46,97 | | 0,28 | |

Fonte: Autor (2018).

Legenda: dm – diâmetro médio.

F – força de arrancamento.

σ_t – tensão de arrancamento.

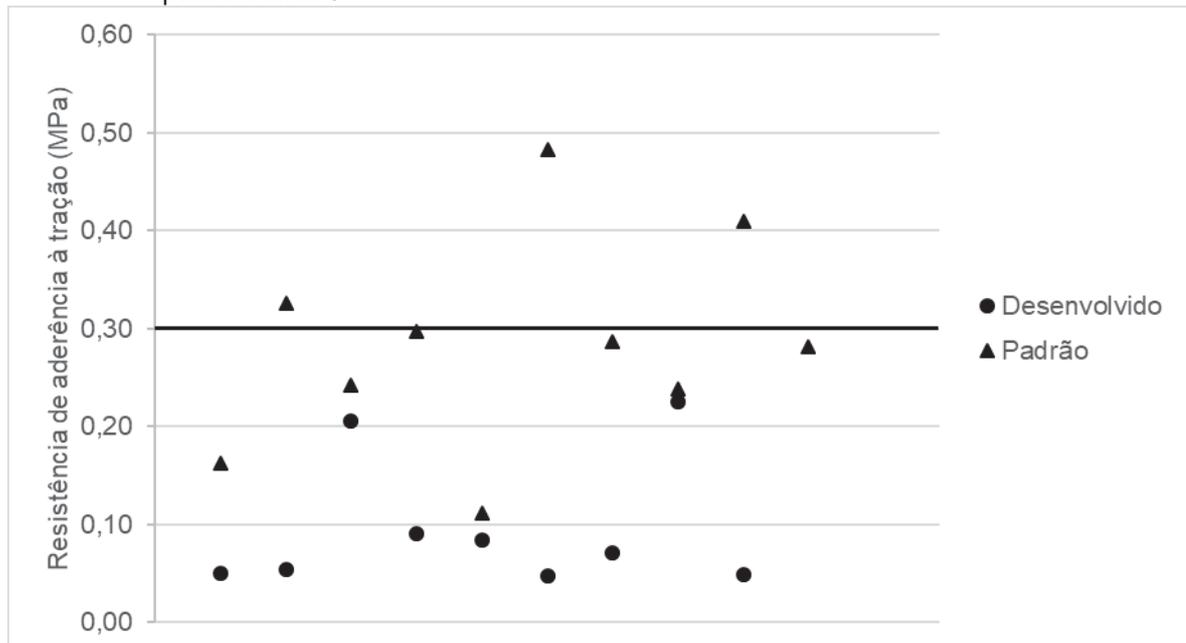
N/A – não aferido. (continua)

Arg – ruptura na argamassa.
 Arg/Sub – ruptura na interface argamassa-substrato.
 Cola – Ruptura na interface cola-pastilha.

Pôde-se notar que em mais um painel a média de resistência do equipamento desenvolvido foi menor que a média do equipamento recomendado pela norma, com valores de 0,10 MPa e 0,28 MPa, respectivamente.

Entretanto, para o Painel 3, nenhuma das médias dos ensaios superou o limite de 0,3 MPa da norma. Através do gráfico de dispersão da Figura 36 observa-se que todas as amostras da Tabela 11 estão abaixo do limite, enquanto que para a Tabela 12 apenas quatro são superiores ou igual ao mesmo.

Figura 36 – Gráfico de dispersão dos resultados de resistência apresentados nas Tabelas 11 e 12 para o Painel 3



Fonte: Autor (2018).

As Tabelas 13 e 14 apresentam os resultados dos ensaios realizados no Painel 4. Neste caso, houve apenas uma amostra danificada, que foi ao posicionar o equipamento recomendado pela norma.

Tabela 13 – Resultados do ensaio de resistência de aderência à tração utilizando o equipamento desenvolvido Painel 4, traço 1:6 sem chapisco

| Amostra | dm (mm) | F (N) | Ft (N) | Fv (N) | σ_t (MPa) | δ (MPa) | $\sigma_{tm\acute{a}x}$ (MPa) | θ | Local de ruptura |
|---------|---------|--------|--------|--------|------------------|----------------|-------------------------------|----------|------------------|
| 1 | N/A | N/A | N/A | N/A | N/A | N/A | N/A | N/A | Cola |
| 2 | 45,00 | 131,61 | 775,15 | 159,07 | >0,49 | >0,10 | >0,51 | 11,16° | Arg |
| 3 | 47,00 | 118,66 | 706,10 | 146,12 | >0,41 | >0,08 | >0,42 | 11,24° | Arg |
| 4 | 45,50 | 152,60 | 887,08 | 180,06 | >0,55 | >0,11 | >0,57 | 11,05° | Arg |
| 5 | 47,00 | 52,17 | 351,48 | 79,63 | >0,20 | >0,05 | >0,21 | 12,19° | Arg |
| 6 | 46,00 | 171,43 | 987,50 | 198,89 | >0,59 | >0,12 | >0,62 | 10,97° | Arg |
| 7 | 45,50 | 109,84 | 659,03 | 137,30 | >0,41 | >0,08 | >0,42 | 11,31° | Arg |
| 8 | 46,00 | 129,26 | 762,59 | 156,72 | >0,46 | >0,09 | >0,48 | 11,17° | Arg |
| 9 | 44,00 | 8,43 | 118,21 | 35,89 | >0,08 | >0,02 | >0,08 | 15,64° | Arg |
| 10 | 46,25 | 121,80 | 722,84 | 149,26 | >0,43 | >0,09 | >0,45 | 11,22° | Arg |
| 11 | 46,00 | 121,02 | 718,66 | 148,48 | >0,43 | >0,09 | >0,45 | 11,23° | Arg |
| 12 | 45,25 | 0,00 | 73,23 | 27,46 | >0,05 | >0,02 | >0,05 | 18,43° | Arg |
| Média | 45,77 | | | | 0,37 | 0,08 | 0,39 | 12,33° | |

Fonte: Autor (2018).

Legenda: dm – diâmetro médio.

F – força aplicada na extremidade do equipamento.

Ft – força axial de tração.

Fv – força de cisalhamento.

σ_t – tensão axial de tração.

δ – tensão de cisalhamento.

$\sigma_{tm\acute{a}x}$ – tensão máxima de arrancamento.

θ – direção da tensão $\sigma_{tm\acute{a}x}$ com relação à tensão σ_t .

N/A – não aferido.

Arg – ruptura na argamassa.

Cola – Ruptura na interface cola-pastilha.

Tabela 14 – Resultados do ensaio de resistência de aderência à tração utilizando o equipamento recomendado pela norma Painel 4, traço 1:6 sem chapisco

| Amostra | dm (mm) | F (N) | σ_t (MPa) | Local de ruptura |
|-----------------|---------|--------|------------------|------------------|
| 13 | N/A | N/A | N/A | Cola |
| 14 | 47,50 | 823,79 | >0,46 | Arg |
| 15 | 46,00 | 686,49 | >0,41 | Arg |
| 16 | N/A | N/A | N/A | Cola |
| 17 | 46,25 | 549,19 | >0,33 | Arg |
| 18 | 45,50 | 745,33 | 0,46 | Arg/Sub |
| 19 ¹ | N/A | N/A | N/A | Arg |
| 20 | 47,00 | 813,98 | >0,47 | Arg |
| 21 | 46,75 | 902,24 | >0,53 | Arg |
| 22 | 46,25 | 755,14 | >0,45 | Arg |
| 23 | 46,50 | 804,17 | >0,47 | Arg |
| 24 | N/A | N/A | N/A | Cola |
| Média | 46,39 | | 0,45 | |

Fonte: Autor (2018).

Legenda: dm – diâmetro médio.

F – força de arrancamento.

σ – tensão de arrancamento.

N/A – não aferido.

Arg – ruptura na argamassa.

Arg/Sub – ruptura na interface argamassa-substrato. (continua)

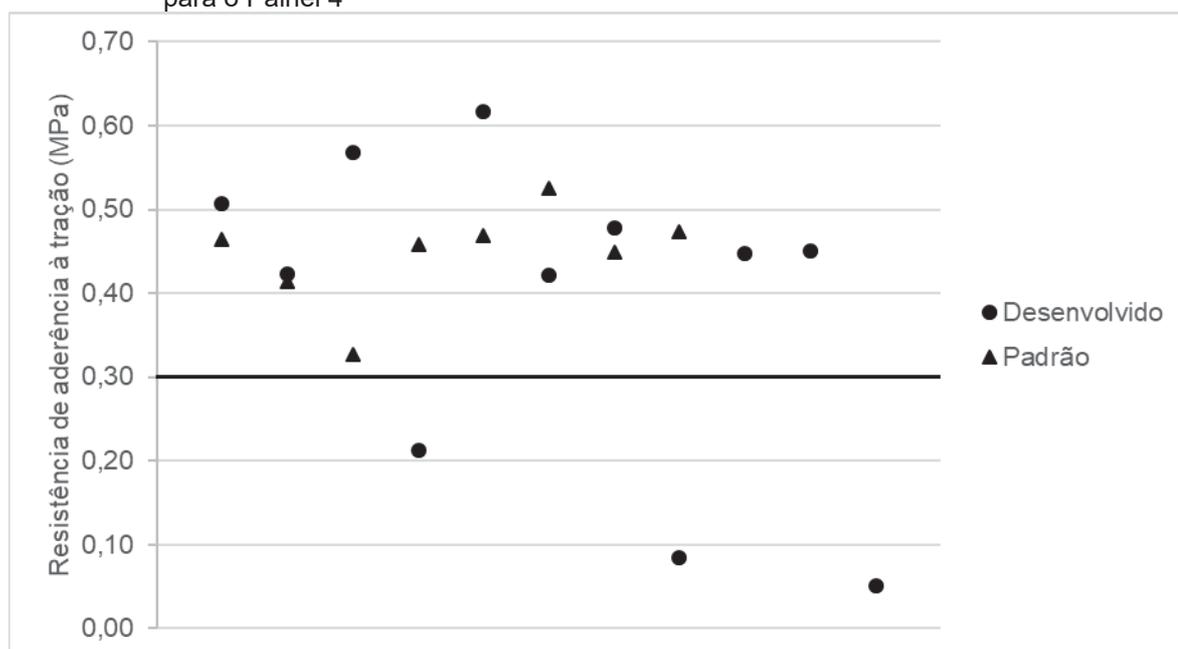
Cola – Ruptura na interface cola-pastilha.

Nota: ¹ Amostra danificada ao posicionar o equipamento.

Apesar de menor, a média de resistência do ensaio realizado com o equipamento desenvolvido foi próxima ao do equipamento recomendado pela norma, com valores de 0,39 MPa e 0,45 MPa, respectivamente.

O Painel 4 foi o único em que ambas as médias superaram o limite de 0,30 MPa proposto pela norma. A Figura 37 ilustra por meio de um gráfico de dispersão que para o equipamento desenvolvido apenas três amostras ficaram abaixo deste limite, enquanto que para o equipamento recomendado pela norma, todas as amostras superaram o mesmo.

Figura 37 – Gráfico de dispersão dos resultados de resistência apresentados nas Tabelas 13 e 14 para o Painel 4



Fonte: Autor (2018).

A fim de reunir os resultados apresentados, a Tabela 15 apresenta as médias, desvios padrão e coeficientes de variação das resistências obtidas para os oito ensaios.

Tabela 15 – Médias, desvios padrão e coeficientes de variação das resistências obtidas para os ensaios

| Painel | Equipamento | Média | Desvio padrão | CV |
|--------|--------------|-------|---------------|-------|
| 1 | Desenvolvido | 0,09 | 0,07 | 73,6% |
| | Padrão | 0,36 | 0,16 | 44,8% |
| 2 | Desenvolvido | 0,18 | 0,13 | 74,4% |
| | Padrão | 0,57 | 0,21 | 36,7% |
| 3 | Desenvolvido | 0,10 | 0,07 | 70,8% |
| | Padrão | 0,28 | 0,11 | 38,1% |
| 4 | Desenvolvido | 0,39 | 0,19 | 48,5% |
| | Padrão | 0,45 | 0,06 | 12,9% |

Fonte: Autor (2018).

Legenda: CV – Coeficiente de variação.

A partir da Tabela 15, nota-se que os resultados obtidos, em sua maioria, apresentam grande coeficiente de variação, chegando a mais de 70%. Observa-se também que, as maiores porcentagens de coeficiente de variação são atribuídas às menores médias de resistência, que possuem alto desvio padrão quando comparado à média.

4.3 ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.3.1 Influência da presença da cal e do chapisco nos resultados

Ao observar os resultados apresentados no item 4.2, notou-se que amostras ensaiadas de argamassas mistas apresentaram, em média, resistências abaixo do limite de 0,30 MPa. Entretanto, o Painel 1, no qual teve sua base preparada com chapisco, apresentou uma resistência média superior, enfatizando a importância do chapisco para o preparo da base em argamassas mistas.

Em contrapartida, para as argamassas apenas a base de cimento, o chapisco mostrou sua relevância apenas para os ensaios realizados com o equipamento recomendado pela norma, ao aumentar uma resistência que já pode ser considerada satisfatória sem a presença do chapisco.

Para os ensaios feitos com o equipamento desenvolvido, o Painel 2, que possui sua base preparada com chapisco, apresentou desempenho de resistência à aderência pior que o Painel 4, no qual não teve esta adição de camada. Podendo ainda ser enfatizado que não houve, no Painel 4, arrancamento de amostra na interface argamassa/substrato. Enquanto que para o Painel 2, houveram quatro rupturas na interface chapisco/substrato, sendo três abaixo de 0,20 MPa.

Em média, as amostras dos painéis que apresentaram cal em seu traço, obtiveram resistência de aderência 48,7% menor que os revestimentos à base de cimento. Isto demonstra que argamassas mistas em geral apresentam menor resistência ao arrancamento em relação às argamassas que apresentam apenas o cimento como aglomerante. Assim, enfatizando novamente que a presença da cal no traço da argamassa de revestimento reduz consideravelmente sua resistência à tração.

4.3.2 Análise de desempenho do equipamento desenvolvido

A partir da apresentação dos resultados no item 4.2, percebeu-se que, em geral, as amostras ensaiadas com o equipamento desenvolvido obtiveram resistências menores que as ensaiadas com o equipamento recomendado pela norma, para todos os ensaios.

Entretanto, não se pôde observar correlação direta entre os equipamentos utilizados para os ensaios, possivelmente devido às diferenças de funcionamento entre os mesmos.

Para compreender a influência que o uso do equipamento gerou no ensaio, fez uso do teste de variância ANOVA, no qual é possível compreender esta diferença. Este teste foi aplicado para os ensaios dos quatro painéis, a fim de comparar os resultados obtidos entre os equipamentos.

As Tabelas 16, 17, 18 e 19 apresentam os resultados do teste de variância ANOVA para os Painéis 1, 2, 3 e 4, respectivamente.

Tabela 16 – Teste de variância ANOVA aplicado nos resultados obtidos no Painel 1

| Fonte da variação | SQ | gl | MQ | F | F crítico | Resultado |
|-------------------|-------------|----|-------------|-------------|-------------|---------------|
| Entre grupos | 0,320895287 | 1 | 0,320895287 | 23,08439801 | 4,493998478 | Significativo |
| Dentro dos grupos | 0,222415356 | 16 | 0,01390096 | - | - | - |
| Total | 0,543310643 | 17 | - | - | - | - |

Fonte: Autor (2018).

Legenda: SQ – soma dos quadrados.

gl – grau de liberdade.

MQ- média dos quadrados.

F – parâmetro de Fisher para o teste de significância dos efeitos.

Tabela 17 – Teste de variância ANOVA aplicado nos resultados obtidos no Painel 2

| Fonte da variação | SQ | gl | MQ | F | F crítico | Resultado |
|-------------------|-------------|----|-------------|-------------|-------------|---------------|
| Entre grupos | 0,606975947 | 1 | 0,606975947 | 20,36944791 | 4,543077165 | Significativo |
| Dentro dos grupos | 0,446975257 | 15 | 0,02979835 | - | - | - |
| Total | 1,053951204 | 16 | - | - | - | - |

Fonte: Autor (2018).

Legenda: SQ – soma dos quadrados.

gl – grau de liberdade.

MQ- média dos quadrados.

F – parâmetro de Fisher para o teste de significância dos efeitos.

Tabela 18 – Teste de variância ANOVA aplicado nos resultados obtidos no Painel 3

| Fonte da variação | SQ | gl | MQ | F | F crítico | Resultado |
|-------------------|-------------|----|-------------|-------------|-------------|---------------|
| Entre grupos | 0,164807874 | 1 | 0,164807874 | 19,53400606 | 4,451321772 | Significativo |
| Dentro dos grupos | 0,143428534 | 17 | 0,008436973 | - | - | - |
| Total | 0,308236408 | 18 | - | - | - | - |

Fonte: Autor (2018).

Legenda: SQ – soma dos quadrados.

gl – grau de liberdade.

MQ- média dos quadrados.

F – parâmetro de Fisher para o teste de significância dos efeitos.

Tabela 19 – Teste de variância ANOVA aplicado nos resultados obtidos no Painel 4

| Fonte da variação | SQ | gl | MQ | F | F crítico | Resultado |
|-------------------|------------|----|-------------|-------------|-------------|-------------------|
| Entre grupos | 0,01681074 | 1 | 0,01681074 | 0,758762477 | 4,451321772 | Não significativo |
| Dentro dos grupos | 0,376643 | 17 | 0,022155471 | - | - | - |
| Total | 0,39345374 | 18 | - | - | - | - |

Fonte: Autor (2018).

Legenda: SQ – soma dos quadrados.

gl – grau de liberdade.

MQ- média dos quadrados.

F – parâmetro de Fisher para o teste de significância dos efeitos.

Portanto, pelo parâmetro de Fisher, percebe-se que, para os Painéis 1, 2 e 3, o equipamento utilizado para a realização do ensaio foi significativo para a obtenção dos resultados, com significância entre os grupos de aproximadamente 60%. Já para os resultados obtidos no Painel 4, o uso do equipamento não mostrou-se significativo.

Uma análise muito importante a ser feita com relação ao desempenho do equipamento desenvolvido é com relação à tensão de cisalhamento (δ) que atua sob a amostra durante o ensaio.

A partir dos resultados, percebeu-se que esta é uma tensão muito pequena quando comparada à tensão de tração axial. Esta relação, torna-se cada vez menor ao passo que a tensão axial aumenta, ou seja, quanto maior é a carga aplicada na

extremidade no equipamento, menor é a influência da tensão de cisalhamento na amostra.

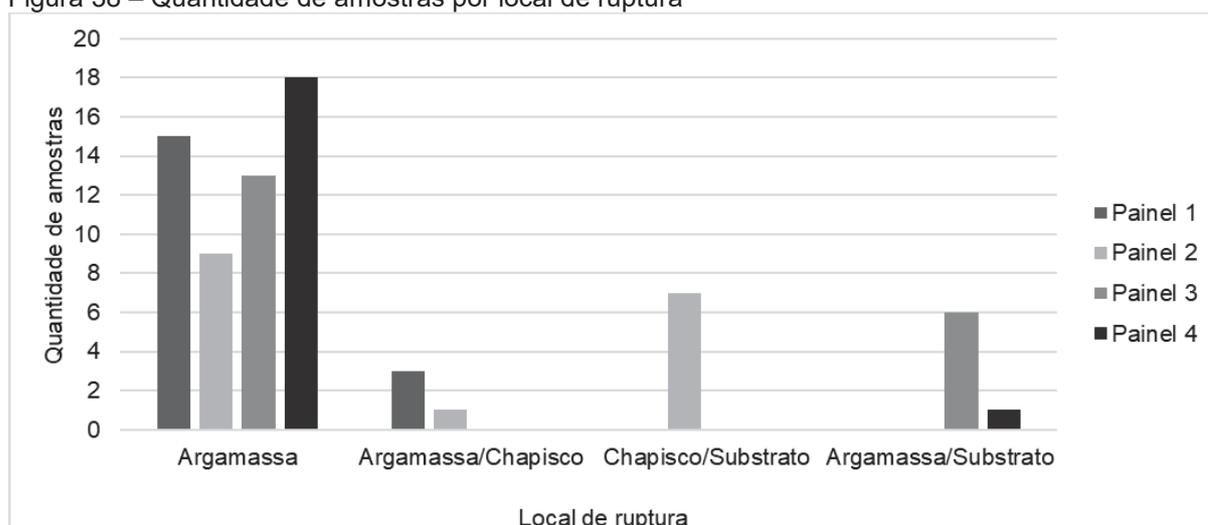
Esta análise ainda aponta, por consequência, que o ângulo (θ), que indica a direção de $\sigma_{\text{máx}}$ com relação a σ_t , fica menor conforme aumenta a carga aplicada na extremidade do equipamento. Este ângulo varia de aproximadamente 18° , quando a carga é apenas o peso próprio do equipamento, à em torno de 11° , quando a resistência supera o limite de 0,30 MPa da norma NBR 13528 (ABNT, 2010).

Outro ponto a ser analisado é o peso do equipamento, visto que, das quarenta e oito amostras ensaiadas com o equipamento desenvolvido, em treze houve a ruptura apenas com seu peso próprio, nove delas sendo nos painéis com argamassas mistas. Assim é sugerido para continuidade de pesquisas o desenvolvimento de um equipamento com menor peso próprio.

4.3.3 Local de ruptura

Outra análise possível de ser realizada trata do local de ruptura. A Figura 38 apresenta um gráfico com a quantidade de amostras, das setenta e três que foram efetivamente ensaiadas, que foram à ruptura de acordo com seu local.

Figura 38 – Quantidade de amostras por local de ruptura



Fonte: Autor (2018).

Pôde-se notar que a grande maioria das amostras rompeu na argamassa, isso significa dizer que, segundo a norma NBR 13528 (ABNT, 2010), as resistências de aderência das interfaces argamassa/chapisco e chapisco/substrato (para os painéis

com a presença de chapisco) e argamassa/substrato (para os painéis sem a presença de chapisco) são maiores que os valores encontrados.

Ao comparar com o trabalho de Carasek et al. (2008), apresentado no item 2.5.8 deste trabalho, percebe-se que há semelhança com relação ao local de ruptura das amostras. Para o revestimento com aplicação de argamassa em base seca, em 90% das amostras de Carasek et al. (2008) houve a ruptura na argamassa. Já para este trabalho, a ruptura na argamassa ocorreu em 78% das amostras.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com a realização deste estudo, as principais conclusões foram:

- A realização do ensaio para a determinação da resistência de aderência à tração de revestimentos argamassados com o equipamento desenvolvido proposto não possui correlação direta com o equipamento recomendado pela norma recomendado pela norma NBR 13528 (ABNT, 2010).
- Nos ensaios realizados com o equipamento desenvolvido, a tensão de cisalhamento (δ) foi muito pequena quando comparada com a tensão máxima de tração ($\sigma_{\text{máx}}$), e, ao passo que $\sigma_{\text{máx}}$ aumentou, a influência de δ diminuiu.
- O peso próprio do equipamento desenvolvido mostrou-se fator importante para os ensaios, visto que 27% das amostras foram arrancadas apenas por esta carga. Entretanto, estas amostras apresentaram resistências em torno de 0,05 MPa, muito abaixo do limite recomendado pela norma NBR 13528 (ABNT, 2010).
- As argamassas à base de cimento mostraram-se mais resistentes ao arrancamento em relação às argamassas mistas. Em contrapartida, as argamassas mistas apresentaram trabalhabilidade, propriedade muito importante da argamassa, superior às argamassas à base de cimento.
- Os revestimentos de argamassas mistas, tiveram suas resistências de aderência aumentadas quando adicionada a camada de chapisco, indicando a importância deste elemento.
- A maior parte das amostras teve seu local de ruptura na argamassa, não indicando assim os verdadeiros resultados de resistência de aderência nas interfaces das camadas de revestimentos e destas com o substrato.
- Além de apresentar maior resistência de aderência à tração, o ensaio realizado conforme norma NBR 13279 (ABNT, 2005a) apontou que as argamassas apenas à base de cimento possuem resistência à compressão e à tração na flexão superiores às argamassas mistas.

5.1 SUGESTÃO DE TRABALHOS FUTUROS

Apesar de não se ter conseguido uma correlação direta entre os equipamentos, este estudo pode ser melhorado, com aperfeiçoamentos no

desenvolvimento do equipamento, visando uma possível correlação com o equipamento recomendado pela norma.

Estes aperfeiçoamentos seriam a fim de principalmente minimizar o efeito da tensão de cisalhamento (δ) e do peso próprio do equipamento.

Um método de se minimizar o efeito de δ seria diminuir a relação entre os eixos vertical e horizontal, que possuem 15 cm e 80 cm, respectivamente, para este equipamento, ou seja, uma relação de 0,1875 cm/cm.

Com relação ao peso próprio do equipamento, que possui uma massa de 2,80 kg, um possível método é a confecção deste com um material mais leve que o aço, como por exemplo o alumínio.

Portanto, sugere-se que seja realizado um estudo futuro desenvolvendo-se um equipamento com uma relação entre os eixos vertical e horizontal abaixo de 0,1875 cm/cm, e que seja confeccionado com um material mais leve que o aço, que garanta um peso próprio abaixo de 2,80 kg.

REFERÊNCIAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 7211**. Agregados para concreto – Especificação. Rio de Janeiro, 2009.

ABNT_____. **NBR 9775**: Agregado miúdo – Determinação do teor de umidade superficial por meio do frasco de Chapman – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2011.

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

ABNT_____. **NBR 13281**: Argamassas para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Requisitos. Rio de Janeiro, 2005b.

ABNT_____. **NBR 13528**: Revestimento de paredes de argamassas inorgânicas – Determinação da resistência de aderência à tração. Rio de Janeiro, 2010.

ABNT_____. **NBR 13529**: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Terminologia. Rio de Janeiro, 2013a.

ABNT_____. **NBR 13749**: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Especificação. Rio de Janeiro, 2013b.

ABNT_____. **NBR 16605**: Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 2017.

ABNT_____. **NBR NM 248**: Agregados – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

ALVES, C. **Com cerâmicas soltando, prédios representam risco a pedestres**. Capital Teresina. 2017. Disponível em: < <http://www.capitalteresina.com.br/noticias/teresina/com-ceramicas-soltando-predios-representam-risco-a-pedestres-51334.html> >. Acesso em: 26 abr. 2018.

ANGELIM, R. R.; ANGELIM, S. C. M.; CARASEK, H. **Influência da distribuição granulométrica da areia no comportamento dos revestimentos de argamassa**.

In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA ARGAMASSAS, V., 2003, São Paulo.

BAUER, R. J. F. **Patologia em Revestimentos de Argamassa Inorgânica**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, II., 1997, Salvador.

BUSIAN, F. **Planejamento - Contrapiso**. Revista Equipe de Obra. 59. ed. Editora Pini, 2013. Disponível em: < <http://equipededeobra17.pini.com.br/construcao-reforma/59/contrapiso-calcule-a-quantidade-de-operarios-de-ferramentas-e-284537-1.aspx> >. Acesso em: 30 abr. 2018.

CARASEK, H. **Argamassas**. In: ISAIA, G. C. (Ed.). Materiais de Construção Civil e Princípio de Ciência e Engenharia de Materiais. São Paulo, 2017. 3. ed. v. 2.

CARASEK, H.; COSTA, E. B. C.; ALVES, A.; MELO, T. **Influência da umidade nas propriedades dos revestimentos de argamassa**. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, XII., 2008, Fortaleza.

COSTA, E. B. C.; CARASEK, H. Influência dos parâmetros de ensaio na determinação da resistência de aderência de revestimentos de argamassa. Ambiente Construído, Porto Alegre, 2009.

CICHINELLI, G. **Patologias cerâmicas**. Revista Técnica. 116. ed. Editora Pini, 2006. Disponível em: <<http://techne17.pini.com.br/engenharia-civil/116/artigo287385-1.aspx>>. Acesso em: 27 mar. 2018.

FIORITO, A. J. S. I. **Manual de argamassas e revestimentos: estudos e procedimentos de execução**. Ed. Pini. 2. Ed. São Paulo, 2009.

JAPIASSÚ, P.; CARASEK, H.; CASCUDO, O.; VELOSA, A. L.; OLIVEIRA, M. C. B. de.; CHOTOLI, F. F.; QUARCIONI, V. A. **Caracterização da interface azulejo/ argamassa de fachadas históricas**. Revista ALCONPAT. Vol. 4, nº 1, 2014.

KAZMIERCZAK, C. de S.; BREZEZINSKI, D. E.; COLLATTO, D. Influência das características da base na resistência de aderência à tração e na distribuição de poros de uma argamassa. Estudos tecnológicos. Vol. 3, nº 1:47-58, 2007.

MARTINGANÇA, J. A. S.; MARTINGANÇA, C. S. S.; COSTA, M. **Ensinaamentos a retirar do passado histórico das argamassas**. 2005. Disponível em: <

<http://www.apfac.pt/congresso2005/comunicacoes/Paper%2051.pdf> >. Acesso em: 15 abr. 2018.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concrete Microstructure, Properties, and Materials – Third Edition**. Ed.: McGraw-Hill. ISBN.: 0-07-146289-9. Inglês, 659 p., 2006.

NAKAMURA, J. **Reparo, reforço e recuperação de concreto**. Revista Técnica. 146. ed. Editora Pini, 2009. Disponível em < <http://techne17.pini.com.br/engenharia-civil/146/artigo285462-2.aspx> >. Acesso em: 30 abr. 2018.

PEREIRA, E.; SILVA, I. J. da; COSTA, M. do R. de M. M. da. **Avaliação dos mecanismos de aderência entre argamassa colante e substrato não poroso**. Ambiente Construído, Porto Alegre, 2013.

REIS, P. **Preparado de argamassa X argamassa convencional**. Revista Construção Mercado. 126. ed. Editora Pini, 2012. Disponível em: < <http://construcaomercado17.pini.com.br/negocios-incorporacao-construcao/126/preparado-de-argamassa-x-argamassa-convencional-produto-industrializado-com-299582-1.aspx> >. Acesso em: 30 abr. 2018.

SANTIAGO, C. C. **Argamassas tradicionais de cal**. Salvador: EDUFBA, 2007. 202 p.

SCANDAROLI, M. **Revestimentos cerâmicos**. Revista Técnica. 148. ed. Editora Pini, 2009. Disponível em: < <http://techne17.pini.com.br/engenharia-civil/148/revestimentos-ceramicos-os-detalhes-da-boa-execucao-productividade-e-reducao-286604-1.aspx> >. Acesso em: 30 abr. 2018.

SCARTEZINI, L. M.; JUCÁ, T. R.; LINHARES, H.; TEIXEIRA, F.; ANTONELLI, G.; CASCUDO, O.; CARASEK, H. **Influência do preparo da base na aderência e na permeabilidade à água dos revestimentos de argamassa**. Ambiente Construído, Porto Alegre, 2002.

SILVA, N. G. da. **Argamassas de revestimento de cimento, cal e areia britada de rocha calcária**. 180 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Construção Civil, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA. **Centro de ciências tecnológicas**: Laboratório de Engenharia Civil. 2016. Disponível em: < <http://www.udesc.br/cct/laboratorios/civil/materiais/equipamentos> > Acesso em: 11 mai. 2018.

VENTURINI, J. **Revestimento de argamassa**. Revista Equipe de Obra. 37. ed. Editora Pini, 2011. Disponível em: < <http://equipededeobra17.pini.com.br/construcao-reforma/37/artigo220694-2.aspx> >. Acesso em: 30 abr. 2018.