

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

Eduardo Vitor Borges

**REVESTIMENTO EXTERNO DE ARGAMASSA EM
SUBSTRATO CERÂMICO: INFLUÊNCIA DA VARIAÇÃO
TÉRMICA NA RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA**

Porto Alegre
dezembro de 2010

EDUARDO VITOR BORGES

**REVESTIMENTO EXTERNO DE ARGAMASSA EM
SUBSTRATO CERÂMICO: INFLUÊNCIA DA VARIAÇÃO
TÉRMICA NA RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA**

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

Orientadora: Angela Borges Masuero

Porto Alegre
dezembro de 2010

EDUARDO VITOR BORGES

**REVESTIMENTO EXTERNO DE ARGAMASSA EM
SUBSTRATO CERÂMICO: INFLUÊNCIA DA VARIAÇÃO
TÉRMICA NA RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA**

Este Trabalho de Diplomação foi julgado adequado como pré-requisito para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL e aprovado em sua forma final pelo/a Professor/a Orientador/a e pela Coordenadora da disciplina Trabalho de Diplomação Engenharia Civil II (ENG01040) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, 02 de dezembro de 2010

Profa. Angela Borges Masuero
Dra. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Orientadora

Profa. Carin Maria Schmitt
Coordenadora

BANCA EXAMINADORA

Profa. Ana Luiza Raabe Abitante (UFRGS)
Dra. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Profa. Angela Borges Masuero (UFRGS)
Dra. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Roberto Sukster (UFRGS)
Engenheiro Civil, Ms. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Dedico este trabalho aos meus amados pais,
Hermes e Lourdes, e à minha namorada Georgia, que com
muito carinho sempre me apoiaram, especialmente durante
o período do meu Curso de Graduação.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus amados pais, Hermes e Lourdes pelo amor e carinho dedicados a mim e ao meu irmão. Pela sua constante preocupação e esforço com nossa educação e formação profissional. Pelos valores repassados e por sempre servirem de exemplo de simplicidade e caráter.

À minha namorada Georgia, pelo amor e carinho nesses últimos três anos e por toda compreensão e apoio. Aos seus pais, Jorge e Helenise, e irmã, Eduarda, pelo acolhimento, amizade e preocupação.

Ao meu irmão Gaspar e sua esposa Priscila pela amizade e apoio, muito importantes para realizar este trabalho.

À minha orientadora Angela Borges Masuero, por compartilhar seu conhecimento comigo e com meus colegas, pelo tempo dedicado ao meu trabalho e pela amizade. Aos demais professores da UFRGS, especialmente àqueles que, além da formação profissional, preocuparam-se em formar pessoas íntegras para a sociedade.

Aos meus amigos Alex Lopes, Matheus Silva, Andriago Pimentel, Marcelo Spido, Cristiano Pedrotti, Douglas Demori, Thiago Menegotto, Fernando Sartori, Fabiano Sartori e Anderson Bianchi pela torcida e momentos de diversão inesquecíveis. Aos meus colegas Felipe Garcia, Felipe Quevedo e Mauro Mario pela amizade indiscutível e pela contribuição para superar momentos complicados durante o meu curso de graduação.

Ao pessoal do NORIE, especialmente ao Airton, Gilmar, Carina Stolz, Daniel Pagnussat, Luciana Cordeiro, Josiane Gasperin, Cristina Vittorino, Giselle Reis Antunes e Juliana Senisse que, em algum momento, contribuíram para que o meu trabalho se realizasse.

Aos engenheiros Alexandre Dode de Almeida e Roberto Sukster, pela oportunidade de exercer a engenharia, pelo apoio a este trabalho e pela confiança.

À todos que, de certa forma, contribuíram para que esse trabalho fosse desenvolvido.

A sabedoria da vida não está em fazer aquilo que se gosta,
mas gostar daquilo que se faz.

Leonardo da Vinci

RESUMO

BORGES, E. V. **Revestimento externo de argamassa em substrato cerâmico**: influência da variação térmica na resistência de aderência. 2010. 109 f. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

As argamassas são utilizadas como material para revestimentos desde a antiguidade, sendo anteriores a qualquer outra técnica. Esse histórico de utilização provavelmente deve-se às características simples desse material, como disponibilidade de seus componentes e a simplicidade de produção e aplicação. Com a descoberta do cimento Portland, entretanto, mudanças no conceito desse material aconteceram, abrindo portas, de certa forma, para a sua industrialização. Por se tratar de um material comum a alguns sistemas construtivos, a argamassa apresenta desafios, quanto ao seu comportamento físico-mecânico, à profissionais da construção civil. Este fato é evidenciado pela constante busca do entendimento e aprimoramento de suas propriedades e necessidade de especificar corretamente seu uso e proporcionamento para evitar o surgimento de manifestações patológicas. Dentro do contexto das manifestações patológicas em revestimento argamassados, particularmente importantes são os problemas relacionados com a insuficiência de aderência, sobretudo em revestimento de argamassa em fachadas, pois a aderência ao substrato está intimamente relacionada a fatores como durabilidade, aspecto visual, estanqueidade e segurança, tanto de usuários da edificação quanto de pedestres. Sobre o mecanismo que possibilita a aderência, além do método de produção e execução da argamassa e a interação dessa com a base de aplicação, outros fatores também demonstram-se importantes, como as condições ambientais durante e após a aplicação. A variação da temperatura, por exemplo, pode desencadear a geração de tensões no revestimento devido à dilatação térmica, tanto da argamassa como da base, podendo prejudicar a aderência. Este trabalho analisou a influência da variação térmica, durante os três primeiros dias de exposição, na resistência de aderência de revestimentos de argamassa em fachadas, aplicados em substratos cerâmicos. Em ensaios laboratoriais, revestimentos, utilizando três argamassas especificadas por uma construtora de Porto Alegre, foram submetidos a duas condições de exposição durante a cura, sendo determinadas após esse período, as resistências de aderência à tração dos revestimentos as características físicas e mecânicas das argamassas

Palavras-chave: aderência; argamassa; revestimento externo; variação da temperatura.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: diagrama de etapas do trabalho de diplomação	19
Figura 2: microestrutura da interface argamassa/bloco cerâmico	37
Figura 3: sistema de vedação e revestimento com argamassa	41
Figura 4: tela de reforço devido a base de materiais de diferentes	45
Figura 5: disposição e espessura das argamassas de chapisco e revestimento nos prismas	47
Figura 6: diagrama de definição da quantidade de prismas	48
Figura 7: bloco chapiscado	48
Figura 8: molde de madeira	48
Figura 9: prisma com revestimento	48
Figura 10: vista geral da base móvel da caixa de queda (a) antes e (b) depois do acionamento das alavancas	50
Figura 11: molde de dosagem	51
Figura 12: argamassa antes da aplicação	51
Figura 13: argamassa após a aplicação	51
Figura 14: condicionador de ar e controle automático	59
Figura 15: aparelhos de ventilação e aquecimento	59
Figura 16: vista da parte interna do painel aquecido	60
Figura 17: número e posição de corte dos corpos-de-prova nos prismas	62
Figura 18: prisma com corpos-de-prova cortados	62
Figura 19: pastilha metálica	63
Figura 20: prismas prontos para o ensaio de aderência	63
Figura 21: processo de arrancamento	63
Figura 22: aderímetro digital utilizado	63
Figura 23: medida da espessura com paquímetro	64
Figura 24: medida do diâmetro com paquímetro	64
Figura 25: formas de ruptura para um sistema de revestimento com chapisco	64
Figura 26: funil de Buchner utilizado no ensaio de retenção de água	66
Figura 27: ruptura por flexão do corpo-de-prova	69
Figura 28: ensaio de resistência à compressão	69
Figura 29: ensaio de absorção de água por capilaridade	71
Figura 30: diferença entre a densidade de massa nos estados fresco e endurecido	75
Figura 31: resistência à tração na flexão das argamassas de revestimento	77

Figura 32: resistência à compressão das argamassas de revestimento	78
Figura 33: absorção por capilaridade média das argamassas de revestimento	80
Figura 34: aspecto visual das argamassas durante o ensaio de absorção (a) aos 10 min e (b) aos 90 min	81
Figura 35: relação entre a resistência à compressão e o coeficiente de capilaridade	81
Figura 36: resistências médias de aderência à tração aos 28 dias	84
Figura 37: número de ocorrências das formas de ruptura para a câmara climatizada	88
Figura 38: número de ocorrências das formas de ruptura para o painel aquecido	89
Figura 39: resistências médias de aderência à tração aos 63 dias	90
Figura 40: influência da variação térmica na resistência de aderência à tração ao longo do tempo	91
Figura 41: influência da temperatura na resistência de aderência à tração do revestimento externo de argamassa em substrato cerâmico	92
Figura 42: influência da idade de cura na resistência de aderência à tração do revestimento externo de argamassa em substrato cerâmico	93
Figura 43: efeito do tipo de argamassa na resistência de aderência ao longo do tempo ..	95
Figura 44: influência do tipo de argamassa na resistência de aderência à tração ao longo do tempo	95

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: classificação das argamassas	24
Quadro 2: classificação das argamassas segundo as suas funções na construção	24
Quadro 3: resistência à compressão	26
Quadro 4: densidade de massa aparente no estado endurecido	26
Quadro 5: resistência à tração na flexão	27
Quadro 6: coeficiente de capilaridade	27
Quadro 7: densidade de massa aparente no estado fresco	27
Quadro 8: retenção de água	28
Quadro 9: resistência potencial de aderência à tração	28
Quadro 10: propriedades relacionadas com as propriedades das argamassas	31
Quadro 11: limites de resistência de aderência à tração (Ra) para emboço e camada única	32
Quadro 12: módulo de deformação das argamassas segundo a classificação MERUC ...	34
Quadro 13: coeficiente de dilatação térmica linear	37
Quadro 14: idades recomendadas para intervalos entre os serviços de revestimento	44
Quadro 15: espessuras admissíveis de revestimentos internos e externos	45
Quadro 16: classificação da argamassa R1 segundo a NBR 13281/2005 conforme as especificações do fabricante	53
Quadro 17: resultados de ensaio de caracterização da argamassa R1 conforme dados fornecidos pelo fabricante	53
Quadro 18: classificação da argamassa R2 segundo a NBR 13281/2005 conforme as especificações do fabricante	54
Quadro 19: traços em massa e volume da argamassa R3	55
Quadro 20: distribuição granulométrica e caracterização física das areias	56
Quadro 21: quantidade de água e consistência das argamassas	57
Quadro 22: planejamento de cura dos prismas	58
Quadro 23: ciclo de exposição dos revestimentos	60
Quadro 24: resistência de aderência à tração e formas de ruptura dos corpos-de-prova aos 28 dias.....	83
Quadro 25: resistência de aderência à tração e formas de ruptura dos corpos-de-prova aos 63 dias	86

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: retenção de água	73
Tabela 2: densidade de massa aparente no estado fresco	74
Tabela 3: densidade de massa aparente endurecido	74
Tabela 4: resistência à tração na flexão das argamassas de revestimento	76
Tabela 5: resistência à compressão das argamassas de revestimento	78
Tabela 6: absorção por capilaridade e coeficiente de capilaridade	79
Tabela 7: resistências médias de aderência à tração aos 28 dias	82
Tabela 8: resistências médias de aderência à tração aos 63 dias	86
Tabela 9: número de ocorrências de cada forma de ruptura	88
Tabela 10: frequência das formas de ruptura para cada tipo de argamassa	89
Tabela 11: análise de variância do efeito isolado das variáveis independentes na resistência de aderência	92
Tabela 12: análise de variância para a combinação das variáveis independentes na resistência de aderência	94

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 MÉTODO DE PESQUISA	17
2.1 QUESTÃO DE PESQUISA	17
2.2 OBJETIVOS DO TRABALHO	17
2.2.1 Objetivo principal	17
2.2.2 Objetivos secundários	17
2.3 HIPÓTESES	18
2.4 DELIMITAÇÕES	18
2.5 LIMITAÇÕES	18
2.6 DELINEAMENTO	19
2.6.1 Pesquisa bibliográfica	19
2.6.2 Estudo das propriedades mecânicas das argamassas	20
2.6.3 Estudo dos mecanismos de aderência e influência da variação térmica	20
2.6.4 Determinação dos requisitos e especificações de caráter normativo	20
2.6.5 Definição do programa experimental	20
2.6.6 Moldagem das argamassas de revestimento	20
2.6.7 Análise experimental	21
2.6.8 Avaliação dos resultados	21
2.6.9 Análise final e conclusões	21
3 ARGAMASSAS INORGÂNICAS	22
3.1 PERSPECTIVA HISTÓRICA	22
3.2 ARGAMASSAS PARA REVESTIMENTO	23
3.2.1 Definições	23
3.2.2 Classificação	23
3.2.3 Exigências funcionais	28
3.2.4 Propriedades	29
3.2.4.1 Trabalhabilidade	30
3.2.4.2 Retração	31
3.2.4.3 Aderência	32
3.2.4.4 Permeabilidade à água	32
3.2.4.5 Resistência mecânica	33
3.2.4.6 Módulo de deformação	34
4 ESTUDO DO MECANISMO DE ADERÊNCIA	35

4.1 LIGAÇÃO ENTRE ARGAMASSA E SUBSTRATO	35
4.2 REVESTIMENTO DE ARGAMASSA X VARIAÇÃO DA TEMPERATURA	37
5 SISTEMA DE REVESTIMENTO DE ARGAMASSA	41
5.1 PREPARO E APLICAÇÃO DAS ARGAMASSAS	42
5.2 PREPARO DA BASE DE REVESTIMENTO	43
5.3 CUIDADOS DE APLICAÇÃO	45
6 PROGRAMA EXPERIMENTAL	46
6.1 PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL	46
6.2 ELEMENTOS NÃO VARIÁVEIS	49
6.2.1 Substrato de aplicação	49
6.2.2 Camada de preparação do substrato	49
6.2.3 Aplicação das argamassas de revestimento.....	50
6.3 VARIÁVEIS INDEPENDENTES.....	52
6.3.1 Argamassas de revestimento	52
6.3.1.1 Argamassa industrializada – R1	52
6.3.1.2 Argamassa industrializada – R2	53
6.3.1.3 Argamassa dosada em obra – R3	54
6.3.1.4 Preparo das argamassas de revestimento	56
6.3.2 Idades de ensaio dos revestimentos	57
6.3.3 Temperatura de cura dos revestimentos	58
6.3.3.1 Câmara climatizada	59
6.3.3.2 Pannel aquecido	59
6.4 VARIÁVEIS DEPENDENTES.....	61
6.4.1 Determinação da resistência de aderência à tração	61
6.4.2 Caracterização das argamassas de revestimento.....	65
6.4.2.1 Preparo das argamassas e moldagem dos prismas para ensaios no estado endurecido	65
6.4.2.2 Retenção de água	65
6.4.2.3 Densidade de massa aparente no estado fresco	67
6.4.2.4 Densidade de massa no estado endurecido	68
6.4.2.5 Resistência à tração na flexão e à compressão	69
6.4.2.6 Absorção de água por capilaridade e coeficiente de capilaridade.....	70
7 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	73
7.1 RESULTADOS DOS ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO	73
7.1.1 Retenção de água	73

7.1.2 Densidade de massa no estado fresco e endurecido	74
7.1.3 Resistência à tração na flexão e à compressão	76
7.1.4 Absorção de água e coeficiente de capilaridade	79
7.2 RESULTADOS DO ENSAIO DE ADERÊNCIA	82
7.2.1 Resistência de aderência aos 28 dias	82
7.2.2 Resistência de aderência aos 63 dias	85
7.2.3 Influência da variação da temperatura na resistência de aderência	90
8 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	96
REFERÊNCIAS	98

1 INTRODUÇÃO

O emprego da argamassa como material para revestimento tem registros extremamente antigos, configurando-se como um sistema de revestimento anterior a qualquer outro disponível atualmente. Essa larga utilização pode ser justificada por algumas características desse material, como a grande disponibilidade de seus materiais constituintes, a simplicidade de produção e aplicação, baixos custos e boa aceitação do setor produtivo e consumidor. Em geral, os revestimentos de argamassa são aplicados em vedações verticais constituídas usualmente pelos elementos estruturais de concreto associados à alvenaria de tijolos, de blocos de concreto, de concreto celular autoclavado, cerâmicos ou sílico-calcários, tanto nas paredes internas como também nas fachadas das edificações. Quando a argamassa é aplicada em fachadas, pode apresentar-se como único material do sistema de revestimento, compondo uma ou mais camadas de regularização, constituindo acabamento decorativo ou superfície apta a receber pintura. No entanto, também pode ser empregada para a regularização da base para receber revestimento cerâmico.

Profissionais da construção civil, apesar da experiência adquirida com o emprego desse sistema e necessária adaptação às novas técnicas dos demais componentes construtivos, deparam-se com manifestações patológicas de revestimento cada vez mais frequentes nas edificações. Dentre tais manifestações podem-se enfatizar as fissuras, a insuficiência de aderência no substrato e a retração. Nesse contexto, ganham importância os problemas relacionados com a insuficiência de aderência, especialmente quando referidos a revestimento de argamassa em fachadas, pois a aderência ao substrato está intimamente relacionada a fatores como durabilidade, aspecto visual, estanqueidade e segurança, tanto de usuários da edificação quanto de pedestres.

Com a evolução da tecnologia, muitos materiais e técnicas construtivas foram disponibilizadas para a produção de revestimentos de argamassa. Entretanto, independente da escolha do material ou do método de execução, o mais importante é que o revestimento, principalmente quando externo, atenda às exigências técnicas. Para isso, são necessárias especificações coerentes e organizadas, tanto de materiais e procedimentos quanto das

técnicas executivas, para que o sistema referido cumpra suas funções, conduzindo desta forma ao desempenho desejado. Em outras palavras, é necessário que haja um maior aprofundamento acerca das propriedades das argamassas de revestimento e do comportamento e eficiência dessas como um produto e não apenas como um material. Para isso ocorrer, são necessárias posturas mais exigentes e comprometidas das empresas construtoras e pesquisas focadas no desempenho dos revestimentos de argamassa, justificadas pela busca de conhecimentos e recursos para, respectivamente, prevenir e solucionar eventuais problemas.

No que diz respeito à aderência dos revestimentos, a interação entre argamassa e base de aplicação, bem como o conhecimento das propriedades características de ambos, não são os únicos fatores que influenciam no seu mecanismo em substratos porosos. Aspectos relacionados à mão de obra, técnicas de execução e as condições do ambiente durante e após a aplicação também são decisivos no seu desempenho. Dentre as condições do ambiente, a temperatura demonstra-se importante, visto que sua variação inevitavelmente provoca tensões em materiais cimentícios. Essas tensões podem ser consideradas potencialmente prejudiciais, pois materiais à base de cimento têm baixa resistência à tração.

Assim, o presente trabalho analisou a influência da variação térmica, na resistência de aderência de revestimentos de argamassa em fachadas aplicados em substratos cerâmicos, durante os primeiros dias de exposição. Em ensaios laboratoriais, foram utilizadas três argamassas de revestimento externo, uma com traço dosado em obra e duas industrializadas, que são especificadas em empreendimentos de uma construtora de Porto Alegre, referenciada neste trabalho como construtora X. Os revestimentos de argamassa foram submetidos a duas condições de exposição e em duas idades foram determinadas suas resistências de aderência à tração, segundo o método de ensaio constante na NBR 13258/2010.

Este trabalho foi estruturado em 8 capítulos. O primeiro descreve uma rápida contextualização sobre o tema abordado e o segundo apresenta o método de pesquisa utilizado. O capítulo 3 apresenta, através de revisão bibliográfica, um breve histórico da utilização das argamassas inorgânicas, bem como algumas definições, funções, classificações, propriedades e requisitos das argamassas para revestimento. No capítulo 4 são apresentadas informações sobre o mecanismo de aderência e aspectos referentes à influência da variação da temperatura no processo de aderência dos revestimentos de argamassa. No quinto, por sua vez, são descritos

os procedimentos e especificações para a execução de revestimentos de argamassa externos. No sexto capítulo o programa experimental é descrito, apresetando os elementos não variáveis e as variáveis (dependentes e independentes) da pesquisa. Os resultados dos ensaios de caracterização das argamassas e do ensaio para determinação da resistência de aderência à tração dos revestimentos estão descritos no capítulo 7. Por fim, a análise dos resultados e as conclusões finais estão organizadas no capítulo 8.

2 MÉTODO DE PESQUISA

Este capítulo apresenta o método de pesquisa que foi desenvolvido com o propósito de apresentar e organizar as idéias, os objetivos, a hipótese, as limitações, a delimitação e o delineamento do trabalho.

2.1 QUESTÃO DE PESQUISA

A questão de pesquisa deste trabalho é: qual a influência da variação térmica na resistência de aderência à tração dos revestimentos de argamassa de fachada, aplicados em substrato cerâmico, utilizando argamassas especificadas pela construtora X?

2.2 OBJETIVOS DO TRABALHO

Os objetivos do trabalho estão classificados em principal e secundários e são apresentados nos próximos itens.

2.2.1 Objetivo principal

O presente trabalho tem como objetivo principal a definição da influência da variação térmica, durante os primeiros dias de exposição, na resistência de aderência à tração de revestimentos de argamassa de fachada, aplicados em substrato cerâmico, utilizando argamassas especificadas pela construtora X.

2.2.2 Objetivos secundários

São objetivos secundários deste trabalho:

- a) a definição da influência do tipo de argamassa no desempenho quanto à resistência de aderência ao submeter o revestimento a diferentes temperaturas;
- b) a definição da influência da idade do revestimento na resistência de aderência à tração;
- c) caracterização e classificação das argamassas especificadas pela construtora X, segundo os requisitos constantes na NBR 13281/2005.

2.3 HIPÓTESES

A hipótese do trabalho é que a variação da temperatura prejudica a capacidade de aderência de revestimentos de argamassa de fachada, aplicados em substratos cerâmicos, reduzindo sua resistência à tração.

2.4 DELIMITAÇÕES

O trabalho delimitou-se à análise, através de ensaios laboratoriais, da influência da variação térmica na resistência de aderência à tração em revestimentos utilizando argamassas especificadas para revestimento externo de somente uma empresa construtora de Porto Alegre.

2.5 LIMITAÇÕES

As seguintes restrições foram impostas ao trabalho:

- a) os revestimentos de argamassa foram executados em laboratório;
- b) os revestimentos de argamassa foram submetidos à apenas duas condições de exposição: câmara com temperatura e umidade controladas e painel de lâmpadas – sem controle automático da umidade do ar – acionado por *timer*, simulando o aquecimento da superfície pelo calor do ar;
- c) os efeitos da ventilação sobre o revestimento não foram considerados;

- d) a energia de aplicação das argamassas foi uniformizada através da utilização de uma caixa de queda;
- e) o revestimento de argamassa executado em laboratório, simulando o revestimento externo, era constituído de chapisco e camada única.

2.6 DELINEAMENTO

O trabalho foi realizado através das etapas representadas na figura 1 e detalhadas nos próximos itens.

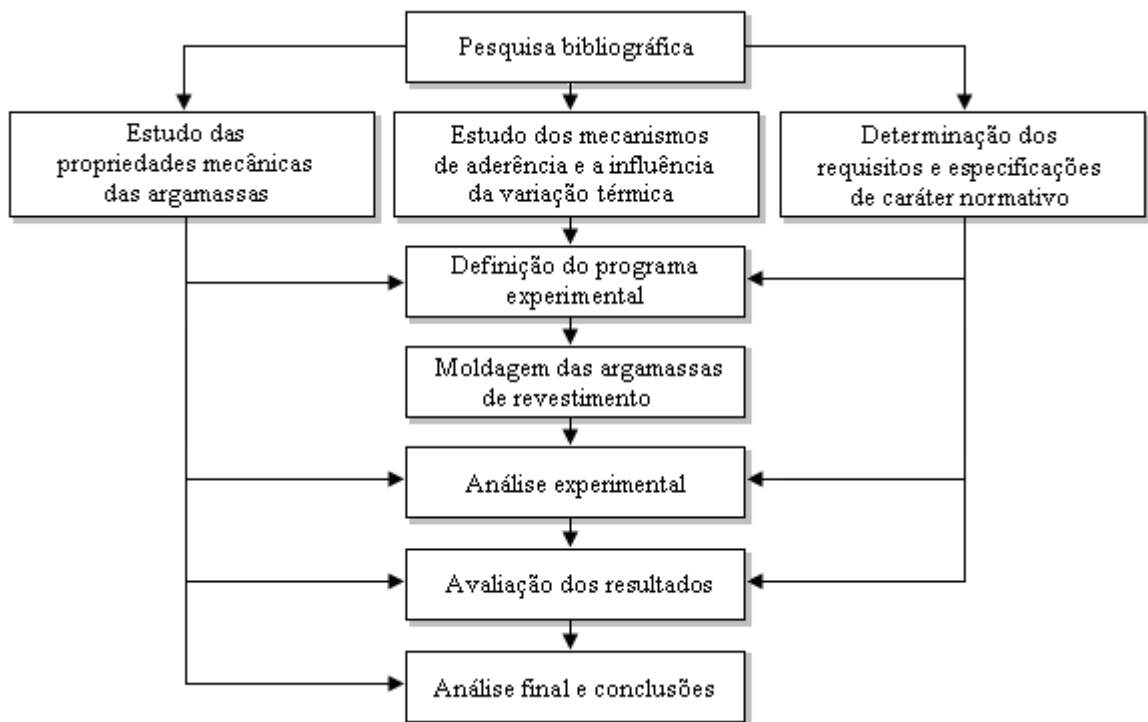


Figura 1: diagrama de etapas do trabalho de diplomação

2.6.1 Pesquisa bibliográfica

Na pesquisa bibliográfica consta o levantamento e registro de informações a respeito do tema abordado na literatura existente com o propósito de realizar um aprofundamento do conhecimento das variáveis que estão contidas na análise. A pesquisa se desenvolveu no decorrer de todo o trabalho, atuando como recurso de auxílio às demais etapas.

2.6.2 Estudos das propriedades mecânicas das argamassas

Nesta etapa foram identificadas e descritas, através de pesquisa bibliográfica, as propriedades mecânicas das argamassas de revestimento bem como a importância de cada propriedade no desempenho mecânico do sistema construtivo em estudo.

2.6.3 Estudo dos mecanismos de aderência e influência da variação térmica

Nesta etapa, também através de pesquisa bibliográfica, foram descritos os mecanismos de adesão das argamassas aos substratos de aplicação e a influência da variação térmica sobre o revestimento de argamassa.

2.6.4 Determinação dos requisitos e especificações de caráter normativo

Os requisitos e especificações das argamassas de revestimento de paredes constantes nas normas NBR 13281/2005 e NBR 13749/1996 foram estudados nesta fase para posterior utilização nos ensaios e na consideração desses na interpretação dos resultados.

2.6.5 Definição do programa experimental

As argamassas para revestimento externo empregadas pela construtora X, bem como as variáveis e atividades do ensaio experimental, foram apresentadas e descritas nessa etapa do trabalho.

2.6.6 Moldagem das argamassas de revestimento

A moldagem das argamassas nos blocos cerâmicos, formando prismas de estudo, foi realizada nessa etapa do trabalho.

2.6.7 Análise experimental

Nesta etapa, transcorrido o tempo de cura após a aplicação das argamassas, os revestimentos foram submetidos aos testes de aderência, através dos quais foram avaliadas suas resistências de aderência à tração. Também nesta etapa, as argamassas utilizadas na execução dos revestimentos foram caracterizadas para estabelecimento de suas propriedades físicas e mecânicas.

2.6.8 Avaliação dos resultados

Os dados experimentais bem como a correlação destes com as propriedades das argamassas envolvidas nos testes e as exigências da norma NBR 13281/2005 e NBR 13749/1996 foram consideradas nesta fase, estabelecendo pareceres sobre as características dos revestimentos.

2.6.9 Análise final e conclusões

Partindo das conclusões da etapa anterior e das informações adquiridas no decorrer do trabalho, na forma de pesquisa bibliográfica, foram apresentadas considerações acerca dos resultados dos ensaios a fim de cumprir com os objetivos propostos.

3 ARGAMASSAS INORGÂNICAS

As argamassas são materiais muito empregados em grande parte dos sistemas construtivos utilizados atualmente, sendo, os principais, o assentamento de alvenarias, o revestimento de paredes e tetos, contrapisos de regularização e ainda assentamento e rejuntamento de revestimentos cerâmicos e pétreos. A importância do seu estudo justifica-se não só pela amplitude de sua utilização, como também pela variedade de argamassas disponibilizadas pela cadeia produtiva, sendo esse cenário consequência de sua industrialização e da evolução tecnológica dos seus materiais constituintes.

3.1 PERSPECTIVA HISTÓRICA

Segundo Carasek (2007, p. 863), “Os primeiros registros de emprego da argamassa como material de construção são da pré-história, há cerca de 11.000 anos.”. A autora explica que as argamassas mais antigas eram compostas basicamente por cal e areia, no entanto, com o desenvolvimento das técnicas de construção, novas alternativas de materiais foram desenvolvidas. Prova disso, é a existência de vários registros do emprego de argamassas de cal e gesso pelos egípcios, gregos, etruscos e romanos. Terra (2001, p. 11-12) explica que “O uso das argamassas pelas civilizações, entretanto, não tem uma evolução cronológica bem definida, porque a História da Arquitetura enfatiza muito mais a forma das edificações do que os materiais e técnicas construtivas empregadas.”.

Por sua vez, a descoberta do cimento Portland e sua adição nas argamassas, proporcionaram às mesmas uma evolução que consistiu no aumento da resistência e na melhoria da aderência às bases de aplicação, já nas primeiras idades (CEOTTO et al., 2005, p. 7). Desta forma, um segundo conceito para as argamassas se estabeleceu, configurando-se em um produto à base de cimento Portland e areia, podendo conter ou não cal. A partir de então diversos outros materiais foram sendo incorporados aos traços mais primitivos, com o propósito de melhorar as propriedades das argamassas. Este processo deu origem às argamassas modernas.

3.2 ARGAMASSAS PARA REVESTIMENTO

A seguir são apresentadas algumas definições das argamassas inorgânicas para revestimento, constantes na literatura bem como suas classificações, funções, propriedades e requisitos.

3.2.1 Definições

Na NBR 13281 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005f, p. 2) define-se argamassa como uma “[...] mistura homogênea de agregado(s) miúdo(s), aglomerante(s) inorgânico(s) e água, contendo ou não aditivos, com propriedades de aderência e endurecimento, podendo ser dosada em obra ou em instalação própria (argamassa industrializada).”.

De outra forma, Pereira (2007, p. 10) define a argamassa como um material composto por duas frações. A primeira, denominada ativa, é composta pelos aglomerantes, geralmente cimento e cal, responsáveis, respectivamente, por grande parte da resistência mecânica e pela capacidade de deformação das argamassas. A segunda fração, denominada inerte, é composta por agregados miúdos, geralmente areia, a qual não participa das reações químicas de endurecimento.

3.2.2 Classificação

As argamassas podem ser classificadas segundo vários critérios, sendo alguns propostos no quadro 1 (CARASEK, 2007, p. 864-865).

Critério de Classificação	Tipo
Quanto à natureza do aglomerante	<ul style="list-style-type: none"> • Argamassa aérea • Argamassa hidráulica
Quanto ao tipo de aglomerante	<ul style="list-style-type: none"> • Argamassa de cal • Argamassa de cimento • Argamassa de cimento e cal • Argamassa de gesso • Argamassa de cal e gesso
Quanto ao número de aglomerantes	<ul style="list-style-type: none"> • Argamassa simples • Argamassa mista
Quanto à consistência da argamassa	<ul style="list-style-type: none"> • Argamassa seca • Argamassa plástica • Argamassa fluida
Quanto à densidade de massa da argamassa	<ul style="list-style-type: none"> • Argamassa leve • Argamassa normal • Argamassa pesada
Quanto à forma de preparo ou fornecimento	<ul style="list-style-type: none"> • Argamassa preparada em obra • Mistura semipronta para argamassa • Argamassa industrializada • Argamassa dosada em central

Quadro 1: classificação das argamassas
(baseado em CARASEK, 2007, p. 865)

A classificação das argamassas segundo sua função na construção também é possível (CARASEK, 2007, p. 865). Essa proposição se mostra importante porque muitas propriedades das argamassas são associadas com sua finalidade ou aplicações. No quadro 2 é apresentada a classificação das argamassas, exercendo a função de revestimento em paredes e tetos.

Função	Tipos
Revestimento de paredes e tetos	<ul style="list-style-type: none"> • Argamassa de chapisco • Argamassa de emboço • Argamassa de roboco • Argamassa de camada única • Argamassa para revestimento decorativo monocamada

Quadro 2: classificação das argamassas segundo as suas funções na construção
(baseado em CARASEK, 2007, p. 865)

De forma semelhante, essa classificação também é observada na NBR 13281 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005f, p. 2) que apresenta os tipos de argamassa da seguinte maneira:

- a) para assentamento específica para,
 - alvenaria de vedação: indicada para ligação de componentes de vedação (blocos e tijolos) no assentamento em alvenaria, com função de vedação;
 - alvenaria estrutural: indicada para ligação de componentes de vedação (blocos e tijolos) no assentamento em alvenaria, com função estrutural;
 - complementação da alvenaria (encunhamento): argamassa indicada para fechamento da alvenaria de vedação, após a última fiada de componentes;
- b) para revestir paredes e tetos específica para,
 - revestimento interno: indicada para revestir ambientes internos da edificação, caracterizando-se como camada de regularização (emboço ou camada única);
 - revestimento externo: indicada para revestir fachadas, muros e outros elementos da edificação em contato com o meio externo, caracterizando-se como camada de regularização (emboço ou camada única);
- c) de uso geral: indicada para assentamento de alvenaria sem função estrutural e revestimento de paredes e tetos internos e externos;
- d) para reboco: argamassa indicada para cobertura do emboço, propiciando uma superfície fina que permita receber acabamento. Também é denominada massa fina;
- e) decorativa em camada fina: argamassa de acabamento, indicada para revestimentos com fins decorativos, em camada fina;
- f) decorativa em monocamada: argamassa de acabamento indicada para revestimento de fachadas, muros e outros elementos de edificação em contato com o meio externo, aplicada em camada única e com finalidade decorativa.

Nakakura e Cincotto (2004, p. [1]) afirmam que “O objetivo da classificação das argamassas é especificar requisitos e critérios que possam estar associados às condições de uso e não somente para controle de uniformidade [...]”. As autoras concluem que dados, provenientes dessa forma de classificação, constituem parâmetros a serem considerados em estudos de desempenho da argamassa nos diversos sistemas em que ela é um dos constituintes.

A NBR 13281 “[...] especifica os requisitos exigíveis para a argamassa utilizada em assentamento e revestimento de paredes e tetos.” (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005f, p. 1). Loturco (2005, p. 41, grifo nosso), salienta que essa

Norma “[...] tem como objetivo classificar os produtos em função dos requisitos **mínimos** exigidos [...]”. O autor ainda destaca que a Norma abrange, tanto as argamassas industrializadas quanto as produzidas em obra.

Os requisitos das argamassas destinadas ao revestimento de paredes e tetos, bem como sua classificação conforme as características e propriedades que apresentam, determinadas pelos seus métodos de ensaio, estão especificados nos quadros 3 a 9 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005f, p. 2-4).

Classe	Resistência à compressão MPa	Método de ensaio
P1	≤ 2,0	ABNT NBR 13279
P2	1,5 a 3,0	
P3	2,5 a 4,5	
P4	4,0 a 6,5	
P5	5,5 a 9,0	
P6	> 8,0	

Quadro 3: resistência à compressão
(ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005f, p. 3)

Classe	Densidade de massa aparente no estado endurecido kg/m ³	Método de ensaio
M1	≤ 1.200	ABNT NBR 13280
M2	1.000 a 1.400	
M3	1.200 a 1.600	
M4	1.400 a 1.800	
M5	1.600 a 2.000	
M6	> 1.800	

Quadro 4: densidade de massa aparente no estado endurecido
(ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005f, p. 3)

Classe	Resistência à tração na flexão MPa	Método de ensaio
R1	$\leq 1,5$	ABNT NBR 13279
R2	1,0 a 2,0	
R3	1,5 a 2,7	
R4	2,0 a 3,5	
R5	2,7 a 4,5	
R6	$> 3,5$	

Quadro 5: resistência à tração na flexão
(ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005f, p. 3)

Classe	Coefficiente de capilaridade $g/dm^2 \cdot min^{1/2}$	Método de ensaio
C1	$\leq 1,5$	ABNT NBR 15259
C2	1,0 a 2,5	
C3	2,0 a 4,0	
C4	3,0 a 7,0	
C5	5,0 a 12,0	
C6	$> 10,0$	

Quadro 6: coeficiente de capilaridade
(ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005f, p. 3)

Classe	Densidade de massa no estado fresco kg/m^3	Método de ensaio
D1	≤ 1.400	ABNT NBR 13278
D2	1.200 a 1.600	
D3	1.400 a 1.800	
D4	1.600 a 2.000	
D5	1.800 a 2.200	
D6	> 2.000	

Quadro 7: densidade de massa no estado fresco
(ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005f, p. 4)

Classe	Retenção de água %	Método de ensaio
U1	≤ 78	ABNT NBR 13277
U2	72 a 85	
U3	80 a 90	
U4	86 a 94	
U5	91 a 97	
U6	95 a 100	

Quadro 8: retenção de água
(ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005f, p. 4)

Classe	Resistência potencial de aderência à tração MPa	Método de ensaio
A1	< 0,20	ABNT NBR 15258
A2	≥ 0,20	
A3	≥ 0,30	

Quadro 9: resistência potencial de aderência à tração
(ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005f, p. 4)

3.2.3 Exigências funcionais

O revestimento de paredes é um dos sistemas construtivos que mais emprega argamassas no decorrer do seu processo de produção. Visando o cumprimento de suas funções, a NBR 13749 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1996, p. 2) determina que:

Os revestimentos [de argamassa] devem satisfazer às seguintes condições:

- a) ser compatível com o acabamento decorativo [...];
- b) ter resistência mecânica decrescente ou uniforme, a partir da primeira camada em contato com a base, sem comprometer a sua durabilidade ou acabamento final;
- c) ser constituído por uma ou mais camadas superpostas de argamassas contínuas e uniformes;
- d) ter propriedade hidrofugante, em caso de revestimento externo de argamassa aparente, sem pintura e base porosa [...];
- e) ter propriedade impermeabilizante, em caso de revestimento externo de superfícies em contato com o solo;

f) resistir à ação de variações normais de temperatura e umidade do meio, quando externos.

Por sua vez, Carasek (2007, p. 871) explica que as principais atribuições funcionais de um revestimento de argamassa de parede são:

- a) proteger a alvenaria e estrutura contra a ação de intempéries, no caso dos revestimentos externos;
- b) integrar o sistema de vedação dos edifícios, contribuindo com diversas funções como,
 - isolamento térmico;
 - isolamento acústico;
 - estanqueidade à água;
 - segurança ao fogo;
 - resistência ao desgaste e abalos superficiais;
- c) regularizar a superfície dos elementos de vedação, servindo de base para acabamentos decorativos, auxiliando a estética final da edificação.

3.2.4 Propriedades

Estabelecidas as exigências funcionais para o bom desempenho dos revestimentos de argamassa torna-se necessário associá-las com as propriedades desse material. Costa (2005, p. 31) afirma que:

As propriedades das argamassas para revestimento dependem das características dos materiais constituintes, da proporção entre os mesmos e do processo de mistura e execução do revestimento, assim como também podem interferir a natureza da base e as condições do meio ambiente.

As propriedades associadas às principais funções da argamassa de revestimento são (CARASEK, 2007, p. 871):

- a) trabalhabilidade,
 - consistência;
 - plasticidade;
 - adesão inicial;

- b) retração;
- c) aderência;
- d) permeabilidade à água;
- e) resistência mecânica (principalmente a superficial);
- f) capacidade de absorver deformações.

Nos próximos itens essas propriedades são melhor detalhadas, sendo possível observar a importância de cada uma delas no desempenho do revestimento.

3.2.4.1 Trabalhabilidade

Conforme Carasek (2007, p. 875), “Trabalhabilidade é a propriedade das argamassas no estado fresco que determina a facilidade com que elas podem ser misturadas, transportadas, aplicadas, consolidadas e acabadas, em uma condição homogênea.”. Segundo a autora, as argamassas com trabalhabilidade adequada possibilitam uma boa aplicação, traduzida no caso dos revestimentos, em serviços com boa produtividade, boa aderência à base e acabamento superficial especificado.

Por ser resultante da conjunção de outras propriedades da argamassa, como consistência, plasticidade, retenção de água e consistência, coesão, exudação, densidade de massa e adesão inicial, a trabalhabilidade é considerada uma propriedade complexa (CARASEK, 2007, p. 875). No quadro 10 são apresentadas, de forma resumida, as definições das propriedades relacionadas com a trabalhabilidade.

Propriedades	Definição
Consistência	É a maior ou menor facilidade da argamassa deformar-se sob ação de cargas
Plasticidade	É a propriedade pela qual a argamassa tende a conservar-se deformada após a retirada das tensões de deformação
Retenção de água e de consistência	É a capacidade da argamassa fresca manter sua trabalhabilidade quando sujeita a solicitações que provoquem a perda de água
Coesão	Refere-se às forças físicas de atração existentes entre as partículas sólidas da argamassa e as ligações químicas da pasta aglomerante
Exsudação	É a tendência de separação da água (pasta) da argamassa, de modo que a água sobe e os agregados descem pelo efeito da gravidade. Argamassas de consistência fluida apresentam maior tendência à exsudação.
Densidade de massa	Relação entre a massa e o volume do material
Adesão inicial	União inicial da argamassa no estado fresco ao substrato

Quadro 10: propriedades relacionadas com a trabalhabilidade das argamassas (CARASEK, 2007, p. 875)

3.2.4.2 Retração

A retração, segundo Carasek (2007, p. 884), pode ser entendida como o resultado de um mecanismo complexo, relacionado com a variação de volume da pasta aglomerante e que apresenta papel fundamental no desempenho das argamassas no que se refere à estanqueidade e durabilidade. Como explica a autora, a pasta retrai ao perder a água em excesso de sua composição, especialmente se possui alta relação água/aglomerante. Parte desse processo é consequência das reações químicas de hidratação do cimento, no entanto, a principal parcela é associada à secagem da argamassa. Para Thomaz (1989, p. 115), a retração é diretamente proporcional não só ao teor de água de amassamento e ao consumo de aglomerante, como também à porcentagem de finos existente na mistura. Segundo o autor, além desses fatores intrínsecos, outros podem influenciar o mecanismo de retração nas argamassas de revestimento, tais como: aderência com a base, número de camadas aplicadas, espessura das camadas, tempo decorrido entre a aplicação de camadas sucessivas, perda de água durante aplicação por ação de ventilação ou insolação, entre outros.

3.2.4.3 Aderência

Segundo Martinelli e Helene (1991, p. 9), dentre as propriedades no estado endurecido, a aderência destaca-se como a principal para os revestimentos de argamassa. Em concordância, Carasek (2007, p. 872) afirma que a aderência é tão fundamental para os revestimentos de argamassa, que ao não apresentá-la, esses não atenderiam a nenhuma de suas atribuições funcionais. A autora ainda explica que essa propriedade “[...] permite ao revestimento de argamassa absorver tensões normais ou tangenciais na superfície de interface com o substrato.”. Conforme explica Temoche-Esquivel (2009, p. 60), essas tensões, normalmente de tração e cisalhamento, são indesejáveis para materiais de base cimentícia, caso das argamassas de revestimento. A NBR 13749 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1996, p. 3) especifica a aderência como um parâmetro de aceitação dos revestimentos de argamassa, estabelecendo limites mínimos de resistência à tração, conforme apresentado no quadro 11.

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

Quadro 11: limites mínimos de resistência de aderência à tração (Ra) para emboço e camada única (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1996, p. 3)

3.2.4.4 Permeabilidade à água

Conforme Müller e Bücher¹ (1993 apud NAKAKURA; CINCOTTO, 2004, p. [13]) “A permeabilidade é o fenômeno da passagem da água tanto no estado líquido como no estado de vapor através da camada de argamassa endurecida.”. Os autores explicam que a

¹ As autoras indicam que se trata do artigo Argamassas Industrializadas para Revestimento de Superfícies e Assentamento de Alvenaria, publicado por Müller e Bücher, em evento denominado Argamassas Industrializadas – Usos e Desempenho que ocorreu em São Paulo em 1993.

permeabilidade é influenciada por poros capilares com dimensões superiores a 50 nm e pela presença de bolhas de ar incorporado, as quais têm dimensão máxima de 3 mm.

Como explicam Nakakura e Cincotto (2004, p. [13]), os capilares são espaços presentes na argamassa que ainda não foram preenchidos pelos compostos hidratados do aglomerante. Por isso, a permeabilidade da argamassa é dependente do processo de hidratação que é crescente ao longo do tempo. Ou seja, com o avanço da idade da argamassa, maior será o número de compostos hidratados e menor será sua permeabilidade.

Para Carasek (2007, p. 872-873), dentre as propriedades das argamassas, a permeabilidade à água é a que está mais intimamente associada à estanqueidade das paredes, função muito importante quando se trata de revestimentos em fachadas. Segundo a autora, esse atributo é fundamental, principalmente para edificações situadas em regiões com elevados índices de precipitações pluviométricas. Nesses casos, o revestimento deve resistir à infiltração da água, evitando problemas que comprometam tanto a higiene e saúde dos usuários, como a estética das edificações, pois a presença de umidade está relacionada à manifestações patológicas como eflorescências, descolamentos e fungos.

3.2.4.5 Resistência mecânica

Para Nakakura e Cincotto (2004, p. [12]), “A resistência mecânica das argamassas está relacionada à sua capacidade de resistir esforços de tração, compressão e cisalhamento, decorrentes de cargas estáticas ou dinâmicas atuantes nas edificações, ou decorrentes de efeitos das condições ambientais.”. As autoras afirmam que a resistência à compressão apresenta-se, normalmente, como a característica mais determinada, tanto para argamassa de assentamento como de revestimento. Entretanto, explicam que “[...] como propriedade para posterior associação com o desempenho da argamassa em revestimento, parece que a resistência à compressão está mais associada à argamassa de assentamento pela forma à qual essa vai ser solicitada no sistema de vedação [...]”. Conforme as autoras, no sistema de revestimento, é maior a solicitação por resistência à tração ou por resistência ao cisalhamento.

3.2.4.6 Módulo de deformação

Nakakura e Cincotto (2004, p. [14]) explicam que em um primeiro momento, deseja-se que a argamassa apresente o melhor desempenho, sem romper, frente às deformações próprias e da base. Para Carasek (2007, p. 869) isso significa que “A argamassa deve poder se deformar sem apresentar fissuras prejudiciais, ou seja, ela deve, quando sujeita a solicitações diversas, apenas apresentar microfissuras.”. A autora conclui que essa exigência funcional se aplica para os revestimentos de argamassa, associada não só ao módulo de elasticidade como à resistência mecânica das argamassas, e terá influência tanto na fissuração como na aderência dos revestimentos. Em concordância, Terra (2001, p. 9) afirma que “Os revestimentos devem apresentar capacidade de deformação para [que], ao acompanharem as variações dimensionais da base, se deformem sem ruptura ou através de microfissuras que não comprometam sua aderência, estanqueidade e durabilidade.”.

Segundo Nakakura e Cincotto (2004, p. [15]), “A capacidade de absorver deformações está relacionada ao módulo de deformação da argamassa: quanto menor o módulo de deformação (menor teor de cimento), maior a capacidade de absorver deformações.”. No quadro 12, estão apresentados intervalos de valores para o módulo de deformação das argamassas conforme a classificação MERUC² do CSTB³ (NAKAKURA; CINCOTTO, 2004, p. [6]).

Classe	Módulo de deformação (MPa)
1	< 5.000
2	3.500 a 7.000
3	5.000 a 10.000
4	7.500 a 14.000
5	12.000 a 20.000
6	> 16.000

Quadro 12: módulo de deformação das argamassas segundo a classificação MERUC (baseado em NAKAKURA; CINCOTTO, 2004, p [6])

² Classificação MERUC: M (densidade de massa no estado endurecido); E (módulo de deformação); R (resistência à tração na flexão); U (retenção de água no estado fresco); C (coeficiente de capilaridade).

³ CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DU BATIMENT, Paris.

4 ESTUDO DO MECANISMO DE ADERÊNCIA

Este capítulo contém a contextualização sobre o mecanismo de ligação entre a argamassa e o substrato. Também serão discutidos alguns aspectos referentes à influência da variação da temperatura no processo de aderência dos revestimentos de argamassa.

4.1 LIGAÇÃO ENTRE ARGAMASSA E SUBSTRATO

Segundo Scartezini et al. (2002, p. 86), “O mecanismo de aderência entre os revestimentos de argamassa e substratos porosos é conhecido pelo seu caráter essencialmente mecânico, ocorrendo através da penetração dos materiais aglomerantes nos poros e cavidades da base.”. Carasek (2007, p. 887) explica que esse processo tem início quando a argamassa no estado plástico, ao ser aplicada na superfície do substrato, transfere parte da água de amassamento, com componentes do aglomerante dissolvidos ou em estado coloidal, para poros e cavidades do substrato por absorção. Já no interior dos poros e capilares ocorrem fenômenos de precipitação dos produtos de hidratação dos aglomerantes, em geral o cimento e a cal. Após algum tempo, esses precipitados intracapilares exercem ação de ancoragem entre a base e a argamassa. Ou seja, o processo de ligação entre a argamassa e o substrato ocorre em duas etapas principais: o transporte da água com componentes dissolvidos e a precipitação dos produtos de hidratação dos aglomerantes.

Moura (2007, p. 26), a respeito do transporte de água, afirma que esse processo pode ser explicado pela teoria dos poros ativos, que relaciona a capilaridade, e consequente capacidade de absorção dos substratos, com a capacidade de retenção das argamassas. Conforme explica a autora, a transferência de água decorre da força de sucção gerada pelos poros do substrato com tamanho inferior aos poros da argamassa. No entanto, o transporte da água só ocorre se a força de sucção gerada superar a capacidade de retenção de água da argamassa. Kazmierczak et al. (2007, p. [2]), sobre a capacidade de absorção dos substratos, afirmam que:

Dentre as propriedades da base que exercem maior influência na aderência, destaca-se a sua distribuição de poros, em função de sua grande influência na capacidade de

absorção de água do substrato. A quantidade de poros com diâmetro superior a 50 µm (denominados macroporos) exerce grande influência na capacidade de absorção de água, uma vez que esses são os principais responsáveis pela permeabilidade da base. Os microporos, por sua vez, estão relacionados com outras propriedades como a retração e a fluência.

Apesar da transferência de água depender muito da distribuição do tamanho dos poros do substrato, a sucção não pode ser o único parâmetro considerado no estudo da aderência. Existe também uma influência significativa da rugosidade da base e das propriedades das argamassas. Como visto, argamassas que apresentam alta retenção de água tornam o processo de aderência menos suscetível à transferência de água por sucção (SILVA, 2004, p. 21).

Por sua vez, para explicar como ocorre a precipitação dos produtos de hidratação, Carasek⁴ (1996 apud CARASEK, 2007, p. 888), refere-se à microestrutura da interface entre substrato e argamassa, afirmando que a aderência é decorrente, principalmente, do intertravamento da etringita no interior dos poros do substrato. Conforme a autora, durante o processo de hidratação do cimento Portland, a gipsita – reguladora da pega do cimento – é dissolvida e libera íons sulfato e cálcio. Na sequência, íons cálcio e aluminato também são liberados pela dissolução de outro componente do cimento, o aluminato tricálcico. Através do efeito de sucção causado pela base porosa, tais íons em solução penetram no substrato, formando no interior dos poros o trissulfoaluminato de cálcio hidratado, a etringita. A grande concentração desse composto na interface entre o substrato e a argamassa, preenchendo os poros capilares e os poros da base, justifica-se pela rápida dissolução dos íons que o formam e pelo seu dinâmico processo de cristalização. A autora conclui que, por dispor de menos espaço para precipitar, os demais produtos de hidratação do cimento, como o silicato de cálcio hidratado, ou mesmo produtos provenientes da carbonatação da cal, como a calcita, aparecem em menor quantidade na região de interface.

Em concordância, Polito et al. (2009, p. [10]), através de um estudo sobre a microestrutura da interface argamassa/blocos cerâmicos, também apontam a etringita como principal responsável pela aderência da argamassa em substratos porosos. Segundo os autores:

Os resultados dos estudos microestruturais confirmaram os indícios de que a principal fase responsável pela resistência de aderência é a etringita. Esta

⁴ CARASEK, H., **Aderência de argamassas à base de cimento Portland a substratos porosos**: avaliação dos fatores intervenientes e contribuição ao estudo do mecanismo da ligação. 1996. 285 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.

aderência se dá pelo intertravamento dos cristais pela penetração dos mesmos no interior dos poros do substrato. Foram visualizados cristais de etringita formados no interior dos poros do substrato a uma profundidade de até 500 μ m.

Os cristais formados na interface argamassa/blocos cerâmicos são mais bem formados (euédricos) e maiores do que no restante da matriz do revestimento, apresentando predominantemente orientação perpendicular à superfície do bloco (POLITO et al., 2009, p [11]). Na figura 2 é possível visualizar os cristais de etringita (formato de agulha) e silicato de cálcio hidratado (C-S-H).

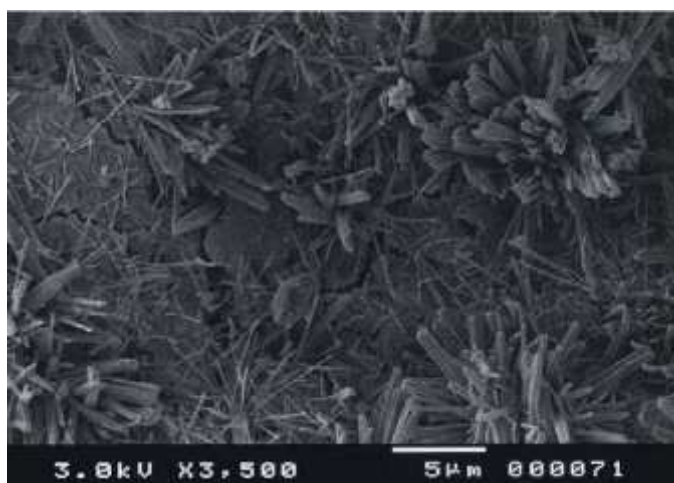


Figura 2: microestrutura da interface argamassa/bloco cerâmico (POLITO, 2009, p [6])

4.2 REVESTIMENTO DE ARGAMASSA X VARIAÇÃO DA TEMPERATURA

Thomaz (1989, p. 20) explica que todos os materiais empregados na construção estão sujeitos à alterações dimensionais quando varia a temperatura do meio em que se encontram. Essa variação pode produzir expansão quando a temperatura aumenta ou contração quando diminui, sendo a propriedade que rege esse comportamento denominada de coeficiente de dilatação térmica. Segundo o autor, a intensidade da variação dimensional, para uma dada variação de temperatura, difere de material para material. No entanto, salvo algumas exceções, é possível considerar que as movimentações térmicas dos materiais de construção são praticamente as mesmas em todas as direções. O autor conclui que quantificar as

movimentações sofridas por um componente é possível, desde que, além de suas propriedades físicas, se conheça o ciclo de temperatura a que esteve sujeito. No quadro 13 são indicados os coeficientes de dilatação térmica linear de materiais compostos à base de cimento e de tijolos ou blocos vazados.

	Material	Coeficiente de dilatação térmica linear ($^{\circ}\text{C} \cdot 10^{-6}$)
Compostos à base de cimento	Argamassa	10-13
	Concreto (seixo rolado)	12-14
	Concreto (brita)	10-13
	Concreto celular	8
	Cimento com fibra de vidro	7-12
	Cimento-amianto	8-12
Tijolos ou blocos vazados	Concreto	6-12
	Concreto Celular	8
	Sílico-calcário	8-14
	Barro cozido	5-8

Quadro 13: coeficientes de dilatação térmica linear (baseado em THOMAZ, 1989, p. 36)

Temoche-Esquivel (2009, p. 79) explica que, geralmente, os revestimentos de argamassa em paredes não apresentam condições de uso em que a variação da temperatura atinjam valores acima de 70°C , exceto em situações fora do comum, como no caso de incêndios. Conforme o autor, para revestimentos de fachada expostos ao meio ambiente, as situações extremas que podem causar grandes variações térmicas se apresentam durante o dia, quando o revestimento atinge valores de temperatura superficial máximos estando sujeito à períodos de precipitação. Nas situações em que as condições são favoráveis para máxima incidência solar, também podem ocorrer variações térmicas decorrentes de curtos períodos de nebulosidade e vento.

De acordo com a ASTM D1079-02⁵ (AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, 2002 apud TEMOCHE-ESQUIVEL, 2009, p. 80), denomina-se de choque térmico o fenômeno produzido pela diminuição rápida da temperatura superficial da face externa do revestimento após o início de um evento de precipitação. A temperatura varia do

⁵ AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D1079-02**: standard terminology relating to roofing, waterproofing, and bituminous materials. West Conshohocken, 2002.

seu valor máximo, estimado em 70 °C, para aproximadamente 20°C, temperatura atribuída à água da chuva, apresentando uma variação de cerca de 50°C.

Conforme John e Pillegi (2007, p. 9) os revestimentos de argamassa externos, apesar de protegido pela pintura, estão diretamente expostos a agentes ambientais, enquanto o substrato no qual estão aderidos encontra-se protegido. Os autores explicam que, após períodos de aquecimento superficial (por incidência solar ou pelo calor do ar), gradientes de temperatura desenvolvem-se no sistema de vedação nos quais a base apresenta menores temperaturas do que o revestimento, que tende a se expandir. Durante o resfriamento superficial, por sua vez, um gradiente inverso é formado, no qual o revestimento, em especial sua superfície, apresenta as menores temperaturas. contraindo-se mais do que a base que permanece por mais tempo aquecida.

Segundo os mesmos autores, como a camada de revestimento encontra-se aderida, sua tendência de expansão ou contração é impedida mecanicamente pela base, muito mais robusta e rígida. Tal restrição implica no surgimento de um estado de tensões, inclusive de cisalhamento, que se repete periodicamente durante a vida útil do revestimento, provocando danos progressivos nos pontos mais fracos, principalmente na interface argamassa-base, onde defeitos tendem a se acumular. Em concordância, Thomaz (1989, p. 29) afirma que a amplitude considerável da variação térmica, além da elevada temperatura superficial dos revestimentos decorrente da insolação direta, pode provocar o aparecimento de fissuras nos revestimentos devidas às movimentações diferenciadas que ocorrem entre esses e as bases de aplicação.

Segundo Temoche-Esquivel (2009, p. 82), os efeitos decorrentes da variação da temperatura e umidade dos revestimentos bem como o seu comportamento mecânico podem ser avaliados de forma isolada ou considerando sua interação. Conforme o mesmo, inúmeros fatores que condicionam o desenvolvimento da aderência, especialmente as características dos materiais constituintes, a forma de aplicação e as características intrínsecas da base de aplicação, podem ser considerados controlados. Entretanto, fatores inerentes às argamassas de revestimento e ao clima são de difícil controle, como por exemplo, a evaporação e retração durante a etapa de secagem.. Conforme o autor, a retração da pasta desenvolve-se nas primeiras horas após a aplicação da argamassa, ao mesmo tempo em que o mecanismo de aderência se desenvolve. A ocorrência simultânea desses fenômenos pode resultar na restrição da variação volumétrica

provocada pela retração. Essa restrição também pode gerar um estado de tensões que, se maior que a resistência à tração da argamassa, resulta em microfissuras no interior do revestimento.

Moura (2007, p. 57) explica que o acréscimo da temperatura acelera o processo de evaporação, que por sua vez diminui a quantidade de água disponível no período de cura, ocasionando maior retração no estado fresco e a inibição das reações de hidratação. Em seu estudo, a autora analisou o efeito das condições climáticas (temperatura e ventilação) na cura de chapisco e revestimento e afirma que a ação de temperaturas elevadas exercem influência significativa na resistência de aderência dos revestimentos de argamassas aplicados em substratos de concreto. A diminuição da capacidade de aderência do revestimento é consequência da aceleração da hidratação no período de secagem, resultando em menor quantidade de produtos de hidratação (mais vazios e mais frágeis). A autora ainda conclui que, sob a ação de temperaturas elevadas, tanto a camada de preparação quanto a sua interface com a camada de revestimento apresentam-se predominantemente como pontos de fragilidade do sistema.

5 SISTEMA DE REVESTIMENTO DE ARGAMASSA

Paravisi (2008, p. 23) afirma que “[...] o sistema [de] revestimento é parte integrante de um sistema maior e tem seu comportamento diretamente influenciado pelas características dos demais componentes, devendo ser projetado considerando o sistema como um todo.”. O sistema maior, segundo a autora, consiste no sistema tradicional de vedação vertical das edificações que, no Brasil, é composto por revestimento externo, alvenaria ou estrutura de concreto e revestimento interno.

A mesma autora ainda explica que:

Entre os sistemas de revestimento disponíveis no mercado brasileiro, o sistema com uso de argamassa é o mais utilizado, podendo, no entanto, variar a sua composição [...]. Ele pode ser constituído de mais de uma camada desse material, sendo denominadas de emboço e reboco, ou pode possuir apenas uma camada, chamada de massa única.

As configurações dos sistemas de revestimento de argamassa citadas podem ser visualizadas na figura 3.

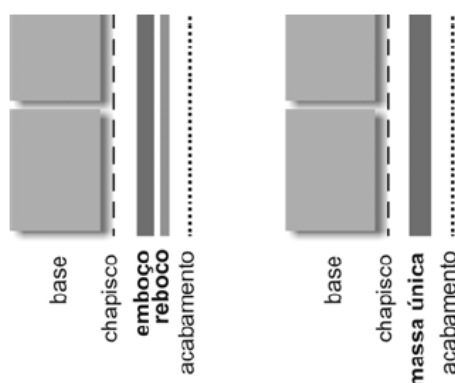


Figura 3: sistema de vedação e revestimento com argamassa (PARAVISI, 2008, p. 23)

Entende-se por revestimento de argamassa, segundo a NBR 13529 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1995, p. 1), como sendo o “Cobrimento de uma superfície com uma ou mais camadas superpostas de argamassa, apto a receber acabamento

decorativo ou constituir-se em acabamento final.”. A mesma Norma ainda contém a definição de sistema de revestimento afirmando ser esse um “Conjunto formado por revestimento de argamassa e acabamento decorativo, compatível com a natureza da base, condições de exposição, acabamento final e desempenho, previstos em projeto.”. Costa (2005, p. 30) explica que o sistema de revestimento trata-se de um conjunto de técnicas para a produção de revestimentos de argamassa que resulta em uma combinação lógica e coordenada de especificações, tanto de materiais e procedimentos quanto de métodos de execução, que conduza ao desempenho desejado.

A NBR 7200 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1998, p. 2) estabelece que o procedimento de execução dos revestimentos de paredes e tetos deve obedecer as seguintes etapas:

- a) preparo e aplicação dos diversos tipos de argamassas inorgânicas;
- b) preparo da base de revestimento;
- c) acondicionamento das argamassas;
- d) cuidados de aplicação.

Conforme Costa (2005, p. 30) “[...] um sistema de revestimento de argamassa indica o número de camadas do revestimento, as espessuras das camadas, o tipo de argamassa a ser utilizado, as especificações dos traços e dos materiais, a técnica de execução e o tipo de acabamento superficial, entre outros.”.

Nos próximos itens as etapas referentes aos procedimentos de execução dos revestimentos serão brevemente contextualizadas.

5.1 PREPARO E APLICAÇÃO DAS ARGAMASSAS

Costa (2005, p. 37), referindo-se ao preparo das argamassas, afirma que:

A escolha dos traços a serem utilizados nas obras deve seguir critérios e requisitos relacionados às reais condições de utilização, ou seja, é necessário que para cada

obra sejam estudados os traços mais adequados, considerando a influência da base a ser aplicada, a qualidade e a racionalização dos recursos.

Segundo a mesma autora, o atendimento às especificações e o proporcionamento dos materiais nas obras deve ser rigoroso. Quando a opção for por argamassa industrializada, conforme Ceotto et al. (2005, p. 67), os fabricantes devem instruir a equipe técnica e a mão de obra para que se atendam as recomendações de preparo, aplicação e rendimento do produto, garantindo, assim, o desempenho esperado. Quando a opção for por argamassa preparada em obra, as instruções ficam a cargo do projetista ou engenheiro responsável.

Quanto à aplicação da argamassa, Costa (2005, p. 46) explica que essa atividade somente pode ser iniciada após:

- a) a base estar adequadamente preparada;
- b) a sequência de execução dos panos estar definida;
- c) o taliscamento da fachada executado em conformidade com os espaçamentos definidos no projeto, os quais, por sua vez, são provenientes,
 - da locação dos arames de referência;
 - do mapeamento da fachada.

5.2 PREPARO DA BASE DE REVESTIMENTO

Antes de iniciar qualquer atividade é aconselhável a verificação das idades mínimas das bases de aplicação para o revestimento. Na NBR 7200 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1998, p. 3) constam as idades mínimas recomendadas quando utilizada argamassa preparada em obra, conforme apresentado no quadro 14. No caso de revestimentos de argamassa industrializada ou dosada em central, esses prazos podem conter alterações, desde que haja recomendação específica do fornecedor a qual deve ter comprovação através de ensaios de laboratório credenciados pelo INMETRO⁶.

⁶ INMETRO: Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial.

Tipos de base	Idade mínima recomendada (dias)
Estruturas de concreto e alvenarias armadas estruturais	28
Alvenarias não armadas estruturais e alvenarias sem função estrutural de tijolos, blocos cerâmicos, blocos de concreto e concreto celular, admitindo os blocos de concreto curados (28 dias)	14
Chapisco para aplicação de emboço ou camada única; para climas quentes e secos, com temperatura acima de 30°C, a idade mínima recomendada pode ser reduzida de um dia	3
Emboço de argamassa de cal, para início dos serviços de reboco	21
Emboço de argamassas mistas ou hidráulicas, para início dos serviços do reboco	7
Revestimento de reboco ou camada única, para execução de acabamento decorativo	21

Quadro 14: idades recomendadas para intervalos entre os serviços de revestimento (baseado em ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1998, p. 3)

A NBR 7200 afirma que, para melhorar a aderência na interface revestimento-base, a argamassa de chapisco deve ser aplicada com consistência fluída, assegurando maior facilidade de penetração da pasta de cimento na base a ser revestida (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1998, p. 6). Ceotto et al. (2005, p. 68), referindo-se às condições de aderência e limpeza da base, explicam que “A aderência do revestimento está relacionada diretamente com o grau de absorção da base, que propicia a microancoragem, e com a rugosidade superficial, que contribui com a macroancoragem.”. Por isso, segundo ele, para permitir a correta absorção e consequente aderência dos revestimentos, a limpeza é fundamental.

Quanto à presença de irregularidades, a NBR 7200 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1998, p. 5) recomenda que a base seja regular para que a argamassa, quando aplicada, tenha espessura uniforme. A mesma Norma também determina o procedimento para bases compostas por diferentes materiais, sendo que nesses casos, se a base for submetida a esforços que gerem deformações diferenciais consideráveis (tais como balanços, platibandas e últimos pavimentos), torna-se necessária a utilização de tela metálica, plástica ou de outro material na junção destes materiais, criando uma zona capaz de suportar as movimentações diferenciais que serão impostas (figura 4). Como alternativa, juntas separando o revestimento aplicado sobre os dois materiais podem ser especificadas, permitindo que cada parte movimente-se independentemente.

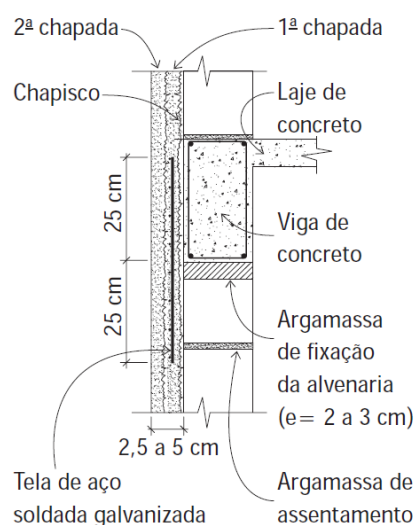


Figura 4: tela de reforço devido a base de materiais diferentes (baseado em FIGUEROLA, 2006, p. 28)

5.3.CUIDADOS DE APLICAÇÃO

Além da conformidade com os itens citados anteriormente, segundo a NBR 7200 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1998, p. 6), para se definir o plano de revestimento, as espessuras constantes no projeto de revestimento devem ser atendidas. No entanto, é de extrema importância que essas estejam de acordo com as especificações da NBR 13749 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1996, p. 2) que indica que a espessura dos revestimentos externos e internos deve respeitar os limites apresentados no quadro 15.

Revestimento	Espessura (mm)
Parede interna	$5 \leq e \leq 20$
Parede externa	$20 \leq e \leq 30$
Tetos interno e externo	$e \leq 20$

Quadro 15: espessuras admissíveis de revestimentos internos e externos (baseado em ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1996, p. 2)

Conforme a mesma Norma, caso haja necessidade de empregar espessura superior a esses limites, devem ser tomados cuidados especiais para garantir a aderência do revestimento.

6 PROGRAMA EXPERIMENTAL

O programa experimental descrito a seguir foi elaborado, não só em função das técnicas e materiais utilizados pela construtora X, como também visando simular, para os revestimentos de argamassa, condições de exposição ambiental com possível ocorrência na cidade de Porto Alegre, no Estado do Rio Grande do Sul.

6.1 PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL

Para atender o objetivo principal deste trabalho, que consistiu em definir a influência da variação térmica na resistência de aderência à tração de revestimentos de argamassa de fachada, aplicados em substrato cerâmico, realizou-se um planejamento para definir os elementos variáveis e não variáveis da pesquisa, para assim, delimitar o campo de observação do experimento. A partir dessas definições foram determinados aspectos importantes da análise como a forma de aplicação das argamassas de revestimento sobre a camada de preparação do substrato cerâmico (chapisco), as idades em que o revestimento seria ensaiado e as condições do ambiente para a cura, com duas situações de exposição distintas.

Visando simular o sistema de vedação vertical, as argamassas estudadas foram moldadas em blocos previamente chapiscados, constituindo, desta maneira, prismas formados por base cerâmica (alvenaria de vedação) e revestimento de argamassa. A espessura do revestimento, em conformidade com a NBR 13749 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1996), foi fixada em 2 cm – espessura mínima recomendada para revestimento externo – sendo esse valor obtido através do uso de moldes que desempenharam a função de mestras. Em vista disso, a espessura do conjunto chapisco e revestimento de argamassa ficou estimado em 2,5 cm. A configuração esquemática dos prismas, com a disposição das camadas de chapisco e revestimento e suas espessuras, pode ser observada na figura 5.

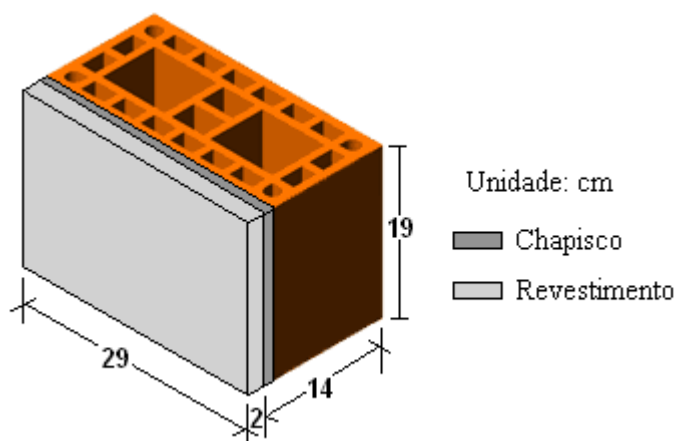


Figura 5: disposição e espessura das argamassas de chapisco e revestimento nos prismas

A quantidade de prismas moldados foi fundamentada em dois critérios. O primeiro foi o número de arrancamentos possíveis na superfície de um bloco e, o segundo, o número de corpos de prova para o ensaio de resistência de aderência à tração. De acordo com a NBR 13528 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2010, p. 4), os pontos de arrancamento devem ter espaçamento mínimo de 50 mm entre si e dos cantos. Desta forma, o número de corpos-de-prova foi limitado em quatro por bloco, dispostos de forma a apresentar a distância requerida entre si. Com relação ao número de corpos-de-prova para determinação da resistência de aderência à tração, a mesma Norma determina que cada ensaio seja composto por 12 corpos de prova, os quais devem apresentar as mesmas características que seguem:

- a) tipo e preparo do substrato;
- b) argamassa de revestimento;
- c) forma de aplicação;
- d) idade do revestimento.

É importante lembrar que o estudo propunha duas idades de cura e duas condições ambientais de exposição para os revestimentos. Por conseguinte, 36 prismas foram moldados com argamassa. Ou seja, para cada argamassa estudada, 12 prismas foram disponibilizados. A figura 6 apresenta o diagrama de definição da quantidade de prismas para o experimento.

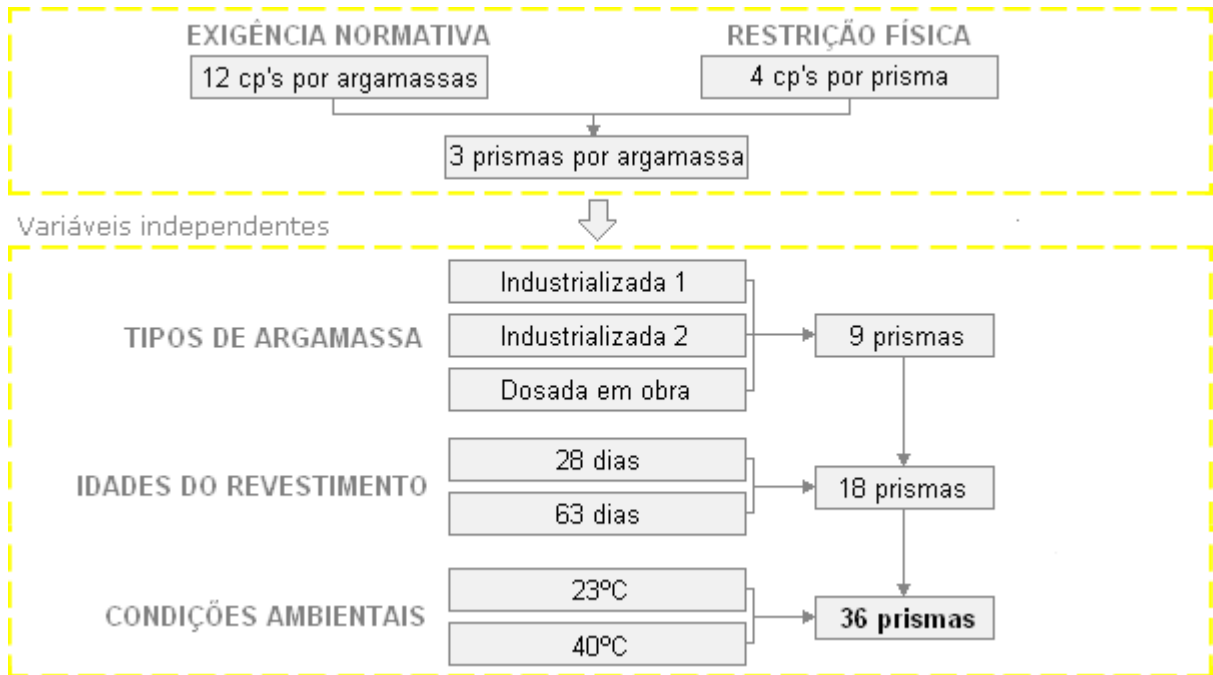


Figura 6: diagrama de definição da quantidade de prisms

Quanto à sequência da execução dos prisms, essa iniciou com a limpeza do substrato cerâmico para retirada de partículas pulverulentas através da lavagem dos blocos com água fria. Em temperatura ambiente, após a secagem dos blocos, foi aplicada sobre o substrato a argamassa de chapisco. Com a superfície dos blocos preparada, os moldes de madeira puderam ser acoplados aos blocos e em seguida as argamassas de revestimento foram aplicadas. As figuras de 7 a 9 ilustram o procedimento descrito.

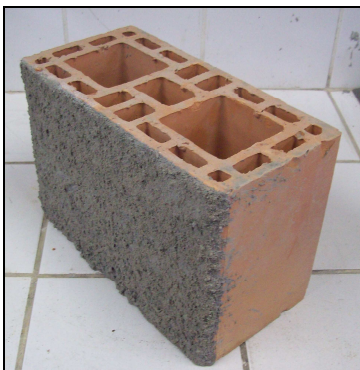


Figura 7: bloco chapiscado



Figura 8: molde de madeira

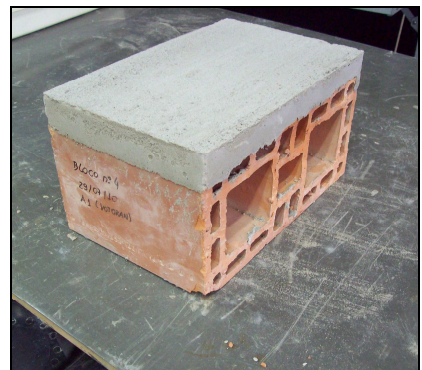


Figura 9: prisma com revestimento

Os elementos fixos e as variáveis do programa experimental precisaram ser criteriosamente definidos e selecionados para a obtenção de dados experimentais confiáveis para formulação

de resultados coerentes. A seguir, são apresentados e descritos os elementos variáveis e não variáveis da pesquisa.

6.2 ELEMENTOS NÃO VARIÁVEIS

Seguindo o planejamento experimental alguns elementos da análise – técnicas e materiais – foram pré-determinados com o propósito de diminuir o número de variáveis do estudo. Nos próximos itens os elementos não variáveis da pesquisa são apresentados e detalhados.

6.2.1 Substrato de aplicação

O substrato característico do experimento consiste em blocos cerâmicos, com modulação de dimensões 14x19x29 cm, com superfície lisa, provenientes do mesmo lote de apenas um fabricante. A face do bloco destinada a receber a camada de preparação com argamassa de chapisco e, posteriormente, a argamassa de revestimento apresentava dimensão de 19x29cm. Desta maneira, além do material constituinte do substrato, sua área superficial destinada à aplicação da argamassa foi considerada um elemento fixo.

6.2.2 Camada de preparação do substrato

A camada de preparação do substrato ou chapisco, foi constituída de argamassa de cimento e areia na proporção 1:3 em volume, com areia úmida, aplicada com colher de pedreiro (chapisco convencional), e composta pelos seguintes materiais:

- a) cimento CP V-32-RS;
- b) areia natural quartozosa regular.

Todos os blocos cerâmicos utilizados em laboratórios foram chapiscados com o mesmo lote de argamassa de chapisco preparado exclusivamente para o experimento, em conformidade

com o controle de revestimento aplicado na empresa estudada. A quantidade de água foi fixada, sendo a relação entre água e cimento utilizada de 1,24.

6.2.3 Aplicação das argamassas de revestimento

A aplicação das argamassas de revestimento foi feita através de projeção instrumentada, utilizando-se uma caixa de queda, com o propósito de uniformizar a energia de aplicação durante a moldagem dos prismas. Conforme a NBR 13528 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2010, p. 3), a maneira como se aplica a argamassa no substrato é um fator que interfere no comportamento do revestimento, principalmente no que se refere ao mecanismo de aderência. Essa Norma relata que as projeções mecanizadas em relação à projeções manuais podem apresentar valores de resistência de aderência superiores e coeficiente de variação inferiores. O melhor desempenho e a menor variabilidade da projeção mecanizada são justificados pela maior superfície de contato e compacidade obtidos após a aplicação, reduzindo a porosidade e a permeabilidade dos revestimentos.

O equipamento utilizado nesse experimento consiste em uma estante metálica, com base horizontal móvel, acionada por duas alavancas. A aplicação simplesmente decorre da abertura da base móvel ao se puxar as alavancas simultaneamente, resultando na projeção vertical da argamassa sobre os blocos cerâmicos. A figura 10 demonstra o equipamento descrito.



Figura 10: vista geral da base móvel da caixa de queda
(a) antes e (b) depois do acionamento das alavancas

Para determinar a altura de projeção foi preciso fazer um estudo⁷ que relacionasse a energia de aplicação instrumentada e a energia de aplicação manual de um pedreiro. Para isso, foi preciso definir uma variável de observação que pudesse estabelecer essa relação, sendo escolhida a densidade de massa no estado fresco da argamassa. Esse procedimento ocorreu em duas etapas. Primeiramente, em laboratório, foram obtidos valores de densidade de massa para a aplicação manual, feita por um profissional utilizando colher de pedreiro. Uma vez determinado um valor representativo de densidade de massa para a aplicação manual, sucessivas aplicações mecanizadas foram feitas, ajustando-se a altura da base móvel até que os valores de densidade de massa para a aplicação mecanizada convergissem para o valor da aplicação manual. A altura final da base móvel foi fixada em 112,5 cm.

Além da altura de projeção, foi preciso determinar a quantidade de argamassa para cada aplicação, visto que a argamassa de revestimento a ser moldada nos prismas deveria ser projetada em uma única vez, evitando sobreposições de camadas. Para isso, um molde para dosagem foi desenvolvido, apresentando 29 cm de comprimento, 14 cm de largura e 10 cm de altura. O molde de dosagem e uma fração de argamassa antes e após a aplicação em um prisma podem ser observadas nas figuras 11a 13



Figura 11 molde de dosagem



Figura 12 argamassa antes da aplicação



Figura 13 argamassa após a aplicação

⁷ O estudo da energia de aplicação da caixa de queda faz parte da tese do engenheiro Daniel T. Pagnussat, a qual está em desenvolvimento no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).

6.3 VARIÁVEIS INDEPENDENTES

No planejamento experimental foram definidas como variáveis independentes, passivas de manipulação e controle, os seguintes elementos:

- a) argamassas de revestimento utilizadas para moldagem dos prismas;
- b) temperatura de cura dos revestimentos;
- c) idades de ensaio dos revestimentos.

O delineamento da escolha dessas variáveis bem com a descrição das suas características são apresentadas nos próximos itens.

6.3.1 Argamassas de revestimento

A opção por utilizar 3 tipos de argamassa de revestimento, sendo duas industrializadas e um traço dosado em obra, parte da proposta de avaliar a resistência de aderência à tração das argamassas usualmente especificadas para o revestimento externo dos empreendimentos da construtora X.

6.3.1.1 Argamassa industrializada – R1

Segundo o fabricante, esta argamassa é uma mistura seca à base de cal hidratada do tipo CH-II (cal dolomítica), cimento Portland CP-II e agregados minerais (areia). A quantidade de água recomendada é de aproximadamente 4,5 L de água por saco de 25 kg para que o produto apresente boa consistência e homogeneidade. É um produto recomendado para revestimentos internos e externos como massa única, com espessura de até 2,5 cm.

A argamassa R1 é produzida em conformidade com os requisitos NBR 13281 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005f). Os limites característicos e a classificação da argamassa conforme essa Norma, segundo as especificações dadas pelo fabricante, são apresentados no quadro 16.

Características da argamassa	Classificação	Limites característicos
Resistência à compressão (MPa)	P2	1,5 a 3,0
Densidade de massa estado endurecido (kg/m ³)	M5	1.600 a 2.000
Resistência à tração na flexão (MPa)	R3	1,5 a 2,7
Coefficiente de capilaridade (g/dm ² .min ^{1/2})	–	–
Densidade de massa no estado fresco (kg/m ³)	D4	1.600 a 2.000
Retenção de água (%)	U4	86 a 94
Resistência potencial de aderência à tração (MPa)	A3	≥ 0,30

Quadro 16: classificação da argamassa R1 segundo a NBR 13281/2005 conforme as especificações do fabricante

Para controle de produção, o fabricante submete periodicamente a argamassa R1 à ensaios de caracterização, verificando a validade dos limites estabelecidos. No quadro 17, os resultados de um desses ensaios são apresentados (trabalho não publicado⁸).

Características da argamassa	Método de ensaio	Resultado	Classificação NBR 13281/2005
Resistência à compressão (MPa)	NBR 13279/2005	3,1	P3
Densidade de massa estado endurecido (kg/m ³)	NBR 13280/2005	1809	M5
Resistência à tração na flexão (MPa)	NBR 13279/2005	1,4	R2
Coefficiente de capilaridade (g/dm ² .min ^{1/2})	NBR 15259/2005	0,80	C1
Densidade de massa no estado fresco (kg/m ³)	NBR 13278/2005	1876	D4
Retenção de água (%)	NBR 13277/2005	95	U5
Resistência potencial de aderência à tração (MPa)	NBR 15258/2005	0,30	A3

Quadro 17: resultados de ensaio de caracterização da argamassa R1 conforme dados fornecidos pelo fabricante

6.3.1.2 Argamassa industrializada – R2

Conforme especificação técnica do fabricante, essa argamassa é uma mistura seca de cimento Portland, agregados minerais com granulometria controlada e aditivos, dentre estes o

⁸ Os ensaios são realizados no Laboratório de Materiais de Construção Civil (LMCC) da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) a pedido do fabricante. Os resultados contidos no quadro 17 são referentes a amostras de argamassas no estado fresco e no estado endurecido, estas com idade de 28 dias.

incorporador de ar (IA). A quantidade de água recomendada varia de 7,8 a 8,4 L por saco de 50 kg, para apresentar boa trabalhabilidade. É recomendada para revestimento de paredes e tetos em áreas internas e externas, sendo possível também, utilizá-la no assentamento de elementos de vedação (tijolos, blocos cerâmicos, de concreto e silico-calcários). Quando empregada no revestimento externo, é recomendada a aplicação em camada única com espessura mínima de 2,0 cm e máxima de 3,0 cm.

A argamassa R2 é produzida em conformidade com os requisitos NBR 13281 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005f). Os limites característicos bem como a classificação normalizada dessa argamassa, segundo o fabricante, são apresentados no quadro 18.

Características da argamassa	Classificação	Limites característicos
Resistência à compressão (MPa)	P5	6,0 a 8,5
Densidade de massa estado endurecido (kg/m ³)	M4	1.450 a 1.750
Resistência à tração na flexão (MPa)	R2	1,2 a 1,8
Coefficiente de capilaridade (g/dm ² .min ^{1/2})	C4	3,5 a 6,5
Densidade de massa no estado fresco (kg/m ³)	D4	1.680 a 1.800
Retenção de água (%)	U2	73,5 a 83,5
Resistência potencial de aderência à tração (MPa)	A3	≥ 0,35

Quadro 18: classificação da argamassa R2 segundo a NBR 13281/2005 conforme as especificações do fabricante

6.3.1.3 Argamassa dosada em obra – R3

Segundo a construtora X, esta argamassa teve seu traço desenvolvido com o objetivo de controlar os procedimentos relacionados com a execução do revestimento de fachadas, assegurando, desta maneira, a qualidade da argamassa e, conseqüentemente, o acabamento proposto. Com relação à utilização, é recomendada apenas para revestimento externo em fachadas e muros. Quanto à sua composição, trata-se basicamente do proporcionamento de cimento Portland CP IV-32, cal hidráulica e areia natural quartzosa (fina e média). No quadro 19, os traços em massa e volume da argamassa R3 são apresentados.

Tipo	Descrição	
Traço em massa	cimento:cal:areia	1:1,6:13,67
	cimento:cal:areia fina:areia média	1: 1,6: 3,42: 10,25
Traço em volume	cimento:cal:areia	1:2:7,6
	cimento:cal:areia fina:areia média	1:2:2:5,6

Quadro 19: traços em massa e volume da argamassa R3

Esta argamassa foi dosada em laboratório (trabalho não publicado⁹) e sua caracterização, conforme a NBR 13281 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005f), utilizando seu traço com os materiais empregados nesta pesquisa, é um dos objetivos deste trabalho e pode ser observada no item 7.1.

Por outro lado, para a determinação do traço da argamassa em massa a caracterização dos materiais constituintes foi indispensável. Como observado, o traço definido não contém cal hidratada, mas cal hidráulica. A cal hidráulica é um produto intermediário entre a cal aérea e o cimento, uma vez que o endurecimento ocorre tanto pelo contato com a água como pelo contato com o ar (carbonatação). Pode ser natural, quando proveniente da calcinação de rochas calcárias argilosas ou silicosas, ou artificial, quando é obtida por adições de determinados tipos de cinza mineral à cal hidratada. Conforme o fabricante, a cal hidráulica utilizada neste estudo é composta por cal hidrata do tipo CH-II – hidróxidos de cálcio e magnésio – com adição de cinzas minerais, apresentando massa específica de 2,30g/cm³ e massa unitária de 0,65 g/cm³. As características das areias fina e média, determinadas no decorrer da dosagem do traço, são apresentadas no quadro 20.

⁹ A dosagem do traço da argamassa R3 foi realizada no laboratório do Departamento de Materiais de Construção Civil da Fundação de Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul (CIENTEC) a pedido da construtora X.

Abertura das peneiras	Massa retida (kg)		% Retida		% Retida acumulado		
	Areia fina	Areia média	Areia fina	Areia média	Areia fina	Areia média	
NBR NM 248/2003	4,75 mm	–	–	–	–	–	
	2,36 mm	0	0,038	0	4	4	
	1,18 mm	0,001	0,110	0	11	15	
	600 µm	0,002	0,237	0	24	39	
	300 µm	0,043	0,385	4	38	77	
	150 µm	0,787	0,218	79	22	99	
	< 150 µm	0,167	0,011	17	1	100	
	Total	1,000	1,000	100	100	187	334
	Módulo de finura					1,87	3,34
	Dimensão máxima característica					300 µm	2,36 mm
NBR 7251/1992		Massa unitária (g/cm³)			1,42	1,52	
Método do picnômetro		Massa específica (g/cm³)			2,63	2,63	
Coefficientes médios de inchamento					1,25	1,30	

Quadro 20: distribuição granulométrica e caracterização física das areias

6.3.1.4 Preparo das argamassas de revestimento

O preparo das argamassas industrializadas e dosada foi realizado em argamassadeira de eixo vertical. Quanto ao procedimento de mistura das mesmas, foram seguidas as orientações da NBR 13276 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005a). Dessa forma, as etapas para a mistura das argamassas R1 e R2 foram as seguintes:

- a) verificação da quantidade, em massa, da mistura seca contida em cada embalagem, através da pesagem em balança com precisão de 0,1g;
- b) determinação da quantidade de água, de acordo com as indicações do fabricante, pesando a massa de água em balança com precisão de 0,1g;
- c) colocação da água no misturador, acrescentando o material seco de forma contínua. Após misturou-se em velocidade baixa por 30 s;
- d) durante a homogeneização do material, após a raspagem interna do recipiente, foram seguidas as orientações sobre o tempo indicados pelos fabricantes.

Por sua vez, para a argamassa dosada, as etapas de mistura foram as seguintes:

- a) determinação da quantidade, em massa, dos materiais componentes do traço, utilizando balança com precisão de 0,1g;
- b) determinação da quantidade de água, pesando a massa em balança com precisão de 0,1g;
- b) mistura em velocidade baixa por 90s deixando em repouso por 15 min Após esse período a argamassa foi homogeneizada manualmente.

A quantidade de água para as duas argamassas industrializadas foi a mesma, 4,2 L para 25 kg de mistura seca, respeitando as indicações dos fabricantes. Para a argamassa dosada, no entanto, devido a falta de indicação da quantidade de água, o índice de consistência foi pré-determinado, sendo esse de (260 ± 5) mm, como indica a Norma. No quadro 21, é possível observar a quantidade de água utilizada e o índice de consistência para cada argamassa analisada .

Descrição da argamassa	Quantidade de água	Consistência (mm)			
		Leitura 1	Leitura 2	Leitura 3	Média
R1 (industrializada)	0,168 L por kg de material seco	258,41	246,32	257,00	253,91
R2 (industrializada)	0,168 L por kg de material seco	256,71	256,70	253,91	255,77
R3 (dosada em obra)	relação água/aglomerante = 0,70	256,36	255,78	256,39	256,18

Quadro 21: quantidade de água e consistência das argamassas

6.3.2 Idades de ensaio dos revestimentos

O período de cura das argamassas de revestimento e de chapisco foi estabelecido conforme as prescrições da NBR 7200 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1998, p. 3). Para o chapisco foram disponibilizados três dias. Para o revestimento dos prismas, no entanto, foram considerados dois intervalos de cura: o primeiro, de 28 dias como recomendado pela Norma e o segundo, de 63 dias, esse justificado não só por ser um intervalo representativo em termos de maturação do revestimento, como também utilizado em outros estudos sobre o mesmo tema.

Transcorridos os períodos determinados, os revestimentos foram submetidos ao ensaio para determinação de suas resistências de aderência à tração, conforme o procedimento constante na NBR 13528 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2010). No quadro 22, é apresentado o planejamento de cura dos prismas.

Período de cura	Quantidade de prismas	Local de cura
28 dias	9	câmara climatizada
	9	painel aquecido
63 dias	9	câmara climatizada
	9	painel aquecido

Quadro 22: planejamento de cura dos prismas

6.3.3 Temperatura de cura dos revestimentos

A temperatura de cura foi utilizada como variável independente na pesquisa, uma vez que o objetivo principal era analisar a influência de sua variação no comportamento da aderência, propriedade fundamental para o bom desempenho dos revestimentos de argamassa.

Foram definidas duas condições ambientais de exposição para os revestimentos dos prismas. Na primeira condição, durante o período de cura os revestimentos foram expostos a uma temperatura ambiente correspondente a $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$ e umidade relativa do ar de $(60 \pm 10)\%$. Na segunda condição, a proposta foi criar um forma de exposição mais severa, sendo em torno de 40°C a temperatura ambiente. Para promover os cenários descritos, os prismas foram acomodados em uma câmara climatizada e em um painel aquecido, os quais serão detalhados nos próximos itens.

6.3.3.1 Câmara climatizada

A câmara climatizada foi utilizada para simular a condição de exposição ambiental referenciada nas Normas¹⁰ relacionadas às argamassas de revestimento. Trata-se de uma câmara termicamente isolada constituída de material específico para esta finalidade, semelhante a câmaras frigoríficas. A temperatura de $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$ e a umidade relativa do ar de $(60 \pm 10)\%$ eram obtidas através de condicionares de ar e aquecedores que, conectados a um controle automático programado com os parâmetros de temperatura e umidade, promoviam a condição climática desejada. Nas figuras 14 e 15 é possível observar o controle e os equipamentos da câmara climatizada.



Figura 14: condicionador de ar e controle automático



Figura 15: aparelhos de ventilação e aquecimento

6.3.3.2 Painel aquecido

O painel aquecido foi utilizado para simular a condição de exposição ao calor, sem a ação de ventilação, durante os 3 primeiros dias de cura do revestimento. Era provido de 30 lâmpadas incandescentes de 40 Watts que proporcionaram o aquecimento uniformemente distribuído na face revestida dos prismas. O painel era ativado por um *timer* que ligava ou desligava as lâmpadas por períodos alternados de 6 horas, resultando em 4 ciclos de exposição diários.

¹⁰ Essas Normas são de autoria da Associação Brasileira de Normas Técnicas e descrevem os métodos de ensaio para a caracterização das argamassas de revestimento e assentamento de paredes e tetos citados na NBR 13281/2005 a qual especifica as classes e requisitos exigíveis para as argamassas empregadas para estes fins.

Ao contrário da primeira condição de exposição, o painel aquecido foi acomodado em um ambiente sem controle da temperatura e da umidade, por limitação do espaço físico do laboratório onde foram realizados os ensaios. Em vista disso, a temperatura mínima de exposição – verificada nos ciclos em que o *timer* desligava as lâmpadas – não pode ser controlada, sendo apenas registrada. A temperatura média verificada no ambiente foi de 22°C. No quadro 23 são apresentados os ciclos de exposição dos revestimentos.

Ciclos de exposição	Período de exposição (h)	Variação de temperatura
1	0:00 – 6:00	40°C → ambiente
2	6:00 – 12:00	ambiente → 40°C
3	12:00 – 18:00	40°C → ambiente
4	18:00 – 0:00	ambiente → 40°C

Quadro 23: ciclos de exposição dos revestimentos

Passados os três primeiros dias de exposição, o painel aquecido foi desativado e a cura dos prismas prosseguiu nas condições ambientais da sala onde foram acomodados. Na figura 16 o painel aquecido pode ser visualizado.



Figura 16: vista da parte interna do painel aquecido

6.4 VARIÁVEIS DEPENDENTES

No planejamento experimental, para atender os objetivos propostos, foi definida como variável de resposta a resistência de aderência à tração dos diferentes sistemas de revestimento desenvolvidos na pesquisa. Para auxiliar na interpretação dos resultados, as argamassas de revestimento utilizadas no estudo foram caracterizadas. O delineamento da determinação desta variável e das características das argamassas é apresentado nos próximos itens.

6.4.1 Determinação da resistência de aderência à tração

A aderência pode ser entendida como a propriedade que um material tem de resistir às tensões atuantes na interface com o substrato em que está em contato. No caso dos revestimentos de argamassa, trata-se da interação entre os elementos constituintes do sistema de revestimento. (base, chapisco e revestimento). A NBR 13528 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2010, p. 1), além de descrever o método de ensaio para a determinação da resistência de aderência à tração, define esta como sendo a “Tensão máxima suportada por uma área limitada de revestimento (corpo-de-prova), na interface de avaliação, quando submetido a um esforço normal de tração.”.

O objetivo da realização desse ensaio foi a obtenção de valores individuais de resistência de aderência à tração de revestimentos de argamassa submetidos à diferentes condições de cura – idade e temperatura – propostos no planejamento. Uma vez determinada a resistência de aderência, foi possível realizar análises numéricas e gráficas para compreender a influência da variação térmica na capacidade de aderência dos revestimentos.

Essa Norma determina que 12 corpos-de-prova sejam disponibilizados para cada ensaio. Os corpos-de-prova são porções de revestimento obtidas pelo corte ortogonal do revestimento até alcançar o substrato, através de uma serra copo diamantada, com diâmetro de 55 mm, acoplada a uma furadeira. O corte deve se estender de 1 a 5 mm para dentro do substrato. O resultado do corte consiste em fragmentos cilíndricos de argamassas aderidos à base apenas na seção circular do corte.

De acordo com o procedimento, os corpos-de-prova devem estar dispostos de forma a apresentar entre si e dos cantos uma distância mínima de 50 mm. No planejamento do experimento foi definido que quatro corpos-de-prova seriam extraídos por prisma, dispostos de forma a apresentar a distância mínima exigida entre si e 30 mm com relação às bordas, em decorrência da reduzida área superficial disponível em cada prisma. Os cortes dos corpos-de-prova foram realizados aos 27 e 62 dias (um dia antes do ensaio propriamente dito). Nas figuras 17 e 18 a disposição dos corpos-de-prova nos prismas pode ser observada.

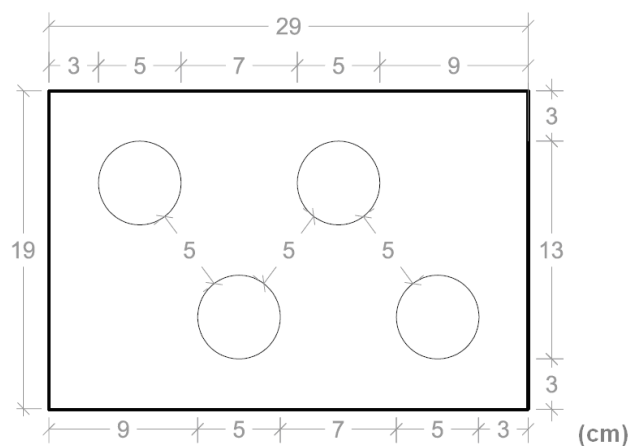


Figura 17: número e posição de corte dos corpos-de-prova nos prismas

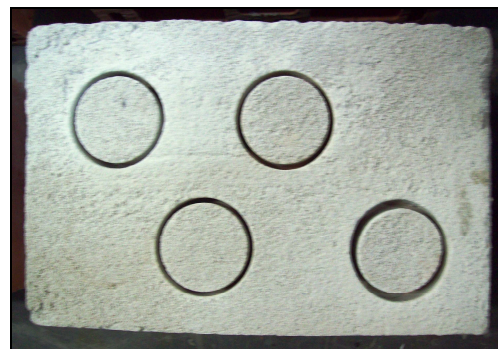


Figura 18: prisma com corpos-de-prova cortados

Após o corte dos revestimentos, as pastilhas – peças metálicas não deformáveis, de seção circular com (50 ± 1) mm de diâmetro e pino de acoplamento – eram coladas. No mesmo dia do ensaio, antes da colagem, as superfícies revestidas eram submetidas a uma limpeza com pincel macio para eliminar as partículas pulverulentas provenientes do corte dos corpos-de-

prova. Para colar as pastilhas, foi utilizado adesivo plástico bi-componente à base de resina epóxi, com secagem prevista em 10 min. A pastilha metálica utilizada e um conjunto de prismas preparados para o ensaio de arrancamento podem ser observados nas figuras 19 e 20.

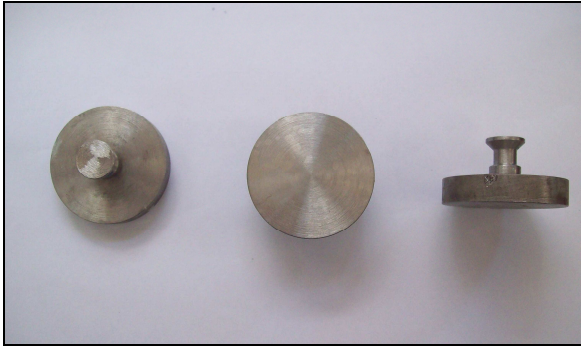


Figura 19: pastilha metálica



Figura 20: prismas prontos para o ensaio de aderência

Para realizar o ensaio de resistência de aderência à tração, aos 28 e 63 dias de idade, foi utilizado um aderímetro da marca Contenco que aplicava a tensão de tração de forma ortogonal ao plano do revestimento, com velocidade de arrancamento regulável (sendo utilizada velocidade constante 6,0 kgf/s), com leitor digital para a carga de ruptura, fornecida em quilograma-força (kgf). O processo de arrancamento e o leitor de medição do aderímetro são apresentados, respectivamente, nas figuras 21 e 22.



Figura 21: processo de arrancamento



Figura 22: aderímetro digital utilizado

Neste estudo foram moldados 36 prismas, totalizando 144 arrancamentos. Para cada corpo-de-prova arrancado no ensaio de aderência foram determinados o diâmetro e a espessura com o

auxílio de um paquímetro, como mostra as figuras 23 e 24. O diâmetro foi obtido através da média de duas determinações tomadas em dois pares de pontos ortogonais entre si. Uma vez conhecido o diâmetro, a área da seção transversal do corpo-de-prova podia ser determinada.



Figura 23: medida da espessura com paquímetro



Figura 24: medida do diâmetro com paquímetro

A forma de ruptura do corpo-de-prova também era um parâmetro observado após cada arrancamento. Para um sistema de revestimento com chapisco são possíveis 7 formas diferentes as quais são apresentadas na figura 25.

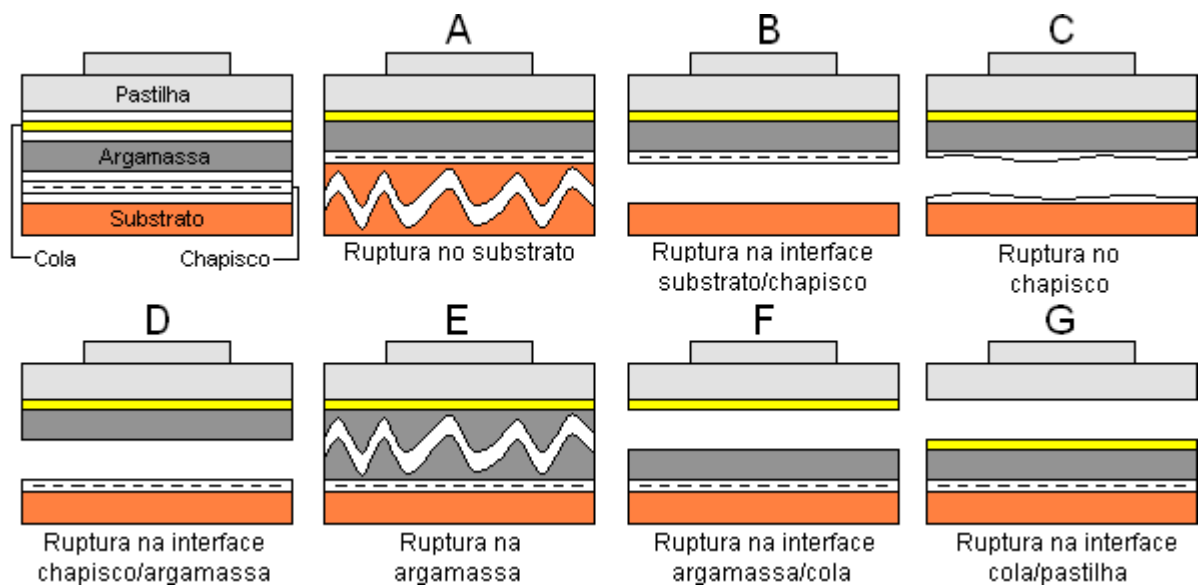


Figura 25: formas de ruptura para um sistema de revestimento com chapisco (adaptado de ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2010)

6.4.2 Caracterização das argamassas de revestimento

O ensaio de caracterização, além de servir como controle da qualidade das argamassas estudadas, disponibilizou informações complementares para o entendimento do desempenho das argamassas, visto que algumas características, como a retenção de água e a resistência à tração na flexão, exercem influência significativa no mecanismo e na resistência de aderência dos revestimentos. Nos próximos itens os ensaios para a determinação das características das argamassas são descritos.

6.4.2.1 Preparo das argamassas e moldagem dos prismas para ensaios no estado endurecido

O preparo das argamassas de revestimento para os ensaios de caracterização seguiram o mesmo procedimento descrito no item 6.3.1.4 deste trabalho. Quanto à moldagem, para ensaiar as 3 argamassas, foram confeccionados 18 corpos-de-prova prismáticos através de moldes metálicos de dimensões 4x4x16 cm.

A sequência de moldagem iniciou com a aplicação de uma fina camada de óleo mineral nas paredes internas dos moldes. Imediatamente após o preparo de cada argamassa, com os moldes fixos na mesa de adensamento, uma porção de argamassa foi introduzida e espalhada em cada um dos compartimentos, formando uma camada uniforme. Em seguida, foram aplicadas 30 quedas na mesa. Após, uma segunda porção de argamassa foi introduzida nos compartimentos e, novamente, 30 quedas foram aplicadas na mesa. Ao final, os corpos de prova foram nivelados com uma régua metálica. Os 18 corpos-de-prova confeccionados permaneceram nos moldes metálicos durante as primeiras 48 horas seguintes à moldagem e foram mantidos durante 28 dias na mesma câmara climatizada utilizada para os prismas, na temperatura de $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$ e umidade relativa do ar em $(60 \pm 10)\%$.

6.4.2.2 Retenção de água

O método de ensaio para a determinação da retenção de água é estabelecido pela NBR 13277 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005b). Com relação ao ensaio, o primeiro passo foi a preparação do equipamento. O papel filtro foi umedecido e colocado no

fundo prato metálico, o qual foi acoplado ao funil de Buchner, mostrado na figura 26. Com a torneira fechada, a bomba de vácuo foi acionada aplicando ao conjunto, funil/papel filtro, uma sucção de 51 mm de mercúrio. Em seguida a torneira foi aberta para a saída do excesso de água do papel filtro, sendo fechada após. O conjunto funil/papel filtro foi então pesado, tendo sua massa (m_v) registrada.



Figura 26: funil de Buchner utilizado no ensaio de retenção de água

Na segunda etapa, o prato foi preenchido com argamassa, a qual foi adensada com 37 golpes de soquete. O excesso de argamassa foi retirado mediante o uso de uma régua metálica e a limpeza das bordas do conjunto foi feita, para o registro da massa (m_a). Em seguida, a torneira do equipamento foi novamente aberta, succionando a amostra por 15 min, sendo fechada ao final desse período. Após remover o prato do funil, o conjunto foi pesado e sua massa (m_s) foi registrada.

O cálculo da retenção de água (R_a) foi feito através das seguintes fórmulas:

$$R_a = \left[1 - \frac{(m_a - m_s)}{AF(m_a - m_v)} \right] 100 \quad (\text{fórmula 1})$$

$$AF = \frac{m_w}{m + m_w} \quad (\text{fórmula 2})$$

Onde:

m_a = massa do conjunto com argamassa, em gramas;

m_s = massa do conjunto após a sucção, em gramas;

m_v = massa do conjunto vazio, em gramas;

AF = fator água/argamassa fresca;

m_w = massa total de água acrescentada à mistura, em gramas;

m = massa da argamassa industrializada ou dos componentes anidros dosados, em gramas.

6.4.2.3 Densidade de massa aparente no estado fresco

O método de ensaio para a determinação da densidade de massa aparente no estado fresco é estabelecido pela NBR 13278 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005c). Esse ensaio não utiliza corpos de prova prismáticos, pois a densidade de massa aparente é uma característica do estado fresco das argamassas. Por isso, a preparação das argamassas testadas seguiu o procedimento descrito no item 6.3.1.4.

Com relação ao ensaio, imediatamente após o preparo, pequenas porções de argamassa foram introduzidas em um recipiente cilíndrico – com volume igual a 392 cm³ e massa previamente determinada – formando três camadas de altura aproximadamente iguais. Após introduzir cada camada, foram verticalmente aplicados 20 golpes com espátula estreita ao longo do perímetro, cuidando para não atingir o fundo e as camadas adjacentes. Após a execução e golpeamento de cada camada, a argamassa era adensada efetuando-se três quedas sucessivas do recipiente de uma altura de 3 cm. Em seguida, após o nivelamento da argamassa com régua metálica a massa do recipiente contendo a argamassa foi registrada.

O cálculo da densidade de massa das argamassas no estado fresco (d), expressa em gramas por centímetro cúbico, foi realizada através da seguinte fórmula:

$$d = \frac{m_c - m_v}{v_r} 1000 \quad (\text{fórmula 4})$$

Onde:

m_c = massa do recipiente cilíndrico contendo a argamassa de ensaio, em gramas;

m_v = massa do recipiente cilíndrico vazio, em gramas;

v_r = volume do recipiente cilíndrico, em centímetros cúbicos.

6.4.2.4 Densidade de massa no estado endurecido

O método de ensaio para a determinação da densidade de massa no estado endurecido é a NBR 13280 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005e). Para esse ensaio foram necessários três corpos de prova prismáticos por argamassa. Com o auxílio de um paquímetro foram determinadas a altura, a largura e o comprimento de cada corpo de prova. Em seguida, foi determinada a massa dos nove corpos de prova. Determinados esses parâmetros, calculou-se o volume de cada corpo de prova e, após, a densidade de massa no estado endurecido através da seguinte fórmula:

$$\rho_{m\acute{a}x} = \frac{m}{v} 1000 \quad (\text{fórmula 3})$$

Onde:

$\rho_{m\acute{a}x}$ = densidade de massa, expressa em quilogramas por metro cúbico;

m = massa, em gramas;

v = volume, expresso em centímetros cúbicos.

6.4.2.5 Resistência à tração na flexão e à compressão

O método de ensaio para a determinação da resistência à tração na flexão e à compressão de argamassas de revestimento é estabelecido pela NBR 13279 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005d). Para determinar essas duas propriedades, três corpos-de-prova prismáticos 4x4x16cm foram disponibilizados por argamassa, totalizando nove corpos-de-prova.

Para cada corpo-de-prova prismático rompido por flexão eram obtidos dois corpos-de-prova para o ensaio de compressão. Dessa forma, para cada argamassa testada, foram obtidos três valores de resistência à tração na flexão e seis valores de compressão. Os resultados individuais por corpo-de-prova podem ser vistos no apêndice A. Nas figuras 27 e 28 é possível observar, respectivamente, a ruptura por flexão de um corpo-de-prova prismático de argamassa no ensaio de resistência à tração e sua metade no ensaio de resistência à compressão.

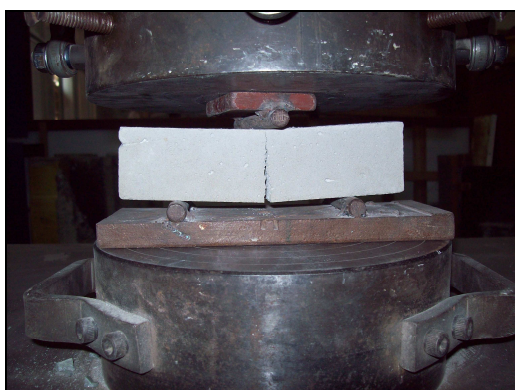


Figura 27: ruptura por flexão do corpo-de-prova

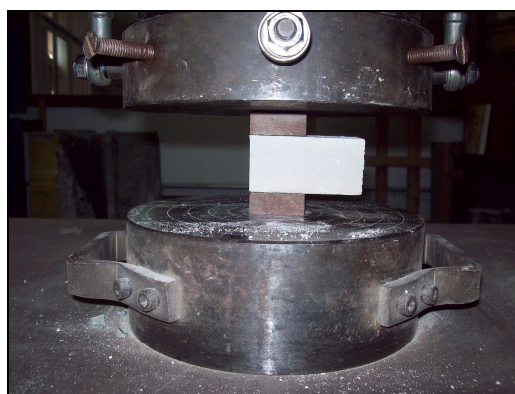


Figura 28: ensaio de resistência à compressão

Para o ensaio de resistência à tração na flexão a velocidade de carga aplicada foi de 50 N/s. Após a ruptura dos corpos-de-prova a resistência à tração na flexão das argamassas foi calculada pela seguinte fórmula:

$$R_f = \frac{1,5 \cdot F_f \cdot L}{40^3} \quad (\text{fórmula 5})$$

Onde:

R_f = é a resistência à tração na flexão, em megapascal;

F_f = é a carga aplicada verticalmente no centro do prisma, em newtons;

L = é a distância entre os suportes, em milímetros.

Para o ensaio de resistência à compressão a velocidade de carga aplicada foi de 500 N/s. Após a ruptura dos corpos-de-prova a resistência à compressão das argamassas foi calculada pela seguinte fórmula:

$$R_c = \frac{F_c}{1600} \quad (\text{fórmula 6})$$

Onde:

R_c = é a resistência compressão, em megapascal;

F_c = é a carga máxima aplicada, em newtons;

1600 = é a área da seção considerada quadrada do dispositivo de carga de 40mx40mm, em milímetros quadrados.

6.4.2.6 Absorção de água por capilaridade e coeficiente de capilaridade

O método de ensaio para a determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade é estabelecido pela NBR 15259 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA

DE NORMAS TÉCNICAS, 2005g). Nesse ensaio foram utilizados os mesmos corpos-de-prova utilizados na determinação da densidade de massa no estado endurecido.

Inicialmente os corpos-de-prova foram lixados e limpos com pincel. Em seguida, foram pesados em três etapas. A primeira medida registrou a massa do corpo-de-prova seco, a segunda, a massa após 10 min em contato com uma lâmina de (5 ± 1) mm e a terceira, passados 90 min sob as mesmas condições anteriores. A figura 29 mostra os corpos-de-prova durante o ensaio.

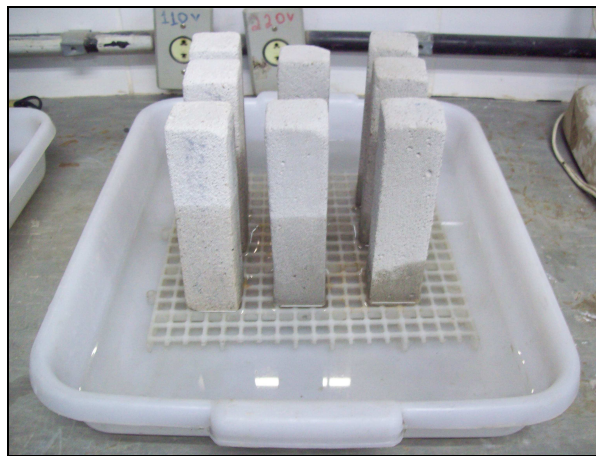


Figura 29: ensaio de absorção de água por capilaridade

A absorção de água por capilaridade, para cada observação de tempo, foi calculada pela seguinte fórmula:

$$A_t = \frac{m_t - m_0}{16} \quad (\text{fórmula 7})$$

Onde:

A_t = absorção de água por capilaridade, para cada tempo, expresso em gramas por centímetro cúbico;

m_t = massa do corpo-de-prova em cada tempo, em gramas;

m_0 = massa inicial do corpo-de-prova, em gramas.

O coeficiente de capilaridade, por sua vez, é determinado pela seguinte fórmula:

$$C = (m_{90} - m_{10}) \quad (\text{fórmula 8})$$

Onde:

C = coeficiente de capilaridade, em gramas por decímetro quadrado pela raiz quadrada de minuto ($\text{g}/\text{dm}^2 \cdot \text{min}^{1/2}$).

7 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados os resultados dos ensaios descritos no programa experimental bem como as análises acerca dos mesmos. Primeiramente são apresentados os resultados dos ensaios de caracterização das argamassas e posteriormente os resultados do ensaio de determinação da resistência de aderência de revestimentos executados com essas argamassas.

7.1 RESULTADOS DOS ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO

Esta seção apresenta os resultados dos ensaios de caracterização das argamassas, fornecendo os parâmetros necessários para sua classificação segundo os requisitos estabelecidos pela NBR 13281 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005b).

7.1.1 Retenção de água

A NBR 13277 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005b), que contém o procedimento para a obtenção do índice de retenção de água também sugere que o índice ideal para argamassas de revestimento deve ser superior 0,90. Os resultados do ensaio de determinação deste requisito são apresentados na tabela 1.

Tabela 1: retenção de água

Argamassa	Retenção de água (%)	Classe NBR 13281/2005
R1 – industrializada com cal	91,84	U4
R2 – industrializada com aditivo IA	83,42	U2
R3 – dosada em obra 1:2:7,6	86,79	U3

A retenção de água é uma característica que depende da composição da argamassa. Os maiores resultados de retenção de água encontrados coincidem com as argamassas mistas de cal e cimento utilizadas no estudo (R1 e R3), como o esperado. A argamassa R2, apesar do menor índice de retenção de água e inferior aos 90% indicados na Norma, apresentou excelente trabalhabilidade durante a moldagem dos prismas, o que pode ser justificado por uma pequena quantidade de aditivo incorporador de ar na sua mistura. Segundo Moura (2007, p. 35), o incorporador de ar é utilizado para alterar a plasticidade da argamassa, melhorando sua trabalhabilidade, reduzindo a quantidade de água necessária para conferir essa propriedade do estado fresco das argamassas.

7.1.2 Densidade de massa no estado fresco e endurecido

Os resultados obtidos na verificação da densidade de massa nos estados fresco e endurecido das argamassas de revestimento são apresentados, seguindo essa ordem, nas tabelas 2 e 3.

Tabela 2: densidade de massa aparente no estado fresco

Argamassa	Densidade de massa (kg/m ³)	Classe NBR 13281/2005
R1 – industrializada com cal	1974,82	D4
R2 – industrializada com aditivo IA	1661,38	D4
R3 – dosada em obra 1:2:7,6	2021,65	D5

Tabela 3: densidade de massa no estado endurecido

Argamassa	Densidade de massa (kg/m ³)	Desvio padrão (kg/m ³)	Classe NBR 13281/2005
R1 – industrializada com cal	1761,61	19,8	M3
R2 – industrializada com aditivo IA	1499,70	17,5	M4
R3 – dosada em obra 1:2:7,6	1817,62	9,2	M5

O desvio padrão foi calculado para a densidade de massa no estado endurecido porque cada argamassa apresentava três valores de densidade individuais, um para cada corpo-de-prova analisado no ensaio. Para a densidade de massa no estado fresco, por ter sido feita apenas uma determinação para cada amostra de argamassa, esse parâmetro não foi calculado.

Através dos resultados contidos nas tabelas 2 e 3 é possível observar que o comportamento entre as argamassas no estado fresco e endurecido é semelhante, sendo a argamassa R3 a que apresenta a maior densidade de massa em ambos os casos. Esse comportamento pode ser explicado pela sua baixa relação água/aglomerante e por essa argamassa ter em seu traço areia fina, o que contribui na diminuição dos vazios da argamassa e na coesão entre as partículas.

Outro aspecto importante é a capacidade de retenção de água das argamassas. A argamassa R2, que apresentou o menor índice de retenção de água, também foi a que apresentou a menor densidade de massa, comportamento que pode ser justificado pela presença de incorporador de ar e ausência de cal na sua composição. Para revestimentos externos, o uso de argamassas com maior densidade é melhor pois a fachada apresentará menor permeabilidade à água.

Na figura 30 é possível observar a diferença de densidade de massa entre os estados fresco e endurecido das três argamassas, sendo a densidade no estado endurecido um pouco menor devida a perda de água por evaporação.

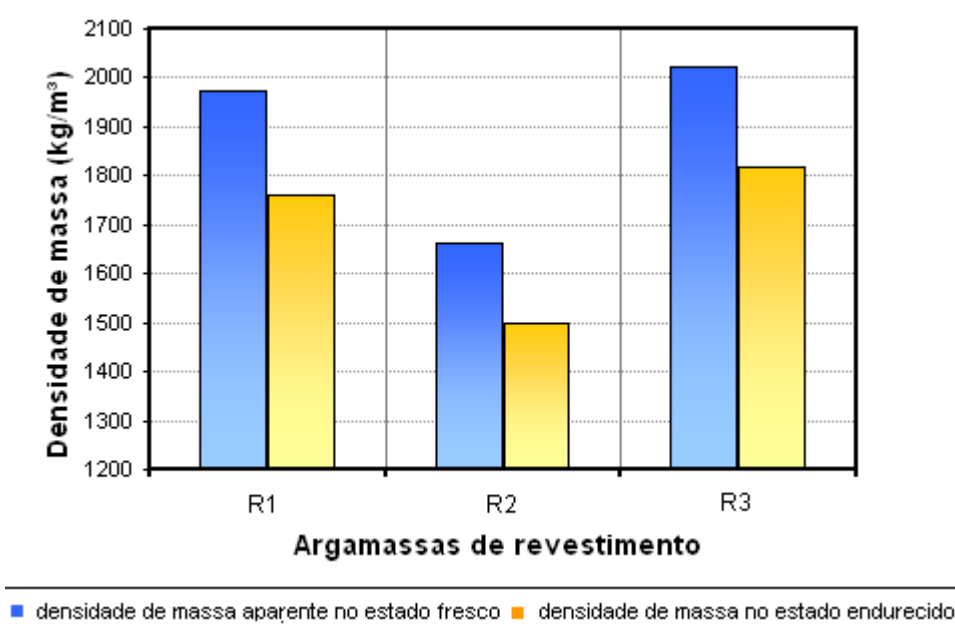


Figura 30: diferença entre a densidade de massa nos estados fresco e endurecido

7.1.3 Resistência à tração na flexão e à compressão

Os resultados dos ensaios de resistência à tração na flexão e à compressão foram organizados em tabelas que apresentam, além dos valores médios de resistência, o desvio absoluto máximo, o desvio padrão amostral, o coeficiente de variação (para as amostras válidas) e a classe das três argamassas estudadas. Os resultados individuais de cada corpo-de-prova utilizado nos ensaios de tração e de compressão estão no apêndice A.

O desvio absoluto máximo consiste na diferença entre a resistência média e a resistência individual, em módulo, que mais se afastou dessa média. Assim como a resistência média, foi utilizado como parâmetro de classificação das argamassas. Na determinação da resistência à compressão, para os casos em que o desvio absoluto apresentou resultado superior a 0,5 MPa (argamassas R2 e R3), todos os parâmetros foram recalculados, desconsiderando da amostragem o valor considerado discrepante no primeiro cálculo do desvio. Essa correção é indicada na NBR 13279 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005d) e também é feita no ensaio de resistência à tração na flexão para os casos em que o desvio absoluto é superior a 0,3 MPa, o que não ocorreu nessa pesquisa.

O coeficiente de variação amostral é a relação entre o desvio padrão amostral e a resistência média. Foi utilizado para comparar a representatividade do desvio padrão amostral em relação à resistência média calculada. Ou seja, apresenta quanto equivale o desvio padrão amostral em relação ao valor da resistência média. A tabela 4 apresenta os resultados do ensaio de flexão nas argamassas para determinação da resistência à tração.

Tabela 4: resistência à tração na flexão das argamassas de revestimento

Argamassa	Resistência média (MPa)	Desvio padrão (MPa)	Desvio absoluto máximo (MPa)	Coefficiente de variação (%)	Classe NBR 13281/2005
R1 – c/ cal	1,30	0,0	0,03	2,1	R2
R2 – c/ aditivo IA	1,66	0,1	0,06	3,3	R2
R3 – 1:2:7,6	1,37	0,3	0,29	19,9	R2

Analisando os resultados contidos na tabela 4 observa-se que as argamassas R2 e R3 apresentaram valores de resistência à tração maiores do que a argamassa R1. Esse

comportamento pode ser explicado pela argamassa R2 demandar menor quantidade de água por conter aditivo incorporador de ar e pela argamassa R3 conter cal hidráulica, a qual apresenta cinza mineral (material pozolânico) em sua composição, atuando como aglomerante hidráulico e áereo.

Os resultados individuais dos corpos-de-prova das argamassas R1 e R2 apresentaram baixa variabilidade entre si, sendo bem pequenas as diferenças entre a máxima e a mínima resistência de cada argamassa. No entanto, para a argamassa R3, a variação foi maior, sendo evidenciada pelos valores dos desvios (padrão e absoluto) e pela maior diferença entre a máxima e mínima resistências verificadas para esta argamassa. Na figura 31, a resistência à tração na flexão das argamassas de revestimento é graficamente apresentada.

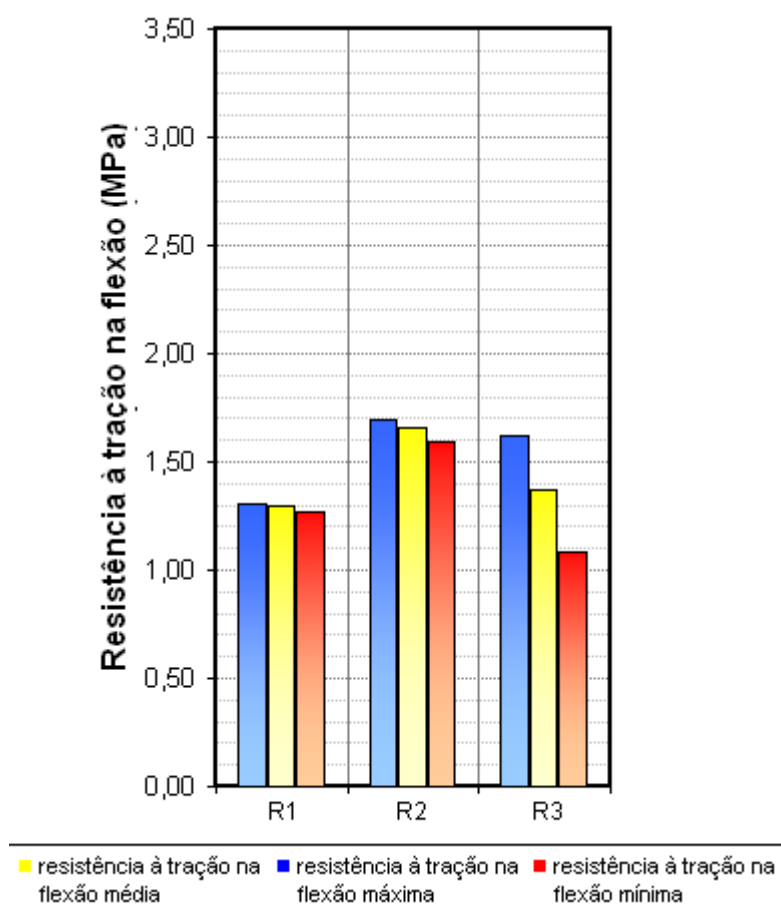


Figura 31: resistência à tração na flexão das argamassas de revestimento

Os resultados do ensaio de resistência à compressão das argamassas de revestimento são apresentados na tabela 5.

Tabela 5: resistência à compressão das argamassas de revestimento

Argamassa	Resistência média (MPa)	Desvio absoluto máximo (MPa)	Desvio padrão (MPa)	Coefficiente de variação (%)	Classe NBR 13281/2005
R1 – c/cal	1,43	0,4	0,3	20,5	P1
R2 – c/aditivo IA	2,76	0,4	0,3	12,5	P2
R3 – 1:2:7,6	2,47	0,4	0,2	9,9	P2

O comportamento observado no ensaio de resistência à tração na flexão se repetiu na determinação da resistência à compressão, como era de se esperar. Novamente as argamassas R2 e R3 apresentam os maiores valores médios de resistência. No entanto, ao contrário do ensaio anterior, todas as argamassas apresentaram grande variação entre seus valores de resistência máximos e mínimos, o que pode ser observado nos parâmetros que apresentam a variabilidade na tabela 5 (desvios e coeficiente de variação) e graficamente na figura 32.

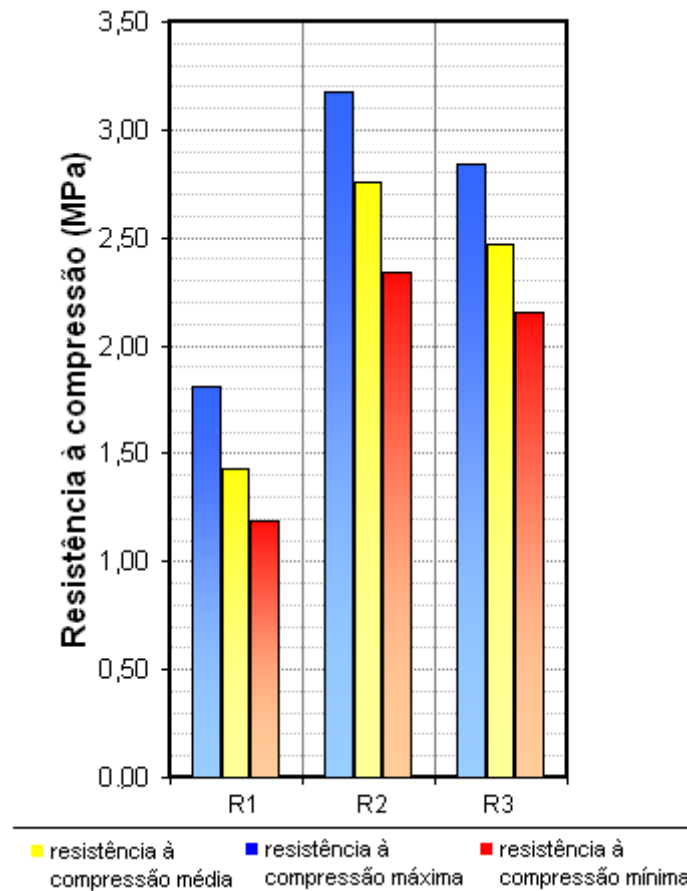


Figura 32: resistência à compressão das argamassas de revestimento

Os revestimentos de argamassa não precisam apresentar resistências à compressão muito elevadas, sendo essa característica muito mais importante e necessária para argamassas destinadas ao assentamento, principalmente estrutural. Contudo, ao desempenhar a função de revestimento, a argamassa deve apresentar capacidade suficiente para resistir à esforços de tração, compressão e cisalhamento atuando em conjunto. A resistência mecânica da argamassa é um dos fatores diretamente relacionados com a capacidade do revestimento deformar sem apresentar fissuras prejudiciais (microfissuras). Nesse contexto a resistência à tração ganha importância para que microfissuras – extremamente prejudiciais à durabilidade do revestimento – não sejam geradas ou se propaguem.

7.1.4 Absorção de água e coeficiente de capilaridade

Os resultados obtidos no ensaio de absorção de água por capilaridade e o coeficiente de capilaridade de cada argamassa são apresentados na tabela 6.

Tabela 6: absorção de água por capilaridade e coeficiente de capilaridade

Argamassa	Absorção 10 min (g/cm ²)	Absorção 90 min (g/cm ²)	Absorção de água (g/cm ²)	Coef. Capil. individuais (g/dm ² .min ^{1/2})	Coeficiente capilaridade (g/dm ² .min ^{1/2})	Classe NBR 13281/2005
R1	0,56	1,48	1,43	14,64	14,35	C6
	0,53	1,43		14,49		
	0,50	1,37		13,91		
R2	0,23	0,91	0,87	10,97	10,31	C6
	0,24	0,90		10,48		
	0,21	0,80		9,47		
R3	0,52	1,41	1,48	14,33	15,06	C6
	0,56	1,55		15,78		
	0,54	1,48		15,05		

Analisando os resultados é possível constatar que as argamassas que contém cal em sua composição (R1 e R3) apresentaram os maiores valores de absorção, tanto aos 10 min como

aos 90 min. Consequentemente, também apresentaram os maiores coeficientes de capilaridade, absorvendo maior quantidade de água em menor tempo. No entanto, apresentam entre si diferença de aproximadamente 4,7%; Por sua vez, a argamassa R2, que contém aditivo incorporador de ar, absorveu menos e mais lentamente do que as argamassas mistas. Paulo¹¹ (2006 apud MOURA, 2007, p. 35) com relação a este comportamento explica que, no estado endurecido, as bolhas de ar criadas pelo aditivo interrompem a continuidade dos capilares presentes no interior da argamassa, reduzindo a conectividade entre os poros (porosidade aberta) que é responsável pela absorção de água. Na figura 33 a maior velocidade de absorção de água das argamassas mistas pode ser observada através da maior inclinação das retas referentes a absorção média.

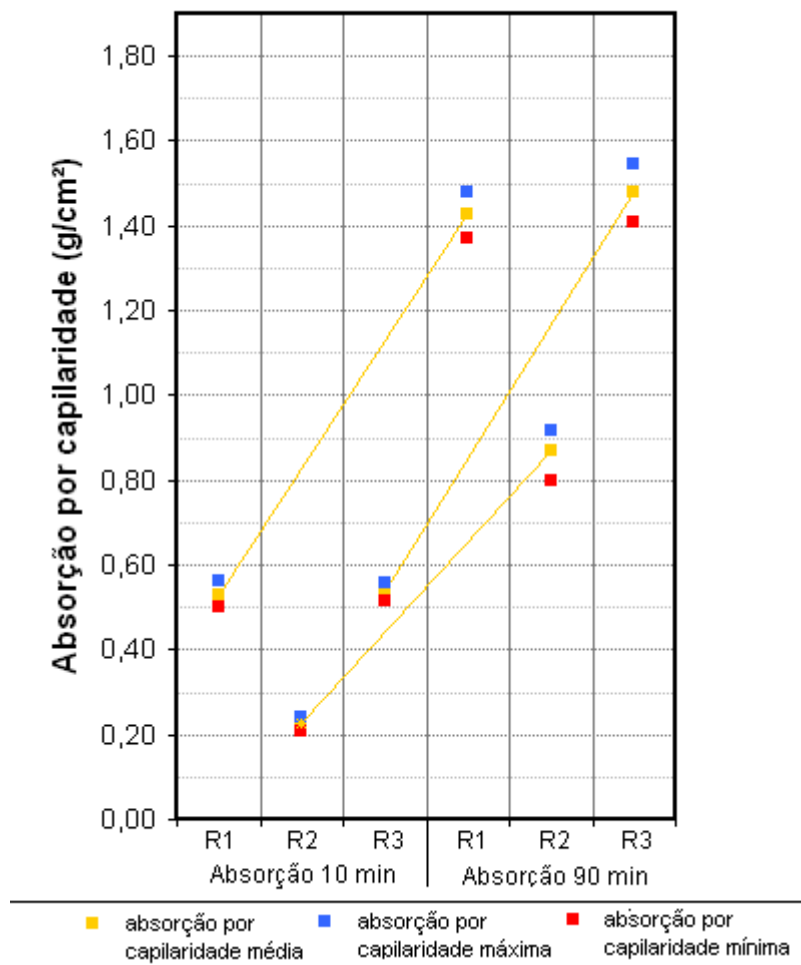


Figura 33: absorção por capilaridade média das argamassas de revestimento

¹¹ PAULO, R. S. V. M. N. **Caracterização de argamassas industriais**. 2006. 142 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Departamento de Engenharia Cerâmica e do Vidro, Universidade de Aveiro, Aveiro, Portugal.

A absorção das argamassas, em cada tempo de verificação, pode ser visualizada na figura 34.

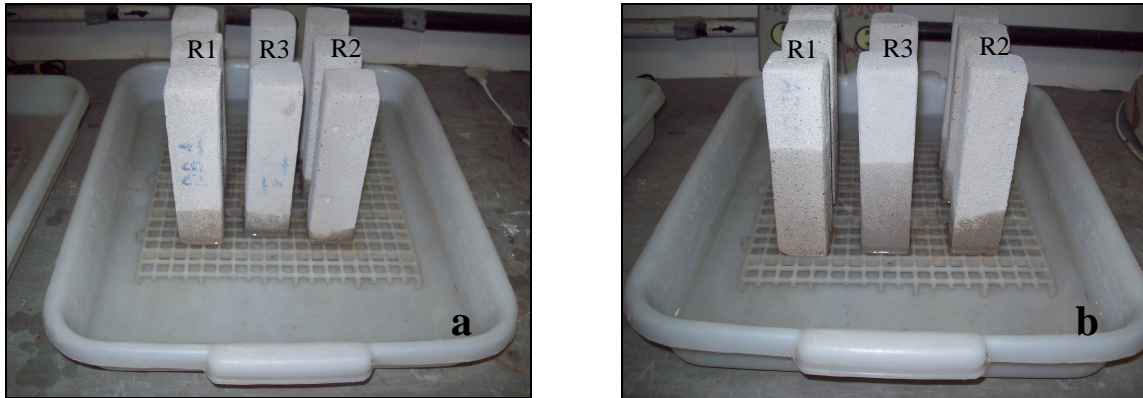


Figura 34: aspecto visual das argamassas durante o ensaio de absorção (a) aos 10 min e (b) aos 90 min

Comparando os resultados de absorção por capilaridade com os resultados de resistência à tração na flexão e compressão constata-se que a argamassa que apresenta a maior resistência mecânica também é a que apresenta menor coeficiente de capilaridade e conseqüentemente menor absorção. Isso pode estar relacionado ao fato das bolhas de ar serem deformáveis, o que aumenta a capacidade de absorver deformações da argamassa R2. Esse comportamento pode ser observado na figura 35 que apresenta a relação entre as resistência à compressão e o coeficiente de capilaridade das argamassas.

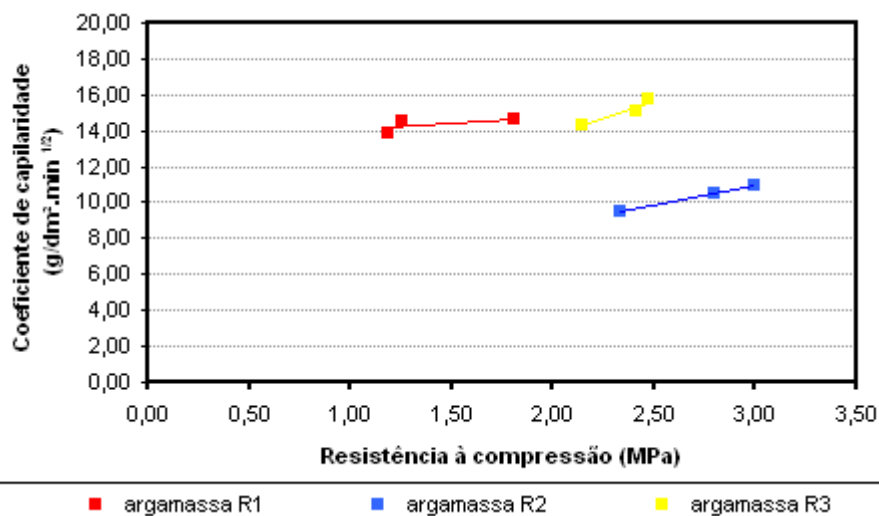


Figura 35: relação entre resistência à compressão e o coeficiente de capilaridade

7.2 RESULTADOS DO ENSAIO DE RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA

Esta seção apresenta os resultados do ensaio de resistência de aderência à tração dos revestimentos executados com as argamassas R1, R2 e R3, conforme o método de ensaio constante na NBR 13528 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2010). Os dados e resultados individuais completos dos corpos-de-prova podem ser observados no apêndice B.

7.2.1 Resistência de aderência aos 28 dias

Na tabela 7, as resistências de aderência à tração obtidas no ensaio de arrancamento aos 28 dias de idade, para as duas condições de exposição, são apresentadas.

Tabela 7: resistências médias de aderência à tração aos 28 dias

Argamassas	Câmara climatizada 23±2°C			Painel aquecido – 3 dias (22°C ↔ 40°C)		
	Resistência média (MPa)	Desvio Padrão (MPa)	Coefficiente de variação (%)	Resistência média (MPa)	Desvio Padrão (MPa)	Coefficiente de variação (%)
R1	0,35	0,12	34,3	0,31	0,07	22,6
R2	0,39	0,08	20,5	0,35	0,10	28,6
R3	0,38	0,14	36,8	0,34	0,10	29,4

Analisando os valores obtidos verifica-se que, para as duas condições ambientais, as resistências médias atendem ao limite mínimo estabelecido pela NBR 13749 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1996), fixado em 0,3 MPa, para revestimentos externos. Observa-se também que para R1, R2 e R3 houve uma diminuição da resistência de aderência de, respectivamente, 11%, 10% e 10,5%, quando esses foram expostos à variação da temperatura durante os primeiros dias de cura. Nos três casos a variação de resistência média foi de 0,04 MPa. No entanto, analisando os resultados individuais, apresentados no quadro 24, é possível verificar uma grande variabilidade entre as resistências de aderência encontradas em cada arrancamento, inclusive para corpos-de-prova de um mesmo prisma.

Ensaio de resistência de aderência à tração aos 28 dias																			
Câmara climatizada						Painel aquecido													
Tipo	CP	Ra MPa	Forma de ruptura							Tipo	CP	Ra MPa	Forma de ruptura						
			A	B	C	D	E	F	G				A	B	C	D	E	F	G
R1	1	0,43								R1	1	0,28							
	2	0,43									2	>0,40							
	3	0,36									3	0,21							
	4	0,53									4	0,30							
	5	0,27									5	0,28							
	6	>0,35									6	0,23							
	7	0,06									7	0,31							
	8	>0,23									8	>0,39							
	9	>0,31									9	0,21							
	10	0,23									10	0,38							
	11	0,32									11	>0,35							
	12	0,33									12	>0,37							
R2	1	>0,47								R2	1	>0,38							
	2	>0,24									2	>0,34							
	3	0,39									3	>0,34							
	4	>0,51									4	>0,45							
	5	0,37									5	>0,43							
	6	0,44									6	0,49							
	7	0,30									7	0,10							
	8	0,37									8	0,29							
	9	0,46									9	0,39							
	10	0,40									10	0,30							
	11	0,31									11	0,00							
	12	0,42									12	>0,36							
R3	1	0,24								R3	1	0,30							
	2	0,16									2	>0,26							
	3	>0,30									3	0,35							
	4	0,43									4	0,30							
	5	>0,54									5	0,40							
	6	>0,29									6	0,27							
	7	0,35									7	0,34							
	8	>0,60									8	0,22							
	9	0,35									9	>0,26							
	10	0,25									10	>0,60							
	11	>0,42									11	>0,37							
	12	>0,59									12	0,43							
Formas de ruptura			A – ruptura no substrato				D – ruptura na interf chapisco/argamassa			G – ruptura na interface cola/pastilha									
			B – ruptura interf substrato/chapisco				E – ruptura na argamassa												
			C – ruptura no chapisco				F – ruptura na interface argamassa/cola												

Quadro 24: resistências de aderência à tração e formas de ruptura dos corpos-de-prova aos 28 dias

Quanto à forma de ruptura, para as duas condições ambientais, a interface entre chapisco e argamassas (forma D) foi predominante, apresentando 63,9% das rupturas na exposição em câmara climatizada e 58,3% no painel aquecido. No entanto, é importante observar que, para o painel, a ruptura do revestimento na matriz de argamassa (forma E) foi bastante frequente, totalizando 38,9% do total. John e Pillegi (2007) bem como Moura (2007) apontam que as interfaces argamassa/base e argamassa/chapisco apresentam-se como uma zona de fragilidade do sistema. Segundo os autores, essas zonas são suscetíveis às trocas de água que ocorrem entre a argamassa, o substrato e a atmosfera. Dependendo das condições de exposição e cura essas trocas podem se refletir em excesso ou falta de água, interferindo diretamente na formação dos produtos de hidratação responsáveis pela aderência do revestimento.

Ainda analisando a forma de ruptura, é possível afirmar que, quando submetido à temperaturas mais altas, durante o processo de hidratação, o revestimento tende a romper, não só na interface com a base ou chapisco, como também na matriz de argamassa. Devido ao acréscimo da temperatura, o processo de hidratação dos materiais cimentícios pode ser acelerado, principalmente na superfície, o que resulta em cristais maiores e menos resistentes. A variação térmica pode, também, antecipar os efeitos de retração por secagem, solicitando o revestimento durante o período de cura.

Quanto ao desempenho aos 28 dias, o revestimento com a argamassa R2 foi o que apresentou os maiores valores de resistência de aderência à tração, como mostra o gráfico da figura 36.

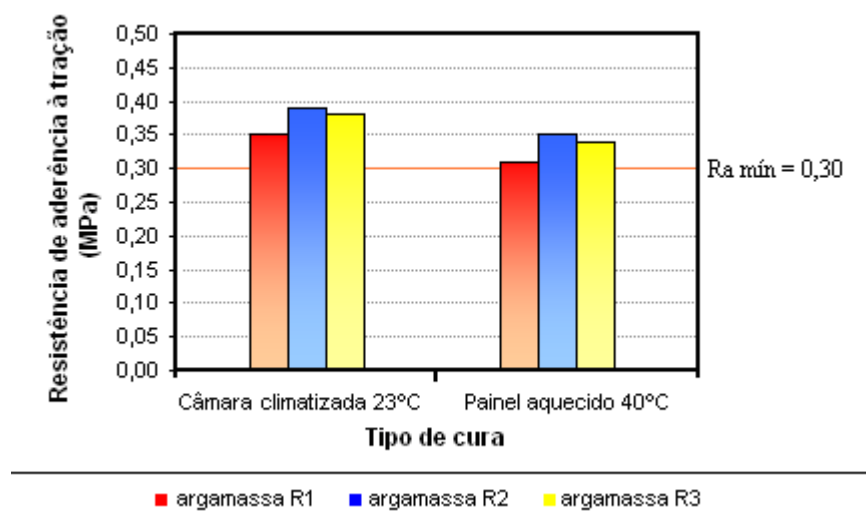


Figura 36: resistências médias e aderência à tração aos 28 dias

O revestimento de melhor desempenho, no ensaio de resistência de aderência à tração aos 28 dias, foi executado com a argamassa R2, a qual apresentou os melhores resultados nos ensaios de resistência mecânica (tração e compressão), realizados durante a caracterização. Esse comportamento pode ser justificado pela argamassa R2 conter aditivo incorporador de ar, apresentando menor relação água/aglomerante. Apesar de apresentar resistências mecânicas superiores às das argamassas mistas, é mais rígida, pois não contém cal, estando propensa à formação de fissuras por retração, as quais podem influenciar a durabilidade do revestimento.

7.2.2 Resistência de aderência aos 63 dias

Na tabela 8, as resistências de aderência à tração obtidas no ensaio de arrancamento aos 63 dias de idade, para as duas condições de exposição, são apresentadas.

Tabela 8: resistências médias de aderência à tração aos 63 dias

Argamassas	Câmara climatizada 23±2°C			Painel aquecido – 3 dias (22°C ↔ 40°C)		
	Resistência média (MPa)	Desvio Padrão (MPa)	Coefficiente de variação (%)	Resistência média (MPa)	Desvio Padrão (MPa)	Coefficiente de variação (%)
R1	0,45	0,11	24,7	0,39	0,14	35,9
R2	0,39	0,18	46,1	0,34	0,14	41,2
R3	0,45	0,16	35,5	0,38	0,11	28,9

Nos ensaios realizados aos 63 dias a tendência observada no ensaio anterior, dos revestimentos curados em câmara climatizada apresentarem maiores valores de resistência de aderência, foi verificada. A diferença das resistências médias, nessa idade, variou de 0,05 a 0,07 MPa, representando para os revestimentos R1, R2 e R3 diminuição na resistência de aderência à tração de, respectivamente, 13%, 13% e 15%. Novamente o limite mínimo de resistência de aderência para revestimentos de fachada foi atendido, sendo superior a 0,3 MPa em todos os casos. No quadro 25 é possível observar as resistências de aderência à tração e a forma de ruptura de cada corpo-de-prova no ensaio realizado aos 63 dias.

Ensaio de resistência de aderência à tração aos 63 dias																			
Câmara climatizada							Painel aquecido												
Tipo	CP	Ra MPa	Forma de ruptura							Tipo	CP	Ra MPa	Forma de ruptura						
			A	B	C	D	E	F	G				A	B	C	D	E	F	G
R1	1	0,68								R1	1	0,57							
	2	0,48							2		0,47								
	3	0,40							3		0,48								
	4	≥0,59							4		≥0,38								
	5	≥0,47							5		0,35								
	6	0,37							6		0,36								
	7	0,49							7		0,37								
	8	0,49							8		≥0,26								
	9	≥0,34							9		0,00								
	10	0,25							10		≥0,48								
	11	0,44							11		0,40								
	12	0,44							12		≥0,55								
R2	1	≥0,59							R2	1	0,46								
	2	0,09						2		≥0,06									
	3	0,17						3		0,46									
	4	≥0,65						4		0,40									
	5	≥0,35						5		0,30									
	6	0,35						6		≥0,34									
	7	≥0,34						7		≥0,49									
	8	≥0,26						8		0,42									
	9	≥0,66						9		0,40									
	10	0,30						10		0,35									
	11	≥0,34						11		0,10									
	12	≥0,61						12		≥0,32									
R3	1	0,61							R3	1	0,29								
	2	0,34						2		0,36									
	3	≥0,55						3		0,34									
	4	0,74						4		0,31									
	5	0,42						5		0,31									
	6	≥0,46						6		0,56									
	7	0,54						7		0,27									
	8	≥0,60						8		0,46									
	9	≥0,12						9		0,00									
	10	≥0,49						10		≥0,36									
	11	0,30						11		≥0,61									
	12	≥0,30						12		≥0,32									
Formas de ruptura			A – ruptura no substrato				D – ruptura na interf chapisco/argamassa				G – ruptura na interface cola/pastilha								
			B – ruptura interf substrato/chapisco				E – ruptura na argamassa												
			C – ruptura no chapisco				F – ruptura na interface argamassa/cola												

Quadro 25: resistências de aderência à tração e formas de ruptura dos corpos-de-prova aos 63 dias

Quanto à forma de ruptura, novamente a interface entre chapisco e argamassas (forma D) e a ruptura na matriz de argamassa (forma E) se destacaram. A predominância da ruptura na interface chapisco/argamassa, verificada aos 28 dias na condição controlada, não ocorreu aos 63 dias, sendo muito mais frequente a ruptura na matriz de argamassa nesta condição de cura. Uma possível explicação para esse comportamento é que as argamassas R1 e R3 contém, respectivamente, cal hidratada e cal hidráulica em sua composição.

As argamassas mistas apresentam melhor extensão de aderência do que as argamassas de cimento, uma vez que apresentam maior plasticidade, possibilitando o melhor preenchimento de cavidades e imperfeições do substrato (muito comuns na interface chapisco/argamassa). Essa maior plasticidade é proveniente não só do acréscimo da cal como aglomerante, como também da maior capacidade de retenção de água que as argamassas mistas apresentam (ver ensaio de retenção de água). Conforme explica Carasek (2007), além da plasticidade, a cal contribui para a durabilidade da aderência dos revestimentos, evitando fissuras e preenchendo vazios através de suas reações de carbonatação, as quais se processam ao longo do tempo, mesmo que as reações de hidratação do cimento já tenham terminado. Segundo a autora, esse processo de carbonatação também é conhecido com reconstituição autógena.

Com relação à forma de ruptura dos revestimentos curados no painel aquecido, a ocorrência de rupturas na matriz de argamassa foi inferior à verificada aos 28 dias. Esse comportamento reforça a ideia de que essa interface caracteriza-se como uma zona frágil do sistema de revestimento, principalmente pela demanda de água necessária não só para fazer a ponte de aderência entre o substrato e a argamassa como para o processo de hidratação. A tabela 9 apresenta a relação entre as variáveis e a forma de ruptura observada em cada arrancamento, estabelecendo o número de ocorrência de cada forma de ruptura. Os resultados apresentados na tabela 9 também podem ser analisados através dos gráficos das figuras 37 e 38.

Tabela 9: número de ocorrências de cada forma de ruptura

Variáveis independentes			Número de ocorrências para cada forma de ruptura						
Idade	Cura	Argamassa	A	B	C	D	E	F	G
28 dias	23°C	R1	0	0	0	9	1	2	0
		R2	0	1	0	8	3	0	0
		R3	0	0	0	6	6	0	0
		Total	0,0%	2,8%	0,0%	63,9%	27,8%	5,5%	0,0%
	40°C	R1	0	0	0	8	3	1	0
		R2	0	0	0	5	7	0	0
		R3	0	0	0	8	4	0	0
		Total	0,0%	0,0%	0,0%	58,3%	38,9%	2,8%	0,0%
63 dias	23°C	R1	0	0	0	8	4	0	0
		R2	0	0	0	4	8	0	0
		R3	0	0	0	6	6	0	0
		Total	0,0%	0,0%	0,0%	50,0%	50,0%	0,0%	0,0%
	40°C	R1	0	0	0	8	4	0	0
		R2	0	0	0	8	3	1	0
		R3	0	0	0	8	3	1	0
		Total	0,0%	0,0%	0,0%	66,7%	27,8%	5,5%	0,0%

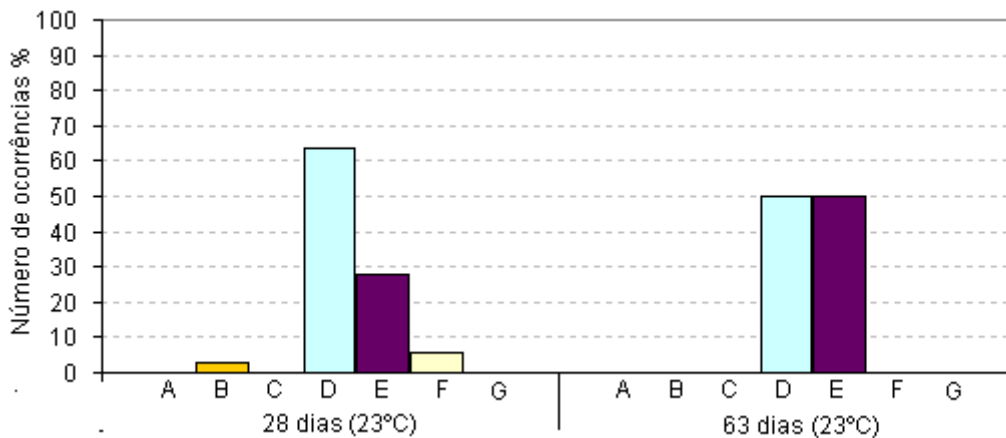


Figura 37: número de ocorrências das formas de ruptura para a câmara climatizada

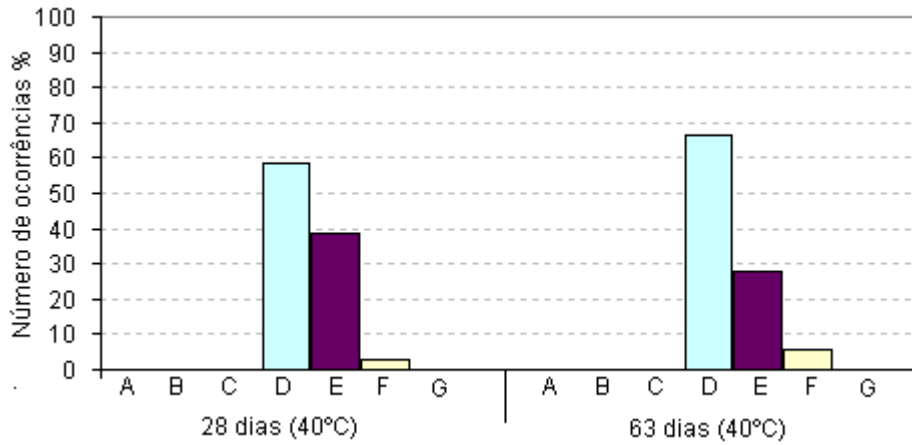


Figura 38: número de ocorrências das formas de ruptura para o painel aquecido

A tabela 10 apresenta a frequência das formas de ruptura para cada tipo de argamassa, em cada idade e condição de exposição.

Tabela 10: frequência das formas de ruptura para cada tipo de argamassa

Variáveis independentes			Frequência de ocorrência das formas de ruptura por argamassa						
Idade	Cura	Argamassa	A	B	C	D	E	F	G
28 dias	23°C	R1	0,0%	0,0%	0,0%	75,0%	8,3%	16,7%	0,0%
		R2	0,0%	8,3%	0,0%	66,7%	25,0%	0,0%	0,0%
		R3	0,0%	0,0%	0,0%	50,0%	50,0%	0,0%	0,0%
	40°C	R1	0,0%	0,0%	0,0%	66,7%	25,0%	8,3%	0,0%
		R2	0,0%	0,0%	0,0%	41,7%	58,3%	0,0%	0,0%
		R3	0,0%	0,0%	0,0%	66,7%	33,3%	0,0%	0,0%
63 dias	23°C	R1	0,0%	0,0%	0,0%	66,7%	33,3%	0,0%	0,0%
		R2	0,0%	0,0%	0,0%	33,3%	66,7%	0,0%	0,0%
		R3	0,0%	0,0%	0,0%	50,0%	50,0%	0,0%	0,0%
	40°C	R1	0,0%	0,0%	0,0%	66,7%	33,3%	0,0%	0,0%
		R2	0,0%	0,0%	0,0%	66,7%	25,0%	8,3%	0,0%
		R3	0,0%	0,0%	0,0%	66,7%	25,0%	8,3%	0,0%

Quanto ao desempenho, ao contrário da primeira idade de ensaio, as argamassas mistas R1 e R3 apresentaram valores de resistência de aderência superiores a argamassa R2, a qual, para as duas condições de cura, não apresentou decréscimo em sua resistência de aderência observados na primeira idade. O ganho de resistência dos revestimentos R1 e R3 ao longo do tempo também pode ser justificado pela presença e características da cal utilizada em suas misturas, sendo CP-II dolomítica na argamassa R1 e cal hidráulica na argamassa R3. Tanto a cal dolomítica – que contém magnésio – quanto a cal hidráulica – com adições pozolânicas – apresentam reações de carbonatação mais lentas. Além disso, na cal hidráulica o material pozolânico reage com o hidróxido de cálcio, formando maior quantidade de silicato de cálcio hidratado (C-S-H). Na figura 39, são apresentadas as resistências de aderência à tração dos revestimentos aos 63 dias.

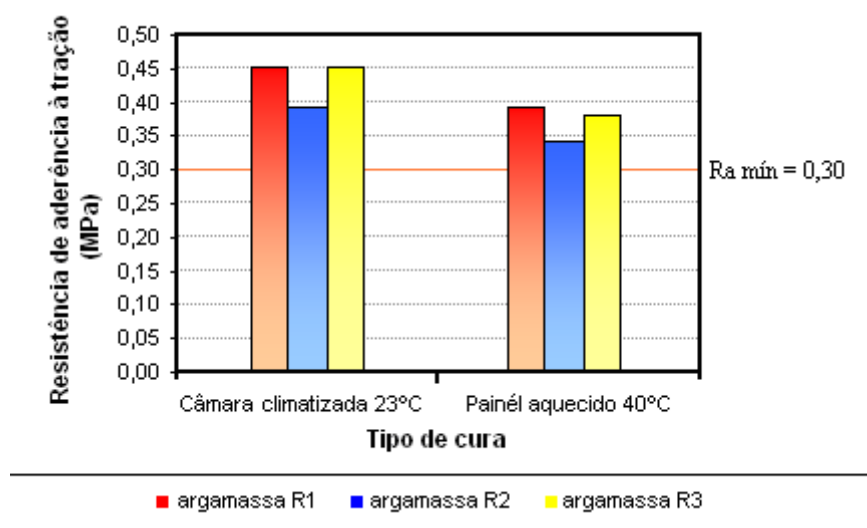


Figura 39: resistências médias de aderência à tração aos 63 dias

7.2.3 Influência da idade e da variação da temperatura na resistência de aderência

A figura 40 demonstra o comportamento dos revestimentos testados em todas as situações de análise propostas.

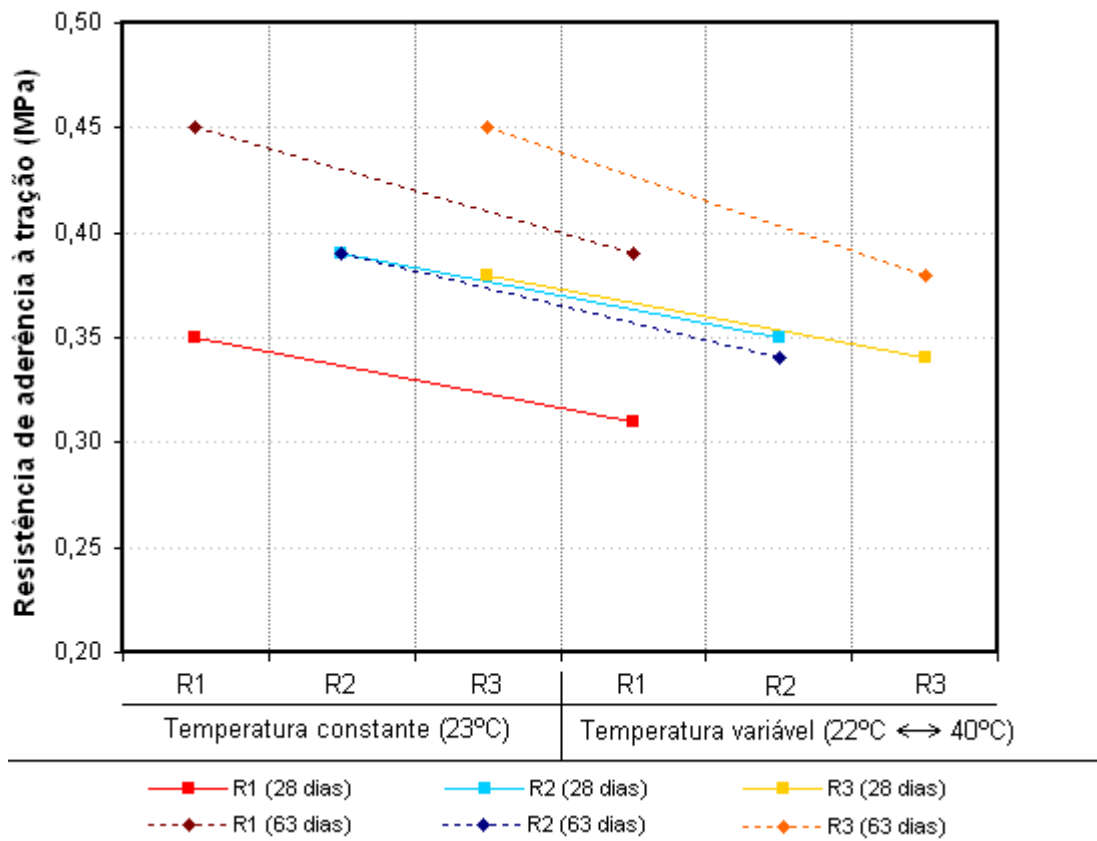


Figura 40: influência da variação térmica na resistência de aderência à tração ao longo do tempo

Observa-se que os revestimentos tiveram um acréscimo de resistência de aderência à tração com o passar do tempo, exceto a argamassa R2 que não apresentou grande variação de uma idade para outra. Além disso, constatou-se que os três revestimentos, nas duas idades de observação, apresentaram diminuição de suas capacidade de aderência quando expostos à variação térmica nos primeiros dias de cura. Entretanto, para verificar a validade destes resultados e analisar a influência efetiva de cada variável na resistência de aderência à tração, realizou-se um análise de variância (ANOVA), através do *software* estatístico denominado *Statistica 7.0*. Os resultados obtidos na análise estatística de variância, considerando o efeito isolado das variáveis tipo de argamassa, idade do revestimento e condição de exposição (temperatura de cura) podem ser visualizados na tabela 11.

Tabela 11: análise de variância do efeito isolado das variáveis independentes na resistência de aderência

Variáveis independentes	Soma quadrática	Graus de liberdade	Média quadrática	F (calculado)	Valor-p	Significância
Tipo argamassa	0,01431	2	0,00715	0,440	0,645054	Não significativo
Idade de cura	0,10401	1	0,10401	6,393	0,012573	Significativo
Temperatura cura	0,07701	1	0,07701	4,734	0,031270	Significativo
Erro	2,26128	139	0,01627			

A análise das variáveis de forma isolada, demonstrou que o tipo de argamassa (com ou sem cal) não influencia na resistência de aderência à tração dos revestimento testados. Contudo, comprova a hipótese inicial desta pesquisa, demonstrando que a temperatura de exposição exerce influência significativa sobre a capacidade de resistência do revestimento de argamassa. Além disso, aponta que a idade do revestimento é um fator significativo, como os resultados anteriores já sinalizavam. Na figura 41 é possível observar a influência da temperatura, de forma isolada, na resistência de aderência à tração aplicado em substrato cerâmico.

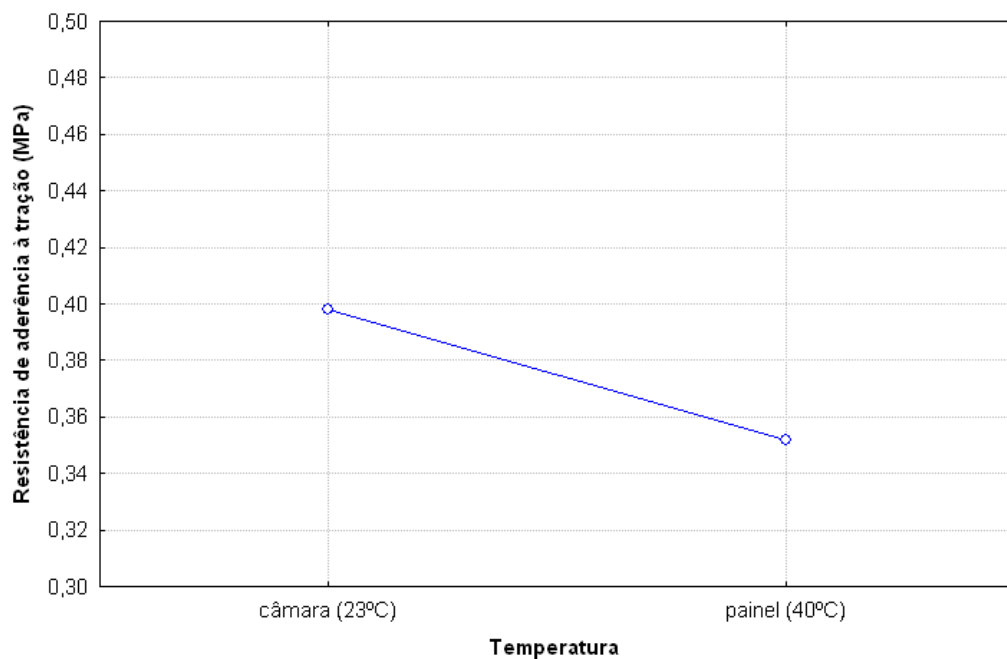


Figura 41: influência da temperatura na resistência de aderência à tração do revestimento externo de argamassa em substrato cerâmico

A influência significativa da ação da temperatura na capacidade de aderência dos revestimento já podia ser verificada nas análises anteriores à essa. A queda da resistência de aderência pode ser justificada, primeiramente por uma aceleração do processo de evaporação da água de amassamento, favorecendo o processo de retração por secagem dos revestimentos. A elevação da temperatura pode, também, ter influenciado o surgimento de movimentações diferenciais entre o substrato cerâmico, a camada de preparação (chapisco) e o revestimento, gerando tensões prejudiciais à micro e à macroancoragem do revestimento, principalmente na interface entre chapisco e argamassa de revestimento, apontada como uma zona de fragilidade do sistema de revestimento.

A respeito da influência da idade na capacidade de aderência dos revestimentos, pode-se verificar que ocorre um ganho significativo na resistência de aderência ao longo do tempo. Esse comportamento novamente concentra a análise na composição das argamassas, pois argamassas mistas podem ter sua resistência aumentada ao longo do tempo devido às reações de carbonatação que continuam após o término das reações de hidratação. Na figura 42 é possível observar o ganho de resistência à tração que os revestimentos apresentaram ao longo do tempo.

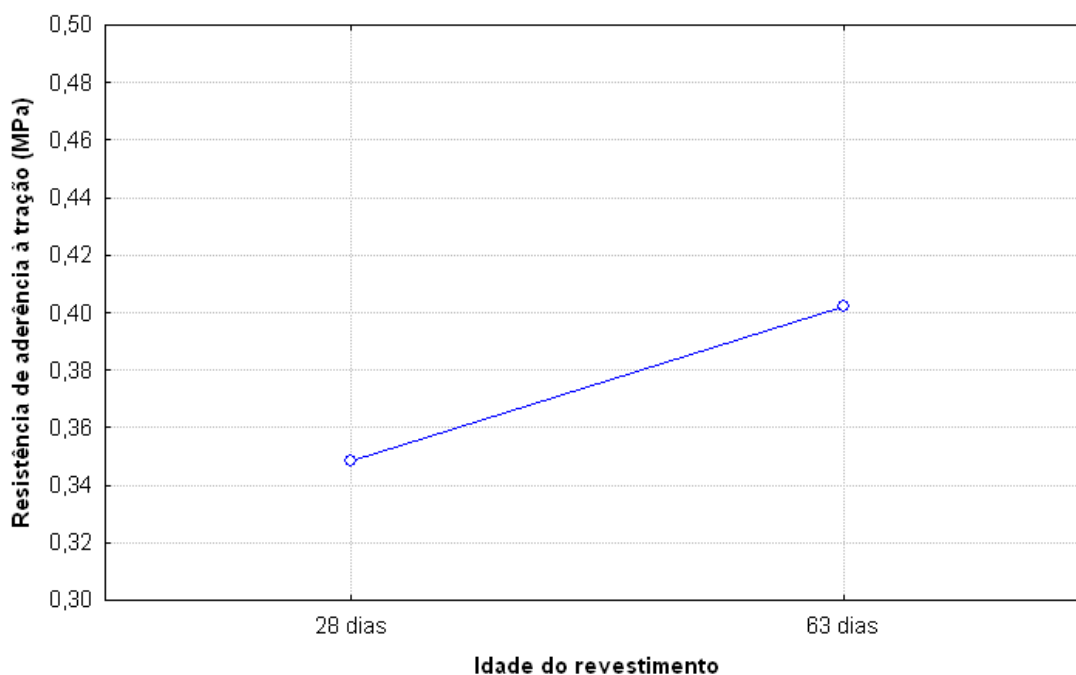


Figura 42: influência da idade de cura na resistência de aderência à tração do revestimento externo de argamassa em substrato cerâmico

Para validar a premissa de que as argamassas de cal podem continuar contribuindo na resistência de aderência ao longo do tempo, realizou-se outra análise de variância. Desta vez, entretanto, as variáveis foram combinadas para que fosse possível observar suas correlações. Os resultados da segunda análise de variância podem ser vistos na tabela 12.

Tabela 12: análise de variância para a combinação das variáveis independentes na resistência de aderência

Variáveis independentes	Soma quadrática	Graus de liberdade	Média quadrática	F (calculado)	Valor-p	Significância
Tipo argamassa	0,01431	2	0,00715	0,434	0,648702	Não significativo
Idade de cura	0,10401	1	0,10401	6,312	0,013198	Significativo
Temperatura cura	0,07701	1	0,07701	4,673	0,032440	Significativo
Arg. x idade	0,07003	2	0,03501	2,125	0,123511	Não significativo
Arg. x temp. cura	0,00159	2	0,00079	0,048	0,952988	Não significativo
Idade x temp. cura	0,01120	1	0,01120	0,680	0,411166	Não significativo
Arg.xidadex temp	0,00335	2	0,00168	0,102	0,903378	Não significativo
Erro	2,17511	132	0,01648			

Analisando o resultados das combinações entre as variáveis independentes é possível afirmar que o tipo de argamassa não é o fator determinante para o acréscimo de resistência ao longo do tempo demonstrado. Na figura 43, no gráfico para esta combinação, é possível observar que as argamassas mistas apresentam um acréscimo na resistência de aderência, enquanto que na argamassa R2 permanece praticamente constante. Apesar da mudança de comportamento das argamassas com cal (R1 e R3), sustentando-se pela análise de variância (ANOVA), é possível afirmar que o ganho de resistência das argamassas mistas não gera efeito significativo para o conjunto.

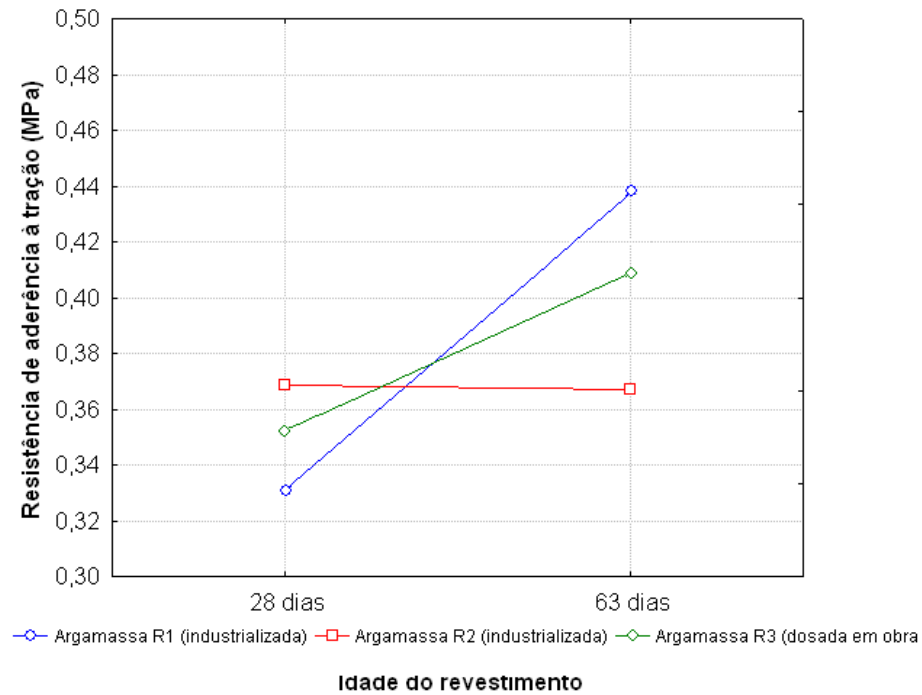


Figura 43: efeito do tipo da argamassa na resistência de aderência ao longo do tempo

É importante salientar que os resultados da segunda análise de variância foram importantes para entendimento da pesquisa, visto que, convergiram para os mesmos fatores de influência encontrados na primeira avaliação, reforçando que, nessa pesquisa, o tipo de argamassa não exerce efeito significativo (figura 44), e demonstrando que nenhuma combinação de variáveis gera efeitos consideráveis na resistência de aderência à tração.

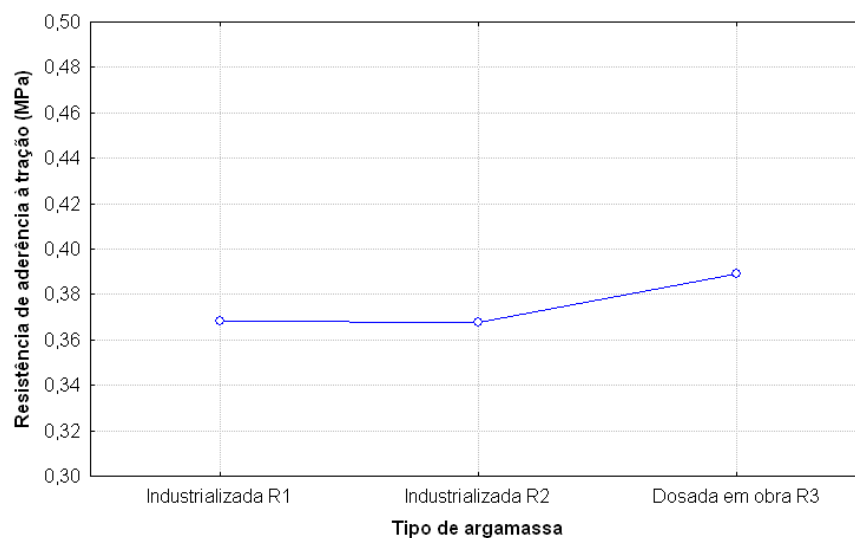


Figura 44: influência do tipo de argamassa na resistência de aderência à tração ao longo do tempo

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta pesquisa teve como objetivo analisar a influência da variação da temperatura na resistência de aderência à tração de revestimentos aplicados em substrato cerâmico, utilizando argamassas especificadas por uma construtora de Porto Alegre. Para gerar resultados quantitativos, foi criado um programa experimental, onde foram estabelecidas as variáveis de pesquisa e resposta, as quais, por sua vez, possibilitaram a identificação dos fatores significativos para o entendimento dessa questão. Cabe salientar que as conclusões e as considerações que seguem, restringem-se ao âmbito desta pesquisa.

No experimento realizado, concluiu-se que a temperatura exerce influência significativa na capacidade de aderência dos revestimentos analisados. A variação térmica, aplicada apenas nos três primeiros dias de cura com painel aquecido, resultou em uma queda da resistência de aderência à tração de aproximadamente 12,5% se comparados à resistência obtida na cura em ambiente com temperatura constante e controlada.

Os ensaios de arrancamento foram realizados em duas idades distintas, com o propósito de poder avaliar a resistência de aderência ao longo do tempo. Neste caso, concluiu-se que o revestimento tem um ganho significativo na resistência de aderência em idades maiores do que 28 dias, sem submetê-lo, entretanto, à ventilação e variações de umidade.

As diferentes argamassas utilizadas no experimento como variável não apresentaram efeito na resistência de aderência do sistema. Foi demonstrado que as três argamassas especificadas pela construtora X, quando aplicadas em substrato cerâmico, ultrapassaram o limite de resistência mínimo de 0,3 MPa para revestimentos externos, estabelecido pela NBR 13749 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1996). Outro aspecto observado nesta pesquisa é que o tipo de argamassa utilizada (duas argamassas mistas e uma com aditivo incorporador de ar) não configurou-se com um fator determinante para a resistência de aderência.

Conforme os resultados obtidos na análise de forma da ruptura, o sistema de revestimento, quando submetido à variação térmica, apresenta duas zonas de fragilidade principais. A primeira, a interface entre a argamassa e o chapisco e a segunda, na matriz de argamassa.

Durante a pesquisa as argamassa foram caracterizadas com o propósito de avaliá-las e classificá-las conforme a NBR 13281 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005f) que estabelece os requisitos mínimos para as argamassas de assentamento e revestimento, sejam essas industrializadas ou dosadas em obra. Nos ensaios de resistência mecânica (tração e compressão) a argamassa R2 (sem cal) destacou-se por apresentar os melhores resultados. No entanto, as classificações foram praticamente as mesmas pela proximidade dos resultados. Nos ensaios das demais exigências físicas previstas na Norma, as argamassas analisadas também apresentaram bom desempenho, exceto para o ensaio de retenção de água, descrito na NBR 13277 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005b), no qual as argamassas R2 e R3 apresentaram valores abaixo do índice mínimo de 90% de retenção.

A classificação das argamassas, conforme a NBR 13281 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005b), obtida nessa pesquisa é a que segue:

- a) argamassa R1 (industrializada) – P1-M3-R2-D4-U4-A3;
- b) argamassa R2 (industrializada) – P2-M4-R2-D4-U2-A3;
- c) argamassa R3 (dosada em obra) – P2-M5-R2-D5-U3-A3.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13529**: revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas. Rio de Janeiro, 1995.

_____. **NBR 13749**: revestimento de paredes e tetos – especificação. Rio de Janeiro, 1996.

_____. **NBR 7200**: execução de revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – procedimento. Rio de Janeiro, 1998.

_____. **NBR 13276**: argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – preparo da mistura e determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2005a.

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

_____. **NBR 13278**: argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado. Rio de Janeiro, 2005c.

_____. **NBR 13279**: argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – determinação resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro, 2005d.

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

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

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

_____. **NBR 13528**: revestimento de paredes de argamassas inorgânicas – determinação da resistência de aderência à tração. Rio de Janeiro, 2010.

CARASEK, H. Argamassas. In: ISAIA, G. C. **Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais**. São Paulo: IBRACON, 2007. p. 863-905. v. 2.

CEOTTO, L. H.; BANDUK, R. C.; NAKAKURA, E. H. **Revestimentos de argamassas**: boas práticas em projeto, execução e avaliação. Porto Alegre: ANTAC, 2005.

COSTA, F. N. **Processo de produção de revestimento de fachada de argamassa**: problemas e oportunidades de melhoria. 2005. 180 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

FIGUEROLA, V. Argamassas decorativas. **Revista Técnica**, São Paulo: Pini, ano 14, n. 115, p. 46-49, out. 2006.

JOHN, V. M.; PILEGGI, R. G. Consórcio setorial para inovação em tecnologia de revestimentos de argamassa: experiências e principais resultados. In: CONGRESSO NACIONAL DE ARGAMASSAS DE CONSTRUÇÃO, 2., 2007, Lisboa. **Anais...** Lisboa: APFAC, 2007. p. 1-11.

KAZMIERCZAK, C. S., BREZEZINSKI, D. E., COLLATTO, D. Influência do tipo e preparo de substrato na resistência de aderência à tração e na distribuição de poros de uma argamassa industrializada. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 7., 2007, Recife. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2007. p. 1-9.

LOTURCO, B. Argamassas em discussão. **Revista Técnica**, São Paulo: Pini, ano 13, n. 98, p. 40-42, maio 2005.

MARTINELLI, F. A.; HELENE, P. R. L. **Usos, funções e propriedades das argamassas mistas destinadas ao assentamento e revestimento de alvenarias**. São Paulo: EPUSP, 1991. Boletim Técnico BT/PCC/47.

MOURA, C. B. **Aderência de revestimentos externos de argamassa em substratos de concreto**: influência das condições de temperatura e ventilação na cura do chapisco. 2007. 173 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

NAKAKURA, E. H.; CINCOTTO, M. A. **Análise dos requisitos de classificação de argamassas de assentamento e revestimento**. São Paulo: EPUSP, 2004. Boletim Técnico BT/PCC/359.

PARAVISI, S. **Avaliação de sistemas de produção de revestimentos de fachada com aplicação mecânica e manual de argamassa**. 2008. 179 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

PEREIRA, C. H. A. F. **Contribuição ao estudo da fissuração, da retração e do mecanismo de descolamento do revestimento à base de argamassa**. 2007. 195 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília/Distrito Federal.

POLITO, G.; JUNIOR, A. N. C.; BRANDÃO, P. R. G. Caracterização microestrutural da interface argamassa mista/bloco cerâmico. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 8., 2009, Curitiba. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2009. p. 1-12.

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: ANTAC, v. 2, n. 2, p. 85-92, abr.-jun. 2002.

SILVA, V. S. **Aderência de chapiscos em concretos estruturais – melhoria da microestrutura da zona de interface pela adição da sílica da casca de arroz**. 2004. 229 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Interunidades em Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade de São Paulo, São Carlos.

TEMOCHE-ESQUIVEL, J. F. **Avaliação da influência do choque térmico na aderência dos revestimentos de argamassa**. 2009. 262 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.

TERRA, R. C. **Levantamento de manifestações patológicas em revestimentos de fachadas das edificações da cidade de Pelotas**. 2001. 118 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

THOMAZ, E. **Trincas em edifícios: causas, prevenção e recuperação**. São Paulo: Pini; EPUSP; IPT, 1989.

**APÊNDICE A – planilha de resultados dos ensaios de caracterização das
argamassas estudadas**

Tabela A1: resultados do ensaio de resistência à compressão sem correção de valores

Tipo	Carga aplicada (N)		Resistência individual (MPa)		Resistência média (MPa)	Desvio absoluto máx (MPa)		Desvio padrão (MPa)	Coeficiente de variação (%)
R1	2700	3300	1,69	2,06	1,54	0,35	0,52	0,4	12,5
	1960	2004	1,23	1,25					
	2900	1900	1,81	1,19					
R2	4800	4600	3,00	2,88	2,76	0,42	0,42	0,3	23,9
	5080	3740	3,18	2,34					
	3760	4480	2,35	2,80					
R3	3960	3440	2,48	2,15	2,57	0,42	0,51	0,3	13,0
	3960	3860	2,48	2,41					
	4560	4940	2,48	3,09					

Tabela A2: resultados do ensaio de resistência à compressão corrigidos

Tipo	Carga aplicada (N)		Resistência individual (MPa)		Resistência média (MPa)	Desvio absoluto máx (MPa)		Desvio padrão (MPa)	Coeficiente de variação (%)
R1	2700	3300	1,69	–	1,43	0,42	0,42	0,3	20,5
	1960	2004	1,23	1,25					
	2900	1900	1,81	1,19					
R2	4800	4600	3,00	2,88	2,76	0,25	0,38	0,3	12,5
	5080	3740	3,18	2,34					
	3760	4480	2,35	2,80					
R3	3960	3440	2,48	2,15	2,47	0,32	0,37	0,2	9,9
	3960	3860	2,48	2,41					
	4560	4940	2,48	–					

Tabela A3: resultados do ensaio de resistência à tração na flexão

Tipo	Carga aplicada (N)	Resistência individual (MPa)	Resistência média	Desvio absoluto máx (MPa)		Desvio padrão (MPa)	Coeficiente de variação (%)
R1	540	1,27	1,30	0,03	0,02	0,0	2,1
	560	1,31					
	560	1,31					
R2	680	1,59	1,66	0,06	0,03	0,1	3,3
	720	1,69					
	720	1,69					
R3	600	1,41	1,37	0,29	0,25	0,3	19,9
	690	1,62					
	460	1,08					

Tabela A4: resultados do ensaio de absorção por capilaridade e coeficiente de capilaridade

Tipo	m ₀ (g)	m ₁₀ (g)	m ₉₀ (g)	Absorção aos 10 min (g/cm ²)	Absorção aos 90 min (g/cm ²)	Absorção média (g/cm ²)	Desvio padrão (g/cm ²)	Coef. capilar. (g/dm ² . min ^{1/2})	Desvio padrão (g/dm ² . min ^{1/2})
R1	449,33	458,35	472,99	0,56	1,48	1,43	0,1	14,35	0,4
	449,70	458,16	472,65	0,53	1,43				
	448,13	456,17	470,08	0,50	1,37				
R2	375,12	378,79	389,76	0,23	0,91	0,87	0,1	10,31	0,8
	377,05	380,94	391,42	0,24	0,90				
	382,94	386,28	395,75	0,21	0,80				
R3	461,08	469,32	483,65	0,52	1,41	1,48	0,1	15,06	0,7
	459,92	468,87	484,65	0,56	1,55				
	460,50	469,10	484,15	0,54	1,48				

Tabela A5: resultados do ensaio de determinação da densidade de massa no estado endurecido

Tipo	Largura média (cm)	Comp. médio (cm)	Altura média (cm)	Volume (cm ³)	Massa (g)	Densidade individual (kg/dm ³)	Densidade média (kg/m ³)	Desvio padrão (kg/m ³)
R1	4,08	4,04	16,08	264,93	468,12	1766,94	1761,61	17,5
	4,07	4,02	16,08	263,33	467,62	1775,79		
	4,07	4,15	16,01	270,34	470,96	1742,11		
R2	4,21	3,98	16,14	270,18	399,00	1476,80	1499,70	19,8
	4,09	4,00	16,09	263,23	397,54	1510,24		
	4,11	4,02	16,18	267,04	403,77	1512,05		
R3	4,08	4,00	16,00	261,64	477,97	1826,84	1817,62	9,2
	4,03	4,06	16,05	262,88	475,39	1808,42		
	4,06	4,03	16,03	262,26	476,68	1817,60		

Tipo	m _v (g)	m _a (g)	v _r (cm ³)	m _c (g)	Densidade (kg/m ³)
R1	195,5	592,7	397,2	979,9	1974,82
R2				855,4	1661,38
R3				998,5	2021,65

Quadro A1: resultados do ensaio de determinação da densidade de massa aparente no estado fresco

Tipo	m (g)	m _w (g)	m _v (g)	m _a (g)	m _s (g)	AF (adm)	R _a (%)
R1	50000	8400	598,80	1739,90	1726,50	0,144	91,84
R2	50000	8400	595,50	1748,70	1721,20	0,144	83,42
R3	45060	7000	596,30	1745,20	1724,80	0,134	86,79

Quadro A2: resultados do ensaio de retenção de água

**APÊNDICE B – planilha de resultados dos ensaios de resistência de
aderência à tração**

Ensaio de resistência de aderência à tração															
Condição de exposição: câmara climatizada						Número de prismas: 9			Número de arrancamentos: 36						
Idade do revestimento: 28 dias (26/08/2010)						Umidade relativa: 87%			Temperatura: 19,1°C						
Tipo	CP	Diâmetro (mm)			Esp. (mm)	Área (cm ²)	Carga (kgf)	R _a (MPa)	Forma de ruptura						
		φ1	φ2	φm					A	B	C	D	E	F	G
R1	1	54,58	54,80	54,69	21,47	23,49	98	0,43							
	2	54,66	54,83	54,75	19,50	23,54	100	0,43							
	3	54,62	54,78	54,70	18,51	23,50	84	0,36							
	4	54,83	55,10	54,97	18,17	23,73	124	0,53							
	5	54,44	54,70	54,57	21,14	23,39	61	0,27							
	6	50,00	50,00	50,00	0,00	19,63	68	>0,35							
	7	54,46	54,74	54,60	18,09	23,41	14	0,06							
	8	50,00	50,00	50,00	0,00	19,63	44	>0,23							
	9	54,51	54,62	54,57	19,17	23,38	72	>0,31							
	10	54,64	54,53	54,59	19,49	23,40	53	0,23							
	11	54,79	54,74	54,77	20,32	23,56	73	0,32							
	12	54,67	55,19	54,93	19,40	23,70	77	0,33							
R2	1	54,29	54,72	54,51	19,15	23,33	107	>0,47							
	2	54,34	55,08	54,71	20,60	23,51	56	>0,24							
	3	54,58	54,93	54,76	19,27	23,55	89	0,39							
	4	53,67	53,95	53,81	15,82	22,74	113	>0,51							
	5	53,58	54,02	53,80	17,71	22,73	83	0,37							
	6	54,05	54,55	54,30	16,25	23,16	100	0,44							
	7	54,60	54,67	54,64	15,24	23,44	70	0,30							
	8	54,64	53,90	54,27	13,66	23,13	83	0,37							
	9	54,94	54,83	54,89	19,09	23,66	106	0,46							
	10	53,24	53,53	53,39	19,02	22,38	87	0,40							
	11	53,77	53,79	53,78	18,46	22,72	68	0,31							
	12	54,09	54,36	54,23	19,07	23,09	96	0,42							
R3	1	54,97	55,04	55,01	15,95	23,76	56	0,24							
	2	54,68	54,81	54,75	17,22	23,54	36	0,16							
	3	54,97	55,35	55,16	16,74	23,90	70	>0,30							
	4	54,92	55,06	54,99	16,40	23,75	99	0,43							
	5	54,85	53,99	54,42	3,76	23,26	124	>0,54							
	6	54,84	55,17	55,01	18,71	23,76	67	>0,29							
	7	54,92	55,14	55,03	19,63	23,78	82	0,35							
	8	55,16	55,22	55,19	19,34	23,92	140	>0,60							
	9	55,14	55,68	55,41	20,26	24,11	82	0,35							
	10	54,71	54,87	54,79	17,84	23,58	57	0,25							
	11	55,32	55,25	55,29	17,13	24,01	100	>0,42							
	12	56,00	55,29	55,65	16,23	24,32	141	>0,59							

Quadro B1: resultados do ensaio de arrancamento aos 28 dias – câmara climatizada

Ensaio de resistência de aderência à tração															
Condição de exposição: painel aquecido						Número de prismas: 9			Número de arrancamentos: 36						
Idade do revestimento: 28 dias (26/08/2010)						Umidade relativa: 87%			Temperatura: 19,1°C						
Tipo	CP	Diâmetro (mm)			Esp. (mm)	Área (cm ²)	Carga (kgf)	R _a (MPa)	Forma de ruptura						
		φ1	φ2	φm					A	B	C	D	E	F	G
R1	1	54,25	52,95	53,60	18,64	22,56	62	0,28							
	2	54,94	54,79	54,87	20,47	23,64	93	>0,40							
	3	54,55	54,80	54,68	20,47	23,48	48	0,21							
	4	54,49	54,57	54,53	23,17	23,35	69	0,30							
	5	54,79	54,89	54,84	20,12	23,62	66	0,28							
	6	54,64	54,28	54,46	19,15	23,29	53	0,23							
	7	55,13	54,39	54,76	20,31	23,55	71	0,31							
	8	53,71	53,72	53,72	21,50	22,66	86	>0,39							
	9	54,07	54,24	54,16	20,68	23,03	47	0,21							
	10	54,34	54,06	54,20	20,02	23,07	86	0,38							
	11	50,00	50,00	50,00	0,00	19,63	68	>0,35							
	12	54,04	54,24	54,14	17,84	23,02	83	>0,37							
R2	1	52,14	53,60	52,87	18,21	21,95	81	>0,38							
	2	54,36	53,97	54,17	19,16	23,04	77	>0,34							
	3	54,61	54,46	54,54	18,53	23,36	78	>0,34							
	4	53,40	54,07	53,74	22,36	22,68	100	>0,45							
	5	53,69	54,64	54,17	21,37	23,04	97	>0,43							
	6	54,54	55,11	54,83	18,72	23,61	113	0,49							
	7	54,44	54,85	54,65	19,44	23,45	22	0,10							
	8	54,00	54,01	54,01	18,29	22,91	65	0,29							
	9	54,30	53,97	54,14	20,78	23,02	88	0,39							
	10	53,71	53,55	53,63	19,44	22,59	66	0,30							
	11	54,40	54,10	54,25	19,27	23,11	0	0,00							
	12	54,73	54,43	54,58	14,54	23,40	83	>0,36							
R3	1	54,71	54,89	54,80	19,21	23,59	70	0,30							
	2	51,06	51,43	51,25	1,00	20,62	53	>0,26							
	3	53,48	53,33	53,41	21,03	22,40	77	0,35							
	4	54,80	55,25	55,03	20,50	23,78	70	0,30							
	5	53,25	54,26	53,76	16,99	22,69	89	0,40							
	6	54,41	54,77	54,59	18,33	23,41	61	0,27							
	7	53,89	52,75	53,32	17,08	22,33	74	0,34							
	8	54,69	54,38	54,54	20,17	23,36	51	0,22							
	9	54,38	54,13	54,26	16,95	23,12	58	>0,26							
	10	54,37	54,37	54,37	17,55	23,22	136	>0,60							
	11	54,90	54,95	54,93	16,27	23,69	87	>0,37							
	12	54,87	54,42	54,65	17,82	23,45	98	0,43							

Quadro B2: resultados do ensaio de arrancamento aos 28 dias – painel aquecido

Ensaio de resistência de aderência à tração															
Condição de exposição: câmara climatizada						Número de prismas: 9			Número de arrancamentos: 36						
Idade do revestimento: 63 dias (30/09/2010)						Umidade relativa: 53%			Temperatura: 22,3°C						
Tipo	CP	Diâmetro (mm)			Esp. (mm)	Área (cm ²)	Carga (kgf)	R _a (MPa)	Forma de ruptura						
		φ1	φ2	φm					A	B	C	D	E	F	G
R1	1	54,33	54,36	54,35	19,50	23,20	155	0,68							
	2	54,07	54,09	54,08	20,17	22,97	107	0,48							
	3	53,77	53,88	53,83	20,12	22,75	90	0,40							
	4	53,94	54,37	54,16	19,90	23,03	133	>0,59							
	5	53,77	53,63	53,70	19,64	22,65	105	>0,47							
	6	54,20	54,35	54,28	19,23	23,14	83	0,37							
	7	54,30	54,36	54,33	18,73	23,18	111	0,49							
	8	53,77	54,17	53,97	18,97	22,88	110	0,49							
	9	54,25	55,02	54,64	15,83	23,44	79	>0,34							
	10	54,63	54,29	54,46	19,17	23,29	57	0,25							
	11	54,46	53,90	54,18	20,96	23,06	99	0,44							
	12	54,49	54,45	54,47	18,57	23,30	101	0,44							
R2	1	53,77	53,63	53,70	16,78	22,65	130	>0,59							
	2	54,36	54,32	54,34	15,36	23,19	20	0,09							
	3	53,61	53,27	53,44	17,40	22,43	37	0,17							
	4	54,39	55,47	54,93	18,26	23,70	151	>0,65							
	5	54,99	53,72	54,36	18,86	23,20	80	>0,35							
	6	53,85	53,92	53,89	17,54	22,80	79	0,35							
	7	53,93	53,42	53,68	18,29	22,63	75	>0,34							
	8	54,00	54,20	54,10	17,23	22,99	58	>0,26							
	9	52,65	52,65	52,65	18,73	21,77	140	>0,66							
	10	52,69	53,34	53,02	19,01	22,07	64	0,30							
	11	53,96	54,92	54,44	19,66	23,28	77	>0,34							
	12	53,80	54,36	54,08	21,70	22,97	137	>0,61							
R3	1	54,99	55,17	55,08	20,09	23,83	142	0,61							
	2	55,04	55,16	55,10	21,09	23,84	80	0,34							
	3	54,58	54,69	54,64	22,82	23,44	127	>0,55							
	4	55,19	54,83	55,01	22,05	23,77	173	0,74							
	5	52,65	52,86	52,76	20,30	21,86	89	0,42							
	6	52,55	52,81	52,68	19,01	21,80	98	>0,46							
	7	52,95	52,90	52,93	17,16	22,00	117	0,54							
	8	53,50	53,46	53,48	18,11	22,46	132	>0,60							
	9	54,53	54,78	54,66	20,37	23,46	27	>0,12							
	10	54,67	54,82	54,75	18,09	23,54	113	>0,49							
	11	55,31	55,53	55,42	21,29	24,12	70	0,30							
	12	52,13	52,74	52,44	21,56	21,59	63	>0,30							

Quadro B3: resultados do ensaio de arrancamento aos 63 dias – câmara climatizada

Ensaio de resistência de aderência à tração															
Condição de exposição: painel aquecido						Número de prismas: 9			Número de arrancamentos: 36						
Idade do revestimento: 63 dias (30/09/2010)						Umidade relativa: 53%			Temperatura: 22,3°C						
Tipo	CP	Diâmetro (mm)			Esp. (mm)	Área (cm ²)	Carga (kgf)	R _a (MPa)	Forma de ruptura						
		φ1	φ2	φm					A	B	C	D	E	F	G
R1	1	54,14	54,35	54,25	20,35	23,11	129	0,57							
	2	53,70	54,16	53,93	18,51	22,84	105	0,47							
	3	54,80	54,49	54,65	20,06	23,45	110	0,48							
	4	54,38	53,85	54,12	19,01	23,00	86	>0,38							
	5	54,18	53,47	53,83	14,87	22,75	79	0,35							
	6	54,72	53,43	54,08	15,52	23,03	80	0,36							
	7	54,22	54,08	54,15	15,21	23,03	83	0,37							
	8	54,42	54,84	54,63	15,53	23,44	59	>0,26							
	9	53,83	54,16	54,00	17,14	22,90	0	0,00							
	10	53,62	53,77	53,70	16,43	22,64	107	>0,48							
	11	53,51	54,40	53,96	17,09	22,86	89	0,40							
	12	53,80	53,87	53,84	15,84	22,76	122	>0,55							
R2	1	54,09	53,52	53,81	20,35	22,74	102	0,46							
	2	53,32	54,05	53,69	18,17	22,64	14	>0,06							
	3	53,85	54,92	54,39	16,07	23,23	105	0,46							
	4	54,48	54,35	54,42	17,12	23,26	91	0,40							
	5	54,80	54,87	54,84	16,20	23,62	70	0,30							
	6	54,91	54,56	54,74	15,88	23,53	78	>0,34							
	7	54,45	54,31	54,38	0,00	23,23	112	>0,49							
	8	54,80	54,84	54,82	17,59	23,60	98	0,42							
	9	54,38	54,52	54,45	18,38	23,29	92	0,40							
	10	54,56	54,73	54,65	16,10	23,45	80	0,35							
	11	54,83	54,53	54,68	14,53	23,48	23	0,10							
	12	54,40	54,52	54,46	17,43	23,29	72	>0,32							
R3	1	55,24	55,77	55,51	16,11	24,20	69	0,29							
	2	55,07	54,69	54,88	17,12	23,65	84	0,36							
	3	54,19	54,79	54,49	17,42	23,32	77	0,34							
	4	54,81	54,77	54,79	18,77	23,58	72	0,31							
	5	54,85	55,08	54,97	18,12	23,73	73	0,31							
	6	54,70	54,68	54,69	20,17	23,49	129	0,56							
	7	55,10	54,93	55,02	14,93	23,77	64	0,27							
	8	54,84	54,95	54,90	17,43	23,67	106	0,46							
	9	54,88	54,95	54,92	20,95	23,68	0	0,00							
	10	54,92	55,12	55,02	17,85	23,78	84	>0,36							
	11	54,41	55,11	54,76	18,31	23,55	142	>0,61							
	12	54,91	55,14	55,03	18,89	23,78	75	>0,32							

Quadro B4: resultados do ensaio de arrancamento aos 63 dias – painél aquecido