

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS
CAMPUS GOIÂNIA
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

FELLIPE ALVES XAVIER

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA CAL HIDRATADA NA ADERÊNCIA DAS
ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO EM OBRAS DAS REGIÕES CENTRO-
OESTE E SUL A PARTIR DO ANO DE 2010**

Goiânia, GO
2020

Fellipe Alves Xavier

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA CAL HIDRATADA NA ADERÊNCIA DAS
ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO EM OBRAS DAS REGIÕES CENTRO-
OESTE E SUL A PARTIR DO ANO DE 2010**

**Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Coordenação de
Engenharia Civil, do Instituto Federal
de Educação, Ciência e Tecnologia de
Goiás, Campus Goiânia, como parte
dos requisitos necessários para
obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Civil**

**Orientador: Prof. Dr. Paulo Francinete
Silva Júnior**

**Goiânia, GO
2020**

X3 Xavier, Fellipe Alves.

Análise da influência da cal hidratada na aderência das argamassas de revestimento em obras das regiões centro-oeste e sul a partir do ano de 2010. / Fellipe Alves Xavier. – Goiânia : Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, 2021.
123f. ; il.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Francinete Silva Júnior.

TCC (Trabalho de Conclusão de Curso) – Curso de Bacharelado em Engenharia Civil, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás.

1. Cal. 2. Argamassa. I. Silva Júnior, Paulo Francinete (orientador). II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás. III. Título.

CDD691.5

Ficha catalográfica elaborada pela bibliotecária Lana Cristina Dias Oliveira CRB1/ 2.631
Biblioteca Professor Jorge Félix de Souza,
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Câmpus Goiânia.

TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAÇÃO NO REPOSITÓRIO DIGITAL DO IFG - ReDi IFG

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Digital (ReDi IFG), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IFG.

Identificação da Produção Técnico-Científica

- | | |
|--|---|
| ☐ Tese | ☐ Artigo Científico |
| ☐ Dissertação | ☐ Capítulo de Livro |
| ☐ Monografia – Especialização | ☐ Livro |
| ☒ TCC - Graduação | ☐ Trabalho Apresentado em Evento |
| ☐ Produto Técnico e Educacional - Tipo: _____ | |

Nome Completo do Autor: Fellipe Alves Xavier

Matrícula: 20161011050052

Título do Trabalho: Análise da influência da cal hidratada na aderência das argamassas de revestimento em obras das regiões centro-oeste e sul a partir do ano de 2010

Restrições de Acesso ao Documento

Documento confidencial: ☒ Não ☐ Sim, justifique: _____

Informe a data que poderá ser disponibilizado no ReDi/IFG: 21/04/2021.

O documento está sujeito a registro de patente? ☐ Sim ☒ Não

O documento pode vir a ser publicado como livro? ☐ Sim ☒ Não

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O/A referido/a autor/a declara que:

- i. o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- ii. obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- iii. cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás.

_____, Goiânia, 01 / 04 / 2021.

Local

Data



Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

Fellipe Alves Xavier

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA CAL HIDRATADA NA ADERÊNCIA DAS
ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO EM OBRAS DAS REGIÕES CENTRO-
OESTE E SUL A PARTIR DO ANO DE 2010**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Coordenação de
Engenharia Civil, do Instituto Federal
de Educação, Ciência e Tecnologia de
Goiás, Campus Goiânia, como parte
dos requisitos necessários para
obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Civil

Aprovado em 22 de Março de 2021:



Paulo Francinete Silva Júnior, Doutor (IFG)
(Orientador)



Sérgio Azevedo Coelho, Me. (IFG)
(Coorientador)



Ricardo de Alcântara Ferreira, Me. (IFG)



Cláudio Marra Alves, Me. (IFG)

Goiânia, GO
2020

DEDICATÓRIA

Aos meus pais por todo o incentivo e apoio. A toda a minha família e amigos, pessoas que sempre me apoiam em minhas decisões e estão ao meu lado nos momentos de maior necessidade.

AGRADECIMENTOS

O desenvolvimento deste trabalho teve a participação fundamental de algumas pessoas. Agradeço a todos os responsáveis indiretos pela conclusão deste trabalho e, em especial:

- aos meus pais por todo o apoio e incentivo necessários para a conclusão do trabalho;*

- a Deus pelas oportunidades e por guiar meus passos, dando-me forças para seguir em frente e vencer os desafios;*

- aos meus amigos pelo apoio, principalmente, emocional;*

- ao meu orientador Paulo Francinete e coorientador Sérgio Azevedo por toda dedicação e auxílio para o bom desenvolvimento do trabalho;*

- à empresa WRocha Engenharia, aqui representada pelo Engº Vinicius Narciso, pelo fornecimento do acesso a todas as normas da ABNT.*

EPÍGRAFE

*“Que vossos esforços desafiem as impossibilidades, lembrai-vos de que as grandes coisas do homem foram conquistadas do que parecia impossível “
(Charles Chaplin)*

RESUMO

ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA CAL HIDRATADA NA ADERÊNCIA DAS ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO EM OBRAS DAS REGIÕES CENTRO-OESTE E SUL A PARTIR DO ANO DE 2010

AUTOR: Fellipe Alves Xavier
ORIENTADOR: Paulo Francinete Silva Júnior

A aderência é uma propriedade, referente interface entre substratos e revestimentos argamassados, que, mesmo nos dias atuais, gera inúmeras ocorrências de manifestações patológicas do tipo fissuras ou deslocamento de revestimentos. Ainda, essas manifestações patológicas, bastante frequente em obras de pequeno e médio porte, são comumente relacionadas a, entre outros fatores, o excesso de cal no traço de argamassa. Tal problemática é atribuída a falta de um traço padrão e controle tecnológico na produção de argamassas de revestimento de obras de pequeno e médio porte. Dessa forma, o presente trabalho tem como proposta estudar a influência gerada pela cal, presente em traços de argamassa de revestimento, na resistência a aderência da interface substrato/revestimento argamassado a partir do ensaio de resistência a tração na flexão (ensaio de arrancamento). Para isso, leva-se em consideração ensaios realizados nas regiões Centro-Oeste e Sul, a partir do ano de 2010, por pesquisadores terceiros, em três trabalhos base. Os trabalhos que serviram de base para o desenvolvimento do seguinte trabalho, foram desenvolvidos com dois ou mais traços diferentes entre proporções e tipos de materiais, principalmente o tipo da cal hidratada. Em seguida, foram apresentados os ensaios desenvolvidos por cada autor em seu respectivo trabalho e a apresentação e análise dos resultados obtidos em cada ensaio desenvolvido. Por fim, concluiu-se que a cal pode ser um fator tanto benéfico, quanto prejudicial, para a resistência de aderência à tração das argamassas de revestimento. A proporção de cal nos traços deve ser estudada e bem definida, pois com pouca ou muita quantidade de cal o revestimento vai perdendo sua capacidade de aderência. Sendo assim, dos traços analisados nos três trabalhos, o que obteve melhor desempenho foi 1:1:6 de cimento CP-II-Z, cal hidratada CH-III e areia natural média, com uma resistência de 0,89 Mpa.

Palavras-chave: Aderência. Argamassa. Cal. Revestimento.

ABSTRACT

ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF HYDRATED LIME ON THE ADHESION OF COATING MORTARS IN WORKS FROM CENTRAL-WEST AND SOUTHERN REGIONS FROM 2010

AUTHOR: Fellipe Alves Xavier
ADVISOR: Paulo Francinete Silva Júnior

Adhesion is a property regarding to the interface between substrates and mortar coatings, that even nowadays, causes many pathologies occurrences such as cracks and detachment of coats. These pathologies, quite common in small and medium-sized work, are usually related, among others factors, to excess of lime in the mortar mix. Such problem is attributed to the lack of a standard feature and technological control in the production of coating mortars for small and medium-sized works. Thus, the present work proposes to study the influence generated by lime, present in traces of coating mortar, on the adhesion resistance of the substrate/mortar coating interface from the flexural tensile strength test (pullout test). For that, it takes into consideration tests carried out in the Midwest and South regions, from the year 2010, by third researchers, in three basic studies. The works that served as a basis for the development of the following work, were developed with two or more different features between proportions and types of materials, mainly the type of hydrated lime. Then, the developed essays, by each author, were presented such as the analysis of the results obtained. Finally, it was concluded that lime can be both a beneficial and a detrimental factor for the tensile strength of the coating mortars. The proportion of lime in the lines must be studied because with little or a lot of lime the coating might lose its ability to adhere. Therefore, of the lines analyzed in the three studies, the one that obtained the best performance was 1: 1: 6 of CP-II-Z cement, hydrated lime CH-III and medium natural sand, with a resistance of 0.89 Mpa.

Keywords: Adherence. Mortar. Lime. Coating.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 –	Principais tipos de cal.....	28
Figura 2 –	Consumo de Cal.....	32
Figura 3 –	Projeção do consumo de cal, em toneladas, até 2030 em três cenários.....	33
Figura 4 –	Fatores de influência na aderência do revestimento argamassado.....	43
Figura 5 –	Argamassas com maior capacidade de retenção de água.....	54
Figura 6 –	Agitador mecânico de peneiras.....	66
Figura 7 –	Curva granulométrica do agregado.....	67
Figura 8 –	Determinação do índice de consistência.....	68
Figura 9 –	Ensaio de retenção de água.....	69
Figura 10 –	Ensaio de densidade de massa no estado fresco.....	70
Figura 11 –	Ensaio de densidade de massa no estado endurecido.....	71
Figura 12 –	Ensaio de absorção de água por capilaridade.....	72
Figura 13 –	Ensaio de resistência à tração na flexão.....	73
Figura 14 –	Ensaio de resistência à compressão.....	75
Figura 15 –	Painel de alvenaria antes e depois da execução do revestimento argamassado.....	76
Figura 16 –	Mesa de queda.....	76
Figura 17 –	Execução do arrancamento.....	77
Figura 18 –	Formas de ruptura do corpo de prova.....	77
Figura 19 –	Padrões de rugosidade a) R1; b) R2.....	82
Figura 20 –	Ensaio de rugosidade a) R1; b) R2.....	82
Figura 21 –	Formas de compensado de madeira para painéis R1 (esquerda) e R2 (direita).....	83
Figura 22 –	Fixação dos corpos de prova no pórtico metálico.....	83
Figura 23 –	Formas de compensado de madeira para painéis R2 do ensaio de resistência de aderência ao cisalhamento.....	84
Figura 24 –	Desforma parcial dos corpos de prova do ensaio de resistência de aderência ao cisalhamento.....	85
Figura 25 –	Limpeza dos corpos de prova para ensaio de resistência de aderência à tração.....	89
Figura 26 –	Umidificação da superfície do substrato.....	89
Figura 27 –	Projeção de argamassa na superfície do substrato.....	90
Figura 28 –	Desempenamento do revestimento argamassado.....	90
Figura 29 –	Corte do revestimento com auxílio de serra copo.....	91
Figura 30 –	Realização do ensaio: a) montagem do equipamento; b) corpos de prova após execução do ensaio.....	91
Figura 31 –	Limpeza dos corpos de prova para ensaio de resistência de aderência ao cisalhamento.....	92
Figura 32 –	Máquina utilizada no ensaio de cisalhamento direto.....	92
Figura 33 –	Lançamento da argamassa no substrato.....	95

Figura 34 –	Desempeno do revestimento.....	96
Figura 35 –	Pastilha fixada no revestimento.....	96
Figura 36 –	Aplicação da carga no revestimento.....	96
Figura 37 –	Tipos de ruptura: superficial (a esquerda) e profunda (a direita).....	97
Figura 38 –	Realização do ensaio de permeabilidade/absorção de água.....	98
Figura 39 –	Realização do ensaio de esclerometria de pêndulo.....	99
Figura 40 –	Histogramas para visualização da frequência do arrancamento baseado na profundidade dos traços a) 1:2:9; b) 1:1:6; c) 1:0,5:3,4	111
Figura 41 –	Análise de Variância trabalho 3.....	115

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 –	Principais tipos de cimento portland.....	26
Quadro 2 –	Exigências químicas e físicas das cales virgem e hidratada.....	29
Quadro 3 –	Exigências químicas das cales hidratadas.....	31
Quadro 4 –	Exigências físicas das cales hidratadas.....	31
Quadro 5 –	Métodos de Lavra.....	35
Quadro 6 –	Classificação das argamassas quanto a composição.....	37
Quadro 7 –	Classificação das argamassas quanto a função.....	38
Quadro 8 –	Classificação das argamassas no estado fresco de acordo com a densidade de massa.....	46
Quadro 9 –	Classificação das argamassas no estado endurecido de acordo com a densidade de massa aparente.....	47
Quadro 10 –	Classificação das argamassas quanto a resistência à compressão.....	53
Quadro 11 –	Classificação das argamassas quanto a retenção de água.....	54
Quadro 12 –	Cimento Portland de Alto-Forno e Pozolânico.....	58
Quadro 13 –	Cimento Portland Comum e Composto.....	60
Quadro 14 –	Resumo dos painéis ensaiados.....	97
Quadro 15 –	Classificação das argamassas quanto ao coeficiente de capilaridade.....	103
Quadro 16 –	Classificação das argamassas quanto a resistência à tração na flexão.....	104
Quadro 17 –	Limites de resistência de aderência à tração.....	106

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Traço padrão Trabalho 1.....	63
Tabela 2 –	Traços utilizados no Trabalho 2.....	64
Tabela 3 –	Dados granulométricos do agregado.....	66
Tabela 4 –	Caracterização do cimento.....	78
Tabela 5 –	Caracterização da cal hidratada.....	79
Tabela 6 –	Caracterização do agregado miúdo.....	80
Tabela 7 –	Caracterização do pigmento.....	80
Tabela 8 –	Dosagem dos traços de concreto.....	82
Tabela 9 –	Resultados do ensaio de rugosidade.....	83
Tabela 10 –	Caracterização do concreto.....	85
Tabela 11 –	Dosagem das argamassas.....	86
Tabela 12 –	Resultados do ensaio de consistência do trabalho 1.....	99
Tabela 13 –	Resultados do ensaio de retenção de água do trabalho 1.....	100
Tabela 14 –	Resultado do ensaio de densidade de massa do trabalho 1.....	101
Tabela 15 –	Resultado do ensaio de teor de ar incorporado do trabalho 1.....	102
Tabela 16 –	Resultados do ensaio de densidade de massa aparente do trabalho 1.....	102
Tabela 17 –	Resultados do ensaio de absorção de água do trabalho 1.....	103
Tabela 18 –	Resultados do ensaio de tração na flexão do trabalho 1.....	104
Tabela 19 –	Resultados do ensaio de compressão do trabalho 1.....	105
Tabela 20 –	Resultados do ensaio de aderência à tração do trabalho 1.....	106
Tabela 21 –	Resultados de umidade média e formas de ruptura das amostras.....	106
Tabela 22 –	Resultados do ensaio de densidade de massa e teor de ar incorporado do trabalho 2.....	107
Tabela 23 –	Resultados do ensaio de índice de consistência e penetração do cone do trabalho 2.....	108
Tabela 24 –	Resultados do ensaio de compressão e tração na flexão do trabalho 2.....	109
Tabela 25 –	Resultados do ensaio de absorção de água do trabalho 2.....	110
Tabela 26 –	Resultados do ensaio de absorção de água do trabalho 2.....	110
Tabela 27 –	Resultados do ensaio de aderência à tração do trabalho 2.....	112
Tabela 28 –	Resultados dos ensaios de caracterização da argamassa no	

	estado fresco do trabalho 3.....	113
Tabela 29 –	Resultados dos ensaios de caracterização da argamassa no estado endurecido do trabalho 3.....	114
Tabela 30 –	Melhores resultados de resistência de aderência à tração.....	115

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABCP	Associação Brasileira dos Produtores de Cal
a.C.	Antes de Cristo
ANEPAC	Associação Nacional das Entidades Produtoras de Agregados para Construção Civil
CP	Cimento Portland
CPP	Cimento para Poços Petrolíferos
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
RDM	Revestimento Decorativo Monocamada
NR	Norma Brasileira
RST	Resistência Superficial à Tração

LISTA DE SÍMBOLOS

°C	Graus Celsius
%	Porcentagem
C ₃ A	Aluminato Tricálcico
CaCO ₃	Carbonato de Cálcio
CaO	Óxido de Cálcio
CO ₂	Dióxido de Carbono
H ₂ O	Água
Ca(OH) ₂	Hidróxido de Cálcio
MgO	Óxido de Magnésio
SO ₃	Óxido Sulfúrico
Mm	Milímetros
g/cm ²	Grama por centímetro quadrado
g/cm ³	Grama por centímetro cubico
kg/m ³	Quilograma por centímetro cubico
mm/μs	Milímetros por micro segundos
m ²	Metro quadrado
cm ³	Centímetros cúbicos
E _{ci,i}	Módulo de elasticidade estático
σ _b	Tensão maior
σ _a	Tensão básica
ε _b	Deformação específica
E _d	Módulo de elasticidade dinâmico
v	Velocidade de propagação da onda ultra sônica
ρ	Densidade de massa aparente
μ	Coeficiente de Poisson
A	Teor de ar incorporado
d	Densidade de massa
d _t	Densidade de massa teórica
MPa	Mega Pascal
GPa	Giga Pascal
ρ _{máx}	Densidade de massa
m	Massa
v	Volume
m _c	Massa do recipiente cilíndrico contendo a argamassa
m _v	Massa do recipiente cilíndrico vazio
v _r	Volume do recipiente cilíndrico vazio
N/s	Newtons por segundo
N	Newton
g/dm ² .min ^{1/2}	Grama por decímetro ao quadrado minuto a meia

kgf/cm ²	Quilograma força por centímetro quadrado
kPa	Quilopascal

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
1.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	17
1.2	OBJETIVOS.....	19
1.2.1	OBJETIVO GERAL.....	19
1.2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	19
1.3	JUSTIFICATIVAS	20
1.4	ESTRUTURA DO TRABALHO	22
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	23
2.1	DEFINIÇÕES	23
2.1.1	ARGAMASSAS.....	23
2.1.2	REVESTIMENTOS ARGAMASSADOS.....	23
2.2	COMPOSIÇÃO DA ARGAMASSA	24
2.2.1	AGLOMERANTES	24
2.2.1.1	CIMENTO	25
2.2.1.1.1	DEFINIÇÃO	25
2.2.1.1.2	COMPOSIÇÃO.....	25
2.2.1.1.3	TIPOS.....	25
2.2.1.2	CAL	26
2.2.1.2.1	DEFINIÇÃO	26
2.2.1.2.2	COMPOSIÇÃO.....	26
2.2.1.2.3	TIPOS.....	27
2.2.1.2.3.1	CAL VIRGEM, VIVA OU ORDINÁRIA	29
2.2.1.2.3.2	CAL HIDRATADA OU EXTINTA	30
2.2.1.2.4	IMPORTÂNCIA DA CAL NA CONSTRUÇÃO	32
2.2.2	AGREGADO MIÚDO	34
2.2.2.1	DEFINIÇÃO.....	34
2.2.2.2	TIPOS.....	34
2.2.3	ÁGUA.....	36
2.2.4	ADITIVOS	36
2.3	CLASSIFICAÇÃO DAS ARGAMASSAS.....	37

2.4	ESTRUTURA DAS ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO.....	38
2.4.1	CHAPISCO	38
2.4.2	EMBOÇO	39
2.4.3	REBOCO.....	39
2.4.4	CAMADA ÚNICA	39
2.4.5	REVESTIMENTO DECORATIVO MONOCAMADA (RDM)	40
2.5	FUNÇÕES DOS REVESTIMENTOS DE ARGAMASSA	40
2.6	PROPRIEDADES DAS ARGAMASSAS	41
2.6.1	ADERÊNCIA	41
2.6.2	ADESÃO INICIAL	43
2.6.3	CONSISTÊNCIA	44
2.6.4	DENSIDADE DE MASSA	45
2.6.5	DURABILIDADE	47
2.6.6	ELASTICIDADE	49
2.6.7	PERMEABILIDADE	50
2.6.8	PLASTICIDADE	51
2.6.9	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO	52
2.6.10	RETENÇÃO DE ÁGUA.....	53
2.6.11	RETRAÇÃO	54
2.6.12	TEOR DE AR INCORPORADO	55
2.6.13	TRABALHABILIDADE.....	56
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	57
3.1	MATERIAIS UTILIZADOS.....	57
3.1.1	TRABALHO 1.....	57
3.1.1.1	CIMENTO.....	58
3.1.1.2	CAL HIDRATADA.....	59
3.1.1.3	AGREGADO MIÚDO.....	59
3.1.1.4	ÁGUA.....	59
3.1.2	TRABALHO 2.....	59
3.1.2.1	CIMENTO.....	60

3.1.2.2 CAL HIDRATADA.....	60
3.1.2.3 AGREGADO MIÚDO.....	61
3.1.2.4 ÁGUA.....	61
3.1.2.5 PIGMENTO.....	61
3.1.3 TRABALHO 3.....	61
3.1.3.1 CIMENTO.....	62
3.1.3.2 CAL HIDRATADA.....	62
3.1.3.3 AGREGADO MIÚDO.....	62
3.1.3.4 ÁGUA.....	62
3.2 TRAÇOS.....	63
3.2.1 TRABALHO 1.....	63
3.2.2 TRABALHO 2.....	63
3.2.3 TRABALHO 3.....	64
3.3 ENSAIOS.....	64
3.3.1 TRABALHO 1.....	64
3.3.1.1 CARACTERIZAÇÃO.....	65
3.3.1.1.1 CIMENTO.....	65
3.3.1.1.2 CAL HIDRATADA.....	65
3.3.1.1.3 AGREGADO MIÚDO.....	65
3.3.1.2 ARGAMASSA.....	67
3.3.1.2.1 ÍNDICE DE CONSISTÊNCIA.....	67
3.3.1.2.2 RETENÇÃO DE ÁGUA.....	68
3.3.1.2.3 DENSIDADE DE MASSA.....	70
3.3.1.2.4 TEOR DE AR INCORPORADO.....	70
3.3.1.2.5 DENSIDADE DE MASSA APARENTE.....	71
3.3.1.2.6 ABSORÇÃO DE ÁGUA.....	71
3.3.1.2.7 TRAÇÃO NA FLEXÃO.....	73
3.3.1.2.8 COMPRESSÃO.....	74
3.3.1.2.9 ADERÊNCIA À TRAÇÃO.....	75

3.3.2 TRABALHO 2.....	78
3.3.2.1 CARACTERIZAÇÃO.....	78
3.3.2.1.1 CIMENTO.....	78
3.3.2.1.2 CAL HIDRATADA.....	79
3.3.2.1.3 AGREGADO MIÚDO.....	79
3.3.2.1.4 PIGMENTO.....	80
3.3.2.1.5 CONCRETO.....	81
3.3.2.2 ARGAMASSA.....	86
3.3.2.2.1 DENSIDADE DE MASSA.....	86
3.3.2.2.2 TEOR DE AR INCORPORADO.....	87
3.3.2.2.3 ÍNDICE DE CONSISTÊNCIA.....	87
3.3.2.2.4 PENETRAÇÃO DO CONE.....	87
3.3.2.2.5 TRAÇÃO NA FLEXÃO.....	87
3.3.2.2.6 COMPRESSÃO.....	87
3.3.2.2.7 ABSORÇÃO DE ÁGUA.....	88
3.3.2.2.8 MÓDULO DE ELASTICIDADE DINÂMICO.....	88
3.3.2.2.9 ADERÊNCIA À TRAÇÃO.....	88
3.3.2.2.10 ADERÊNCIA AO CISALHAMENTO.....	91
3.3.3 TRABALHO 3.....	92
3.3.3.1 CARACTERIZAÇÃO.....	93
3.3.3.2 ARGAMASSA.....	93
3.3.3.2.1 DENSIDADE DE MASSA.....	93
3.3.3.2.2 PENETRAÇÃO DO CONE.....	93
3.3.3.2.3 RETENÇÃO DE ÁGUA.....	94
3.3.3.2.4 TEOR DE AR INCORPORADO.....	94
3.3.3.2.5 COMPRESSÃO.....	94
3.3.3.2.5 RESISTÊNCIA SUPERFICIAL À TRAÇÃO E ADERÊNCIA À TRAÇÃO.....	94
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	99
4.1 TRABALHO 1.....	99
4.1.1 CONSISTÊNCIA.....	99

4.1.2	RETENÇÃO DE ÁGUA.....	100
4.1.3	DENSIDADE DE MASSA.....	101
4.1.4	TEOR DE AR INCORPORADO.....	101
4.1.5	DENSIDADE DE MASSA APARENTE.....	102
4.1.6	ABSORÇÃO DE ÁGUA.....	103
4.1.7	TRAÇÃO NA FLEXÃO.....	104
4.1.8	COMPRESSÃO.....	104
4.1.9	ADERÊNCIA À TRAÇÃO.....	105
4.2	TRABALHO 2.....	107
4.2.1	DENSIDADE DE MASSA E TEOR DE AR INCORPORADO.....	107
4.2.2	ÍNDICE DE CONSISTÊNCIA E PENETRAÇÃO DO CONE.....	108
4.2.3	COMPRESSÃO E TRAÇÃO NA FLEXÃO.....	108
4.2.4	ABSORÇÃO DE ÁGUA.....	109
4.2.5	MÓDULO DE ELASTICIDADE DINÂMICO.....	110
4.2.6	ADERÊNCIA À TRAÇÃO.....	111
4.3	TRABALHO 3.....	112
4.3.1	CARACTERIZAÇÃO DA ARGAMASSA NO ESTADO FRESCO.....	112
4.3.2	CARACTERIZAÇÃO DA ARGAMASSA NO ESTADO ENDURECIDO.....	113
5	CONCLUSÃO.....	115
	REFERÊNCIAS.....	118

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A argamassa é um composto imprescindível para a construção civil. Essa mistura é largamente utilizada no dia a dia das diversas obras pelo mundo todo, para assentamento de blocos e revestimento de paredes e tetos compostos por diversos materiais (cimentícios, cerâmicos, entre outros), vez que suas propriedades ligantes lhes permitem ter um bom desempenho na construção desses elementos. Graças as suas propriedades de aderência e trabalhabilidade, as argamassas são usadas durante várias etapas da construção, sendo um item utilizado na composição da estrutura até o acabamento da obra, com revestimentos argamassados (MALINVERNI, 2016).

Segundo Alvarez, Sequeira e Costa (2005), os primeiros registros de uso de argamassa no mundo foram encontrados em Israel, região que na época da utilização da mistura era denominada Galileia, e foram aplicadas há mais de 10.000 anos atrás. Depois dessa descoberta, encontrou-se registros da utilização de outros vários materiais, por exemplo, gesso e cal nas cabeças de estátuas construídas em Eynan, Jericó, a cerca de 8.000 a 7.000 a.C. Ainda, nessa mesma época, encontrou-se registros da utilização de reboco de gesso nas paredes de construções na Turquia. Dessa forma, pode-se observar a importância da argamassa desde as construções mais arcaicas.

Hodiernamente, a construção civil apresenta um crescimento acelerado, que acarreta em uma elevada demanda por materiais, técnicas e processos mais eficientes (SANTOS, 2014). Devido ao crescimento da competitividade no mercado da construção civil, as empresas têm buscado constantemente reduzir os custos no processo de execução de novos empreendimentos através da evolução do processo construtivo (MALINVERNI, 2016).

Entretanto, um problema já observado por Reddy e Jagadisch (2003), uma parte considerável das argamassas produzidas no Brasil possuem resistências mecânicas, de aderência e física, insatisfatórias. Em detrimento, a construção civil em geral busca evoluções construtivas, que exigem cada vez mais das argamassas de assentamento e revestimento, como as construções em alvenaria estrutural,

argamassa armada pré-moldada, pisos de alta resistência, revestimentos convencionais e de alta performance e alta resistência, entre outros processos aplicados de acordo com a exigência dos novos modelos construtivos: prédios cada vez mais altos e vãos cada vez maiores (SANTOS, 2014).

Todavia, o desempenho físico das argamassas não é um problema recente. Como já observado por Grimm e Houston (1975), citado por Carasek (1997), o estudo da propriedade de aderência das argamassas aplicadas em substratos porosos é um interesse antigo, tendo os primeiros trabalhos publicados a nível internacional datados de 1832, Shaw, e 1909, Baker, os quais abortam um estudo empírico e já alertam para a necessidade de molhar os tijolos com alta capacidade de sucção para garantir uma boa aderência.

Já no Brasil o estudo das propriedades físicas da argamassa é mais recentes. Segundo Vaz e Carasek (2019), a aderência vem sendo estudada com maior enfoque desde o marco normativo da NBN 813-05, que detalhava o ensaio de resistência a aderência *pull-off*, ou “arrancamento”, no fim da década de 60 e início da década de 70.

Dessa forma, busca-se constantemente por argamassas mais resistentes à aderência. Alguns profissionais adicionam cal ao traço de argamassa para melhorar, entre outras propriedades, a aderência do composto. A cal é um material bastante utilizado historicamente como já observado por Guimarães (2002) e citado por Silva (2006), “o homem conheceu a cal provavelmente nos primórdios da Idade da Pedra (período Paleolítico), ao final do Pliocênico. Ainda, segundo o autor, por volta de 3000 a.C. foram achadas ruínas cujo solo argiloso foi estabilizado com cal para a construção da Pirâmide de Shersi, na região de Tibet. Análises feitas nos materiais utilizados na vedação das câmaras da pirâmide de Quéops (2614-2591 a.C.) e nas juntas dos blocos de calcário e granito da pirâmide de Quéfrem (2590-2568 a.C.) revelaram a presença da cal”.

A contribuição da cal na resistência de aderência das argamassas foi observada por alguns autores, dentre eles John (2003), que explorou por meio de ensaios a influência da adição de cal hidratada em argamassas, sendo notório a redução do módulo de elasticidade, possibilitando a máxima resistência de aderência do composto e, conseqüentemente, acréscimo na vida útil do revestimento. Essa resistência e a propriedade que diz respeito a capacidade da

argamassa de permanecer aderida ao substrato e, dessa forma, resistir às solicitações externas capazes de promover o arrancamento do revestimento.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho é analisar a influência gerada pela adição de cal hidratada na aderência de revestimentos argamassados através da análise de resultado experimentais desenvolvidos nas regiões Centro-Oeste e Sul a partir do ano de 2010.

1.2.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos do trabalho em questão são:

- Realizar estudo bibliográfico acerca da composição das argamassas de revestimento;
- Realizar estudo bibliográfico acerca dos tipos e composição das cales utilizadas nos revestimentos argamassados;
- Realizar estudo bibliográfico acerca da estrutura, funções e propriedades dos revestimentos argamassados;
- Identificar estudos referentes à resistência de aderência de revestimentos argamassados realizados nas regiões Centro-Oeste e Sul a partir do ano de 2010;
- Identificar e descrever as condições propostas para a elaboração de cada estudo selecionado para realizar o desenvolvimento do trabalho em desenvolvimento;
- Apresentar e avaliar os resultados individuais obtidos em cada estudo selecionado;

- Avaliar a influência da cal hidratada na aderência de revestimentos argamassados em construções das regiões Centro-Oeste e Sul e comparar os resultados obtidos.

1.3 JUSTIFICATIVAS

A construção civil está em constante desenvolvimento e, conseqüentemente, busca-se, cada vez mais, soluções construtivas mais eficientes e, para isso, exige-se maior qualificação da mão-de-obra e melhor desempenho dos materiais empregados. Dessa forma, há um aumento progressivo na qualificação e disponibilidade de mão de obra no mercado e uma melhoria contínua nos processos construtivos. Ainda, observa-se a evolução regular das características dos materiais aplicados, além do emprego de novos materiais/soluções construtivas, por exemplo, alvenarias estruturais, que dispensam a existência de uma estrutura comum de vigas e pilares.

Entretanto, há uma grande dificuldade, por parte das características e propriedades dos materiais, de se acompanhar a exigência do mercado da construção civil com novas soluções arquitetônicas. Sendo assim, é muito comum encontrar construções com manifestações patológicas nos revestimentos argamassados do tipo deslocamento, principalmente em fachadas de edifícios. Essa manifestação patológica é causada pelo baixo desempenho mecânico, resistência à aderência, dos revestimentos.

A solução adotada por algumas construtoras foi terceirizar a produção da argamassa, processo comum para produção de concreto que em muitas obras de médio e grande porte é terceirizado para empresas denominadas concreteiras. Esse processo gera redução de desperdícios, melhor gestão da mão-de-obra, redução da necessidade de estoque de materiais no canteiro de obras, controle tecnológico garantido pela empresa responsável pela produção da argamassa, entre outros benefícios (MALINVERNI, 2016).

Entretanto, o custo da terceirização do processo de produção da argamassa é, muitas vezes, elevado, principalmente para pequenas construções, tornando-se inviável a contratação desse serviço. Dessa forma, a produção da argamassa fica sob responsabilidade da obra, com um traço de argamassa mista de cimento e cal,

que, diversas vezes, produz sem um controle de qualidade adequado dos materiais empregados, em alguns casos, até mesmo sem a existência de um traço fixo (MALINVERNI, 2016).

Destarte, a cal tem função importante nos traços de argamassa produzidos nas obras, vez que é um material comumente adicionado na composição dos traços devido a sua abundância e a contribuição na trabalhabilidade das argamassas, melhorando o rendimento da execução do serviço. Sendo assim, a adição das diversas cales hidratadas na composição do traço das argamassas produzidas *in locu* não seguem uma quantidade padrão, o que pode causar prejuízos futuros para a construção (FORTI, 2017).

Além disso, um dado levantado por Sayegh (2004), citado por Segat (2005), 15% dos atendimentos pós-obra dentro do prazo de garantia são relacionados a manifestações patológicas no revestimento do tipo fissuração, com grande predominância aos revestimentos de fachadas. Esse dado, como citado pelo próprio autor, causa um alerta aos responsáveis por construções, pois o progresso da construção civil não é acompanhado pela evolução dos materiais empregados. Enquanto o mercado de forma geral, regido por desafios arquitetônicos, busca por evoluções no tamanho dos vãos, nas alturas dos edifícios; as soluções construtivas buscam soluções para a fissuração de casas térreas, problemas com estanqueidade por falta de impermeabilização, entre outros. Outro agravante é a crescente concorrência do mercado, tendo como consequência a necessidade pela redução de custos e a desvalorização da mão-de-obra em detrimento ao aumento das exigências por produtividade (maior velocidade aliado a uma melhor qualidade na execução dos serviços).

Portanto, torna-se importante realizar estudos detalhados a respeito de traços de argamassa tradicionais e o desempenho de resistência a aderência dos revestimentos argamassados produzidos pelos mesmos. Ainda, é importante salientar que o trabalho em desenvolvimento tinha como metodologia a execução de ensaios relacionados ao tema proposto. Entretanto, devido a pandemia relacionada a Covid-19 (coronavírus) adaptou-se o trabalho para um estudo baseado em experimentos realizados por pesquisadores nas regiões Centro-Oeste e Sul a partir do ano 2010. A escolha das regiões foi realizada considerando a região de

desenvolvimento do presente trabalho e a região onde mais se utiliza cal hidratada na composição de argamassas de revestimento, respectivamente.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

A estrutura do trabalho foi dividida em 5 capítulos. Sendo que no primeiro capítulo é apresentado a importância da utilização da argamassa na indústria da construção civil, o objetivo geral e os objetivos específicos com relação a temática abordada. Além disso, apresentam-se as justificativas que comprovam a necessidade de estudos aprofundados sobre o tema proposto.

O segundo capítulo é composto por uma revisão bibliográfica a respeito da temática. Neste capítulo são explanados assuntos relacionados à argamassa. Primeiramente são apresentadas as definições de argamassa e revestimento argamassado e, de maneira detalhada, cada material que compõe o traço tradicional das argamassas produzidas nos diversos canteiros de obras atualmente. Em seguida, são apresentados os tipos de argamassas de revestimentos e a estrutura física dos revestimentos argamassados. Por fim, são apresentadas as principais propriedades das argamassas de revestimento.

Por fim, no terceiro capítulo foram apresentados os ensaios executados em cada um dos três trabalhos selecionados. Os ensaios foram descritos de acordo com o executado por cada autor e conferido com a respectiva norma citada e baseada por cada autor. Já o capítulo quatro foi composto pelos resultados e discussões dos ensaios realizados e descritos no terceiro capítulo. Neste capítulo foram apresentados os resultados obtidos pelo autor(es) de cada trabalho base e a interpretação desses respectivos resultados, realizada de maneira pessoal e com base nas discussões particulares de cada autor. O trabalho foi finalizado com a apresentação do quinto capítulo, de conclusão, aonde foram apresentadas conclusões finais acerca do tema trabalhado e do desenvolvimento geral do trabalho. Ainda, foram apresentadas sugestões de temas futuros para o desenvolvimento da temática em questão.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 DEFINIÇÕES

2.1.1 Argamassas

A NBR 13529 (ABNT, 2013) define as argamassas de revestimento como uma mistura homogênea composta por aglomerantes inorgânicos, agregado miúdo e água, podendo conter ou não aditivos capazes de mudar suas propriedades, sendo que as propriedades características das argamassas são as capacidades de aderência a substratos e de endurecimento.

Além da argamassa tradicional de revestimento, existem inúmeras variações na composição dessas misturas homogêneas criadas para atender à exigência de cada serviço. Pode-se citar, baseado na NBR 13529 (ABNT, 2013), a existência das seguintes argamassas: comum, aditivada, colante, aérea, hidráulica, de cal, de cimento, de cimento e cal, mista, simples, de aderência melhorada, de proteção radiológica, hidrófuga, de permeabilidade reduzida, termoisolante e industrializada.

Existem outros inúmeros tipos de argamassas com as mais variadas composições criadas para atender a necessidade de cada serviço ou solucionar um problema em específico de alguns tipos de obras.

2.1.2 Revestimentos argamassados

O revestimento argamassado é uma camada de proteção da alvenaria utilizada a partir de procedimentos tradicionais de aplicação de argamassa em determinada superfície lisa ou áspera com uma ou mais camadas sobrepostas de argamassa, dependendo do tipo de execução do revestimento, em espessura normalmente uniforme e com um acabamento geralmente liso, ou desempenado, capaz de receber o acabamento final que habitualmente é composto pela pintura com tinta apropriada para cada tipo de ambiente (SILVA, 2006).

A NBR 13529 (ABNT, 2013) define o sistema de revestimento com argamassas como um “cobrimento de uma superfície com uma ou mais camadas

sobrepostas de argamassa, apto a receber acabamento decorativo ou constituir-se em acabamento final”.

Esse revestimento tem como principais funções proteger o substrato, essencialmente contra as condições ambientais do tipo sol, chuva, excesso de umidade, entre outros fatores, e servir como estrutura de base para o revestimento final, pois é uma mistura com alta capacidade de aderência ao substrato e, além disso, permite regularizar a superfície de forma a permitir a execução do acabamento decorativo ou, até mesmo, servir como o próprio revestimento decorativo, permitindo um aspecto visual satisfatório.

Além disso, a NBR 13529 (ABNT, 2013) define sistema de revestimento como a estrutura prevista em projeto capaz de apresentar um acabamento final agradável visualmente e com desempenho previsto em projeto às condições de exposições ambientais do local. Este revestimento é composto pelo revestimento de argamassa e o acabamento decorativo, compatível com a natureza da base.

2.2 COMPOSIÇÃO DA ARGAMASSA

2.2.1 Aglomerantes

Os aglomerantes são os materiais ligantes ativos responsáveis por promover a ligação entre as partículas de agregados. Em geral os principais aglomerantes utilizados na composição das argamassas são cimento, cal e gesso, dispostos de forma decrescente no quesito utilização (SILVA, 2006).

Esses compostos são divididos em dois tipos: aéreos e hidráulicos. Os aéreos são os produtos que depois de endurecido conservam suas propriedades na presença do ar, sendo sensíveis ao contato com umidade excessiva, por exemplo, cal aérea e gesso. Já os aglomerantes hidráulicos são produtos que conservam suas propriedades tanto na presença da água quanto do ar, por exemplo, cimento e cal hidráulica (SANTOS, 2014).

2.2.1.1 Cimento

2.2.1.1.1 Definição

A Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), através do Guia Básico de Utilização do Cimento Portland, define cimento como um material fino que endurece através de reações químicas sob contato com água e que possui propriedades aglomerantes, aglutinantes ou ligantes. Ainda, é um material que depois de endurecido perde o poder de reação quando entra em contato com a água, ou seja, perde a sensibilidade à água.

2.2.1.1.2 Composição

Os cimentos são compostos por um material principal, presente em todos os tipos de cimento, e de adições. O material principal é denominado de clínquer e as adições são os materiais responsáveis por mudar os tipos e as características dos diversos cimentos produzidos hodiernamente. De acordo com a ABCP os principais produtos do cimento são: clínquer e adições de gesso, escória de alto-forno, materiais pozolânicos e carbonáticos.

2.2.1.1.3 Tipos

Segundo a ABCP existem vários tipos de cimento que são consumidos no Brasil e são diferenciados pela composição. Os mais empregados em obras são: cimento Portland comum, cimento Portland composto, cimento Portland de alto-forno e cimento Portland pozolânico, como destacado no Quadro 1. Além desses cimentos, existem outros tipos também consumidos no Brasil, porém em menor escala, são eles: cimento Portland de alta resistência inicial, cimento Portland resistente aos sulfatos, cimento Portland branco, cimento Portland de baixo calor de hidratação e cimento para poços petrolíferos.

Todos os cimentos citados acima são regidos por normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

Quadro 1 – Principais tipos de cimento Portland

TIPO DE CIMENTO	SIGLA	NORMA
Cimento Portland Comum	CP I	NBR 5732
Cimento Portland Comum com Adição	CP I-S	
Cimento Portland Composto com Escória	CP II-E	NBR 11578
Cimento Portland Composto com Pozolana	CP II-Z	
Cimento Portland Composto com Filler	CP II-F	
Cimento Portland de Alto-Forno	CP III	NBR 5735
Cimento Portland Pozolânico	CP IV	NBR 5736
Cimento Portland de Alta Resistência Inicial	CP V-ARI	NBR 5733
Cimento Portland Branco	CPB	NBR 12989

Fonte: Do autor (2020)

2.2.1.2 Cal

2.2.1.2.1 Definição

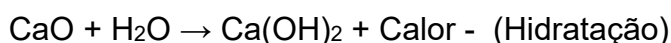
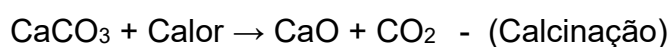
A Associação Brasileira dos Produtores de Cal (ABPC), a partir do guia das argamassas nas construções, define a cal como um pó branco derivado de rochas calcárias compostas por carbonatos de cálcio e/ou carbonatos de magnésio. A produção da cal é realizada a partir da extração e britagem das rochas calcárias, que, em seguida, são levadas a fornos com altas temperaturas (cerca de 1000 °C) em um processo de “queima”. Esse processo, popularmente conhecido como calcinação, gera a cal virgem, também denominada cal extinta ou cal ordinária, composta por óxidos de cálcio e magnésio.

2.2.1.2.2 Composição

As cales virgens, produtos diretos da calcinação das rochas calcárias, são constituídas basicamente de óxidos de cálcio ou de uma mistura de óxidos de cálcio e magnésio, apresentando-se na forma de pedras, ou moídas. A cal virgem é separada em três tipologias, que são definidas de acordo com a porcentagem de cal presente na composição de cada uma: cálcica, magnesiana e dolomítica (SILVA, 2009).

Outro tipo bastante comum de cal é a cal hidratada. Segundo a NBR 7175 (ABNT, 2003), a cal hidratada é um pó branco resultante de um processo de hidratação das cales virgens e é constituída pela mistura de hidróxido de cálcio, hidróxido de magnésio e água, ou ainda, hidróxido de cálcio, hidróxido de magnésio, óxido de magnésio e água.

Segundo a ABCP, a partir do guia das argamassas nas construções (2004), e Silva (2009), as reações de produção da cal virgem (calcinação) e cal hidratada (hidratação), são respectivamente:



2.2.1.2.3 Tipos

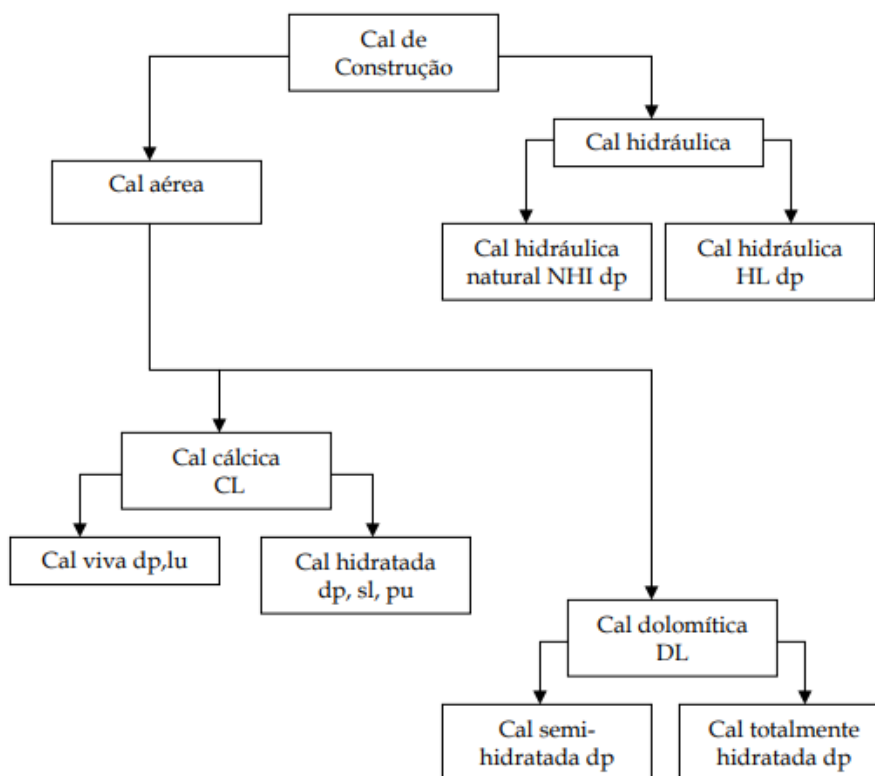
As duas tipologias de cal encontradas no mercado são divididas em cal aérea e cal hidráulica. Essas cales possuem subdivisões, conforme Figura 1. A primeira é constituída por óxido ou hidróxido de cálcio e tem como característica o endurecimento lento a partir do contato com dióxido de carbono. Ainda, é importante salientar que se obtêm a cal aérea a partir de calcários puros, carbonato de cálcio (CaCO_3) com teor de impureza menor que 5% ou carbonato de cálcio e magnésio (COELHO, TORGAL e JALALI, 2009).

Já a cal hidráulica, também conhecida como cal hidráulica artificial, é constituída por hidróxido de cálcio, silicatos de cálcio e aluminatos de cálcio e tem como característica o endurecimento debaixo d'água. Além da água, esse tipo de cal também tem como contribuição para o endurecimento o contato com o dióxido de carbono a partir da reação com o hidróxido de cálcio (COELHO, TORGAL e JALALI, 2009).

A diferença mais popularmente conhecida entre as cales aérea e hidráulica é a sua capacidade de manter-se íntegra ao entrar em contato com a água, após ter seu processo de endurecimento concluído. Dessa forma, pode-se diferir da seguinte forma: a cal aérea, após endurecida, sofre alteração em sua composição ao entrar em contato com a água; já a cal hidráulica, após endurecida, não sofre alteração em sua composição ao entrar em contato com a água. Ainda, as cales aéreas e

hidráulicas são compostas por vários tipos de cales, conforme apresentado no Figura 1.

Figura 1 – Principais tipos de cal



Fonte: NP EN 459-1:2002, extraído do livro A Cal na Construção (2009)

Sendo: dp (pó seco), lu (cal viva em pedaços), sl (leite de cal) e pu (pasta de cal).

Segundo Coelho, Torgal e Jalali (2009), a cal hidráulica é dividida em dois grupos principais:

- Cal Hidráulica Natural (NHL): possui as propriedades já citadas da cal hidráulica e é produzida pela calcinação de calcários argilosos ou silicosos, seguido de redução a pó por hidratação;
- Cal Hidráulica (NL): é a cal hidráulica propriamente dita conhecida em alguns países como Cal Hidráulica Artificial, possui as propriedades já citadas da cal hidráulica e é composta principalmente por hidróxido de cálcio, silicatos de cálcio e aluminatos de cálcio.

Já os dois principais grupos de cal aérea encontrados no mercado são as cales virgem ou viva e a hidratada ou extinta. A cal virgem é o produto obtido a partir

da queima das rochas calcárias britadas, processo conhecido como calcinação. Já a cal hidratada é uma variação da cal virgem obtida através do processo de hidratação ou extinção. O Quadro 2 apresenta as exigências físicas e químicas dessas cales.

Quadro 2 – Exigências químicas e físicas das cales virgem e hidratada

Parâmetros Físico-químicos	Unidade	Cal Virgem	Cal Hidratada	Referência normativa de Ensaio
Química				
Óxido total (CaO + MgO)t Base não volátil	%	≥ 90,0	≥ 90,0	NBR 6473
Óxido de Cálcio disponível (CaO disp)	%	≥ 80,0	≥ 65,0	NBR 6473
Hidróxido de Cálcio Ca(OH) ₂	%	-	≥ 85,0	NBR 6473
Óxido de Magnésio (MgO)	%	≤ 5,0	≤ 5,0	NBR 6473
CO ₂	%	≤ 4,0	≤ 4,0	NBR 6473
SO ₃	%	≤ 2,0	≤ 2,0	NBR 6473
Umidade	%	-	≤ 2,0	NBR 6473
Reatividade com elevação da temperatura	minuto	ΔT 30° ≤ 10 minutos	-	NBR 10790
Física (Granulometria)				
Material passante em peneira 9,6 mm	%	100		NBR-9552 (CV);
Material passante em peneira 4,8 mm	%	100		NBR-9552 (CV);
Material passante em peneira 2 mm	%	≥ 95,0		NBR-9552 (CV);
Material passante em peneira 0,21 mm	%	≥ 70,0	≥ 98,0	NBR-9552 (CV); NBR-9289 (CH)
Material passante em peneira 0,075 mm	%	≥ 50,0	≥ 93,0	NBR-9552 (CV); NBR-9289 (CH)

Fonte: Norma DNIT 418/2019 – Anexo A

2.2.1.2.3.1 Cal virgem, viva ou ordinária

A norma 418/2019, do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), define cal virgem como um óxido de cálcio associado

naturalmente com parcelas menores de óxido de magnésio. Esse tipo de cal tem origem direta da calcinação das rochas calcárias e apresenta-se o mercado em formatos granulado ou micro granulado.

A cal virgem é produzida a partir da calcinação, processo responsável por transformar o carbonato de cálcio (CaCO_3) em óxido de cálcio (CaO) a partir de uma temperatura elevada, dos calcários e dolomitos em alta temperatura que provoca a perda parcial dos constituintes da rocha, mais precisamente, do anidrido carbônico ou gás carbônico (CO_2) (SILVA, 2006).

Segundo Silva (2009), as cales vivas são compostas predominantemente por óxido de cálcio ou óxido de cálcio associado a parcelas menores de óxido de magnésio. A partir da variação na porcentagem de óxido de cálcio presente em cada cal virgem, classifica-se esses compostos em três grupos:

- Cal Virgem Cálcica: composta por 90 a 100% de óxido de cálcio em relação ao total de óxido presente;
- Cal Virgem Magnesiana: composta por 65 a 90% de óxido de cálcio em relação ao total de óxido presente;
- Cal Virgem Dolomítica: composta por 58 a 65% de óxido de cálcio em relação ao total de óxido presente.

2.2.1.2.3.2 Cal hidratada ou extinta

A norma 418/2019, do DNIT, define cal hidratada como o produto da hidratação ou extinção da cal virgem, que tem como produto um material apresentado como pó finamente dividido. Segundo a NBR 7175 (ABNT, 2003), a cal hidratada é um pó composto pela mistura entre hidróxido de cálcio e hidróxido de magnésio ou uma mistura entre hidróxido de cálcio, hidróxido de magnésio e óxido de magnésio.

A cal hidratada é um material resultante da mistura de óxidos anidros, presentes na cal virgem, e água. Assim como a cal virgem é classificada de acordo com a predominância de hidróxido presente ou, de forma mais clara, de acordo com a classificação da cal virgem que lhe dá origem: Cales Hidratadas Cálcica, Magnesiana e Dolomítica (SILVA, 2009).

Ainda, a classificação mais comum utilizada para a cal hidráulica é: CH-I, CH-II e CH-III. Essas cales são diferenciadas pela composição química ou, popularmente, pela pureza. A pureza da cal extinta é apresentada de forma decrescente da CH-I, mais pura, para CH-III, mais impura e com maior porcentagem de impurezas provenientes de materiais não calcinados e rochas (FORTI, 2017). Por fim, a NBR 7175 (2003) apresenta as exigências químicas, Quadro 3, e físicas, Quadro 4, que das cales hidratadas CH-I, CH-II e CH-III devem atender.

Quadro 3 – Exigências químicas das cales hidratadas

Compostos		Limites		
		CH-I	CH-II	CH-III
Anidrido carbônico (CO ₂)	Na fábrica	≤ 5 %	≤ 5 %	≤ 13 %
	No depósito	≤ 7 %	≤ 7 %	≤ 15 %
Óxidos de cálcio e magnésio não hidratado calculado (CaO+MgO) ¹⁾		≤ 10 %	≤ 15 %	≤ 15 %
Óxidos totais na base de não-voláteis (CaO _t + MgO _t) ²⁾		≥ 90 %	≥ 88 %	≥ 88 %

Fonte: ABNT NBR 7175 (2003)

Quadro 4 – Exigências físicas das cales hidratadas

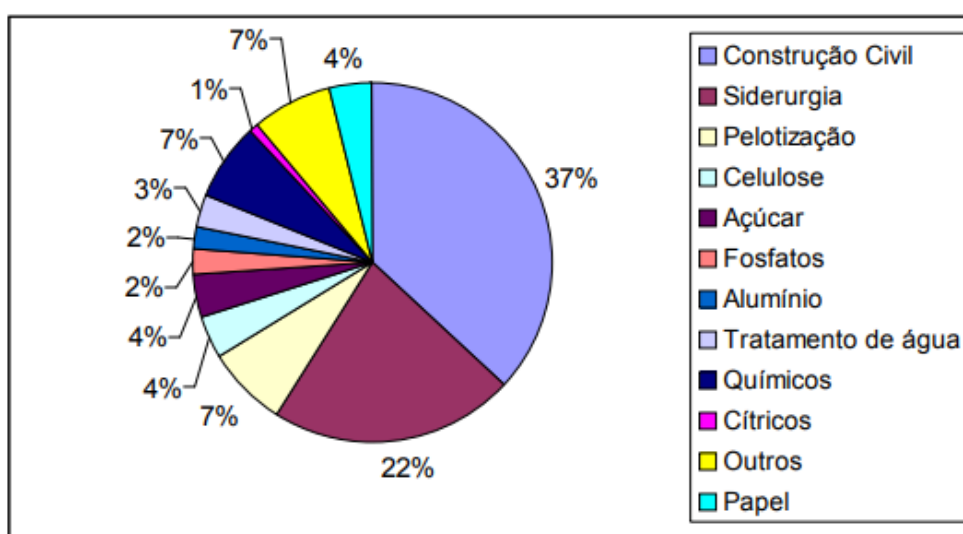
Compostos		Limites		
		CH-I	CH-II	CH-III
Finura (% retida acumulada)	Peneira 0,600 mm	" 0,5 %	" 0,5 %	" 0,5 %
	Peneira 0,075 mm	" 10 %	" 15 %	" 15 %
Retenção de água		≥ 75 %	≥ 75 %	≥ 70 %
Incorporação de areia		≥ 3,0	≥ 2,5	≥ 2,2
Estabilidade		Ausência de cavidades ou protuberâncias		
Plasticidade		≥ 110	≥ 110	≥ 110

Fonte: ABNT NBR 7175 (2003)

2.2.1.2.4 Impotência da cal na construção

O guia básico das argamassas nas construções, da ABPC (2004), cita algumas das diversas áreas de atuação da cal de modo geral, Figura 2, desde processos industriais de papel, celulose, açúcar, alimentos em geral, medicamentos, alumínio, carbureto de cálcio, soda cáustica, barrilha, couro, defensivos agrícolas, siderurgia, entre outros, até a agricultura e tratamento de águas destinadas ao abastecimento das cidades. Entretanto, apesar da vasta aplicabilidade da cal no cenário global, a área de atuação mais popular da cal hidratada é a construção civil.

Figura 2 – Consumo de Cal



Fonte: ABCP, extraído de Silva (2009)

A cal está presente em diversos materiais e utilizada para vários processos no setor da construção, pode-se citar os principais como: produção de argamassa e betões, pintura, estabilização de solos, revestimentos asfálticos e blocos de terra para alvenaria (COELHO, TORGAL e JALALI, 2009).

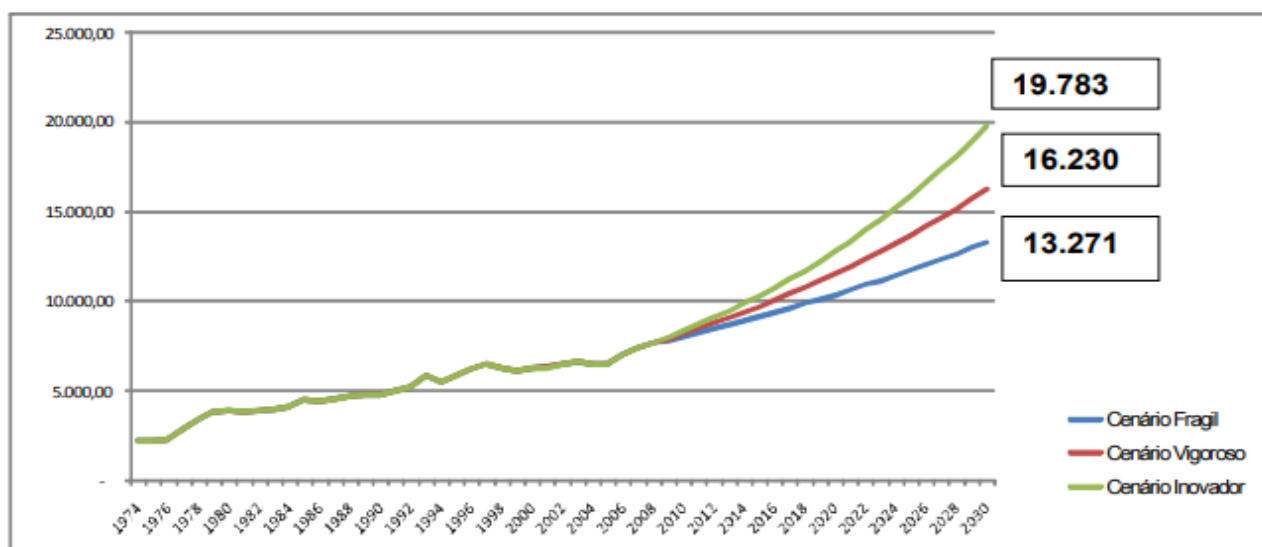
A principal atuação da cal na indústria da construção civil está na composição de argamassas. Esse produto pode atuar como aglomerante único ou fazer parte da mistura com outro(s) aglomerante(s), principalmente com o cimento. As argamassas produzidas com mistura de cal, ou argamassas de cal, são aplicadas com diversidade tanto no assentamento de blocos, quanto no revestimento de alvenarias (COELHO, TORGAL e JALALI, 2009).

As cales hidratadas são materiais que compõem diversos traços de argamassas desde a Antiguidade. A cal hidratada reage com o dióxido de carbono atmosférico e transforma-se em carbonatos sólidos. A principal função da cal

hidratada como componente de argamassas é unir os grãos de areia. Além disso, a cal hidratada nas argamassas proporciona algumas melhorias: elevado poder aglomerante, capaz de proporcionar a função já citada de unir os grãos de areia; economia, pois a cal tem menor massa unitária (maior volume com menos peso); plasticidade, reduz o atrito entre os grãos de areia por ser constituído por grãos muito finos (funciona como “lubrificante”); retenção de água, alta capacidade de retenção de água em torno das suas partículas; poder de incorporação de areia, devido a finura e ao elevado número de grãos presente na argamassa; resistência a compressão e aderência; proteção às armaduras, impede a oxidação das ferragens devido a sua alcalinidade (pH próximo de 12); compatibilidade com tinta; módulo de elasticidade baixo, implica em maior capacidade de absorver pequenas movimentações e, conseqüentemente, reduz o aparecimento de fissuras; durabilidade (ABPC, 2004).

Por fim, estudos realizados por especialistas projetam o crescimento no consumo de cal no mercado brasileiro, em geral, ano após ano até o último ano projetado, 2030, conforme ilustra a Figura 3 (SILVA, 2009).

Figura 3 – Projeção do consumo de cal, em toneladas, até 2030 em três cenários



Fonte: Silva (2009)

2.2.2 Agregado miúdo

2.2.2.1 Definição

A NBR 7122 (ABNT, 2009) define agregado miúdo basicamente como material granular que passa pela peneira de malha com abertura de 4,74 milímetros e ficam retidas na peneira de malha com abertura de 150 micrômetros. O processo de peneiramento para definição da granulometria dos agregados miúdos é definido na norma ABNT NBR NM 248 e com as peneiras apresentadas na norma ABNT NBR ISSO 3310-1.

Agregado miúdo é um termo utilizado no Brasil para referenciar às substâncias minerais areia natural, cascalho e rocha britada. Esse termo é usado pelo setor mineral produtor de agregados para o setor da construção. Tais minerais são utilizados na construção civil como matéria-prima produtora de diversas misturas, por exemplo, concreto, argamassa e revestimentos asfálticos e seus derivados. Além de estar presente como matéria-prima na produção de algumas misturas, o agregado miúdo é utilizado nas construções em sua forma natural nas bases dos pavimentos (SANTOS, 2014).

2.2.2.2 Tipos

Os agregados miúdos possuem diversas variações de acordo com fatores físicos e químicos. A MINEROPAR (2004) classifica, primeiramente, os agregados miúdos de acordo com sua origem em:

- Agregados Naturais: são os agregados encontrados na natureza e utilizados forma natural, por exemplo, areia de rio;
- Agregados Artificiais: são os agregados encontrados na natureza e tratados para serem utilizados como agregado miúdo, por exemplo, areias provenientes de britagem de rochas com diferentes composições.

Os agregados naturais possuem diferentes processos de extração, de acordo com o tipo de depósito mineral formado, Quadro 5. Existem três tipos de lavra para as areias: desmonte hidráulico, escarificação e dragagem (ANEPAC, 2020).

Os agregados miúdos de forma geral são classificados de acordo com o módulo de finura dos grãos presentes no material. Segundo a ANEPAC (2020) a classificação das areias de acordo com o módulo de finura e dimensão característica dos grãos subdivide-se em:

- Areia Grossa: módulo de finura entre 3,5 e 2,9 e dimensões entre 4,0 e 2,0 milímetros;
- Areia Média: módulo de finura entre 2,9 e 2,2 e dimensões entre 2,0 e 0,42 milímetros;
- Areia Fina: módulo de finura entre 2,2 e 1,55 e dimensões entre 0,42 e 0,074 milímetros.

Quadro 5 – Métodos de Lavra

MÉTODO	DEPÓSITOS MINERAIS	SITUAÇÃO
Dragagem	Sedimentos inconsolidados quaternários	Leito do rio
		Cava submersa (Leito desviado de rio)
Desmonte Hidráulico	Planícies fluviais, coberturas e sedimentos inconsolidados quaternários	Cava seca (Leito desviado de rio)
	Rochas sedimentares cenozóicas	Cava seca
	Manto de alteração de rochas pré-cambrianas	

Fonte: ANEPAC, 2020

As areias naturais possuem diversos tipos de acordo com a rocha que as forma. As rochas granitóides que geram frações de areia desde fina até grossa, dependendo da demanda. As rochas sedimentares que geram areias em frações grossa e média em conjunto e pequenas parcelas de material fino. Já nos portos de areia no leito dos rios e em cava submersa possui praticamente todo material utilizado e com o pouco resíduo gerado, normalmente materiais silicosos e de granulometria menor que 0,074 milímetros, sendo realocado novamente para o local de extração, preenchendo-se a cava (ANEPAC, 2020).

As areias artificiais são produtos apresentados ao mercado mais recentemente. Esse material é produzido pelos mesmos produtores de brita a partir

da lavagem do pó de pedra para redução na dimensão para fração fina. O agregado miúdo artificial possui a vantagem de apresentar um índice baixo de material pulverulento (ANEPAC, 2020).

2.2.3 Água

A ABCP, através do manual de revestimentos de argamassa (2002), define a água de emassamento como o item que confere continuidade à mistura homogênea, argamassa, pois promove a reação entre os diversos componentes, principalmente as reações do cimento e cal, itens bastante reativos à presença de água.

A água é um dos itens capazes de promover a trabalhabilidade da argamassa através do controle de sua consistência. Dessa forma, deve-se ter alto controle dos traços produzidos na obra para não se utilizar esse item demasiadamente, de forma a conferir uma argamassa com ótima trabalhabilidade, mas perdendo-se a resistência característica da mistura (ABCP, 2002).

Ainda, outro alerta citado pela ABCP (2002), tanto no manual de revestimentos de argamassa, quanto no manual das argamassas nas construções, é sobre o uso de água contaminada. A água utilizada na produção de argamassas deve seguir a mesma rigidez da água utilizada para produzir concreto, de acordo com a norma NBR NM 137, adicionando-se, de preferência, água potável à mistura. Águas contaminadas com matérias orgânicas, como argila, folhas e materiais oleosos, entre outros, não podem ser adicionadas no traço de argamassa.

2.2.4 Aditivos

Os aditivos são compostos adicionados as argamassas em pequenas quantidades e são capazes de modificar as características da mistura em estado fresco e/ou estado endurecido. Esses itens foram criados com o intuito de melhorar as propriedades das argamassas e concretos, sendo capazes de atender as diversas solicitações do mercado da construção civil (ABCP, 2002).

As principais características buscadas nos aditivos são: redução da retração por secagem, de forma a reduzir a fissuração; acréscimo no tempo de pega e

estabilidade na plasticidade, para facilitar a trabalhabilidade; elevação do poder plastificante, para melhorar a trabalhabilidade; aumento na retenção de água e na aderência da argamassa ao substrato (ABCP, 2002).

Segundo o Manual de Revestimentos de Argamassa (ABCP, 2002), os principais aditivos aplicados nas argamassas atualmente, são: plastificantes, retentores de água, incorporadores de ar, retardadores de pega, aumentadores de aderência e hidrofugantes.

2.3 CLASSIFICAÇÃO DAS ARGAMASSAS

Hodiernamente, com a evolução progressiva dos sistemas construtivos, são produzidos diversos tipos de argamassas. Essas misturas homogêneas possuem várias classificações baseadas na composição da argamassa, Quadro 6, ou em sua função, Quadro 7: natureza do aglomerante, número de aglomerantes, presença de aditivos, método produtivo, consistência, entre outros diversos tipos presentes nos Quadros 6 e 7. A grande variedade de argamassas faz-se necessária para sua utilização em vários locais de acordo com a função, cada um dos empregos exigem alguns tipos de propriedades (SANTOS, 2014).

Quadro 6 – Classificação das argamassas quanto a composição

Critério de Classificação	Tipos
Quanto à natureza do aglomerante	• Argamassa aérea • Argamassa hidráulica
Quanto ao tipo de aglomerantes	• Argamassa de cal • Argamassa de cimento • Argamassa de cimento e cal • Argamassa de gesso • Argamassa de cal e gesso
Quanto ao número de aglomerantes	• Argamassa simples • Argamassa mista
Quanto à consistência da argamassa	• Argamassa seca • Argamassa plástica • Argamassa fluida
Quanto à plasticidade da argamassa	• Argamassa pobre ou magra • Argamassa média ou cheia • Argamassa rica ou gorda
Quanto à densidade da massa da argamassa	• Argamassa leve • Argamassa normal • Argamassa pesada
Quanto à forma de preparo ou fornecimento	• Argamassa preparada em obra • Mistura semipronta • Argamassa industrializada • Argamassa dosada em central

Fonte: Carasek (2017)

Quadro 7 – Classificação das argamassas quanto a função

Função	Tipos
Para a construção de alvenarias	• Argamassa de assentamento (elevação da alvenaria) • Argamassa de fixação (ou encunhamento)
Para revestimento de paredes e tetos	• Argamassa de chapisco • Argamassa de emboço • Argamassa de reboco • Argamassa de camada única • Argamassa para revestimento decorativo monocamada
Para revestimento de pisos	• Argamassa contrapiso • Argamassa de alta resistência para piso
Para revestimentos cerâmicos	• Argamassa de assentamento de peças cerâmicas - colante • Argamassa rejuntamento
Para recuperação de estruturas	• Argamassa de reparo

Fonte: Carasek (2017)

A NBR 13529 (ABNT, 2013) e Carasek (2017) classificam as argamassas de acordo com diversas variáveis e citam as principais misturas homogêneas que cada classificação engloba.

2.4 ESTRUTURA DAS ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO

A estrutura do revestimento argamassado pode ser composto por camadas executadas uma a uma, composta por chapisco, emboço e reboco, ou por uma única camada que representa as estruturas de chapisco, emboço e reboco, ou, ainda, por uma monocapa, que representa uma camada única de revestimento argamassado já com o acabamento pigmentado.

2.4.1 Chapisco

A NBR 13529 (ABNT, 2013) e o Manual de Revestimentos de Argamassa (ABCP, 2002) definem chapisco como uma camada de uniformização e preparação do substrato com o objetivo de elevar a resistência de aderência e uniformizar a absorção de água do substrato.

O chapisco é uma camada com objetivo principal de melhorar a capacidade de aderência do revestimento ao substrato em, basicamente, duas situações críticas: limitar a aderência da base em caso de superficiais demasiadamente lisas

ou com porosidade imprópria; e áreas com elevadas solicitações da capacidade de adesão, por exemplo, fachadas externas (SILVA, 2006).

2.4.2 Emboço

A NBR 13529 (ABNT, 2013) e o Manual de Revestimentos de Argamassa (ABCP, 2002) definem emboço como uma camada de revestimento utilizada para cobrir a camada de chapisco e que tem a função de servir como uma camada intermediária. Essa camada será coberta por uma camada de reboco ou revestimento decorativo, por exemplo, cerâmica, porcelanato e pedras.

O emboço é uma camada conhecida popularmente como massa grossa e que desempenha a função de regularizar a superfície do substrato em revestimento através de uma espessura média entre 15 e 25 mm. Essa camada pode ser aplicada sobre a camada de chapisco ou diretamente sobre a superfície do substrato e deve apresentar porosidade e textura compatível com a necessidade da camada posterior, reboco ou revestimento decorativo (SILVA, 2006).

2.4.3 Reboco

A NBR 13529 (ABNT, 2013) e o Manual de Revestimentos de Argamassa (ABCP, 2002) definem reboco como uma camada de revestimento utilizada para cobrir a camada de emboço e com função de servir como camada final ou como suporte para a aplicação de uma camada de revestimento decorativo, por exemplo, pintura.

O reboco é uma camada conhecida popularmente como massa fina e que desempenha a função de acabamento do revestimento argamassado através de uma película fina e contínua com espessura máxima de 5 mm (SILVA, 2006).

2.4.4 Camada única

O Manual de Revestimentos de Argamassa (ABCP, 2002) e Carasek (2017) definem o revestimento camada única como uma estrutura com um único tipo de argamassa, aplicado diretamente sobre o substrato e que representa as camadas de emboço e reboco executadas em uma única etapa. Essa estrutura é popularmente conhecida como “massa única”, “emboço paulista” e “reboco paulista”. Ainda, essa estrutura pode representar um acabamento final ou servir de suporte para aplicação de um revestimento decorativo, por exemplo, pintura. Por fim, destaca-se que esse é o modelo de revestimento argamassado mais utilizado atualmente no Brasil.

A massa única, por representar as camadas de emboço e reboco, devem desempenhar as funções de regularização do substrato e acabamento superficial (SILVA, 2006).

2.4.5 Revestimento decorativo monocamada (RDM)

O revestimento decorativo monocamada, também conhecido como “monocapa”, é uma solução para revestimentos que desempenha a função de regularizar, acabar e decorar o substrato. Esse sistema construtivo é bastante utilizado na Europa e pouco aplicado no Brasil, pois não possui nem uma norma regulamentadora. A composição desse revestimento é produzida industrialmente e compõem-se geralmente por cimento branco, cal hidratada, agregados de várias naturezas, pigmentos orgânicos, fungicidas e aditivos (Carasek, 2017).

2.5 FUNÇÕES DOS REVESTIMENTOS DE ARGAMASSA

Segundo o Manual de Revestimentos de Argamassa (ABCP, 2002) e Carasek (2017) o revestimento de argamassa possui duas funções principais:

- **Proteção:** o revestimento de argamassa desempenha a função de proteger o substrato contra ataques diretos de agentes externos e, também, contribui para os isolamentos térmico, aproximadamente 30%, e acústico, aproximadamente 50%, e para a estanqueidade de água, entre 70 e 100%, e gases. Além disso, proporciona resistência à estrutura contra o fogo, desgastes e abalos superficiais;

- Regularização da superfície: o revestimento de argamassa desempenha a função de regularizar a superfície de forma a permitir a aplicação de revestimento decorativo sobre ele. Dessa forma, deve apresentar um acabamento de acordo com o revestimento que será aplicado.

Portanto, deve-se levar em consideração a função de cada argamassa para escolher o melhor tipo para se aplicar em uma obra de acordo com o desempenho exigido (COSTA, 2016).

2.6 PROPRIEDADES DAS ARGAMASSAS

As argamassas de revestimento possuem diversas propriedades podendo desempenhar suas características predominantes em estado fresco ou endurecido. Essas propriedades variam sua relevância de acordo com as necessidades de desempenho e as condições do local de aplicação (SANTOS, 2014).

O Manual de Revestimentos de Argamassa (ABCP, 2002), determina que as argamassas devem possuir características e propriedades com desempenho de acordo com a função a ser exercida. Além disso, para determinação dessas propriedades é necessário avaliação, também, das condições do local de aplicação, tanto as condições naturais quanto as condições da base e de execução.

As propriedades das argamassas dividem-se em: estado fresco, quanto a mistura homogêneas ainda está com plasticidade, antes do processo de pega, e é representado por diversas propriedades, por exemplo, massa específica, teor de ar incorporado, trabalhabilidade, retenção de água, entre outros; e estado endurecido, quanto a mistura homogêneas perde a plasticidade e torna-se um composto físico, depois do processo de pega, também sendo representado por diversas propriedades, por exemplo, aderência, resistência a compressão, permeabilidade, durabilidade, entre outros. A seguir, são apresentadas as principais propriedades das argamassas de revestimento para a análise em estudo.

2.6.1 Aderência

A resistência de aderência dos revestimentos argamassados diz respeito a sua capacidade de manter a ligação entre revestimento e substrato mesmo com as diferentes movimentações, impactos, esforços, choques térmicos, entre outras solicitações capazes de desunir argamassa-substrato (RECENA, 2012).

A NBR 15258 (ABNT, 2005), define a aderência como uma propriedade da argamassa de resistir as solicitações atuantes na interface entre substrato e revestimento. Entretanto, a NBR 13521-1 (ABNT, 2019), mais atual, já define a aderência como uma propriedade do revestimento em geral de resistir as solicitações atuantes tanto na interface entre substrato e revestimento (seguindo a norma ABNT NBR 13528-2, 2019), quanto na superfície do revestimento (seguindo a norma ABNT NBR 13528-3, 2019), pois não depende apenas das propriedades da argamassa, mas, também, do substrato.

Já em acordo com a definição atual de aderência, Carasek (2017), descreve que a aderência não deve ser tratada como uma propriedade apenas da argamassa e, portanto, deve-se especificar em qual material o revestimento está aderido, vez que não existe revestimento argamassado apenas em alvenaria e o substrato é fundamental no estudo da propriedade.

Dessa forma, a autora completa propondo que a aderência é dependente de três outras propriedades da ligação entre revestimento e substrato:

- Resistência à tração;
- Resistência ao cisalhamento;
- Extensão da aderência, dada pela razão entre a área de contato real ou efetiva e a área de contato total possível.

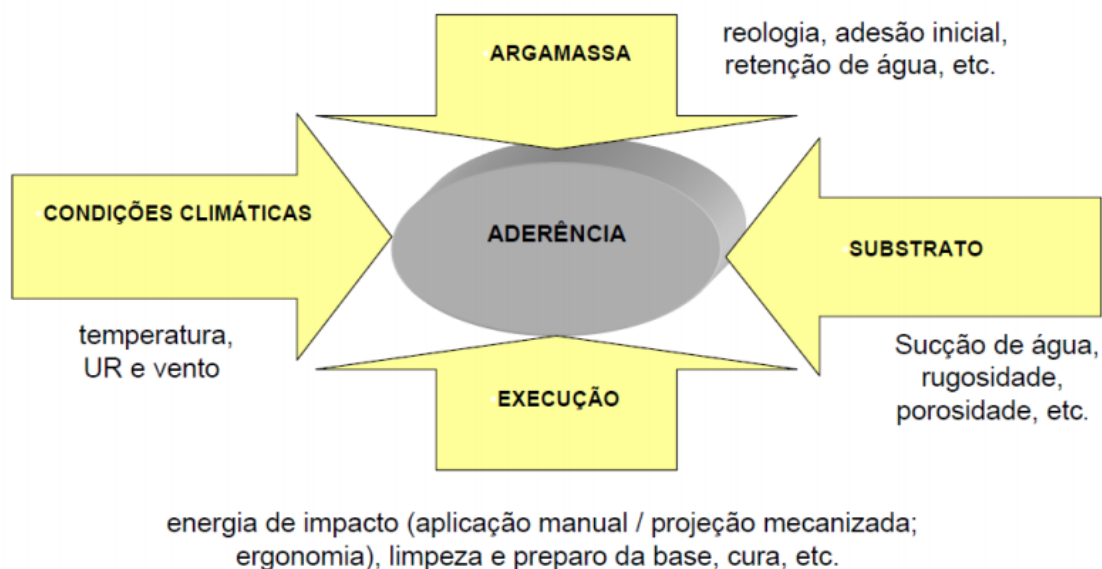
Segundo Silva (2006), a aderência é uma propriedade dependentes dos seguintes fatores, conforme ilustra a Figura 4:

- Condições do substrato: porosidade, absorção de água, resistência mecânica, textura superficial;
- Tipo de execução;
- Condições da argamassa: retenção de água, consistência e teor de ar incorporado.

Essa propriedade é medida através do ensaio de resistência de aderência à tração descrita nas normas NBR 13521-1 (ABNT, 2019), NBR 13521-2 (ABNT, 2019) e NBR 13521-3 (ABNT, 2019). O ensaio, também conhecido como ensaio de

arrancamento, consiste em realizar o “arrancamento” do revestimento argamassado a partir da fixação de uma pastilha na superfície.

Figura 4 – Fatores de influência na aderência do revestimento argamassado



Fonte: Carasek (2017)

2.6.2 Adesão inicial

A adesão inicial, popularmente conhecida por “pegajosidade”, é a propriedade das argamassas no estado fresco de aderir inicialmente aos substratos. Essa propriedade é favorecida pela redução da tensão superficial da pasta, pois favorece a umidificação do substrato e, conseqüentemente, aumenta o contato físico entre as partículas do agregado miúdo e o substrato (CARASEK, 2017). Ainda, a adesão é uma propriedade dependente da limpeza do substrato, que deve ser livre de poeiras, partículas soltas e gorduras (SILVA, 2006).

Ainda, pode-se definir adesão inicial como a capacidade da argamassa em estado fresco de permanecer aderida ao substrato após ser projetada manualmente ou mecanicamente. Essa propriedade é dependente positivamente da plasticidade, que modifica a coesão entre as partículas, e negativamente da força gravitacional, que exerce esforço na argamassa capaz de quebrar a união com o substrato (IOPPI, 1995).

Argamassas onde a propriedade de estado fresco adesão inicial é pouco satisfatória, irá apresentar dificuldade em sua aplicação e resultar em uma argamassa endurecida com desempenho de aderência pouco resistente e, conseqüente, com baixas resistência mecânica e durabilidade (IOPPI, 1995).

2.6.3 Consistência

A consistência é a propriedade relacionada a quantidade de deformação que uma argamassa sofre sob a ação de cargas. Essa propriedade é medida através do índice de consistência, que é inversamente proporcional a facilidade da argamassa de deformar-se quando sofre a ação de esforços (Carasek, 2017). Em outras palavras, essa propriedade mede a capacidade da argamassa de resistir a deformações em seu estado fresco (SANTOS, 2014).

A principal variável do índice de consistência no traço de argamassa é a água, pois é a variação em sua quantidade no traço que irá proporcionar a consistência ideal da argamassa (MALINVERNI, 2016). Esse fator foi comprovado por na observação que as argamassas preparadas industrialmente possuem menor índice de consistência quando comparada com as argamassas convencionais, pois a primeira possui melhor controle sob a quantidade de água adicionada ao traço (FERREIRA, 2016). Além disso, outros fatores influentes na consistência da argamassa são os fatores água/aglomerante, aglomerante/agregado miúdo, granulometria do agregado, natureza e qualidade do aglomerante e, por fim, a trabalhabilidade, que é uma propriedade correlacionada com a consistência (SANTOS, 2014).

As argamassas são classificadas de acordo com a consistência em: argamassa seca, em que a pasta preenche apenas os vazios dos grãos dos agregados; argamassa plástica, em que a pasta forma uma película lubrificante na superfície dos grãos dos agregados; e argamassa fluida, em que os grãos dos agregados estão submersos na pasta (Carasek, 2017).

Dessa forma, em posse da classificação das argamassas quanto a sua consistência, é necessário quantificar essa propriedade. Para isso, determina-se o índice de consistência através de ensaios. A NBR 13276 (ABNT, 2016) descreve o ensaio conhecido como *flow table*, ou mesa de consistência. Esse ensaio mede o

índice de consistência através do diâmetro de espalhamento da argamassa em uma mesa, segundo Carasek (2017), o parâmetro reológico que controla essa métrica é a viscosidade.

Ainda, segundo Carasek (2017) existem outros ensaios que medem o índice de consistência: o ensaio de penetração do cone, descrito na norma ASTM C 780 e que tem como parâmetro reológico a tensão de escoamento; o vane teste, descrito nas normas BS 1377 e ASTM D 4648 e que tem como parâmetro reológico a tensão de escoamento; gtec teste, que não possui normativa e tem como parâmetro reológico a tensão de escoamento e a viscosidade; e a NBR 7215 (ABNT, 2019), que descreve o próprio ensaio da mesa de consistência e foi utilizado como base na criação da norma NBR 13276.

2.6.4 Densidade de massa

A densidade de massa é uma propriedade das argamassas, popularmente conhecida como massa específica, é uma relação entre a massa e o volume do material. Essa propriedade apresenta-se tanto no estado fresco, quanto no estado endurecido, e varia de acordo com o teor de ar incorporado, inversamente proporcional, e a massa específica dos materiais, principalmente do agregado miúdo (CARASEK, 2017).

A densidade de massa no estado fresco possui uma relação estreita com a quantidade de massa da argamassa, pois quanto maior a densidade de massa, maior será o consumo de material no traço da mistura (BIF; PELISSER; 2013). Ainda, destaca-se que quanto menor a densidade de massa, mais leve é a argamassa e, conseqüentemente, melhor sua trabalhabilidade (COSTA, 2016). Por fim, a Tabela 12 classifica as argamassas no estado fresco de acordo com a densidade de massa.

Segundo Carasek (2017), as argamassas em estado fresco possuem as seguintes classificações quanto a densidade de massa:

- Argamassa leve: com densidade de massa inferior a $1,4 \text{ g/cm}^3$. Esse tipo de argamassa é composto principalmente por vermiculita, perlita e argila expandida e são utilizadas como isolantes térmicos e acústicos;

- Argamassa normal: com densidade de massa entre 1,4 e 2,3 g/cm³. Esse tipo de argamassa é composto principalmente por areia de rio, formada principalmente por quartzo, e calcário britado e são utilizadas para as mais variadas aplicações, sendo representada pelos tipos mais comuns de argamassa;
- Argamassa pesada: com densidade de massa acima de 2,3 g/cm³. Esse tipo de argamassa é composto principalmente por sulfato de bário, popularmente conhecido como barita, e é utilizado na blindagem de radiação.

Segundo a NBR 13278 (ABNT, 2005), a densidade de massa no estado fresco é classificada de acordo com o Quadro 8 e calculada através da fórmula a seguir e deve ser arredondada no número inteiro mais próximo:

$$d = ((m_c - m_v) / v_r) \cdot 1000 \quad (1)$$

Onde:

- d: densidade de massa
- m_c: massa do recipiente cilíndrico contendo a argamassa do ensaio, em gramas;
- m_v: massa do recipiente cilíndrico vazio, em gramas;
- v_r: volume do recipiente cilíndrico, em cm³.

Quadro 8 – Classificação das argamassas no estado fresco de acordo com a densidade de massa

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	

Fonte: NBR 13281 (ABNT, 2005)

No estado endurecido, tem-se a densidade de massa representada pela relação entre a massa e o volume aparente da argamassa e pode ser classificada de acordo com a Tabela 13. Essa propriedade também é conhecida como densidade de massa endurecida ou densidade de massa aparente. O resultado da relação entre a massa e volume aparente irá indicar o grau de compacidade da mistura homogênea. Ainda, a partir dessa relação é possível obter o teor de incorporação de ar e quantidade de água evaporada durante a produção da argamassa.

Segundo a NBR 13280 (ABNT, 2005), a densidade de massa no estado endurecido, ou densidade de massa aparente, é classificada de acordo com o Quadro 9 e calculada através da fórmula a seguir e deve ser arredondada no número inteiro mais próximo:

$$\rho_{\text{máx}} = (m/v) \cdot 1000 \quad (2)$$

Onde:

- m: massa do corpo-de-prova;
- v: volume do corpo-de-prova.

Quadro 9 – Classificação das argamassas no estado endurecido de acordo com a densidade de massa aparente

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	

Fonte: NBR 13281 (ABNT, 2005)

2.6.5 Durabilidade

A durabilidade de uma argamassa é a propriedade que mede a capacidade da argamassa de se manter química e fisicamente estável e desempenhando as funções determinadas em projeto ao longo do tempo, em condições de exposições ambiental e física consideradas em projeto. Dessa forma, essa propriedade está ligada as exigências do meio em que a argamassa será aplicada e suas próprias características intrínsecas. Portanto, em meios com elevada agressividade e elevadas solicitações físicas, como temperatura e umidade, e mecânicas, como abrasão, flexão e compressão, deve-se utilizar argamassas especiais dosadas de forma a resistir a cada tipo de solicitação extrema. (RECENA, 2012).

As argamassas de revestimento possuem sua durabilidade atrelada à presença de sais solúveis e umidade. A umidade irá interferir na durabilidade, pois quanto maior sua presença, maior deverá ser a presença dos aglomerantes hidráulicos e, conseqüentemente, influenciará a resistência mecânica e o módulo de deformação, fatores importantes na vida útil do revestimento. Portanto, argamassas de revestimento, principalmente externo, devem apresentar quantidade maiores de cimento, de forma a manter a quantidade de água dos traços e, conseqüentemente, reduzir a relação água/cimento de forma a elevar a resistência mecânica, para evitar que a presença da umidade altere esses fatores e reduza a vida útil da argamassa. Já os sais solúveis são partículas com elevada higroscopicidade e capacidade de cristalização. Essas partículas absorvem água, principalmente pelo processo de capilaridade em solos saturados, e expandem de forma a destruir a argamassa. Ainda, a presença de materiais pulverulentos também interfere na durabilidade das argamassas gerando a formação de manifestações patológicas de eflorescências causadas pela instalação de colônias de micro-organismos (RECENA, 2012).

Por fim, deve-se observar que argamassas mistas de cimento e cal em locais com elevada umidade, áreas externas, é prejudicial à vida útil das argamassas, pois a cal pode causar instabilidade química na mistura, alterando suas características originais. A cal reage com a umidade gerando a hidratação retardada dos óxidos de cálcio e magnésio. Essa reação causa um aumento no volume de forma a gerar esforços internos que podem não ser suportados pela argamassa e causar o aparecimento de fissuras, que poderá evoluir para processos de deslocamento, ou, no caso de processos de hidratação retardada de forma localizada, formar “bolhas” de coloração branca no revestimento de forma a expulsar pequenas parcelas de

argamassa. Ainda, a formação de pequenas “bolhas”, ou vesículas (processo de evolução das pequenas “bolhas”), no revestimento podem ser causadas pela presença do mineral denominado Pirita, formado por sulfeto de ferro e presente nos carvões minerais, composto comum de cales obtidas em jazidas próximas de regiões carboníferas e areias naturais de rios. A Pirita tem a capacidade de formar óxidos e hidróxidos de ferro a partir do contato com a umidade no processo de oxidação. Os óxidos e hidróxidos de ferro apresentam volume maior que partículas de umidade e de Pirita formando as “bolhas”, que se diferencia das bolhas comuns pela presença de carvão em seu centro, caracterizado pelos grãos de coloração preta (RECENA, 2012).

2.6.6 Elasticidade

A elasticidade é a propriedade da argamassa relacionada a sua capacidade de absorver deformações, ou seja, a capacidade da argamassa de deformar-se ao sofrer a ação de esforços, sem modificar sua estrutura física (normalmente representada por fissuras), retornando para sua formação inicial após a retirada dos esforços solicitantes, sendo uma das propriedades mais importantes das misturas homogêneas em estudo (BIF; PELISSER, 2013).

Essa propriedade é medida através do módulo de elasticidade, que é inversamente proporcional a capacidade de deformação, ou absorver deformações, da argamassa e pode ser medido através dos ensaios de método estático e método dinâmico (SILVA, 2006).

A importância dessa métrica pode ser observada através da análise da diversidade de materiais, com diferentes naturezas, que as argamassas revestem em um mesmo plano. Esses materiais possuem diferentes capacidade de absorção de água, coeficientes de dilatação térmica, expansividade, entre outros fatores que demonstram a diversidade de esforços que uma mesma argamassa pode sofrer em diferentes pontos de um mesmo plano (RECENA, 2012).

Ainda, nota-se a relação entre o módulo de elasticidade e a resistência a compressão das argamassas. Dessa forma, relaciona-se materiais com alta capacidade de deformação e, conseqüentemente, baixo módulo de elasticidade a materiais com baixa resistência a compressão (RECENA, 2012).

Segundo a NBR 8522 (ABNT, 2017), o módulo de elasticidade estático, ou módulo de deformação tangente à origem ou inicial, é igual ao módulo de deformação secante, ou seja, é o coeficiente angular da reta secante entre a tensão fixa (σ_a) e a tensão de ensaio apresentadas no gráfico de tensão-deformação específica. O cálculo do módulo de elasticidade é realizado a partir da seguinte equação:

$$E_{ci,i} = ((\sigma_b - \sigma_a) / (\varepsilon_b - 50 \times 10^{-6})) \times 10^{-3} \quad (3)$$

Onde:

- $E_{ci,i}$: módulo de elasticidade estático, em GPa;
- σ_b : tensão maior, 30% da resistência a compressão, ou outra tensão de projeto, em MPa;
- σ_a : tensão básica correspondente à deformação específica, 50×10^{-6} , em MPa;
- ε_b : deformação específica do corpo de prova em relação a σ_b .

Por fim, o módulo de elasticidade dinâmico, padronizado, possui seu ensaio regulamentado pela NBR 15630 (ABNT, 2008), que é realizado por meio de propagação de onda ultra-sônica e calculado através da seguinte equação:

$$E_d = v^2 \times \rho \times ((1 + \mu) \times (1 - 2 \times \mu) / (1 - \mu)) \quad (4)$$

Onde:

- E_d : módulo de elasticidade dinâmico, em MPa;
- v : velocidade de propagação da onda ultra sônica, mm/ μ s;
- ρ : densidade de massa aparente, kg/m³;
- μ : coeficiente de Poisson.

2.6.7 Permeabilidade

A permeabilidade é a propriedade da argamassa relacionada ao trânsito de água no interior da mistura. Dessa forma, essa propriedade é responsável pelo fluxo de fluidos pela argamassa, que pode ocorrer por infiltração, capilaridade (processo

mais comum em revestimentos argamassados) e difusão de vapor d'água (DUALIBE; CAVANI; OLIVEIRA, 2005).

Ademais, observa-se que revestimentos mais permeáveis são deteriorados com o tempo. Então, é necessário realizar o controle sobre essa propriedade de forma a evitar a deterioração do revestimento por excesso de permeabilidade. A durabilidade é uma propriedade inversamente proporcional a permeabilidade dos revestimentos (DUALIBE; CAVANI; OLIVEIRA, 2005).

Inversamente proporcional à permeabilidade, a estanqueidade é uma propriedade muito importante e desejada em revestimentos argamassados, pois impede a passagem da água pelo interior da argamassa, ou seja, protege o revestimento contra intempéries (ABCP, 2002).

Para medir essa propriedade, é realizado o ensaio do método cachimbo, proposto pela Centre Scientifique et Technique de la Construction – CSTC e que ainda não possui uma norma regulamentadora brasileira (DUALIBE; CAVANI; OLIVEIRA, 2005).

2.6.8 Plasticidade

A plasticidade é a propriedade da argamassa responsável por sua deformação permanente, ou seja, manter sua deformação mesmo após a redução das tensões solicitantes (SILVA, 2006). Essa propriedade é relacionada a elasticidade da argamassa, pois todo material possui parcelas de elasticidade e plasticidade, representadas pela curva de tensão-deformação de cada material. Entretanto, a plasticidade está mais ligada ao estado fresco da argamassa, quando existe pouca deformação elástica, enquanto a elasticidade é uma propriedade mais relacionada ao estado endurecido da argamassa.

Ainda, descreve-se que um material ao receber uma solicitação, sofre uma deformação que pode ser elástica ou plástica. A deformação elástica é, basicamente, quanto o material não escoa e volta a sua formação inicial quando os esforços são retirados. Já na deformação plástica, o material passa pelo processo de escoamento e, mesmo se retirado os esforços, ele não volta para sua posição inicial. Dessa forma, a plasticidade da argamassa está relacionada a capacidade de moldar a mistura em estado fresco.

Segundo Carasek (2017), as argamassas são classificadas de acordo com o grau de plasticidade em:

- Argamassa pobre ou magra;
- Argamassa média ou cheia;
- Argamassa rica ou gorda.

Argamassas com boa plasticidade são caracterizadas pela boa capacidade de espalhar e aderir ao substrato, ou seja, alta capacidade de molde e conformação, proporcionando facilidade no acabamento. Portanto, apresentando boa trabalhabilidade (SANTOS, 2014).

2.6.9 Resistência à compressão

A resistência mecânica das argamassas está relacionada a capacidade dessas misturas de resistir a aplicação de cargas estáticas ou dinâmicas decorrentes de diversos fatores, por exemplo, efeito das condições ambientais, que geram esforços de cisalhamento, tração e compressão, sendo que os dois primeiros estão relacionados a resistência de aderência do revestimento (FREITAS, 2010).

A resistência à compressão é pouco utilizada para o estudo de argamassas de revestimento, pois essas misturas sofrem solicitações mais críticas do tipo tração na flexão. Sendo assim, na maioria das vezes o esforço mecânico que gera manifestações patológicas nesse tipo de argamassa é a tração (FREITAS, 2010).

Entretanto, segundo Recena (2012), apesar de estar em segundo plano, a resistência à compressão ainda é importante, pois exige-se um controle de qualidade pela verificação da homogeneidade das operações de produção e, também, pelas exigências da norma NBR 13281 (ABNT, 2005). Portanto, classifica-se as argamassas quanto a resistência à compressão de acordo com o Quadro 10.

Quadro 10 - Classificação das argamassas quanto a resistência à compressão

Classe	Resistência à compressão Mpa	Método de ensaio
P1	$\leq 2,0$	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	$> 8,0$	

Fonte: NBR 13281 (ABNT, 2005)

2.6.10 Retenção de água

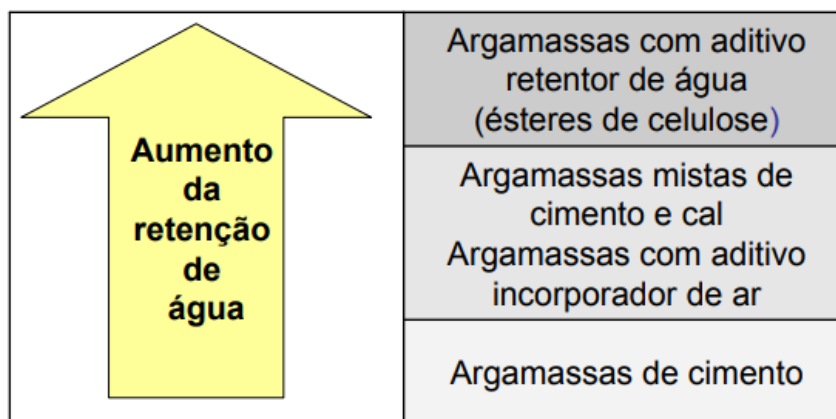
A retenção de água é a propriedade das argamassas que mede a capacidade da mistura de reter a água de amassamento em sua estrutura, ou seja, um processo mais lento de liberação da água da mistura para o meio ambiente ou para o substrato (RECENA, 2012). Em outras palavras, a propriedade de retenção de água é a capacidade da argamassa de manter sua trabalhabilidade em estado fresco enquanto o substrato e o meio ambiente realizam esforços para retirar a água da mistura (Carasek, 2017).

Dessa forma, pode-se concluir que essa propriedade é extremamente importante principalmente quando a argamassa é aplicada em substratos muito porosos, com alta capacidade de sucção, ou em meios com condições climáticas extremas, baixa umidade, alta temperatura e ventos fortes (Carasek, 2017). Portanto, essa propriedade é de extrema importância para mitigar a secagem acelerada, o que pode gerar um processo de fissuração. A cal é um aglomerante importante nesse processo, pois é uma ótima retentora de água (SANTOS, 2014). De acordo com essa importância, classifica-se as argamassas de acordo com sua capacidade de reter água, conforme a Figura 5.

Ademais, argamassas com boa retenção de água apresentam menos problemas com aderência, pois a perda de água é realizada de forma lenta e simultânea ao ganho de resistência, que, por sua vez, proporciona uma menor redução de volume e, conseqüentemente, baixa probabilidade de um processo de

fissuração (RECENA, 2012). O Quadro 11 apresenta a classificação das argamassas quanto a retenção de água, seguindo a NBR 13281 (ABNT, 2005).

Figura 5 – Argamassas com maior capacidade de retenção de água



Fonte: Carasek (2017)

Quadro 11 - Classificação das argamassas quanto a retenção de água

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	

Fonte: NBR 13281 (ABNT, 2005)

2.6.11 Retração

A retração é uma propriedade caracterizada pela redução do volume da argamassa através da perda de água para o meio externo, o substrato ou, simplesmente, pelas reações químicas dos componentes dos aglomerantes (SILVA, 2006).

Segundo Carasek (2017), a retração tem grande influência na estanqueidade e durabilidade do revestimento de argamassa. Essa propriedade é inversa a retenção de água, ou seja, quanto maior a retração, menor é a capacidade da argamassa de reter água e, conseqüentemente, maior a probabilidade da ocorrência

de um processo de fissuração. Dessa forma, como observado por Silva (2006), as fissuras plásticas podem aparecer ainda no estado fresco, fase de desempenho, ou logo após a execução do acabamento e podem ser dos tipos mapeada, visíveis ou microfissuras.

Ademais, nota-se que os tipos de aglomerantes, a temperatura, a incidência solar, a umidade relativa do ar e a velocidade do vento, são fatores que influenciam diretamente a propriedade de retração (SILVA, 2006).

2.6.12 Teor de ar incorporado

O teor de ar incorporado é uma propriedade que diz respeito ao volume de vazios presentes na composição da argamassa. A incorporação de ar apresenta-se de forma natural principalmente em processos mecânicos de produção de argamassa, sendo que, esse mesmo processo favorece a remoção através da união das pequenas bolhas de forma a formar bolhas com maiores volumes, que possuem maior tendência de flutuação e, conseqüentemente, rompimento na superfície. Essa propriedade favorece a trabalhabilidade da argamassa e desfavorece sua resistência mecânica (A. P. MANSUR; NASCIMENTO; S. MANSUR; 2007).

Em outras palavras, o teor de ar incorporado é o volume de ar aprisionado na composição da argamassa em estado fresco. A incorporação de ar reduz a densidade de massa relativa, pois o ar possui uma densidade menor que a dos componentes da argamassa. Essa propriedade proporciona melhora na trabalhabilidade das argamassa e, por isso, alguns traços apresentam aditivos incorporadores de ar. Entretanto, deve-se controlar a inclusão desses aditivos, pois quanto acrescentados de maneira desproporcional, podem reduzir a capacidade de resistência mecânica e aderência das argamassas (BIF; PELISSER; 2013).

Ainda, como observado por Freitas (2010), a incorporação de ar nas argamassas gera, além de maior trabalhabilidade, uma melhor deformabilidade na mistura e contribui no impedimento da passagem de água para o interior das argamassas a partir do fenômeno de capilaridade, pois o ar na composição da mistura preenche os espaços vazios, o que acaba por impedir a existência dos poros capilares.

Segundo a NBR 13278 (ABNT, 2005), o teor de ar incorporado é calculado através da fórmula a seguir e deve ser expresso em porcentagem com arredondamento ao número inteiro:

$$A = 100 (1-(d/d_t)) \quad (5)$$

Onde:

- A: teor de ar incorporado, %;
- d: densidade de massa da argamassa, em g/cm³;
- d_t: densidade de massa teórica da argamassa, em g/cm³;

2.6.13 Trabalhabilidade

A trabalhabilidade é uma propriedade subjetiva das argamassas, pois não existe hodiernamente um padrão para quantificar os níveis de trabalhabilidade de uma argamassa. Essa propriedade está intimamente a consistência e plasticidade da mistura que proporcionam maior ou menor facilidade de mobilidade e coesão, definida pelas resistências à exsudação e à segregação (SANTOS, 2014).

As argamassas que possuem mais facilidade para preparação de misturas, transporte, aplicação, consolidação e acabamento no estado fresco, são denominadas de misturas homogêneas trabalháveis, ou com maior grau de trabalhabilidade. A trabalhabilidade é dependente de outras propriedades: consistência, plasticidade, retenção de água e de consistência, coesão, exsudação, densidade de massa e adesão inicial. A alteração nos níveis de trabalhabilidade, normalmente, são geradas pela alteração na quantidade de água presente no traço, de forma a alterar a consistência ou fluidez da mistura (CARASEK, 2017). Essa propriedade é de grande importância, pois garantirá a consistência ideal do traço (MALINVERNI, 2016).

A propriedade de trabalhabilidade sofre influência das quantidades de finos e ligantes, da proporção de água presente no traço e do formato dos grãos de agregado, por exemplo, uma areia com partículas mais arredondadas e distribuição granulométrica homogênea proporciona melhor trabalhabilidade a argamassa (MALINVERNI, 2016).

Essa propriedade mede a facilidade de movimentar a mistura homogênea desde sua produção até seu acabamento final sem alterar o desempenho da argamassa de acordo com sua função, por exemplo, as argamassas de revestimento devem possuir maior plasticidade de forma a garantir a adesão inicial da mistura ao substrato e permitir o acabamento necessário de forma fácil e produtiva (RECENA, 2012).

Ainda, contrariando algumas opiniões populares, Recena (2012) afirma que uma argamassa com excesso de água, bastante fluida e, conseqüentemente, sem coesão, não apresenta uma boa trabalhabilidade. A trabalhabilidade será obtida com adição de água de forma consciente, de forma a manter uma argamassa com plasticidade ótima. Argamassas muito fuidas, sem coesão, e argamassas com baixa fluidez apresentam comprometimento de sua trabalhabilidade.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho em questão foi desenvolvido a partir da análise de trabalhos de terceiros. O primeiro passo foi identificar e definir os 3 (três) trabalhos base para o desenvolvimento da monografia em questão. As obras que fazem parte do escopo desses trabalhos foram desenvolvidas nas regiões Centro-Oeste e Sul a partir do ano 2010. Ainda, tratam-se de três trabalhos que estudam a capacidade de aderência em argamassas mistas de revestimento a partir de ensaio de arrancamento. Entre os traços ensaiados pelos pesquisadores há presença, como aglomerantes, do cimento e da cal hidráulica (argamassas mistas de cimento e cal). Dessa forma, foi possível, a partir das considerações de cada autor, comparar e concluir sobre os resultados obtidos nos ensaios desenvolvidos por cada autor.

3.1 MATERIAIS UTILIZADOS

3.1.1 Trabalho 1

O trabalho desenvolvido por Eduardo Zambiasi Forti foi o mais próximo ao trabalho em questão, pois estudou a influência da cal hidratada nas características

da argamassa de revestimento. A finalidade do trabalho em estudo foi analisar as consequências decorrentes da má dosagem de argamassas de revestimento. Para atingir os objetivos o autor adotou um traço comumente utilizado na região do Vale do Taquari para argamassas de revestimento e variou a quantidade de cal em -10%, +10% e +20%. Ainda, Forti (2017) optou por utilizar materiais comuns às construtoras da região sul do país e que seguem as normas da ABNT. O autor escolheu os materiais de acordo com sua popularidade de emprego nas obras da região sul do Brasil.

3.1.1.1 Cimento

Neste trabalho, o autor optou por utilizar o cimento Portland CP IV – 32 da marca Votorantim. Esse cimento é composto por material pozolânico e tem como característica possibilitar uma redução energética considerável durante o processo de produção e possui composição descrita no Quadro 12. O cimento pozolânico é o cimento comum com a adição de algum material pozolânico durante sua produção. A pozolana tem a capacidade de conferir maior permeabilidade, estabilidade e durabilidade ao cimento. Ainda, o cimento escolhido possui resistência característica a compressão de 32 MPa, resistência atingida após 28 dias de idade.

Quadro 12 – Cimento Portland de Alto-Forno e Pozolânico

Tipo de cimento portland	Sigla	Composição (% em massa)				Norma Brasileira
		Clínquer + gesso	Escória granulada de alto-forno	Material pozolânico	Material carbonático	
Alto-Forno	CP III	65-25	35-70	-	0-5	NBR 5735
Pozolânico	CP IV	85-45	-	15-50	0-5	NBR 5736

Fonte: Guia básico de utilização do cimento portland, ABCP

Por fim, ressalta-se que os materiais pozolânicos são obtidos das rochas vulcânicas ou matérias orgânicas fossilizadas, entre outras fontes estudadas, por exemplo, cinzas resultantes da queima de cascas de arroz e a sílica ativa. As pozolanas apresentam propriedades de ligante hidráulico, mas para reagir, além da água, precisam entrar em contato direto com o clínquer. Dessa forma, cimentos

produzidos com materiais pozolânicos conferem maior impermeabilidade aos concretos e argamassas.

3.1.1.2 Cal Hidratada

A cal hidratada selecionada por Eduardo foi a CH-II cujo fabricante é Dagoberto Barcellos S.A. A escolha do autor foi realizada devido a facilidade de comércio desse material na região de Lajeado e a larga utilização por parte das construtoras da região do Vale do Taquari.

3.1.1.3 Agregado miúdo

A areia utilizada nos ensaios do trabalho em questão foi a areia natural de granulometria fina, cujo a dimensão dos grãos está entre 0,20 e 0,06 milímetros. Esse material foi extraído do rio Taquari por uma empresa local do Vale do Taquari.

3.1.1.4 Água

A água utilizada em todos experimentos do trabalho em questão foi de fornecimento público da rede Corsan de Lajeado, mesma fonte utilizada pelas construtoras da região do trabalho desenvolvido por Forti (2017).

3.1.2 Trabalho 2

O trabalho desenvolvido por Marina de Oliveira Campos foi escolhido por ser um trabalho desenvolvido na mesma cidade do trabalho em desenvolvimento e estudar a resistência de aderência à tração de revestimentos de argamassa e, para isso, variar os traços e, conseqüentemente, a quantidade de cal com três traços diferentes. Ainda, Marina optou por utilizar materiais comumente utilizados em construções do Estado de Goiás e que seguem as normas da ABNT. A autora escolheu os materiais de acordo com sua popularidade de emprego nas obras da

região Centro-Oeste do Brasil, mais especificamente da capital Goiânia onde os ensaios foram realizados.

3.1.2.1 Cimento

Neste trabalho, a autora optou por utilizar o cimento Portland CP II – F – 32, que é um cimento Portland composto produzido a partir da adição de fíler e possui composição indicada no Quadro 13. Ainda, o cimento escolhido possui resistência característica a compressão de 32 MPa, resistência atingida após 28 dias de idade.

Quadro 13 – Cimento Portland Comum e Composto

Tipo de cimento portland	Sigla	Composição (% em massa)				Norma Brasileira
		Clínquer + gesso	Escória granulada de alto-forno (sigla E)	Material pozolânico (sigla Z)	Material carbonático (sigla F)	
Comum	CP I	100	-			NBR 5732
	CP I-S	99-95	1-5			
Composto	CP II-E	94-56	6-34	-	0-10	NBR 11578
	CP II-Z	94-76	-	6-14	0-10	
	CP II-F	94-90	-	-	6-10	

Fonte: Guia básico de utilização do cimento portland, ABCP

Por fim, ressalta-se que o fíler é um material carbonático obtido a partir de rochas moídas e possui carbonato de cálcio em sua composição, por exemplo, calcário. Também são conhecidos como fíler calcário e desempenham a função de “lubrificante” nos concretos e argamassas produzidos, pois dão mais trabalhabilidade as misturas por possuir dimensão característica adequada para se alojar entre os grãos das outras partículas do cimento.

3.1.2.2 Cal Hidratada

A cal hidratada selecionada por Marina foi a cal hidratada do tipo calcítica CH-I da marca Ical, que é um tipo de cal comumente encontrada em obras de Goiânia e possui maior pureza quando comparada aos demais tipos de cal hidratada.

3.1.2.3 Agregado miúdo

A areia utilizada nos ensaios do trabalho em questão foi a areia natural de granulometria média, cujo módulo de finura está entre 2,9 e 2,2 e dimensões entre 2,0 e 0,42 milímetros. Esse material foi extraído de uma jazida situada na cidade de Faina, interior de Goiás.

3.1.2.4 Água

A água utilizada em todos experimentos do trabalho em questão foi de fornecimento público da empresa de abastecimento local, SANEAGO, mesma fonte utilizada pelas construtoras da região do trabalho desenvolvido por Marina.

3.1.2.5 Pigmento

Foi adicionado pigmento inorgânico de cor amarela e marca Xadrez nos traços das argamassas de revestimento. A adição de pigmento foi realizada com a finalidade de servir como um marcador da interface de aderência entre substrato de concreto e argamassa de revestimento, pois, como o substrato foi de concreto, podia-se confundir em qual estrutura ocorreu o rompimento. Esse “marcador” possibilitou maior facilidade e precisão na análise dos resultados dos ensaios de aderência e no comportamento dos materiais.

3.1.3 Trabalho 3

Assim como o trabalho 2, o trabalho desenvolvido por Carasek, Cascudo, Santos, Lemes (2011), e publicado na revista ALCONPAT, buscou estudar a resistência superficial de revestimentos de argamassa. Para isso, os autores realizaram ensaios em duas obras distantes na cidade de Goiânia. A seleção desse

trabalho foi realizada pelo fato de ambas obras utilizarem traços diferentes, com proporções de cal e tipos de cal hidratada distintas.

3.1.3.1 Cimento

Nas duas obras, A e B, as construtoras optaram pela utilização do cimento Portland CP II - Z que é um cimento Portland composto produzido a partir da adição de pozolana e possui composição indicada no Quadro 2. Os materiais pozolanicos apresentam suas propriedades no item 3.1.1.1, onde comentou-se sobre o cimento Portland CP IV.

3.1.3.2 Cal Hidratada

A cal hidratada utilizada na construtora responsável pela Obra A foi a cal hidratada CH-III, cujo a marca não foi indicada pelos autores do trabalho e é a cal hidratada com menor pureza. Já a construtora responsável pela Obra B optou pela utilização da cal hidratada CH-I, cujo a marca também não foi indicada pelos autores do trabalho e é a cal hidratada de maior pureza.

3.1.3.3 Agregado miúdo

A areia utilizada nas duas obras do trabalho em questão foi a areia natural de granulometria média, cujo módulo de finura está entre 2,9 e 2,2 e dimensões entre 2,0 e 0,42 milímetros. Os autores não indicaram de qual rio foi extraído o agregado utilizado na composição das argamassas.

3.1.3.4 Água

A origem da água utilizada nos experimentos do trabalho em questão não foi indicada pelos autores. Entretanto, pressupõe-se de que seja fornecimento público

da empresa de abastecimento local, SANEAGO, mesma fonte utilizada pelas construtoras da região do trabalho desenvolvido.

3.2 TRAÇOS

3.2.1 Trabalho 1

Forti (2017) definiu o traço a ser utilizado no desenvolvimento de seu trabalho a partir da tomada de um traço tradicional para execução de reboco do tipo massa única baseado em uma pesquisa realizada com construtoras da região do Vale do Taquari, localizadas em Lajeado, Arroio do Meio, Estrela, Teutônia e Encantado.

A partir da pesquisa nas construtoras da região já citada, o autor obteve o resultado de que o traço mais comum utilizado nas construções do Vale do Taquari é 1:1,5:6 (cimento:cal hidratada:areia fina), conforme Tabela 1.

Tabela 1 – Traço padrão Trabalho 1

Traço	Dosagem							
	Volume			Peso (Kg)			a/c (kg)	a/aglomerante (kg)
	Cimento	Cal	Areia	Cimento	Cal	Areia		
	1	1,5	6	1	1,09	10,02	2,1	1,01

Fonte: Forti (2017)

Para o desenvolvimento do trabalho, o autor optou por variar o traço padrão citado anteriormente a partir da variação da quantidade de cal em -10%, +10% e +20%.

3.2.2 Trabalho 2

Marina optou pela utilização de três traços distintos de argamassa mista nas proporções 1:1:6, 1:2:9 e 1:0,5:3,4 (cimento:cal hidratada:areia), conforme Tabela 2, em que o traço em massa indica a quantidade de material por peso e foram obtidos pela popularidade desses traços em obras de Goiânia. Os traços foram produzidos em uma betoneira estacionária de 400l, com tempo de preparo de 20 minutos. Os

traços foram aplicados com diferentes proporções no fator água/cimento (a/c) em dez substratos de concreto produzidas pela autora.

Tabela 2 – Traços utilizados no Trabalho 2

Traço em volume	Traço em massa (kg)	Água/materiais secos (%)	Teor de cimento (%)
1 : 1 : 6	1 : 0,4 : 8,25 : 1,86 : 0,06	19,2	10,4
1 : 2 : 9	1 : 0,8 : 12,37 : 2,73 : 0,06	19,2	6,9
1 : 0,5 : 3,4	1 : 0,2 : 4,9 : 0,98 : 0,06	15,9	16,4

Fonte: Campos (2014)

A quantidade de água dos traços foram definidas a partir do ensaio de consistência por espalhamento (flow table, NBR 13276 de 2005) de forma a padronizar a trabalhabilidade com uma consistência de 265 +/- 5 mm.

3.2.3 Trabalho 3

Como os autores do trabalho 3 optaram por realizar experimentos *in loco* em duas construtoras, os traços utilizados foram os padrões das construtoras responsáveis pelas Obras A e B. Dessa forma, o traço utilizado na Obra A foi 1:1:6 (cimento:cal hidratada:areia), enquanto o traço utilizado na Obra B foi 1:2:8 (cimento:cal hidratada:areia).

3.3 ENSAIOS

3.3.1 Trabalho 1

Os ensaios desenvolvidos no trabalho 1 foram executados seguindo o passo a passo determinado nas normas da ABNT. Além disso, cabe ressaltar que todos os ensaios foram desenvolvidos pelo autor no Laboratório de Tecnologias de Construção, LATEC, do curso de Engenharia Civil da Instituição de Ensino Univates.

3.3.1.1 Caracterização

Foi realizado a caracterização de todos os materiais constituintes da argamassa, exceto para água. O autor optou por realizar os ensaios de granulometria, massa específica e massa unitária para a areia e obter os índices de massa específica e massa unitária para os aglomerantes, cimento e cal, diretamente com os fabricantes.

3.3.1.1.1 Cimento

O autor optou por não realizar ensaios de caracterização no cimento utilizado nos ensaios. Entretanto, para avaliar as características do material utilizado, Eduardo obteve os resultados dos ensaios de massa específica e massa unitária diretamente do fabricante. Para a massa específica obteve-se um resultado de 2830 kg/m³. Já para a massa unitária obteve-se um resultado de 986 kg/m³.

3.3.1.1.2 Cal Hidratada

A caracterização da cal foi realizada de forma idêntica à realizada com o cimento. Dessa forma, obteve-se uma massa específica de 2234 kg/m³ e uma massa unitária de 617 kg/m³.

3.3.1.1.3 Agregado miúdo

O autor optou por utilizar como agregado miúdo uma areia natural fina e, para caracterizar o material, foram realizados ensaios de granulometria, massa específica e massa unitária de acordo com as normas da ABNT.

O ensaio de composição granulométrica da areia foi realizada seguindo a NBR NM 248 (ABNT, 2003). Para a realização do ensaio optou-se pela utilização da série normal de peneiras e um agitador mecânico de peneiras, conforme Figura 6.

Figura 6 – Agitador mecânico de peneiras



Fonte: Forti (2017)

Após a realização do ensaio de acordo com a normativa citada acima, obtiveram-se a Tabela 3, com os resultados, inclusive o módulo de finura da areia e dimensão máxima característica dos grãos, de forma a comprovar se tratar de uma areia fina, e a curva granulométrica do agregado, conforme Figura 7.

Tabela 3 – Dados granulométricos do agregado

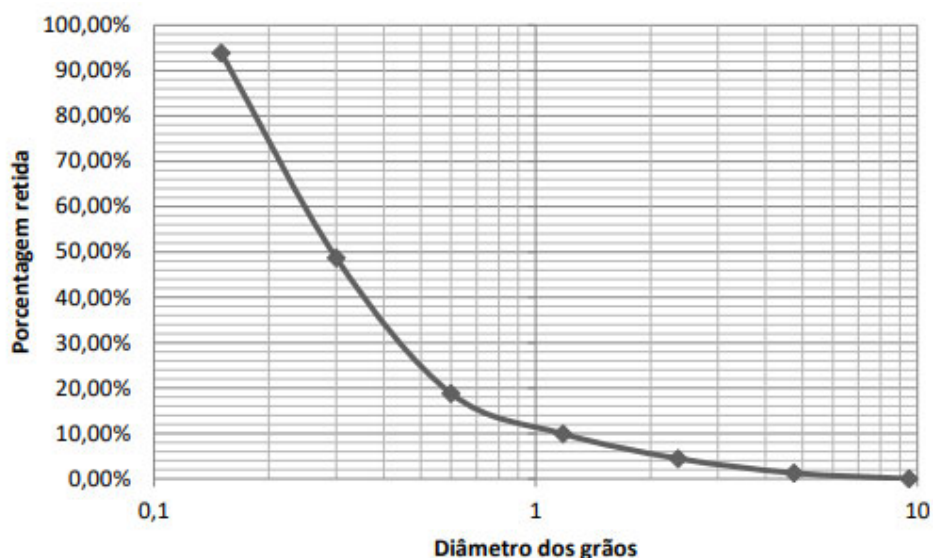
Peneiras (mm)	Retido (g)	Retido (%)	Acumulado (%)
9,5	0,0	0,00%	0,00%
4,75	12,7	1,27%	1,27%
2,36	31,9	3,19%	4,46%
1,18	54,4	5,44%	9,90%
0,6	89,2	8,92%	18,82%
0,3	299,2	29,92%	48,74%
0,15	451,4	45,14%	93,88%
Fundo	59,1	5,91%	99,79%
TOTAL	997,9	99,79%	276,86%
Diâmetro máximo (mm):			2,36
Módulo de finura:			1,77

Fonte: Forti (2017)

Para a determinação da massa específica da areia, massa do material desconsiderando os vazios entre grãos, seguiu-se a NBR NM 45 (ABNT, 2006) e obteve um resultado de 2631,1 kg/m³. Já para determinação da massa unitária do

agregado, massa do material considerando os vazios entre grãos, seguiu-se a NBR NM 52 (ABNT, 2009) e obteve um resultado de 986 kg/m³.

Figura 7 – Curva granulométrica do agregado



Fonte: Forti (2017)

3.3.1.2 Argamassa

O autor não descreveu o procedimento de produção da argamassa. Ainda, com relação as argamassas, foram realizados alguns ensaios para caracterizá-la tanto no estado fresco, quanto no estado endurecido.

3.3.1.2.1 Índice de Consistência

O ensaio de índice de consistência é o fator que mede a propriedade de consistência das argamassas no estado fresco, descrita no item 2.6.3. Esse índice é obtido pelo ensaio conhecido como *flow table*, descrito na norma NBR 13276 (ABNT, 2016). Entretanto, o trabalho foi desenvolvido utilizando a versão de 2005 da NBR 13276.

O índice de consistência é obtido a partir da moldagem da argamassa em um cilindro cônico em três camadas de altura aproximadamente igual, seguidas de 15, 10 e 5 golpes com soquete, respectivamente. Em seguida, realiza-se a média

aritmética de 3 medidas do diâmetro da argamassa espalhada na mesa de queda após a aplicação de 30 quedas padronizadas, conforme previsto na versão de 2005 da NBR 13276. A Figura 8 ilustra a medição do diâmetro da argamassa espalhada com auxílio de um paquímetro.

Figura 8 – Determinação do índice de consistência



Fonte: Forti (2017)

3.3.1.2.2 Retenção de Água

A retenção de água é uma propriedade no estado fresco que mede a capacidade da argamassa de absorver e reter a água de emassamento durante o processo de cura, descrita no item 2.6.10. Essa propriedade é medida através do ensaio descrito na NBR 13277 (ABNT, 2005).

A capacidade de retenção de água da argamassa é obtida através da exposição da argamassa a um compressor, seguido da obtenção de algumas massas e, posteriormente, em posse dos dados, a realização do cálculo da capacidade de retenção de água, conforme previsto na versão de 2005 da NBR 13277. A Figura 9 ilustra a aparelhagem montada durante o ensaio de retenção de água.

Por fim, a capacidade de retenção de água de uma argamassa no estado fresco é determinada pela equação abaixo:

$$R_a = \left(1 - \frac{(m_a - m_s)}{AF \times (m_a - m_s)}\right) \times 100 \quad (6)$$

Sendo:

$$AF = \frac{m_w}{m + m_w} \quad (7)$$

Onde:

- R_a : retenção de água, em %;
- m_a : massa do conjunto com argamassa, em g;
- m_s : massa do conjunto após sucção, em g;
- m_v : massa do conjunto vazio, em g;
- AF: fator água/argamassa fresca;
- m_w : massa total de água acrescentada à mistura, em g;
- m : soma das massas dos componentes anidros para argamassas rodadas em obra, em g.

Figura 9 – Ensaio de retenção de água



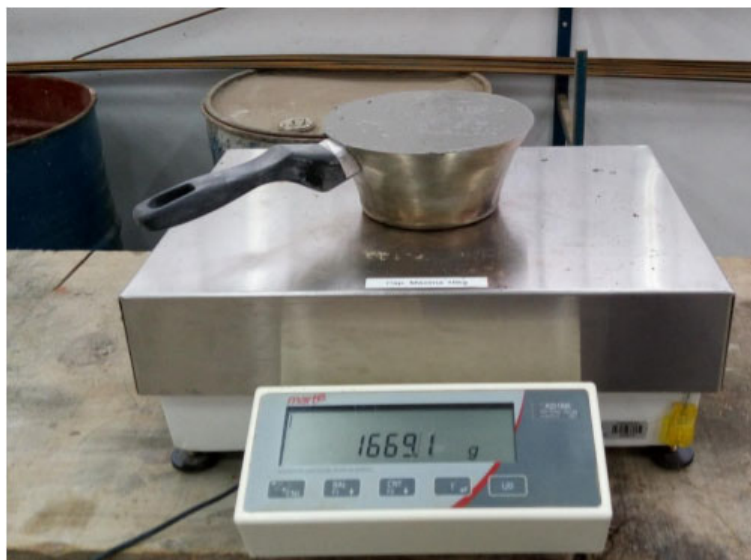
Fonte: Forti (2017)

3.3.1.2.3 Densidade de Massa

A densidade de massa no estado fresco é uma propriedade que mede a concentração de massa por volume de argamassa, ou a relação entre massa e volume, conhecida popularmente como massa específica, descrita no item 2.6.4. Essa propriedade é medida através do ensaio descrito na NBR 13278 (ABNT, 2005).

A densidade de massa da argamassa é obtida através das medidas de massa e volume de argamassa, colocada em um recipiente com massa e volume conhecidos, através da atribuição de 3 camadas de argamassa com a aplicação de 20 golpes por camada para adensamento e, posterior, arrasamento, conforme previsto na versão de 2005 da NBR 13278. O cálculo da densidade de massa é realizado a partir da Equação 1, no item 2.6.4. A Figura 10 ilustra a pesagem da argamassa dentro do recipiente.

Figura 10 – Ensaio de densidade de massa no estado fresco



Fonte: Forti (2017)

3.3.1.2.4 Teor de Ar Incorporado

O teor de ar incorporado é uma propriedade no estado fresco que mede o volume de vazios presente na argamassa, descrita no item 2.6.12. Essa propriedade é medida através do ensaio descrito na NBR 13278 (ABNT, 2005), mesmo ensaio

realizado para a determinação da densidade de massa, descrita no item anterior. O cálculo do teor de ar incorporado é realizado a partir da Equação 5, no item 2.6.12.

3.3.1.2.5 Densidade de Massa Aparente

A densidade de massa no estado endurecido é uma propriedade no estado fresco que mede a concentração de massa por volume aparente, conhecida popularmente como densidade de massa endurecida ou densidade de massa aparente, descrita no item 2.6.4. Essa propriedade é medida através do ensaio descrito na NBR 13280 (ABNT, 2005).

A densidade de massa da argamassa no estado endurecido é obtida através das medidas de massa e volume de três corpos de prova de argamassa com dimensões de 4x4x16 cm, conforme previsto na versão de 2005 da NBR 13280. O cálculo da densidade de massa é realizado a partir da média dos três resultados obtidos pela Equação 2, no item 2.6.4. A Figura 11 ilustra a pesagem da argamassa dentro do recipiente.

Figura 11 – Ensaio de densidade de massa no estado endurecido



Fonte: Forti (2017)

3.3.1.2.6 Aborção de Água

A absorção de água é uma propriedade no estado endurecido que mede a capacidade do corpo de prova de absorver água do meio externo. A absorção de água das argamassas pode se dar através da capilaridade e é medida através do ensaio descrito na NBR 15259 (ABNT, 2005).

O ensaio é realizado com três corpos de prova de 4x4x16 centímetros com idade de 28 dias. Após a moldagem dos corpos de prova, realiza-se sua passagem a seco e, em seguida, coloca o corpo de prova apoiado em lâmina d'água com 5,0 +/- 1,0 milímetros com relação a face apoiada do corpo de prova. Posteriormente, realiza-se a pesagem do corpo de prova após 10 e 90 minutos em contato com a lâmina. Antes de realizar a pesagem é necessário enxugá-los para retirar o excesso de água, conforme previsto na versão de 2005 da NBR 15259. A Figura 12 ilustra a os corpos de prova de argamassa em contato com a lâmina d'água.

Figura 12 – Ensaio de absorção de água por capilaridade



Fonte: Forti (2017)

Por fim, a capacidade de absorção d'água por capilaridade de um corpo de prova de argamassa é determinado pela média dos três resultados obtidos a partir da equação abaixo, calculado para cada tempo:

$$A_t = \frac{m_t - m_0}{16} \quad (8)$$

Onde:

- A_t : absorção de água por capilaridade para cada tempo, em g/cm^2 ;
- m_t : massa do corpo de prova em cada tempo, em g;
- m_0 : massa inicial do corpo de prova, em g;
- t : variável correspondente aos tempos de 10 e 90 minutos, em s.

3.3.1.2.7 Tração na Flexão

A tração na flexão é uma propriedade mecânica no estado endurecido que mede a capacidade de resistência à tração na flexão de um corpo de prova de argamassa. Essa propriedade é medida através do ensaio descrito na NBR 13279 (ABNT, 2005).

O ensaio é realizado com três corpos de prova de 4x4x16 centímetros com idade de 28 dias. Após a moldagem dos corpos de prova, apoia-se a peça moldada ao longo da maior direção em dois pontos com distância de 30 milímetros para cada extremidade e aplica-se uma carga pontual progressiva de (50 ± 10) N/s até o rompimento do corpo de prova, conforme previsto na versão de 2005 da NBR 13279. A Figura 13 ilustra a aplicação da força de tração na flexão no corpo de prova de argamassa.

Figura 13 – Ensaio de resistência à tração na flexão



Fonte: Forti (2017)

Por fim, a capacidade de resistência à tração na flexão de uma argamassa é determinada pela média dos três resultados obtidos a partir da equação abaixo:

$$R_f = \frac{1,5 \times F_f \times L}{40^3} \quad (8)$$

Onde:

- R_f : resistência à tração na flexão, em MPa;
- F_f : carga aplicada verticalmente no centro do prisma, em N;
- L : distância entre os suportes, em mm.

3.3.1.2.8 Compressão

A resistência a compressão é uma propriedade mecânica no estado endurecido relacionada a capacidade das argamassas de resistir a aplicação de cargas estáticas ou dinâmicas de forma perpendicular ao corpo de prova, descrita no item 2.6.9. Essa propriedade é medida através do ensaio descrito na NBR 13279 (ABNT, 2005).

O ensaio é realizado com os mesmos corpos de prova utilizados no ensaio de tração na flexão. Após a realização do ensaio de tração na flexão utiliza-se foi utilizado uma das duas metades de cada corpo de prova rompido e, a partir dessas metades, realizou-se a aplicação da força de compressão, conforme previsto na versão de 2005 da NBR 13279. A Figura 14 ilustra a aplicação da força de compressão no corpo de prova de argamassa.

Por fim, a capacidade de resistência à compressão de uma argamassa é determinada pela média dos três resultados obtidos a partir da equação abaixo:

$$R_c = \frac{F_c}{1600} \quad (9)$$

Onde:

- R_c : resistência à compressão, em MPa;
- F_c : carga máxima aplicada, em N.

Figura 14 – Ensaio de resistência à compressão



Fonte: Forti (2017)

3.3.1.2.9 Aderência à Tração

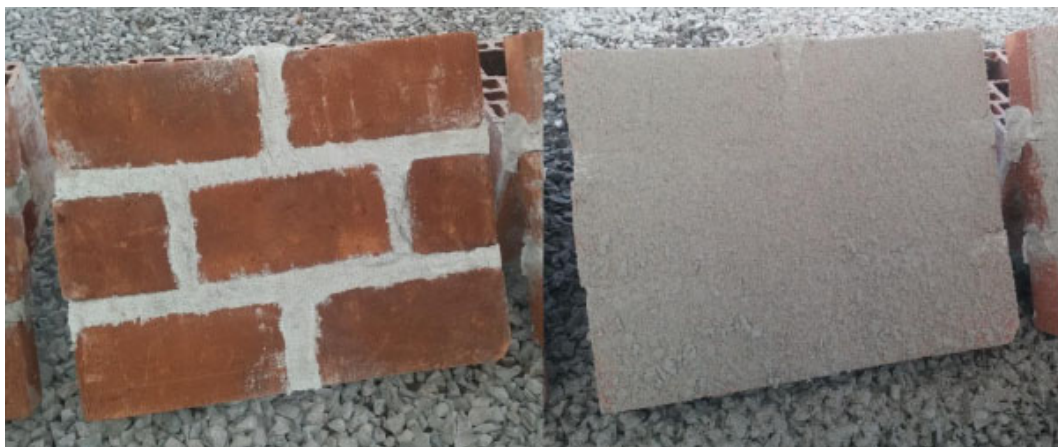
A resistência de aderência à tração é uma propriedade mecânica no estado endurecido relacionada a capacidade de se manter a ligação entre revestimento e substrato mesmo com as diversas solicitações internas e externas, descrita no item 2.6.1. Essa propriedade é medida através do ensaio descrito na NBR 13528 (ABNT, 2019). Entretanto, como o trabalho de Eduardo foi desenvolvido em 2017, foi utilizado a versão de 2010 da NBR 13528 como referência.

O substrato em questão foi produzido com tijolos maciços de dimensões 36x48 centímetros. O autor não especificou a argamassa utilizada para o assentamento dos blocos. Após a construção da alvenaria de substrato, foi aplicado uma camada de chapisco na proporção de 1:3 (cimento : agregado miúdo) e com a utilização de um aplicador manual da marca Vonder. Para a execução dos ensaios de aderência foram construídas quatro painéis de alvenaria. A Figura 15 ilustra um painel antes e depois da execução do revestimento argamassado.

O revestimento argamassado foi executado com o auxílio da mesa de queda, conforme Figura 16, que simula a aplicação de argamassa manual feita em obra. Esse equipamento é aconselhado para experimentos laboratoriais, pois representa

uma execução muito semelhante para todos os painéis e evita a divergência de resultados causadas pelo fator mão de obra.

Figura 15 – Pannel de alvenaria antes e depois da execução do revestimento argamassado



Fonte: Forti (2017)

Figura 16– Mesa de queda



Fonte: Tiggemann (2016), apud Forti (2017)

Para a execução do ensaio foi necessário esperar o processo de cura do revestimento de 28 dias. Após a cura, realizou-se os 12 furos de 50 +/- 1 milímetros de diâmetro no revestimento com auxílio de um serra copo. Os cortes foram executados de forma a não ultrapassar 5 milímetros além da interface alvenaria/substrato. Ainda, os furos foram realizados aleatoriamente de forma a

atingir regiões tanto de bloco, quanto de junta, sendo espaçados entre si e entre as bordas em, no mínimo, 50 milímetros.

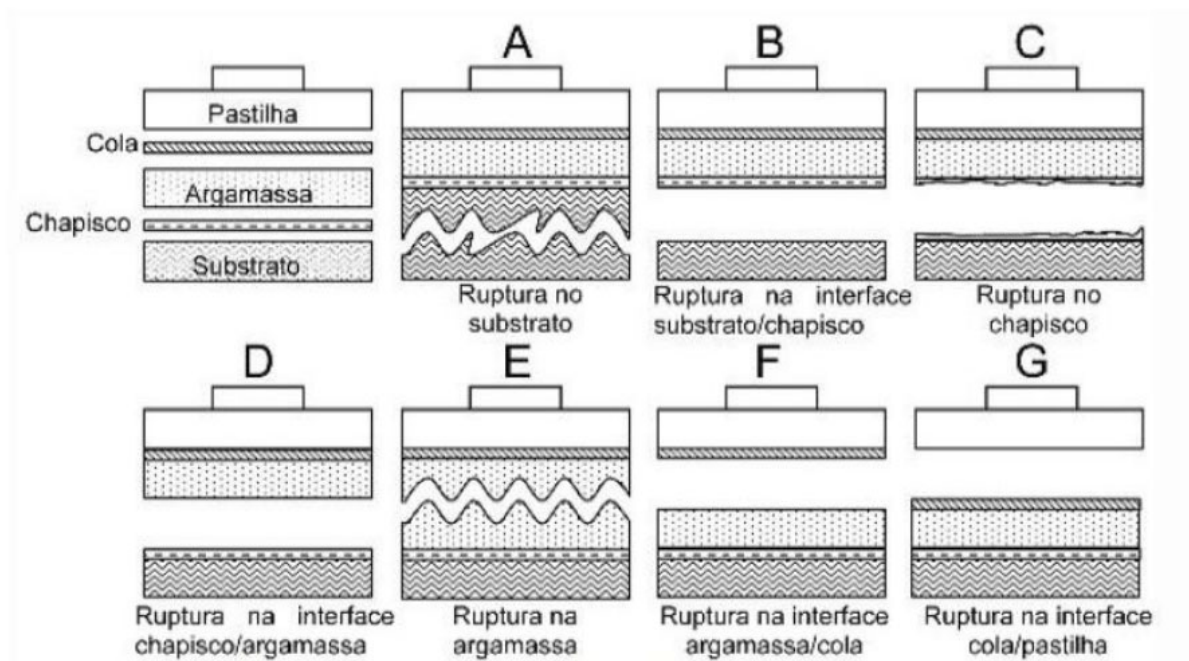
Após a execução dos furos, executou-se a colagem das pastilhas com auxílio de cola epóxi, de forma a aguardar a cura da cola de acordo com o tempo estipulado pelo fabricante. Em seguida, realizou-se o arrancamento, conforme Figura 17. Por fim, o autor realizou a análise dos corpos de prova rompidos para verificar as formas de rupturas e os percentuais, conforme Figura 18, para levar em consideração durante análise da resistência de aderência à tração.

Figura 17 – Execução do arrancamento



Fonte: Forti (2017)

Figura 18 – Formas de ruptura do corpo de prova



Fonte: NBR 13528 (ABNT, 2010)

3.3.2 Trabalho 2

Os ensaios desenvolvidos no trabalho 2 foram executados seguindo o passo a passo determinado nas normas da ABNT. Além disso, cabe ressaltar que todos os ensaios foram desenvolvidos pela autora no laboratório da empresa Carlos Campos Consultoria e Construções Limitada.

3.3.2.1 Caracterização

Assim como no trabalho 1, neste trabalho foi realizado a caracterização de todos os materiais constituintes da argamassa, exceto para água. Entretanto, neste trabalho foram executados um número maior de ensaios de caracterização dos materiais, tornando-se um trabalho mais completo e com maior precisão nos resultados.

3.3.2.1.1 Cimento

A autora optou pela realização dos ensaios de massa específica (seguindo o método da ABNT NBR NM 23:2001), índice de finura peneira número 0,075 milímetros (seguindo o método ABNT NBR 11579:2012), início e fim de pega (de acordo com o método da ABNT NM 65:2003) e resistência a compressão (de acordo com a ABNT NBR 7215:1997), conforme Tabela 4.

Tabela 4 – Caracterização do cimento

Ensaio	Idade	Unidade	Resultado
Massa específica	-	g/cm ³	3,02
Índice de Finura peneira nº 0,075 mm	-	%	0,36
Início de pega	-	min	147
Fim de pega	-	min	183
Resistência à compressão	7 dias	MPa	34,0
	28 dias	MPa	43,9

Fonte: Campos (2014)

3.3.2.1.2 Cal Hidratada

A caracterização da cal foi realizada de forma mista, a caracterização física foi realizada pela autora e a caracterização química foi fornecida pelo fabricante. Para caracterizar fisicamente a cal, a autora realizou os ensaios de massa específica seguindo a NBR NM 23 (ABNT, 2001) e finura seguindo a NBR 9289 (ABNT, 2000). Os resultados estão presentes na Tabela 5.

Tabela 5 – Caracterização da cal hidratada

Descrição	Unidade	Resultado
Massa específica (NBR NM 23:2001)	g/cm ³	2,42
Finura peneira nº 0,075 mm	%	9,56
CaO total	%	72,85
MgO total	%	0,35
Fe ₂ O ₃	%	0,14
Al ₂ O ₃	%	0,33
SO ₃	%	0,22
Umidade	%	0,65

Fonte: Campos (2014)

3.3.2.1.3 Agregado miúdo

A autora optou por utilizar como agregado miúdo uma areia natural média, proveniente de jazida em Faina/GO, e, para caracterizar o material, foram realizados ensaios de granulometria (segundo a ABNT NBR NM 248:2003), massa específica (de acordo com a metodologia disposta na ABNT NBR NM 45:2006), massa unitária (segundo a ABNT NBR NM 52:2009), material pulverulento (de acordo com a ABNT NBR NM 46:2003) e o teor de argila em torrões (segundo o método da ABNT NBR 7218:2010). Os resultados dos ensaios citados acima foram apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 – Caracterização do agregado miúdo

Método	Descrição		Argamassa Areia Natural "Média"
ABNT NBR NM 248:2003	Granulometria (%)	4,75 mm	-
		2,36 mm	1
		1,18 mm	19
		600 µm	29
		300 µm	30
		150 µm	19
		<150 µm	2
	Módulo de finura		2,47
	Dimensão máxima (mm)		2,4
ABNT NBR NM 45:2006	Massa unitária (g/cm³)	1,47	
ABNT NBR NM 52:2009	Massa específica (g/cm³)	2,68	
ABNT NBR NM 46:2003	Material pulverulento (%)	0,3	
ABNT NBR 7218:2010	Teor de argila em torrões	0,06	

Fonte: Campos (2014)

3.3.2.1.4 Pigmento

O pigmento inorgânico utilizado nos traços de argamassa de revestimento foi caracterizado pela autora de forma a adaptar as normas existentes, vez que não existe uma normativa própria para a caracterização desse tipo de material. Dessa forma, a autora adaptou a norma NBR NM 23:2001 para obter a massa específica do material e a norma NBR NM 11579:2013 para obter a finura do material na peneira nº 200, obtendo os resultados apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 – Caracterização do pigmento

Ensaio	Método	Resultado
Massa específica (g/cm ³)	adaptado da NBR NM 23:2001	4,17
Finura peneira nº 200 (%)	adaptado da NBR NM 11579:2013	2,62

Fonte: Campos (2014)

3.3.2.1.5 Concreto

Inicialmente, a autora realizou a dosagem do concreto de forma a obter quatro relações diferentes de água/cimento, sem variar a trabalhabilidade (consistência de 100 +/- 10 mm, exceto para o concreto com a/c de 0,65, que obteve uma consistência ligeiramente maior). A Tabela 8 detalha as informações de cada traço obtido.

Tabela 8 – Dosagem dos traços de concreto

a/c	0,35	0,50	0,65	0,80
Traço (volume)	1:0,46:1,14:0,35	1:1,27:1,52:0,50	1:1,96:1,80:0,65	1:2,64:2,07:0,80
Traço (massa)	1:1,58:0,62:0,35	1:2,10:1,70:0,50	1:2,50:2,60:0,65	1:2,88:3,52:0,80
m	2,20	3,80	5,10	6,40
Cimento (kg)	116,0	68,0	50,0	40,0
Agregado graúdo (kg)	183,3	142,8	125,0	115,2
Agregado miúdo (kg)	72,0	115,6	130,0	140,8
Água (ml)	40,6	34,0	32,5	32,0
Aditivo (ml)	510,4	170,0	100,0	55,0
Teor de argamassa (%)	50,6	56,3	59,0	61,1
Consumo de cimento (kg/m ³)	657,0	439,0	342,0	281,0
Abatimento (mm)	110	95	130	105

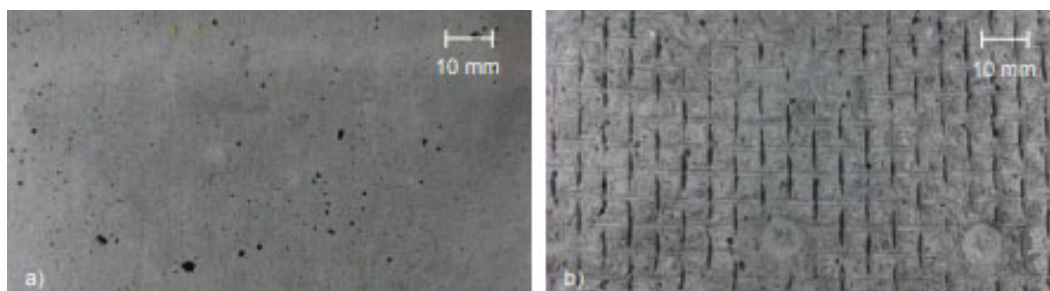
Fonte: Campos (2014)

O concreto utilizado nos ensaios foi feito em betoneira de 400 litros da marca Menegotti com rotação de 28 rpm. Os corpos de prova de concreto foram adensados com auxílio de um vibrador de imersão e foi utilizado desmoldante em forma de emulsão de ácidos graxos diluído em água, com a proporção de 1:8 (desmoldante : água), para possibilitar a desforma dos corpos de prova sem nenhum dano.

Em seguida, realizou-se a caracterização do padrão de rugosidade, vez que a autora optou por utilizar dois tipos diferentes, denominados de R1 e R2. Os padrões foram diferenciados basicamente pelo fato do R1 apresentar uma superfície lisa e o R2 apresentar uma superfície rugosa, conforme Figura 19. O ensaio para identificação dos níveis de rugosidade foram realizados com auxílio de uma mesa para deslocamento, relógios para medição dos picos (máximo) e vales (mínimo) de rugosidade com precisão de 0,01 milímetros, sendo relógio apalpador para R1 e relógio comparador para R2. A medição foi realizada a cada 0,5 milímetros horizontalmente, em três faixas de aproximadamente 50 milímetros, conforme Figura

20. O resumo dos resultados obtidos está presente na Tabela 8 (onde R_a é a rugosidade média, $R_{\max}$ é a rugosidade máxima, R_y é a rugosidade total, DP é o desvio padrão e CV é o coeficiente de variação).

Figura 19 – Padrões de rugosidade a) R1; b) R2



Fonte: Campos (2014)

Figura 20 – Ensaio de rugosidade a) R1; b) R2



Fonte: Campos (2014)

Tabela 8 – Resultados do ensaio de rugosidade

Parâmetro	Rugosidade 1			Rugosidade 2		
	R_a (mm)	$R_{\max}$ (mm)	R_y (mm)	R_a (mm)	$R_{\max}$ (mm)	R_y (mm)
Resultado (mm)	26	0,07	0,12	780	2,28	3,34
D.P. (mm)	13,23	0,04	0,06	85,51	0,14	0,36
C.V. (%)	50,8	51,1	46,1	11,0	6,1	10,8

Fonte: Campos (2014)

O passo seguinte foi realizar a moldagem dos corpos de prova utilizados como substrato. Inicialmente foram moldados 10 corpos de prova (5 R1 e 5 R2) de dimensões 100 x 40 x 10 centímetros, simulando pilares para o ensaio de resistência de aderência à tração. Os painéis de rugosidade R2 foram moldados com adição de tela de aço com espessura do fio de 1,8 milímetros e abertura de 4 milímetros, fixadas com auxílio de parafusos autoatarrachante a cada 100 milímetros. A Figura

21 ilustra duas formas de compensado de madeira abertos, um para cada tipo de rugosidade. Após 7 dias foi realizado a desforma dos corpos de prova de substrato e, em seguida, foram fixados em pórticos metálicos, conforme Figura 22, para facilitar a execução dos ensaios.

Figura 21 – Formas de compensado de madeira para painéis R1 (esquerda) e R2 (direita)



Fonte: Campos (2014)

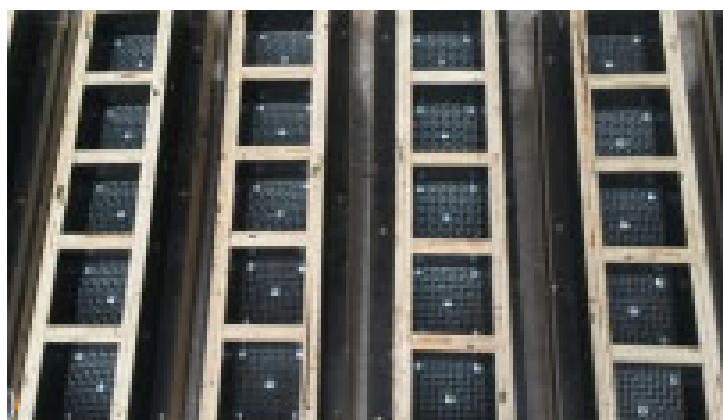
Figura 22 – Fixação dos corpos de prova no pórtico metálico



Fonte: Campos (2014)

Em seguida foram moldados 160 corpos de prova (80 R1 e 80 R2) de dimensões 80 x 80 x 50 milímetros, utilizando concreto com fator a/c de 0,65, para o ensaio de resistência de aderência ao cisalhamento. Os painéis de rugosidade R2 foram moldados com adição da mesma tela dos corpos de prova de substrato para ensaio de resistência de aderência à tração, conforme Figura 23. Após 7 dias foi realizado a desforma parcial dos corpos de prova de substrato, retirando apenas uma parte de compensado de forma a permitir que a superfície rugosa ou lisa ficasse disponível, conforme Figura 24, e, em seguida, foram fixados em pórticos metálicos para facilitar a execução dos ensaios. Ainda, realizou-se uma limpeza prévia nos corpos de prova com jato de água com pressão de 10 kgf/cm² e distância de 2 metros, para retirar o desmoldante da superfície do substrato 7 dias antes da execução do revestimento com argamassa.

Figura 23 – Formas de compensado de madeira para painéis R2 do ensaio de resistência de aderência ao cisalhamento



Fonte: Campos (2014)

O concreto utilizado no substrato do ensaio de arrancamento foi caracterizado fisicamente nos estados fresco e endurecido a partir dos ensaios de abatimento pelo tronco de cone (NBR NM 67:1998), resistência à compressão (NBR 5739:2005), elasticidade (NBR 13279:2005), absorção de água (NBR 9778:2005), absorção de água por capilaridade (NBR 9779:2012) e taxa de sucção inicial (ASTM C67:2013). Os resultados estão presentes na Tabela 10.

Figura 24 – Desforma parcial dos corpos de prova do ensaio de resistência de aderência ao cisalhamento



Fonte: Campos (2014)

Tabela 10 – Caracterização do concreto

Ensaio/método	Tamanho da amostra	Observações
Determinação de abatimento pelo tronco de cone – ABNT NBR NM 67:1998	Normativo: 1 determinação a cada amassada Ensaída: 2 determinações por betonada: uma no início e outra no final da moldagem	Foram realizadas duas determinações no intuito de verificar a variação da trabalhabilidade ao longo do tempo de moldagem.
Determinação da resistência à compressão ABNT NBR 5739:2007	Normativo: 1 exemplar (2 corpos de prova) para cada amassada Ensaída: 4 corpos de prova por amassada	Foi utilizado papel carbono entre a placa de compressão e o corpo de prova durante o ensaio, no intuito de verificar a distribuição de carga no topo das amostras. O resultado foi satisfatório.
Módulo estático de elasticidade ABNT NBR 13279:2005	Normativo: 3 corpos de prova Ensaída: 3 corpos de prova	Foi determinado o módulo estático de elasticidade pela metodologia A.
Determinação da absorção de água ABNT NBR 9778:2005	Normativo: 3 corpos de prova Ensaída: 4 corpos de prova	As amostras foram secas em estufa por 72 h em temperatura de 60 ± 3 °C.
Determinação da absorção de água por capilaridade ABNT NBR 9779:2012	Normativo: 3 corpos de prova Ensaída: 10 corpos de prova	Todos os corpos de prova passaram por limpeza das faces para ensaio. As amostras foram secas em estufa por 72 h em temperatura de 60 ± 3 °C. O topo do corpo de prova foi a face utilizada para o ensaio em todas as determinações.
Taxa de sucção inicial (IRA) ASTM C67:2013 adaptado	Normativo: 3 corpos de prova Ensaída: 10 corpos de prova	Todos os corpos de prova passaram por limpeza das faces para ensaio. As amostras foram secas ao ar, conforme prescrito em norma. O topo do corpo de prova foi a face utilizada para o ensaio em todas as determinações.

Fonte: Campos (2014)

3.3.2.2 Argamassa

As argamassas utilizados nos ensaios foram preparadas com três traços diferentes: 1:1:6, 1:2:9 e 1:0,5:3,4 (cimento : cal hidratada : areia) em volume. As misturas foram executadas com auxílio de uma betoneira de 400 litros, a mesma utilizada para produção de concreto, com um tempo de mistura de 20 minutos e quantidade de água controlada pela consistência (através do ensaio *flow table*) padronizada em 265 +/- 5 milímetros. Ainda, foi adicionado pigmento na cor amarela com a proporção de 6% em relação a massa de cimento, quantidade recomendada pelo fabricante. A Tabela 11 apresenta um resumo da dosagem das argamassas produzidas.

Tabela 11 – Dosagem das argamassas

Traço em volume	Traço em massa (kg)	Água/materiais secos (%)	Teor de cimento (%)
1 : 1 : 6	1 : 0,4 : 8,25 : 1,86 : 0,06	19,2	10,4
1 : 2 : 9	1 : 0,8 : 12,37 : 2,73 : 0,06	19,2	6,9
1 : 0,5 : 3,4	1 : 0,2 : 4,9 : 0,98 : 0,06	15,9	16,4

Fonte: Campos (2014)

Para caracterizar as argamassas foram realizados ensaios nos estados fresco e endurecido: densidade de massa e teor de ar incorporado (ABNT NBR 13278:2005), índice de consistência (ABNT NBR 13276:2005), consistência por penetração do cone (ASTM C780:2014), resistência à tração na flexão (ABNT NBR 13279:2005), resistência à compressão axial (ABNT NBR 13279:2005), absorção de água por capilaridade (ABNT NBR 9779:2012) e módulo de elasticidade dinâmico (ABNT NBR 15630:2009).

3.3.2.2.1 Densidade de Massa

A densidade de massa no estado fresco é uma propriedade já citada no item 3.3.1.2.3. Essa propriedade é medida através do ensaio descrito na NBR 13278 (ABNT, 2005).

3.3.2.2.2 Teor de Ar Incorporado

O teor de ar incorporado é uma propriedade no estado fresco já citada no item 3.3.1.2.4. Essa propriedade é medida através do ensaio descrito na NBR 13278 (ABNT, 2005).

3.3.2.2.3 Índice de Consistência

O índice de consistência é uma propriedade no estado fresco já citada no item 3.3.1.2.1. Essa propriedade é medida através do ensaio descrito na NBR 13276 (ABNT, 2005).

3.3.2.2.4 Penetração do cone

O ensaio de penetração do cone é uma forma de determinação da consistência da argamassa. Essa propriedade é medida através do ensaio descrito na norma C780 (ASTM, 2014).

3.3.2.2.5 Tração na Flexão

A tração na flexão é uma propriedade mecânica no estado endurecido já citada no item 3.3.1.2.7. Essa propriedade é medida através do ensaio descrito na NBR 13279 (ABNT, 2005).

3.3.2.2.6 Compressão

A compressão axial é uma propriedade no estado endurecido já citada no item 3.3.1.2.8. Essa propriedade é medida através do ensaio descrito na NBR 13279 (ABNT, 2005).

3.3.2.2.7 Absorção de Água

A absorção de água é uma propriedade no estado endurecido já citada no item 3.3.1.2.6. Essa propriedade é medida através dos ensaios NBR 9779 (ABNT, 2012) ou NBR 15259 (ABNT, 2005); sendo que, a primeira é mais precisa e demorada; já a segunda é mais rápida, porém mais imprecisa. A autora do trabalho 2 optou por utilizar a NBR 9779, já o autor do trabalho 1 optou por utilizar a NBR 15259.

3.3.2.2.8 Módulo de elasticidade dinâmico

A elasticidade é uma propriedade no estado endurecido que mede a capacidade do corpo de prova de deformar-se ao sofrer ação de esforços, sem alterar sua estrutura, conforme descrito no item 2.6.6. O módulo de elasticidade dinâmico é um ensaio para medir a capacidade elástica da argamassa descrito na NBR 15630 (ABNT, 2009).

O ensaio é realizado com três corpos de prova de 4x4x16 centímetros com idade de 28 dias. Após a moldagem dos corpos de prova, realiza-se, quando necessário, lixamento e/ou das superfícies de forma a deixá-las regularizadas, aplica-se o gel de contato na superfície dos transdutores e posiciona-os centralizados nas faces opostas (4 x 4 centímetros) do corpo de prova. Em seguida, registra-se três vezes a menor leitura apresentada no mostrador digital e considera-se a menor delas. O módulo de elasticidade dinâmico é determinado a partir da equação 4 apresentada no item 2.6.6.

3.3.2.2.9 Aderência à Tração

Primeiramente, realizou-se a aplicação da argamassa de revestimento na superfície do substrato de concreto. Para isso, foram afixados gabaritos metálicos de forma a garantir uma espessura de 20 ± 2 milímetros. Posteriormente, realizou-se a limpeza da superfície de concreto com vassoura de cerdas duras e, em seguida, assoprador com ar comprimido para remover a presença de materiais pulverulentos na superfície do substrato, conforme Figura 25. Em seguida, realizou-se a umidificação do concreto com borrifador tipo spray, com uma quantidade de água de $0,025 \text{ ml/cm}^2$, aproximadamente 5 minutos antes da aplicação da argamassa de forma a melhorar a aderência, conforme Figura 26.

Figura 25 – Limpeza dos corpos de prova para ensaio de resistência de aderência à tração



Fonte: Campos (2014)

Figura 26 – Umidificação da superfície do substrato



Fonte: Campos (2014)

Enfim, realizou-se a aplicação da argamassa de forma mecanizada, com auxílio do equipamento de projeção com recipiente acoplado (popularmente conhecido como canequinha), da marca ANVI-Spray. O funcionamento do sistema é auxiliado por um compressor, responsável pelo fornecimento de ar comprimido, acoplado diretamente no recipiente projetor; dessa maneira, a argamassa é aplicada fresca, sem bombeamento, com pressão de aproximadamente 100 bar (10.000 kPa

ou 100 kgf/cm²), conforme Figura 27. Em seguida, realizou-se o sarrafeamento e desempenamento com auxílio de régua e desempenadeira, respectivamente, após 2 horas da projeção da argamassa, conforme Figura 28.

Após a realização das atividades preliminares, iniciou-se a execução do ensaio de resistência de aderência à tração seguindo a NBR 13528 (ABNT, 2010). Inicialmente realizou-se o corte de 24 áreas circulares com auxílio de serra copo diamantado, conforme Figura 29, seguido da limpeza dos cortes com auxílio de um aspirador de pó. Em seguida, acoplou-se as pastilhas nas áreas circulares com massa plástica e realizou-se o ensaio de arrancamento 30 +/- 2 dias após a execução do revestimento, com auxílio do aderímetro DYNA Z16, da marca Proceq e capacidade de carga de 1600 kg, conforme Figura 30.

Figura 27 – Projeção de argamassa na superfície do substrato



Fonte: Campos (2014)

Figura 28 – Desempenamento do revestimento argamassado



Fonte: Campos (2014)

A autora optou por realizar 24 arrancamentos para cada tipo de substrato (R1 e R2, com variação nos fatores a/c de 0,35; 0,50; 0,65 e 0,80) e tipo de argamassa (1:1:6, 1:2:9 e 1:0,5:3,4, sendo que o último só foi ensaiado em substratos com fator a/c 0,65), totalizando 480 arrancamentos. Após a realização do arrancamento a

autora anotou a carga de ruptura, a profundidade da ruptura (medida com auxílio de um paquímetro) e a porcentagem relativa à forma de ruptura (medida com auxílio de um gabarito transparente graduado, obtendo a porcentagem da área do furo, para furos de 50 milímetros).

Figura 29 – Corte do revestimento com auxílio de serra copo



Fonte: Campos (2014)

Figura 30 – Realização do ensaio: a) montagem do equipamento; b) corpos de prova após execução do ensaio



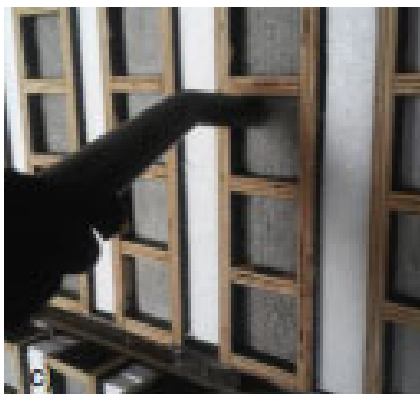
Fonte: Campos (2014)

3.3.2.2.10 Aderência ao cisalhamento

A preparação dos corpos de prova para ensaio de resistência de aderência ao cisalhamento foram semelhantes ao realizado nos corpos de prova do ensaio de resistência de aderência à tração, exceto a limpeza da superfície que foi feita com auxílio de um aspirador de pó para remover materiais pulverulentos da superfície do substrato, conforme Figura 31, e a dimensão que foi de 80 x 80 x 50 milímetros. Para esse ensaio foram moldados 160 substratos (sendo 80 com cada tipo de superfície, R1 e R2) com relação água/cimento de 0,65. As argamassas utilizadas

nesse ensaio foram de proporcionamento 1:0,5:3,4 e 1:1:6 (cimento, cal hidratada e areia) em volume.

Figura 31 – Limpeza dos corpos de prova para ensaio de resistência de aderência ao cisalhamento



Fonte: Campos (2014)

O ensaio de resistência de aderência ao cisalhamento foi executado de acordo com D 3080 (ASTM, 2011), norma para cisalhamento de solo. Para realização dos ensaios foi utilizada uma máquina de cisalhamento direto da marca Milestone, que aplicou tensões vertical e horizontal simultaneamente, conforme Figura 32. Durante a aplicação das cargas, deflectômetros verticais e horizontais registravam os movimentos da amostra.

Figura 32 – Máquina utilizada no ensaio de cisalhamento direto



Fonte: Campos (2014)

3.3.3 Trabalho 3

Os ensaios desenvolvidos no trabalho 3 foram executados seguindo o passo a passo determinado nas normas da ABNT. Além disso, cabe ressaltar que todos

ensaios desenvolvidos pelos autores foram realizados no canteiro de obras, *in loco*, das duas obras (A e B) estudadas.

3.3.3.1 Caracterização

Diferentemente dos dois trabalhos anteriores, o trabalho 3 não apresentou ensaios de caracterização de nenhum material. Dessa forma, a partir da leitura dos trabalhos, pôde-se concluir que este foi o trabalho mais incompleto em análise.

3.3.3.2 Argamassa

O autor não descreveu o procedimento de produção da argamassa. Ainda, com relação as argamassas, foram realizados alguns ensaios para caracterizá-la tanto no estado fresco, quanto no estado endurecido.

3.3.3.2.1 Densidade de Massa

A densidade de massa no estado fresco é uma propriedade já citada no item 3.3.1.2.3. Essa propriedade é medida através do ensaio descrito na NBR 13278 (ABNT, 2005). Entretanto, os autores optaram por utilizar a versão de 1995 como base para o ensaio.

3.3.3.2.2 Penetração do cone

A penetração do cone é um ensaio de consistência das argamassas no estado fresco já citado no item 3.3.2.2.4. Esse ensaio é descrito na ASTM C780 (2014). Entretanto, os autores optaram por utilizar a versão de 1996 como base para o ensaio.

3.3.3.2.3 Retenção de água

A retenção de água no estado fresco é uma propriedade já citada no item 3.3.1.2.2. Essa propriedade é medida através do ensaio descrito na NBR 13278 (ABNT, 2005). Entretanto, os autores optaram por utilizar a versão de 1995 como base para o ensaio.

3.3.3.2.4 Teor de Ar Incorporado

O teor de ar incorporado é uma propriedade já citada no item 3.3.1.2.4. Essa propriedade é medida através do ensaio descrito na NBR 13278 (ABNT, 2005) para argamassas. Entretanto, os autores optaram por utilizar a NBR 11686 (ABNT, 1995), antiga versão da norma atual NBR NM 47 (ABNT, 2002). A norma escolhida pelos autores descreve o ensaio pelo método pressométrico para concretos e foi adaptada para utilização em ensaio de argamassa, que não foi descrito.

3.3.3.2.5 Compressão

A resistência mecânica à compressão é uma propriedade já citada no item 3.3.1.2.8. Essa propriedade é medida através do ensaio descrito na NBR 13279 (ABNT, 2005) para argamassas. Entretanto, os autores optaram por utilizar a NBR 5739 (ABNT, 1986), antiga versão da norma atual NBR 5739 (ABNT, 2018). A norma escolhida pelos autores descreve o ensaio para concretos e foi adaptada para utilização em ensaio de argamassa, que não foi descrito.

3.3.3.2.6 Resistência Superficial à Tração e de Aderência à Tração

Os autores optaram por realizar o ensaio de resistência superficial à tração (RST) baseando-se na norma NBR 13528 (ABNT, 1995). A única diferença é que no ensaio em questão os autores não realizaram o corte no revestimento, ensaiando-se a camada superficial do revestimento. O ensaio foi realizado com auxílio de um

equipamento hidráulico-mecânico para aplicação da força de tração, com capacidade de carga de 1 kN, da fabricante Consultare. Ainda, foram utilizadas pastilhas circulares com 50 milímetros de diâmetro e cola de base poliéster.

Primeiramente, foram construídos dois paines de alvenaria, em cada obra, de blocos cerâmicos com dimensões de 2,5 x 2,5 metros. Em seguida, realizou-se o revestimento em todos paineis, um com chapisco e outro sem, seguindo o procedimento específico de cada empresa. A execução seguiu o seguinte passo a passo: chapisco (em apenas um painel de cada obra); lançamento da argamassa na alvenaria, conforme Figura 33; sarrafeamento e desempenamento ou acabamento, com auxílio de régua metálica e desempenadeira, respectivamente, conforme Figura 34.

Para o ensaio de RST foram executados, inicialmente, a limpeza da superfície e a marcação das posições aonde seriam fixadas as pastilhas. Em seguida, colaram-se as pastilhas, conforme Figura 35, e acoplou-se o equipamento hidráulico-mecânico, após a secagem da cola. Após a montagem do aparelho, realizou-se a aplicação da carga até a ruptura do revestimento, conforme Figura 36, e registrou-se a carga e a forma de ruptura, conforme Figura 37.

Figura 33 – Lançamento da argamassa no substrato



Fonte: Carasek; Cascudo; Santos; Lemes (2011)

Os corpos de prova ensaiados tinham idades de 7 e 35 dias, sendo que em cada painel foram realizados 30 testes. Dessa forma, considerando os corpos de prova perdidos por problemas durante o ensaio, os autores obtiveram um total de

202 resultados individuais de corpos de prova válidos. Após a realização do ensaio de RST o autor montou um quadro com o resumo das condições de cada painel, Quadro 14.

Figura 34 – Desempenho do revestimento



Fonte: Carasek; Cascudo; Santos; Lemes (2011)

Figura 35 – Pastilha fixada no revestimento



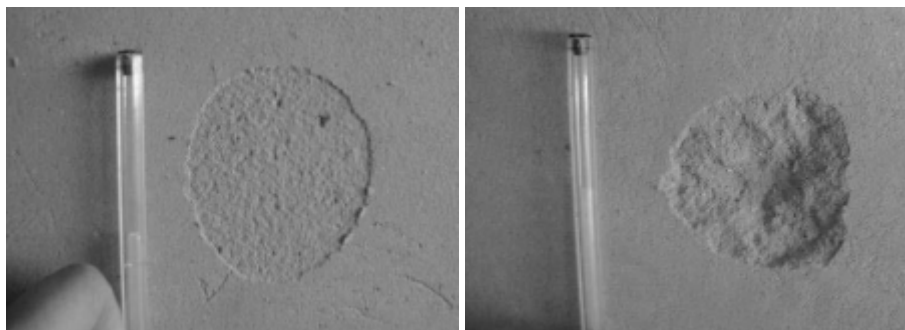
Fonte: Carasek; Cascudo; Santos; Lemes (2011)

Figura 36 – Aplicação da carga no revestimento



Fonte: Carasek; Cascudo; Santos; Lemes (2011)

Figura 37 – Tipos de ruptura: superficial (a esquerda) e profunda (a direita)



Fonte: Carasek; Cascudo; Santos; Lemes (2011)

Quadro 14 – Resumo dos painéis ensaiados

OBRA	CÓDIGO DO PAINEL	LOCAL	CHAPISCO	OPERADOR DO ENSAIO	IDADE TESTADA	NÚMERO DE CP'S TESTADOS
A	A1	Interno	sim	$\alpha + \gamma$	7 dias	27
	A2	Interno	Sim	α	35 dias	30
	A3	Externo	Não	$\alpha + \beta$	7 dias	28
	A4	Externo	não	β	35 dias	30
B	B1	Interno	Não	α	7 dias	29
	B2	Externo	Sim	α	7 dias	29
	B3	Externo	sim	$\beta + \alpha$	35 dias	29
Total de corpos-de-prova						200

Fonte: Carasek; Cascudo; Santos; Lemes (2011)

Após a obtenção dos resultados do ensaio de RST, calcularam-se os valores médios e os coeficientes de variação de cada painel ensaiado. Em seguida, analisou-se cronologicamente a evolução dos coeficientes de variação, para verificar se havia redução do coeficiente com o ganho de experiência dos profissionais que executaram o revestimento.

Ainda, os autores realizaram análise estatística com base no coeficiente de variação médio para verificar a amostra ideal para esse tipo de ensaio. Para isso, após algumas tentativas, obteve-se a equação abaixo para determinar o número ideal de amostras:

$$n = t_{\alpha/2}^2 * \frac{CV^2}{ER^2} \quad (10)$$

Os autores também realizaram análise da influência da ergonomia através da influência da posição do revestimento ensaiado no painel, com destaque para a altura, utilizando coordenadas geométricas X e Y. Outra análise foi realizada a partir do uso do programa Statistica 7, a Análise de Variância para verificar as principais variáveis do ensaio. Ainda, o programa pôde auxiliar os autores a correlacionar o ensaio de RST e as seguintes variáveis: resistência de aderência, coeficiente de permeabilidade e índice esclerométrico.

Por fim, complementando o ensaio de resistência superficial à tração, foram realizados ensaios de resistência de aderência à tração seguindo a NBR 13528 (ABNT, 1995), mesma norma e versão do ensaio de RST. O ensaio foi realizado com um total de 6 corpos de prova. Também como ensaios complementares, os autores realizaram os ensaios de permeabilidade/absorção de água, com 3 corpos de prova seguindo a norma NIT 40 (CSTC, 1982) com o método do cachimbo, conforme Figura 38, e esclerometria de pêndulo, com 10 corpos de prova, conforme Figura 39.

Figura 38 – Realização do ensaio de permeabilidade/absorção de água



Fonte: Carasek; Cascudo; Santos; Lemes (2011)

Figura 39 – Realização do ensaio de esclerometria de pêndulo



Fonte: Carasek; Cascudo; Santos; Lemes (2011)

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo estão apresentados os resultados dos ensaios descritos no capítulo anterior, bem como as discussões a cerca dos mesmos. Os resultados e discussões também foram realizados de maneira individual relacionada a cada trabalho base, como apresentado no capítulo 3.

4.1 TRABALHO 1

4.1.1 Consistência

Os índices obtidos no ensaio de consistência das argamassas pela média dos três resultados obtidos, e também apresentados abaixo, para cada mistura homogênea estão apresentados na Tabela 12.

Tabela 12 – Resultados do ensaio de consistência do trabalho 1

Amostras	Diâmetro (mm)			Índice de consistência (mm)
	Ensaio 1	Ensaio 2	Ensaio 3	
Traço padrão	270	260	265	265
-10% de cal	270	290	275	278
+10% de cal	235	245	250	243
+20% de cal	240	240	245	242

Fonte: Forti (2017)

Ao analisar a Tabela 12 é possível concluir que o índice de consistência é inversamente proporcional a quantidade de cal presente no traço, ou seja, quanto maior a quantidade de cal presente na amostra, menos consistente será a argamassa. Dessa forma, é possível concluir que, como a proporção dos demais materiais não foi alterada nos traços, a cal tem a capacidade de tornar a mistura com mais capacidade de absorver deformações no estado fresco.

4.1.2 Retenção de Água

Os percentuais obtidos no ensaio de retenção de água das argamassas para cada mistura homogênea estão apresentados na Tabela 13.

Tabela 13 – Resultados do ensaio de retenção de água do trabalho 1

Traços	Retenção de água (%)
TP	75,9
-10%	72,48
+10%	78,05
+20%	76,2

Fonte: Forti (2017)

Ao analisar a Tabela 13 é possível concluir que o percentual de retenção de água não foi significativamente afetado pela proporção de cal presente na argamassa. Ainda, a partir do Quadro 11, no item 2.6.10, é possível classificar todos os traços como classe U2, vez que encontram-se entre 72 e 85% de retenção de água. Dessa forma, é possível concluir que os traços com cal, apesar de não apresentarem variabilidade significativa devido a proporção de cal, apresentaram baixa retenção de água na mistura. Sendo assim, é possível concluir que, consequentemente, as argamassas tendem a apresentar baixa trabalhabilidade e baixa aderência, pois são características diretamente proporcionais a retenção de água, conforme apresentado no item 2.6.10.

4.1.3 Densidade de massa

Os resultados obtidos no ensaio de densidade de massa no estado fresco estão apresentados na Tabela 14.

Tabela 14 – Resultado do ensaio de densidade de massa do trabalho 1

Traços	Densidade (kg/m ³)
TP	2057,52
-10% Cal	2047,81
+10% Cal	2038,09
+20% Cal	2035,66

Fonte: Forti (2017)

Ao analisar a Tabela 14 é possível concluir que a densidade de massa das amostras não apresentaram significativa alteração com relação a quantidade de cal presente no traço. Entretanto, pode-se observar que os traços com mais cal são ligeiramente mais leves do que os traços com menos cal. Ainda, a partir do Quadro 8, no item 2.6.4, é possível classificar todos os traços como classe D6, vez que encontram-se 2000 kg/m³. Dessa forma, é possível concluir que os traços com cal, apesar de não apresentarem variabilidade significativa devido a proporção de cal, apresentaram alta densidade de massa. Sendo assim, é possível concluir que, consequentemente, as argamassas tendem a apresentar baixos teor de ar incorporado e trabalhabilidade, ou seja, é uma mistura mais densa. Ainda, esses traços podem ser classificados como traços normais, com proximidade aos traços de argamassas pesadas, pois estão entre 1400 e 2300 kg/m³.

4.1.4 Teor de ar incorporado

Os resultados obtidos no ensaio de teor de ar incorporado nas argamassas no estado fresco estão apresentados na Tabela 15.

Ao analisar a Tabela 15 é possível concluir que o teor de ar incorporado é maior de acordo com o crescimento da taxa de cal presente na argamassa. Sendo assim, pode-se confirmar a narrativa descrita no item anterior, pois a densidade e o teor de ar incorporado apresentaram resultados opostos, apesar da massa

específica ter apresentado uma pequena diferença entre os resultados de cada traço. Ainda, é importante ressaltar a afirmativa citada no item 2.6.12, que o teor de ar incorporado, apesar de melhorar a trabalhabilidade das argamassas, pode enfraquecer mecanicamente a mistura, com menor capacidade de absorver esforços de compressão e menor capacidade de aderência.

Tabela 15 – Resultado do ensaio de teor de ar incorporado do trabalho
1

Traços	Teor de ar (%)
TP	2,14
-10% Cal	2,6
+10% Cal	3,15
+20% Cal	3,31

Fonte: Forti (2017)

4.1.5 Densidade de massa aparente

Os resultados obtidos no ensaio de densidade de massa aparente das argamassas no estado endurecido estão apresentados na Tabela 16, sendo que, foram obtidos três volumes para cada traço e calculado a média para a obtenção da densidade.

Tabela 16 – Resultados do ensaio de densidade de massa aparente do trabalho 1

Densidade de massa no estado endurecido					
Traços	Amostras (g)			Volume cps (cm³)	Densidade (kg/m³)
	1º	2º	3º		
TP	476,4	467,2	470,5	256	1841,28
-10%	476,5	478,5	477,1	256	1864,71
+10%	473,2	469,2	469,3	256	1838,15
+20%	477,4	476,4	481,6	256	1869,01

Fonte: Forti (2017)

Ao analisar a Tabela 16 é possível concluir que a densidade de massa aparente dos corpos de prova mantiveram-se com resultados próximos e sem uma

influência direta pela quantidade de cal na amostra. Ainda, a partir do Quadro 9, no item 2.6.4, é possível classificar todos os traços como classe M6, vez que apresentaram densidade superior a 1800 kg/m^3 . Sendo assim, é possível concluir que, conseqüentemente, as argamassas apresentam um elevado grau de compacidade, conforme apresentado no item 2.6.4.

4.1.6 Absorção de água

Os resultados obtidos no ensaio de absorção de água das argamassas no estado endurecido estão apresentados na Tabela 17, sendo que, os resultados são representados pelo coeficiente de capilaridade.

Ao analisar a Tabela 17 é possível concluir que a capacidade de absorção de água das amostras foi baixa e a cal influencia negativamente o coeficiente de capilaridade. Ainda, a partir do Quadro 15, é possível classificar todos os traços como classe C1, vez que apresentaram coeficiente de capilaridade inferior a $1,5 \text{ g/dm}^2 \cdot \text{min}^{1/2}$. Sendo assim, é possível concluir que, conseqüentemente, as argamassas baixa quantidade de poros e boa resistência a aderência.

Tabela 17 – Resultados do ensaio de absorção de água do trabalho 1

Traços	Absorção de água (g/cm^2)		Coeficiente de capilaridade ($\text{g/dm}^2 \cdot \text{min}^{1/2}$)
	t= 10min.	t= 90min.	
TP	0,23	1,21	0,98
-10%	0,5	1,57	1,07
+10%	0,49	1,31	0,82
+20%	0,51	1,38	0,87

Fonte: Forti (2017)

Quadro 15 - Classificação das argamassas quanto ao coeficiente de capilaridade

Classe	Coeficiente de capilaridade $\text{g/dm}^2 \cdot \text{min}^{1/2}$	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	$> 10,0$	

Fonte: NBR 13281 (ABNT, 2005)

4.1.7 Tração na flexão

Os resultados obtidos no ensaio de resistência à tração na flexão das argamassas no estado endurecido estão apresentados na Tabela 18, sendo que, foram obtidos a média e o desvio padrão das três amostras de cada traço.

Tabela 18 – Resultados do ensaio de tração na flexão do trabalho 1

Traço	Tração na flexão (MPa)			
	TP	-10% Cal	+10% Cal	+20% Cal
Média	0,4	0,33	0,66	0,53
Desv. Padrão	0	0,23	0,11	0,12

Fonte: Forti (2017)

Ao analisar a Tabela 18 é possível concluir que a resistência a tração na flexão seguiu o previsto no resultado do coeficiente de capilaridade, pois o traço +10% apresentou menor coeficiente de capilaridade e maior resistência mecânica de tração na flexão. Dessa forma, conclui-se que os traços com menos e mais cal vão perdendo resistência mecânica se comparados ao traço “ótimo” de +10%, com a proporção correta de cimento e cal. Ainda, a partir do Quadro 16, é possível classificar todos os traços como classe R1, vez que apresentaram resistência à tração na flexão inferior a 1,5 MPa.

Quadro 16 - Classificação das argamassas quanto a resistência à tração na flexão

Classe	Resistência à tração na flexão MPa	Método de ensaio
R1	$\leq 1,5$	ABNT NBR 15259
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	$> 3,5$	

Fonte: NBR 13281 (ABNT, 2005)

4.1.8 Compressão

Os resultados obtidos no ensaio de resistência à compressão das argamassas no estado endurecido estão apresentados na Tabela 19, sendo que, foram obtidos a média e o desvio padrão das três amostras de cada traço.

Tabela 19 – Resultados do ensaio de compressão do trabalho 1

Traço	Resistência a compressão (MPa)			
	TP	-10%	+10%	+20%
Média	1,25	1,11	2,47	1,66
Desv. Padrão	0,15	0,21	0,03	0,06

Fonte: Forti (2017)

Ao analisar a Tabela 19 é possível concluir que a resistência à compressão seguiu o previsto no resultado de resistência à tração na flexão, ambas resistências mecânicas, pois o traço +10% apresentou maiores resistências mecânicas de tração na flexão e compressão. Dessa forma, confirma-se a conclusão de que os traços com menos e mais cal vão perdendo resistência mecânica se comparados ao traço “ótimo” de +10%. Ainda, a partir do Quadro 10, no item 2.6.9, é possível classificar os traços padrão (TP) e -10% como classe P1, vez que apresentaram resistência à compressão inferior a 2,0 MPa; já os traços +10% e +20%, classificam-se como classe P2, pois a resistência à compressão está entre 1,5 e 3,0 MPa.

4.1.9 Aderência à tração

Os resultados obtidos no ensaio de resistência de aderência à tração das argamassas no estado endurecido estão apresentados na Tabela 20, sendo que, foram obtidos a média (foram eliminados os resultados com um desvio padrão e meio para mais ou para menos da média), o desvio padrão e o coeficiente de variação das amostras de cada traço. O autor, baseado em referências, optou por considerar aceitável um coeficiente de variação de até 25% e, acima desse valor, o resultado deveria ser aceito apenas mediante análise.

Ao analisar a Tabela 20 é possível concluir que a resistência de aderência a tração nos traços com mais cal (+10% e +20%) foram ligeiramente maior que os outros dois traços e, também, apresentaram resultados mais seguros, pois o coeficiente de variação foi consideravelmente menor e o desvio padrão foi

ligeiramente menor. Ainda, a partir do Quadro 17, conclui-se que todos os traços foram aprovados de acordo com o desempenho exigido por norma, pois o menor valor obtido foi de 0,41 MPa e o valor de norma com maior exigência é de 0,30 MPa, sendo apta tanto para uso interno, quanto para uso externo.

Tabela 20 – Resultados do ensaio de aderência à tração do trabalho 1

Traço	Tensão média (MPa)	Desv. Pad.	Coef. Var. (%)
TP	0,41	0,10	24,99%
-10%	0,48	0,11	23,20%
+10%	0,54	0,08	14,33%
+20%	0,54	0,09	16,60%

Fonte: Forti (2017)

Outros resultados obtidos pelo autor foram para umidade e forma de ruptura das amostras, esse resultado foi obtido a partir de análises visuais dos corpos de prova e aproximação da porcentagem de acordo com a área, conforme Tabela 21.

Quadro 17 – Limites de resistência de aderência à tração

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

Fonte: NBR 13749 (ABNT, 2013)

Tabela 21 – Resultados de umidade média e formas de ruptura das amostras

Umidade média e Formas de ruptura							
Traço	Umidade (%)	Substrato	Sub/chap	Chap/arg	Arg	Arg/cola	Cola/past
TP	3,83	36%	52%	4%	8%	0%	0%
-10%	3,79	15%	46%	6%	33%	0%	0%
+10%	3,88	20%	68%	8%	5%	0%	0%
+20%	4,05	71%	8%	6%	15%	0%	0%

Fonte: Forti (2017)

A partir dos resultados da Tabela 21 é possível concluir que o traço padrão apresentou rupturas significativas entre o substrato e o chapisco (52%) e no substrato (36%). O traço -10% apresentou rupturas mais significativas entre o substrato e o chapisco (46%) e na argamassa (33%), podendo ser justificada pela menor quantidade de cal e, conseqüentemente, deficiência na cura do cimento. Já o traço +10% apresentou deficiência maior entre o substrato e o chapisco (68%), de maneira que a argamassa apresentou melhor desempenho e o problema ficou entre o chapisco (traço padrão) e o substrato. Ainda, o traço de 20% apresentou uma deficiência no substrato (71%). Dessa forma, pode-se concluir que a cal fortaleceu o traço quanto a resistência de aderência à tração.

4.2 TRABALHO 2

4.2.1 Densidade de massa e Teor de ar incorporado

Os resultados obtidos nos ensaios de densidade de massa e teor de ar incorporado no estado fresco estão apresentados na Tabela 22.

Tabela 22 – Resultados do ensaio de densidade de massa e teor de ar incorporado do trabalho 2

Proporcionamento (volume)	Densidade de massa Média (g/cm ³)	Teor de ar incorporado Média (%)
1 : 2 : 9	1,86	12,1
1 : 1 : 6	1,88	11,4
1 : 0,5 : 3,4	1,92	12,8

Fonte: Campos (2014)

Ao analisar a Tabela 22 é possível concluir que a densidade de massa das amostras não apresentaram significativa alteração com relação a variação do traço. Ainda, a partir do Quadro 8, no item 2.6.4, é possível classificar todos os traços como classe D5, vez que encontram-se entre 1800 e 2200 kg/m³. Ainda, esses traços podem ser classificados como traços normais, com proximidade aos traços de argamassas pesadas, pois estão entre 1400 e 2300 kg/m³. Já em relação aos

resultados de teor de ar incorporado, é possível observar que não houve diferenciação significativa entre os traços.

4.2.2 Índice de consistência e Penetração do cone

Os índices obtidos nos ensaios de consistência das argamassas e penetração do cone para cada mistura homogênea estão apresentados na Tabela 23, sendo que, foram determinados no início da projeção (20 minutos após a mistura) e final da projeção (1 hora e 20 minutos após a mistura), com a finalidade de padronizar a trabalhabilidade das argamassas.

Tabela 23 – Resultados do ensaio de índice de consistência e penetração do cone do trabalho 2

Proporcionamento (volume)	Tempo	Índice de consistência	Consistência pela penetração do cone
1 : 2 : 9	Início	261	46
	Final	251	42
1 : 1 : 6	Início	261	46
	Final	244	38
1 : 0,5 : 3,4	Início	270	49
	Final	223	45

Fonte: Campos (2014)

Ao analisar a Tabela 23 é possível concluir que o índice de consistência e a consistência por penetração do cone obtiveram resultados aproximados para todas as amostras, obtendo com sucesso a padronização da trabalhabilidade prevista pela autora.

4.2.3 Compressão e Tração na flexão

Os resultados obtidos nos ensaios de resistência à compressão e resistência à tração na flexão das argamassas no estado endurecido estão apresentados na Tabela 24, sendo que, foram obtidos a média, o desvio padrão e o coeficiente de variação de cada traço.

Tabela 24 – Resultados do ensaio de compressão e tração na flexão do trabalho 2

Proporcionamento (volume)	Resistência à compressão média (MPa)		Resistência à tração na flexão média (MPa)	
	Média		Média	
1 : 2 : 9		2,19		0,87
	D.P (MPa)	0,33	D.P (MPa)	0,14
	C.V (%)	15,2	C.V(%)	15,9
1 : 1 : 6		4,11		1,34
	D.P (MPa)	0,14	D.P (MPa)	0,02
	C.V (%)	3,3	C.V(%)	1,5
1 : 0,5 : 3,4		10,80		2,84
	D.P (MPa)	0,10	D.P (MPa)	0,04
	C.V (%)	0,9	C.V (%)	1,3

Fonte: Campos (2013)

Ao analisar a Tabela 24 é possível concluir que a resistência mecânica, tanto para compressão, quanto para tração na flexão, seguiram um padrão, sendo o traço com menos cal o que obteve maior resistência. Em relação ao desvio padrão, todas amostras obtiveram resultados considerados baixos. Já com relação ao coeficiente de variação, as amostras do traço 1:2:9 apresentaram um coeficiente significativamente maior que os outros.

Em relação a classificação dos traços de resistência à compressão, de acordo com o Quadro 10 (item 2.6.9): o traço 1:2:9 é classificado como P2, o traço 1:1:6 é classificado como P3 e o traço 1:0,5:3,4 é classificado como P6. Ainda, em relação a classificação dos traços de resistência à tração na flexão, de acordo com o Quadro 16 (item 4.1.7): os traços 1:2:9 e 1:1:6 são classificados como R1 e o traço 1:0,5:3,4 é classificado como R4.

4.2.4 Absorção de água

Os resultados obtidos no ensaio de absorção de água das argamassas no estado endurecido estão apresentados na Tabela 25, sendo que, os resultados são representados pelo coeficiente de capilaridade, em 10 e 90 minutos, e estão acompanhados do desvio padrão e coeficiente de variação.

Ao analisar a Tabela 25 é possível concluir que a capacidade de absorção de água das amostras não apresentou diferença significativa nos primeiros 10 minutos e, entretando, foi maior no traço com mais cal nos 90 minutos, com grande

proximidade nos resultados dos traços 1:2:9 e 1:1:6. Em relação ao desvio padrão, as amostras não apresentaram valores expressivos. Já quanto o coeficiente de variação, as amostras de 1:2:9, em 10 e 90 minutos, e a amostra de 1:1:6, em 10 minutos, apresentaram valores expressivos, mas ainda consideráveis para finalidade do trabalho. Ainda, a partir do Quadro 15 (item 4.1.6) é possível classificar o traço 1:0,5:3,4 como classe C4 e os traços 1:2:9 e 1:1:6 como classe C6.

Tabela 25 – Resultados do ensaio de absorção de água do trabalho 2

Proporcionamento (volume)	Determinação	10 min (g/cm ²)	90 min (g/cm ²)	Coeficiente de capilaridade g/dm ² .min ^{1/2}
1 : 2 : 9	Média	0,34	1,05	11,31
	D.P. (g/cm ²)	0,09	0,25	
	C.V. (%)	25,4	23,9	
1 : 1 : 6	Média	0,28	0,98	11,36
	D.P. (g/cm ²)	0,04	0,06	
	C.V. (%)	14,1	5,9	
1 : 0,5 : 3,4	Média	0,24	0,65	6,27
	D.P. (g/cm ²)	0,01	0,02	
	C.V. (%)	3,80	2,6	

Fonte: Campos (2013)

4.2.5 Módulo de elasticidade dinâmico

Os resultados obtidos no ensaio de módulo de elasticidade dinâmico das argamassas no estado endurecido estão apresentados na Tabela 26, sendo que, os resultados são apresentados o módulo de elasticidade médio das amostras, o desvio padrão e o coeficiente de variação.

Tabela 26 – Resultados do ensaio de absorção de água do trabalho 2

Proporcionamento (volume)	Módulo dinâmico de elasticidade médio (MPa)	D.P. (MPa)	C.V. (%)
1 : 2 : 9	5956,51	230,76	3,9
1 : 1 : 6	7517,26	288,06	3,8
1 : 0,5 : 3,4	12005,00	104,55	0,9

Fonte: Campos (2013)

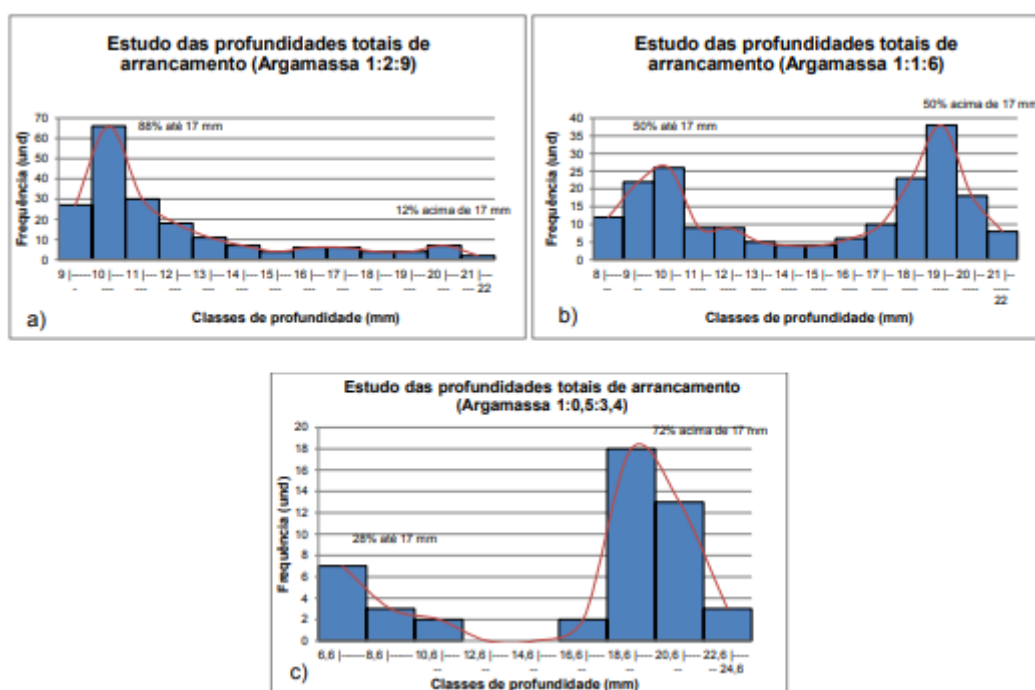
Ao analisar a Tabela 26 é possível concluir que os resultados apresentaram diferenças significativas e inversamente proporcional a quantidade de cal no traço.

Em relação ao desvio padrão e ao coeficiente de variação, não apresentaram resultados significativos.

4.2.6 Aderência à tração

A autora optou por focar inicialmente na forma de ruptura dos corpos de prova e, para isso, elaborou três histogramas com as diferentes profundidades de ruptura e a frequência obtida para cada profundidade, conforme Figura 40. Foram obtidas duas formas de ruptura: no interior da argamassa e na interface da argamassa substrato, denominada pela autora como zona de aderência (considerando-se rupturas com profundidade maiores que 17 milímetros).

Figura 40 – Histogramas para visualização da frequência do arrancamento baseado na profundidade dos traços a) 1:2:9; b) 1:1:6; c) 1:0,5:3,4



Fonte: Campos (2014)

A partir dos histogramas acima é possível concluir que o traço 1:2:9 apresentou a maior parte das rupturas (88%) no interior da argamassa, sendo considerado o traço mais fraco. Já o traço 1:1:6 apresentou um equilíbrio entre as rupturas na interface argamassa/substrato (zona de aderência) e no interior da

argamassa, sendo a argamassa de resistência intermediária. Por fim, o traço 1:0,5:3,4 obteve majoritariamente (72%) rompimentos na interface argamassa/substrato, sendo o traço mais forte dos três ensaiados.

Em seguida, foi apresentado um resumo dos valores médios de resistência de aderência à tração de acordo com o fator água/cimento e a superfície (substrato), conforme Tabela 27, sendo que, foram considerados apenas os resultados de rompimento da zona de aderência, pois esta é capaz de mostrar realmente qual a resistência de aderência entre a interface argamassa/substrato.

Tabela 27 – Resultados do ensaio de aderência à tração do trabalho 2

Argamassa	Concreto							
	a/c 0,35		a/c 0,50		a/c 0,65		a/c 0,80	
	Rat R1	Rat R2	Rat R1	Rat R2	Rat R1	Rat R2	Rat R1	Rat R2
1 : 2 : 9	0,09	0,08	0,07	0,17	0,08	0,17	0,19	0,20
1 : 1 : 6	0,18	0,26	0,23	0,41	0,17	0,18	0,17	0,32
1 : 0,5 : 3,4	—	—	—	—	0,35	0,73	—	—

Fonte: Campos (2013)

Ao analisar os resultados apresentados na tabela acima que a rugosidade afetou positivamente os traços, como esperado. Exceto pelo traço 1:2:9, com fator a/c de 0,35, todos os outros apresentaram melhora na resistência de aderência à tração. Ainda, é possível observar que não houve um padrão de resultados para o fator a/c, isso porque para cada traço existe um fator ótimo.

Em relação aos valores de resistência de aderência à tração, o traço com melhor desempenho foi o 1:0,5:3,4, seguido de 1:1:6 e 1:2:9, respectivamente, seguindo a expectativa levantada na observação dos histogramas. Ainda, a partir do Quadro 17, no item 4.1.9, conclui-se que poucos traços foram aprovados de acordo com o desempenho exigido por norma, pois a mesma exige 0,3 MPa para argamassa que receberá cerâmica ou reboco externo e 0,2 MPa para argamassas de reboco interno e para tetos.

4.3 TRABALHO 3

4.3.1 Caracterização da argamassa no estado fresco

Os autores optaram por apresentar os resultados separadamente em estados fresco e endurecido. Dessa forma, a Tabela 28 destaca os resultados obtidos em cada obra para os ensaios de densidade de massa, penetração do cone, retenção de água e teor de ar incorporado.

Tabela 28 – Resultados dos ensaios de caracterização da argamassa no estado fresco do trabalho 3

ENSAIO	NORMA	RESULTADO MÉDIO	
		Obra A	Obra B
Densidade de massa (g/cm ³)	NBR 13278 (1995)	1,96	1,86
Penetração do cone (mm)	ASTM C 780 (1996)	43,75	56,88
Retenção de água (%)	NBR 13277 (1995)	90,23	91,12
Teor de ar incorporado (%)	NBR 11686 (1990)	2,53	7,50

Fonte: Carasek; Cascudo; Santos; Lemes (2011)

A partir dos resultados acima e do pressuposto que a Obra A apresentou menor proporção de cal e um tipo mais impuro (CH-III) e a Obra B apresentou maior proporção de cal e um tipo mais puro (CH-I), pode-se concluir que houve uma leve influência nos resultados de densidade de massa e retenção de água, que apresentaram-se com valores próximos, e uma influência considerável no teor de ar incorporado e penetração do cone.

A densidade de massa apresentou resultado ligeiramente maior para Obra A, com um traço com menor proporção de cal, além de optar por um tipo mais impuro. Em contraposição, a retenção de água apresentou resultado contrário, pois a Obra B possuiu maior retenção, com um traço mais puro e em maior proporção de cal.

A penetração do cone e o teor de ar incorporado apresentaram resultados semelhantes, apesar da diferença de resultado no ensaio de teor de ar incorporado ter sido mais expressivo (quase três vezes maior). Dessa forma, pode-se concluir que a cal em maior proporção e mais pura influenciou para maiores resultados nos ensaios de penetração de cone e teor de ar incorporado.

4.3.2 Caracterização da argamassa no estado endurecido

Os autores optaram por apresentar os resultados separadamente em estados fresco e endurecido. Dessa forma, a Tabela 29 destaca os resultados obtidos em cada obra para os ensaios de resistências à compressão e à tração.

Tabela 29 – Resultados dos ensaios de caracterização da argamassa no estado endurecido do trabalho 3

ENSAIO	NORMA	RESULTADO MÉDIO			
		OBRA A		OBRA B	
		7 dias	35 dias	7 dias	35 dias
Resistência à compressão (MPa)	NBR 5739 (1986)	4,07	7,24	2,88	3,86
Resistência à tração (MPa)	NBR 7222 (1982)	0,59	0,89	0,37	0,50

Fonte: Carasek; Cascudo; Santos; Lemes (2011)

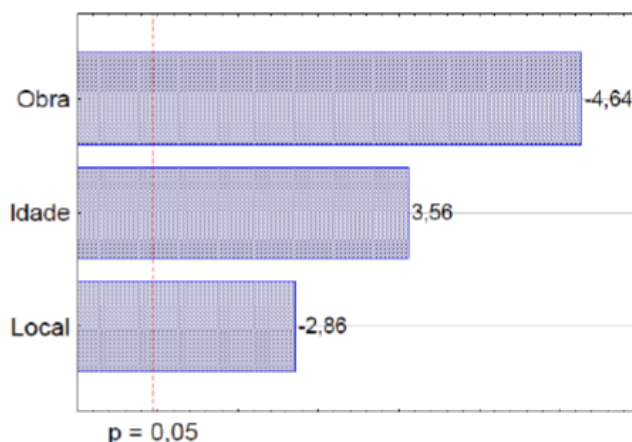
A partir dos resultados acima e do pressuposto que a Obra A apresentou menor proporção de cal e um tipo mais impuro (CH-III) e a Obra B apresentou maior proporção de cal e um tipo mais puro (CH-I), pode-se concluir que houve uma influência considerável no resultados dos ensaios. As resistências mecânicas, compressão e tração, apresentaram resultados maiores para a Obra A, sendo assim, conclui-se que a cal mais impura e em menor proporção foi mais benéfica para mecânica das argamassas. Ainda, pode-se observar que a maior resistência foi obtida no traço com maior proporção de cimento.

Além disso, os autores fizeram alguns estudos sobre a variação de resultados no ensaio de resistência à tração. Dessa forma, obtiveram que a mão de obra qualificada e não qualificada influenciou os resultados dos ensaios, apresentando um coeficiente de variação de 36%, sendo, portanto, necessário treinar a mão de obra antes da execução dos serviços.

Por fim, os autores fizeram a Análise de Variância (ANOVA) dos resultados de resistência superficial à tração e obtiveram os resultados apresentados na Figura 41. A partir desses resultados é possível concluir que os fatores de obra são os que mais interferem nos resultados e estão entre eles: traço, mão de obra e técnica de execução. Em seguida, a idade influencia pela hidratação do cimento e

carbonatação da cal ao longo do tempo, entre os 7 e 35 dias. Já o local está relacionado as intempéries presentes no local aonde irá aplicar o revestimento.

Figura 41 – Análise de Variância trabalho 3



Fonte: Carasek; Cascudo; Santos; Lemes (2011)

5 CONCLUSÃO

Este trabalho foi realizado com o intuito de avaliar a influência da presença e proporção de cal hidráulica nos traços de argamassas de revestimento, levando em consideração três trabalhos já executados e dotados de resultados experimentais a cerca do tema. O desenvolvimento de experimentos próprios para a realização do estudo em questão não foi viável em decorrência da pandemia de Covid-19 (coronavírus).

Os melhores traços de resistência de aderência à tração estão apresentados na Tabela 30.

Tabela 30 – Melhores resultados de resistência de aderência à tração

MELHORES RESULTADOS DE ADERÊNCIA			
TRABALHO	TRAÇO	RESISTÊNCIA (MPa)	OBSERVAÇÃO
1	+10% e +20%	0,54	TRAÇO PADRÃO +10% E +20%
2	1:0,5:3,4	0,73	-
3	1:1:6	0,89	OBRA A

Fonte: Do Autor (2021)

No desenvolvimento do trabalho 1 foram caracterizados os materiais componentes da argamassa e as caracterizações em estados fresco e endurecido da mistura homogênea. O autor optou por estudar o traço 1:1,5:6 (cimento CP IV-32 : cal hidratada CH-II : areia fina natural), como traço padrão, e as variações de -10%, +10% e +20% da proporção de cal na mistura.

Os resultados obtidos no primeiro trabalho demonstraram que o traço mais qualificado para resistências mecânicas, entre elas a aderência, foi a composição com +10% de cal hidratada. Ainda, foi possível observar que os traços com maiores proporções apresentaram mais teor de ar incorporado, menor densidade de massa e, conseqüentemente, melhores trabalhabilidade e produtividade. Por fim, foi possível observar que a cal em proporção ótima pode melhorar a trabalhabilidade, produtividade e resistência da argamassa, mas em proporções maiores e menores pode prejudicar principalmente a resistência mecânica dos revestimentos.

Já no desenvolvimento do trabalho 2 foram caracterizados os materiais componentes da argamassa e as caracterizações em estados fresco e endurecido da mistura homogênea. A autora optou por estudar os traços 1:1,5:6, 1:2:9 e 1:0,5:3,4 (cimento CP II-F-32 : cal hidratada CH-I : areia média natural).

Os resultados obtidos no segundo trabalho demonstraram que o traço mais qualificado com relação as resistências mecânicas e, conseqüentemente, aderência foi o traço com menor proporção de cal hidratada em sua composição 1:0,5:3,4. Ainda, foi possível observar que os demais ensaios de caracterização não apresentaram diferenças significativas entre os traços. Por fim, cabe resaltar que a autora focou em apresentar apenas resultados de resistência de aderência à tração relacionados a zona de aderência do material, descartando os resultados de rompimento na estrutura da argamassa, pois caracteriza-se um esforço de coesão do próprio material.

Ainda, no desenvolvimento do trabalho 3 foram realizadas as caracterizações em estados fresco e endurecido da mistura homogênea. Os autores optaram por estudar os traço 1:1:6 (cimento CP II-Z-32 : cal hidratada CH-III : areia média natural) e 1:2:8 (cimento CP II-Z-32 : cal hidratada CH-I : areia média natural).

Os resultados obtidos no terceiro trabalho demonstraram que o traço mais qualificado para resistências mecânicas e, conseqüentemente, aderência, foi o traço da Obra A, 1:1:6, com menor proporção de cal. Ainda, foi possível observar que os

traços com maiores proporções apresentaram mais teor de ar incorporado, menor densidade de massa e, conseqüentemente, melhores trabalhabilidade e produtividade.

Dessa forma, pode-se concluir que a cal possui capacidade de melhorar a trabalhabilidade e produtividade de revestimentos argamassados. Ainda, conclui-se que a cal em proporções ótimas pode se tornar um provedor de resistência mecânica, tornando os revestimentos mais resistentes. Entretanto, traços com excesso de cal podem prejudicar o desempenho mecânico das argamassas.

Por fim, visando melhorar e aprofundar os estudos à cerca do tema, segue as sugestões para trabalhos futuros:

- Realizar mais ensaios com maior diferenciação de traços, variando apenas a quantidade e tipo de cal, mantendo fixo o cimento, agregado miúdo e água;
- Realizar ensaios com traços de argamassa mista de cimento e cal e argamassa simples apenas de cimento, comparando os resultados de cada traço;
- Obter o traço ótimo com relação a aderência para cada tipo de cal hidratada a partir de ensaios com maior variação de traços;
- Obter o traço ótimo com relação ao ganho de trabalhabilidade (produtividade) e perda de resistência mecânica.

REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM C 780**: Standard test method for preconstruction and construction evaluation of mortar for plain and reinforced unit masonry. Philadelphia, 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Guia básico de utilização do cimento Portland**. São Paulo, 2002. Disponível em: <http://solucoesparacidades.com.br/wp-content/uploads/2012/11/28-Guia-basico-de-utilizacao-do-cimento-portland.pdf>. Acesso em: 31 ago. 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13529**: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Terminologia. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15630**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação do módulo de elasticidade dinâmico através da propagação de onda ultra-sônica. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5737**: Cimento Portland resistentes a sulfatos. Rio de Janeiro, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7175**: Cal hidratada para argamassas – Requisitos. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 137**: Argamassa e concreto – Água para amassamento e cura de argamassa e concreto de cimento portland. Rio de Janeiro, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7122**: Agregados para concreto – Especificação. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 248**: Agregados – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM ISO 3310-1**: Peneiras de ensaio – Requisitos técnicos e verificação. Parte 1: Peneiras de ensaio com tela de tecido metálico. Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **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, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13280:** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13281:** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Requisitos. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13276:** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7215:** Cimento Portland – Determinação da resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8522:** Concreto – Determinação dos módulos estáticos de elasticidade e de deformação à compressão. Rio de Janeiro, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15258:** Argamassa para revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência potencial de aderência à tração. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13528-1:** Revestimento de paredes de argamassas inorgânicas – Determinação da resistência de aderência à tração. Rio de Janeiro, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13528-2:** Revestimento de paredes de argamassas inorgânicas – Determinação da resistência de aderência à tração. Parte 2: Aderência ao substrato. Rio de Janeiro, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13528-3:** Revestimento de paredes de argamassas inorgânicas – Determinação da resistência de aderência à tração. Parte 3: Aderência superficial. Rio de Janeiro, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 45:** Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 52:** Agregados – Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 23:** Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11579:** Cimento Portland – Determinação do índice de finura por meio da peneira 75 μm (nº 200). Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 65:** Cimento Portland – Determinação do tempo de pega. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9289:** Cal hidratada para argamassas – Determinação da finura. Rio de Janeiro, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 46:** Agregados – Determinação do material fino que passa através da peneira 75 μm , por lavagem. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7218:** Agregados – Determinação do teor de argila em torrões e materiais friáveis. Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13277:** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da retenção de água. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15259:** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13279:** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS PRODUTORES DE CAL. **Guia das Argamassas nas Construções.** São Paulo: 2004. Disponível em: <https://www.passeidireto.com/arquivo/39105300/guia-guia-das-argamassas-nas-construcoes-abpc>. Acesso em: 31 ago. 2020.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DAS ENTIDADES DE PRODUTORES DE AGREGADOS PARA CONSTRUÇÃO CIVIL. **História da Areia e Brita.** São Paulo: 2020. Disponível em: <http://anepac.org.br/agregados/areia-e-brita>. Acesso em: 02 set. 2020.

BIF, Gustavo Spillere; PELISSER, Fernando. **Análise de diferentes tipos de argamassa de revestimento.** UNESCO, 2013. Disponível em: <http://repositorio.unesc.net/bitstream/1/2474/1/Gustavo%20Spillere%20Bif.pdf>. Acesso em: 08 set. 2020.

CAMPOS, Marina de Oliveira. **Estudo da resistência de aderência à tração e ao cisalhamento de revestimentos de argamassa em substratos de concreto**. 2016. 327 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2014.

CARASEK, Helena. **Fatores que exercem influência na resistência de aderência de argamassas**. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 2., Salvador, p. 133-146, mar. 1997.

CARASEK, Helena. **Materiais de construção civil e princípios da ciência da engenharia de materiais**. 3 ed. ISAIA, Geraldo C.; São Paulo: IBRACON, 2017. Disponível em:
https://moemacastro.weebly.com/uploads/5/7/9/8/57985191/mcc_2016-2_aula-04_argamassas.pdf. Acesso em: 06 set. 2020.

CARASEK, H.; Cascudo, O.; DOS SANTOS, M. S. J.; LEMES, N. **Avaliação em obra da resistência superficial de revestimentos de argamassa**. ALCONPAT, Goiânia, v. 1, n. 2, p. 115 – 135, mai./ago. 2011.

CERÂMICA. São Paulo: Associação Brasileira de Cerâmica, 2019- .ISSN 1678-4553 *versão online*. Disponível em:
https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0366-69132019000200303. Acesso em: 30 ago. 2020.

COELHO, Ana Zulmira Gomes; TORGAL, F. Pacheco; JALALI, Said. **A Cal na Construção**. 1 ed. Braga, Portugal: Guimarães, 2009.

CONGRESSO BRASILEIRO DE POLÍMEROS, 9., 2007, Campina Grande. **Avaliação do teor de ar incorporado em argamassas modificadas com poli (álcool vinílico)**. Campina Grande: ABPol, 2007. Disponível em:
<https://www.ipen.br/biblioteca/cd/cbpol/2007/PDF/478.pdf>. Acesso em: 08 set. 2020.

CONGRESSO NACIONAL DE ARGAMASSAS DE CONSTRUÇÃO, 1., 2005, Lisboa. **Ensinaamentos a retirar do Passado Histórico das Argamassas**. Lisboa: APFAC, 2005.

COSTA, Ivandro da. **Estudo comparativo entre as argamassas de revestimento externo: preparada em obra, industrializada fornecida em sacos, e estabilizada dosada na central**. 2016. 84f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Centro Universitário UNIVATES, Lajeado, RS, 2016.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **NORMA DNIT 418: Pavimentação – Solo-Cal – Cal Virgem e Cal Hidratada – Especificação de material**. Brasília, 2019.

DUALIBE, Roberto Palacio; CAVANI, Gilberto de Ranieri; OLIVEIRA, Mirian Cruxên Barros. **Influência do tipo de projeção da argamassa na resistência de aderência à tração e permeabilidade à água.** SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 6., São Paulo, p 508-517, 2005.

FERREIRA, Karina. **Estudo comparativo entre argamassas convencionais e industrializadas.** 2016. 63f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Departamento Acadêmico de Construção Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, UTFPR, Campo Mourão, PR, 2016.

FORTI, Eduardo Zambiasi. **Influência da cal hidratada nas características da argamassa de revestimento realizada em obra.** 2017. 74f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas do Centro Universitário UNIVATES, Lajeado, RS, 2017.

FREITAS, Cleverson de. **Argamassa de revestimento com agregados miúdos de britagem da região metropolitana de Curitiba: propriedades no estado fresco e endurecido.** 2010. 135f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil - Pós-Graduação em Construção Civil, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2010.

GRIMM, C. T.; HOUSTON, J. T.. *Investigation of masonry bond and surface profile of brick.* **Masonry: past and present**, American Society for Testing Materials, Estados Unidos, p. 272-289, 1975.

GUIMARÃES, J. E. P. **A cal – fundamentos e aplicações na engenharia civil.** 2 ed. São Paulo: Pini, 2002.

IOPPI, Paulo Roberto. **Estudo da aderência de argamassas de revestimento em substratos de concreto.** 1995. 135f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Curso de Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 1995.

JOHN, V. M. **Repensando o papel da cal hidratada nas argamassas.** SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 5., São Paulo, p 47-63, 2003.

MALINVERNI, Fernanda Carbonera. **Estudo de caso comparativo entre a argamassa de assentamento tradicional confeccionada em obra e a argamassa de assentamento industrializada polimérica.** 2016. 61f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Alto Vale do Rio do Peixe, UNIARP, Caçador, SC, 2016.

MINEROPAR. **Plano Diretor de Mineração para Região Metropolitana de Curitiba**. Curitiba: MINEROPAR, 2004.

REDDY, B. V. Venkatarama; JAGADISH, K. S. *Embodied energy of common and alternative building materials and Technologies*. **Energy and Buildings**, Bangalore, v. 35, p. 129-137, fev. 2003.

SANTOS, White José dos. **Desenvolvimento de metodologia de dosagem de argamassas de revestimento e assentamento**. 2014. 179f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2014.

SAYEGH, S. *Cuidados contra o tempo: indispensável à valorização e funcionamento do imóvel, reparos devem seguir diretrizes de normas técnicas*. **Téchne – A Revista do Engenheiro Civil**, São Paulo, ano 12, n. 85, p. 38-42, abr. 2004.

SEGAT, Gustavo Tramontina. **Manifestações patológicas observadas em revestimentos de argamassa: estudo de caso em conjunto habitacional popular na cidade de Caxias do Sul (RS)**. 2005. 166f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2005.

SILVA, José Otávio da. **Projeto Estal: Projeto de Assistência Técnica ao Setor de Energia**. Ministério de Minas e Energia, MME, 2009.

SILVA, Narciso Gonçalves da. **Argamassa de revestimento de cimento, cal e areia britada de rocha calcária**. 2006. 181f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Construção Civil – PPGCC, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

RECENA, Fernando Antônio Piazza. **Conhecendo a Argamassa**. 2 ed. Porto Alegre: ediPUCRS, 2012.