



UNIVERSIDADE DO VALE DO TAQUARI
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

**AVALIAÇÃO DE ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO CONTENDO
DIFERENTES TEORES DE ADITIVO INCORPORADOR DE AR
UTILIZADOS EM SUBSTITUIÇÃO À CAL**

Lucas Perin

Lajeado, dezembro de 2018

Lucas Perin

**AVALIAÇÃO DE ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO CONTENDO
DIFERENTES TEORES DE ADITIVO INCORPORADOR DE AR
UTILIZADOS EM SUBSTITUIÇÃO À CAL**

Monografia apresentada na disciplina de Trabalho de Conclusão II, do curso de Engenharia Civil, da Universidade do Vale do Taquari - UNIVATES, como parte da exigência para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof.Me. Marcelo Freitas Ferreira

Lajeado, dezembro de 2018

Lucas Perin

**AVALIAÇÃO DE ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO CONTENDO
DIFERENTES TEORES DE ADITIVO INCORPORADOR DE AR
UTILIZADOS EM SUBSTITUIÇÃO À CAL**

A Banca examinadora abaixo aprova a Monografia apresentada na disciplina de Trabalho de Conclusão II, do curso de Engenharia Civil, da Universidade do Vale do Taquari – Univates, como parte da exigência para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil:

Prof.Me. Marcelo Freitas Ferreira – orientador
Universidade do Vale do Taquari – Univates

Prof. Me. Rafael Mascolo
Universidade do Vale do Taquari – Univates

Prof.^a Me. Rebeca Jéssica Schmitz
Universidade do Vale do Taquari – Univates

Lajeado, 13 de dezembro de 2018

RESUMO

O uso de aditivos em argamassas de revestimento é prática comum na construção civil. No Rio Grande do Sul, destaca-se o aditivo Alvenarit, usualmente utilizado em substituição à cal, que promove melhora na trabalhabilidade e aumento no rendimento da argamassa. Porém, a cal e o Alvenarit possuem características distintas e esta substituição, além de impactar no estado fresco, altera as propriedades do estado endurecido da argamassa. Há de se destacar também que o uso de aditivos implica em mudanças em parâmetros de referência tradicionais às argamassas, sendo que, frequentemente, os problemas são gerados por desconhecimento das especificações de uso destes materiais. É comum ver este julgamento ser feito por profissionais da construção, carecendo de maiores informações técnicas quanto ao preparo e controle destas argamassas. Assim, este trabalho foi desenvolvido com a finalidade de avaliar os efeitos causados pela substituição da cal, por diferentes dosagens do aditivo Alvenarit, em propriedades do estado fresco e endurecido de argamassas de revestimento. Para isso, foram produzidos e ensaiados quatro traços de argamassa em laboratório, um contendo cal e os outros três contendo diferentes teores do aditivo. Os resultados obtidos comprovam a melhora na trabalhabilidade e um desempenho satisfatório nas propriedades do estado endurecido das argamassas contendo Alvenarit, o que possibilita a substituição da cal na mistura. Para os diferentes teores do aditivo, a superdosagem apresentou os melhores resultados, mostrando desempenho superior à dosagem indicada pelo fabricante.

Palavras-chave: Alvenarit; Incorporador de ar; Revestimento argamassado

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Solicitações sobre o sistema de revestimento	21
Figura 2 – Opções de revestimento: (a) emboço + reboco + pintura (clássico); (b) camada única + pintura (mais utilizado); (c) revestimento decorativo monocamada (RDM).....	22
Figura 3 – Ilustração da molécula de incorporador de ar, dividida em cauda hidrofóbica (apolar) e cabeça hidrofílica (polar)	35
Figura 4 – Ilustração do mecanismo de funcionamento dos incorporadores de ar: (a) formação da camada elétrica positiva e negativa nas partículas de cimento; (b) adsorção dos tensoativos no cimento; (c) formação das bolhas de ar pelos tensoativos livres; (d) participação dos tensoativos adsorvidos no cimento na criação das bolhas, criando a ponte entre partículas de cimento	36
Figura 5 – Preparação da argamassa	48
Figura 6 – Painéis de alvenaria utilizadas no ensaio.....	52
Figura 7 – Equipamento utilizado para o arrancamento dos cortes circulares realizados no revestimento aplicado nos painéis de alvenaria.....	53

Figura 8 – Formas de ruptura no ensaio de resistência de aderência à tração para um sistema de revestimento com chapisco.....	54
---	----

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Curva granulométrica da areia.....	45
Gráfico 2 – Relação a/c.....	57
Gráfico 3 – Teor de ar incorporado	58
Gráfico 4 – Densidade de massa	59
Gráfico 5 – Retenção de água.....	61
Gráfico 6 – Resistência à compressão.....	63
Gráfico 7 – Resistência à tração na flexão	63
Gráfico 8 – Densidade de massa aparente	65
Gráfico 9 – Variação da densidade de massa.....	66
Gráfico 10 – Absorção de água por capilaridade	67
Gráfico 11 – Coeficiente de capilaridade.....	68
Gráfico 12 – Resistência de aderência à tração média	70
Gráfico 13 – Formas de ruptura das argamassas: (a) TR Cal; (b) TR 175; (c) TR 200; (d) TR 225	72

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Classificação das argamassas pelo seu uso.....	19
Quadro 2 – Propriedades da argamassa	25
Quadro 3 – Exigências químicas para cada tipo de cal hidratada.....	30

Quadro 4 – Exigências físicas para cada tipo de cal hidratada.....	30
Quadro 5 – Variação de propriedades da argamassa de revestimento com o aumento do teor de cal.....	31
Quadro 6 – Principais características dos aditivos incorporadores de ar de acordo com o produto de dissolução em solução	37
Quadro 7 – Exemplos de traços indicados por entidades normalizadoras.....	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Espessuras indicadas para revestimentos internos e externos	21
Tabela 2 – Limites de resistência de aderência à tração	26
Tabela 3 – Propriedades da areia	44
Tabela 4 – Traços utilizados no estudo	47
Tabela 5 – Índice de consistência	56
Tabela 6 – Densidade de massa no estado fresco	60
Tabela 7 – Retenção de água	61
Tabela 8 – Resistência à compressão	64
Tabela 9 – Resistência à tração na flexão	64
Tabela 10 – Variação da densidade de massa do estado fresco para o estado endurecido da argamassa	66
Tabela 11 – Densidade de massa aparente no estado endurecido	67
Tabela 12 – Coeficiente de capilaridade	69
Tabela 13 – Limites de resistência de aderência à tração	69

Tabela 14 – Umidade, desvio padrão e coeficiente de variação 71

Tabela 15 – Resistência de aderência à tração 73

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

a/c	Relação água/cimento
ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CP	Cimento Portland
LATEC	Laboratório de Tecnologias da Construção
NBR	Norma Brasileira Registrada
NM	Norma Mercosul
pH	Potencial hidrogeniônico
Ra	Resistência de aderência à tração
RDM	Revestimento decorativo monocamada

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 Tema.....	16
1.2 Objetivos.....	16
1.2.1 Objetivo Geral	16
1.2.2 Objetivos Específicos.....	16
1.3 Justificativa	17
1.4 Delimitação do trabalho.....	17
2 REFERENCIAL TEÓRICO	18
2.1 Argamassa.....	18
2.2 Revestimento de argamassa	19
2.3 Camadas	22
2.3.1 Chapisco.....	22
2.3.2 Emboço	24
2.3.3 Reboco.....	24
2.3.4 Camada Única	24
2.3.5 Revestimento Decorativo Monocamada	24
2.4 Propriedades do revestimento de argamassa.....	25
2.5 Materiais.....	27
2.5.1 Cimento Portland.....	28
2.5.2 Cal hidratada	29
2.5.3 Agregado miúdo	31
2.5.4 Água.....	32
2.5.5 Aditivos	32
2.5.6 Aditivo Incorporador de Ar	34

2.6 Dosagem da argamassa	40
3 MATERIAIS E MÉTODOS	43
3.1 Caracterização dos materiais utilizados	43
3.1.1 Cimento	43
3.1.2 Cal	43
3.1.3 Agregado miúdo natural	44
3.1.4 Aditivo	45
3.1.5 Água	45
3.2 Métodos	46
3.2.1 Dosagem da argamassa	46
3.2.2 Produção das argamassas	47
3.2.3 Ensaios para análise das propriedades do estado fresco das argamassas	48
3.2.3.1 Índice de consistência	48
3.2.3.2 Retenção de água	48
3.2.3.3 Densidade de massa e do teor de ar incorporado	49
3.2.4 Ensaios para análise das propriedades do estado endurecido das argamassas	50
3.2.4.1 Resistência à compressão e resistência à tração na flexão	50
3.2.4.2 Densidade de massa aparente no estado endurecido	51
3.2.4.3 Resistência de aderência a tração	51
3.2.4.4 Absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade	54
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	56
4.1 Ensaios do estado fresco da argamassa	56
4.1.1 Índice de consistência	56
4.1.2 Teor de ar incorporado	58
4.1.3 Densidade de massa	59
4.1.4 Retenção de água	60
4.2 Ensaios do estado endurecido da argamassa	62
4.2.1 Resistência à compressão e resistência à tração na flexão	62
4.2.2 Densidade de massa aparente	65
4.2.3 Absorção de água por capilaridade	67
4.2.4 Resistência de aderência à tração	69
5 CONCLUSÃO	75
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	77
APÊNDICES	81

1 INTRODUÇÃO

Os revestimentos argamassados são amplamente utilizados no Brasil pela predominância do uso de concreto armado nas construções do país. Dentre suas funções, destacam-se: proteger a edificação, regularizar a superfície e contribuir com a estética (CARASEK, 2007). Conforme Recena (2012), apesar do advento das argamassas industrializadas, ainda é muito comum o preparo da argamassa em obra, sendo este um dos poucos materiais que ainda são efetivamente produzidos no próprio canteiro.

A argamassa é tradicionalmente composta por aglomerante (cimento, cal ou cimento e cal), agregado miúdo e água. Com o objetivo de melhorar o desempenho dos revestimentos, o mercado se abriu para materiais alternativos, como aditivos e adições (BAÍÁ; SABBATINI, 2008). De acordo com Romano (2013), o progresso tecnológico do último século possibilitou a otimização de diversos processos construtivos através do desenvolvimento destes aditivos. Este mesmo autor destaca a criação e evolução do aditivo incorporador de ar como um dos principais avanços no setor de construção civil.

Conforme Recena (2012), todas as argamassas precisam de uma quantidade mínima de pasta para preencher os vazios existentes entre os grãos dos agregados, proporcionando seu movimento relativo e os mantendo unidos, o que garante trabalhabilidade e coesão para a mistura. Ainda segundo Recena (2012), a pasta é composta por aglomerante, água e ar aprisionado. Se houver necessidade de aumentar o volume desta pasta em busca de uma melhor trabalhabilidade, isto pode

ser alcançado aumentando qualquer uma destas três variáveis, até um nível adequado para cada função.

De acordo com a NBR 11768 (ABNT, 2011), os incorporadores de ar aumentam a quantidade de ar na pasta pela formação de microbolhas, que são distribuídas uniformemente e tornam a estrutura porosa após o endurecimento. A descoberta desse aditivo, segundo Cunha e Neuman apud Resende (2010), ocorreu casualmente nos Estados Unidos, em 1933. Neste ano, os incorporadores de ar começaram a ser aplicados no concreto e na argamassa com o objetivo de aumentar suas durabilidades frente à ação destrutiva do gelo e degelo, devido à capacidade que as bolhas de ar possuem de servir como ponto de descompressão para a água capilar do ciclo.

Segundo Resende (2010), o aditivo incorporador de ar tem significativa utilização nas argamassas industrializadas e nas misturas feitas no canteiro de obras. Este mesmo autor destaca que, normalmente, este aditivo é utilizado em substituição à cal, na função de plastificação, pois proporciona menor custo, maior rendimento e maior facilidade de aplicação em relação ao aglomerante. Porém, Cavani et al. (1997) ressaltam que não é papel do aditivo substituir os elementos que compõem a argamassa, tal como a cal, um aglomerante. Para estes autores, os aditivos têm a função de maximizar as propriedades desejadas e minimizar as indesejadas e, segundo John apud CAVANI et al. (1997), realizar a substituição do aglomerante pelo aditivo pode resultar em problemas na aderência e durabilidade do revestimento argamassado.

Alves (2002) testou o aditivo incorporador de ar em substituição à cal e concluiu que as propriedades destas argamassas aditivadas se assemelham às de argamassas consagradas na construção civil. Calhau et al. (1999), em sua pesquisa, consideraram positivos os impactos da incorporação de ar, pois houveram melhoras em propriedades do estado fresco e endurecido, além de um maior volume de argamassa para uma quantidade menor de material.

Cavani et al. (1997) e Monte et al. (2003) comprovaram a melhora na trabalhabilidade das argamassas com ar incorporado, qualificando-as como mais leves, coesas e com melhor plasticidade. Estas argamassas ainda alcançam uma

trabalhabilidade adequada com uma menor relação água/cimento comparadas às argamassas tradicionais, segundo os autores.

Alves (2002) e Monte et al. (2003) relataram valores mais baixos nos resultados dos ensaios de resistência mecânica com as argamassas contendo aditivo incorporador de ar. Cavani et al. (1997) destacaram que as perdas da resistência geradas pelas bolhas de ar são compensadas com a redução da água de amassamento da mistura.

Em contrapartida ao desenvolvimento tecnológico, estão produtores que visam apenas a redução de custos, utilizando processos de produção duvidosos e abdicando de procedimentos de controle de qualidade dos revestimentos (RECENA, 2012). Este autor ainda cita que, em obra, é comum o proporcionamento dos materiais ser feito empiricamente pelo mestre de obras ou até pelo pedreiro, havendo preocupação maior com a trabalhabilidade da argamassa e a produtividade da tarefa do que com a qualidade final do produto.

Para Romano (2013), a incorporação de ar traz benefícios técnicos, econômicos e ambientais para a construção civil. Porém, conforme o mesmo autor, mesmo com o domínio da química e da tecnologia destes aditivos, há grande incidência de problemas com sua utilização no setor, devido à sua alta sensibilidade aos processos produtivos e à falta de conhecimento técnico/científico sobre sua ação em contato com o cimento. Recena (2012) destaca que a complexidade operacional da utilização do incorporador de ar se deve ao fato de suas características serem fortemente influenciadas pelo tipo de agregado empregado, pelo tipo de equipamento usado para a mistura e pelo tempo de mistura.

Atualmente, é possível encontrar no comércio diversas marcas de aditivos incorporadores de ar. As normas brasileiras sobre argamassa ainda permitem a existência de lacunas quanto às especificações de parâmetros de controle ou quanto ao uso de materiais alternativos em sua produção (RECENA, 2012). Alves (2002) relatou diferenças nos resultados dos ensaios de argamassas utilizando marcas distintas de aditivo incorporador de ar, principalmente em relação às suas condições de aplicação.

No Rio Grande do Sul, destaca-se o Alvenarit, um aditivo incorporador de ar contendo resinato de sódio em sua composição básica, que se mostra uma solução viável em termos de custo e produtividade. Na tentativa de contribuir para um melhor entendimento das características deste produto, este estudo propôs-se esclarecer os efeitos causados pelo emprego do Alvenarit em substituição à cal e também os efeitos que a superdosagem e a subdosagem deste aditivo, devido à falta de conhecimento técnico de seu uso na produção da argamassa em obra, podem ocasionar no desempenho do revestimento.

1.1 Tema

Efeitos causados pela substituição da cal, por diferentes teores do aditivo incorporador de ar Alvenarit, em argamassas de revestimento.

1.2 Objetivos

Os objetivos deste trabalho dividem-se em objetivo geral e objetivos específicos.

1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é avaliar os efeitos causados pela substituição da cal, por diferentes dosagens do aditivo Alvenarit, em argamassas de revestimento.

1.2.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- a) avaliar as argamassas de revestimento no estado fresco, utilizando como referência a trabalhabilidade;
- b) avaliar as propriedades físicas e mecânicas no estado endurecido das argamassas de revestimento;

- c) analisar o desempenho das argamassas de revestimento no ensaio de resistência de aderência à tração;
- d) classificar as argamassas conforme o estipulado na NBR 13281;
- e) avaliar como a subdosagem e a superdosagem do aditivo Alvenarit interferem nas propriedades da argamassa.

1.3 Justificativa

A escolha do tema do estudo ocorreu devido à ampla utilização do aditivo Alvenarit, em substituição à cal, nas obras da região em que o trabalho foi realizado. Isto se deve ao fato de o produto apresentar um melhor custo-benefício em relação à cal. Assim, se torna importante o estudo dos impactos desta substituição para saber se este produto garante à argamassa, tanto no estado fresco, como no estado endurecido, um desempenho satisfatório.

Outro fator importante a ser analisado é a influência da falta de controle na aplicação do aditivo, durante o preparo da argamassa no canteiro de obra. Por não cumprir função estrutural, os cuidados no proporcionamento dos materiais das argamassas são frequentemente menosprezados e, como agravante, existe uma grande carência de conhecimento sobre as especificações de uso dos aditivos, causando frequentemente o aparecimento de patologias no revestimento.

1.4 Delimitação do trabalho

O mercado da construção civil oferece diferentes tipos de aditivos incorporadores de ar, que diferem ou não nos materiais utilizados em suas composições. O presente trabalho se limita a estudar os efeitos gerados na argamassa, pela substituição da cal pelo aditivo Alvenarit, em razão deste estar entre os mais utilizados na região onde se realizou a pesquisa. O estudo também não avaliará as possíveis patologias decorrentes no revestimento.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo alguns conceitos e termos relevantes às argamassas e aos aditivos serão especificados e abordados, de modo a fundamentar e legitimar o presente estudo e também o de contextualizar o tema, para melhor entendimento do leitor.

2.1 Argamassa

A NBR 13281 (ABNT, 2005) define a argamassa como uma mistura homogênea com propriedades de aderência e endurecimento, composta por um ou mais aglomerante, agregado miúdo e água, sendo ainda possível a utilização de adições e aditivos. Segundo Recena (2012), a argamassa não pode ser considerada um material isolado, e sim um elemento de um sistema, levando em consideração sua interação com o substrato e o ambiente.

Carasek (2007) classificou os tipos de argamassas conforme seu emprego, como pode ser visto no Quadro 1.

Quadro 1 - Classificação das argamassas pelo seu uso

Função	Tipos
Para construção de alvenarias	Argamassa de assentamento (elevação de alvenaria)
	Argamassa de fixação (ou encunhamento - alvenaria de vedação)
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 de contrapiso
	Argamassa de alta resistência para piso
Para revestimentos cerâmicos (paredes/pisos)	Argamassa de assentamento de peças cerâmicas - colante
	Argamassa de rejuntamento
Para recuperação de estruturas	Argamassa de reparo

Fonte: Carasek (2007).

Ainda de acordo com Carasek (2007), as argamassas são também comumente classificadas pelos seguintes critérios:

- a) natureza do aglomerante: aérea e hidráulica;
- b) tipo do aglomerante: cal, cimento, gesso, cimento e cal e cal e gesso;
- c) número de aglomerantes: simples e mista;
- d) consistência: seca, plástica e fluida;
- e) plasticidade: pobre, média e rica;
- f) densidade da massa: leve, normal e pesada;
- g) forma de preparo ou fornecimento: preparada em obra, mistura semipronta, industrializada e dosada em central.

2.2 Revestimento de argamassa

Os revestimentos de argamassa são definidos pela NBR 13529 (ABNT, 2013) como o cobrimento de uma superfície, composto por uma ou mais camadas de argamassa, que se torna apto para receber o acabamento decorativo, ou se constitui

no próprio acabamento final, decorativo ou não. Esta norma ainda ressalta que o sistema de revestimento deve estar de acordo com a natureza da base, condições de exposição, acabamento final e desempenho, previstos em projeto.

Estudos de Peres apud Alves (2002) mostraram que uma parede de alvenaria comum, com um revestimento de argamassa comum com espessura entre 30 a 40% da espessura da parede, tem cerca de 50% de seu isolamento acústico, 30% de seu isolamento térmico e 100% de sua estanqueidade, providos pela argamassa. De acordo com Carasek (2007), é fundamental que o revestimento proteja a estrutura e alvenaria contra a ação do intemperismo, integrando o sistema de vedação do edifício. A NBR 13749 (ABNT, 2013) ressalta que o revestimento argamassado deve apresentar textura uniforme, sem imperfeições, tais como cavidades, fissuras e manchas.

Para Baía e Sabbatini (2008) as principais funções da argamassa de revestimento são:

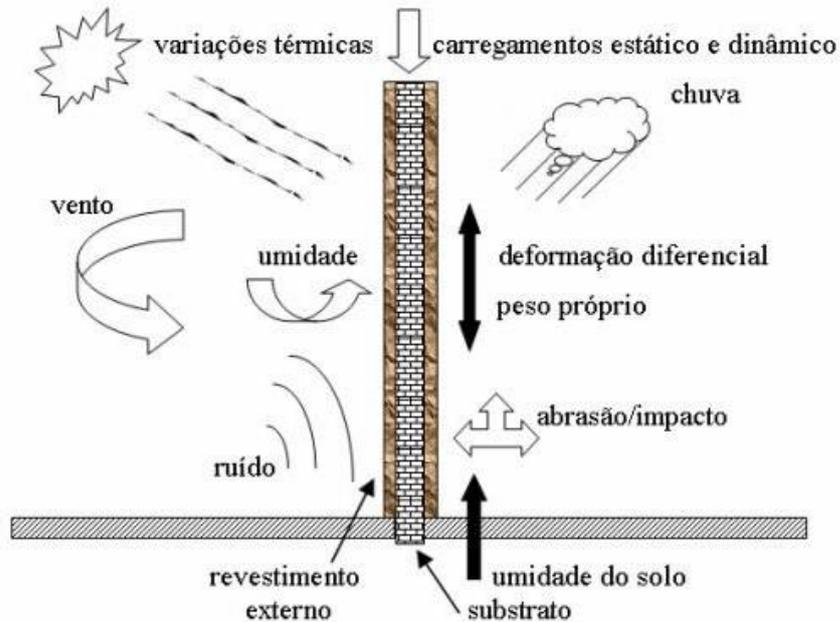
- a) proteger os elementos de vedação da ação direta de agentes agressivos;
- b) auxiliar nas funções da vedação, tais como, isolamento térmico e acústico e estanqueidade à água e aos gases;
- c) regularizar a superfície, servindo de base para o recebimento de outros revestimentos ou se constituindo em acabamento final;
- d) melhorar a estética da fachada.

Ainda conforme Baía e Sabbatini (2008), não é função do revestimento consertar imperfeições grosseiras da base devido à má execução. Corrigir bases desalinhadas e desaprumadas com a argamassa pode comprometer o cumprimento das reais funções do revestimento, segundo estes autores.

Cincotto et al. apud Alves (2002) destaca que o desempenho da argamassa de revestimento está diretamente ligado à produção, exposição e ação dos usuários. Estes mesmos autores classificam os fatores que influenciam no desempenho em extrínsecos, solicitações sobre o revestimento, conforme exemplificados na Figura 1,

e intrínsecos, relacionados às propriedades e características do próprio revestimento.

Figura 1 - Solicitações sobre o sistema de revestimento



Fonte: Cincotto et al. apud Alves (2002).

A NBR 13749 (ABNT, 2013) define as espessuras máximas e mínimas dos revestimentos de argamassa conforme seu local de aplicação, como exposto na Tabela 1. A mesma norma indica tomar cuidados especiais, especificados na NBR 7200, para garantir a aderência da argamassa caso a espessura escolhida seja maior que as indicadas na tabela.

Tabela 1 - Espessuras indicadas para revestimentos internos e externos

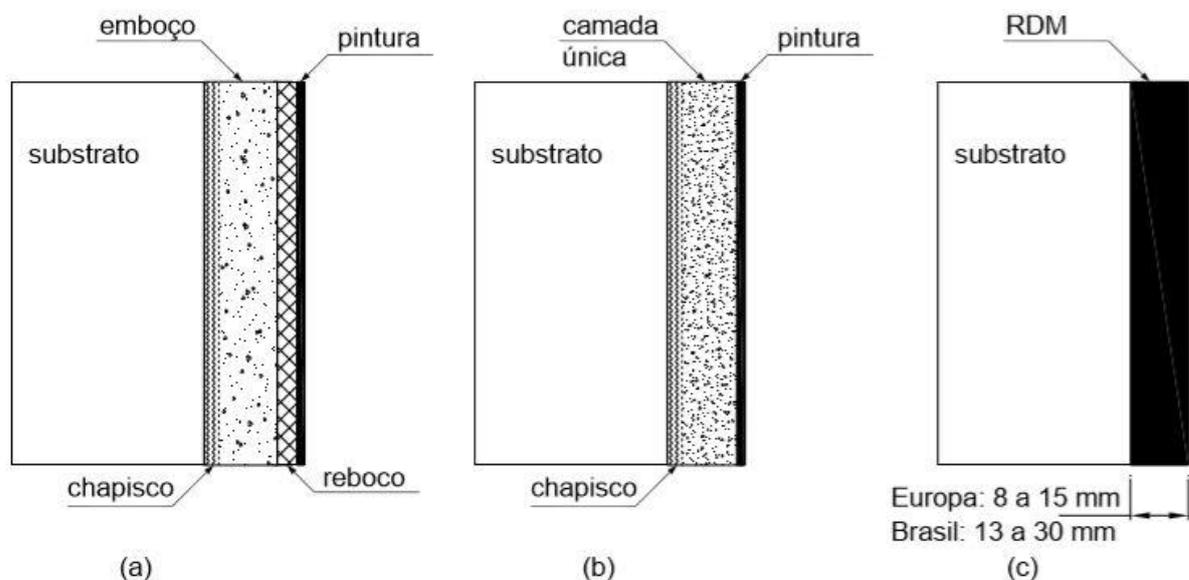
Revestimento	Espessura (mm)
Parede interna	$5 \leq e \leq 20$
Parede externa	$20 \leq e \leq 30$
Teto interno e externo	$e \leq 20$

Fonte: NBR 13749 (ABNT, 2013).

2.3 Camadas

Os revestimentos argamassados são constituídos por camadas que apresentam diferentes funções no sistema (CARASEK, 2007). De acordo com a NBR 13749 (ABNT, 2013), as argamassas utilizadas para revestimentos devem ter sua resistência mecânica decrescente ou uniforme, partindo da camada em contato com o substrato. Ainda segundo a mesma norma, as camadas deverão ser contínuas, uniformes e compatíveis com o acabamento decorativo. A ordem de aplicação das camadas segue uma sequência de acordo com a sua função, podendo ser vista na Figura 2.

Figura 2 - Opções de revestimento: (a) emboço + reboco + pintura (clássico); (b) camada única + pintura (mais utilizado); (c) revestimento decorativo monocamada (RDM)



Fonte: Carasek (2007).

2.3.1 Chapisco

Conforme a NBR 13529 (ABNT, 2013), o chapisco é uma camada de preparo da base, podendo ser contínua ou descontínua, e tem como objetivo melhorar a aderência do revestimento e uniformizar a superfície quanto à absorção. Para Dubaj (2000) devido às suas funções, os requisitos fundamentais para o chapisco são a aderência, resistência e durabilidade.

Gasperin (2011) explica que, em um plano de aplicação, é comum encontrar substratos desiguais, com diferentes comportamentos em relação à absorção de água da argamassa. Este autor cita a alvenaria e o concreto como exemplo. A alvenaria possui alta porosidade, o que pode prejudicar a aderência por causar grande perda de água da argamassa. Já o concreto possui baixa porosidade, o que dificulta a micro ancoragem pelo transporte de água e produtos de hidratação. Segundo o mesmo autor, o chapisco pode ser realizado de três formas, convencional, desempenado e rolado.

O chapisco convencional é forma mais clássica de aplicação, sendo feita pelo lançamento vigoroso do chapisco pelo operário com o auxílio da colher de pedreiro. Os traços deste chapisco variam de 1:2 até 1:4 (cimento: areia média ou grossa) e apresentam consistência bem fluída para uma boa molhagem da superfície e um bom espalhamento. Suas principais desvantagens estão no desperdício de material e a grande dependência humana em sua aplicação (GASPERIN, 2011).

O chapisco desempenado, também conhecido como chapisco colante, é aplicado com o auxílio de uma desempenadeira dentada. Normalmente é comercializado pré-pronto e ensacado, necessitando apenas a adição de água. É recomendado para substratos de baixa porosidade, como estruturas de concreto, pela sua alta adesão quando fresco e alta resistência à aderência quando endurecido. Uma das principais vantagens deste método é a diminuição dos desperdícios, em contrapartida, o consumo do produto na execução é elevado (GASPERIN, 2011).

Já o chapisco rolado, muito utilizado atualmente, é aplicado com rolos de espumas com descontinuidades que geram uma textura responsável pela rugosidade da camada. O traço utilizado normalmente é 1:5 (cimento: areia), sendo usual o emprego de polímeros em sua composição. A argamassa para chapisco rolado pode ser aplicada tanto em alvenarias como na parte estrutural. A grande vantagem deste método é a alta produtividade, pois tem sua aplicação de forma mais simples que os outros métodos. Já a desvantagem é que a camada pode apresentar espessura muito fina, sendo necessária mais de uma demão de aplicação (GASPERIN, 2011).

2.3.2 Emboço

Segundo a NBR 13529 (ABNT, 2013), o emboço, ou massa grossa, tem como objetivo cobrir e regularizar a base ou o chapisco, tornando a superfície apta para receber o reboco ou o revestimento decorativo. Conforme a NBR 13749 (ABNT, 2013), o acabamento do emboço pode ser sarrafeado se vier a receber o reboco e sarrafeado ou desempenado caso sirva de preparação para o revestimento cerâmico.

2.3.3 Reboco

O reboco, conhecido também como massa fina, é definido pela NBR 13529 (ABNT, 2013) como a camada que tem como objetivo cobrir o emboço e se tornar o acabamento final ou tornar a superfície apta para receber o revestimento decorativo. Segundo a NBR 13749 (ABNT, 2013), o acabamento do reboco poder ser desempenado, camurçado, raspado, chapiscado, lavado ou tratado com produtos químicos e imitação travertina.

2.3.4 Camada Única

De acordo com a NBR 13529 (ABNT, 2013) a camada única é formada por um único tipo de argamassa (exceto chapisco), aplicada em uma ou mais demãos sobre a superfície. A argamassa utilizada e sua aplicação devem garantir à camada a capacidade de cumprir a função de emboço e de reboco, ou seja, regularizar e proporcionar um bom acabamento (RECENA, 2012). Conforme a NBR 13749 (ABNT, 2013) o acabamento da camada única pode ser desempenado, camurçado ou chapiscado.

2.3.5 Revestimento Decorativo Monocamada

Amplamente utilizado na Europa, se trata de um revestimento aplicado em apenas uma camada que faz a função de regularizar e decorar a superfície. (CARASEK, 2007). Ainda segundo Carasek (2007), é um produto industrializado e seus componentes variam com o fabricante, geralmente contando com: cimento

branco, cal, agregados de várias naturezas, pigmentos inorgânicos, fungicidas e aditivos. Não há norma no Brasil que regulamente este produto

2.4 Propriedades do revestimento de argamassa

Para cumprir propriamente suas funções, as argamassas de revestimentos devem possuir certas propriedades específicas (BAÍÁ; SABBATINI, 2008). O conhecimento destas propriedades e os fatores que as influenciam são fundamentais para obter uma argamassa que atenda às necessidades do projeto (ALVES, 2002). De acordo com Baía e Sabbatini (2008) estas propriedades se dividem em duas categorias, propriedades do estado fresco e propriedades do estado endurecido, como pode ser visto no Quadro 2.

Quadro 2 - Propriedades da argamassa

Estado Fresco	Estado Endurecido
massa específica e teor de ar trabalhabilidade retenção de água aderência inicial retração na secagem	aderência capacidade de absorver deformações resistência mecânica resistência ao desgaste durabilidade

Fonte: Baía e Sabbatini (2008).

A massa específica é a relação entre a massa do material e seu volume, podendo ser absoluta, não considerando os vazios presentes no volume, ou relativa (também conhecida como massa unitária), considerando os vazios existentes. O teor de ar é a quantidade de ar presente em determinado volume da argamassa (BAÍÁ; SABBATINI, 2008). A NBR 13278 (ABNT, 2005) determina o método para definir a massa específica e o teor de ar incorporado no estado fresco da argamassa.

A trabalhabilidade é uma propriedade qualitativa, sendo a argamassa considerada de boa trabalhabilidade quando a colher de pedreiro a penetra facilmente, porém a mistura não é fluída, apresentando coesão ao ser aplicada, e se espalhando facilmente por toda a base (BAÍÁ; SABBATINI, 2008). Já a consistência é definida por um índice, encontrado através do procedimento estabelecido na NBR 13276 (ABNT, 2016).

Pode-se definir a retenção de água como a capacidade da argamassa de reter a água de amassamento contra as perdas geradas pela evaporação e pela sucção da base. (BAÍÁ; SABBATINI, 2008). Os materiais utilizados e sua dosagem têm relação direta com esta propriedade. A NBR 13277 (ABNT, 2005) define o método para sua determinação.

A aderência inicial está relacionada ao processo mecânico de ancoragem da argamassa, através da entrada da pasta nos poros, nas cavidades e nas saliências da base (BAÍÁ; SABBATINI, 2008).

Outra propriedade citada pelos autores é a retração na secagem, causada pela evaporação da água de amassamento, através das reações de hidratação e carbonatação dos aglomerantes, a retração na secagem pode provocar fissuras no revestimento, comprometendo sua estanqueidade à água (BAÍÁ; SABBATINI, 2008).

Já a aderência é a propriedade do revestimento de se manter preso à base, através da resistência de tensões normais e tangenciais geradas entre as superfícies (BAÍÁ; SABBATINI, 2008). O ensaio que mede a resistência de aderência à tração do revestimento está descrito na NBR 13528 (ABNT, 2010), sendo que os valores mínimos desta propriedade, para o emboço ou camada única, de acordo com a norma, variam conforme o local de aplicação e o tipo de acabamento, como pode ser visto na Tabela 2.

Tabela 2 - 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		-	≥ 0,30

Fonte: NBR 13749 (ABNT, 2013).

A capacidade de absorver deformações está relacionada à capacidade da argamassa de suportar as tensões sem romper, sem perder a aderência e sem apresentar fissuras. As deformações podem ser divididas em de grande amplitude, como as causadas por recalques estruturais, e em de pequena amplitude, originadas

pela umidade ou dilatação térmica. O revestimento tem a responsabilidade de aguentar apenas as deformações de pequena amplitude (BAÍÁ; SABBATINI, 2008).

A resistência mecânica é a capacidade de suportar as solicitações mecânicas causadas pela abrasão superficial e por impactos (BAÍÁ; SABBATINI, 2008). A NBR 13279 (ABNT, 2005) descreve o ensaio para determinação da resistência à compressão das argamassas.

A permeabilidade tem relação com a passagem de água pela camada de argamassa. O revestimento deve ser estanque a água, mas permeável ao vapor para proporcionar a secagem da umidade de infiltração. (BAÍÁ; SABBATINI, 2008). Para determinar a permeabilidade de um revestimento, o Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Construção Civil da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo criou um ensaio com uma câmara aspersora de água sob pressão, em que a permeabilidade é medida em decorrência de eventuais manchas de umidades que podem surgir durante ensaio.

A durabilidade é a propriedade resultante das outras propriedades do estado endurecido da argamassa. A durabilidade indica o desempenho do revestimento diante das ações sofridas ao longo do tempo (BAÍÁ; SABBATINI, 2008).

2.5 Materiais

De acordo com Carasek (2007), as primeiras argamassas eram compostas apenas por cal e areia, porém, ao longo do tempo, com a evolução das técnicas construtivas, novos materiais foram incrementados à mistura para atender maiores demandas, com destaque ao Cimento Portland.

Recena (2012) afirma que é possível preparar argamassas de qualidade com uma vasta gama de materiais, porém, ao avaliar a qualidade final do produto, não se pode apenas considerar os materiais empregados. A NBR 13749 (ABNT, 2013) ressalta que os materiais e suas proporções devem ser adequados ao acabamento e às condições de exposição.

2.5.1 Cimento Portland

A NBR 11172 (ABNT, 1990) define o Cimento Portland como um aglomerante hidráulico, ou seja, que endurece ao entrar em contato com a água e que, após endurecimento, resiste satisfatoriamente a novos contatos com a água. É considerado do ponto de vista químico, o material mais ativo da mistura e principal responsável pelas transformações que resultam no produto final (ABCP, 2002).

O Cimento Portland é obtido pela moagem de clínquer Portland, sendo comum a adição de uma ou mais formas de sulfato de cálcio (ABCP, 2002). Ainda segundo a ABCP (2002), existem diferentes tipos de cimento, com diferentes composições e características, sendo os principais:

- a) cimento Portland comum (CP I): uso geral, porém, não mais utilizado;
- b) cimento Portland composto (CP II-E, CP II-Z e CP II-F): fabricado com adições de escória, pozolana e filler, respectivamente, são os mais encontrados no mercado e oferecem desempenho igual ou superior ao CP I;
- c) cimento Portland de alto forno (CP III); a busca de medidas que diminuíssem o consumo de energia na fabricação do cimento levou a criação dos cimentos utilizando escórias granuladas de alto forno e materiais pozolânicos. Estes produtos promovem modificações na argamassa, tais como diminuição da permeabilidade, melhora do desempenho contra a ação de sulfatos, diminuição de calor de hidratação e maiores resistências em idades avançadas.
- d) cimento Portland pozolânico (CP IV); semelhante ao CP III;
- e) cimento Portland de alta resistência inicial (CP V-ARI): produzido com dosagens diferentes de calcário e argila na produção do clínquer e moagem mais fina do cimento, este cimento atinge altas resistências nos primeiros dias de aplicação, porém apresenta também alto calor de hidratação.

De acordo com ABCP (2002), existem ainda outros tipos de Cimento Portland que são consumidos em menor escala, como por exemplo, o Cimento Portland resistente aos sulfatos, Cimento Portland branco e Cimento Portland de baixo calor de hidratação.

Os Cimentos Portland também são classificados devido a sua classe de resistência, ou seja, a resistência mínima a ser atingida após 28 dias de cura. As classes comuns são 25, 32 e 40 (ABCP, 2002).

Segundo Dubaj (2000), o Cimento Portland a ser utilizado na argamassa deve ter pega lenta e ganho de resistência gradual ao longo do tempo, para evitar o aparecimento de fissuras devido à retração hidráulica ou secagem. De acordo com Carasek (1997), quanto maior o teor de cimento, maior são as resistências mecânicas da argamassa, inclusive à resistência de aderência, fundamental para os revestimentos. Porém, a mesma autora ressalta que misturas muito ricas em cimento geram revestimentos muito rígidos, com tendência a fissurar e diminuir a durabilidade da aderência.

2.5.2 Cal hidratada

A NBR 7175 (ABNT, 2003) define a cal hidratada como um aglomerante aéreo, em forma de pó, obtido a partir da hidratação da cal virgem e constituído de uma mistura de hidróxido de cálcio e hidróxido de magnésio, podendo ainda conter óxido de magnésio. De acordo com Cincotto, Quarcioni e John (2007), a cal é o aglomerante mais antigo utilizado pela humanidade e, devido as suas características únicas, permanece sendo muito importante em diversas aplicações na construção civil, em especial nas argamassas.

De acordo com Dubaj (2000) a qualidade da cal depende de dois fatores principais: composição química e finura adequada. A composição deve conter um teor de óxidos totais superior a 88% e, em relação à finura, a quantidade de resíduos, ou seja, partículas com dimensões maiores, não deve ser maior que 15%.

Conforme a NBR 7175 (2003), a cal hidratada é dividida em três tipos, CH I, CH II e CH III, conforme a pureza da matéria prima empregada na produção. Os

Quadros 3 e 4 especificam os requisitos físicos e químicos, respectivamente, de cada tipo de cal hidratada.

Quadro 3 - Exigências químicas para cada tipo de cal hidratada

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)		≥ 75%	≥ 75%	≥ 70%
Óxidos totais na base de não voláteis (CaO + MgO)		≥ 3,0%	≥ 2,5%	≥ 2,2%

Fonte: NBR 7175 (ABNT, 2003).

Quadro 4 – Exigências físicas para cada tipo de cal hidratada

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 cavidade ou protuberância		
Plasticidade		≥ 110	≥ 110	≥ 110

Fonte: NBR 7175 (ABNT, 2003).

Cincotto, Quarcioni e John (2007) afirmam que, as argamassas que utilizam apenas cal como aglomerante, em comparação às que usam apenas cimento, possuem resistências mecânicas menores, porém, também possuem um módulo de elasticidade inferior, o que significa menor rigidez e contribui para uma maior durabilidade. Estes autores ainda destacam que a cal também apresenta elevada área específica devido a sua finura, o que melhora o comportamento da argamassa no estado fresco (reologia e retenção de água) e auxilia no tempo de endurecimento da mistura, evitando fissuras por retração.

Sabbatini apud Dubaj (2000) comparou a influência do aumento do teor de cal nas propriedades da argamassa, como exibido no Quadro 5, mostrando vantagens tanto no estado fresco, como no endurecido.

Quadro 5 - Variação de propriedades da argamassa de revestimento com o aumento do teor de cal

Propriedade	Aumento na proporção de cal no aglomerante	
Resistência à compressão	Decresce	Propriedades melhoradas com maior teor relativo de cimento
Resistência à tração	Decresce	
Capacidade de aderência	Decresce	
Durabilidade	Decresce	
Impermeabilidade	Decresce	
Resistência a altas temperaturas	Decresce	
Resistências iniciais	Decresce	
Retração na secagem inicial	Cresce	
Retenção de água	Cresce	Propriedades melhoradas com maior teor relativo de cal
Plasticidade	Cresce	
Trabalhabilidade	Cresce	
Resiliência	Cresce	
Módulo de elasticidade	Decresce	
Retração na secagem reversível	Decresce	
Custo	Decresce	

Fonte: Sabbatini apud Dubaj (2000).

2.5.3 Agregado miúdo

De acordo com a NBR 7211 (ABNT, 2005) são considerados agregados miúdos os grãos que passam pela peneira de 4,75 mm e ficam retidos na peneira de 150 µm. Ainda segundo a mesma norma, os grãos devem ser compostos por minerais duros, compactos, estáveis, duráveis e limpos.

Dubaj (2000) descreve como principais funções do agregado na argamassa:

- a) preencher os vazios e diminuir o consumo de aglomerantes;
- b) aumento da resistência à compressão;
- c) diminuição da retração;
- d) redução de custos.

Romano (2013) afirma que a distribuição granulométrica dos agregados é a variável de maior influência nas propriedades reológicas e na permeabilidade da argamassa, ou seja, tem ligação direta com a durabilidade do revestimento. Para

Dubaj (2000), além da granulometria, as características geométricas dos grãos e sua composição química e mineralógica influenciam no desempenho das argamassas tanto no estado fresco, como no endurecido.

Conforme Recena (2012), a granulometria do agregado miúdo pode ser classificada em fina, média e grossa. Segundo este autor, quando o revestimento possui duas camadas, é utilizada areia média/grossa para o emboço e areia fina para o reboco. Já quando o método de aplicação for camada única, utiliza-se uma mistura de areia fina e grossa, que permite um nível satisfatório de acabamento.

2.5.4 Água

A água é responsável pela reação dos componentes da argamassa. Recena (2012) afirma que nas argamassas de Cimento Portland, a água se apresenta de diferentes formas, sendo elas:

- a) água não evaporável: quantidade mínima para que ocorra a hidratação do cimento;
- b) água evaporável: tem como função garantir a trabalhabilidade da mistura, pois é a quantidade que sobra da necessária para realizar a hidratação do cimento;
- c) água capilar: o restante da água não utilizada nas situações anteriores, que permanece dispersa na pasta.

2.5.5 Aditivos

A NBR 11768 (ABNT, 2011) define os aditivos como produtos que, ao serem adicionados em pequena quantidade ao concreto ou argamassa durante sua preparação, melhoram propriedades específicas do estado fresco e/ou endurecido. A mesma norma classifica os aditivos como:

- a) aditivo redutor de água plastificante: aumenta o índice de consistência da mistura, mantendo a mesma quantidade de água, ou, mantém o mesmo índice de consistência, diminuindo a quantidade de água, ou, ainda, aditivo

que cumpre estas duas funções simultaneamente. Não apresenta função secundária sobre a pega;

- b) aditivo de alta redução de água superplastificante tipo I: aumenta consideravelmente o índice de consistência da mistura, mantendo a mesma quantidade de água, ou, mantém o mesmo índice de consistência, com uma elevadíssima redução da quantidade de água, ou, ainda, aditivo que cumpre estas duas funções simultaneamente. Não apresenta função secundária sobre a pega;
- c) aditivo de alta redução de água superplastificante tipo II: aumenta consideravelmente o índice de consistência da mistura, mantendo a mesma quantidade de água, ou, mantém o mesmo índice de consistência com uma alta redução da quantidade de água, ou, ainda, aditivo que cumpre estas duas funções simultaneamente. Não apresenta função secundária sobre a pega;
- d) aditivo incorporador de ar: incorpora de modo controlado e uniforme, pequenas bolhas de ar durante a mistura, que permanecem após o endurecimento;
- e) aditivo acelerador de pega: diminui o tempo de transição do estado plástico para o estado endurecido;
- f) aditivo acelerador de resistência: aumenta a velocidade de desenvolvimento das resistências iniciais, alterando ou não o tempo de pega;
- g) aditivo retardador de pega: aumenta o tempo de transição do estado plástico para o estado endurecido;
- h) aditivo redutor de água e retardador de pega plastificante retardador: tem como função principal os efeitos do aditivo redutor de água plastificante, mas também possui a função do aditivo retardador de pega;
- i) aditivo de alta redução de água e retardador de pega superplastificante retardador tipos I e II: tem como função principal os efeitos do aditivo

reductor de água de elevado desempenho superplastificante, mas também possui a função do aditivo retardador de pega;

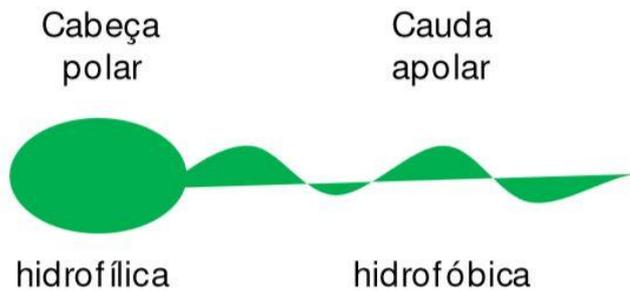
- j) aditivo reductor de água e acelerador de pega plastificante retardador: tem como função principal os efeitos do aditivo reductor de água plastificante, mas também possui a função do aditivo acelerador de pega;
- k) aditivo de alta redução de água e retardador de pega superplastificante acelerador tipos I e II: tem como função principal os efeitos do aditivo reductor de água de elevado desempenho superplastificante, mas também possui a função do aditivo acelerador de pega.

2.5.6 Aditivo Incorporador de Ar

Os aditivos incorporadores de ar são materiais orgânicos, apresentados no estado líquido, que introduzem uma quantidade controlada de bolhas microscópicas de ar, uniformemente distribuídas no concreto e argamassas (ALVES, 2002). Ainda segundo este mesmo autor, quando dosados em quantidade adequada, os aditivos incorporadores de ar podem melhorar várias propriedades da argamassa.

Conforme Romano (2013), os incorporadores de ar fazem parte da classe química dos tensoativos, substâncias que possuem em uma mesma molécula, ilustrada na Figura 3, grupamento polar, que possui afinidade pela água e outras substâncias polares, e grupamento apolar, que não possui afinidade pela água, mas por óleos ou outras substâncias apolares. De acordo com Salager apud Romano (2013), estes agentes tensoativos modificam a tensão superficial dos líquidos, e por consequência alteram a capacidade de molhamento, de incorporação de ar, de lavamento, entre outras.

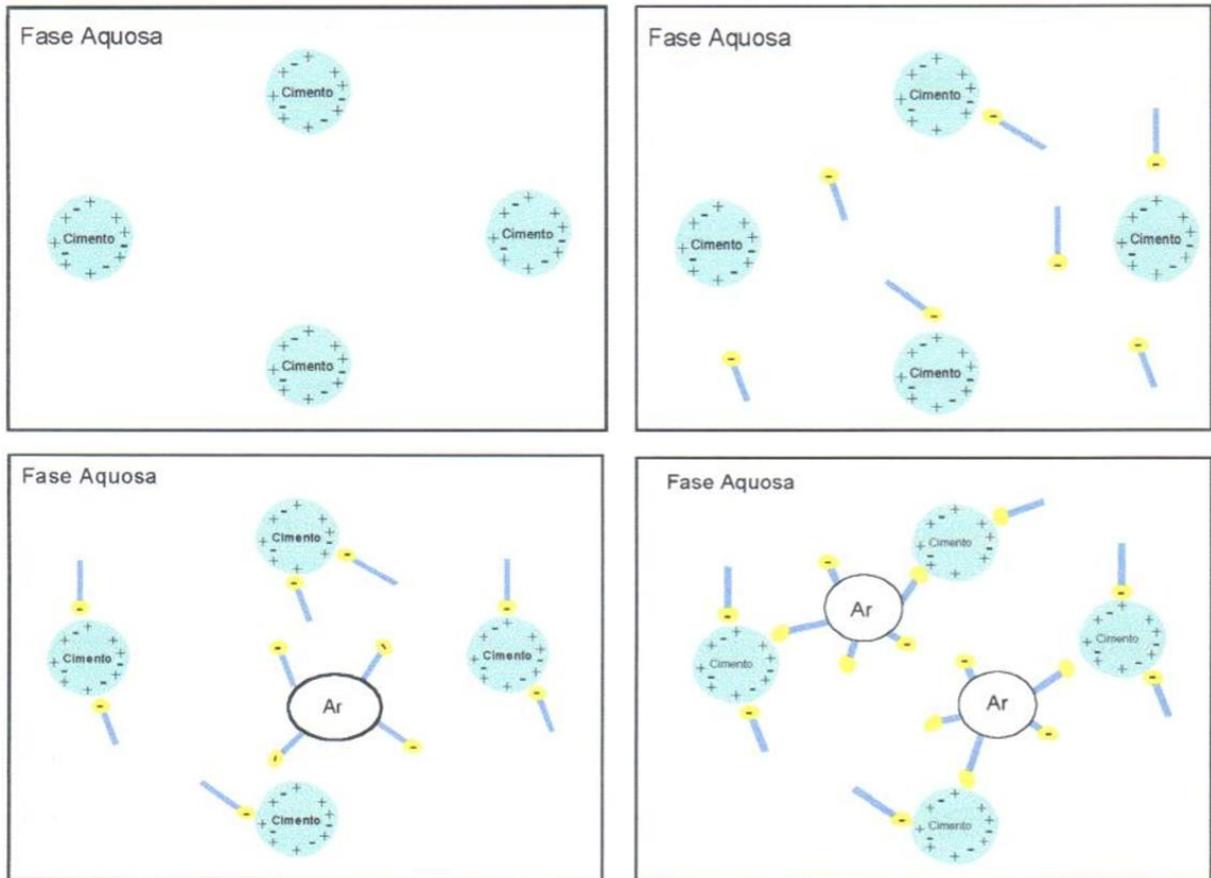
Figura 3 - Ilustração da molécula de incorporador de ar, dividida em cauda hidrofóbica (apolar) e cabeça hidrofílica (polar)



Fonte: Romano (2013).

Alves (2002) explica que ao ser adicionada à pasta de cimento, a parte polar da molécula tende a se adsorver no cimento, com a cauda apolar voltada para a fase aquosa, fazendo com que a formação das bolhas de ar seja realizada pelas moléculas que não foram adsorvidas e estão livres na fase aquosa. Além disso, segundo Alves (2002), algumas moléculas adsorvidas no cimento também podem participar da produção das bolhas, criando o efeito ponte entre as partículas de cimento, o que aumenta a estruturação do sistema e a viscosidade da pasta. É possível ter uma visão mais clara deste mecanismo na Figura 4.

Figura 4 - Ilustração do mecanismo de funcionamento dos incorporadores de ar: (a) formação da camada elétrica positiva e negativa nas partículas de cimento; (b) adsorção dos tensoativos no cimento (c) formação das bolhas de ar pelos tensoativos livres; (d) participação dos tensoativos adsorvidos no cimento na criação das bolhas, criando a ponte entre partículas de cimento



Fonte: Alves (2002).

Conforme Romano (2013), os aditivos incorporadores de ar são classificados em quatro classes, de acordo com seu caráter dissociativo, sendo elas: não iônicos, anfóteros, catiônicos e aniônicos. Cada classe possui peculiaridades, estando suas principais características resumidas no Quadro 6.

Quadro 6 - Principais características dos aditivos incorporadores de ar de acordo com o produto de dissolução em solução

Caráter dissociativo	Principais características
Não iônicos	Segundo tipo de aditivo incorporador de ar mais utilizado Compatíveis com outros aditivos incorporadores de ar Não compatíveis com eletrólitos Não sensíveis à água dura Propriedades físico-químicas de compostos etoxilados são muito sensíveis à temperatura
Anfóteros	Classe de aditivo incorporador de ar menos utilizada (alto custo) Compatíveis com todas as outras classes de aditivos Não sensíveis à água dura Estáveis em qualquer pH Não causam irritação nos olhos e na pele (shampoos e cosméticos)
Catiônicos	Terceiro tipo de aditivo incorporador de ar mais utilizado Não compatíveis com aditivos incorporadores de ar aniônicos Estáveis hidroliticamente Adsorvidos em inúmeras superfícies e, por isso, podem ser utilizados como agentes modificadores de superfície, tais como: aço, minerais, plásticos, etc.
Aniônicos	Classe de aditivo incorporador de ar mais utilizada Não compatíveis com os aditivos incorporadores de ar catiônicos Geralmente sensíveis à água dura (sensibilidade decresce na ordem carboxilato > fosfato > sulfato = sulfonato) Sulfatos são rapidamente hidrolisados por ácidos em processos autocatalíticos Os demais tipos são estáveis salvo em condições extremas Aditivos incorporadores de ar com maior capacidade espumante

Fonte: Romano (2013).

Segundo Alves (2002), o ar incorporado pelo aditivo não deve ser confundido com o ar aprisionado presente no concreto e argamassas, que gira em torno de 1% a 5%, pois este apresenta formas irregulares, na maioria dos casos causadas pelo incorreto adensamento ou compactação, e não provoca nenhuma melhoria em razão de não possuir as propriedades físicas e químicas das bolhas de ar produzidas pelo aditivo.

Segundo Recena (2012), em misturas pobres de cimento, com baixas resistências mecânicas e pouca trabalhabilidade, estes aditivos podem melhorar a trabalhabilidade, por promover um aumento no volume na pasta a partir da

introdução de bolhas de ar, ou, diminuir a quantidade água necessária na mistura para o mesmo volume de pasta, aumentando assim sua resistência.

De acordo com Romano (2013), a evolução dos aditivos incorporadores de ar no último século foi um grande avanço tecnológico da construção civil, pois eles possibilitam:

- a) melhorar a trabalhabilidade;
- b) melhorar a coesão;
- c) diminuir a exsudação;
- d) facilitar o espalhamento manual;
- e) aumentar a produtividade;
- f) facilitar o manuseio;
- g) diminuir os esforços nas formas;
- h) diminuir as cargas da estrutura;
- i) diminuir o módulo de elasticidade;
- j) diminuir o consumo de cimento na mistura;
- k) aumentar o desempenho de elementos expostos a ciclos de gelo-degelo.

Cavani et al. (1997) ressaltam que os aditivos incorporadores são comumente utilizados como substitutos da cal na argamassa, pois modificam a reologia da argamassa, conferindo maior mobilidade, sem prejuízos à coesão. Porém, estes mesmos autores alertam que, as funções da cal, um aglomerante, diferem das do aditivo, e que sua simples substituição pode causar efeitos prejudiciais no estado endurecido da argamassa.

Conforme Alves (2002) existem quatro grandes razões para incorporar ar intencionalmente na argamassa, são elas:

- a) plasticidade: o aditivo incorporador de ar proporciona um considerável ganho de plasticidade e também aumenta a estruturação do sistema, propriedades fundamentais para a sua aplicação nas superfícies.
- b) rendimento: a formação de bolhas de ar durante a mistura aumenta o volume final da argamassa para a mesma quantidade de material anidro, além de diminuir sua densidade.
- c) capacidade de absorver deformações: as argamassas que usam aditivo apresentam o valor do módulo de deformação aproximadamente 50% menor em relação as que não usam.
- d) fissuração: o ar incorporado permite uma diminuição na quantidade de finos sem alterar a probabilidade de segregação e exsudação da argamassa. Isto possibilita usar menos água de amassamento na mistura para um mesmo desempenho de aplicação, o que reduz a retração plástica e a retração por secagem, diminuindo o aparecimento de fissuras.

Segundo Romano (2013), apesar do domínio da tecnologia e da química dos incorporadores de ar, ainda são encontrados muitos problemas no seu emprego, na maioria dos casos, causados pela falta de conhecimento tecnológico e científico de seus utilizadores. Conforme o mesmo autor, é comum ver estes aditivos serem usados de forma empírica no canteiro de obras, o que é altamente contraindicado, pois em geral, o emprego deste aditivo torna a composição altamente sensível ao processamento, temperatura, tipo de cimento e transporte, necessitando um conhecimento técnico adequado para lidar com a variabilidade no desempenho do estado fresco e endurecido da argamassa.

Alves (2002) descreve os fatores que influenciam no processo de incorporação de ar na argamassa por aditivos:

- a) tipo e teor do aditivo incorporador de ar: diferentes tipos de aditivos incorporadores de ar, adicionados em mesma quantidade a mistura, geralmente oferecem uma quantidade de ar incorporado diferente.

- b) relação água/cimento: uma maior quantidade de água aumenta a fluidez da argamassa, facilitando a incorporação de ar devido ao maior espaço na mistura para a acomodação das bolhas.
- c) tipo e teor de cimento: quanto maior o teor de cimento, menor a quantidade de ar produzida.
- d) tempo de mistura: um tempo de mistura maior proporciona uma maior incorporação de ar, porém até certo limite, quando então, este teor começa a cair.
- e) temperatura: o aumento da temperatura provoca diminuição no teor de ar produzido.
- f) teor e tipo de agregado miúdo: um teor de areia maior significa um maior teor de ar produzido. Destaca-se também que areias mais grossas também facilitam a criação de bolhas de ar, em comparação com areias mais finas.
- g) materiais finos: ao adicionar materiais finos a mistura, é necessário aumentar a quantidade de aditivo para alcançar o mesmo teor de ar incorporado.

2.6 Dosagem da argamassa

Expressa por um traço, normalmente indicado em volume, a dosagem corresponde a proporção dos materiais utilizados na mistura para que ela possa ter um desempenho satisfatório (DUBAJ, 2000). Em argamassas industrializadas, essa proporção é indicada pelo fabricante, já para as preparadas no canteiro de obras, a dosagem deve ser definida no projeto e testada previamente no próprio canteiro (BAÍÁ; SABBATINI, 2008).

Segundo Recena (2012), os problemas relacionados às argamassas são causados mais pelas dosagens, manuseio e aplicação do que propriamente pelos materiais empregados. Este autor ainda destaca que no cotidiano das obras, é comum o traço da argamassa ser definido empiricamente pelo mestre de obras, que

muitas vezes faz com que apenas a trabalhabilidade e a velocidade de produção sejam levadas em conta, comprometendo a resistência mecânica, durabilidade e aderência.

Carasek (2007) explica que, diferente do concreto, não existem métodos consagrados e difundidos de dosagem de argamassa. Isto, segundo a autora, se deve principalmente ao fato de não haver grande interesse das empresas em pesquisas do tipo por considerarem a função da argamassa menos importante. Ainda segundo Carasek (2007), é possível atingir bons resultados utilizando traços pré-fixados, que foram elaborados por conceituadas instituições, como os citados no Quadro 7. A autora destaca que estes traços deverão receber ajustes conforme as demandas e particularidades de cada obra, principalmente em razão dos materiais utilizados, como por exemplo, o agregado miúdo, que pode variar bastante de uma região para outra.

Quadro 7 - Exemplos de traços indicados por entidades normalizadoras

Tipo de argamassa		Traço em volume			Referência
		Cimento	Cal	Areia	
Revestimento de paredes internas e fachada		1	2	9 a 11	NBR 7200 (ABNT, 1982)*
Assentamento de alvenaria estrutural	Alvenaria em contato com o solo	1	0 - 1/4	2,35 a 3 vezes o volume de cimento e cal	ASTM C270
	Alvenaria sujeita a esforços de flexão	1	1/2		
	Uso geral (sem contato com o solo)	1	1		
	Uso restrito (interno/baixa resistência)	1	2		

*Norma antiga, a atual (1998) não apresenta indicações de traços para argamassa.

Fonte: Carasek (2007).

Dubaj (2000) testou propriedades no estado fresco e endurecido de seis traços, baseados em uma pesquisa dos traços mais usados na cidade de Porto Alegre, e constatou que o traço 1:1:6 (cimento:cal:areia) foi o que apresentou melhor resultado no conjunto de propriedades ensaiadas. Apesar de ser considerado um traço muito forte, o autor explica que mesmos nos testes em que este traço não

apresentou bons resultados, como retração por secagem e absorção de água, seus resultados não ficaram tão abaixo dos demais traços, concluindo que ele pode ser utilizado sem restrições técnicas para argamassas de revestimento.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Caracterização dos materiais utilizados

Nesta seção são apresentados os materiais que foram utilizados na realização da pesquisa. Foram usados para a caracterização dos materiais os equipamentos disponíveis no Laboratório de Tecnologias da Construção (LATEC) da Universidade do Vale do Taquari - UNIVATES, seguindo os procedimentos específicos estabelecidos para cada material, de acordo com as normatizações da ABNT.

3.1.1 Cimento

Para a produção das argamassas ensaiadas neste estudo, foi utilizado Cimento Portland do tipo CP IV 32 – RS. Sua escolha foi baseada no fato deste ser o cimento mais encontrado nas obras da região, devido a sua ampla disponibilidade no mercado. A massa específica e a massa unitária do cimento foram obtidas através das especificações do fabricante, sendo 2820 kg/m³ e 986 kg/m³, respectivamente.

3.1.2 Cal

A cal utilizada no trabalho foi a Cal Hidratada CH-II. Esta cal, considerada intermediária, foi escolhida devido a sua grande disponibilidade no mercado e seu

predominante uso nas obras da região. A massa específica e a massa unitária da cal, obtidas através das especificações do fabricante, é de 2234 kg/m³ e 617 kg/m³, respectivamente.

3.1.3 Agregado miúdo natural

A areia média, obtida por extração fluvial da região, foi o agregado miúdo utilizado nos ensaios. Ela foi previamente seca em estufa para que não houvesse interferência na relação água/cimento das argamassas. A massa específica do agregado miúdo foi definida seguindo os procedimentos especificados na NBR NM 52 (ABNT, 2009), enquanto sua granulometria, o módulo de finura e a dimensão máxima característica foram definidos seguindo a padronização da NBR NM 248 (ABNT, 2003) e sua massa unitária obtida de acordo com a NBR NM 45 (ABNT, 2006). Os resultados alcançados podem ser conferidos na Tabela 3.

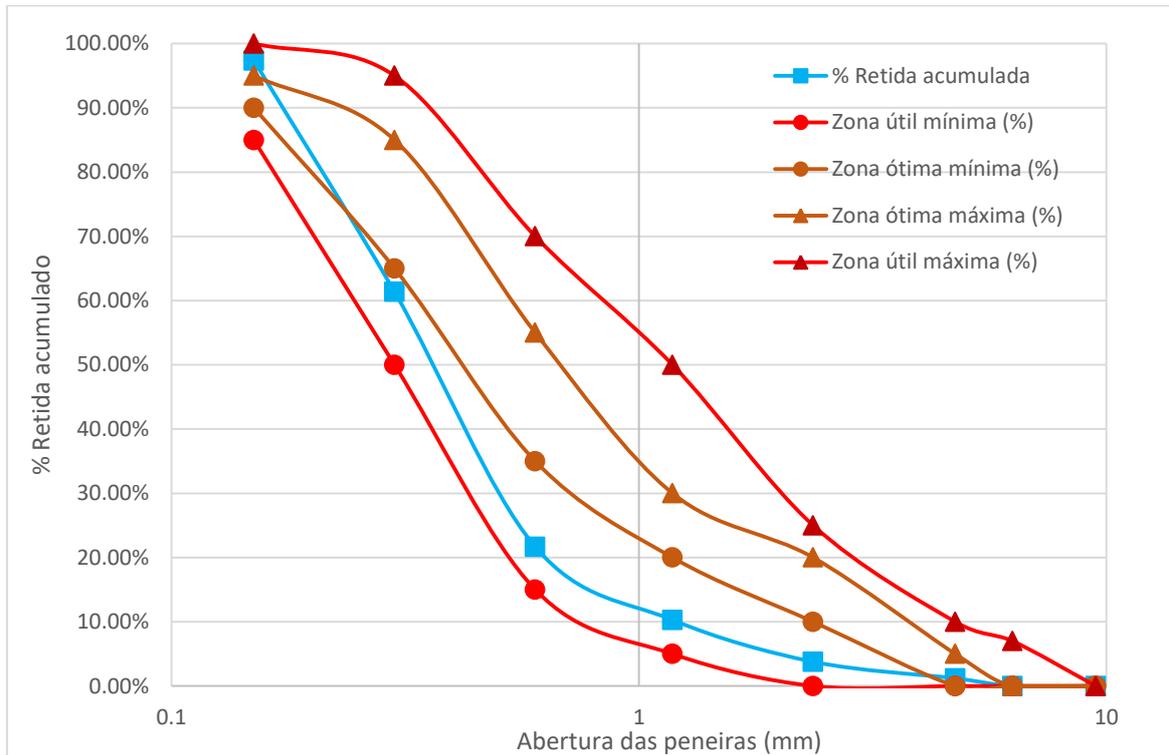
Tabela 3 - Propriedades da areia

Abertura da peneira (mm)	% Retida	% Retida acumulada
9.5	0.00%	0.00%
6.3	0.00%	0.00%
4.75	1.20%	1.20%
2.36	2.57%	3.77%
1.18	6.52%	10.29%
0.6	11.37%	21.66%
0.3	39.70%	61.36%
0.15	36.01%	97.37%
Fundo	2.63%	100.00%
Dimensão máxima característica (mm)		2.36
Módulo de Finura		1.96
Massa específica (kg/m³)		2328
Massa unitária (kg/m³)		1603

Fonte: Do autor.

O Gráfico 1 mostra a curva granulométrica da areia, sendo que sua granulometria se manteve dentro da zona utilizável, apresentando uma distribuição uniforme, variando o tamanho de seus grãos entre 4,75 mm até 0,15 mm.

Gráfico 1 - Curva granulométrica da areia



Fonte: Do autor.

3.1.4 Aditivo

O aditivo utilizado nos ensaios foi o Alvenarit, produzido pela empresa VEDACIT. Ele é um aditivo incorporador de ar, com aparência de um líquido escuro, densidade de 1,02 g/ml e possui resinato de sódio em sua composição básica. É popular nas obras da região e facilmente encontrado no comércio.

3.1.5 Água

Para a realização deste estudo foi utilizada a água fornecida pela rede de distribuição da CORSAN de Lajeado.

3.2 Métodos

3.2.1 Dosagem da argamassa

A escolha de traço utilizado para a argamassa contendo cal foi baseada na pesquisa de Da Costa (2016), que coletou dados sobre a dosagem utilizada nas argamassas de revestimento externos de 12 construtoras de pequeno e médio porte da região do Vale do Taquari. Nesta pesquisa não houve grandes variações entre os traços utilizados, sendo o mais comum 1:1,5:6, cimento, cal e areia, respectivamente. Para os traços contendo o aditivo Alvenarit, foi utilizada a proporção de 1:6, cimento e areia, respectivamente. Este traço é indicado pelo fabricante e não apresenta diferença nas proporções de cimento e agregado miúdo em relação ao traço mais utilizado nas obras da região, havendo apenas a retirada da cal em função do uso do aditivo.

A maneira mais correta de especificar o teor do aditivo incorporador de ar a ser utilizado é em relação a massa de cimento contida no traço (ALVES, 2002). Segundo indicação do fabricante, para argamassas de revestimento externo e interno, devem ser utilizados 200 ml de Alvenarit para 50 kg de cimento. Para avaliar os efeitos causados pela falta de controle na aplicação do aditivo, foram produzidos três traços contendo o incorporador de ar. O principal utilizou 200 ml de Alvenarit para 50 kg de cimento, conforme indicação do fabricante, enquanto os outros dois traços utilizaram 175 ml do aditivo para 50 kg de cimento e 225 ml para os mesmos 50 kg, simulando uma subdosagem e uma superdosagem do aditivo, respectivamente. Os traços, em volume e massa, estão expostos na Tabela 4.

Tabela 4 – Traços utilizados no estudo

Traço	Proporção em volume (cimento : cal : areia)	Proporção em massa (cimento : cal : areia)	Aditivo (ml)
TR Cal	1 : 1,5 : 6	1 : 0,94 : 9,75	0
TR 175	1 : 0 : 6	1 : 0 : 9,75	3,5 (175 ml p/ 50 kg de cimento)
TR 200	1 : 0 : 6	1 : 0 : 9,75	4,0 (200 ml p/ 50 kg de cimento)
TR 225	1 : 0 : 6	1 : 0 : 9,75	4,5 (225 ml p/ 50 kg de cimento)

Fonte: Do autor.

A água de amassamento foi adicionada de forma empírica até as argamassas atingirem um índice de consistência, previamente definido, de 240 ± 10 mm, valor em que a trabalhabilidade da argamassa é considerada adequada. Segundo Baía e Sabbatini (2008), uma argamassa com boa trabalhabilidade não pode ser muito fluída e nem endurecer rapidamente após a aplicação, devendo ainda apresentar coesão, facilidade de espalhamento.

3.2.2 Produção das argamassas

A preparação da argamassa foi feita em betoneira (FIGURA 5) e seguiu a ordem normalmente empregada. Os materiais secos foram previamente misturados e posteriormente ocorreu a adição da água de amassamento e do aditivo. Devido ao fato do tempo de mistura influenciar na incorporação de ar nas argamassas que utilizam aditivo, foi cronometrado o tempo de 3 minutos para a realização da mistura para todos os traços, pois, de acordo com Scripture apud Alves (2002), as argamassas contendo aditivo incorporador de ar e um teor de cimento mais baixo, demoram, em média, de 2 a 5 minutos para atingir seu teor de ar incorporado limite.

Figura 5 - Preparação da argamassa



Fonte: Do autor.

3.2.3 Ensaio para análise das propriedades do estado fresco das argamassas

Nesta subseção são descritos os ensaios para a obtenção das propriedades do estado fresco das argamassas produzidas.

3.2.3.1 Índice de consistência

A determinação do índice de consistência segue os parâmetros da NBR 13276 (ABNT, 2016). Um molde troncônico é colocado sobre a mesa de índice de consistência, e nele adicionadas três camadas de argamassa, com alturas iguais, nas quais são aplicados 15, 10 e 5 golpes, respectivamente, para distribuí-las uniformemente. Após isso, o molde é retirado e 30 golpes da mesa são aplicados na argamassa. Assim que terminados os 30 golpes, é medido o diâmetro de espalhamento da argamassa em três pontos diferentes e a média das três medições resulta no índice de consistência.

3.2.3.2 Retenção de água

O ensaio de retenção de água segue o indicado na NBR 13277 (ABNT, 2005). Neste ensaio a argamassa é colocada em um funil, ligado a uma bomba de vácuo e,

então, são feitas pesagens com o funil vazio, com o funil cheio de argamassa e com o funil cheio de argamassa após 15 minutos de sucção, para encontrar os valores usados na Equação 1, que define a retenção de água da argamassa.

$$Ra = \left[1 - \frac{ma - ms}{AF * (ma - mv)} \right] * 100$$

(Equação 1)

$$AF = \frac{mw}{(m + mw)}$$

Sendo:

Ra a retenção de água, em porcentagem;

ma a massa do conjunto com argamassa, em gramas;

ms a massa do conjunto após a sucção, em gramas;

mv a massa do conjunto vazio, em gramas;

AF o fator água/argamassa fresca;

mw a massa total de água acrescentada à mistura, em gramas;

m a soma das massas dos componentes anidros, em gramas.

3.2.3.3 Densidade de massa e do teor de ar incorporado

O ensaio para definir a densidade de massa e o teor de ar incorporado é baseado na NBR 13278 (ABNT, 2005). A argamassa deve ser adicionada em três camadas, adensadas com 20 golpes cada, em um recipiente de volume conhecido, para posterior pesagem do conjunto. A densidade de massa e o teor de ar incorporado são obtidos pelas Equações 2 e 3, respectivamente.

$$D = \frac{mc - mv}{vr} * 1000$$

(Equação 2)

Sendo:

D a densidade de massa da argamassa, em gramas por centímetro cúbico;

mc a média da massa do recipiente com argamassa, em gramas;

mv a massa do recipiente vazio, em gramas;

vr o volume do recipiente, em centímetros cúbicos.

$$A = 100 * \left(1 - \frac{D}{dt}\right) \quad (\text{Equação 3})$$

$$dt = \frac{\sum mi}{\sum mi/yi}$$

Sendo:

A o teor de ar incorporado;

D a densidade de massa da argamassa, em gramas por centímetro cúbico, conforme a Equação 2;

dt a densidade de massa teórica da argamassa, em gramas por centímetro cúbico, sem vazios;

mi a massa seca de cada componente da argamassa, mais massa da água;

yi a densidade de massa de cada componente da argamassa.

3.2.4 Ensaio para análise das propriedades do estado endurecido das argamassas

Nesta subseção são descritos os ensaios para a obtenção das propriedades do estado endurecido das argamassas produzidas.

3.2.4.1 Resistência à compressão e resistência à tração na flexão

Os ensaios de resistência à compressão e resistência à tração na flexão seguem o estipulado na NBR 13279 (ABNT, 2005). Foram moldados três corpos de prova de 4 cm x 4 cm x 16 cm de dimensão para cada traço de argamassa, que foram ensaiados aos 28 dias. O equipamento utilizado para a realização do ensaio é uma prensa hidráulica, da marca EMIC, modelo SSH300.

Para o ensaio de resistência a tração na flexão são exigidos ao menos dois corpos de prova para validação do teste. Já para a compressão, são exigidos no mínimo quatro corpos de prova, sendo que para o ensaio de compressão são utilizadas as metades dos corpos de provas resultantes do ensaio de tração na

flexão. Resultados com discrepâncias deverão ser descartados quando o desvio absoluto máximo for maior que 0,3 MPa para tração na flexão e 0,5 MPa para compressão. Os valores de resistência são obtidos da média dos resultados encontrados.

3.2.4.2 Densidade de massa aparente no estado endurecido

O ensaio para determinação da densidade de massa aparente segue os procedimentos da NBR 13280 (ABNT, 2005). Foram moldados três corpos de provas de 4 cm x 4 cm x 16 cm de dimensão para cada traço e curados até os 28 dias. Após, realiza-se a pesagem e a medição da altura, comprimento e largura dos corpos de prova, para definição de seu volume. A densidade é encontrada através da média dos valores obtidos na Equação 4 para cada corpo de prova.

$$\rho_{m\acute{a}x} = \frac{m}{v} * 1000 \quad (\text{Equação 4})$$

Sendo:

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

m a massa da argamassa;

v o volume da argamassa.

3.2.4.3 Resistência de aderência à tração

A determinação da resistência de aderência à tração segue as padronizações da NBR 13528 (ABNT, 2010). Para ensaios realizados em laboratório, a norma estabelece a produção de painéis de alvenaria ou concreto, como substrato para aplicação das argamassas. Neste trabalho foram produzidos quatro painéis de tijolo maciço, conforme a Figura 6, que receberam uma camada de chapisco na proporção 1:3 (cimento: areia), usando um equipamento aplicador de chapisco. Posteriormente cada painel recebeu um traço de argamassa do estudo.

Figura 6 - Painéis de alvenaria utilizados no ensaio



Fonte: Do autor.

Para a aplicação das argamassas foi utilizada uma mesa de queda, que garantiu a mesma força de aplicação em todos os painéis e a mesma espessura do revestimento, fixada em 2 cm. Após 28 dias de cura, foram realizados, com o auxílio de uma serra copo, 12 cortes circulares de 5 mm, posicionados aleatoriamente nos painéis e espaçados no mínimo 5 cm cada. Posteriormente, foram coladas pastilhas metálicas com cola epóxi sobre estes cortes para que então, após o tempo de secagem da cola, fosse realizado o arrancamento da argamassa através da tração. Para o arrancamento foi utilizado um equipamento que mede a força necessária para a operação, como pode ser visto na Figura 7.

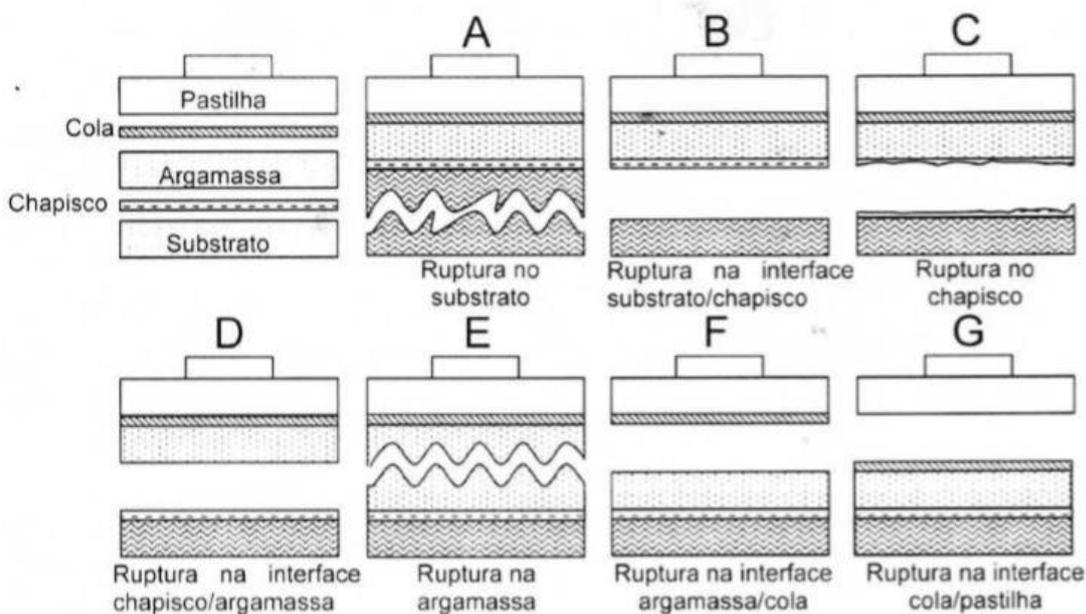
Figura 7 - Equipamento utilizado para o arrancamento dos cortes circulares realizados no revestimento aplicado nos painéis de alvenaria



Fonte: Do autor.

A norma ressalta que é preciso especificar o tipo de rompimento, pois só é considerada válida a medição de aderência quando o rompimento ocorrer na interface chapisco/substrato ou chapisco/argamassa. Nos outros locais, o valor de resistência encontrado deve ser considerado maior, com exceção do rompimento na cola, que deve ser desprezado. A Figura 8 mostra os tipos de rompimentos possíveis no ensaio.

Figura 8 - Formas de ruptura no ensaio de resistência de aderência à tração para um sistema de revestimento com chapisco



Fonte: NBR 13528 (ABNT, 2010).

3.2.4.4 Absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade

A NBR 15259 (ABNT, 2005) determina os procedimentos para definição da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade. Foram ensaiados três corpos de prova de 4 cm x 4 cm x 16 cm de dimensão aos 28 dias para cada traço. Estes foram colocados em sua face menor em um recipiente com uma camada de água de 5±1 mm de espessura. Aos 10 e 90 minutos de realização do ensaio, realizou-se a pesagem dos corpos de prova. A absorção de água por capilaridade é definida pela Equação 5 e o coeficiente de capilaridade pela Equação 6.

$$At = \frac{mt - m_0}{Acp} \quad (\text{Equação 5})$$

Sendo:

At a absorção de água por capilaridade, em gramas por centímetro quadrado;

mt a massa do corpo de prova em cada tempo, em gramas;

m0 a massa inicial do corpo de prova, em gramas;

Acp a área do corpo de prova, em centímetros quadrados.

$$C = m_{90} - m_{10}$$

(Equação 6)

Sendo:

C o coeficiente de capilaridade, em gramas por decímetro quadrado pela raiz quadrada de minuto;

m₉₀ a absorção de água do corpo de prova aos 90 minutos;

m₁₀ a absorção de água do corpo de prova aos 10 minutos.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo são apresentados os resultados dos ensaios realizados com as argamassas e sua análise.

4.1 Ensaio do estado fresco da argamassa

No estado fresco da argamassa foram realizados os ensaios de índice de consistência, teor de ar incorporado, densidade de massa e retenção de água.

4.1.1 Índice de consistência

O índice de consistência foi pré-fixado em 240 ± 10 mm visando alcançar a mesma trabalhabilidade para todos os traços de argamassa. Os resultados do ensaio estão apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 - Índice de consistência

Amostra	Índices de consistência (mm)			Índice de consistência (mm)
	Leitura 1	Leitura 2	Leitura 3	
TR Cal	230	240	242	237
TR 175	236	242	243	240
TR 200	237	246	247	243
TR 225	239	244	252	245

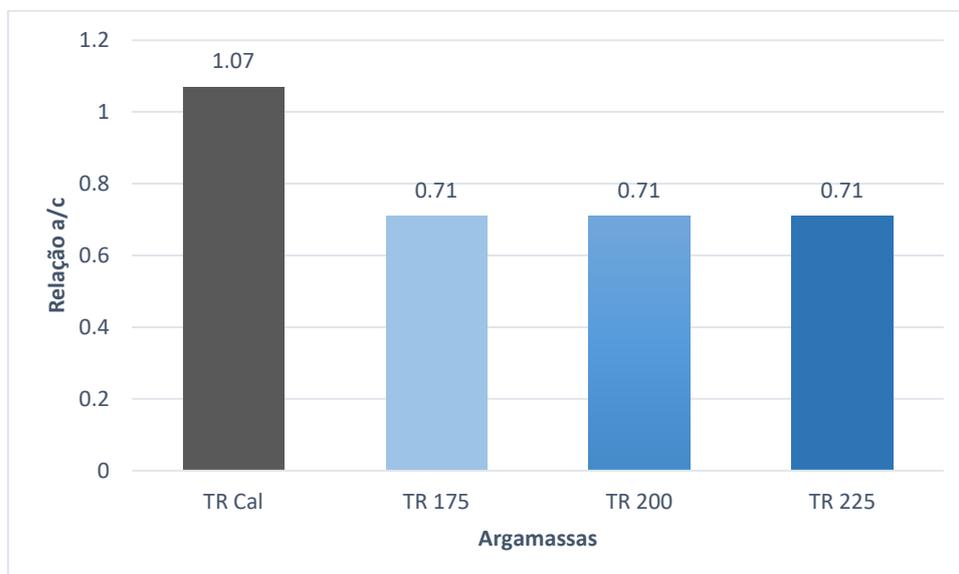
Fonte: Do autor.

É necessário ressaltar que, segundo Baía e Sabbatini (2008), o índice de consistência por si só não define a trabalhabilidade, que depende de outros fatores, como plasticidade, coesão e leveza. Cardoso apud Da Costa (2016) afirma que não é possível descrever um comportamento tão complexo como a trabalhabilidade, através de um único valor. Estas afirmações se mostraram verdadeiras, pois, durante os ensaios foi constatado que, apesar de apresentarem o mesmo índice de consistência, as argamassas contendo aditivo demonstraram uma trabalhabilidade superior.

Conforme Alves (2002), o ganho de consistência e plasticidade das argamassas contendo aditivo incorporador de ar se deve ao “efeito ponte” existente entre as bolhas de ar e as partículas de cimento e areia. Esta ligação entre os componentes da argamassa atribui a ela uma maior viscosidade e plasticidade. Ainda segundo o mesmo autor, a aplicação da argamassa também é facilitada pelo uso do aditivo, pois os tensoativos que o compõem diminuem a tensão superficial da mistura, provocando uma maior facilidade de a argamassa molhar a superfície de aplicação, aumentando a região de contato.

Também foi verificado que para atingir o valor do índice de consistência pré-fixado, as argamassas contendo Alvenarit necessitaram de 33% menos água que a argamassa contendo cal, como pode ser visto no Gráfico 2.

Gráfico 2 - Relação a/c



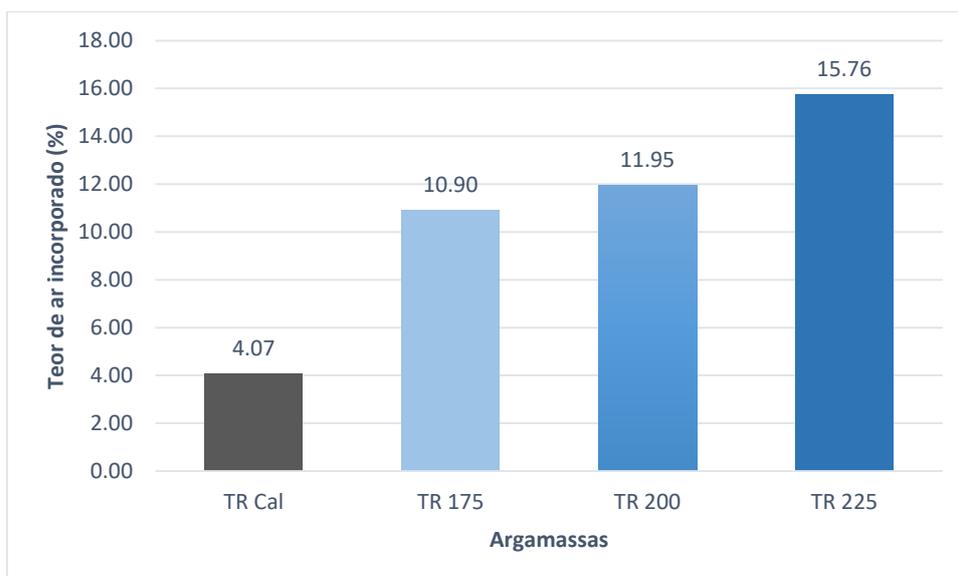
Fonte: Do autor.

Segundo Cavani et al. (1997), esta diminuição da relação água/cimento das argamassas contendo incorporador de ar ocorre devido ao efeito plastificante do aditivo. Alves (2002) explica que a presença do ar incorporado permite a diminuição da quantidade de finos, causada pela retirada da cal, sem alterar a segregação e exsudação da mistura. Isto possibilita a colocação de menos água de amassamento para uma mesma trabalhabilidade, pois quanto menor a quantidade de finos, menor a quantidade de água necessária no preparo.

4.1.2 Teor de ar incorporado

Através do Gráfico 3, pode-se observar os resultados encontrados para o teor de ar incorporado dos quatro traços de argamassa do estudo.

Gráfico 3 - Teor de ar incorporado



Fonte: Do autor.

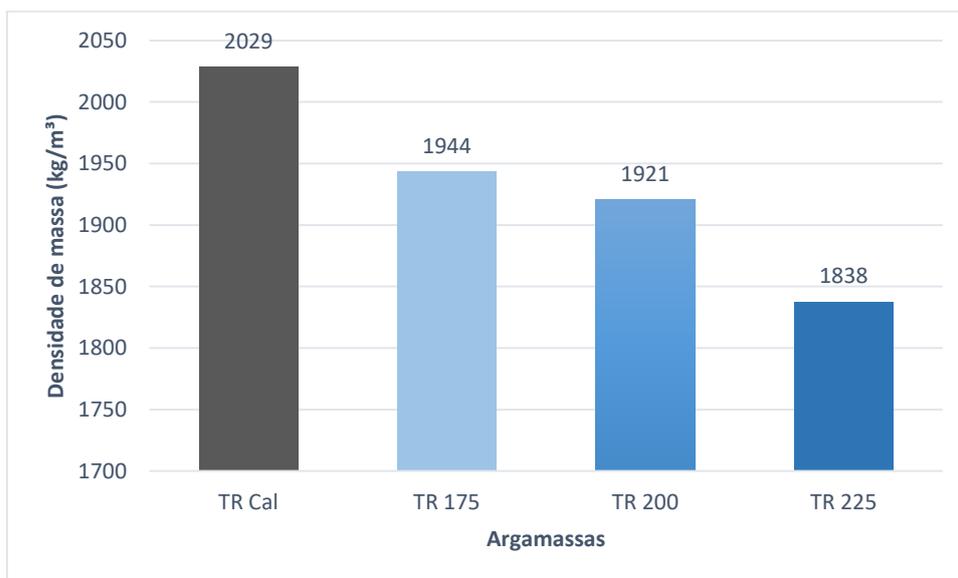
Com base nos resultados, é comprovada a eficácia do aditivo, pois os traços contendo Alvenarit obtiveram um teor de ar incorporado bem superior à argamassa contendo cal. O traço TR 225 apresentou o maior teor de ar incorporado, evidenciando a relação direta entre a dosagem do aditivo e o teor de ar incorporado na argamassa.

Resende (2010) analisou a variação do teor de ar incorporado em argamassas, mantendo condições fixas de substrato, e chegou à conclusão que o teor de 22% é o que consegue os melhores resultados nos estados fresco e endurecido. O traço TR 225, com 15,76%, foi o que mais se aproximou deste valor neste estudo.

4.1.3 Densidade de massa

Os resultados da densidade de massa, verificada no estado fresco da argamassa, estão expostos no Gráfico 4.

Gráfico 4 - Densidade de massa



Fonte: Do autor.

Por possuir um menor teor de ar incorporado e maior quantidade de material anidro, devido ao uso da cal, o traço TR Cal apresentou a maior densidade dentre os quatro ensaiados. A argamassa TR 225 apresentou a menor densidade de massa, o que estabelece uma relação direta entre a quantidade de ar incorporado e a densidade de massa nas argamassas contendo Alvenarit, pois a mesma apresentou o maior teor de ar incorporado.

Os resultados comprovam o aumento do rendimento das argamassas com o uso do aditivo, devido à diminuição de sua densidade, gerando o mesmo volume de

argamassa com uma menor quantidade de material anidro, se comparada com argamassas sem aditivos. Além disso, argamassas mais leves reduzem o esforço de aplicação do operário, aumentando sua produtividade diária.

A NBR 13281 (ABNT, 2005) estabelece uma classificação para as argamassas de acordo com o valor de sua densidade de massa no estado fresco, como pode ser visto na Tabela 6.

Tabela 6 - Densidade de massa no estado fresco

Classe	Densidade de massa no estado fresco (kg/m³)
D1	≤ 1400
D2	1200 a 1600
D3	1400 a 1800
D4	1600 a 2000
D5	1800 a 2200
D6	> 2000

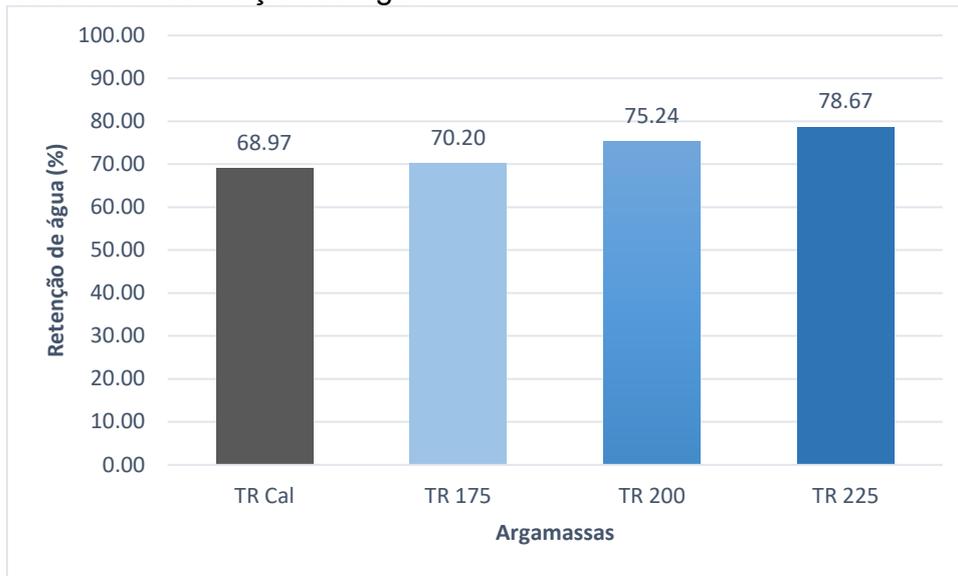
Fonte: NBR 13281 (ABNT, 2013).

De acordo com os valores de densidades de massa, o traço TR Cal se encaixa na classe D6, enquanto os traços TR 175, TR 200 e TR 225 pertencem à classe D5.

4.1.4 Retenção de água

Os valores encontrados no ensaio de retenção de água estão expostos no Gráfico 5.

Gráfico 5 - Retenção de água



Fonte: Do autor.

As argamassas contendo Alvenarit apresentaram valores maiores de retenção de água, aumentando conforme a dosagem do aditivo. Segundo Alves (2002), as bolhas de ar apresentam uma superfície hidrófila que contribui para retenção de água. Rixon e Malvaganan apud Alves (2002) explicam que a presença de bolhas no material cimentício diminui a exsudação, devido a sua capacidade de reter água.

Os valores de retenção de água também são utilizados como forma de classificação das argamassas, de acordo com a Tabela 7, presente na NBR 13281 (ABNT, 2005).

Tabela 7 - Retenção de água

Classe	Retenção de água (%)
U1	≤ 78
U2	72 a 85
U3	80 a 90
U4	86 a 94
U5	91 a 97
U6	95 a 100

Fonte: NBR 13281 (ABNT, 2013).

Conforme os valores encontrados, as argamassas TR Cal e TR 175 são classificadas como U1, enquanto TR 200 e TR 225 pertencem à classe U2.

Diante dos resultados expostos, as argamassas foram assim classificadas no estado fresco, conforme a NBR 13281 (ABNT, 2013):

- a) TR Cal: D6 e U1;
- b) TR 175: D5 e U1;
- c) TR 200: D5 e U2;
- d) TR 225: D5 e U2.

Os ensaios evidenciaram um melhor desempenho do traço TR 225, que apresentou melhor trabalhabilidade, maior teor de ar incorporado, menor densidade de massa e maior retenção de água.

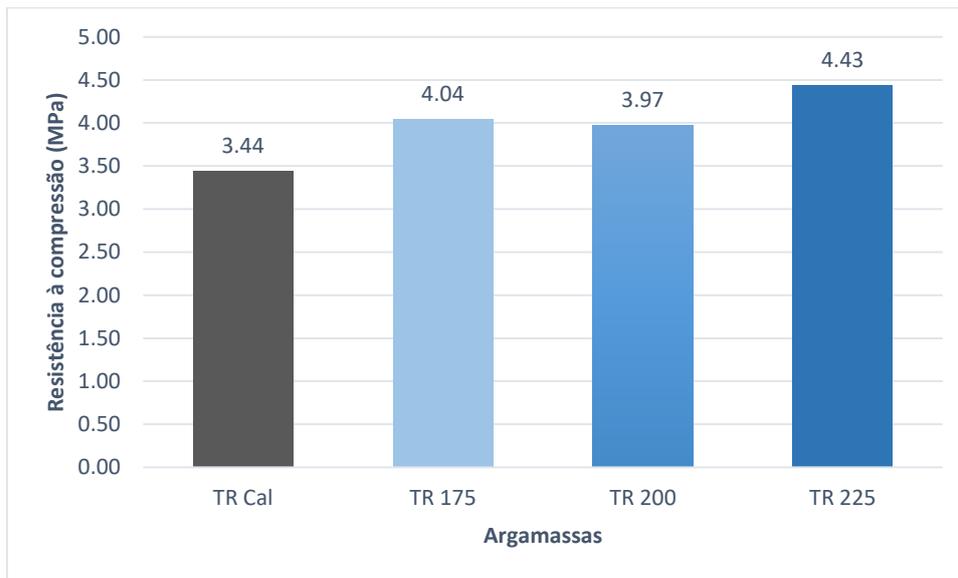
4.2 Ensaio do estado endurecido da argamassa

No estado endurecido da argamassa foram realizados os ensaios de resistência à compressão, resistência à tração na flexão, densidade de massa aparente, absorção de água por capilaridade e resistência de aderência à tração. Segundo Romano (2013), estas são as propriedades que definem o desempenho da argamassa em uso.

4.2.1 Resistência à compressão e resistência à tração na flexão

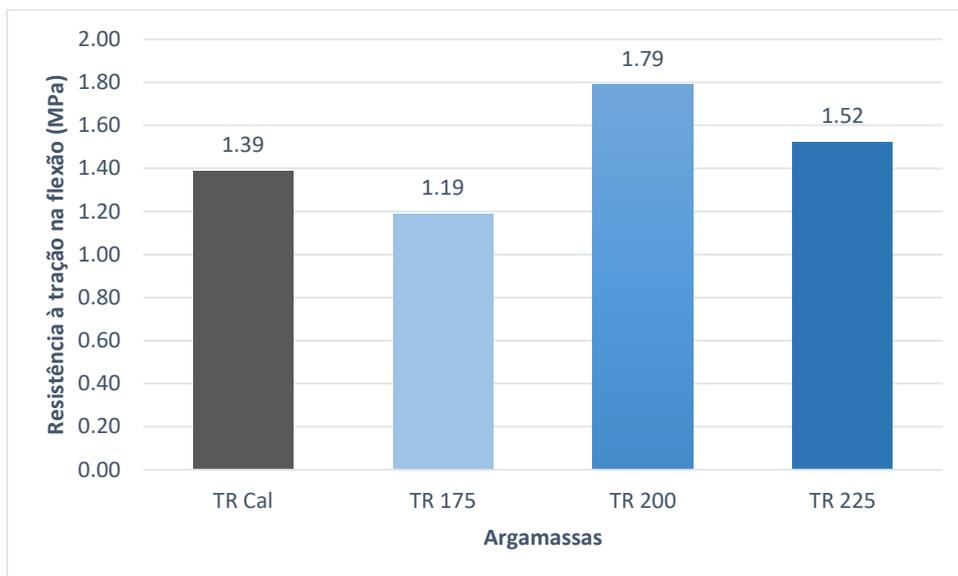
Nos Gráficos 6 e 7 estão expostos os resultados de resistência à compressão e resistência à tração na flexão, respectivamente.

Gráfico 6 - Resistência à compressão



Fonte: Do autor.

Gráfico 7 - Resistência à tração na flexão



Fonte: Do autor.

Evidencia-se que as argamassas contendo Alvenarit apresentaram valores levemente maiores de resistência à compressão. Segundo Calhau et al. (1999), isto se deve ao efeito plastificante do ar, que quando incorporado à argamassa em forma de microbolhas, ocupa o espaço de uma parcela da água de amassamento necessária para uma boa trabalhabilidade da argamassa. Esta redução causada na

relação água/cimento aumenta a resistência da argamassa e compensa as perdas de resistência causadas pela introdução das bolhas de ar na matriz cimentícia.

Há de se destacar também que o traço TR 225, além de apresentar maior resistência à compressão, também apresentou maior retenção de água, comprovando uma relação direta entre estas propriedades, pois, conforme Baía e Sabbatini (2008), uma boa retenção de água promove a correta hidratação da mistura, desenvolvendo assim, a capacidade máxima de resistência da argamassa.

Por apresentar valores muito baixos, o ensaio de tração se torna muito delicado para as argamassas. Os dados do Gráfico 7 demonstram uma grande proximidade dos valores encontrados para todos os traços.

De acordo com os valores encontrados para a resistência à compressão e para a resistência à tração na flexão, as argamassas podem ser classificadas seguindo as Tabelas 8 e 9, presentes na NBR 13281 (ABNT, 2005).

Tabela 8 - Resistência à compressão

Classe	Resistência à compressão (MPa)
P1	≤ 2,0
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, 2013).

Tabela 9 - Resistência à tração na flexão

Classe	Resistência à tração na flexão (MPa)
R1	≤ 1,5
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

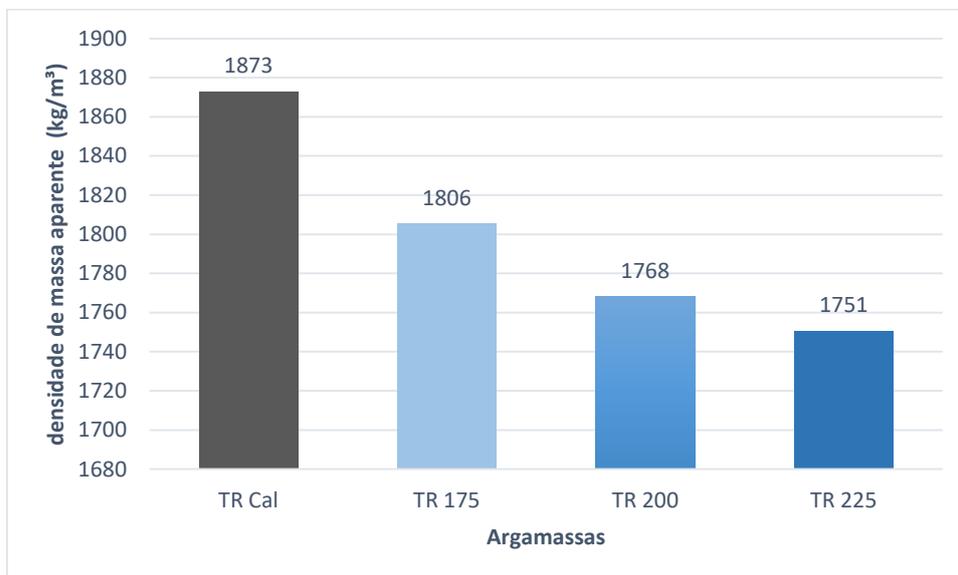
Fonte: NBR 13281 (ABNT, 2013).

Seguindo a classificação da norma, para compressão as argamassas TR Cal e TR 200 pertencem à classe P3, enquanto as argamassas TR 175 e TR 225 são classificadas como P4. Para a tração, TR Cal e TR 175 estão na faixa R2, enquanto TR 200 e TR 225 estão na faixa R3.

4.2.2 Densidade de massa aparente

Os valores encontrados para a densidade de massa aparente no estado endurecido estão exibidos no Gráfico 8.

Gráfico 8 - Densidade de massa aparente

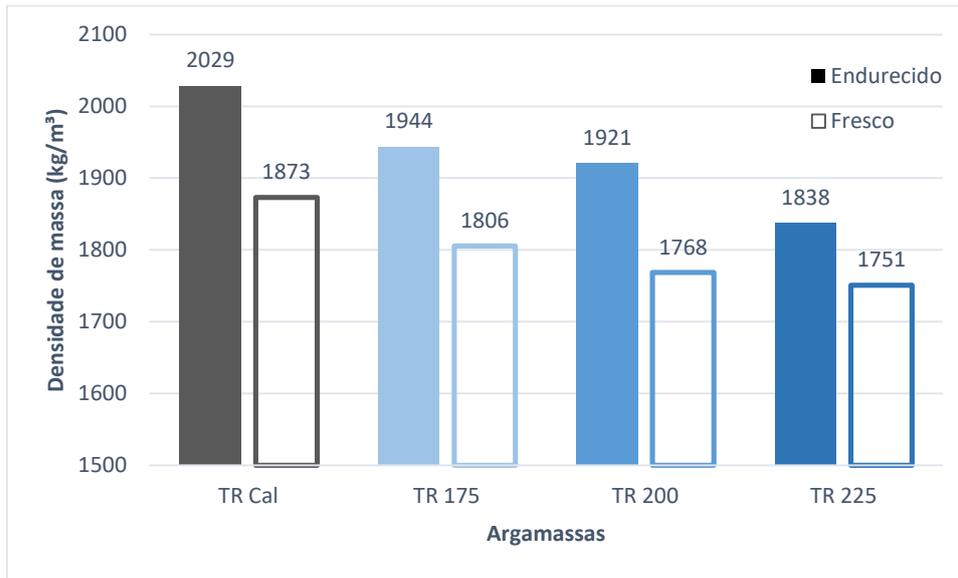


Fonte: Do autor.

Os valores encontrados reforçam que as argamassas contendo o aditivo, ou seja, com maior teor de ar incorporado, possuem densidade menor comparada com a argamassa contendo cal. Os resultados obtidos ainda comprovam que as bolhas de ar incorporados presentes no estado fresco permanecem no estado endurecido da argamassa.

Segundo Da Costa (2016), as argamassas secas ao ar livre perdem em torno de 3 a 11% de sua densidade de massa do estado fresco para o endurecido. As variações dos valores da densidade de massa para os quatro traços estão expostas no Gráfico 9.

Gráfico 9 - Variação da densidade de massa



Fonte: Do autor.

As porcentagens da variação da densidade de massa de um estado para outro estão expostas na Tabela 10.

Tabela 10 - Variação da densidade de massa do estado fresco para o estado endurecido da argamassa

Amostra	Varição de densidade de massa
TR Cal	7,68 %
TR 175	7,11 %
TR 200	7,94 %
TR 225	4,73 %

Fonte: Do autor.

A argamassa contendo cal teve maior perda de densidade de massa, o que pode ser explicado pelo fato desta possuir mais água em sua composição e também o menor valor de retenção de água, ocasionando maior perda de massa pelos processos de evaporação e hidratação. Em termos de porcentagem, todas ficaram dentro do limite de 3 a 11%, sendo que o traço TR 225 apresentou a menor variação e as demais argamassas obtiveram valores muito semelhantes.

Com base na densidade de massa aparente no estado endurecido é possível classificar os traços conforme a Tabela 11, extraída da NBR 13281 (ABNT, 2005).

Tabela 11 - Densidade de massa aparente no estado endurecido

Classe	Dens. de massa aparente no estado endurecido (kg/m ³)
M1	≤ 1200
M2	1000 a 1400
M3	1200 a 1600
M4	1400 a 1800
M5	1600 a 2000
M6	> 1800

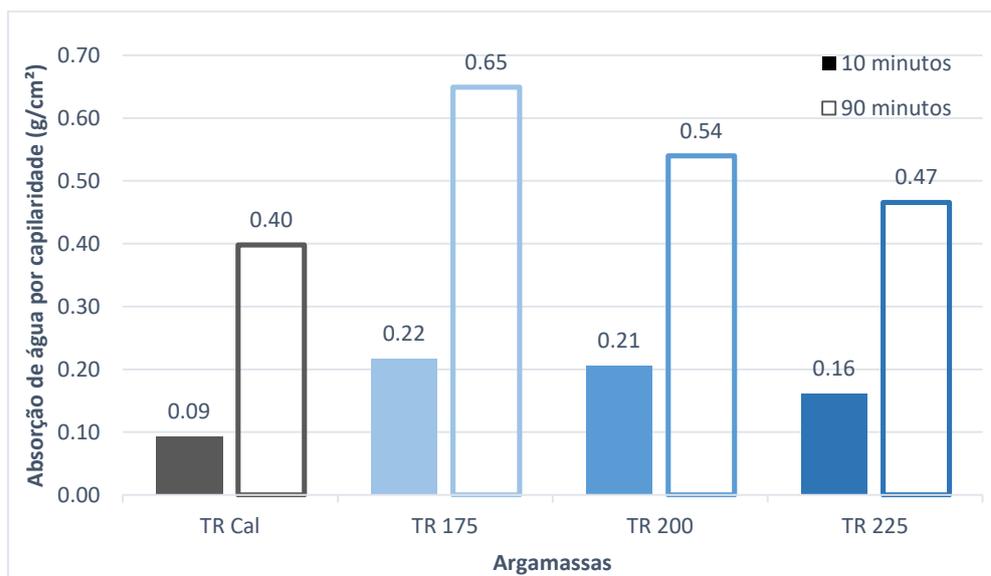
Fonte: NBR 13281 (ABNT, 2013).

Os valores classificam as argamassas TR 200 e TR 225 como M5 e as argamassas TR Cal e TR 175 como M6.

4.2.3 Absorção de água por capilaridade

O Gráfico 10 contém os valores encontrados no ensaio de absorção de água por capilaridade dos quatro traços estudados.

Gráfico 10 - Absorção de água por capilaridade



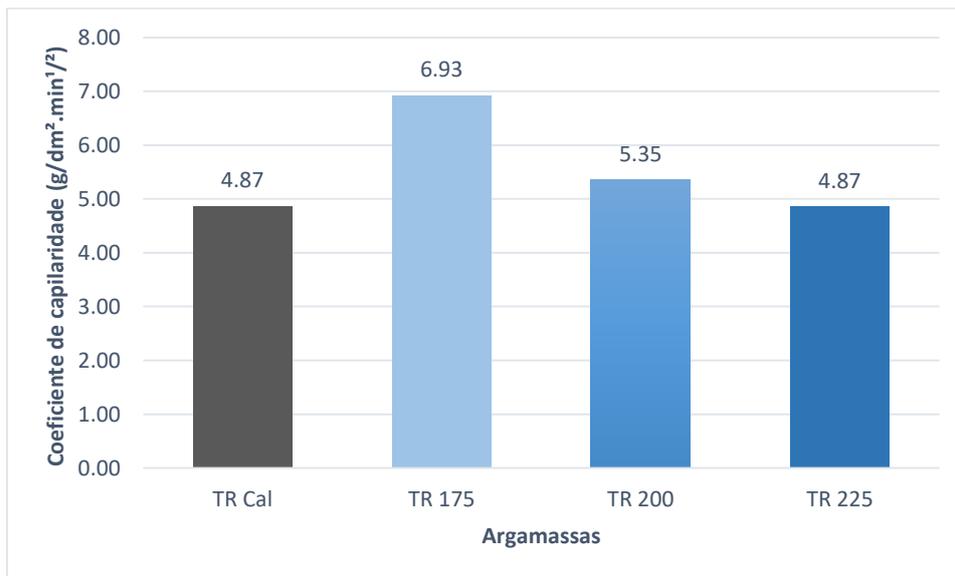
Fonte: Do autor.

É possível observar que o traço contendo cal absorveu menos água, tanto aos 10 como aos 90 minutos. Isto se justifica pelo fato de que a argamassa

contendo cal possui maior quantidade de finos, o que causa um maior fechamento dos poros e, por consequência, uma redução da absorção de água (CARASEK, 2007). Também é possível notar que um maior teor de ar incorporado não significa uma maior absorção de água, pois, em relação aos traços sem a presença de cal, quanto maior o teor de ar incorporado, menor a absorção de água por capilaridade apresentada pela argamassa.

Os coeficientes de capilaridade, medidos através da diferença das massas dos corpos de prova aos 10 e aos 90 minutos de ensaio, podem ser conferidos no Gráfico 11.

Gráfico 11 - Coeficiente de capilaridade



Fonte: Do autor.

Apesar de possuir uma menor absorção, o traço com cal apresentou o mesmo coeficiente de capilaridade que o traço TR 225. Os traços TR 175 e TR 200 apresentaram os piores resultados.

O coeficiente de capilaridade é outro item que classifica as argamassas, conforme a NBR 13281 (ABNT, 2005). Esta classificação pode ser vista na Tabela 12.

Tabela 12 - Coeficiente de capilaridade

Classe	Coeficiente de capilaridade (g/dm ² .min ^{1/2})
C1	≤ 1,5
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, 2013).

Com os valores obtidos no ensaio, os traços TR Cal e TR 225 são classificados como C4, enquanto TR 175 e TR 200 pertencem à classe C5.

4.2.4 Resistência de aderência à tração

Neste item estão expressos os resultados encontrados para a resistência de aderência à tração dos quatro traços de argamassa. A NBR 13749 (ABNT, 2013) determina os valores mínimos de resistência de aderência para argamassas de revestimento, como pode ser visto na Tabela 13.

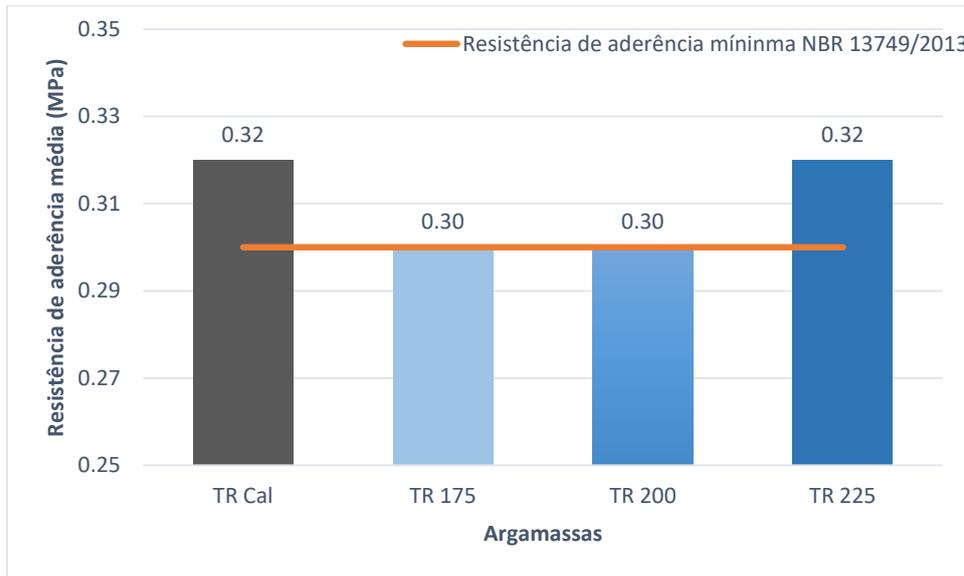
Tabela 13 – Limites de resistência de aderência à tração

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	-	≥ 0,30	

Fonte: NBR 13749 (ABNT, 2013).

As argamassas do estudo são utilizadas em ambientes externos e internos e, por este motivo, foi definido o valor de 0,30 MPa como resistência mínima de aderência desejada. As resistências médias de aderência para cada traço podem ser conferidas no Gráfico 12.

Gráfico 12 - Resistência de aderência à tração média



Fonte: Do autor.

Como pode ser visto no Gráfico 12, as médias das quatro argamassas atingiram a resistência de aderência mínima, com resultados muito similares entre si. Alves (2002) encontrou uma queda da aderência de até 50% das argamassas contendo incorporador de ar, concluindo que as bolhas de ar causam a diminuição da superfície de contato entre a argamassa e o substrato, além da redução de propriedades mecânicas. Porém, este autor utilizou a mesma relação água/cimento para todos os traços. Calhau et al. (1999) explica que esta perda, causada pelas bolhas de ar, é compensada pelo aumento da resistência mecânica, devido à diminuição da relação água/cimento nos traços aditivados, como ocorreu neste estudo.

Conforme Tiggemann (2016), para uma amostra ser considerada aceitável estatisticamente, o coeficiente de variação deve estar em torno de 25%, porém, de acordo com Da Costa (2016), a resistência de aderência é influenciada por diversos fatores e, devido à complexidade deste ensaio, valores de dispersão de até 35% podem ser aceitos. Na Tabela 14 são mostrados o desvio padrão e o coeficiente de variação das quatro amostras, além da umidade de cada argamassa no momento do ensaio.

Tabela 14 - Umidade, desvio padrão e coeficiente de variação

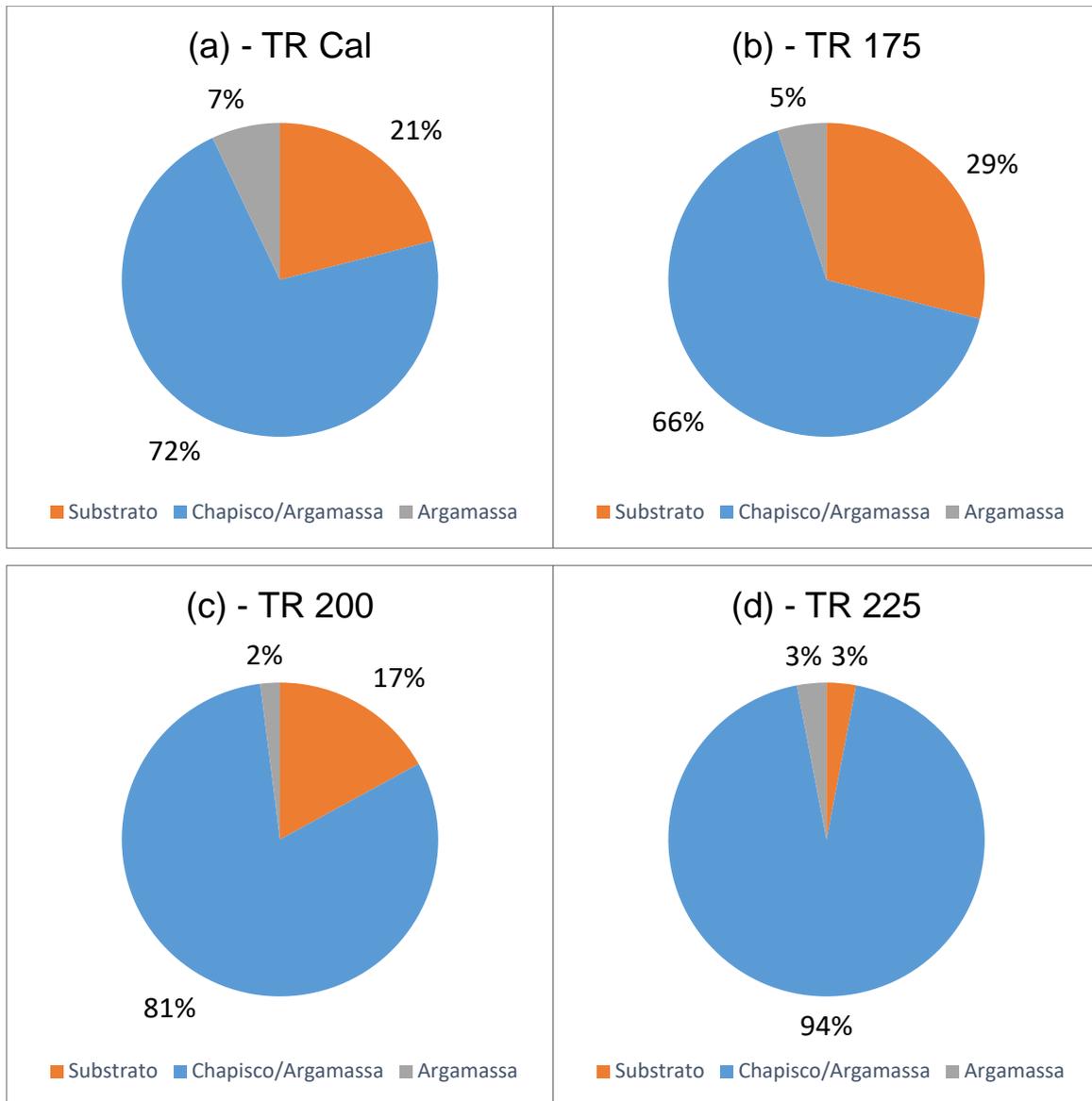
Amostra	Resist. de aderência média (MPa)	Umidade	Desvio Padrão	Coeficiente de variação
TR Cal	0.32	3.8%	0.07	21.88%
TR 175	0.30	3.6%	0.09	30.00%
TR 200	0.30	3.9%	0.07	23.33%
TR 225	0.32	4.0%	0.06	18.75%

Fonte: Do autor.

Os valores encontrados estão dentro dos coeficientes de variação aceitáveis. A umidade, que pode influenciar nos valores de resistência da argamassa, teve valores muito similares entre todos os traços, não apresentando grande influência no resultado.

A norma deste ensaio ainda determina que a região onde ocorreu o rompimento seja examinada, para que o desempenho do revestimento seja analisado por completo. No Gráfico 13 estão as análises das formas de ruptura para os traços TR Cal, TR 175, TR 200 e TR 225, respectivamente.

Gráfico 13 - Formas de ruptura das argamassas: (a) TR Cal; (b) TR 175; (c) TR 200; (d) TR 225



Fonte: Do autor

Conforme Da Costa (2016), as rupturas podem ser classificadas como coesivas, que ocorrem no interior do substrato ou da argamassa, e adesivas, que ocorrem nas interfaces dos materiais. As porcentagens de local onde as amostras romperam mostram que, em sua maioria, a ruptura ocorreu na superfície chapisco/argamassa para todos os traços. De acordo com Da Costa (2016), este tipo de ruptura deve apresentar valores conforme estabelecidos na norma, pois existe nele um maior potencial para patologias. Nos outros dois locais de ruptura, substrato e argamassa, os valores são menos preocupantes, pela ruptura ocorrer no interior do material.

É possível observar que a porcentagem de ruptura na argamassa foi menor nos traços contendo Alvenarit, o que pode ser explicado pela menor relação a/c da mistura, apresentando uma argamassa mais resistente. Comparando os traços que usaram o aditivo, evidencia-se que quanto maior o teor de ar, maior foi a porcentagem de ruptura na interface chapisco/argamassa, fato que pode ser explicado pela diminuição da superfície de contato causada pelas bolhas de ar.

A resistência de aderência também é considerada pela NBR 13281 (ABNT, 2005) como uma forma de classificação das argamassas, como pode ser visto na Tabela 15.

Tabela 15 - Resistência de aderência à tração

Classe	Resistência potencial de aderência à tração (MPa)
A1	< 0,20
A2	≥ 0,20
A3	≥ 0,30

Fonte: NBR 13281 (ABNT, 2013).

Conforme os valores encontrados no ensaio, todas os traços se enquadram na classe A3.

Diante dos resultados expostos, as argamassas assim foram classificadas no estado endurecido:

- a) TR Cal: P3, R2, M5 C4 e A3;
- b) TR 175: P4, R2, M5 C5 e A3;
- c) TR 200: P3, R3, M6 C5 e A3;
- d) TR 225: P4, R3, M6 C4 e A3.

As argamassas contendo Alvenarit apresentaram desempenhos bem similares com o traço contendo cal no estado endurecido. Para o ensaio de resistência de aderência, os valores de TR Cal e TR 225 foram iguais, enquanto TR 175 e TR 200 obtiveram resultados levemente inferiores. Apesar de as argamassas aditivadas apresentarem maior resistência à compressão, as mesmas apresentaram

uma maior absorção de água, o que pode comprometer a durabilidade do revestimento. Dentre as argamassas aditivadas, o traço TR 225 apresentou desempenho superior em todos os testes, com exceção da resistência à tração.

5 CONCLUSÃO

O objetivo principal deste estudo consistiu em avaliar os efeitos causados pela substituição da cal pelo aditivo incorporador de ar Alvenarit, em propriedades do estado fresco e endurecido da argamassa, assim como, os possíveis problemas causados pela falta de controle no emprego do aditivo, no momento da preparação da argamassa no canteiro de obra.

As argamassas contendo aditivo apresentaram resultados satisfatórios, comprovando a melhora das propriedades do estado fresco e valores similares nos ensaios realizados para o estado endurecido, em comparação com a argamassa tradicional, contendo cal em sua composição.

No estado fresco, destaca-se uma perceptível melhora na trabalhabilidade com o uso do Alvenarit, que, além de proporcionar um maior rendimento da mistura, tornou a argamassa mais leve e, por consequência, melhor de ser manuseada. Evidencia-se ainda um melhor resultado das argamassas contendo aditivo no ensaio de retenção de água, propriedade de grande importância por garantir a correta hidratação da mistura, evitando o aparecimento de fissuras que comprometam a durabilidade do revestimento.

Para o estado endurecido, os traços do estudo apresentaram valores similares. Nos ensaios de resistência de aderência à tração, resistência à compressão e resistência à tração na flexão, as argamassas que continham Alvenarit tiveram a sua queda de resistência mecânica, causada pela presença de um maior teor de vazios, compensadas pela diminuição da relação água/cimento,

proporcionada pelo efeito plastificante das bolhas de ar. No quesito absorção de água, a argamassa contendo cal demonstrou melhor desempenho, em função do maior teor de finos presente.

Em relação aos diferentes teores do aditivo, usados para simular um subdosagem e uma superdosagem devido à falta de controle no uso do aditivo, evidenciou-se uma similaridade nos resultados encontrados, com um melhor desempenho para a argamassa contendo 225 ml do aditivo para cada 50 kg de cimento. Esta apresentou melhores resultados em todos os ensaios do estado fresco e nos ensaios de aderência, resistência à compressão e absorção por capilaridade, para o estado endurecido.

Há de se destacar de a dosagem indicada pelo fabricante, de 200 ml para cada 50 kg de cimento, apesar de apresentar desempenho inferior ao traço TR 225, apresentou resultados satisfatórios nos estados fresco e endurecido da argamassa, mostrando assim que as instruções do fabricante estão adequadas.

Pelos aspectos expostos, é fato que o Alvenarit traz grandes contribuições às argamassas, porém, por apresentar algumas peculiaridades em sua aplicação, seu uso no canteiro de obra necessita de um maior nível de controle e cuidado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABCP – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Guia Básico de Utilização de Cimento Portland**. 7.ed. São Paulo, 2002. 28 p.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7175: **Cal hidratada para argamassas - Requisitos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2003. 4 p.

____. NBR 7211. **Agregados para concreto - Especificação**. Rio de Janeiro: ABNT, 2009. 11 p.

____. NBR 9778. **Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica**. Rio de Janeiro: ABNT, 2009. 4 p.

____. NBR 11172 – **Aglomerantes de origem mineral**. Rio de Janeiro: ABNT, 1990. 5 p.

____. NBR 11768 – **Aditivos químicos para concreto de cimento Portland – Requisitos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2011. 19 p.

____. NBR 13276 – **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação do índice de consistência**. Rio de Janeiro: ABNT, 2016. 2 p.

____. NBR 13277 – **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da retenção de água**. Rio de Janeiro: ABNT, 2005. 3 p.

____. 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: ABNT, 2005. 4 p.

____. NBR 13279 - **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão**. Rio de Janeiro: ABNT, 2005. 9 p.

____. **NBR 13280 - Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido.** Rio de Janeiro: ABNT, 2005. 2 p.

____. **NBR 13281 - Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos — Requisitos.** Rio de Janeiro: ABNT, 2005. 7 p.

____. **NBR 13528 - Revestimento de paredes de argamassas inorgânicas - Determinação da resistência de aderência à tração.** Rio de Janeiro: ABNT, 2010. 11 p.

____. **NBR 13529 - Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Terminologia.** Rio de Janeiro: ABNT, 2013. 13 p.

____. **NBR 13749 - Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Especificação.** Rio de Janeiro: ABNT, 2013. 8 p.

____. **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, ABNT, 2005. 3 p.

____. **NBR 16605 - Cimento Portland e outros materiais em pó — Determinação da massa específica.** Rio de Janeiro, ABNT, 2017. 4 p.

____. **NBR NM 45 - Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios.** Norma do Mercosul, 2006. 8 p.

____. **NBR NM 52 - Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente.** Norma do Mercosul, 2009. 6 p.

____. **NBR NM 248 - Agregados - Determinação da composição granulométrica.** Norma do Mercosul, 2003. 6 p.

ALVES, Nielsen José Dias. **Avaliação dos aditivos incorporadores de ar em argamassas de revestimento.** 2002, 175 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2002. Disponível em: <<http://www.pecc.unb.br/wp-content/uploads/dissertacoes/M02-12A-Nielsen-Alves.pdf>>. Acesso em: 04 jun. 2018.

BAÍÁ, Luciana Leone Maciel; SABBATINI, Fernando Henrique. **Projeto e Execução de Revestimentos de Argamassa.** 4a Ed. São Paulo: Nome da Rosa, (Coleção primeiros passos da qualidade no canteiro de obras). 2008, 89 p.

CALHAU, Eduardo Loureiro; TRISTÃO, Fernando Avancini. **Influência do teor de ar incorporado nas propriedades das argamassas mistas de revestimento.** In:

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 3º, 1999, Vitória. Anais. Vitória, UFES/PPGEC, 1999. p.219-230. Disponível em: <<https://www.gtargamassas.org.br/eventos/file/102-influencia-do-teor-de-ar-incorporado-nas-propriedades-das-argamassas-mistas-de-revestimento>>. Acesso em: 04 jun. 2018.

CARASEK, Helena. Argamassas. In: Geraldo C. Isaia (Org./ Ed.). Livro **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. 1ª ed., v. 2, cap. 26, IBRACON: São Paulo, 2007.

CARASEK, Helena. **Fatores que exercem influência na resistência de aderência de argamassas**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 2. 1997, Salvador. Anais. Salvador: ANTAC, 1997. p. 133 - 146. Disponível em: <<https://www.gtargamassas.org.br/eventos/file/53-fatores-que-exercem-influencia-na-resistencia-de-aderencia-de-argamassas>>. Acesso em: 04 jun. 2018.

CAVANI, Gilberto R.; ANTUNES, Rubiane P. N.; JOHN, Vanderley M. **Influência do Teor de Ar Incorporado na Trabalhabilidade das Argamassas Mistas**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 2. 1997, Salvador. Anais. Salvador: ANTAC, 1997. p. 111 - 119. Disponível em: <<https://www.gtargamassas.org.br/eventos/file/51-influencia-do-teor-de-ar-incorporado-na-trabalhabilidade-das-argamassas-mistas>>. Acesso em: 04 jun. 2018.

CINCOTTO, Maria Alba; QUARCIONI, Valdecir A; JOHN, Vanderley M. Cal na Construção Civil. In: Geraldo C. Isaia (Org./ Ed.). Livro **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. 1ª ed., v. 2, cap. 22.1, IBRACON: São Paulo, 2007.

DA COSTA, Ivandro. **Estudo Comparativo entre as Argamassas de Revestimento Externo: Preparada em Obra, Industrializada Fornecida em Sacos, e Estabilizada Dosada em Central**. 2016. 76 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade do Vale do Taquari. Lajeado, RS, 2016. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10737/1412>>. Acesso em: 04 jun. 2018.

DA COSTA, Marianne. **Notas de aulas UFPR. Materiais de Construção. Engenharia Civil**. Departamento de Construção Civil. Universidade Federal Do Paraná. Disponível em: <<http://www.dcc.ufpr.br/mediawiki/index.php/Disciplinas>> Acesso em 10 nov. 2018

DUBAJ, Eduardo. **Estudo Comparativo entre Traços de Argamassa de Revestimento Utilizadas em Porto Alegre**. 2000. 102 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, RS, 2000. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10183/2442>>. Acesso em: 04 jun. 2018.

GASPERIN, Josiane. **Aderência de Revestimento de Argamassa em Substrato de Concreto: Influência da Forma de Aplicação e Composição do Chapisco**. 2011. 179 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do

Rio Grande do Sul. Porto Alegre, RS, 2011. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10183/35609>>. Acesso em: 04 jun. 2018.

MONTE, Renata; UEMOTO, Kai L.; & SELMO, Sílvia M. S. **Efeitos de aditivos incorporadores de ar nas propriedades de argamassas e revestimentos**. In: Anais do Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas, pp. 303-315. São Paulo: POLI-USP, 2003. Disponível em: <<https://www.gtargamassas.org.br/eventos/file/197-efeitos-de-aditivos-incorporadores-de-ar-nas-propriedades-de-argamassas-e-revestimentos>>. Acesso em: 04 jun. 2018.

QUARCIONI, Valdecir Angelo; CINCOTTO, Maria Alba. **Influência da Cal em Propriedades Mecânicas de Argamassas**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 2005. Florianópolis. Anais. Florianópolis ANTAC, 2005. p. 233 – 250. Disponível em: <<https://www.gtargamassas.org.br/eventos/file/249-influencia-da-cal-em-propriedades-mecanicas-das-argamassas>>. Acesso em: 04 jun. 2018.

RECENA, Fernando Antonio Piazza. **Conhecendo a Argamassa**. 2ª ed. Porto Alegre, EDIPUCRS, 2012. 188 p.

RESENDE, Paulo Sérgio de Oliveira. **Efeitos do Ar Incorporado em Argamassas de Revestimentos**. 2010. 97 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Goiás. Goiânia, GO, 2010. Disponível em: <<http://repositorio.bc.ufg.br/tede/handle/tde/1330>>. Acesso em: 04 jun. 2018.

ROMANO, Roberto Cesar de Oliveira. **Incorporação de Ar em Materiais Cimentício Aplicados em Construção Civil**. 2013. 200 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, SP, 2013. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3146/tde-27122013-113747/pt-br.php>>. Acesso em: 04 jun. 2018.

TIGGEMANN, Tiago G. **Argamassas industrializadas para revestimento utilizadas na cidade de Lajeado/RS: comportamento em diferentes substratos**. Monografia (Graduação em Engenharia civil). Centro Universitário Univates, Lajeado, 2016.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Valores encontrados no ensaio de teor de ar incorporado

Amostra	d (kg/m ³)	dt (kg/m ³)	Teor de ar incorporado (%)
TR Cal	2029	2115	4.07
TR 175	1944	2182	10.90
TR 200	1921	2182	11.95
TR 225	1838	2182	15.76

APÊNDICE B – Valores encontrados no ensaio de densidade de massa

Amostra	mc (g)	mv (g)	V (cm ³)	Densidade de massa (kg/m ³)
TR Cal	1624	232	686	2029
TR 175	1566	232	686	1944
TR 200	1550	232	686	1921
TR 225	1493	232	686	1838

APÊNDICE C – Valores encontrados no ensaio de retenção de água

Amostra	ma (g)	ms (g)	mv (g)	AF	mw (g)	m (g)	Retenção de água (%)
TR Cal	1876	1846	738	0.08	1070	11690	68.97
TR 175	1830	1810	731	0.06	710	10750	70.20
TR 200	1803	1787	734	0.06	710	10750	75.24
TR 225	1748	1735	734	0.06	710	10750	78.67

APÊNDICE D – Valores encontrados no ensaio de resistência à compressão

Amostra	Resistência à Compressão (MPa)			
	Ensaio 1	Ensaio 2	Ensaio 3	Média
TR Cal	3.23	3.65	4.71*	3.44
TR 175	4.40	4.13	3.60	4.04
TR 200	4.13	3.65	4.13	3.97
TR 225	4.93	4.24	4.13	4.43

APÊNDICE E – Valores encontrados no ensaio de resistência à tração na flexão

Amostra	Resistência à tração na flexão (MPa)			
	Ensaio 1	Ensaio 2	Ensaio 3	Média
TR Cal	1.39	1.19	1.59	1.39
TR 175	1.19	1.19	1.19	1.19
TR 200	1.79	1.79	1.19*	1.79
TR 225	1.59	1.59	1.39	1.52

APÊNDICE F – Valores encontrados no ensaio de densidade de massa aparente

Amostra	Peso (g)			Dimensões (cm)			Volume (cm ³)	Densidade de Massa (kg/m ³)			
	I	II	III	C	L	A		I	II	III	Média
TR Cal	484.77	486.68	484.79	16.20	4.05	3.95	259	1871	1878	1871	1873
TR 175	472.31	469.44	472.79	16.20	4.05	3.98	261	1809	1798	1811	1806
TR 200	451.65	450.07	452.33	16.20	4.05	3.89	255	1770	1763	1772	1768
TR 225	458.30	456.82	459.85	16.20	4.05	3.99	262	1751	1745	1757	1751

APÊNDICE G – Valores encontrados no ensaio de absorção de água por capilaridade

Amostra	Peso seco (g)			Peso 10 min (g)			Peso 90 min (g)		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III
TR Cal	484.77	486.68	484.79	485.64	488.33	486.75	488.97	493.92	492.45
TR 175	472.31	469.44	472.79	476.68	472.26	475.97	485.05	478.25	482.40
TR 200	451.65	450.07	452.33	455.24	453.55	455.10	461.89	459.09	458.97
TR 225	458.30	456.82	459.85	461.09	459.47	462.16	466.77	463.93	466.62

Amostra	Absorção 10 min (g/cm ²)				Absorção 90 min (g/cm ²)			
	I	II	III	Média	I	II	III	Média
TR Cal	0.05	0.10	0.12	0.09	0.26	0.45	0.48	0.40
TR 175	0.27	0.18	0.20	0.22	0.80	0.55	0.60	0.65
TR 200	0.22	0.22	0.17	0.21	0.64	0.56	0.42	0.54
TR 225	0.17	0.17	0.14	0.16	0.53	0.44	0.42	0.47

APÊNDICE H – Valores encontrados no ensaio de coeficiente de capilaridade

Amostra	Peso 10 (g)			Peso 90 (g)			Coef. Capilaridade (g/dm ² .min ^{1/2})			Média
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	
TR Cal	485.64	488.33	486.75	488.97	493.92	492.45	3.33	5.59	5.70	4.87
TR 175	476.68	472.26	475.97	485.05	478.25	482.40	8.37	5.99	6.43	6.93
TR 200	455.24	453.55	455.10	461.89	459.09	458.97	6.65	5.54	3.87	5.35
TR 225	461.09	459.47	462.16	466.77	463.93	466.62	5.68	4.46	4.46	4.87

APÊNDICE I – Valores encontrados no ensaio de resistência de aderência à tração para o traço TR Cal

Amostra	Área (mm ²)	Carga (kgf)	Carga (N)	Ra (Mpa)	Forma de ruptura (%)						
					Substrato	Sub/Cha	Chapisco	Cha/Arg	Argamassa	Arg/Cola	Cola
1	1735	63	618	0.36	5	-	-	95	-	-	-
2	1735	46	451	0.26	-	-	-	50	50	-	-
3	1735	47	461	> 0.27	75	-	-	25	-	-	-
4	1735	72	706	0.41	50	-	-	50	-	-	-
5	1735	80	785	0.45	40	-	-	60	-	-	-
6	1735	49	481	0.28	-	-	-	100	-	-	-
7	1735	39	382	0.22	20	-	-	80	-	-	-
8	1735	41	402	0.23	5	-	-	95	-	-	-
9	1735	54	530	0.31	-	-	-	80	20	-	-
10	1735	63	618	0.36	10	-	-	90	-	-	-
11	1735	55	539	0.31	10	-	-	80	10	-	-
12	1735	63	618	0.36	40	-	-	60	-	-	-
Desvio padrão= 0.07 CV= 21%					Média= 0.32		Total				
					255	0	0	865	80	0	0
					21.25%	0.00%	0.00%	72.08%	6.67%	0.00%	0.00%

APÊNDICE J – Valores encontrados no ensaio de resistência de aderência à tração para o traço TR 175

Amostra	Área (mm ²)	Carga (kgf)	Carga (N)	Ra (Mpa)	Forma de ruptura (%)						
					Substrato	Sub/Cha	Chapisco	Cha/Arg	Argamassa	Arg/Cola	Cola
1	1735	64	628	0.36	20	-	-	80	-	-	-
2	1735	30	294	0.17	10	-	-	90	-	-	-
3	1735	64	628	> 0.36	80	-	-	20	-	-	-
4	1735	30	294	> 0.17	60	-	-	40	-	-	-
5	1735	72	706	0.41	-	-	-	80	20	-	-
6	1735	49	481	0.28	10	-	-	80	10	-	-
7	1735	36	353	0.20	40	-	-	60	-	-	-
8	1735	34	333	0.19	25	-	-	75	-	-	-
9	1735	72	706	0.41	-	-	-	80	20	-	-
10	1735	64	628	> 0.36	100	-	-	-	-	-	-
11	1735	58	569	0.33	-	-	-	90	10	-	-
12	1735	55	539	0.31	-	-	-	100	-	-	-
Desvio padrão= 0.09 CV= 29%					Média= 0.30		Total				
					345	0	0	795	60	0	0
					28.75%	0.00%	0.00%	66.25%	5.00%	0.00%	0.00%

APÊNDICE K – Valores encontrados no ensaio de resistência de aderência à tração para o traço TR 200

Amostra	Área (mm ²)	Carga (kgf)	Carga (N)	Ra (Mpa)	Forma de ruptura (%)						
					Substrato	Sub/Cha	Chapisco	Cha/Arg	Argamassa	Arg/Cola	Cola
1	1735	49	481	0.28	10	-	-	90	-	-	-
2	1735	49	481	0.28	10	-	-	90	-	-	-
3	1735	59	579	0.33	10	-	-	90	-	-	-
4	1735	45	441	0.25	30	-	-	70	-	-	-
5	1735	49	481	0.28	-	-	-	100	-	-	-
6	1735	40	392	0.23	15	-	-	85	-	-	-
7	1735	48	471	0.27	-	-	-	80	20	-	-
8	1735	47	461	0.27	10	-	-	90	-	-	-
9	1735	54	530	0.31	50	-	-	50	-	-	-
10	1735	64	628	0.36	-	-	-	100	-	-	-
11	1735	90	883	0.51	50	-	-	50	-	-	-
12	1735	42	412	0.24	25	-	-	75	-	-	-
Desvio padrão= 0.07		Média=		0.30	Total						
CV= 24%					210	0	0	970	20	0	0
					17.50%	0.00%	0.00%	80.83%	1.67%	0.00%	0.00%

APÊNDICE L – Valores encontrados no ensaio de resistência de aderência à tração para o traço TR 225

Amostra	Área (mm ²)	Carga (kgf)	Carga (N)	Ra (Mpa)	Forma de ruptura (%)						
					Substrato	Sub/Cha	Chapisco	Cha/Arg	Argamassa	Arg/Cola	Cola
1	1735	49	481	0.28	-	-	-	100	-	-	-
2	1735	55	539	0.31	-	-	-	100	-	-	-
3	1735	52	510	0.29	5	-	-	85	10	-	-
4	1735	67	657	0.38	5	-	-	75	20	-	-
5	1735	57	559	0.32	-	-	-	100	-	-	-
6	1735	31	304	0.18	10	-	-	90	-	-	-
7	1735	70	686	0.40	-	-	-	100	-	-	-
8	1735	66	647	0.37	5	-	-	95	-	-	-
9	1735	69	677	0.39	-	-	-	100	-	-	-
10	1735	46	451	0.26	5	-	-	95	-	-	-
11	1735	58	569	0.33	-	-	-	100	-	-	-
12	1735	64	628	0.36	-	-	-	100	-	-	-
Desvio padrão= 0.06		Média=		0.32	Total						
CV= 19%					30	0	0	1140	30	0	0
					2.50%	0.00%	0.00%	95.00%	2.50%	0.00%	0.00%



UNIVATES

R. Avelino Talini, 171 | Bairro Universitário | Lajeado | RS | Brasil
CEP 95914.014 | Cx. Postal 155 | Fone: (51) 3714.7000
www.univates.br | 0800 7 07 08 09