



UNIVERSIDADE CATÓLICA DE PERNAMBUCO
PRÓ REITORIA DE PÓS GRADUAÇÃO E PESQUISA
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL
TECNOLOGIA DOS MATERIAIS

**AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DO TEOR DE CAL NAS PROPRIEDADES
REOLÓGICAS E MECÂNICAS DAS ARGAMASSAS MISTAS DE CIMENTO PARA
REVESTIMENTO**

ELANNY CAROLYNNE DE ALMEIDA AMORIM

RECIFE
2023

ELANNY CAROLYNNE DE ALMEIDA AMORIM

**AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DO TEOR DE CAL NAS PROPRIEDADES
REOLÓGICAS E MECÂNICAS DAS ARGAMASSAS MISTAS DE CIMENTO PARA
REVESTIMENTO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia civil na área de Tecnologia dos Materiais da Universidade Católica de Pernambuco para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Área de Concentração: Tecnologia dos Materiais.

Orientador: Prof. Dr. Ângelo Just da Costa e Silva

RECIFE
2023

A524a Amorim, Elanny Carolynne de Almeida.

Avaliação da influência do teor de cal nas propriedades reológicas e mecânicas das argamassas mistas de cimento para revestimento / Elanny Carolynne de Almeida Amorim, 2023.

65 f. : il.

Orientador: Ângelo Just da Costa e Silva.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Católica de Pernambuco. Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil. Mestrado em Engenharia Civil, 2023.

1. Argamassa. 2. Deformações e tensões. 3. Reologia.
4. Cal. 5. Revestimentos. I Título.

CDU 691.53

Pollyanna Alves - CRB/4-1002

Avaliação da influência do teor de cal nas propriedades reológicas e mecânicas das argamassas mistas de cimento para revestimento. © 2023 by Elanny Carolynne de Almeida Amorim is licensed under CC BY-NC-ND 4.0

TERMO DE APROVAÇÃO

ELANNY CAROLYNNE ALMEIDA AMORIM

AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DO TEOR DE CAL NAS PROPRIEDADES REOLÓGICAS E MECÂNICAS DAS ARGAMASSAS MISTAS DE CIMENTO PARA REVESTIMENTO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em 19 de dezembro de 2023 da Universidade Católica de Pernambuco (UNICAP) para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil. A presente dissertação foi defendida e aprovada em 19 de dezembro de 2023 pela banca examinadora constituída pelos professores doutores:

Documento assinado digitalmente
gov.br ANGELO JUST DA COSTA E SILVA
Data: 28/12/2023 18:05:25-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Orientador(a) e Presidente da Banca: Prof. Dr.

Ângelo Just da Costa e Silva

Documento assinado digitalmente
gov.br ELIANA CRISTINA BARRETO MONTEIRO
Data: 27/12/2023 10:17:53-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Titular Interno(a) – Prof^a. Dra. Eliana Cristina

Barreto Monteiro

Documento assinado digitalmente
gov.br JOAO MANOEL DE FREITAS MOTA
Data: 27/12/2023 11:13:56-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Titular Externo(a) – Prof^a. Dr. João Manoel de

Freitas Mota

Recife
2023

*À minha mãe, Jaciane Almeida
minha maior incentivadora.*

AGRADECIMENTOS

O que parecia distante e tão sonhado, se concretiza nessas páginas que trazem conhecimento em uma nova experiência. No caminho houveram lágrimas, questionamentos, procrastinação, pandemia, mudança de cidade, dificuldades e muitas pedras no caminho, mas desistir não foi uma opção. Deus em sua infinita bondade e misericórdia não soltou minha mão e me deu forças para chegar até aqui finalizando um ciclo que representa muita superação.

É impossível iniciar os agradecimentos, sem agradecer a Ele. Deus, obrigada por não me abandonar, pelo discernimento e coragem de enfrentar meus dias difíceis e tão cheios de trabalho, onde conciliar tudo parecia impossível. Obrigada por segurar minha mão e manter a chama da esperança acesa quando questioneei minha capacidade de chegara até o fim.

A minha mãe, por ser a pessoa mais paciente e incentivadora do universo. Obrigada pelas palavras de calma em meio ao caos que passamos juntas nesse desafio. Você acreditou em mim, até mesmo quando eu não acreditava mais. Se hoje concluo mais uma qualificação, isso deve-se a você por nunca medir esforços para meus estudos e para me ver feliz. Obrigada, mãe.

Ao meu orientador Ângelo Just, obrigada pela paciência, dedicação, contribuição e confiabilidade para que eu conseguisse chegar ao fim. Você sempre trouxe soluções para as inúmeras dificuldades que encontrei durante essa dissertação. Obrigada por acreditar que eu seria capaz, por não me deixar desistir e por tanta consideração e amizade.

A minha família, meu pai Edvaldo Amorim, meu irmão Éder Amorim e a todos de um modo geral por todas as palavras de incentivo e gesto de carinho durante essa jornada. Vocês são a minha base da vida e com certeza essa vitória é nossa.

Ao meu amigo e laboratorista, André Miranda. Eu não sei o que seria de mim sem esse anjo que se dispôs a me ajudar nos ensaios, dedicou tempo extra no seu trabalho e me ajudou em cada dúvida que eu tive nesse processo. Muito obrigada.

A Jéssica Marins por sempre ser meu braço direito e me ajudar a tudo que me proponho a fazer. Obrigada minha grande amiga por nunca medir esforços pra me ver feliz.

A minha amiga Amanda Cisneiros e aos meus grandes amigos, Guilherme Barros, Alcides Neto e tantos outros, onde eu despejava todas as minhas angustias de não conseguir sentar pra estudar devido a dias exaustivos de trabalho. Vocês sempre me ouviram, me consolaram e me deram ideias e

sugestões do que fazer para que eu pudesse finalizar. Obrigada pela força e encorajamento.

A Isabela Nunes que tanto incomodei por prazo para concluir essa dissertação. Obrigada por compreender e me ajudar a resolver todo o processo necessário para que pudesse chegar até o fim.

Ao professor Joaquim Teodoro, Wellington e a professora Marta Rolim pela contribuição e todo apoio do laboratório e dos materiais para que eu pudesse utilizar e concluir esse trabalho, principalmente no momento de pandemia.

Ao meu amigo Guilherme N. Barros, por toda ajuda com artigos e materiais de estudos no início desse projeto.

A Klayne Silva e Raíssa Barros por todo tempo e dedicação bem no início do meu projeto, me ajudando com o ensaio piloto que serviu de caracterização dos materiais utilizado no meu trabalho e na minha qualificação.

Meus singelos e sinceros agradecimentos a todos que contribuíram de modo direto ou indiretamente para o fim desse trabalho.

*“Temos que ser mais corajosos do que pensamos,
porque Deus está constantemente nos chamando
para sermos mais do que somos”.*

Madeleine L'En

RESUMO

O comportamento reológico de uma argamassa é representado por relações entre a deformação de um fluido e as forças às quais está submetido, de modo que a reologia é a ciência que estuda o fluxo e a deformação da matéria avaliando as relações entre tensão de cisalhamento aplicada e a sua deformação, em determinado período de tempo. As argamassas utilizadas para revestimentos obedecem a conceitos reológicos quando analisadas em seu estado fresco, no momento que são manipuladas e aplicadas nos seus diferentes usos, promovendo bons resultados no estado endurecido. Como se trata de uma mistura entre aglomerantes e materiais inertes, respectivamente cimento Portland, cal hidratada e agregados miúdos, é natural que as proporções e as quantidades presentes de cada um desses componentes interfira no comportamento das argamassas, seja em estado fresco (reológico) quanto endurecido. O objetivo desse trabalho é apresentar como a variação do teor e o tipo de cal hidratada influenciam nas propriedades reológicas de argamassas de revestimento, e suas consequências também nas propriedades mecânicas após o endurecimento, com base em ensaios realizados em laboratório simulando condições de campo. Como principais conclusões desse estudo, os métodos propostos mostraram-se caracterizações relevantes, com pequenas variações de resultados. Observou-se também que o aumento do teor de cal influencia no parâmetro reológico positivamente porque aumenta a sua capacidade de escoamento em uma situação de fluxo, assim como pode alterar negativamente as propriedades da argamassa no estado endurecido.

Palavras chave: Trabalhabilidade. Fluxo. Deformação.

ABSTRACT

The rheological behavior of a mortar is represented by relations between the deformation of a fluid and the forces to which it is subjected, so that rheology is the science that studies the flow and deformation of matter by evaluating the relations between applied shear stress and its deformation over a given period of time. The mortars used for coatings comply with rheological concepts when analyzed in their fresh state, when they are manipulated and applied to their different uses, promoting good results in the hardened state. As it is a mixture of binders and inert materials, respectively Portland cement, hydrated lime and fine aggregates, it is natural that the proportions and quantities present of each of these components interfere with the behavior of the mortars, whether in their fresh (rheological) or hardened. The objective of this work is to present how variation in the content and type of hydrated lime influences the rheological properties of coating mortars, and its consequences also on the mechanical properties after hardening, based on tests carried out in the laboratory simulating field conditions. As the main conclusions of this study, the proposed methods proved to be relevant characterizations, with small variations in results. It was also observed that the increase in lime content has a positive effect on the rheological parameter, increasing its flow capacity in a flowing situation, as well as a negative effect on the properties of the mortar in the hardened state.

Keywords: Workability. Flow. Deformation.

ÍNDICE DE FIGURAS

Numeração	Descrição	Pág.
Figura 01	Ensaio de flow table	17
Figura 02	Ensaio de penetração de cone	18
Figura 03	Ensaio de squeez flow	18
Figura 04	Ensaio de retenção de água	18
Figura 05	Classificação das areias quanto à distribuição granulométrica e sua influência na retração plástica	19
Figura 06	Ciclo da cal	28
Figura 07	Comportamento da tensão de cisalhamento X taxa de cisalhamento	30
Figura 08	Fluxograma das atividades desenvolvidas na pesquisa	34
Figura 09	Fluxograma das variáveis experimentais – Tipos e Teores de Cal	35
Figura 10	Fluxograma do procedimento experimental	36
Figura 11	Granulometria do agregado miúdo (areia)	40
Figura 12	Dosagem e separação dos traços	41
Figura 13	Separação dos componentes do traço a serem misturados	41
Figura 14	Mistura do traço	41
Figura 15	Sequência do ensaio do índice de consistência	43
Figura 16	Moldagem dos corpos de prova	43
Figura 17	Desforma dos corpos de prova	44

ÍNDICE DE TABELAS

Numeração	Descrição	Pág.
Tabela 01	Traços de argamassa	20
Tabela 02	Classificação das argamassas	23
Tabela 03	Requisitos necessários para classificação das argamassas	24
Tabela 04	Exigências físicas e mecânicas do cimento brasileiro	25
Tabela 05	Exigências físicas e mecânicas do cimento brasileiro	26
Tabela 06	Exigências químicas do cimento brasileiro	26
Tabela 07	Exigências químicas da cal hidratada	28
Tabela 08	Exigências físicas da cal hidratada	29
Tabela 09	Equações que relacionam a tensão de cisalhamento e a taxa de cisalhamento	30
Tabela 10	Propriedades que influenciam na reologia da argamassa	31
Tabela 11	Propriedades de revestimentos argamassados no estado endurecido	32
Tabela 12	Propriedades físico-químicas do CP II Z 32 - RS	37
Tabela 13	Características do CP II Z 32 – RS	38
Tabela 14	Análise química e física da Cal Hidratada CH I	38
Tabela 15	Análise química e física da Cal Hidratada CH II	39
Tabela 16	Análise química e física da Cal Hidratada CH III	39
Tabela 17	Granulometria do agregado miúdo utilizado na preparação das argamassas	40
Tabela 18	Ensaio realizados na argamassa mistas de revestimento no estado fresco	42
Tabela 19	Ensaio realizados na argamassa mistas de revestimento no estado endurecido	44
Tabela 20	Classificação das argamassas pelo ensaio de resistência à tração na flexão	50

Tabela 21	Classificação das argamassas pelo ensaio de resistência à compressão	52
-----------	--	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABCP	Associação Brasileira de Cimento <i>Portland</i>
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
A/C	Água / Cimento
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>
CH I	Cal Hidratada Tipo I
CH II	Cal Hidratada Tipo II
CH III	Cal Hidratada Tipo III
COMPESA	Companhia Pernambucana de Saneamento
CP II Z	Cimento Portland Composto com Adição Pozolânica
EM	<i>Harmonised European Standard</i>
IBRACON	Instituto Brasileiro do Concreto
MPa	Mega Pascal
NBR	Norma Brasileira Regulamentada
RDM	Revestimento de Monocamada
T1	Traço 1
T2	Traço 2
T3	Traço 3
Vv	Volume de Vazios

LISTA DE SÍMBOLOS

%	porcentagem ou percentagem
°C	graus Celsius
(1:m)	quantidade de cimento : agregados, em massa
τ	tensão de cisalhamento
τ^0	tensão de escoamento
η	viscosidade
$\dot{\gamma}$	taxa de cisalhamento
A, K e n	constantes
kg/m ³	quilograma por metro cúbico
μm	micro metro
cm	centímetro
mm	milímetro
D	densidade
Mc	massa do cilindro com argamassa
Mv	massa do cilindro vazio
Vr	volume do cilindro

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	14
1.0 Justificativa	14
1.1 Objetivo da Pesquisa	15
1.1.1 Objetivo Geral.....	15
1.1.2 Objetivos Específicos.....	15
1.2 Delimitação da Pesquisa	15
1.3 Estrutura da Pesquisa	16
CAPÍTULO 2.....	17
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	17
2.0 Argamassa mista de cimento para revestimento	17
2.1 Propriedades das argamassas de revestimento	18
2.1.1 <i>Trabalhabilidade</i>	18
2.1.1.1 - <i>Consistência e plasticidade</i>	18
2.1.1.2 - <i>Retenção de água</i> :.....	19
2.1.1.3 - <i>Coesão</i>	20
2.1.1.4 - <i>Densidade da massa</i>	20
2.1.2 <i>Retração</i>	20
2.1.3 <i>Aderência</i>	21
2.1.4 <i>Permeabilidade à água</i>	22
2.1.5 <i>Resistência Mecânica</i>	23
2.1.6 <i>Capacidade de absorver deformações</i>	23
2.2 Classificação das Argamassas	24
2.3 Materiais constituintes da argamassa mista	25
2.3.1 <i>Cimento</i>	25
2.3.2 <i>Cal</i>	29
2.4 Reologia das Argamassas.....	30
2.4.1 <i>Modelos Reológicos</i>	31
2.4.2 <i>Propriedades reológicas do estado fresco</i>	32
2.4.3 <i>Influência das propriedades reológicas do estado endurecido</i>	33
CAPÍTULO 3.....	35
PROGRAMA EXPERIMENTAL.....	35
3.1 Planejamento experimental	36
3.1.1 <i>Variáveis experimentais</i>	36
3.1.2 <i>Condições fixas do estudo</i>	36
3.1.3 <i>Estudos Preliminares</i>	37

3.2 Procedimento Experimental	37
3.2.1 Etapa 01: Caracterização dos Materiais	38
3.2.1.1 Cimento	38
3.2.1.2 Cal Hidratada	39
3.2.1.3 Agregado Miúdo	40
3.2.1.4 Água	42
3.2.1.5 Dosagem dos materiais e produção dos traços	42
3.2.2 Etapa 02 – Ensaios do Estado Fresco	43
3.2.3 Etapa 03 – Moldagem e Desforma dos Corpos de Prova	44
3.2.4 Etapa 04 – Ensaios do Estado Endurecido	45
CAPÍTULO 4	47
AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS EXPERIMENTAIS	47
4.1 Análise das Propriedades das Argamassas de Revestimento no Estado Fresco ...47	
4.1.1 Densidade de Massa	47
4.1.1.1 – Quanto ao Teor.....	48
4.1.1.2 – Quanto ao Tipo	48
4.1.2 Índice de Consistência	48
4.1.2.1 – Quanto ao Teor.....	49
4.1.2.1 – Quanto ao Tipo	49
4.2 Análise das propriedades das argamassas de revestimento no estado endurecido	50
4.2.1 Determinação da Resistência à Tração na Flexão	50
4.1.2.1 – Quanto ao Teor.....	50
4.1.2.2 – Quanto ao Tipo	50
4.2.2 Determinação da Resistência à Compressão	51
4.2.2.1 – Quanto ao Teor.....	52
4.2.2.2 – Quanto ao Tipo	52
4.2.3 Determinação da Resistência à Compressão de Corpos de Prova Cilíndrico .53	
4.2.3.1 – Quanto ao Teor.....	54
4.2.3.2 – Quanto ao Tipo	54
4.3 Análise dos resultados	55
CAPÍTULO 5	56
5.1 Considerações Finais	56
5.2 Conclusões	56
5.3 Sugestões para Trabalhos Futuros	58
REFERÊNCIAS	59

INTRODUÇÃO

As argamassas de revestimento são comumente já conhecidas no mercado e no meio técnico da construção civil, utilizadas para recobrir paredes, pisos e tetos com a função de melhorar o acabamento final e proporcionar estanqueidade ao sistema de vedação além do conforto termo acústico. Dessa forma, espera-se de uma argamassa de revestimento um bom desempenho das suas propriedades finais, no estado endurecido (permeabilidade, durabilidade e resistência) e no estado fresco (trabalhabilidade, consistência).

As argamassas são aplicadas no estado fluido e, apesar de ser uma etapa intermediária do processo, o comportamento destas no estado fresco é de fundamental importância para possibilitar uma moldagem fácil e isenta de defeitos, minimizando a ocorrência de manifestações patológicas nos revestimentos após endurecimento (fissuras, descolamento e manchas), as quais podem ser decorrentes de um comportamento reológico inadequado para aplicação (Cardoso, Pileggi, John, 2005).

As características reológicas das argamassas devem ser adequadas quanto à solicitação de aplicação para garantir propriedades finais no revestimento. “A composição da argamassa de revestimento é determinada pelo uso e aplicação, composta por materiais multifásicos: uma fração grossa inerte (areia), uma fração reativa (cimento, cal, adições) e teor de ar incorporado” (Bertioli *et al.*, 2009). A fração reativa da argamassa proporciona uma complexibilidade maior para avaliação do comportamento reológico, visto que há uma variação de tipos de cimento e cales no mercado.

Diante disso, o presente estudo busca avaliar as características reológicas de uma argamassa mista de cimento para revestimento, variando o tipo e o teor de cal no processo de mistura. Sabendo da dificuldade das técnicas para avaliação das situações de forma simultânea, o estudo conta com a realização de ensaios no estado fresco, para caracterização do produto, e no estado endurecido, para garantir as propriedades finais da argamassa.

1.0 Justificativa

Apesar de grandes estudos já desenvolvidos na área da reologia, dentre os quais podem ser citados: Cincotto e Rago (1999), Sousa e Bauer (2002), Pileggi, Jhon e Cardoso (2005), ainda se nota uma carência de acervos quando se buscam avaliações sistêmicas das propriedades em diferentes traços variando o tipo e o teor da cal. Há um caráter empírico das avaliações devido às poucas técnicas desenvolvidas.

A reologia das argamassas pode se tornar complexa devido a variações dos tipos de cimento, tipos e teor de cales, presentes em sua composição.

No estado fresco, a cal propicia maior plasticidade à argamassa, permitindo melhor trabalhabilidade e por consequência, aumenta a produtividade durante a etapa de aplicação. No estado endurecido, a cal é capaz de minimizar deformações, melhorando o desempenho da argamassa, além de diminuir retrações, pois ela

carbonata ao longo do tempo evitando fissuras, conforme os autores Carasek, (IBRACON, 2010) e Fiorito, (PINI, 2000) contemplam em suas obras literárias.

Com esse importante papel de desempenho nas propriedades de uma argamassa, o estudo busca avaliar o comportamento reológico de nove traços de argamassa mista de revestimento, variando o tipo e o teor da cal, através de ensaios no estado fresco e endurecido que contribuem para utilização de dosagens específicas que caracterizam os parâmetros reológicos.

1.1 Objetivo da Pesquisa

1.1.1 Objetivo Geral

O principal objetivo desta pesquisa é de avaliar a influência da cal no comportamento reológico de argamassas para revestimento por meio de ensaios experimentais ou laboratoriais utilizando três tipos (CH I, CH II, CH III) e três tipos de teores (1:0,5:6, 1:1:6, 1:1,5:6) de cal, tanto no estado fresco quanto no estado endurecido.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Avaliar a influência do tipo e teor da cal na trabalhabilidade e consistência, em uma situação de fluxo, no estado fresco.
- Avaliar a influência do tipo e teor da cal quanto a resistência à compressão e tração, no estado endurecido.
- Correlacionar os resultados obtidos para caracterizar uma argamassa mista de cimento para revestimento que permita atender as propriedades reológicas e mecânicas.

1.2 Delimitação da Pesquisa

A presente pesquisa tem caráter inicial apenas laboratorial pela qual não foram realizados ensaios em campo, tomando referências nas proporções (traços) adotados em canteiros de obra. Na preparação da argamassa de revestimento também não foram adotados aspectos de deformabilidade e aderência, a qual depende das características de base, que não foi objeto de estudo neste trabalho.

1.3 Estrutura da Pesquisa

O presente trabalho está estruturado em cinco capítulos, além das referências bibliográficas.

No primeiro, são apresentadas a introdução, a declaração do tema da pesquisa e sua justificativa, a declaração do objetivo geral e dos objetivos específicos, as delimitações do trabalho e a organização da dissertação.

No segundo capítulo, a pesquisa apresenta uma fundamentação teórica dos conceitos de argamassa e suas classificações, caracterização da cal hidratada e suas aplicações, além de abordagens técnicas relacionados a propriedades reológicas nas argamassas para revestimento.

No terceiro capítulo é abordado o programa experimental desenvolvido na pesquisa, relatando o procedimento experimental com as etapas construtivas e as variáveis de teor e tipo da Cal.

No quarto capítulo, estão apresentados os resultados obtidos nos ensaios laboratoriais para o estado fresco e o estado endurecido, assim como as análises e discussões

No quinto capítulo, são feitas as considerações finais no que diz respeito a pesquisa, bem como as conclusões e sugestões para trabalhos futuros.

Por fim, as referências bibliográficas utilizadas para a obtenção de dados científicos citados nesta pesquisa.

CAPÍTULO 2

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.0 Argamassa mista de cimento para revestimento

Segundo a NBR 15259/2005, “o revestimento em argamassa consiste no cobrimento de uma superfície com uma ou mais camadas superpostas, apto para receber acabamento decorativo ou constituir-se em acabamento final”. Dessa maneira, a argamassa mista de cimento para revestimento pode ser utilizada para revestir paredes, muros e tetos.

A argamassa mista para revestimento é composta por dois aglomerantes (cimento Portland e cal), agregado miúdo e água. Tem como função proteger a camada base, contribuindo para “isolamento térmico (até 30%), isolamento acústico (até 50%) e estanqueidade a água (de 70 à 100%)”, (IBRACON, 2017). Além disso, ela proporciona uma base regular para o acabamento final, podendo receber outros revestimentos decorativos, conforme projeto arquitetônico.

Dividida em camadas de aplicação, as argamassas de revestimento podem ser utilizadas na etapa de chapisco, emboço, reboco, camada única ou ainda o revestimento de monocamada (RDM). Conforme NBR 15259/2005 essas camadas são definidas:

- Chapisco: camada de preparo da base, aplicada de forma contínua ou descontínua, com a finalidade de uniformizar a superfície quanto à absorção e melhorar a aderência do revestimento.
- Emboço: camada de revestimento executada para cobrir e regularizar a superfície da base ou chapisco, propiciando uma superfície que permita receber outra camada, de reboco ou de revestimento decorativo, ou que constitua no acabamento final.
- Reboco: camada de revestimento utilizada para cobrimento do emboço, propiciando uma superfície que permita receber o revestimento decorativo ou que constitua no acabamento final.

As camadas de camada única (também chamado de massa única ou reboco paulista) e monocamada (RDM), são mais recentes e sua definição não está incluída na NBR 15259/2005, mas podem ser caracterizadas conforme IBRACON (2017) como:

- Camada Única: revestimento de um único tipo de argamassa aplicado à base, sobre o qual é aplicado uma camada decorativa, como por exemplo, a pintura.
- Monocamada (RDM): também chamado de monocapa, consiste em um revestimento industrializado, composto por cimento branco, cal hidratada, agregados e aditivos de várias naturezas, podendo ser pigmentado ou não. É aplicado em uma única camada que faz simultaneamente a função de regularização e decorativa.

2.1 Propriedades das argamassas de revestimento

As argamassas de revestimento devem apresentar propriedades essenciais para um bom desempenho no estado fresco e endurecido, como boa trabalhabilidade (consistência, plasticidade e adesão), retração, aderência, permeabilidade à água, resistência mecânica e capacidade de absorver deformações.

2.1.1 Trabalhabilidade

Propriedade da argamassa no estado fresco que determina a facilidade com que podem ser misturadas, transportadas, aplicadas, consolidadas e acabadas numa condição homogênea (Carasek, 2017). A trabalhabilidade é a junção de diversas outras propriedades como: consistência, plasticidade, retenção de água, coesão, densidade de massa, adesão.

2.1.1.1 - Consistência e plasticidade

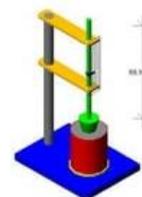
A consistência é a capacidade de deformação da argamassa quando submetida a ação de cargas. Já a plasticidade é a propriedade do estado da argamassa após as tensões de deformação. Ambas as propriedades quando estão interligadas devem originar uma argamassa de estrutura pseudo-sólida, isto é, uma argamassa plástica, ideal para aplicação. Essa propriedade é uma das mais importantes quando se pretende avaliar o parâmetro reológico. Os ensaios de flow table ou mesa de consistência (Figura 01), penetração de cone (Figura 02), squeeze flow (Figura 03) são alguns dos mais utilizados para mensurar essas propriedades. Para esses ensaios, as etapas de preparo e mistura devem ser conforme NBR 13276/2016.

Figura 01: Ensaio de Flow Table



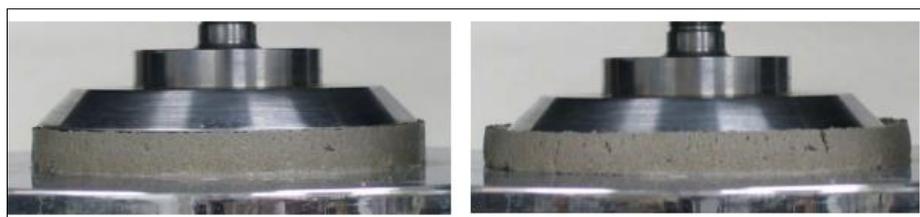
Fonte: Costa, 2016

Figura 02: Ensaio de Penetração de Cone



Fonte: Ribeiro, 2019

Figura 03: Ensaio de Squeeze Flow



Fonte: Cardoso, Pileggi e Jonh, 2005

2.1.1.2 - Retenção de água:

A retenção de água de uma argamassa de revestimento é uma propriedade do estado fresco que consiste na capacidade da argamassa se manter trabalhável, durante sua utilização. Essa propriedade é considerada relevante quando se propõe utilizar uma argamassa que apresente maior tempo em aberto sem grandes variações de trabalhabilidade. A NBR 13277/2005, determina a retenção de água da argamassa por meio de ensaio, medindo a água retida na massa após a sucção realizada por uma bomba a vácuo de baixa pressão e um funil de filtragem, conforme Figura 04. Além disso, essa propriedade está relacionada a evaporação da água durante o processo de cura da argamassa aplicada que ocorre nas primeiras 24h, através de uma retração hidráulica inicial (inicia após a mistura e vai até 24h do preparo) e a retração plástica (ocorre entre 30-90min após aplicada a base).

Figura 04: Ensaio de retenção de água



Fonte: Cardoso, Pileggi e Jonh, 2005

2.1.1.3 - Coesão

A coesão é a propriedade que representa a capacidade da argamassa fresca aderir a superfícies porosas, em função da tensão superficial. Também chamada de “pegajosidade”, essa propriedade é de extrema importância durante o processo de execução, pois é responsável pela união da argamassa à base. Ainda não há uma determinação normativa que identifique se a argamassa está no ponto de coesão ideal ou não. Dessa forma, só é possível caracterizar a propriedade no lançamento da massa.

2.1.1.4 - Densidade da massa

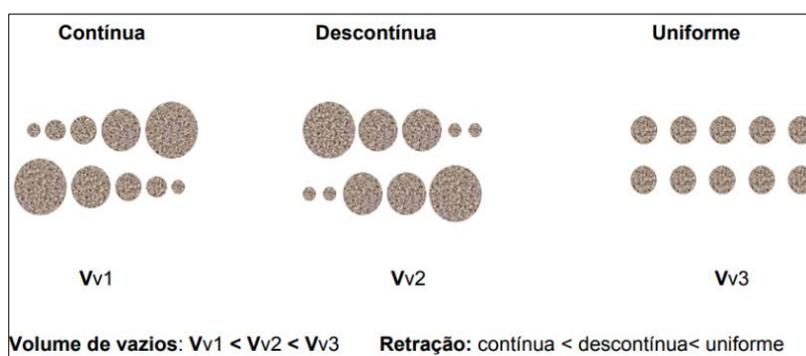
A densidade de massa está interligada ao teor de ar incorporado, onde consiste na medida de massa por unidade de volume da argamassa. A NBR 13278/2005, caracteriza a execução desses ensaios que posteriormente pode ser classificado como argamassa leve, normal ou pesada, a depender do tipo de agregado empregado no traço e do uso projetado.

2.1.2 Retração

O endurecimento das argamassas é acompanhado por uma diminuição de volume, quer devido à perda de água evaporável, quer devido às reações de hidratação. Mesmo após a secagem, e com mais de quatro meses de idade, é possível notar variações dimensionais em função do grau higrométrico do ambiente, conforme Fiorito (1994).

O volume de vazios e granulometria da areia são alguns dos fatores que influenciam no processo de retração plástica, podendo ser classificada como contínua, descontínua ou uniforme, conforme Figura 05.

Figura 05: Classificação das areias quanto à distribuição granulométrica e sua influência na retração plástica.



Fonte: CARASEK, 2007

De uma maneira geral, “quanto maior o teor de finos, maior a retração, principalmente quando os grãos possuem dimensões menores a 0,005mm, chamados de argila. Estes finos requerem uma maior quantidade de água de amassamento, devido à sua alta superfície específica e à sua natureza, gerando maior retração e fissuração” (Carasek, 2007).

A relação água/aglomerante, principalmente se incluído a Cal Hidratada também tem influência direta no comportamento da argamassa na propriedade de retração.

A Tabela 01, avaliada por Fiorito (1994) apresenta diferentes traços de uma análise feita para pasta de cimento e para um grupo de seis argamassas, obtidas através de um ensaio em barrinhas de argamassa (25x25x282)mm conforme ASTM – C 157 e algumas modificações.

Tabela 01- Traços de argamassa

Componentes	Argamassas de cimento e areia Volumes aparentes - Areia c/ 3% de umidade				Argamassas cimento: cal: areia vol. apar. - areia 3% um.		Pasta de cimento
	1:3	1:4	1:5	1:6	1:1/2:5	1:3:12	
Cimento Portland	481	321	341	258,5	384	133	1.000
Cal hidratada	-	-	-	-	81	169	-
Areia c/3%	1.253	1.255	1.335	1.350	1.576	1.313	-
Areia – Peso seco	1.216,5	1.218,5	1.296	1.310,5	1.530	1.275	-
Água da areia	36,5	36,5	39	39,5	46	38	-
Água adicionada	188	176	180	186,5	279,6	227	-
Água Total	224,5	212,5	219	226	325,6	265	300
Água / aglomerante	0,47	0,66	0,64	0,87	0,70	0,88	0,30

(1) Os valores da tabela são em gramas.
(2) Os componentes foram medidos em volume e convertidos em massa.
(3) Areia utilizada com 3% umidade.

Fonte: FIORITO, 1994

A partir da análise obtida nesse experimento, Fiorito (1994) obteve parâmetros de valores de retração, afirmando: “Considerando que em obras, as argamassas secam ao ar, e considerando os resultados obtidos por secagem ao ar aos 28 dias, podemos adotar os valores de retração para argamassas em geral de 0,0006mm/mm ou 0,6% ou 0,6mm/m e para pastas de cimento 0,0015mm/mm ou 1,5% ou 1,5mm/m”.

2.1.3 Aderência.

A aderência, propriamente dita, se define como a propriedade que possibilita ao revestimento, por meio da interface argamassa-substrato, absorver e resistir a esforços normais e tangenciais. Em outras palavras, representa a capacidade do revestimento em manter-se estável, com ausência de fissuração e fixo ao substrato. É praticamente definida pela conjunção de três propriedades intrínsecas da interface argamassa-

substrato: as resistências de aderência à tração, ao cisalhamento e a extensão do contato entre a argamassa e o substrato poroso (Carasek, 1996 e Selmo, 1989).

A argamassa deve apresentar resistência de aderência à tração e ao cisalhamento. Essa propriedade está diretamente relacionada com alguns fatores de influência, como a reologia da argamassa, as condições climáticas, o processo de execução (energia de lançamento/impacto), o traço da própria argamassa e a rugosidade do substrato.

Além disso, os materiais constituintes da argamassa também influenciam na propriedade da aderência. A começar pelo tipo e finura do cimento: “quanto mais fino o cimento, maior a resistência de aderência obtida, tanto a resistência final (idades superiores a 6 meses) quanto, principalmente, as iniciais (idades de 3 a 14 dias)”, (Carasek, 2010).

Ainda segundo Carasek (2010), a cal, material aglomerante que participa da composição da argamassa, por sua finura e propriedade plastificante e de retenção de água, preenche mais facilmente e de maneira mais completa toda a superfície do substrato propiciando maior extensão de aderência.

O teor de areia presente no traço da argamassa, também influencia na propriedade de aderência. Carasek (2017), afirma que “com o aumento do teor de areia, há uma diminuição na resistência de aderência”, apesar do material ser responsável pela durabilidade da aderência por reduzir a retração.

Em estudos obtidos por Angelim (2000), a granulometria da areia incluída na composição do traço de uma argamassa interfere no resultado final de resistência à aderência. Ele afirma que “para obtenção dos bons resultados, a areia deve possuir uma distribuição granulométrica contínua, de uma forma geral. Quanto maior o módulo de finura das areias, maior será a resistência de aderência obtida, desde que produzam argamassas trabaláveis”.

Atualmente essa propriedade é avaliada com base na NBR 13528-2/2019 onde se obtêm medidas de resistência de aderência através do ensaio de análise de ruptura da interface da argamassa-substrato. Outra norma que pode ser levada em consideração para esta propriedade é a NBR 15258/2021 que apresenta uma metodologia para avaliação em laboratório, onde é introduzido o conceito de resistência potencial da aderência, estabelecido por um substrato padrão para aplicação das argamassas.

2.1.4 Permeabilidade à água

A permeabilidade à água é uma das características que a argamassa deve apresentar, principalmente quando sua função for proporcionar estanqueidade à parede, como no caso de paredes externas. Essa propriedade, quando insuficiente, pode desencadear várias manifestações patológicas, através da umidade absorvida, além de problemas que comprometem a função estética de um edifício.

Há uma maior relevância dessa propriedade quando o revestimento final do imóvel é a própria argamassa sem acabamentos posteriores, como o caso do RDM – Revestimento Decorativo Monocamada e pinturas.

Atualmente, a estanqueidade da argamassa é bastante adquirida através do uso de aditivos incorporadores de ar ou ainda adições para aumento da massa específica que melhoram sua capacidade estanque. A cal, por exemplo, é um aglomerante que auxilia nessa propriedade por reduzir a retração e conseqüentemente o surgimento de fissuras.

2.1.5 Resistência Mecânica

A propriedade de resistência mecânica é considerada uma das fundamentais para todos os materiais cimentícios. De modo geral, diz respeito à particularidade das argamassas possuírem um “estado de consolidação interna, capaz de suportar esforços mecânicos das mais diversas origens que causam tensões de tração, compressão e cisalhamento”, (Carasek, 2010).

Estudos como o de Forti (2017) comprovam que a inclusão da cal hidratada pode auxiliar no ganho de resistência, pois proporciona a retenção da água para a cura da argamassa, fazendo que a relação entre cal e cimento, quando equilibrada, faz com que a argamassa tenha esse ganho de resistência devido a cura correta, e quando há excesso de cal faz com que essa relação não fique tão eficiente, fazendo perder resistência.

Também é importante que a argamassa apresente resistência mecânica superficial (dureza e abrasão) sendo essa uma propriedade importante para garantir a fixação das camadas de acabamento.

2.1.6 Capacidade de absorver deformações

Considerada uma das características mais importantes do estado endurecido, a argamassa mista de revestimento deve apresentar flexibilidade com baixo nível de deformação da base, sem o surgimento de fissuras. Essa propriedade proporciona o funcionamento da estanqueidade, durabilidade e aderência, mensurada através de ensaio de módulo de elasticidade.

Conforme Cincotto *et al.* (1985) quando utilizado pequenas quantidades de cal há um aumento na resistência mecânica, ao adicionarmos maiores quantidades essa resistência diminui. Um equilíbrio na dosagem da cal entre 0,25 e 1 (em volume), auxilia no ganho de resistência a deformações e também melhora a aderência.

2.2 Classificação das Argamassas

As argamassas de revestimento podem ser classificadas de acordo com a sua empregabilidade, natureza do aglomerante, tipo do aglomerante, número de aglomerantes, propriedades especiais, funções no revestimento, forma de preparo ou fornecimento, conforme especifica a NBR 13529/2013, na Tabela 02.

Tabela 02: Classificação das Argamassas

TIPO	CRITÉRIO DE CLASSIFICAÇÃO
Argamassa Aérea	Natureza do Aglomerante
Argamassa Hidráulica	
Argamassa de Cal	Tipo de Aglomerante
Argamassa de Cimento	
Argamassa de Cal e Cimento	
Argamassa Simples	Número de Aglomerantes
Argamassa Mista	
Argamassa Aditivada	Propriedades Especiais
Argamassa de Aderência Melhorada	
Argamassa Colante	
Argamassa Redutora de Permeabilidade	
Argamassa de Proteção Radiológica	
Argamassa Hidrófuga	
Argamassa Termoisolante	
Argamassa de Chapisco	Função no Revestimento
Argamassa de Emboço	
Argamassa de Reboco	
Argamassa Dosada em Central	Forma de Preparo ou Fornecimento
Argamassa Preparada em Obra	
Argamassa Industrializada	
Mistura Semi-pronta para Argamassa	

Fonte: NBR 13529/2013

O tipo de argamassa a ser utilizada deverá levar em consideração a função que esta irá desempenhar e a aplicação mais conveniente, tomando como base exigências normativas, conforme Tabela 03.

Tabela 03: Requisitos necessários para classificação das argamassas

REQUISITOS NORMATIVOS	
NBR 13277/2005	Retenção de Água
NBR 13278/2005	Densidade de massa no estado fresco
NBR 13279/2005	Resistência à Compressão
NBR 13279/2005	Resistência à Tração na Flexão
NBR 13280/2005	Densidade de Massa Aparente no Estado Endurecido
NBR 15258/2021	Resistência Potencial de Aderência à Tração
NBR 15259/2005	Coefficiente de Capilaridade

Fonte: NBR 13529/2013

2.3 Materiais constituintes da argamassa mista

2.3.1 Cimento

Dentre os aglomerantes hidráulicos os cimentos Portland são os mais empregados na produção das argamassas de revestimentos no Brasil. Tais cimentos precisam da água para que se processem as reações de hidratação (resultando no endurecimento), como também, após este processo, formam produtos resistentes à água (Bauer, 2005).

As tabelas 4, 5 e 6 a seguir apresentam os limites de composição do cimento, as exigências físicas e mecânicas, e as exigências químicas que um cimento normatizado brasileiro deve seguir.

Tabela 04: Exigências físicas e mecânicas do cimento brasileiro

Designação normalizada	Sigla	Classe de resistência	Sufixo	Clínquer + sulfatos de cálcio	Escória granulada de alto-forno	Material pozolânico	Material carbonático	
Cimento Portland comum	CP I	25, 32 ou 40	RS ou BC	95 – 100	0 – 5			
	CP I-S			90 – 94	0	0	6 – 10	
Cimento Portland composto com escória granulada de alto-forno	CP II-E			51 – 94	6 – 34	0	0 – 15	
Cimento Portland composto com material pozolânico	CP II-Z			71 – 94	0	6 – 14	0 – 15	
Cimento Portland composto com material carbonático	CP II-F			75 – 89	0	0	11 – 25	
Cimento Portland de alto forno ^b	CP III			25 – 65	35 – 75	0	0 – 10	
Cimento Portland pozolânico ^c	CP IV			45 – 85	0	15 – 50	0 – 10	
Cimento Portland de alta resistência inicial	CP V ^a			ARI		90 – 100	0	0
Cimento Portland branco	Estrutural	CPB		25, 32 ou 40	75 – 100	—	—	0 – 25
	Não estrutural							—

^a No caso de cimento Portland de alta resistência inicial resistente a sulfatos (CP V-ARI RS), podem ser adicionadas escórias granuladas de alto-forno ou materiais pozolânicos.

^b O teor máximo da somatória de adições (escória granulada de alto –forno e material carbonático) deve ser de 75%.

^c O teor máximo da somatória de adições (material pozolânico e material carbonático) deve ser de 55%.

Fonte: ABCP, 2018

Tabela 05: Exigências Físicas e Mecânicas do Cimento Brasileiro

Sigla ^a	Classe	Finura	Tempo de início de pega min	Expansibilidade a quente mm	Resistência à compressão MPa				Índice de brancura -
		Resíduo peneira 75 µm %			1 dia	3 dias	7 dias	28 dias	
CP I	25	≤ 12,0	≥ 60	≤ 5	-	≥ 8,0	≥ 15,0	≥ 25,0	-
CP I-S	32	≤ 12,0	≥ 60	≤ 5	-	≥ 10,0	≥ 20,0	≥ 32,0	
CP II-E									
CP II-F									
CP II-Z	40	≤ 10,0	≥ 60	≤ 5	-	≥ 15,0	≥ 25,0	≥ 40,0	
CP III CP IV	25	≤ 8,0	≥ 60	≤ 5	-	≥ 8,0	≥ 15,0	≥ 25,0	-
	32	≤ 8,0	≥ 60	≤ 5	-	≥ 10,0	≥ 20,0	≥ 32,0	-
	40	≤ 8,0	≥ 60	≤ 5	-	≥ 12,0	≥ 23,0	≥ 40,0	-
CP V	ARI	≤ 6,0	≥ 60	≤ 5	≥ 14,0	≥ 24,0	≥ 34,0	-	-
CPB Estrutural	25	≤ 12 ^b	≥ 60	≤ 5	-	≥ 8,0	≥ 15,0	≥ 25,0	≥ 78
	32	≤ 12 ^b	≥ 60	≤ 5	-	≥ 10,0	≥ 20,0	≥ 32,0	
	40	≤ 12 ^b	≥ 60	≤ 5	-	≥ 15,0	≥ 25,0	≥ 40,0	
CPB Não estrutural	-	≤ 12,0 ^b	≥ 60	≤ 5	-	≥ 5,0	≥ 7,0	≥ 10,0	≥ 82

^a Requisitos aplicáveis também aos cimentos resistentes aos sulfatos e de baixo calor de hidratação, identificados por sua sigla seguida do sufixo RS ou BC, respectivamente.
^b Resíduo na peneira 45 µm

Fonte: ABCP, 2018

Tabela 06: Exigências Químicas do Cimento Brasileiro

Sigla ^a	Resíduo insolúvel (RI)	Perda ao fogo (PF)	Óxido de magnésio (MgO)	Trióxido de enxofre (SO ₃)
CP I	≤ 5,0	≤ 4,5	≤ 6,5	≤ 4,5
CP I-S	≤ 3,5	≤ 6,5	≤ 6,5	≤ 4,5
CP II-E	≤ 5,0	≤ 8,5	-	≤ 4,5
CP II-F	≤ 7,5	≤ 12,5	-	≤ 4,5
CP II-Z	≤ 18,5	≤ 8,5	-	≤ 4,5
CP III	≤ 5,0	≤ 6,5	-	≤ 4,5
CP IV	--	≤ 6,5	-	≤ 4,5
CP V ^b	≤ 3,5	≤ 6,5	≤ 6,5	≤ 4,5
CPB Estrutural	≤ 3,5	≤ 12,0	≤ 6,5	≤ 4,5
CPB Não estrutural	≤ 7,0	≤ 27,0	≤ 10,0	≤ 4,5

^a Requisitos aplicáveis também aos cimentos resistentes a sulfatos e de baixo calor de hidratação, identificados por sua sigla seguida do sufixo RS ou BC, respectivamente.
^b No caso de cimentos resistentes a sulfatos derivado do cimento tipo CPV, não há limitação para RI e MgO.

Fonte: ABCP, 2018

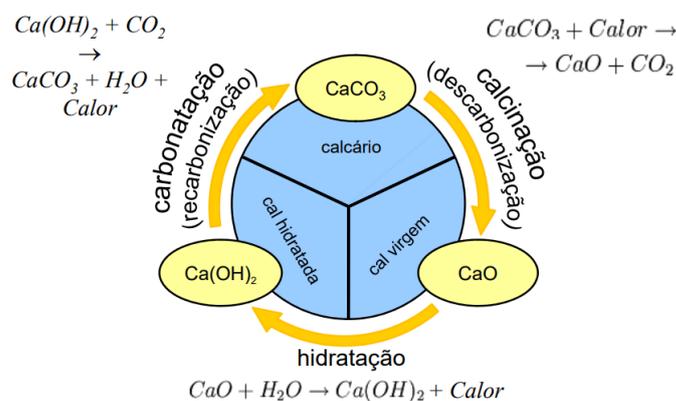
Essas exigências normativas aliadas com as propriedades de finura, pega e resistência mecânica, influenciam diretamente no desempenho das argamassas no sistema de revestimento. Segundo Bauer 2005, essas propriedades são:

- **Finura** – A finura é uma característica do cimento que influencia decisivamente na reatividade e na velocidade das reações químicas durante a pega e o endurecimento. Está interligado intimamente à propriedade aglomerante, onde quanto mais fino maior sua atividade superficial nas partículas de hidratação. “É certo que cimentos mais finos desenvolvem maiores resistências mecânicas nas primeiras idades (3 a 4 dias), ponto que pode ser importante em determinadas situações (no caso da resistência de aderência). Porém, em contrapartida, a velocidade de desprendimento do calor de hidratação, o teor de água para uma mesma trabalhabilidade, a retração e/ou risco de fissuração estão também diretamente relacionados à finura, fato que merece certa atenção”, Bauer, 2005.
- **Pega** – A pega está relacionada ao desenvolvimento das reações de hidratação do cimento após a mistura com a água. “Essa propriedade se caracteriza pelo enrijecimento progressivo da pasta de cimento (aumento da viscosidade), finalizando com o endurecimento da mesma”, Bauer, 2005. O período de utilização relacionado ao tempo de pega deve ser encarado com grande seriedade, uma vez que é rotina em algumas obras, principalmente durante a fase de execução dos revestimentos, operações como o reaproveitamento de grandes quantidades de argamassa. Estas muitas vezes não atendem às condições de aplicação quanto à pega do cimento, podendo comprometer o desempenho do sistema de revestimento”.
- **Resistência Mecânica** - O cimento é o principal responsável pelo desenvolvimento das propriedades mecânicas das argamassas de revestimento. Um aumento no teor de cimento da mistura aumenta diretamente as propriedades mecânicas. Apesar de este fato ser interessante do ponto de vista de alguns parâmetros, como a resistência de aderência à tração, o mesmo pode ser desfavorável caso o módulo de deformação da argamassa aumente demasiadamente, tornando os sistemas de revestimentos pouco deformáveis, o que contribui para o aumento do risco de fissuração e até deslocamento de parte do revestimento.

2.3.2 Cal

A Cal é um aglomerante de origem mineral, proveniente do calcário (CaCO₃) que passa por ciclos de calcinação (Figura 06) onde sofre descarbonização formando a Cal Virgem e hidratação, formando a Cal Hidratada.

Figura 06: Ciclo da Cal



Fonte: Mello, 2017

A NBR 7175 (ABNT, 2003) determina que a Cal Hidratada é um pó obtido pela hidratação da cal virgem, constituído essencialmente de uma mistura de hidróxido de cálcio e hidróxido de magnésio, ou ainda, de uma mistura de hidróxido de cálcio, hidróxido de magnésio e óxido de magnésio.

Atualmente, os tipos de cal hidratada existentes no mercado são classificadas com base na sua composição química e ensaios físicos. Na sua composição químicas, a cal é classificada em função dos percentuais de anidrido carbônico (CO₂) e nos percentuais de óxidos, enquanto nas exigências físicas a cal é caracterizada pela finura, retenção de água, incorporação de areia, estabilidade e plasticidade. As tabelas 07 e 08 apresentam os limites dessas exigências.

Tabela 07: Exigências Químicas da 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) ¹⁾		≤ 10 %	≤ 15 %	≤ 15 %
Óxidos totais na base de não-voláteis (CaO _t + MgO _t) ²⁾		≥ 90 %	≥ 88 %	≥ 88 %

Fonte: NBR 7175 (ABNT, 2013)

Tabela 08: Exigências Físicas da 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 cavidades ou protuberâncias		
Plasticidade		≥ 110	≥ 110	≥ 110

Fonte: NBR 7175 (ABNT, 2013)

Conforme apresentado na Tabela 06 e 07, é possível identificar que a cal CH-I é uma cal mais pura, a CH-II uma cal intermediária e a CH-III uma cal que possui mais impurezas de rocha e materiais não calcinados.

A presença da cal como aglomerante nas argamassas tem se tornado cada vez mais imprescindível por desempenhar melhor união entre os grãos, melhorando o quesito de trabalhabilidade, adesão ao substrato, aumento de resistência mecânica e ainda gerar economia na execução.

2.4 Reologia das Argamassas

A carência de parâmetros relevantes de caracterização das argamassas no ponto de vista “ótimo” no estado endurecido e fresco ainda é um ponto bastante discutido no meio científico. É notório, a necessidade de explorar experimentos que consigam relacionar as propriedades de ambos os estados, possibilitando a avaliação do comportamento de uma argamassa capaz de oferecer condições de trabalhabilidade, coesão, resistência mecânica e entre outros fatores. Dessa forma, a reologia tem sido uma forte alternativa de contribuição nesses estudos, tornando uma realidade na aplicação desses parâmetros.

A reologia é definida como a ciência que estuda a deformação e escoamento da matéria. Sua aplicação se justifica a partir do momento em que se pode classificar os materiais, analisar seus comportamentos frente a um campo de tensão, relacionar estes comportamentos com a estrutura de cada material, bem como prever o desempenho destes em outros estágios de tensão, deformação, tempo e temperatura (Tanner, 1998).

Segundo Hu e Larrard (1995) e Antunes (2006) as argamassas no estado fluido (fresco) são suspensões reativas, cuja consistência é modificada ao longo do tempo, sobretudo pela atuação do cimento. As pastas, juntamente com as argamassas, apresentam um comportamento de fluido não-newtoniano (pseudo-plástico), exibem uma viscosidade que varia com a tensão aplicada, e só conferem deformação significativa a partir de uma tensão de escoamento ou crítica.

2.4.1 Modelos Reológicos

Os principais modelos reológicos utilizados para interpretar o comportamento das argamassas no estado fresco, são o Newtoniano e o Não Newtoniano. Materiais com comportamento Newtoniano, exibem uma relação linear entre tensão e a taxa de cisalhamento, estes apresentam viscosidade constante a um dada temperatura e pressão. Nos materiais Não Newtoniano a viscosidade não é constante e depende da taxa de cisalhamento aplicada a uma dada temperatura e pressão, como por exemplo: pseudoplásticos, dilatantes e viscoplásticos ou fluídos de Bingham (Bauer, 2005).

Em revisões bibliográficas como a de Sousa e Bauer (2002), é possível identificar outros modelos utilizados para o estudo do comportamento reológico das argamassas, conforme apresenta a Tabela 9:

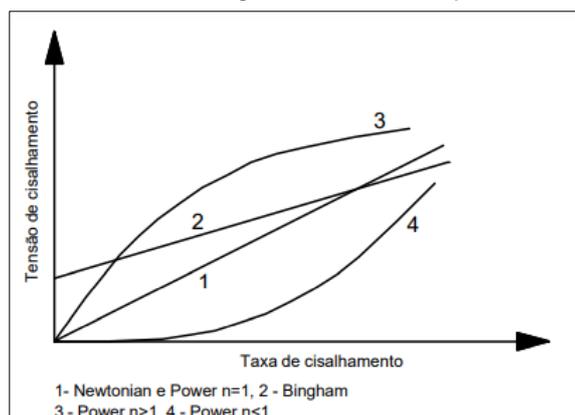
Tabela 9: Equações que relacionam a tensão de cisalhamento e a taxa de cisalhamento

NOME EQUAÇÃO	EQUAÇÃO
Newtoniano	$\tau = \eta \dot{\gamma}$
Bingham	$\tau = \tau_0 + \eta \dot{\gamma}$
Equação potência	$\tau = A \dot{\gamma}^n$
Herschel and Bulkey	$\tau = \tau_0 + K \dot{\gamma}^n$
η - viscosidade	τ - tensão de cisalhamento
$\dot{\gamma}$ - taxa de cisalhamento	τ_0 - tensão de escoamento
Constantes: A, K e n	

Fonte: SOUSA (2002)

A Figura 07, representa em curvas, o comportamento da tensão de cisalhamento em função da taxa de cisalhamento.

Figura 07: Comportamento da tensão de cisalhamento x taxa de cisalhamento (Modelos: 1 – Newtoniano, 2 – Bingham, 3 – Pseudoplástico e 4 – Dilatante)



Fonte: SOUSA, 2002

Diante dos modelos apresentados, a equação de Bigham inclui a tensão de escoamento e os parâmetros podem ser medidos independentemente, o que torna essa equação uma das mais utilizadas na reologia.

2.4.2 Propriedades reológicas do estado fresco

As propriedades que caracterizam a reologia das argamassas são: coesão, tixotropia, plasticidade, consistência e trabalhabilidade. A Tabela 10 conceitua sucintamente o conceito de cada propriedade que influencia na reologia das argamassas.

Tabela 10: Propriedades que influenciam na reologia da argamassa

Propriedade	Conceito
Coesão	Propriedade da argamassa em manter seus constituintes homogêneos, sem segregação
Tixotropia	Variação da consistência de uma argamassa em pasta, por ação de um movimento ou força de agitação*
Plasticidade	Propriedade que permite que a argamassa deforme-se e absorva certas deformações após a redução das tensões que lhe foram impostas
Consistência	Fluidez de uma argamassa fresca (EM 1015-3 e EM 12706)*
Trabalhabilidade	Conjunto de propriedades de aplicação de uma argamassa que caracterizam sua adequação ao uso (EM 1025-9)*

Fonte: European Mortar Industry Association, 2001

A trabalhabilidade é uma das principais propriedades do estado fresco de uma argamassa no que diz respeito a qualidade e produtividade. Diversos autores podem caracterizar essa propriedade com conceitos diferentes, porém é ela que torna o resultado visível das demais características como plasticidade, consistência, coesão e densidade.

A trabalhabilidade pode ser entendida como a “maior ou menor facilidade de dispor a argamassa em sua posição final, cumprindo adequadamente sua finalidade, sem comprometer o bom andamento da tarefa em termos de rendimento de uso” (Recena, 2008). Na prática ela interfere diretamente no trabalho do operário, na aderência da argamassa ao substrato e nas propriedades da argamassa no estado endurecido, podendo alterar-se completamente em função da relação água/aglomerante, da relação aglomerante/areia, da granulometria do agregado e da natureza e qualidade do aglomerante (Yoshida, Barros e Bottura, 1995).

Bauer (2005), afirma que a consistência e a plasticidade são as propriedades reológicas básicas em termos de trabalhabilidade das argamassas, desta forma, estas

devem ser avaliadas de forma sinérgica, pois atuam e influenciam diretamente na trabalhabilidade.

Devido à complexidade dos fenômenos reológicos e às diferentes solicitações as quais os materiais cimentícios são submetidos, a sua caracterização reológica requer uma associação de técnicas complementares com ensaios tecnológicos que simule a situação de fluxo, Betioli (2007).

2.4.3 Influência das propriedades reológicas do estado endurecido

Apesar das propriedades do estado fresco proporcionar mais relevância no estudo reológico das argamassas, é esperado que as propriedades no estado endurecido também apresentem desempenho mecânico suficiente para durabilidade e estabilidade do sistema de revestimento. A Tabela 11 apresenta as propriedades do estado endurecido, mais relevantes para uma argamassa.

Tabela 11: Propriedades dos revestimentos argamassados no estado endurecido

Propriedade	Descrição
Capacidade de absorver deformações	Esta propriedade está relacionada com a capacidade do revestimento absorver/acompanhar as deformações geradas por esforços internos ou externos de diversas origens.
Aderência	Propriedade responsável pela ancoragem revestimento/substrato ao qual influenciará no desempenho do sistema. Ela é influenciada por diversos fatores como a natureza dos materiais, área de contato real, atrito e recuperação das deformações elásticas que surgem nos pontos de contato através da pressão de justaposição.
Resistência à compressão, à abrasão e dureza superficial	Estas propriedades possuem um estado de consolidação interna capaz de suportar esforços mecânicos das mais diversas origens e que se traduzem, em geral, por tensões simultâneas de tração, compressão e cisalhamento. São influenciados pelas cargas de impacto, abrasão superficial ou movimentações higroscópicas por umidade de infiltração.
Permeabilidade	Responsável pela possível passagem da água através da argamassa ou o componente ou elemento da construção, podendo a passagem ocorrer por infiltração, por capilaridade ou por difusão. Este fenômeno pode ser influenciado pela granulometria das areias, características e proporcionamento dos materiais que compõem a argamassa, entre outros.

Fonte: Bauer, 2005

A resistência à compressão é uma das propriedades mais relevantes do estado endurecido para avaliação da argamassa de revestimento e uma das mais comuns para realização. Nesse ensaio é possível obter o parâmetro de capacidade da argamassa para resistir aos esforços de compressão e flexão.

Alguns outros ensaios podem ser incluídos nessa Tabela 11 apresentada, que também dispõe de uma relevância para o critério reológico, como densidade e módulo de elasticidade.

A densidade de massa no estado endurecido é um indicativo da compacidade resultante da proporção da mistura agregado/aglomerante e da distribuição granulométrica do conjunto que determina indiretamente o volume de vazios incorporados (Nakakura e Cincotto, 2004).

Nakakura e Cincotto (2004) também caracteriza que a capacidade de absorver deformações está relacionada ao módulo de deformação da argamassa: quanto menor o módulo de deformação (menor teor de cimento), maior a capacidade de absorver deformações.

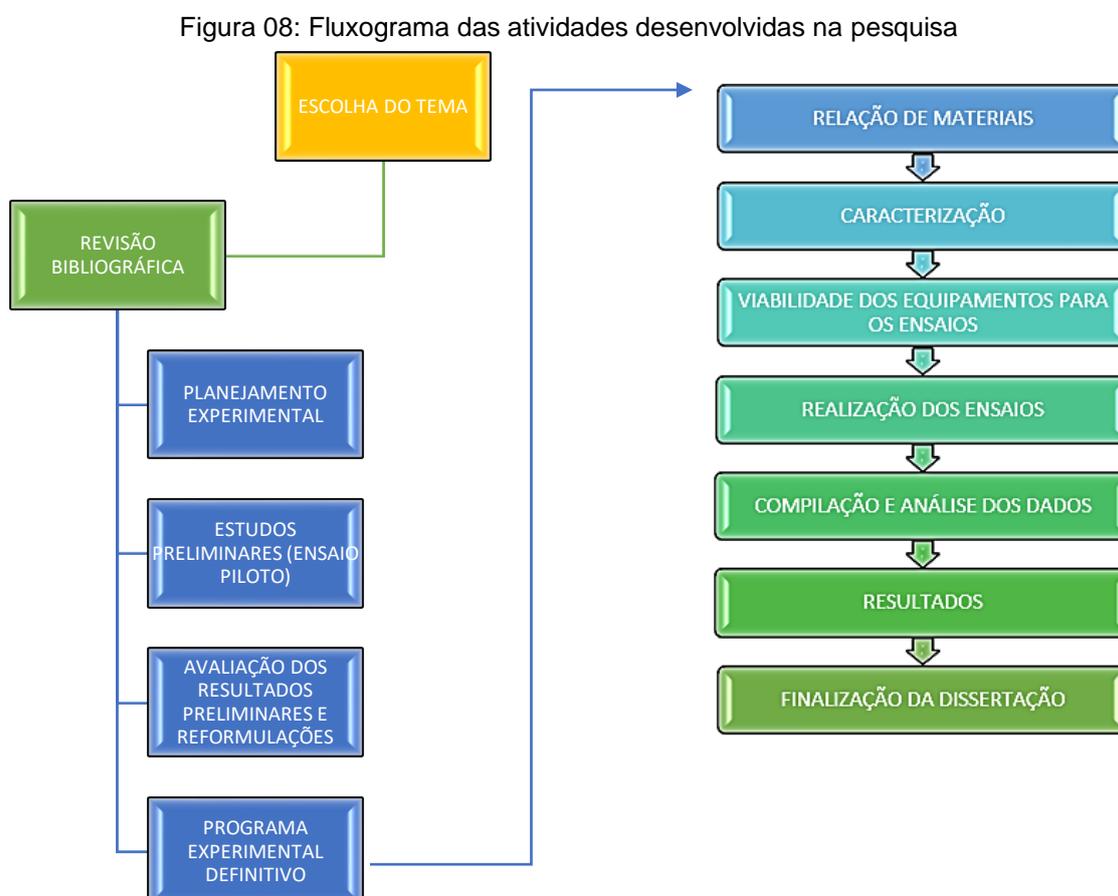
No caso da argamassa de revestimento, autores nacionais (Maciel, Barros e Sabbatini, 1998) afirmam que o revestimento só tem a responsabilidade de absorver as deformações de pequena amplitude que ocorrem em função da ação da umidade ou da temperatura e não as de grande amplitude, provenientes de outros fatores, como deformações estruturais. No entanto, faltam dados sobre esforços gerados pela movimentação de estruturas de grande altura atuantes no revestimento.

CAPÍTULO 3

PROGRAMA EXPERIMENTAL

O programa experimental tem o interesse de avaliar a influência do teor da Cal Hidratada obtido por uma metodologia baseada em ensaios de laboratório que proporcionam características de análises relevantes no comportamento de argamassas mistas no estado fresco e endurecido.

Esse capítulo relata o planejamento e a realização de todas as etapas de estudo, desde a escolha e caracterizações dos materiais utilizados até a descrição dos ensaios tecnológicos determinantes para o objetivo proposto deste trabalho. A Figura 08 representa o fluxograma das atividades desenvolvidas nessa pesquisa.



Fonte: O autor, 2021

A pesquisa foi desenvolvida no laboratório da Universidade Católica de Pernambuco em parceria com o laboratório privado, onde foram realizadas as caracterizações dos materiais e os ensaios.

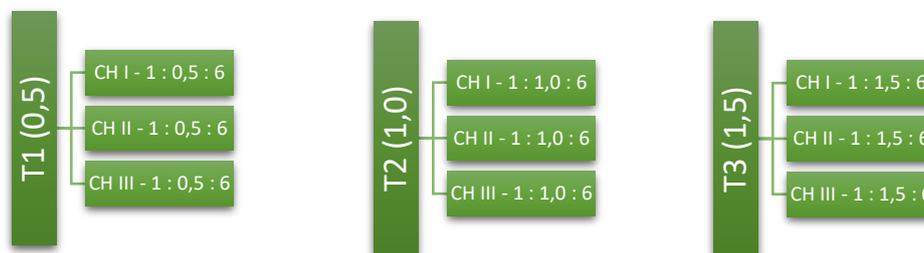
3.1 Planejamento experimental

O planejamento das atividades, escolha dos materiais, definição das variáveis e condições dos experimentos são apresentados nesse item. O planejamento envolveu um estudo preliminar e com realização de ensaios tecnológicos que serviu de parâmetros para aprimoramento da metodologia e caracterização da relevância da escolha do tema.

3.1.1 Variáveis experimentais

As variáveis experimentais correspondem ao tipo de Cal Hidratada e teor de cal inserido em cada traço, conforme desenho esquemático apresentado na Figura 09. A relação água/cimento foi padronizada para todos os traços, $a/c = 1,2$.

Figura 09: Fluxograma das variáveis experimentais – Tipos e Teores de Cal



Fonte: O autor, 2021

Com essas 9 famílias de variáveis para argamassa de revestimento, foi possível analisar como a variação do teor e do tipo de cal pode influenciar nas propriedades de trabalhabilidade, coesão, consistência, resistência dentre tantos outros parâmetros de característica reológica.

3.1.2 Condições fixas do estudo

Para esse procedimento experimental com tantas variáveis, foi mantido constante as seguintes condições:

- A mesma relação água/cimento para todos os traços;
- Todos os ensaios de um traço foram provenientes de uma mesma batelada, isto é, foram o volume de material necessário para realização dos ensaios do estado fresco e do estado endurecido garantindo a precisão dos experimentos;
- Mesmo cimento para todos os traços, CII Z – 32 RS;
- Mesma areia e granulometria para todos os traços;
- As cales são de fornecedores diferentes;

3.1.3 Estudos Preliminares

De forma preliminar, foi realizado um estudo que permitiu uma análise dos materiais necessários, disponibilidade dos equipamentos para os ensaios tecnológicos e influência do tempo em aberto da argamassa de revestimento no decorrer da análise experimental.

O estudo permitiu o aprimoramento das dificuldades encontradas o que trouxe eficiência para execução nos ensaios finais. Além disso, foi possível realizar a etapa da qualificação com a validação desses ensaios pilotos, o que resultou em familiaridade e melhor desenvoltura na etapa seguinte, a dissertação.

3.2 Procedimento Experimental

Para execução do programa experimental os procedimentos laboratoriais foram organizados em 4 etapas, conforme fluxograma da Figura 10.

Figura 10: Fluxograma do procedimento experimental



Fonte: O autor, 2021

3.2.1 Etapa 01: Caracterização dos Materiais

A seguir são apresentados os materiais utilizados na preparação das argamassas que compõem o desenvolvimento desse trabalho.

3.2.1.1 Cimento

O cimento utilizado para produção das argamassas foi cimento Portland CP II Z – 32 - RS da marca Cimento Forte, composto com material pozolânico e material carbonático, conforme classifica a NBR 16697 (ABNT, 2018). Para caracterização são apresentadas as propriedades físico-químicas e as características fornecidas pelo fabricante expressas na Tabela 12 e 13.

Tabela 12: Propriedades Físico-químicas do CP II Z 32 - RS

PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS	
Estado Físico	Sólido, cinza, sem cheiro
pH em solução aquosa	$11 \leq \text{pH} \leq 14$
Ponto de ebulição	Não aplicável
Ponto de fusão	Não aplicável
Massa específica absoluta	$2,8 \leq Yr \leq 3,2 \text{ g/cm}^3$ a 25° C
Massa específica aparente	0,88 à 0,93 g/cm ³ a 25° C
Pressão de vapor (mmHg)	Não aplicável
Solubilidade em água	Até 1,6 g/L a 25° C
Densidade do vapor	Não aplicável
Ponto de fungir (vaso fechado)	Não aplicável
Solubilidade com indicação de solvente	Não aplicável
Temperatura de auto-ignição	Não aplicável
Limite de explosividade, % vol. No ar	Nenhum
Coefficiente de partição octamol / água	Não aplicável
Taxa de evaporação	Não aplicável
Temperatura de decomposição	Não aplicável
Resíduo em 325 Mesh	< 1,0%

Fonte: Cimento Forte (2021)

Tabela 13: Característica do CP II Z 32 – RS

CARACTERÍSTICAS DO CIMENTO PORTLAND CP II Z 32 RS			
ENSAIO	REFERÊNCIA	RESULTADO	UNIDADE
Massa Específica	NBR NM 16605:2017	2,97	g/cm ³
Índice de Finura #200	NBR NM 11579:2012	1,28	%
Início de Pega	NBR NM 16607:2018	178,65	min
Fim de Pega	NBR NM 16607:2018	222,88	min
Resistência à Compressão - 03 dias	NBR NM 7215:2019	17,69	MPa
Resistência à Compressão - 07 dias	NBR NM 7215:2019	26,36	MPa
Resistência à Compressão - 28 dias	NBR NM 7215:2019	38	MPa

Fonte: Cimento Forte (2021)

3.2.1.2 Cal Hidratada

Para o desenvolvimento desse trabalho, a cal utilizada na preparação da argamassa variou conforme o teor e o tipo (CH I, CHII e CH III). As cales são de fornecedores locais e apresentam parâmetros classificatórios conforme a NBR 7175 (ABNT, 2003).

A especificações físicas e químicas das cales, foram fornecidas pelo fabricante, conforme a Tabela 14, 15 e 16.

Tabela 14: Análise química e física da Cal Hidratada CH I

CAL HIDRATADA CH I - CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA		
Descrição	Resultado	Unidade
Umidade (110+/-5°C)	0,44	%
Perda ao Fogo (1.000+/-50°C)	23,32	%
Anidrido Carbônico (CO ₂)	3,28	%
Anidrido Sulfúrico (SO ₃)	0,15	%
Óxido de Cálcio Total (CaO)	69,33	%
Óxido de Magnésio (MgO)	0,50	%
CaO + MgO não hidratados (calculado)	4,60	%
Óxido totais de base não voláteis	91,10	%
Finura (retida acumulada) - Peneira # 30 (0,600mm)	0,00	%
Finura (retida acumulada) - Peneira # 200 (0,075mm)	4,44	%

Fonte: SM Controle de Qualidade LTDA, 2022.

Tabela 15: Análise química e física da Cal Hidratada CH II

CAL HIDRATADA CH II - CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA		
<i>Descrição</i>	<i>Resultado</i>	<i>Unidade</i>
Densidade (<600g/l)	552,69	g/l
Umidade (110+/-5°C)	0,34	%
Perda ao Fogo (1.000+/-50°C)	20,78	%
Resíduo Insolúvel	8,40	%
Anidrido Carbônico (CO ₂)	2,21	%
Óxido de Cálcio Total (CaO)	43,81	%
Óxido de Magnésio (MgO)	25,91	%
CaO + MgO não hidratados (calculado)	14,00	%
Óxido totais de base não voláteis	88,01	%
Finura (retida acumulada) - Peneira # 30 (0,600mm)	0,01	%
Finura (retida acumulada) - Peneira # 200 (0,075mm)	8,64	%

Fonte: DB Primor, 2022.

Tabela 16: Análise química e física da Cal Hidratada CH III

CAL HIDRATADA CH III - CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA		
<i>Descrição</i>	<i>Resultado</i>	<i>Unidade</i>
Umidade (110+/-5°C)	0,48	%
Perda ao Fogo (1.000+/-50°C)	24,17	%
Anidrido Carbônico (CO ₂)	3,37	%
Sílica + residual insolúvel (SiO ₂ +Ri)	7,48	%
Óxido de Cálcio Total (CaO)	40,31	%
Óxido de Magnésio (MgO)	27,54	%
CaO + MgO não hidratados (calculado)	7,62	%
Óxido totais de base não voláteis	89,48	%
Finura (retida acumulada) - Peneira # 30 (0,600mm)	0,14	%
Finura (retida acumulada) - Peneira # 200 (0,075mm)	13,56	%

Fonte: Laboratório Tancal, 2022

3.2.1.3 Agregado Miúdo

A areia utilizada nos traços foi uma areia natural com proveniência de jazida local, sendo comercialmente classificada com granulometria “grossa”. A areia utilizada apresentava umidade e por isso, foi realizado o speedy teste para correção da relação a/c dos traços.

O agregado miúdo foi caracterizado quanto à granulometria por meio do ensaio de peneiramento conforme Figura 11.

Figura 11: Granulometria agregado miúdo (areia)



Fonte: O autor, (2021)

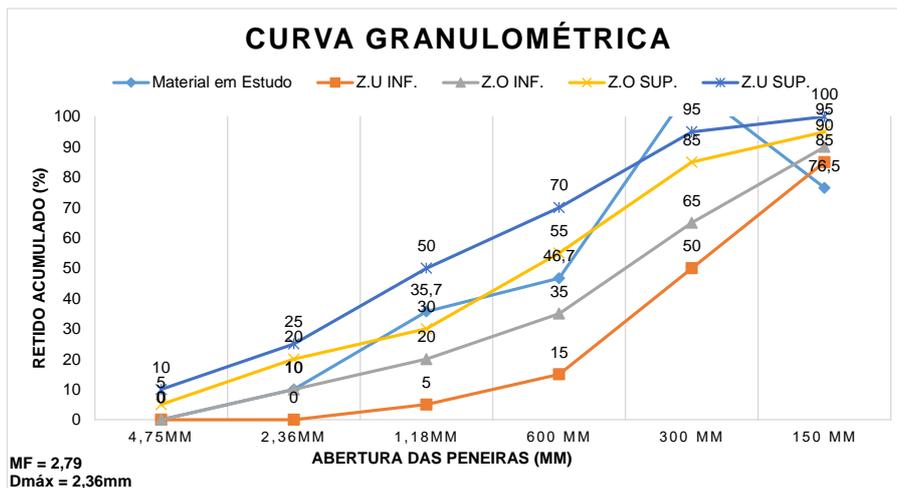
Com o ensaio de peneiramento foi obtido os resultados apresentados na Tabela 17 quanto ao percentual de material retido e realizado a distribuição granulométrica conforme apresenta o Gráfico 01. Desse modo, a areia utilizada nos ensaios tem um módulo de finura (MF) igual a 2,79 caracterizando uma areia grossa de zona ótimo e diâmetro máximo de 2,36mm.

Tabela 17: Granulometria do agregado miúdo utilizado na preparação das argamassas

AGREGADO MIÚDO	
GRANULOMETRIA (%)	
4,75mm	0
2,36mm	10
1,18mm	35,7
600 µm	46,7
300 µm	76,5
150 µm	100
M. DE FINURA	2,79
D. MÁXIMO	2,36

Fonte: O autor, (2021)

Gráfico 01: Distribuição Granulométrica (areia)



Fonte: O autor, (2021)

3.2.1.4 Água

A água utilizada na preparação das argamassas foi a fornecida pela rede pública de abastecimento local, Compesa - Companhia Pernambucana de Saneamento, mantendo uma relação a/c constante para todos os traços de 1,2.

3.2.1.5 Dosagem dos materiais e produção dos traços

A dosagem dos materiais se deu pela pesagem e separação dos traços, conforme Figura 12. A dosagem tem o objetivo de variar os tipos e teor de cal, mantendo constante a mesma relação a/c.

Figura 12: Dosagem e separação dos traços



Fonte: O autor, (2021)

Após a etapa de dosagem, iniciou-se a produção de cada traço de argamassa. A cal passou por um processo de maturação, conforme recomendação do fabricante. Todos os traços foram produzidos no misturador de forma separada, conforme Figura 13 e 14, iniciando na velocidade baixa com 75% da água de mistura durante 40s, logo depois em velocidade alta seguindo as recomendações do processo de mistura da NBR 16541 (ABNT, 2016).

Figura 13: Separação dos componentes do traço



Figura 14: Mistura do traço



Fonte: O autor, (2021)

3.2.2 Etapa 02 – Ensaios do Estado Fresco

Os métodos utilizados para os ensaios no estado fresco seguiram as diretrizes normativas conforme são apresentadas na Tabela 18.

Tabela 18: Ensaios realizados nas argamassas mistas de revestimento no estado fresco

ENSAIOS NO ESTADO FRESCO			
Descrição	Norma	Amostragem	Ilustração
Densidade de Massa	NBR 13278/2005	9 variáveis	
Índice de Consistência (flow table)	NBR 13276/2016	9 variáveis	

Fonte: O autor, (2021)

O ensaio de densidade de massa no estado fresco, consiste na medida da massa por unidade do volume através da utilização de um recipiente cilíndrico calibrado e de volume calculado. Deve-se introduzir a argamassa em três camadas de 20 golpes evitando bater no fundo, laterais e nas camadas sucessivas. Após o golpeamento de cada camada, efetuar três quedas do recipiente para eliminar os vazios entre a argamassa e a parede do recipiente. Fazer o rasamento da superfície com movimentos de vai e vem, pesa e registrar a massa do molde com a argamassa. Dessa forma, calcula-se a densidade no estado fresco em quilograma por metro cúbico (kg/m^3), utilizando a fórmula:

$$d = \frac{m_c - m_v * 1000}{v_r}$$

- m_c é a massa do recipiente cilíndrico contendo a argamassa de ensaio, em gramas;
- m_v é a massa do recipiente cilíndrico vazio, em gramas;
- v_r é o volume do recipiente cilíndrico, em centímetros cúbicos

O índice de consistência é um dos ensaios mais utilizados para conhecer a plasticidade e viscosidade de um fluido no estado fresco. O ensaio é realizado com a utilização da mesa de consistência e um molde troncônico, onde este é preenchido em três camadas sucessivas, aplicando quinze, dez e cinco golpes com o soquete. Logo em seguida, é feito o rasamento da superfície, retirado o molde e acionado a manivela de modo que a mesa caia e suba 30 vezes em 30 segundos. Imediatamente, é feito a aferição da medida de espalhamento com o auxílio de um paquímetro em três diâmetros ao longo do perímetro da circunferência formada pela argamassa. O resultado final de espalhamento é através da média das três medidas de diâmetro. A sequência de fotos na Figura 15 representa os processos de moldagem, espalhamento e aferição.

Figura 15: Sequência do ensaio do índice de consistência



Fonte: O autor, (2021)

3.2.3 Etapa 03 – Moldagem e Desforma dos Corpos de Prova

Após a produção de cada traço, iniciou-se a etapa dos ensaios experimentais no estado fresco aproveitando a mesma argamassa para moldagem dos corpos de prova que caracterizou os ensaios do estado endurecido.

Foram moldados 27 corpos de prova cilíndrico (5x10) e 54 corpos de prova prismáticos (barras de argamassa de 10x10x40), conforme Figura 16.

Figura 16: Moldagem dos corpos de prova



Fonte: O autor, (2021)

Após 48h, os corpos de prova de argamassa foram desmoldados e mantidos em condição ambiente de laboratório com temperatura de $(23 \pm 2) ^\circ\text{C}$, conforme Figura 17, até completar a idade de 28 dias para realização dos ensaios de ruptura.

Figura 17: Corpos de Prova

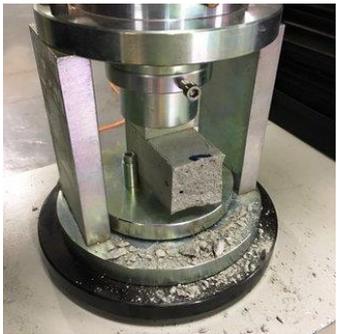


Fonte: O autor, (2021)

3.2.4 Etapa 04 – Ensaios do Estado Endurecido

Respeitado o tempo de cura estabelecido por norma, os corpos de prova foram submetidos aos ensaios do estado endurecido, conforme apresetados na Tabela 19.

Tabela 19: Ensaios realizados nas argamassas mistas de revestimento no estado endurecido

ENSAIOS NO ESTADO ENDURECIDO			
Descrição	Norma	Amostragem	Ilustração
Determinação da resistência à tração na flexão	NBR 13279/2005	27 CP's com 9 variáveis	
Determinação da resistência à compressão axial	NBR 13279/2005	27 CP's com 9 variáveis	

Determinação da resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos

NBR 7215/2019

27 CP's com 9 variáveis



** Fotos ilustrativas*

Fonte: O autor, (2021)

Os testes de resistência, caracterizam o comportamento da argamassa na fase endurecida. Para esse ensaio de tração na flexão foram moldados corpos de prova prismáticos logo após a produção da argamassa no respectivo traço. Após 24h (mínimo) ou 48h (máximo), é foi realizado a desforma e aguardou-se a condição de ruptura que nesse trabalho foi de 28 dias para cada traço. Os ensaios de compressão axial foram realizados em moldes prismáticos e em moldes cilíndricos. Os moldes prismáticos foram aproveitados as metades do corpo de prova utilizado no ensaio de tração na flexão. Os moldes cilíndricos foram moldados quando a argamassa ainda estava fresca, desmoldados com 48h e aguardado a idade de ruptura de 28 dias

Os ensaios foram realizados no objetivo de se obter a resposta das variáveis desse estudo, de como o teor ou o tipo de cal pode interferir na reologia de uma argamassa revestimento mista de cimento, no estado fresco e no estado endurecido.

CAPÍTULO 4

AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS EXPERIMENTAIS

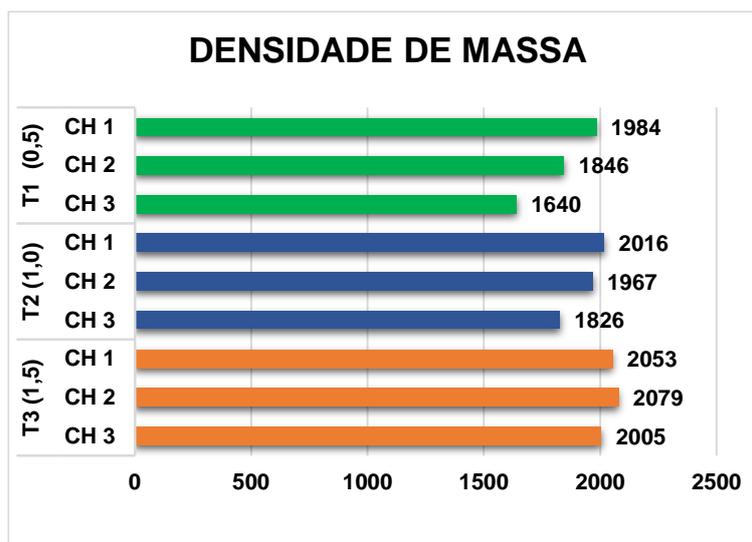
No presente capítulo são demonstradas as discussões acerca dos resultados encontrados no estudo por meio dos ensaios experimentais. Através das variáveis foi possível analisar o comportamento reológico das argamassas caracterizadas, e suas consequências no estado endurecido.

4.1 Análise das Propriedades das Argamassas de Revestimento no Estado Fresco

4.1.1 Densidade de Massa

O ensaio experimental de densidade de massa se configura um importante parâmetro característico do estado fresco que determina o peso da argamassa em um determinado volume. Esse ensaio aconteceu logo após a mistura dos componentes da argamassa e os resultados para cada família de argamassa, são apresentados no Gráfico 02.

Gráfico 02: Resultados do ensaio de densidade de massa no estado fresco



Fonte: O autor, (2021)

O ensaio de densidade é um ensaio simples e dificilmente apresenta incoerências. Diante disso, os resultados são apresentados a seguir quanto ao teor e quanto ao tipo de cal presente no traço.

4.1.1.1 – Quanto ao Teor

No ensaio de densidade de massa no estado fresco, o teor de cal influencia no índice de vazios, de modo que quanto maior o teor da cal, mais densa a argamassa, conforme o T3 onde a proporção da cal é de 1,5. Além disso, o maior teor de cal proporciona uma menor trabalhabilidade e conseqüentemente uma redução de produtividade durante sua aplicação. Cincotto et al. (1995), explica que essa influência da que a cal proporciona na trabalhabilidade é devida ao estado de coesão interna da cal, em função da diminuição da tensão superficial da pasta aglomerante e da adesão às partículas de agregado.

4.1.1.2 – Quanto ao Tipo

No que diz respeito à variação dos tipos de cales, o tipo de cal influenciou na densidade ainda que em menor escala do que o traço empregado. Nesse critério, temos:

CH I > CH II > CH III

Quanto mais pura a cal, maior a sua densidade. Dessa forma, a CH I apresenta maior densidade devido à quantidade de finos e superfície específica proporcionado pela sua pureza. A superfície específica maior, contribui para menor índices de vazios e maior coesão. No ponto de vista prático, um tipo de cal mais pura, melhora o acabamento e compacidade do revestimento.

4.1.2 Índice de Consistência

O ensaio de índice de consistência se deu simultâneo ao ensaio de densidade. Esse ensaio caracteriza o comportamento da argamassa quando submetida a uma ação de deformação, através da propriedade de consistência. Bauer (2005), afirma que a consistência pode ser definida através de algumas propriedades reológicas, tais como, viscosidade, dilatância e estruturação interna.

Analisando o Gráfico 03, é possível verificar os resultados do ensaio de Mesa de Consistência (flow table) quanto ao teor e quanto ao tipo de cal. Para todos os traços foram adotadas as mesmas relação a/c.

Gráfico 03: Resultados dos ensaios índice de consistência



Fonte: O autor, (2021)

4.1.2.1 – Quanto ao Teor

Quando se analisa o teor, há uma diminuição de consistência à medida que há o aumento do teor da cal no traço. Um dos motivos de se utilizar a cal em um traço de argamassa para revestimento é a trabalhabilidade que a mesa proporciona, gerando uma maior coesão, plasticidade e conseqüentemente produtividade. O excesso do teor da cal no traço, como é o caso do T3, faz com que a água de amassamento seja insuficiente para a quantidade de finos, formando uma argamassa áspera ou seca. Em contra partida, as argamassas do T1 são mais fluídas.

4.1.2.1 – Quanto ao Tipo

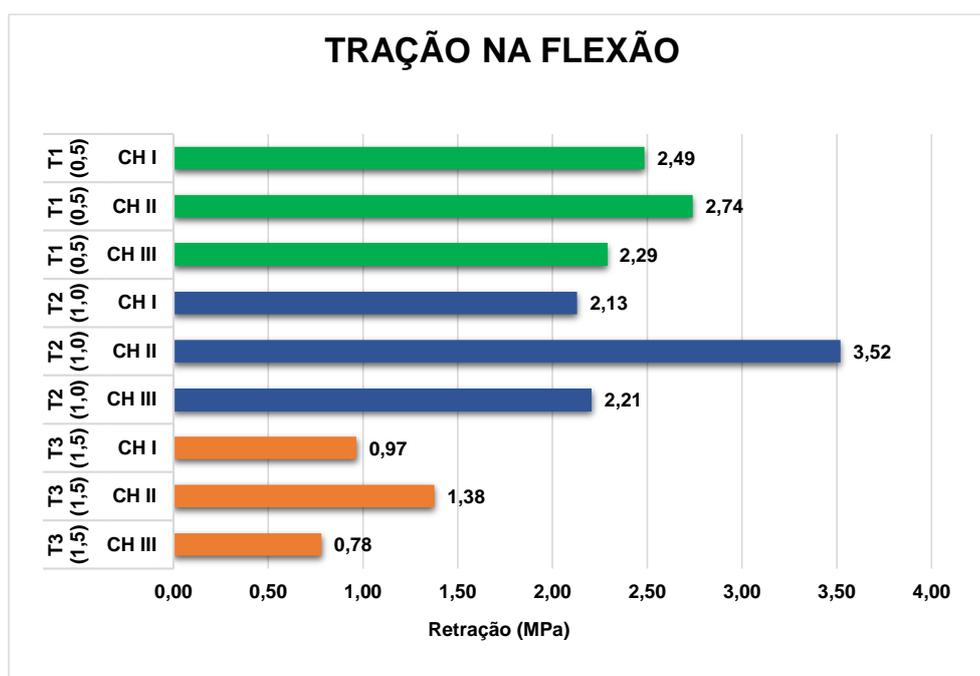
Em relação ao tipo de cal, há uma ordem crescente de espalhamento/consistência em cales com maior teor de impurezas, ou seja, CH I < CH II < CH III. Esse crescimento de espalhamento é devido a menor coesão proporcionada pela cal menos pura. Se compararmos a cal CH I com as demais, devido ao seu percentual de finos proporcionar maior aglutinação, ela resulta uma maior coesão, isto é, um menor espalhamento caracterizando uma argamassa mais áspera e menos trabalhável.

4.2 Análise das propriedades das argamassas de revestimento no estado endurecido

4.2.1 Determinação da Resistência à Tração na Flexão

O ensaio experimental de resistência à tração na flexão aconteceu conforme NBR 13279/2005, aos 28 dias sendo executado em 3 corpos de prova prismáticos para cada traço. O Gráfico 04, apresenta os resultados obtidos pela análise da cal CH I, CH II e CH III, respectivamente, adotando a resistência média entre os 3 corpos de prova para cada variação do traço.

Gráfico 04: Resultados do ensaio de tração na flexão



Fonte: O autor, (2021)

4.1.2.1 – Quanto ao Teor

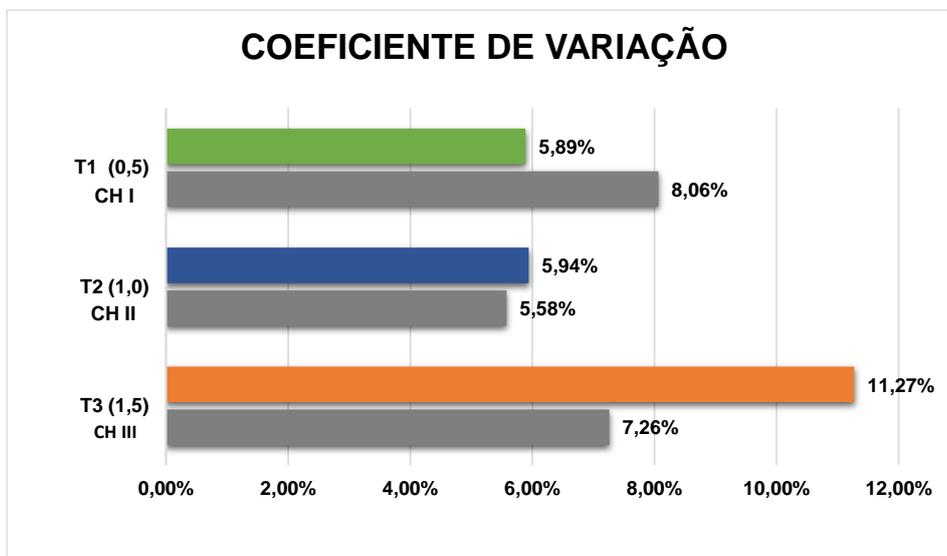
O teor de cal influenciou no ensaio da determinação da resistência à tração na flexão de modo que o aumento do teor de cal, contribuiu para a perda de resistência de tração na flexão, apesar do traço T2 CHII apresentar exceção.

4.1.2.2 – Quanto ao Tipo

Analisando os resultados obtidos no gráfico 4, o tipo de cal apresenta considerações relevantes no ensaio de resistência à tração na flexão. A CH II foi o tipo de cal que apresentou melhor desempenho. Esse resultado pode ser explicado com base no ensaio do estado fresco, mesa de consistência, onde a pequena proporção de componentes impuros presentes na cal do tipo CH II (cal intermediária), colaborou para um comportamento mais plástico e coeso, interferindo positivamente no ensaio endurecido de tração na flexão.

O Gráfico 05 apresenta a média do coeficiente de variação dos teores e tipos de cales, no ensaio de resistência à tração na flexão.

Gráfico 05: Coeficiente de variação entre os tipos e teores de cal



Fonte: O autor, (2021)

Correlacionando os resultados obtidos com a NBR 13281/2005, a Tabela 20 dispõe a seguinte classificação as argamassas:

Tabela 20: Classificação das argamassas pelo ensaio de resistência à tração na flexão

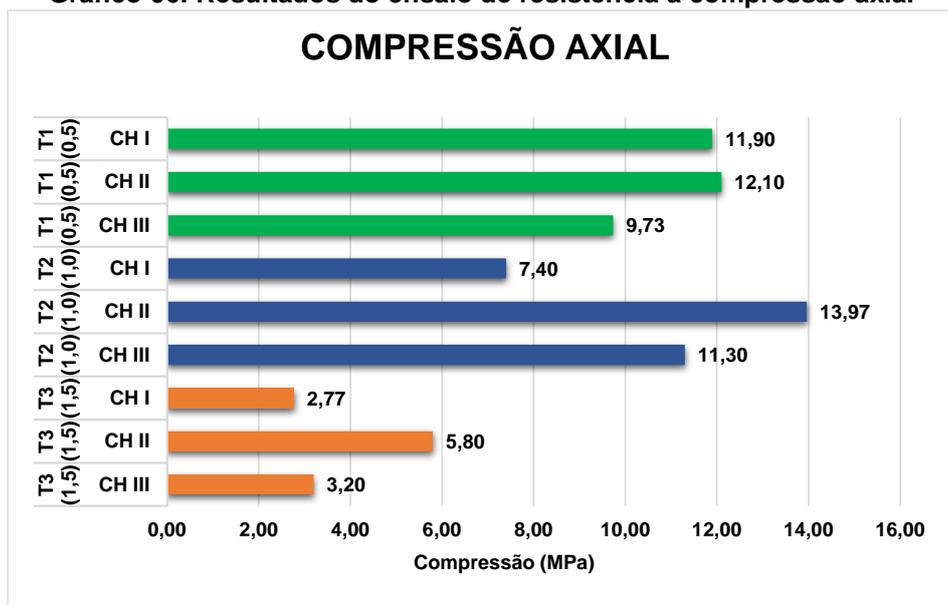
TRAÇÃO NA FLEXÃO - CLASSIFICAÇÃO NBR 13281/2005								
T1 (0,5)	CH I	R3	T2 (1,0)	CH I	R3	T3 (1,5)	CH I	R1
	CH II	R3		CH II	R6		CH II	R1
	CH III	R3		CH III	R3		CH III	R1

Fonte: O autor, (2021)

4.2.2 Determinação da Resistência à Compressão

O ensaio experimental de resistência à compressão, aconteceu conforme NBR 13279/2005, aos 28 dias sendo executado em 3 corpos de prova prismáticos de 1600mm² de área, para cada traço. O Gráfico 06 apresenta os resultados obtidos, adotando a resistência média entre os 3 corpos de prova.

Gráfico 06: Resultados do ensaio de resistência à compressão axial



Fonte: O autor, (2021)

4.2.2.1 – Quanto ao Teor

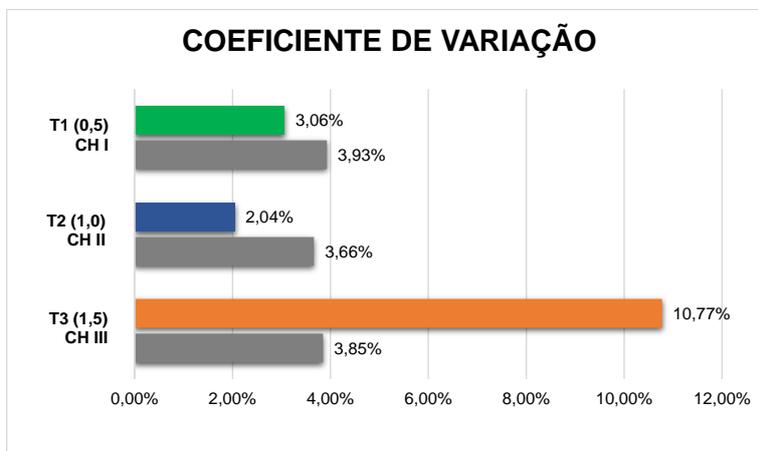
Os resultados para o ensaio de compressão axial em corpos de prova prismáticos, apresentam inicialmente um ganho de resistência devido a maior retenção de água de amassamento, diminuindo a relação a/c , apesar da exceção no T2 CHI, onde sua resistência foi decrescente. Em contra partida, os resultados nos mostram que excesso da cal compromete a resistência, significativamente, como no caso do teor 1,5, ou seja, o teor ideal da cal em um traço, está interligado ao volume a ser produzido. De uma forma geral é possível identificar que a Cal contribui, até um certo ponto, para a resistência da argamassa o que permite viabilizar a sua utilização sem maiores preocupações, desde que seja na proporção ideal.

4.2.2.2 – Quanto ao Tipo

Em relação aos tipos de cales, o ensaio de compressão axial em corpos de prova prismático apresenta resultados parecidos com o ensaio de tração na flexão, onde a cal CH II, apresenta melhor desempenho. Dessa forma, pode-se observar que a quantidade de materiais impuros que compõe a CH II, favorece melhor coesão das partículas, contribuindo positivamente no resultado final de resistência, o que não é o mesmo para CH I (uma cal de melhor qualidade nos parâmetros normativos físicos e químicos) e a CH III (uma cal menor qualidade nos parâmetros normativos físicos e químicos).

O Gráfico 07 apresenta o coeficiente de variação em relação aos teores e tipos de cal nos traços produzidos.

Gráfico 07: Coeficiente de variação entre os teores e tipos de cal



Fonte: O autor, (2021)

Correlacionando os resultados obtidos com a NBR 13281/2005, a Tabela 21 dispõe a seguinte classificação as argamassas:

Tabela 21: Classificação das argamassas pelo ensaio de resistência à compressão

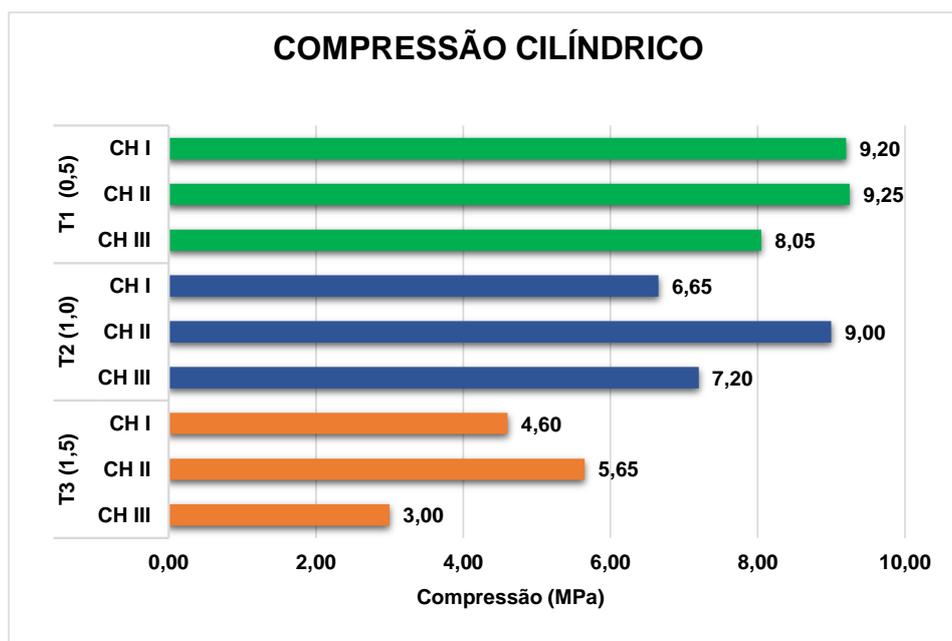
COMPRESSÃO AXIAL - CLASSIFICAÇÃO NBR 13281								
<i>T1</i> (0,5)	CH I	P6	<i>T2</i> (1,0)	CH I	P5	<i>T3</i> (1,5)	CH I	P3
	CH II	P6		CH II	P6		CH II	P5
	CH III	P6		CH III	P6		CH III	P3

Fonte: O autor, (2021)

4.2.3 Determinação da Resistência à Compressão de Corpos de Prova Cilíndrico

Como experimento complementar, foi realizado o ensaio de resistência à compressão em corpos de prova cilíndrico, utilizando como referência a NBR 7215/2019, aos 28 dias sendo executado em 2 corpos de prova cilíndricos 5x10, para cada traço. O Gráfico 08 apresenta os resultados obtidos, adotando a resistência média entre os 2 corpos de prova.

Gráfico 08: Resultados do ensaio de resistência à compressão cilíndrico



Fonte: O autor, (2021)

O ensaio complementar de resistência à compressão em corpos de prova cilíndricos forneceu resultados diferentes do ensaio em corpos de prova prismáticos.

4.2.3.1 – Quanto ao Teor

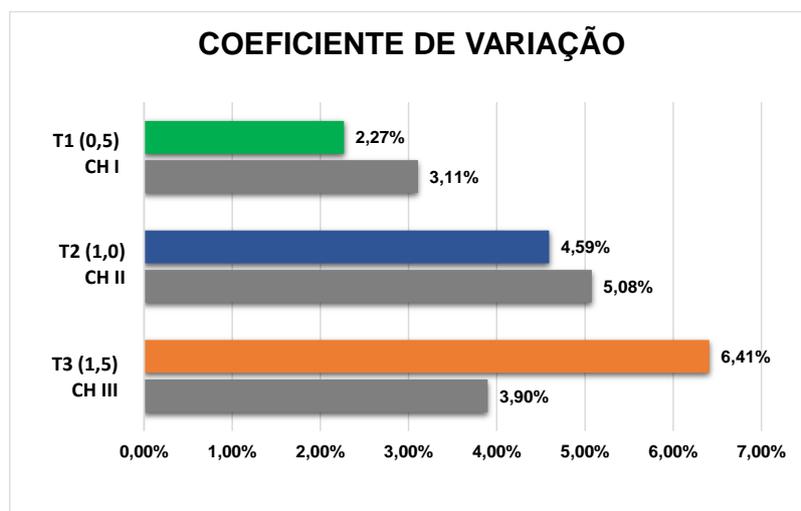
No que diz respeito ao teor da Cal, o ensaio proporcionou um resultado coerente e diferente do ensaio em moldes prismáticos, o menor teor de cal foi o que desempenhou melhor resistência. Em todos os casos a resistência à compressão axial foi decrescente à medida que foi aumentado o teor da cal.

4.2.3.2 – Quanto ao Tipo

Quanto ao tipo, o presente ensaio apresentou características idênticas ao ensaio de compressão em moldes prismáticos, onde o tipo de cal intermediária (CH II), desempenhou melhor resistência.

O Gráfico 09 apresenta o coeficiente de variação entre os teores e tipos de cal dos traços produzidos.

Gráfico 09: Coeficiente de variação entre os teores e tipos de cal no ensaio de resistência à compressão cilíndrico



Fonte: O autor, (2021)

4.3 Análise dos resultados

Os resultados obtidos são apresentados Tabela 22 correlacionando os valores finais dos ensaios realizados no estado fresco e endurecido, através de uma análise comparativa da variação dos tipos (CHI, CHII e CHIII) e dos teores de cal (T1 - 1:0,5:6, T2 - 1:1,0:6, T3 - 1:1,5:6).

Tabela 22: Análise comparativa entre os resultados para variação dos teores e tipos de cal

ANÁLISE COMPARATIVA					
	ENSAIO	TRAÇO/CAL	CH I	CH II	CH III
ESTADO FRESCO	DENSIDADE DE MASSA (kg/m ³)	T1 (0,5)	1984	1846	1640
		T2 (1,0)	2016	1967	1826
		T3 (1,5)	2053	2079	2005
	ÍNDICE DE CONSISTÊNCIA (mm)	T1 (0,5)	151	161	163
		T2 (1,0)	132	140	148
		T3 (1,5)	125	139	127
ESTADO ENDURECIDO	TRAÇÃO NA FLEXÃO (Mpa)	T1 (0,5)	2,49	2,74	2,29
		T2 (1,0)	2,13	3,52	2,21
		T3 (1,5)	0,97	1,38	0,78
	COMPRESSÃO AXIAL - Prismático (Mpa)	T1 (0,5)	11,90	12,10	9,73
		T2 (1,0)	7,40	13,97	11,30
		T3 (1,5)	2,77	5,80	3,20
	COMPRESSÃO AXIAL - Cilíndrico (Mpa)	T1 (0,5)	9,20	9,25	8,05
		T2 (1,0)	6,65	9,00	7,20
		T3 (1,5)	4,60	5,65	3,00

Fonte: O autor, (2021)

CAPÍTULO 5

Os resultados do programa experimental e as análises realizadas, permitiram as considerações finais e conclusões apresentadas nesse capítulo. Na sequência, também são aprestadas as propostas de temas para trabalhos futuros.

5.1 Considerações Finais

Esse estudo teve o intuito de avaliar como o teor e os tipos de cal pode influenciar na propriedade reológica de uma argamassa de revestimento, levando em consideração que esse tipo de argamassa é bastante usual na realidade das obras atuais.

Partindo desse intuito o estudo buscou uma análise experimental, cumprindo todas as exigências da Associação de Normas Técnicas Brasileiras (ABNT) para os ensaios no estado fresco e endurecido. Apesar de simples, os experimentos apresentaram parâmetros relevantes para o critério reológico das argamassas.

O estudo mostrou que a variação de mais ou menos cal em um traço, assim como o tipo de cal utilizado, interferem no resultado final. Apesar do estudo ser voltado para reologia, onde a caracterização está nos ensaios de estado fresco, houve uma preocupação em analisar também os resultados da resistência de uma argamassa mista para revestimento.

5.2 Conclusões

O presente trabalho permitiu concluir acerca de pontos listados a seguir.

- a) O teor de cal influencia na densidade de modo que quanto maior o teor de cal, mais densa a argamassa. Quanto ao tipo de cal, foi possível observar que quanto mais pura, maior a sua densidade, ou seja, a densidade diminui a medida que o percentual dos óxidos classificam a Cal em CH I, CH II e CH III, apesar do valor divergente no T3 CHII.
- b) O ensaio de flow table serviu para caracterizar a consistência da argamassa de cada traço podendo ser mais menos fluída. “No ponto de vista reológico, a fluidez da argamassa está associada a capacidade da mistura em resistir ao escoamento. Portanto, a argamassa de consistência mais fluída, representa misturas com menores valores de escoamento” (Carasek, 2010). Dessa forma, o traço menor teor e cal mais impura, traço T1 CH III foi o traço que apresentou maior consistência.
- c) No ensaio de resistência à tração na flexão, o aumento excessivo do teor de cal provoca perda de resistência o que não é interessante para argamassas de revestimento, já que estas devem suportar os esforços de tensão no sentido de evitar fissuração. O estudo de Forti (2017) ao analisar o comportamento mecânico do aumento do teor da cal, também apresentou queda de resistência à tração na flexão quando utilizado em excesso. Nessa dissertação, o resultado do traço T2, em relação ao teor, deveria ser repetido devido a sua discrepância de valores em relação a coerência dos resultados. Em relação ao tipo de cal, foi

- observado que a cal intermediária (CH II), colabora na capacidade da mistura e consequentemente no ganho de resistência.
- d) No ensaio de compressão axial (prismáticos), inicialmente o teor de cal colabora para o ganho de resistência, mas com o aumento do teor foi possível perceber uma queda na resistência, o que comprova que o teor da cal hidratada deve ter um volume ideal para sua utilização nas argamassas de revestimento. Em relação ao tipo de cal, assim como no ensaio de resistência à tração na flexão, a cal intermediária (CH II) colabora na resistência à compressão. O percentual de óxidos presentes nesse tipo de cal, retém mais água melhorando relação a/c.
 - e) O ensaio de resistência à compressão cilíndrico apresentou resultado divergente do ensaio de compressão axial prismático no que diz respeito ao teor. O aumento do teor de cal no ensaio de compressão em CP's cilíndricos, apresentou queda constante de resistência, diferente do esperado. Certamente, o processo de moldagem e adensamento dos corpos de prova podem impactar no resultado final pois as bolhas de ar formadas na moldagem de um adensamento manual (CP's cilíndricos) tendem a ser maiores do que um adensamento mecânico (CP's prismáticos) influenciando no resultado final da ruptura. O estudo de Nalon *et al.* (2016) apresenta os efeitos da forma e tamanho dos corpos de prova na determinação da resistência à compressão e deformabilidade de argamassa de cimento-cal.

Em ambos os ensaios de resistência foi possível perceber que a argamassa T2 CH II, teve um melhor desempenho chegando a 3,52Mpa em tração na flexão e 13,97Mpa em compressão axial, porém ao fazer uma correlação com o estado fresco a argamassa não foi a melhor no critério de consistência.

Do ponto de vista reológico, a argamassa T1 CH III apresentou melhor viscosidade e trabalhabilidade dentre as demais. Mas, é importante ressaltar que a diferença da cal CH III para a cal CH II não é relevante, o que pode se tornar mais interessante utilizar a Cal CH II, pois a cal CH III apresenta um índice de impurezas maior que pode desencadear outros fatores, como manifestações patológicas.

Em relação aos parâmetros reológicos, os ensaios apresentaram considerações relevantes com uma certa sensibilidade na avaliação da argamassa, inclusive no critério de aplicabilidade onde caracteriza uma argamassa de maior ou/e menor dificuldade de espalhamento provocada por cada variação da composição do traço.

Alguns outros métodos para o estado fresco podem apresentar sensibilidade melhor do ponto de vista reológico, como o ensaio de Squeeze flow por caracterizar uma situação de fluxo dos materiais por meio de parâmetros de carga e deslocamento.

Apesar da pequena variação entre os resultados obtidos, é possível perceber que a argamassa T2 CHII apresenta uma tendência mais satisfatória em ambos os estados, quando comparada com as demais. No ponto de vista reológico, apresenta uma certa viscosidade e trabalhabilidade usual e no estado endurecido melhor desempenho. Apesar de não ser uma cal tão pura, como a CH I, é uma das cales mais fáceis de encontrar no mercado e de melhor benefício custo.

5.3 Sugestões para Trabalhos Futuros

Com base na experiência desse estudo, sugere-se algumas complementações e desenvolvimento para trabalhos futuros:

- Utilizar ensaios complementares no estado fresco, como: squeez flow, reômetro e cisalhamento direto.
- Estudos de aplicação de uma argamassa T2 CH II, ao longo do tempo, como: dureza superficial, aderência.
- Estudo da variação das marcas das Cales, como podem influenciar no estado fresco e endurecido.

REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM C 157 - Standard Test Method for Length Change of Hardened Hydraulic-Cement Mortar and Concrete.** Philadelphia, 1999.

ANGELIM, Renato. **Influência da adição de finos calcários, silicosos e argilosos no comportamento das argamassas de revestimento.** Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2000.

ANTUNES, R. P. N.. **Influência da reologia e da energia de impacto na resistência de aderência de revestimentos de argamassa.** Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo- USP. São Paulo, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Cimento: diferentes tipos e aplicações.** Disponível em: <https://abcp.org.br/cimento-diferentes-tipos-e-aplicacoes/>. São Paulo, 2018.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7215 – Cimento Portland – Determinação da resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos,** Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10520 – Informações e documentações – Citações em documentos - Apresentação,** Rio de Janeiro, 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11579 – Cimento Portland – Determinação do índice de finura por meio da peneira 75µm (nº200),** Rio de Janeiro, 2012.

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

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13278 – Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado**, Rio de Janeiro, 2005.

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

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

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13529 – Revestimento de paredes e tetos de argamassa inorgânica - Terminologia**. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15258 – Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência potencial de aderência à tração**, Rio de Janeiro, 2021.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16541 – Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Preparo da mistura para realização de ensaios**, Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16605 – Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação da massa específica**, Rio de Janeiro, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16607 – Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação do tempo de pega**, Rio de Janeiro, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16697 – Cimento Portland - Requisitos**, Rio de Janeiro, 2018.

ASSOCIATION EUROPEAN MORTAR INDUSTRY. **EN 1015-3 - Methods of test for mortar for masonry - Part 3: Determination of consistence of fresh mortar (by flow table)**. Lisboa, 1999.

ASSOCIATION EUROPEAN MORTAR INDUSTRY. **EN 12706 - Test methods for hydraulic setting floor smoothing and/or leveling compounds – Determination of flow characteristics**. Lisboa, 1999.

BAUER, E. **Dosagem de argamassas**. Relatório Técnico - Laboratório de Ensaio de Materiais (LEM), Universidade de Brasília, Brasília, 1998.

BAUER, Elton e et. al. **Revestimento de Argamassa: Características e Peculiaridades**. Sinduscon. Brasília – DF, 2005.

BETIOLI, Andrea; JOHN, Vanderley; GLEIZE, Phillipe; PILEGGI, Rafael. **Caracterização Reológica de Pasta Cimentícia: associação de técnicas complementares**. Revista Antac, n. 4, v.9, p. 37-48. Porto Alegre - SC, 2009.

BETIOLI, A. M. **Influência dos polímeros MHEC e EVA na hidratação e comportamento reológico de pastas de cimento Portland**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, 211p. Florianópolis - SC, 2007.

CAMPOS, Marina. **Estudo da resistência de aderência à tração e ao cisalhamento de revestimentos de argamassa em substrato de concreto**. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Goiás. Goiânia, 2014.

CARASEK, Helena. **Aderência de argamassa à base de cimento Portland a substratos porosos: avaliação dos fatores intervenientes e contribuição ao estudo do mecanismo da ligação**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil e Urbana) – Departamento de Engenharia Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 1996.

CARASEK, Helena. Argamassas. **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciências de Materiais**. In: Isaías, G. C (Org.), 3º edição. IBRACON, v. 2. São Paulo, 2007.

CARASEK, Helena. Argamassas. **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciências de Materiais**. In: Isaías, G. C (Org.), 2º edição. IBRACON, v. 1, p. 893-943. São Paulo, 2010.

CARDOSO, Fábio; PILEGGI, Rafael; JOHN, Vanderley. **Caracterização Reológica de Argamassa pelo Método de Squeeze-Flow**. In Seminário Brasileiro de Tecnologia de Argamassas (SBTA) VI, 2005, Florianópolis - SC.

CINCOTTO, Maria; A. et al. **Propriedades das argamassas de cimento: cal : areia**. In: Seminário sobre argamassas, IBRACON. São Paulo, 1985.

CINCOTTO, Maria; RAGO, Fabiola. **Influência do Tipo da Cal Hidratada na Reologia das Pastas**. Boletim da USP, n. 233. São Paulo, 1999.

CINCOTTO, Maria; CARASEK, H. **Argamassas de revestimento: propriedades, características e métodos de ensaios**. IPT, São Paulo, 1995.

COSTA, Marianne; **Notas de aula de tecnologia das argamassas, Parte I**; Universidade Federal do Paraná. Paraná, 2016.

DUBAJ, Eduardo. **Estudo comparativo entre traços de argamassa de revestimento utilizadas em Porto Alegre**. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2000.

HU, C.; De LARRARD, F.; GJ.RV, O. E. **Rheological testing and modeling of fresh high performance concrete**. Materials and Structures, v.28. Londres, 1995.

FORTI, Eduardo. **Influência da cal hidratada nas características da argamassa de revestimento realizada em obra**. Trabalho de Conclusão de Curso, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas do Centro Universitário. Lajeado, 2017.

FIORITO, Antônio. **Manual de Argamassa e Revestimentos**. 2º edição, PINI. São Paulo, 1994.

MACIEL, Luciana Leone. BARROS, Mércia M. S. Bottura. SABBATINI, Fernando Henrique. **Recomendações para execução de revestimentos de argamassa para paredes de vedação internas e externa e tetos.** São Paulo, 1998.

NAKAKURA, E. H. ; CINCOTTO, M. A. **Análise dos requisitos de classificação de argamassas de assentamento e revestimento.** Boletim Técnico da USP, São Paulo – SP, 2004.

NALON, Gustavo; MARTINS, Roseli; ALVARENGA, Rita; LIMA, Gustavo; PEDROTI, Leonardo; SANTOS, White; **Effects of Specimens shape and size on the determination of compressive strength and deformability of cement-lime mortars.** In Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais (CBECiMat), 2016, Natal – RN.

RARO, F. **Características Reológicas de Pastas de Cales Hidratadas Normalizadas e de Cimento.** Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica da USP, São Paulo, 1999.

RECENA, F. A. P. **Conhecendo Argamassa.** Porto Alegre: EDIPUCRS, 2008. 192p

RIBEIRO, Daniel. **Notas de aula de ciência dos materiais cimentícios, Unidade II;** Universidade Federal da Bahia. Salvador, 2019.

RILEM. M.R, **The Complex Workability – Consistence – Plasticity,** France (1982).

SELMO, S. M. S. **Dosagem de argamassas de cimento Portland e cal para revestimento externo de fachadas dos edifícios.** Dissertação (Mestrado), Universidade de São Paulo, São Paulo, 1989.

SOUSA, J. G. G; BAUER, Elton. **Estudo da Reologia das Argamassas de Revestimento no Estado Fresco.** In Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais (CBECIMAT), 2002, Natal – RN.

TANNER, R. I. **Engineering rheology.** Revista - New York: Oxford Science Publications. Oxford University, 1988.

YOSHIDA, A. T.; BARROS, M. M. S. BOTTURA de. **Caracterização de argamassas no estado fresco – Peculiaridade da análise de argamassa industrializada.** In: Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas (SBTA) I, 1995, Goiânia – GO.