

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

VANESSA MARCONI JAMARIM

**ESTUDO COMPARATIVO DE PROPRIEDADES FÍSICAS E  
MECÂNICAS DE ARGAMASSAS PRODUZIDAS COM CAL VIRGEM,  
HIDRATADA E LÍQUIDA**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CAMPO MOURÃO

2015

VANESSA MARCONI JAMARIM

**ESTUDO COMPARATIVO DE PROPRIEDADES FÍSICAS E  
MECÂNICAS DE ARGAMASSAS PRODUZIDAS COM CAL VIRGEM,  
HIDRATADA E LÍQUIDA**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à Disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2 do curso superior de Engenharia Civil do Departamento Acadêmico de Construção Civil - da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

**Orientadora:** Profa. Dra. Fabiana Goia Rosa de Oliveira.

**Coorientador:** Tecn. Fábio Rodrigo Kruger.

CAMPO MOURÃO

2015



Ministério da Educação  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Câmpus Campo Mourão  
Diretoria de Graduação e Educação Profissional  
Departamento Acadêmico de Construção Civil  
Coordenação de Engenharia Civil



---

## TERMO DE APROVAÇÃO

### Trabalho de Conclusão de Curso

### ESTUDO COMPARATIVO DE PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DE ARGAMASSAS PRODUZIDAS COM CAL VIRGEM, HIDRATADA E LÍQUIDA.

por

**Vanessa Marconi Jamarim**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado às 16:00h do dia 18 de Junho de 2015 como requisito parcial para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL, pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

**Prof. Esp. Sérgio Roberto Oberhauser  
Quintanilha Braga**  
( UTFPR )

**Prof. Me. Adalberto Luiz Rodrigues de  
Oliveira**  
( UTFPR )

**Tecn. Fábio Rodrigo Kruger**  
( UTFPR )  
Co-orientador

**Profa. Dra. Fabiana Goia Rosa de Oliveira**  
(UTFPR)  
**Orientadora**

Responsável pelo TCC: **Prof. Me. Valdomiro Lubachevski Kurta**

Coordenador do Curso de Engenharia Civil:

**Prof. Dr. Marcelo Guelbert**

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

Aos meus pais Claudio e Vandercina que não mediram esforços para a realização desse sonho.

A memória do meu avô, Eugênio Marconi.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar a Deus que iluminou o meu caminho durante esta caminhada, sem ele nada é possível. Por estar sempre ao meu lado me dando forças para superar todas as dificuldades, principalmente a saudade de casa. Agradeço a Nossa Senhora pela interseção junto ao Pai e proteção.

Aos meus pais Claudio e Vandercina pelo amor incondicional, por me apoiarem na caminhada para realização desse sonho, por toda educação, carinho, confiança e por estarem sempre presentes, sem eles nada disso seria possível.

Aos meus irmãos Anderson e Rosana pela amizade, apoio e companheirismo, por sempre me darem forças em todos os momentos.

Ao meu namorado Lucas pela paciência, amor, compreensão, carinho, ajuda, dedicação e por estar ao meu lado sempre.

À minha orientadora, professora Dr<sup>a</sup>. Fabiana Goia por sua paciência, dedicação, incentivo e por compartilhar comigo seus conhecimentos no desenvolvimento desse trabalho.

Ao meu coorientador Fábio e ao estagiário do laboratório Abner, pela orientação e ajuda com os ensaios realizados para a conclusão do trabalho.

Aos professores da DACOC por todos os ensinamentos e por compartilharem suas valiosas experiências ao decorrer do curso.

A minha amiga Daniara por todo apoio, compreensão e força durante essa jornada.

Aos meus amigos Luana, Carol, Paulo, Marcos, Tamy, Othon, Lara, Fernando e Ana Flávia que se tornaram minha família nessa cidade, compartilhando todos os momentos de alegrias e também os de aflições, ao lado de vocês cada obstáculo foi vencido mais facilmente, guardarei essa amizade eternamente. Ao Fernando agradeço também pela imensa ajuda na escolha do tema do trabalho.

Aos meus familiares que me apoiaram e sempre torceram para que esse sonho se realizasse.

Agradeço a todos que, direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

## RESUMO

JAMARIM, Vanessa M. **ESTUDO COMPARATIVO DE PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DE ARGAMASSAS PRODUZIDAS COM CAL VIRGEM, HIDRATADA E LÍQUIDA**. 2015. 51 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil). Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Campo Mourão. Campo Mourão, 2015.

As argamassas apesar de serem muito utilizadas, ainda são caracterizadas por grande incidência de patologias, tempo de mão-de-obra elevado, altos custos na produção e também na variação da qualidade da mesma. A eficiência de uma argamassa depende da qualidade de seus materiais, como também da aplicação de traços certos para cada serviço específico. O presente trabalho tem como objetivo comparar argamassas com diferentes tipos de cal, sendo estas: cal virgem, cal hidratada e cal líquida; e analisar o desempenho de cada uma de acordo com os resultados dos ensaios desenvolvidos em seu estado fresco e endurecido. Utilizou-se cimento Portland CP II E 32 e agregado miúdo com granulometria média. Produziu-se argamassa com os traços em volume de cimento, cal e agregado miúdo 1:1:6 e 1:3:8 para as argamassas com cal virgem e hidratada, e argamassas com volume de cimento e agregado miúdo 1:6 e 1:8 para as argamassas com cal líquida. Com as argamassas em seu estado fresco foi determinado o índice de consistência executando-se três repetições para cada variação da argamassa, tanto em traço quanto na variedade da cal, já no seu estado endurecido foram determinadas a resistência à compressão e a absorção de água por capilaridade, utilizando-se quatro corpos de prova para cada argamassa para cada traço, totalizando assim 24 corpos de prova para cada ensaio. Os resultados mostraram que as argamassas produzidas com cal virgem e hidratada apresentam melhor trabalhabilidade, porém a argamassa com cal virgem apresentou um pior desempenho com relação a absorção de água e a resistência à compressão. A argamassa com cal hidratada apresentou o melhor desempenho com relação a resistência à compressão, já a argamassa com cal líquida apresentou melhor desempenho com relação a absorção de água.

**Palavras-chave:** Argamassa, Cal virgem, Cal hidratada, Cal líquida, Traço.

## ABSTRACT

JAMARIM, Vanessa M. **COMPARATIVE STUDY OF THE PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF MORTAR PRODUCED WITH QUICKLIME, HYDRATED LIME AND LIQUID LIME.** 2015. 51 p. Final Paper (Bachelor of Civil Engineering). Federal Technological University of Paraná –Campo Mourão Campus. Campo Mourão, 2015.

Although widely used, mortars are still characterised by high incidence of pathologies, long hours of labour, high production costs and also variation of its quality. The efficiency of a mortar depends on the quality of its materials, as well as the correct application of the right mixing ratios for each specific service. This paper has as its objective to compare mortars with different types of lime, being these: quicklime, hydrated lime and liquid lime; and to analyse the performance of each one according to the results of tests carried out in its fresh and hardened states. It was used Portland cement CP II E 32 and fine aggregate with medium grain size. It was produced mortar with mixing ratios in volume of cement, lime and fine aggregate 1:1:6 and 1:3:8 for the mortars made with quicklime and hydrated lime, and mortars with volume of cement and fine aggregate 1:6 and 1:8 for the mortars made with liquid lime. With the mortars in their fresh state, it was determined the consistency index by running three iterations for each mortar variation, both in mixing ratio and variety of lime, while for the hardened state the resistance to compression and the capillary water absorption were determined, using four specimens for each mortar for each ratio, totalling then 24 specimens for each test. The results showed that the mortars which were produced with quicklime and hydrated lime present the best workability, however the quicklime mortar presents the worst performance in relation to water absorption and resistance to compression. The hydrated lime mortar presented the best performance in relation to resistance to compression, while the liquid lime mortar presented better performance in relation to water absorption.

**Keywords:** Mortar, Quicklime, Hydrated lime, Liquid lime, Mixing ratio.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Propriedades relacionadas com a trabalhabilidade das argamassas. ....	22
Figura 2 - Misturador mecânico de argamassa. ....	28
Figura 3 - Peneirador mecânico. ....	29
Figura 4 - Materiais para determinação do índice de consistência.....	32
Figura 5 - Corpo de prova pra o ensaio índice de consistência.....	33
Figura 6 - Corpo de prova do índice de consistência após ser ensaiado. ....	34
Figura 7 - Montagem do corpo de prova cilíndrico. ....	35
Figura 8 - Ensaio de resistência a compressão do corpo de prova cilíndrico.....	36
Figura 9 - Ensaio de absorção de água com corpos de prova cilíndricos. ....	37



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Classificação das areias quanto ao módulo de finura. ....	20
Tabela 2- Resistência a compressão. ....	26
Tabela 3- Coeficiente de capilaridade. ....	26
Tabela 4- Quantidade de agregado miúdo retido em cada peneira, para determinação do modulo de finura. ....	29
Tabela 5- Fator água cimento utilizado em cada argamassa. ....	30
Tabela 6- Resultados do ensaio de índice de consistência. ....	39
Tabela 7- Resultados dos ensaios de resistência a compressão. ....	41
Tabela 8- Valores das massas de cada corpo de prova obtidos nos tempos de 0, 10 e 90 minutos. ....	43
Tabela 9 – Resultados da absorção de água por capilaridade aos 10 e 90 minutos. ....	44
Tabela 10- Coeficiente de absorção de água por capilaridade ....	46

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1- Relação entre a resistência à compressão e o fator $a/c$ .....	42
Gráfico 2: Variação de absorção de água por capilaridade para cada tempo de análise.....	45
Gráfico 3 - Relação do coeficiente de capilaridade e o fator $a/c$ .....	47

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO .....	12
2 OBJETIVOS .....	13
2.1 OBJETIVO GERAL .....	13
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	13
3 JUSTIFICATIVA .....	14
4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	15
4.1 ARGAMASSAS .....	15
4.2 TIPOS DE ARGAMASSAS.....	16
4.2.1 Argamassa de cal.....	16
4.2.2 Argamassa de cimento.....	16
4.2.3 Argamassa mista.....	17
4.3 COMPONENTES DAS ARGAMASSAS.....	17
4.3.1 Cimento.....	17
4.3.2 Cal.....	18
4.3.3 Agregados miúdos .....	19
4.4 DOSAGEM DAS ARGAMASSAS.....	20
4.5 PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DAS ARGAMASSAS.....	21
4.5.1 Trabalhabilidade.....	21
4.5.2 Retenção de água.....	23
4.5.3 Resistência a compressão .....	23
4.5.4 Durabilidade .....	24
4.5.5 Absorção de água .....	25
4.6 CLASSIFICAÇÃO DAS ARGAMASSAS .....	25
5 METODOLOGIA.....	27
5.1 DOSAGEM.....	27
5.2 COMPONENTES DA ARGAMASSA.....	27
5.2.1 Cimento.....	27
5.2.2 Cal.....	27
5.2.3 Agregado miúdo .....	28
5.2.4 Água.....	30
5.3 ARGAMASSA.....	30
5.4 ÍNDICE DE CONSISTÊNCIA .....	31
5.2.2 Resistência a compressão .....	34
5.2.3 Absorção de água .....	36
6 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	39
6.2 RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO .....	40

6.3 ABSORÇÃO DE ÁGUA.....	42
7 CONCLUSÕES .....	48
8 REFERÊNCIAS.....	50

## 1 INTRODUÇÃO

As argamassas apesar de serem muito utilizadas, ainda são caracterizadas por grande incidência de patologias, tempo de mão-de-obra elevado, altos custos na produção e também na variação da qualidade da mesma.

Com o objetivo de reverter esse quadro, o setor da construção civil investe constantemente no aprimoramento de seus processos com a adoção de novas tecnologias e novos materiais. Um exemplo desse aprimoramento é a cal líquida, que está recentemente sendo reconhecida pelo mercado. A cal hidratada e a cal virgem são as mais utilizadas até o presente momento.

A cal proporciona melhorias consideráveis em algumas das propriedades da argamassa, porém alguns problemas como a fissuração podem se dar pela má utilização e má qualidade da cal.

A eficiência de uma argamassa, não depende de sua utilidade (elevação de alvenaria, revestimento ou assentamento de piso), mas sim da qualidade da cal e da areia, como também da aplicação de traços certos para cada serviço específico. A maioria das obras de construção civil tem o costume de usar traços diferentes para serviços distintos, adicionando-se uma quantidade maior ou menor de cimento. Devido a esse motivo, para a aplicação das argamassas, é enumerada, nas obras de construção civil, uma lista de diversos serviços com a indicação dos traços recomendados. (Ripper, 1995 Apud SANTOS JUNIOR, 2009).

Neste contexto, o trabalho tem como objetivo realizar ensaios para determinação de propriedades físicas e mecânicas de argamassas com diferentes tipos de cal, analisando-se o desempenho de cada uma e comparando-as, sendo possível verificar a adequação de cada uma na construção civil.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

Comparar argamassas com diferentes tipos de cal, sendo estas: cal virgem, hidratada e líquida; e analisar o desempenho de cada uma de acordo com os resultados dos ensaios desenvolvidos, em seu estado fresco e endurecido.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar ensaios de consistência, resistência à compressão e absorção de água de argamassas com diferentes tipos da cal.
- Avaliar os resultados obtidos e estabelecer comparações entre as argamassas.
- Verificar o nível de adequação de cada tipo de cal para o uso na construção civil.

### 3 JUSTIFICATIVA

A argamassa é um material muito utilizado na construção civil, entre seus componentes se destaca a cal, segundo Niques (2003) no contexto da economia mundial, a cal – virgem e hidratada – encontra-se entre os dez produtos de origem mineral mais consumidos. Este produto torna-se ainda mais importante quando se conhece a diversidade de setores industriais e sociais que dele se utilizam: 23,4% da cal consumida no país esta aplicada na construção civil.

No caso da cal virgem, esta deve necessariamente ficar em contato com a água por um determinado período de tempo antes da sua aplicação na argamassa, para que ocorra a sua total hidratação. É devido à interrupção deste processo que ocorrem alguns problemas nas argamassas após sua aplicação. (NIQUES, 2003, p.1). Segundo a NBR 7200 (1998) esse processo tem a duração de sete dias.

A cal hidratada não necessita desse tempo em contato com a água antes de sua utilização, podendo ser utilizada diretamente na produção da argamassa sem passar por este processo em obra, assim como a cal líquida.

A utilização de cada tipo de cal varia de região para região e também de acordo com o executor da obra, há crenças em determinadas regiões que a cal virgem após a sua hidratação tenha uma melhor qualidade em comparação a cal hidratada, já em outras regiões utiliza-se a cal hidratada sem contestar, teoricamente os resultados seriam bem próximos utilizando- se qualquer um dos dois tipos de cal. A cal líquida apesar de estar tornando-se conhecida atualmente, vem ganhando mercado em algumas regiões.

Pretende-se através desse trabalho obter resultados de propriedades físicas e mecânicas das argamassas e compará-los, podendo- se assim reconhecer as diferenças apresentadas por cada uma e avaliar a melhor adequação de cada tipo de argamassa com a função que esta exercerá após sua aplicação.

## 4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 4.1 ARGAMASSAS

Argamassas segundo Carasek (2007, p.863) são materiais de construção, com propriedades de aderência e endurecimento, obtidos a partir da mistura homogênea de um ou mais aglomerantes, agregado miúdo (areia) e água, podendo conter ainda aditivos e adições minerais.

As argamassas usadas antigamente eram à base de areia e cal. Com as crescentes alterações realizadas nas construções e técnicas construtivas, foram desenvolvidos novos materiais. Atualmente as argamassas têm o uso frequente em sua composição do cimento portland e, em algumas situações tem-se também a necessidade de utilizar-se aditivos orgânicos, para melhorar ou até mesmo reparar algumas propriedades, um exemplo é a trabalhabilidade. (CARASEK, 2007)

Fiorito (1994, p.29) assegura que a denominação das argamassas é função do aglomerante utilizado, podendo ser o cimento, a cal ou mista (cimento e cal). A determinação do uso do aglomerante ou da mistura dos diversos tipos de aglomerantes tem que ser de acordo com a finalidade do produto final. Podem-se citar como exemplo, as argamassas que são atribuídas a alvenarias de alicerces utilizam o cimento como aglomerante, já que devem apresentar boa resistência e condição de endurecimento favorável. Também são indicadas para o chapisco, por terem resistência em curto prazo.

Para o emboço e reboco são indicadas argamassas que contenham como aglomerantes a cal e o cimento, pois apresentam plasticidade, elasticidade e condições favoráveis de endurecimento, obtendo ainda um excelente acabamento. São utilizadas também no assentamento de alvenaria de vedação. Contudo as argamassas que têm somente o cimento como aglomerante apresentam maior resistência, porém são de difícil trabalhabilidade. A cal é adicionada a fim de transformá-la em uma material mais plástico facilitando assim o acabamento (FIORITO, 1994 p.29).



## 4.2 TIPOS DE ARGAMASSAS

Atualmente tem-se vários tipos de argamassas, pode-se citar entre elas as argamassas de cal e agregado miúdo, argamassas de cimento e agregado miúdo e também as argamassas de cimento, agregado miúdo e cal, conhecidas como mistas.

### 4.2.1 Argamassa de cal

Esta argamassa tem em sua composição a cal, o agregado miúdo e a água. A pasta de cal tem a função de preencher os vazios existentes entre os agregados miúdos, melhorando-se assim a retenção de água e a plasticidade. Segundo Silva (2006, p.26) a argamassa de cal recebe usualmente o nome de argamassa intermediária, pois quando se utiliza a cal virgem este tipo de argamassa é utilizado para a maturação da cal, para posteriormente ser misturado o cimento.

### 4.2.2 Argamassa de cimento

Argamassa composta essencialmente de cimento portland, agregado miúdo e água, em comparação com a argamassa de cal, ela apresenta baixa retenção de água e trabalhabilidade, porém apresenta uma elevada resistência mecânica em pouco tempo, são muito utilizadas para elaboração de chapisco, com a finalidade de aumentar a resistência de aderência do revestimento de argamassa mista. (SILVA, 2006, p.26)

### 4.2.3 Argamassa mista

São argamassas de cimento portland, cal, agregado miúdo e água, apresentam boa retenção de água e plasticidade por possuir cal em sua composição e ainda boa resistência mecânica por conter o cimento portland. O nível de importância de cada propriedade varia de acordo com a aplicação da argamassa.

Segundo Alves (1999, p. 195) as argamassas mais importantes são as argamassas mistas.

## 4.3 COMPONENTES DAS ARGAMASSAS

### 4.3.1 Cimento

Segundo Guimarães (1997, p.250), “o cimento Portland é um produto de origem mineral, que tem origem da calcinação de misturas de calcário e argilas. A mistura calcinada “clínquer”, é moída com uma pequena porcentagem de gipsita, que modifica suas propriedades, resultando no produto final.”

O cimento Portland tem propriedades físicas como densidade, finura, tempo de pega, resistência, exsudação e propriedades químicas como estabilidade, calor de hidratação, reação álcali-agregado e resistência aos agentes agressivos. Este tem ação aglomerante desenvolvida pela reação de seus constituintes com a água, resultando em neo-formados hidratados. O cimento Portland é um pó cinza esverdeado, vendido ensacado e com a qualidade garantida. O consumidor deve ter cuidado de não comprar produto há muito tempo estocado, pois a umidade do ar age sobre ele, “empedrando-o” e, assim tirando-lhe o poder cimentante. (WERNER, 2004, p.13-14)

“Usualmente utilizam-se para confecção de argamassas Cimento Portland CP II Z (com adição de material pozolânico) e o CP II F (com adição de material carbonático – filer).” (SILVA, 2006, p. 11)

### 4.3.2 Cal

Werner (2004, p.16) define a cal como um “aglomerante simples, resultante da calcinação de rochas calcárias, que se apresentam sob diversas variedades, com características resultantes da natureza da matéria-prima empregada e do processo conduzido.”

De acordo com Silva (2006, p.12) “os calcários e os dolomitos quando calcinados à temperatura próxima de 1000° C, produzem a cal virgem, pela perda de parte dos seus constituintes (anidrido carbônico – CO<sub>2</sub>)”.

Segundo a NBR 7175 (ABNT, 2003), a cal hidratada é um pó adquirido pela hidratação adequada da cal virgem, é constituída essencialmente de hidróxido de cálcio ou de uma mistura de hidróxido de cálcio e hidróxido de magnésios, ou ainda, de uma mistura de hidróxido de cálcio, hidróxido de magnésio e óxido de magnésio.

Carasek, Cascudo e Scartezini (2001, p.49) afirmam ainda que a cal pode ser classificada conforme sua composição química, em :

- cálcica: teor de CaO  $\geq$  90% em relação aos óxidos totais;
- magnesianas: 65% < CaO < 90%;
- dolomítica: teor de CaO  $\leq$  65%.

Segundo Rago e Cincotto (1999, p.3) a cal proporciona maior plasticidade à argamassa no estado fresco, permitindo melhor trabalhabilidade, uma argamassa com melhor trabalhabilidade proporciona maior produtividade na execução do revestimento. Outra propriedade importante no estado fresco da cal é a retenção de água, pois ela não permite excessiva sucção de água pela base.

O acréscimo de cal hidratada em argamassas de cimento CP I diminui significativamente o módulo de elasticidade, sem afetar na mesma dimensão a resistência à tração, tendendo assim aumentar a vida útil do revestimento. (JOHN, 2003).

Atualmente no mercado também é encontrada a chamada “cal líquida”, um aditivo plastificante que apresenta como composição básica o resinato de sódio, este aditivo vem sendo uma alternativa de substituição da cal tradicional na argamassa. Aditivo de coloração escura que proporciona a argamassa trabalhabilidade, aderência, coesão, ausência de fissuras e menor exsudação. A cal

líquida pode ser aplicada tanto em argamassa para assentamento quanto na argamassa de revestimento.

#### 4.3.3 Agregados miúdos

Agregados miúdos podem ser definidos como “agregados cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 4,75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 150 µm, em ensaio realizado de acordo com a ABNT NBR NM 248, com peneiras definidas pela ABNT NBR NM ISO 3310-1”. (NBR 7211, 2005)

O desempenho da argamassa pode ser afetado diretamente pela granulometria da areia, pois ela interfere na trabalhabilidade e no consumo de água e aglomerantes, no estado fresco. Na argamassa endurecida, exerce influência na fissuração, na rugosidade, na permeabilidade e na resistência de aderência. (ANGELIM, ANGELIM e CARASEK, 2003 Apud SILVA, 2006, p. 14)

Tristão (1995, p.127- 129) estudou a influência da composição granulométrica da areia, recomendada em diferentes especificações, nas propriedades de argamassas de revestimento, onde os resultados foram obtidos através da utilização do módulo de finura. Com os resultados obtidos foi possível observar que não existe qualquer relação significativa entre módulo de finura de diferentes composições granulométricas de uma mesma areia e o desempenho das argamassas.

A areia não participa das reações químicas do endurecimento da argamassa, interferindo no estado fresco pela composição granulométrica; o formato dos grãos influencia na trabalhabilidade e na retenção de água; no estado endurecido, influencia nas resistências mecânicas, na capacidade de deformação e na permeabilidade (CARNEIRO & CINCOTTO, 1999 Apud SILVA, 2006, p.15).

Módulo de finura consiste na soma das porcentagens retidas acumuladas em massa de um agregado nas peneiras de série normal, esse valor dividido por 100. Os agregados miúdos podem ser classificados em grosso, médio ou fino de acordo o seu módulo de finura segundo a tabela 1. (RIBEIRO, PINTO e STARLING, 2002, p. 20)

Tabela 1- Classificação das areias quanto ao módulo de finura.

<b>Tipos</b>	<b>Módulo de finura – MF</b>	<b>Utilização</b>
Areia grossa	MF > 3,3	Concreto e chapisco
Areia média	2,4 < MF < 3,3	Emboço
Areia fina	MF < 2,4	Reboco

Fonte: Ribeiro, Pinto e Starling (2002).

#### 4.4 DOSAGEM DAS ARGAMASSAS

“O adequado desempenho das argamassas depende fundamentalmente da correta escolha dos materiais e de seu proporcionamento na mistura, cujas operações são denominadas Dosagem.” (LARA et al., 1995, p. 63)

Segundo Maccari (2010, p. 34) pode-se dizer que a resistência, impermeabilidade, aderência e trabalhabilidade da argamassa, estão diretamente relacionadas com a proporção utilizada do cimento, areia, água e outros constituintes da argamassa. A dosagem da argamassa, ou seja, a proporção de cada material utilizado é chamada de traço no qual, geralmente, são representados pela seqüência de números que indicam proporção, seja em massa ou volume.

Para o preparo de argamassas de assentamentos e revestimentos é comum o emprego de traço pré- fixados, baseados em normas e documentos elaborados por instituições técnicas. Esses traços propostos por conceituadas instituições técnicas podem servir como ponto de partida para a dosagem de argamassas adequadas. São necessários estudos de dosagem ou pelo menos ajustes nos traços pré- fixados, pois os materiais que compõe a argamassa se diferenciam muito de uma região para outra. Alguns traços que são recomendados por algumas entidades normalizadoras são 1:1:6, 1:2:9, entre outros. As Argamassas que apresentam a relação (areia+plastificante)/cimento mais baixas possíveis pode-se dizer que estas apresentam traço mais rico, ou seja, traços mais fortes, quanto maior essa relação mais pobre o traço da argamassa. (CARASEK, 2007, pg. 895-896)

## 4.5 PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DAS ARGAMASSAS

### 4.5.1 Trabalhabilidade

”Trabalhabilidade é propriedade das argamassas no estado fresco que determina a facilidade com que elas podem ser misturadas, transportadas, aplicadas, consolidadas e acabadas, em uma condição homogênea.” (CARASEK, 2007, p.875).

Após estudos Rago e Cincotto (1999, p.23) verificaram a influência do tipo de cal na trabalhabilidade, concluindo que a dimensão das partículas de cal é a característica que mais afeta a trabalhabilidade das pastas de cal.

Silva (2006, p.96) afirma que os agregados finos quando associados aos britados levam a um aumento da trabalhabilidade das argamassas com cal.

A trabalhabilidade é uma propriedade decorrente da junção de varias outras propriedades, sendo essas listadas e definidas na figura 1.

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

**Figura 1 - Propriedades relacionadas com a trabalhabilidade das argamassas.**

**Fonte: Carasek (2007, p.875).**

A plasticidade adequada para cada mistura, de acordo com a finalidade e forma de aplicação da argamassa, necessita de uma quantidade ótima de água, em função do proporcionamento e natureza dos outros materiais que constituem a argamassa, pode-se considerar quantidade ótima de água sinônimo de consistência ótima. Assim, consistência e plasticidade são os principais fatores condicionantes da propriedade “trabalhabilidade” e, por isso, algumas vezes elas são confundidas como sinônimos da trabalhabilidade. (CARASEK, 2007, p.877)

Há vários métodos de medidas para obter o índice de consistência, conseguindo-se parâmetros para avaliar indiretamente a trabalhabilidade, assegurando-se a administração dessa propriedade no estado fresco. Penetração do cone, mesa de consistência, Vane teste, são métodos que avaliam principalmente a consistência da argamassa.

Para Cascudo, Carasek e Carvalho (2005, p. 85) há uma grande dificuldade em determinar valores de trabalhabilidade das argamassas por meio de ensaios, pois ela não depende somente das características existentes nas argamassas, mas

também da prática e capacidade do pedreiro que esta executando o serviço, além da técnica de aplicação.

#### 4.5.2 Retenção de água

Retenção de água é a capacidade da argamassa no estado fresco de manter sua consistência ou trabalhabilidade quando sujeita a solicitações que provocam perda de água por evaporação, sucção do substrato ou pela hidratação do cimento e carbonatação da cal. (CINCOTTO,1995 Apud SILVA, 2006, p. 21)

Segundo Carasek (2007, p. 881) a retenção de água afeta o comportamento das argamassas tanto no estado fresco quanto endurecido, para que as reações químicas de endurecimento dos aglomerantes ocorram de maneira adequada, as argamassas necessitam de uma adequada retenção de água.

As partículas finas na argamassa aumentam a retenção de água, uma vez que sua superfície específica aumenta a área de contato com a água. A argamassa que contém pouco agregado fino proporciona um atrito entre as partículas grossas facilitando a sedimentação, pois a perda de água rapidamente prejudica a aderência, a capacidade de absorver deformações, a resistência mecânica, e como conseqüência a isto, a durabilidade e a estanqueidade do revestimento e da vedação ficam comprometidas. (ALIEVI, 2010, p. 51)

Sabbatini (1986, p. 5) afirma que a cal melhora as características de retenção de água não só pela sua superfície específica, mas pela capacidade de adsorção de seus cristais, melhorando a ligação entre os componentes da argamassa.

#### 4.5.3 Resistência à compressão

De acordo com Werner (2004, p.21) pode-se avaliar indiretamente a resistência de uma argamassa a diversas ações mecânicas sabendo-se a sua



resistência à compressão, essa resistência tem início com o endurecimento que aumenta continuamente com o tempo.

As argamassas produzidas unicamente de cal e areia apresentam uma resistência pequena e lenta, onde o valor depende muito da umidade apropriada e da adequada absorção do dióxido de carbono do ar, já as argamassas de cimento dependem menos das condições do meio ambiente e do tempo para alcançar a resistência à compressão desejada. De acordo com o emprego da argamassa se define a resistência necessária final. (GASTALDINI, 2000 Apud WERNER, 2004, p.21)

#### 4.5.4 Durabilidade

Segundo Helene e Martinelli (1991), a durabilidade não é considerada a principal propriedade das argamassas, pois depende da consequência de diversas condições externas e internas de exposição.

De acordo com Sabbatini e Baía (2004, Apud ALIEVI, 2010, p. 49) durabilidade pode ser definida como a propriedade que esta relacionada ao período de uso do revestimento, resultante das propriedades do revestimento no estado endurecido e que reflete o desempenho do revestimento diante das ações do meio externo ao longo do tempo. Durante a vida útil do revestimento de argamassa, a integridade poderá ser comprometida por alguns fatores como retração na secagem a fissuração, espessura excessiva, cultura proliferação de microorganismos, a quantidade da argamassa e a falta de manutenção, penetração de água de chuva, temperaturas excessivamente baixas, choque térmico, eflorescências, reações químicas intrínsecas e agentes corrosivos externos.

#### 4.5.5 Absorção de água

Segundo Alievi (2010, p.48) a absorção de água por capilaridade é a capacidade que a água tem de percolação na camada de revestimento, tanto no seu estado líquido quanto no vapor, isso é possível pelo fato da argamassa ser um material poroso. É uma propriedade que se relaciona ao conjunto base-revestimento.

O revestimento deve ser vedado para que não ocorra a percolação da água. Porém é recomendado que o revestimento seja permeável ao vapor, ajudando assim a secagem de umidade da infiltração, ou até mesmo do vapor que ocorre da ação direta do uso da água, principalmente nos banheiros. No caso de fissuras a estanqueidade da vedação fica comprometida, portanto devem-se ter maiores cuidados. A permeabilidade pode ser influenciada por vários fatores como a natureza da base, composição e dosagem da argamassa, técnica de execução e espessura da camada de revestimento e do acabamento fino. (ALEVI, 2010, p.48)

#### 4.6 CLASSIFICAÇÃO DAS ARGAMASSAS

A NBR 13281(ABNT, 2005) – Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Requisitos, estabelece exigências para argamassa utilizada em assentamento e revestimento de paredes e tetos, aplicados igualmente em argamassa industrializada, dosada em central e preparada em obra.

A norma apresenta requisitos com relação a resistência à compressão, densidade de massa aparente no estado endurecido, resistência à tração na flexão, coeficiente de capilaridade, densidade de massa no estado fresco, retenção de água e resistência potencial de aderência a tração. As tabelas 2 e 3 apresentam classificações segundo a NBR 13281.

**Tabela 2- Resistência à compressão.**

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

Fonte: NBR 13281 (2005).

**Tabela 3- Coeficiente de capilaridade.**

Classe	Coeficiente de capilaridade (g/dm <sup>2</sup> .min <sup>1/2</sup> )	Método de ensaio
C1	≤ 1,5	ABNT NBR 15259
C2	1,0 a 2,5	
C3	2,0 a 4,0	
C4	3,0 a 7,0	
C5	5,0 a 12,0	
C6	> 10,0	

Fonte: NBR 13281 (2005).

## 5 METODOLOGIA

### 5.1 DOSAGEM

Os traços adotados para as argamassas com cal virgem e hidratada foram 1:1:6 e 1:3:8, representados em volume de cimento:cal:areia, respectivamente.

Para as argamassas com cal líquida, foram utilizados os mesmos volumes de cimento e areia 1:6 e 1:8, a quantidade de cal líquida aplicada foi a recomendada pelo fabricante (100 ml/50 kg de cimento).

O traço 1:1:6 foi escolhido por ser citado em várias bibliografias, já o traço 1:3:8 por ser muito utilizado nas obras, ambos os traços são recomendados pelo fabricante da cal líquida utilizada.

### 5.2 COMPONENTES DA ARGAMASSA

#### 5.2.1 Cimento

O cimento utilizado na confecção dos corpos de prova foi o cimento Portland CP II- E- 32, fornecido em sacos de 50kg.

#### 5.2.2 Cal

Foram utilizadas: cal virgem, cal hidratada e cal líquida. Preparou-se a mistura de cal virgem, areia e água em um misturador mecânico de argamassa, como mostrado na figura 2, com sete dias de antecedência da confecção dos corpos de prova, logo após esse processo, a mistura foi colocada em um saco plástico e armazenada.

O mesmo processo foi realizado com a cal hidratada, 24 horas antes da confecção dos corpos de prova.



**Figura 2 - Misturador mecânico de argamassa.**

### 5.2.3 Agregado miúdo

O ensaio granulométrico para a areia foi realizado, segundo a NBR 7211: 2009.

Utilizou-se a série de peneiras denominada normal. A abertura das malhas e a seqüência de montagem da série de peneiras estão descritas na tabela 4. A amostra que corresponde a 1000g do agregado miúdo, seco, foi peneirada por aproximadamente 8 minutos pelo peneirador mecânico como ilustrado na figura 3, logo após, pesou-se a quantidade em gramas retidas em cada peneira, esses resultados estão apresentados na tabela 4.

Tabela 4- Quantidade de agregado miúdo retido em cada peneira, para determinação do modulo de finura.

Peneira # (mm)	Peso retido (g)	Porcentagem Retida (%)	Porcentagem Retida acumulada (%)
4,8	0	0	0
2,4	10	1	1
1,2	133	13,3	14,3
0,6	112	11,2	25,5
0,3	394	39,4	64,9
0,15	313	31,3	96,2
Fundo	36	3,6	100
Total	1000	100	



Figura 3 - Peneirador mecânico.

Com os dados da tabela 4 chegou-se nos seguintes resultados:

- Dimensão máxima característica (D.M.C): 0,6 mm;
- Modulo de finura (M.F): 2,8;
- Classificação do agregado: Agregado médio.

### 5.2.4 Água

Para conseguir uma adequada trabalhabilidade para a argamassa fez-se necessário o uso de diferentes volumes de água em sua preparação.

Necessitou-se de um maior volume de água para as argamassas produzidas com o traço 1:3:8 pelo fato de possuírem maiores volumes de aglomerantes e agregados em relação a argamassa produzida com o traço 1:1:6. A argamassa com o traço 1:8 possui somente o volume de agregado maior que as argamassas com traço 1:6, sua quantidade de aglomerantes são iguais, mesmo assim precisou de um volume de água maior pra alcançar a trabalhabilidade desejada.

A variação do volume de água não se dá somente pela diferença de volume de aglomerantes e agregados, também se relaciona com as diferentes propriedades das calis utilizadas em cada argamassa. Com essa variação de volume de água obteve-se diferentes valores do fator água cimento, como pode ser observado na tabela 5.

**Tabela 5- Fator água cimento utilizado em cada argamassa.**

Traço	Tipo de cal	a/c
1:3:8	Virgem	1,8
1:3:8	Hidratada	1,3
1:8	Líquida	1,8
1:1:6	Virgem	0,9
1:1:6	Hidratada	0,8
1:6	Líquida	0,9

### 5.3 ARGAMASSA

A preparação das argamassas que apresentavam em sua composição a cal virgem e a cal hidratada foi executada colocando primeiramente no recipiente do

misturador mecânico de argamassas, a mistura preparada anteriormente com a cal e areia e também o cimento, misturou-se então esses materiais com o misturador mecânico de argamassa, o mesmo indicado na figura 2, após serem devidamente misturados, adicionou-se aos poucos pequenos volumes de água ainda com o misturador ligado, até atingir-se a trabalhabilidade desejada.

As argamassas com cal líquida foram preparadas a partir da mistura do agregado miúdo e do cimento efetuada pelo misturador mecânico, a cal foi adicionada a mistura após ser diluída em uma pequena quantidade de água como recomenda o fabricante. Após obter uma mistura homogênea de todo o material, adicionou-se pequenos volumes de água até atingir-se a trabalhabilidade desejada.

#### 5.4 ÍNDICE DE CONSISTÊNCIA

Neste ensaio, foram realizadas três repetições para cada argamassa, cada repetição necessitou da confecção de um corpo de prova, levando em consideração que temos dois traços diferentes e foram utilizados três tipos de cal, foram ensaiados 18 corpos de prova no total.

Determinou-se o índice de consistência segundo as recomendações da NBR 13276/05: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Preparo da mistura e determinação do índice de consistência.

Preparou-se a argamassa como descrito no item 5.3, após sua preparação deixou-se em repouso por 15 minutos. Em seguida homogeneizou-se a argamassa manualmente com a espátula por um período de no máximo de 30 segundos.

Para a determinação do índice de consistência limpou-se o tampo da mesa para índice de consistência e a parede do molde tronco-cônico o qual pode-se observar na figura 4, para que as superfícies ficassem ligeiramente úmidas.





**Figura 4 - Materiais para determinação do índice de consistência.**

Para a confecção do corpo de prova posicionou-se o molde cônico no centro do tampo da mesa de índice de consistência após ser limpa, com a ajuda de um colaborador para segurar firmemente o molde para que não houvesse deslocamento durante a confecção do corpo de prova, começou-se a moldá-lo. Sua moldagem se fez em três etapas na qual colocou-se argamassa até 1/3 da altura do molde com a ajuda de uma espátula, e então aplicou-se 15 golpes com o soquete de maneira a distribuí-la uniformemente, da mesma maneira colocou-se as outras duas camadas restantes, aplicando em cada uma delas respectivamente 10 e 5 golpes. O molde cônico apresenta as seguintes dimensões:

- Diâmetro superior: 80 mm;
- Diâmetro inferior: 125 mm;
- Altura: 65 mm.

Eliminou-se qualquer partícula em volta do molde com o pano úmido. E logo após retirou-se o molde cônico, tendo assim o corpo de prova pronto para o ensaio como pode-se ver na figura 5.



**Figura 5 - Corpo de prova pra o ensaio índice de consistência.**

Com o corpo de prova pronto, acionou-se a manivela da mesa para índice de consistência, de modo que a mesa subisse e caísse 30 vezes em 30 segundos. Imediatamente após a última queda, mediu-se com um paquímetro o espalhamento do molde cônico original da argamassa. Realizou-se as medidas em três diâmetros tomados em pares de pontos distribuídos ao longo do perímetro como pode ser observado na figura 6.

O resultado final do ensaio para determinação do índice de consistência corresponde a média das três medidas do diâmetro.



**Figura 6 - Corpo de prova do índice de consistência após ser ensaiado.**

### 5.2.2 Resistência a compressão

O ensaio de resistência à compressão foi feito de acordo com a NBR 7215/96: Cimento Portland – Determinação da resistência à compressão.

O molde para confecção dos corpos de prova apresenta forma cilíndrica com base rosqueada, ambas de metal, composto pelas dimensões de 50 mm de diâmetro e 100 mm de altura.

Para preparação do molde aplicou-se óleo mineral de baixa viscosidade para tornar-se mais fácil a remoção dos corpos de prova.

Após a preparação da argamassa como descrita no item 5.3 iniciou-se a confecção do corpo de prova. Colocou-se a argamassa no molde em quatro camadas de alturas aproximadamente iguais, com a ajuda de uma espátula, em cada camada foram aplicados 30 golpes uniformes com o soquete normal, sendo

estes homogeneamente distribuídos, processo observado na figura 7. A confecção do corpo de prova encerrou-se com a rasadura do mesmo.



**Figura 7 - Montagem do corpo de prova cilíndrico.**

Logo após a moldagem, os corpos de prova, ainda nos moldes foram armazenados em câmara úmida, onde permaneceram durante 24 horas, denomina-se esse processo de cura inicial ao ar, passado esse período, retirou-se os corpos de prova dos moldes e então colocou-se estes imersos em um tanque de água saturada de cal na câmara úmida, onde permaneceu até o momento do ensaio, por um período de 28 dias.

Para a realização do ensaio de resistência à compressão, limpou-se completamente os pratos da prensa e posicionou-se o corpo de prova diretamente no centro da prensa como na figura 8, e então o ensaio foi realizado repetindo esse processo pra cada corpo de prova. Ensaiou-se 4 corpos de prova para cada cal, para cada traço, totalizando 24 corpos de prova.



**Figura 8 - Ensaio de resistência a compressão do corpo de prova cilíndrico.**

### 5.2.3 Absorção de água

O ensaio de absorção de água foi executado seguindo-se os procedimentos da NBR 15259/05: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade. Para este, utilizou-se um total de 24 corpos de prova, sendo estes 12 para cada traço representados por 4 para cada tipo de cal. Os corpos de prova para este ensaio são iguais aos utilizados para determinação da resistência à compressão, logo foram confeccionados do mesmo modo descrito no item 5.2.2, porém curados somente ao ar durante 28 dias.

Prepararam-se os corpos de prova para serem ensaiados, lixando-se sua superfície com lixa grossa e após esse processo limpou-se sua superfície com



pincel. Após a preparação do corpo de prova determinou-se a massa inicial ( $m_0$ ), em gramas, de cada corpo de prova.

Em seguida da determinação da massa inicial, posicionaram-se os copos de prova na superfície do recipiente de ensaio para absorção de água, tomando cuidado para não encostá-los, garantindo assim que todos os corpos de prova estariam em contato direto com a água, então adicionou-se água no recipiente, monitorando para que seu nível atingisse 5 mm, como pode-se observar na figura 9, monitorou-se para que o nível de água permanecesse sempre constante, adicionando água sempre quando necessário.

A partir da colocação da água em contato com os corpos de prova aguardou-se 10 minutos e então determinou-se a massa de cada um deles ( $m_{10}$ ), em gramas, os corpos de prova voltavam para o recipiente imediatamente após a pesagem, e aos 90 minutos determinou-se novamente a massa de cada corpo de prova ( $m_{90}$ ), sempre enxugando eles com pano úmido antes de cada pesagem.



**Figura 9 - Ensaio de absorção de água com corpos de prova cilíndricos.**

Determinou-se a absorção da água por capilaridade para cada tempo, expressa em gramas por centímetro quadrado, a partir da seguinte equação:

$$A_t = \frac{m_t - m_0}{A} \quad (1)$$

Sendo:

$A_t$  a absorção de água por capilaridade para cada tempo, aproximada ao centésimo mais próximo, em gramas por centímetro quadrado;

$m_t$  a massa do corpo de prova em cada tempo, aproximada ao centésimo mais próximo, em gramas;

$m_0$  a massa inicial do corpo de prova, em gramas;

$m_t$  correspondente a massa do corpo de prova aos 10 e 90 minutos;

$A$  a área do corpo de prova, em centímetros quadrados.

O coeficiente de capilaridade ( $C$ ) é igual ao coeficiente angular da reta que passa pelos pontos representativos das determinações realizadas aos 10 minutos e aos 90 minutos, pode-se calculá-lo a partir da equação a abaixo:

$$C = m_{90} - m_{10} \quad (2)$$

Sendo:

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

## 6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 6.1 ÍNDICE DE CONSISTÊNCIA

A partir do ensaio de índice consistência realizado com 3 repetições para cada argamassa produzida para cada traço, totalizando 18 repetições, foram obtidos os resultados descritos na tabela 6.

**Tabela 6- Resultados do ensaio de índice de consistência.**

Traço	Tipo de cal	Medida 1 (mm)	Medida 2 (mm)	Medida 3 (mm)	Média	Índice de consistência
1:3:8	Virgem	223,40	222,00	189,50	211,63	201,81
		197,00	199,40	196,00	197,47	
		202,00	200,00	187,00	196,33	
1:3:8	Hidratada	207,80	203,30	201,00	204,03	202,10
		204,00	201,60	198,80	201,47	
		201,40	201,00	200,00	200,80	
1:8	Líquida	185,00	182,60	166,00	177,87	176,47
		186,00	171,80	169,00	175,60	
		181,00	175,00	171,80	175,93	
1:1:6	Virgem	190,00	194,40	189,00	191,13	189,69
		191,80	197,00	187,50	192,10	
		185,00	183,50	189,00	185,83	
1:1:6	Hidratada	201,00	204,60	203,50	203,03	192,51
		191,30	192,00	190,00	191,10	
		186,20	182,00	182,00	183,40	
1:6	líquida	165,00	162,50	179,00	168,83	156,87
		154,00	155,90	156,00	155,30	
		147,90	147,00	144,50	146,47	



Como pode ser observado na tabela 6, o valor do índice de consistência da cal virgem e hidratada não apresenta uma grande variação, tanto para o traço 1:3:8 quanto para o traço 1:1:6, apresentando assim um aumento médio com relação ao corpo de prova inicial de aproximadamente 61,6% e 52,7% respectivamente. Já o valor do índice de consistência para a argamassa com cal líquida tanto do traço 1:8 quanto do traço 1:6, apresentou uma maior diferença com relação as outras duas argamassas, apresentando um aumento com relação ao corpo de prova inicial de aproximadamente 25,6% e 25,5% respectivamente.

Buscou-se uma trabalhabilidade igual para todas as argamassas, sendo assim utilizou-se um diferente volume de água para cada uma delas. Essa variação ocorreu por dois fatores, pelo fato de cada traço apresentar volume de materiais secos diferentes, outro fator é a diferença das propriedades de cada cal utilizada, percebeu-se que as propriedades de cada cal também influenciaram no volume de água necessário para a obtenção da trabalhabilidade desejada, pois considerando que para um mesmo traço as argamassas produzidas com cal virgem e cal hidratada apresentavam o mesmo volume de materiais secos, porém foi necessário a utilização de volumes diferentes de água.

## 6.2 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

A partir do ensaio para determinação de resistência à compressão realizado com um total de 24 corpos de prova, sendo esses 12 para cada traço representados por 4 corpos de prova para cada argamassa utilizada, foram obtidos os resultados indicados na tabela 7.

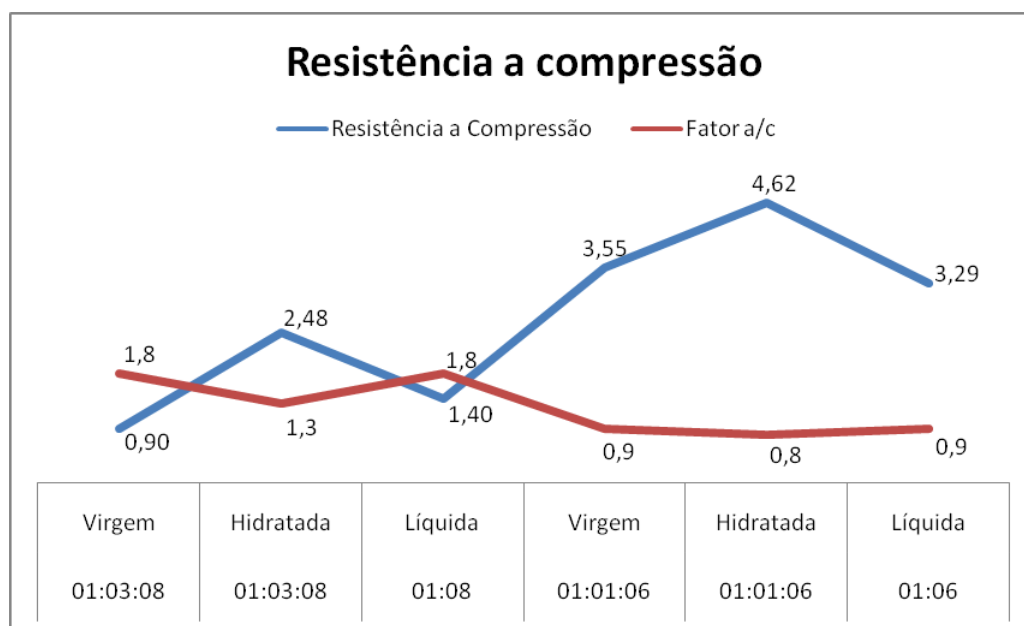
**Tabela 7- Resultados dos ensaios de resistência a compressão.**

Traço	Tipo de cal	Força (N)	Resistência à compressão (MPa)	Média da resistência à compressão (MPa)	Classificação
1:3:8	Virgem	1837,33	0,93	0,90	P1
		1796,04	0,91		
		1661,85	0,85		
		1827,00	0,92		
		4696,54	2,39		
1:3:8	Hidratada	4923,62	2,49	2,48	P2
		4944,26	2,51		
		4975,23	2,51		
		3179,19	1,62		
1:8	Líquida	2673,41	1,35	1,40	P1
		2601,16	1,31		
		3024,36	1,53		
		6946,74	3,54		
1:1:6	Virgem	6926,10	3,51	3,55	P3
		7091,25	3,58		
		7008,68	3,57		
		9723,49	4,95		
1:1:6	Hidratada	9248,56	4,69	4,62	P4
		8928,58	4,53		
		9155,66	4,64		
		6647,40	3,36		
1:6	Líquida	6482,25	3,28	3,29	P3
		6399,67	3,25		
		6399,67	3,25		

Com base nos resultados obtidos, foi possível classificar as resistências à compressão de acordo com a NBR 13281:2005 apresentada na tabela 2, obteve-se uma variação entre P1 para a argamassa mais fraca e P4 para a argamassa mais forte. Observa-se que a argamassa com traço 1:3:8 apresentou menores valores de resistência a compressão, tendo sua classificação variando entre P1 e P2, enquanto

as argamassas com traço 1:1:6 apontaram uma resistência à compressão mais elevada (P3 e P4).

No gráfico 1, pode-se observar a relação entre a resistência à compressão e o fator água cimento utilizado em cada traço para cada cal, a medida que aumentasse o volume de água, a resistência da argamassa se torna menor. Também é possível observar a maior resistência à compressão é apresentada pela argamassa produzida com cal hidratada em ambos os traços.



**Gráfico 1- Relação entre a resistência à compressão e o fator a/c.**

### 6.3 ABSORÇÃO DE ÁGUA

A partir do ensaio de absorção de água por capilaridade, foram obtidas as massas, em gramas, dos corpos de prova nos tempos 0, 10 e 90 minutos, seus resultados estão descritos na tabela 8 como  $m_0$ ,  $m_{10}$  e  $m_{90}$ .

**Tabela 8- Valores das massas de cada corpo de prova obtidos nos tempos de 0, 10 e 90 minutos.**

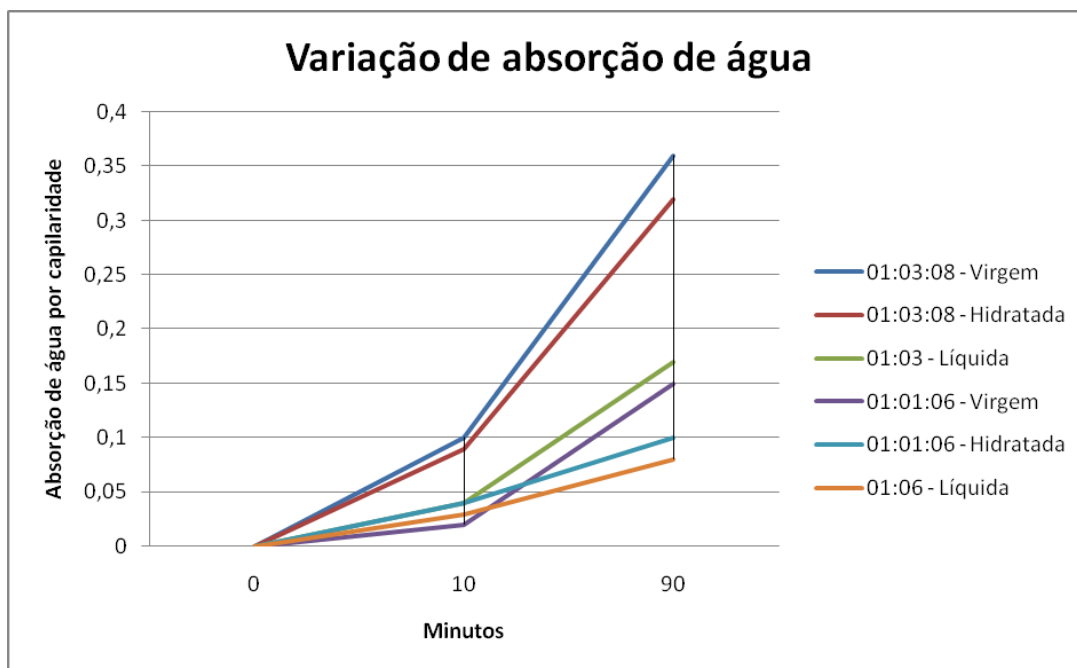
Traço	Tipo de cal	$m_0$ (g)	$m_{10}$ (g)	$m_{90}$ (g)
		354,82	356,81	361,10
1:3:8	Virgem	354,90	357,08	363,00
		355,43	357,16	362,56
		357,85	360,15	365,48
		368,86	369,97	374,06
1:3:8	Hidratada	376,25	377,81	382,28
		373,19	375,64	380,67
		377,58	379,65	384,61
		345,39	346,02	348,98
1:8	Líquida	342,70	344,20	349,23
		342,67	342,91	344,48
		334,69	335,66	336,11
		375,87	375,98	378,30
1:1:6	Virgem	374,38	374,55	377,48
		372,23	373,00	376,21
		376,71	377,12	379,26
		380,89	381,15	383,04
1:1:6	Hidratada	380,74	381,46	382,06
		380,93	381,35	383,22
		376,05	377,51	378,14
		341,31	342,28	342,47
1:6	Líquida	341,87	342,07	343,32
		349,05	349,97	350,72
		330,04	330,42	332,03

Com base nos dados representados na tabela 8, calculou-se os valores de absorção de água por capilaridade ( $A_t$ ) para cada tempo utilizando a equação (1), os resultados obtidos a partir do cálculo podem ser observados na tabela 9.

**Tabela 9 – Resultados da absorção de água por capilaridade aos 10 e 90 minutos.**

Traço	Tipo de cal	A <sub>t</sub> 10min (g/cm <sup>2</sup> )	Média de A <sub>t</sub> 10min (g/cm <sup>2</sup> )	A <sub>t</sub> 90min (g/cm <sup>2</sup> )	Média de A <sub>t</sub> 90min (g/cm <sup>2</sup> )
		0,10		0,31	
1:3:8	Virgem	0,11	0,10	0,40	0,36
		0,09		0,36	
		0,12		0,38	
		0,06		0,26	
1:3:8	Hidratada	0,08	0,09	0,30	0,32
		0,12		0,37	
		0,10		0,35	
		0,03		0,18	
1:8	Líquida	0,07	0,04	0,33	0,17
		0,01		0,09	
		0,05		0,07	
		0,01		0,12	
1:1:6	Virgem	0,01	0,02	0,16	0,15
		0,04		0,20	
		0,02		0,13	
		0,01		0,11	
1:1:6	Hidratada	0,04	0,04	0,07	0,10
		0,02		0,11	
		0,07		0,10	
		0,05		0,06	
1:6	Líquida	0,01	0,03	0,07	0,08
		0,05		0,08	
		0,02		0,10	

Verificou-se que a quantidade de água em gramas absorvida em m<sup>2</sup> é menor no tempo de 10 minutos comparados com a quantidade de água absorvida no tempo de 90 minutos, (gráfico 2). Porém, para as argamassas com traço 1:3:8 preparadas com cal virgem e hidratada esse aumento devido ao tempo é mais significativo em relação as demais.



**Gráfico 2: Variação de absorção de água por capilaridade para cada tempo de análise.**

Observa-se também que a maior absorção por capilaridade para ambos os traços são apresentados pelas argamassas preparadas com cal virgem, já os menores resultados de absorção por capilaridade são os das argamassas confeccionadas com cal líquida.

O coeficiente de capilaridade obtido a partir da equação (2), e sua classificação, conforme a NBR 13281: 2005 podem ser observados na tabela 10.

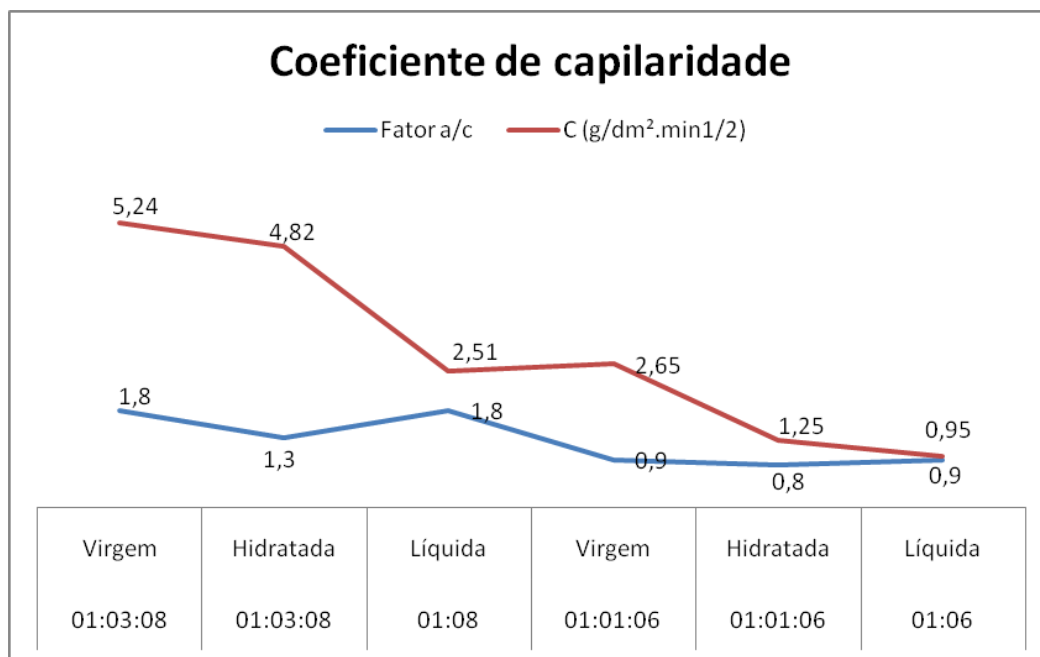
**Tabela 10- Coeficiente de absorção de água por capilaridade**

Traço	Tipo de cal	C (g/dm <sup>2</sup> .min <sup>1/2</sup> )	Média de C (g/dm <sup>2</sup> .min <sup>1/2</sup> )	Classificação
		4,29		
1:3:8	Virgem	5,93	5,24	C4
		5,40		
		5,33		
		4,09		
		4,47		
1:3:8	Hidratada	5,03	4,82	C4
		4,95		
		2,96		
		5,03		
1:8	Líquida	1,58	2,51	C3
		0,45		
		2,33		
		2,94		
1:1:6	Virgem	3,21	2,65	C3
		2,14		
		1,89		
1:1:6	Hidratada	0,60	1,25	C1
		1,87		
		0,64		
		0,20		
1:6	Líquida	1,24	0,95	C1
		0,75		
		1,61		

Observa-se na tabela 10 que valor do coeficiente de capilaridade do traço 1:3:8 é maior em comparação ao traço 1:1:6 com cal virgem e hidratada, isso acontece igualmente para o traço 1:8 e 1:6 com a cal líquida. Essa variação também ocorre com as argamassas preparadas com o mesmo traço, porém com tipos de cal diferentes. Analisando as classificações segundo a NBR 13281 observa-se que as

argamassas produzidas com o traço 1:3:8 e 1:8 apresenta esta classificação variando entre C3 e C4, já as argamassas preparadas com o traço 1:1:6 e 1:6 sua classificação varia entre C1 e C3.

Observa-se no gráfico 3 que a variação de absorção de água para as argamassas produzidas com cal virgem e hidratada, ocorre em relação a variação do volume de água utilizada na preparação de cada argamassa, quanto menor a relação a/c menor o valor de absorção de água, porém, isso não ocorreu com a argamassa produzida com cal líquida, pois o valor da relação água cimento é igual ao utilizado na argamassa com cal virgem, porém a argamassas com cal líquida apresentou absorção de água significativamente menor.



**Gráfico 3 - Relação do coeficiente de capilaridade e o fator a/c.**



## 7 CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos, pode-se concluir que:

Os resultados do índice de consistência demonstram que a cal influencia diretamente na consistência final, levando em consideração que para obter a trabalhabilidade desejada o volume de água utilizado nas argamassas com cal virgem e hidratada foram iguais, no entanto a argamassa com cal líquida apresentou índice de consistência menor que a argamassa com cal virgem. Obteve-se a trabalhabilidade desejada da cal hidratada sem que houvesse necessidade de utilização de um grande volume de água. Portanto conclui-se que a quantidade de água não influencia diretamente na consistência da argamassa.

A resistência à compressão está diretamente ligada ao fator a/c utilizado, quanto maior o volume de água utilizado na preparação da argamassa, menor a resistência à compressão da mesma em seu estado endurecido. Em ambos os traços, a maior resistência com a cal hidratada.

Na determinação da absorção de água por capilaridade pode-se concluir que quanto maior o tempo em contato com a água maior é a absorção por capilaridade da argamassa. Conclui-se também que quanto maior o volume de água utilizado na produção das argamassas com cal virgem e hidratada maior a absorção de apresentadas por estas. Já as argamassas preparadas com cal líquida apresentam o menor valor de absorção por capilaridade em ambos os traços, porém seu resultado não está relacionado com o volume de água utilizado em sua produção e sim com a cal utilizada.

Com relação aos diferentes tipos de cal utilizados, conclui-se que as argamassas produzidas com virgem e hidratada apresentam um maior índice de consistência, porém, para isso, a argamassa com cal virgem necessita de um maior volume de água, diminuindo assim a resistência à compressão e aumentando a absorção de água por capilaridade. Já a argamassa com cal hidratada não necessita de uma grande quantidade de água para apresentar uma boa consistência, tendo assim um bom desempenho com relação a resistência à compressão, porém apresenta uma absorção de água significativa. A argamassa com cal líquida não apresenta uma boa trabalhabilidade como as demais argamassas, porém os valores

de resistência à compressão são bem próximos aos das argamassas com cal virgem e esta foi a que apresentou o melhor desempenho em relação a absorção de água.

Com relação aos traços utilizados, conclui-se que o traço 1:3:8 apresenta como benefício melhor trabalhabilidade, porém tem como pontos negativos menor resistência à compressão e maior absorção de água por capilaridade. Já o traço 1:1:6 apresenta menor trabalhabilidade, mas tem como pontos positivos maior resistência à compressão e menor absorção de água.

## 8 REFERÊNCIAS

ALIEVI, Cleberson V.. **Levantamento do método de execução de argamassa de revestimento em fachada em Chapecó/SC**. 2010. 136 f. Monografia - Universidade Comunitária da Região de Chapecó - Unochapecó. 2010

ALVES, José D. **Materiais de construção**. 7. Ed. Goiania: UFG, 1999.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NRB 7200: Execução de revestimento de paredes e tetos de argamassa inorgânicas – Procedimento**. Rio de Janeiro, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211: Agregados para concreto - especificação**. 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.

\_\_\_\_\_.Carasek,Helena et al.. **Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais**. 1.ed. São Paulo:IBRACON, 2007.

CARASEK, Helena; CASCUDO, Oswaldo; SCARTEZINI, Luís M.. **Importância dos materiais na aderência dos revestimentos de argamassa**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, IV., 2001, Brasília. Anais... Brasília: ANTAC, 2001. p. 43-67.

CASCUDO, Oswaldo; CARASEK, Helena; CARVALHO, Adriano. **Controle de argamassas industrializadas em obra por meio do método de penetração do cone**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, VI., 2005, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: ANTAC, 2005. p. 83-94.

FIORITO, Antonio J. S. I.. **Manual de Argamassas e Revestimentos: estufo e procedimentos de execução**. 1ª Ed. São Paulo: Pini, 1994.

GUIMARÃES, José E. P.. **A Cal – Fundamentos e Aplicações na Engenharia Civil**. São Paulo: Pini, 1997. 285 p.

HELENE, Paulo R.L, MARTINELLI, Frederico A.. **Argamassa de Assentamento e Revestimento**. Boletim da Escola Politécnica da USP, São Paulo, 1991.

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

LARA, Domingos et al.. **Dosagem das Argamassas**. In. Simpósio Brasileiro de Tecnologia das argamassas, I, 1995, Goiás – GO. Anais... Goiás: Escola de Engenharia Civil - Universidade Federal de Goiás, 1995. p. 63 – 72.

MACCARI, Guilherme H.. **Argamassa de assentamento com saibro: um estudo das práticas na região de tubarão/SC**. 2010. 57 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Pós-Graduação em Engenharia Civil) - Coordenação de Projetos e Novas Tecnologias de Edificações, Universidade do Extremo Sul Catarinense, 2010.

NIQUES, Georg's. **Efeito do tempo de maturação da microestrutura de uma cal virgem dolomítica**. 2003. 96. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Federal de Santa Catarina - UFSC, Florianópolis, 2003.

RAGO, Fabiola; CINCOTTO, Maria A.. **Influência do tipo da cal hidratada na reologia de pastas**. Boletim da Escola Politécnica da USP, São Paulo, 1999.

RIBEIRO, Carmen C.; PINTO Joana D. da S.; STARLING, Tadeu. **Materiais de construção civil**. 2 ed. Belo Horizonte: UFMG, 2002.

SABBATINI, Fernando. H. **Argamassas de assentamento para paredes de alvenaria resistente**. Boletim da Escola Politécnica da USP, São Paulo, 1986.

SANTOS JUNIOR, José O. dos.. **Estudo comparativo do comportamento entre argamassas produzidas com areia vermelha e arisco**. 2009. 38 f. Monografia (Especialização em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Estrutural e Construção Civil, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2009.

SILVA, Narciso G.. **Argamassa de Revestimento de Cimento, Cal e Areia Britada de Rocha Calcária**. 2006. 164f. Tese (Mestrado em engenharia civil) - Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

TRISTÃO, Fernando. A.. **Influência da composição granulométrica da areia nas propriedades das argamassas de revestimento**. Florianópolis, 1995. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina.

WERNER, Jean C.. **Elementos cerâmicos e argamassas de assentamento- uma avaliação das condições de utilização em obras de Condor e Panambi**. 2004. 62 f. Trabalho de Conclusão de Curso (graduação em engenharia civil) – Departamento de tecnologia, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, 2004.