

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

**Farlei Paul Filho**

**ESTUDO EXPLORATÓRIO DO COMPORTAMENTO  
MECÂNICO DE ARGAMASSAS POLIMÉRICAS E  
ARGAMASSAS INDUSTRIALIZADAS ENSACADAS PARA  
ASSENTAMENTO DE BLOCOS DE VEDAÇÃO**

Porto Alegre  
dezembro 2016

**FARLEI PAUL FILHO**

**ESTUDO EXPLORATÓRIO DO COMPORTAMENTO  
MECÂNICO DE ARGAMASSAS POLIMÉRICAS E  
ARGAMASSAS INDUSTRIALIZADAS ENSACADAS PARA  
ASSENTAMENTO DE BLOCOS DE VEDAÇÃO**

Projeto de Pesquisa do Trabalho de Conclusão de Curso a ser apresentado ao Departamento de Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro Civil.

**Orientadora: Angela Borges Masuero**

Porto Alegre,  
dezembro 2016

**FARLEI PAUL FILHO**

**ESTUDO EXPLORATÓRIO DO COMPORTAMENTO  
MECÂNICO DE ARGAMASSAS POLIMÉRICASE  
ARGAMASSAS INDUSTRIALIZADAS ENSACADAS PARA  
ASSENTAMENTO DE BLOCOS DE VEDAÇÃO**

Este Trabalho de Diplomação foi julgado adequado como pré-requisito para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL e aprovado em sua forma final pela Professora Orientadora.

Porto Alegre, dezembro de 2016

Angela Borges Masuero  
Dra. pela UFRGS  
Orientadora

**BANCA EXAMINADORA**

**Prof. Daniel Tregnago Pagnussat**  
Dr. pela UFRGS

**Prof. Anderson Augusto Müller**  
Doutorando pela UFRGS

**Profa. Angela Borges Masuero**  
Dra. pela UFRGS

Dedico este trabalho aos meus pais, Farlei Paul e Cristina  
Glaeser Paul, e à minha namorada, Renata Arteiro da  
Silva, que são os alicerces de minha vida.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço aos meus pais, Farlei Paul e Cristina Glaeser Paul, pelo apoio que sempre me deram e por se esforçarem ao máximo para prover toda e qualquer necessidade que tive durante este período de graduação. Em especial à minha mãe, pelo exemplo de força e superação demonstrado nos últimos anos de graduação.

Agradeço à minha namorada e meu grande amor, Renata Arteiro da Silva, por estar comigo durante todos estes anos, me confortando e apoiando incondicionalmente, assim como à sua família, que admiro muito.

Agradeço à minha professora e orientadora, Angela Borges Masuero, que tanto ajudou neste processo final de curso de graduação, me mostrando o quão importante seria o tema que escolhi para versar sobre.

Agradeço aos técnicos Airton e Gilmar, do laboratório NORIE/LAMTAC, que tanto foram prestativos a mim e à minha pesquisa.

Agradeço aos bolsistas do laboratório, que sempre foram gentis em ajudar quando solicitados.

Agradeço à Caroline Giordani pela atenção e prestatividade, sempre simpática e com um sorriso no rosto.

Agradeço ao relator deste trabalho, professor Daniel Tregnago Pagnussat, pelas grandes ideias dadas para a realização desta monografia.

Pouco conhecimento faz com que as pessoas se sintam orgulhosas. Muito conhecimento, que se sintam humildes.

*Leonardo da Vinci*

## RESUMO

O avanço da tecnologia tem demandado não apenas a atualização profissional, como também a inovação nos produtos utilizados pela construção civil. As argamassas têm papel fundamental na execução de obras na construção civil e, tal como qualquer outro componente, estão sujeitas a inovações na produção e/ou no mercado. Neste trabalho será apresentado um estudo exploratório sobre a utilização e o comportamento mecânico de argamassas industrializadas ensacadas e argamassas poliméricas para assentamento e blocos de vedação. Foram escolhidas três diferentes marcas para cada um dos dois diferentes tipos de argamassa. A partir da definição das argamassas a serem ensaiadas, as mesmas foram avaliadas em relação a parâmetros técnicos nos estados fresco e endurecido, dentre eles a absorção, densidade, massa específica, módulo dinâmico e resistência à flexão e à compressão. Para a realização destes ensaios, todos os processos foram desenvolvidos conforme regem as normas brasileiras de regulamentação de cada tipo de ensaio. Foi também executado um ensaio exploratório com a moldagem de prismas de quatro tijolos, para a verificação da aderência entre as unidades de alvenaria e as argamassas. Após a execução dos ensaios, pôde-se aferir que ambas as argamassas funcionam quando se propõem a efetuar a ligação entre blocos. Além disso, também se verificou que, pelos resultados, as argamassas industrializadas possuem mais e melhores elementos para que sejam utilizadas em maior escala na construção civil em obras de média/larga escala se comparadas às argamassas poliméricas.

Palavras chave: argamassa polimérica; argamassa industrializada; ensaio exploratório.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: diagrama de etapas da pesquisa .....	18
Figura 2: diagrama de processo dos diferentes tipos de argamassa .....	24
Figura 3: organograma de abordagem da pesquisa .....	25
Figura 4: propriedades avaliadas para os diferentes tipos de argamassa .....	31
Figura 5: 1ª tentativa de moldagem de corpos de prova de argamassa polimérica. a) molde em material cerâmico para execução do corpo de prova, b) corpo de prova moldado .....	32
Figura 6: aspecto visual do corpo de prova de argamassa polimérica moldado em molde cerâmico de 14 cm x 18 cm, após 10 dias de idade. a) corpo de prova com fissura de elevada abertura, b) interior úmido e sem cura .....	33
Figura 7: aspecto visual das argamassas moldadas em mole de acrílico de 2x2x14cm: a) no estado fresco, após moldagem, b) após sete dias, no momento da desmoldagem .	34
Figura 8: confecção dos corpos de prova para o ensaio de resistência à compressão aos 28 dias de idade: a) vaselina utilizada como desmoldante; b) moldagem dos corpos de prova de 2x2x2cm em formas acrílicas; c) aspecto visual dos corpos de prova depois de endurecido .....	35
Figura 9: ensaio de <i>squeeze-flow</i> (CARDOSO; PILEGGI; JOHN, 2005) .....	38
Figura 10: estágios do ensaio de <i>squeeze-flow</i> (CARDOSO; PILEGGI; JOHN, 2005) .	38
Figura 11: Figura 11: aspecto das argamassas no ensaio de reologia por <i>Squeeze- Flow</i> : a) molde preparado, b) molde posicionado para ensaio .....	39
Figura 12: ensaio de <i>squeeze-flow</i> aos 10 e 60 minutos para as três argamassas industrializadas .....	48
Figura 13: ensaio de <i>squeeze-flow</i> aos 15 e 65 minutos para as três argamassas industrializadas .....	49
Figura 14: comparativo do ensaio de <i>squeeze-flow</i> aos 10, 15, 60 e 65 minutos para as três argamassas industrializadas .....	50
Figura 15: ensaio de <i>squeeze-flow</i> aos 10 e 60 minutos para as três argamassas poliméricas .....	51
Figura 16: ensaio de <i>squeeze-flow</i> aos 15 e 65 minutos para as três argamassas poliméricas .....	52
Figura 17: comparativo do ensaio de <i>squeeze-flow</i> aos 10, 15, 60 e 65 minutos para as três argamassas poliméricas .....	53
Figura 18: resistência à compressão das argamassas industrializadas e poliméricas aos 28 dias .....	59
Figura 19: disposição dos prismas poliméricos sobre o transmissor ultrassônico .....	62
Figura 20: argamassa polimérica sobre bloco cerâmico .....	63
Figura 21: vista geral dos corpos de prova para os ensaios .....	63
Figura 22: posicionamento dos prismas para execução dos ensaios: a) destaque da	64

posição centralizada da placa para distribuição uniforme das tensões; b) prisma apoiado nas duas extremidades .....	
Figura 23: aspecto visual da ruptura do prisma de argamassa industrializada AI1 na argamassa aos 7 dias .....	66
Figura 24: aspecto visual da ruptura do prisma de argamassa industrializada AI3 na interface tijolo-argamassa aos 7 dias .....	66
Figura 25: aspecto visual da ruptura do prisma de argamassa polimérica AP2 na argamassa aos 7 dias .....	67
Figura 26: aspecto visual da ruptura do prisma de argamassa polimérica AP3 na interface tijolo-argamassa aos 7 dias .....	68
Figura 27: aspecto visual da ruptura dos prismas de argamassa polimérica AP1 e AP2 no bloco aos 28 dias .....	70
Figura 28: aspecto visual da ruptura do prisma de argamassa polimérica AP2 com fissuras internas aos 28 dias .....	70
Figura 29: aspecto visual da ruptura dos prismas de argamassa polimérica AP3 na interface tijolo-argamassa aos 28 dias .....	71

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: índice de consistência para as argamassas industrializadas estudadas .....	37
Tabela 2: teor de ar incorporado para os diferentes tipos de argamassas estudadas .....	44
Tabela 3: retenção de água das argamassas estudadas .....	45
Tabela 4: densidade de massa para as argamassa estudadas .....	55
Tabela 5: resistência à flexão ao longo das idades analisadas .....	56
Tabela 6: resistência à compressão de argamassas industrializadas e poliméricas ao longo das idades analisadas .....	57
Tabela 7: permeabilidade de argamassas industrializadas e poliméricas .....	60
Tabela 8: módulo de elasticidade dinâmico para as argamassa estudadas .....	63
Tabela 9: resultados dos ensaios para a idade de 7 dias .....	65
Tabela 10: resultados dos ensaios para a idade de 28 dias .....	69

## **LISTA DE SIGLAS**

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

LAMTAC – Laboratório de Materiais e Tecnologia do Ambiente Construído

NBR – Norma Brasileira Regulamentada

NM – Asociación Mercosur de Normalización

NORIE – Núcleo Orientado para a Inovação da Edificação

UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

## LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIACÕES

% – porcentagem ou percentagem

CO<sub>2</sub> – Molécula que representa o Dióxido de Carbono

H<sub>2</sub>O – Molécula que representa a água

mm – milímetro

cm – centímetro

dm – decímetro

m – metro

N – Newton

kN – kilonewton

g – grama

kg – kilograma

MPa – megapascal

μs – microsegundo

s – segundo

min – minuto

AI – argamassa industrializada

AP – argamassa polimérica

# SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	15
<b>2 DIRETRIZES DE PESQUISA</b> .....	17
2.1 QUESTÃO DA PESQUISA.....	17
2.2 OBJETIVOS DA PESQUISA.....	17
<b>2.2.1 Objetivo Principal</b> .....	17
<b>2.2.2 Objetivos Específicos</b> .....	17
2.3 DELINEAMENTO DA PESQUISA.....	18
<b>2.3.1 Pesquisa Bibliográfica</b> .....	19
<b>2.3.2 Levantamento dos Parâmetros a Serem Analisados</b> .....	19
<b>2.3.3 Caracterização dos Ensaios a Serem Realizados</b> .....	19
<b>2.3.4 Elaboração do Plano Experimental</b> .....	19
<b>2.3.5 Preparação dos Corpos de Prova</b> .....	20
<b>2.3.6 Realização dos Ensaios em Laboratório</b> .....	20
<b>2.3.7 Análise dos Resultados dos Ensaios</b> .....	20
<b>2.3.8 Considerações Finais</b> .....	20
<b>3 ARGAMASSA</b> .....	21
3.1 CLASSIFICAÇÃO.....	21
3.2 ARGAMASSAS DE ASSENTAMENTO.....	25
<b>3.2.1 Propriedades</b> .....	26
<b>3.2.2 Argamassa Polimérica</b> .....	29
<b>3.2.3 Argamassa Industrializada</b> .....	29
<b>3.2.4 Argamassa Convencional</b> .....	30
3.3 FORMAS DE APLICAÇÃO.....	30
<b>4 PROGRAMA EXPERIMENTAL</b> .....	31
4.1 METODOLOGIA.....	31
4.2 PARÂMETROS DE ANÁLISE NO ESTADO FRESCO.....	35
<b>4.2.1 Teor de Ar Incorporado</b> .....	35
<b>4.2.2 Retenção de Água</b> .....	36
<b>4.2.3 Reologia pelo Método <i>Squeeze-Flow</i></b> .....	36
<b>4.2.4 Densidade</b> .....	39
4.3 PROPRIEDADES NO ESTADO ENDURECIDO.....	40
<b>4.3.1 Módulo de Elasticidade Dinâmico</b> .....	40

<b>4.3.2 Resistência à Compressão</b> .....	41
<b>4.3.3 Resistência à Flexão</b> .....	41
<b>4.3.4 Permeabilidade</b> .....	42
<b>4.4 ENSAIO DE DESEMPENHO</b> .....	42
<b>5 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS</b> .....	44
<b>5.1 ESTADO FRESCO</b> .....	44
<b>5.1.1 Teor de Ar Incorporado</b> .....	44
<b>5.1.2 Retenção de Água</b> .....	45
<b>5.1.3 Reologia pelo Método <i>Squeeze-Flow</i></b> .....	46
<b>5.1.4 Densidade</b> .....	55
<b>5.2 ESTADO ENDURECIDO</b> .....	55
<b>5.2.1 Resistência à Flexão</b> .....	56
<b>5.2.2 Resistência à Compressão</b> .....	56
<b>5.2.3 Permeabilidade</b> .....	59
<b>5.2.4 Módulo de Elasticidade Dinâmico</b> .....	60
<b>5.3 ENSAIO EM PRISMAS – ENSAIO EXPLORATÓRIO</b> .....	62
<b>6 CONCLUSÕES</b> .....	72
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	74

## 1 INTRODUÇÃO

O avanço da tecnologia tem demandado não apenas a atualização profissional, como também a inovação nos produtos utilizados pela construção civil. Uma das recentes novidades está associada às argamassas. A entrada no mercado das argamassas poliméricas, que podem ser consideradas inovadoras, pois já vêm prontas para a sua utilização, mudou a forma como ocorrem os assentamentos de blocos de alvenaria em algumas obras. É um método que apresenta um alto rendimento, já que com apenas dois filetes de pequena espessura da mesma é possível assentar tijolos ou blocos em uma parede.

Vista no mercado como um produto bastante prático, a argamassa industrializada é comumente utilizada em obras de médio e grande porte, seja seu abastecimento feito por sacaria ou silos de armazenagem. Sua utilização também pode ser associada a um maior rendimento quanto ao assentamento de tijolos e/ou blocos quando comparada a argamassa convencional, pois já vem pré-misturada, apenas necessitando acrescentar água à mistura para se ter uma massa pronta para uso. Ceotto et al. (2005, p. 35) afirmam que “o grande problema de argamassas produzidas em obra é a variabilidade do seu único insumo não industrializado, a areia”. Partindo deste princípio, pode-se constatar que, devido ao fato de que os insumos já vêm na quantidade correta e também ao fato de ser produzido em larga escala (o que oferece menor oscilação da qualidade dos componentes), as argamassas industrializadas propiciam uma boa qualidade para aplicação.

Velocidade de assentamento de blocos e economia quanto ao processo são alguns fatores que podem fazer com que a aplicação desta argamassa tenha fundamento. Segundo os fabricantes de argamassas poliméricas, além de não gerar desperdício nem resíduo, este tipo de argamassa possui um viés ecológico por não depender da adição de água para sua utilização. No entanto, por ser um produto novo, praticamente não existem estudos sistematizados que demonstrem sua eficiência técnica.

A praticidade de uso também é um fator que deve se prestar atenção, pois a conveniência que a argamassa polimérica apresenta frente à argamassa industrializada é grande. A sua forma de distribuição, em bisnagas, permite que o profissional tenha um processo de execução mais acelerado, evitando, quando comparado às argamassas que necessitam passar por alguma etapa prévia para sua utilização, a perda de tempo com processos que não agregam valor, como transportes.

O desperdício, que os fornecedores de argamassa polimérica pregam por praticamente não existir, também pode ser observado nas argamassas industrializadas, quando empregadas com certos métodos de aplicação no assentamento de paredes de vedação. Métodos como o da palheta ou da colher meia cana são habitualmente utilizados para aplicação de argamassas e também proporcionam uma grande economia à obra, pois possuem perda muito pequena.

A argamassa convencional preparada em obra apresenta, por sua vez, problemas inerentes à sua elaboração, em termos de propriedades mecânicas, visto que não possui testes de qualidade ao seu alcance quando produzida para a aferição das suas particularidades. Por ser uma argamassa que não possui um controle de produção, sua qualidade está atrelada aos procedimentos de execução da mesma *in loco*, tanto quanto à qualidade dos produtos utilizados na confecção.

Este trabalho, então, visa apresentar dados práticos e técnicos a partir de ensaios normatizados e exploratórios, para que se possa compreender a qualidade e o desempenho dos produtos em questão, argamassa industrializada *versus* argamassa polimérica. Para o desenvolvimento do estudo comparativo, serão analisadas três marcas de cada categoria das argamassas.

## **2 DIRETRIZES DE PESQUISA**

As diretrizes para o desenvolvimento deste trabalho estão descritas a seguir.

### **2.1 QUESTÃO DA PESQUISA**

A questão desta pesquisa pode ser representada pela seguinte pergunta: a eficiência da argamassa polimérica pode ser comparada à argamassa industrializada?

### **2.2 OBJETIVOS DA PESQUISA**

Os objetivos deste trabalho estão classificados em principal e específico e serão apresentados nos próximos itens.

#### **2.2.1 Objetivo Principal**

O presente trabalho tem como objetivo explorar o comportamento de argamassas poliméricas e argamassas industrializadas ensacadas para assentamento de blocos de vedação.

#### **2.2.2 Objetivo Específico**

Como objetivo específico, avaliar:

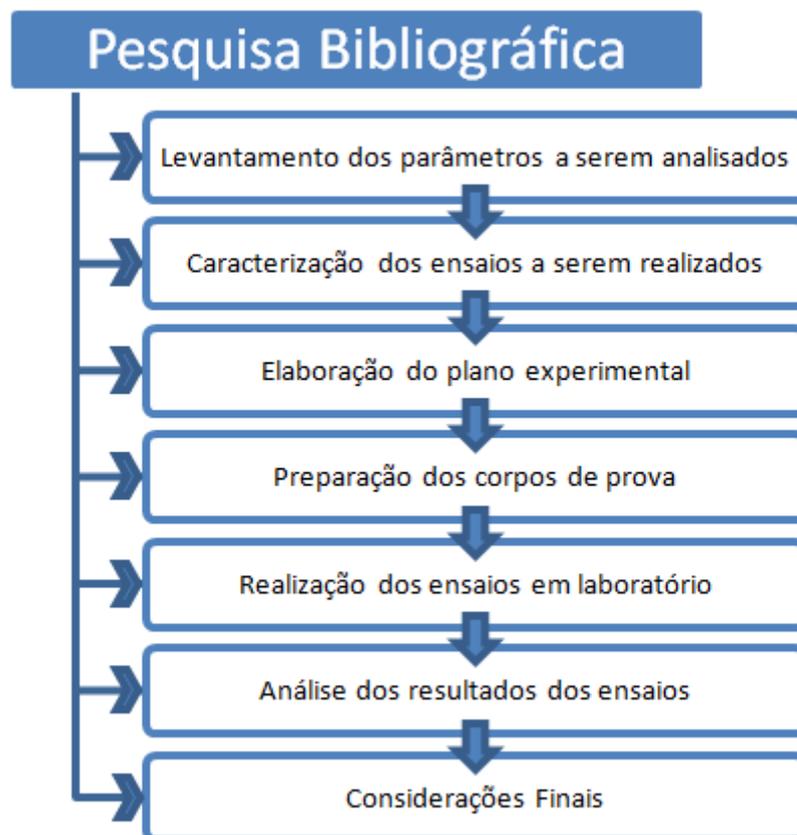
- a) a influência do tipo de argamassa na capacidade de deformação da argamassa no estado fresco;

## 2.3 DELINEAMENTO DA PESQUISA

O trabalho será realizado através das etapas apresentadas a seguir, representadas pela Figura 1, e são especificadas nos itens a seguir:

- a) pesquisa bibliográfica;
- b) levantamento dos parâmetros a serem analisados;
- c) caracterização dos ensaios a serem realizados;
- d) elaboração do plano experimental;
- e) preparação dos corpos de prova;
- f) realização dos ensaios em laboratório;
- g) análise dos resultados dos ensaios;
- h) considerações finais.

Figura 1: diagrama de etapas da pesquisa



(fonte: elaborado pelo autor)

### **2.3.1 Pesquisa Bibliográfica**

A pesquisa bibliográfica é a primeira parte deste trabalho de conclusão de curso e será realizada durante todo o processo de execução do mesmo. Foram realizadas pesquisas referentes a argamassas industrializadas e poliméricas, com o objetivo de reunir conceitos e definições que auxiliassem e dessem sustentação para o perfeito desenvolvimento deste trabalho.

### **2.3.2 Levantamento dos Parâmetros a Serem Analisados**

Esta etapa teve por objetivo a definição de quais parâmetros que seriam analisados para que este estudo pudesse viabilizar a comparação entre os dois diferentes tipos de argamassa. Para isso, se dividiu os estudos entre os dois estados físicos da argamassa: estado fresco e estado endurecido.

### **2.3.3 Caracterização dos Ensaios a Serem Realizados**

Conforme os parâmetros de análise foram sendo definidos, os ensaios para caracterização dos mesmos deveriam de ser estabelecidos. Foi então realizada uma pesquisa sobre como cada ensaio era realizado, para que no momento da realização de cada um se respeitasse o procedimento normatizado, incluindo nisto a preparação dos materiais, o atendimento aos prazos e também o manuseio e cuidado com os equipamentos.

### **2.3.4 Elaboração do Plano Experimental**

Nesta etapa, buscou-se elaborar um planejamento para a execução dos ensaios, com a definição de quando e como seriam realizadas todas as fases deste planejamento. Foi também quantificada a quantidade de corpos de prova que seriam ensaiados, assim como as idades de averiguação dos exemplares.

### **2.3.5 Preparação dos Corpos de Prova**

A preparação dos corpos de prova se deu a partir dos procedimentos de execução regulamentados pelas normas técnicas brasileiras, uma vez que estas regem a boa prática dos ensaios para definição das propriedades das argamassas.

### **2.3.6 Realização dos Ensaios em Laboratório**

Nesta etapa foram realizados os ensaios para a obtenção dos parâmetros a serem analisados. Estes ensaios seguiram as recomendações dadas pelas diversas normas que orientam a execução dos mesmos.

### **2.3.7 Análise dos Resultados dos Ensaios**

A análise dos resultados dos ensaios foi realizada após a obtenção dos dados adquiridos. Estes resultados mostram se o desempenho mecânico da argamassa polimérica pode ser comparado ao da argamassa industrializada e se a argamassa polimérica tem condições de ser um produto mais amplamente difundido nas construções civis.

### **2.3.8 Considerações Finais**

Esta é a etapa final, onde se apresenta a conclusão do trabalho. As considerações finais acerca do desempenho das duas argamassas foram reproduzidas neste momento, assim como os principais pontos analisados ao longo do desenvolvimento do trabalho e também toda e qualquer informação que possa esclarecer e contribuir para o desenvolvimento de futuros trabalhos.

### 3 ARGAMASSA

Neste capítulo será versado sobre a argamassa, tratando sobre suas classificações, propriedades, assim como a listagem dos ensaios que serão realizados para posterior análise dos parâmetros. No presente trabalho, será dada ênfase às argamassas industrializadas e às poliméricas.

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

A argamassa é um material de construção civil que tem por característica ser o componente necessário para que se tenha uma vinculação entre as partes de uma alvenaria, quando se refere às argamassas de assentamento. Roman et al. (1999, p. 25) afirmam que “a argamassa é o elemento de ligação das unidades de alvenaria em uma estrutura”. Ainda acerca disso, Coêlho (1998, p. 41) assegura que a argamassa é a maior responsável pela união dos blocos que fazem parte de uma estrutura. Ambrozewicz (2012, p. 112) concorda com os autores acima citados quando faz referência que a argamassa “além de unir os tijolos e blocos, sela as juntas e ajuda a distribuir as cargas que as construções suportam”.

As argamassas são, em geral, classificadas quanto a uma série de especificações, e ainda subdivididas em tipos. Os próximos itens visam descrever melhor as argamassas, para uma melhor compreensão de suas funções e aplicabilidades.

#### 3.1 CLASSIFICAÇÃO

As argamassas podem ser classificadas em uma grande variedade de categorias. Kloss (1991, p. 68), Ambrozewicz (2012, p. 114) e Silva (1991, p. 72) concordam entre si quando consideram que as principais identificações das argamassas são quanto ao emprego, ao tipo de aglomerante, ao número de elementos ativos, a dosagem e também segundo a consistência. A classificação das argamassas também é definida pela NBR 13530 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1995), sendo por ela listadas algumas

classificações que os autores acima utilizam, porém divergindo dos mesmos quando categoriza as argamassas, entre outras, pela natureza do aglomerante e também pela forma de preparo ou fornecimento.

Quanto ao emprego, as argamassas são definidas como comuns ou refratárias. As argamassas comuns são utilizadas na grande maioria das vezes em obras regulares com aplicações como rejuntamento, assentamento e revestimento. As argamassas refratárias têm como característica principal o fato de serem aplicadas para assentamento de placas e/ou tijolos em locais onde há grande variação térmica, como churrasqueiras, lareiras, estufas, etc.

As argamassas classificadas quanto ao tipo de aglomerante são subdivididas em argamassas aéreas, hidráulicas e mistas. Estas argamassas são agrupadas por possuir em comum na sua composição a aglomerante cal, sendo ela na forma aérea ou hidráulica. A cal aérea se caracteriza por reagir com o gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ), ou seja, ocorre o endurecimento pela reação com o ar. A cal hidráulica, por sua vez, se caracteriza pela reação com a molécula  $\text{H}_2\text{O}$ . O endurecimento decorre, então, pela reação de contato com a água.

Quanto ao número de aglomerantes, as argamassas são classificadas em simples e compostas. As argamassas simples possuem apenas um aglomerante em sua composição e as argamassas compostas possuem dois ou mais aglomerantes na sua constituição. Um dos principais tipos de argamassa simples pode ser traduzido pela pasta de gesso, enquanto que, devido à grande possibilidade de arranjo de materiais, as principais argamassas compostas podem ser exemplificadas por cimento e areia, cimento, areia e cal, entre outras.

Relacionado à dosagem, as argamassas são classificadas como ricas em cimento e pobres em cimento. Esta associação é definida pelo volume de pasta que a argamassa possui para preencher os vazios da mesma. Silva (1991, p. 73) ainda estabelece que as argamassas podem ser definidas como ricas ou gordas, classificação esta que revela um excesso de pasta no composto.

As argamassas categorizadas quanto à consistência são decompostas em secas, plásticas e fluidas. Estas classificações demonstram como a argamassa se opõe mais ou menos facilmente à deformação imposta pelo aplicador.

A classificação de argamassas quanto à natureza do aglomerante define as argamassas como aéreas e hidráulicas. As argamassas aéreas são argamassas que tem o seu endurecimento

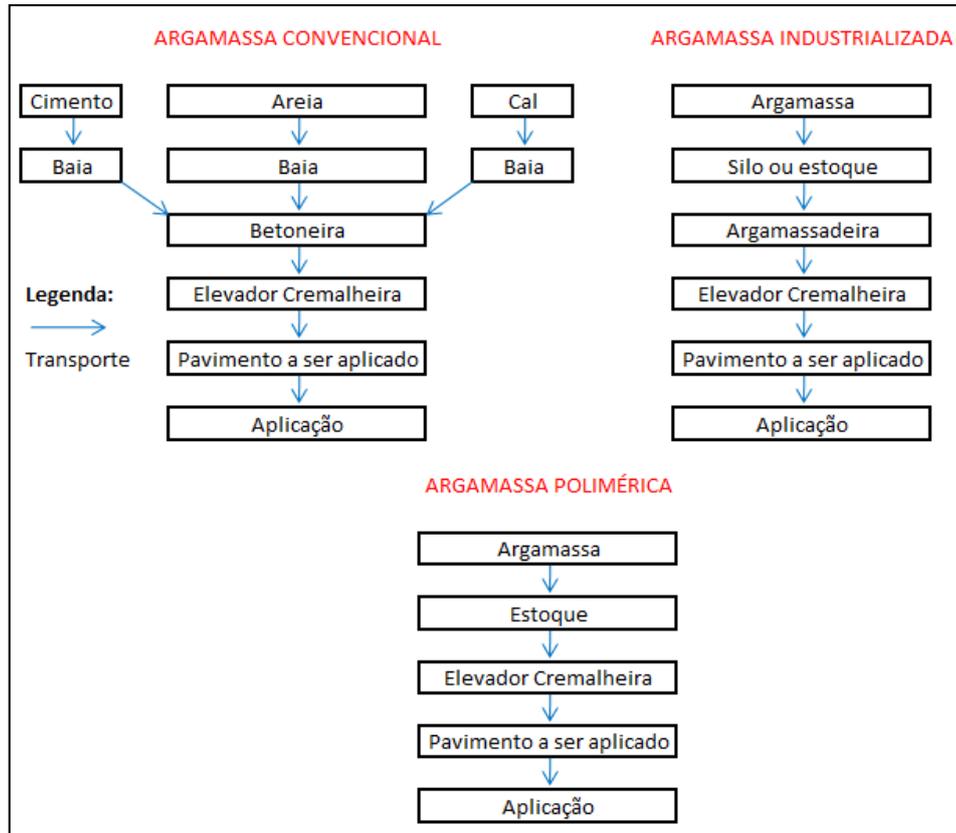
provido pela reação com o ar da atmosfera, enquanto as argamassas hidráulicas possuem o seu endurecimento exercido pelas reações químicas que envolvem a água. Um exemplo de argamassas aéreas é a argamassa de cal aérea e gesso, assim como um exemplo de argamassa hidráulica pode ser apresentado como cal hidráulica e cimento.

As argamassas relacionadas à forma de preparo e fornecimento são subdivididas em argamassas dosadas em central, preparadas em obra, mistura semipronta e argamassas industrializadas ensacadas e argamassas produzidas em central (argamassas estabilizadas).

As argamassas que serão abordadas neste trabalho podem, então, ser classificadas como argamassas industrializadas, comuns, plásticas e compostas. Quanto à classificação sobre a natureza do aglomerante, os dois tipos variam: a argamassa industrializada reage com água, ao mesmo tempo em que a argamassa polimérica reage com o ar.

A logística que cerca a produção de argamassas é um fator que influi muito para a produção e para o rendimento das alvenarias de blocos de vedação. A Figura 2, apresentada em seguida, demonstra de forma esquemática os passos que se fazem necessário para a chegada da argamassa até o pedreiro, desde a chegada dos materiais na obra.

Figura 2: diagrama de processo dos diferentes tipos de argamassa

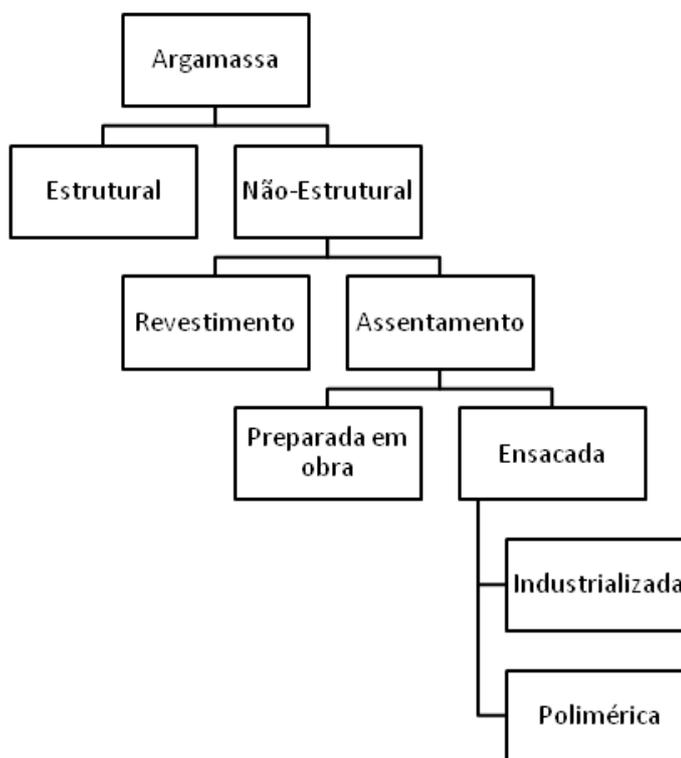


(fonte: elaborado pelo autor)

O diagrama mostra que a argamassa convencional necessita quase o dobro de transportes que a argamassa industrializada e mais de duas vezes o necessário para que a aplicação seja feita com argamassa polimérica. Sendo o transporte um serviço que não agrega valor, quanto menos ele for integrante do processo, melhor será a logística do serviço e a produção efetiva dos profissionais.

A Figura 3, a seguir, mostra de forma ilustrativa como este trabalho irá abordar o tema proposto.

Figura 3: organograma de abordagem da pesquisa



(fonte: elaborado pelo autor)

Assim sendo, o presente trabalho limita o seu objeto de estudo às argamassas não-estruturais, de assentamento, ensacadas, com enfoque nas argamassas industrializadas e poliméricas, pois será desenvolvido um estudo comparativo entre estes dois tipos de argamassas para que se possa comparar o desempenho de argamassas poliméricas e argamassas industrializadas ensacadas, do ponto de vista mecânico, para assentamento de blocos de vedação.

### 3.2 ARGAMASSAS DE ASSENTAMENTO

As argamassas de assentamento têm por objetivo ser o elemento que une os blocos ou tijolos de uma parede ou muro. Sua função principal pode ser descrita como a absorção e dissipação de maneira uniforme das tensões provenientes da estrutura por toda área de abrangência dos blocos, fazendo com que a alvenaria não sofra fissurações e rompimentos em decorrência da não distribuição das tensões. Possui, inclusive, a função de dar estanqueidade à parede no caso de incidência e penetração da água de chuva.

A NBR 13281 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005) define argamassa de assentamento para alvenaria de vedação como “argamassa indicada para a ligação de componentes de vedação (como blocos e tijolos) no assentamento em alvenaria, com função de vedação”.

Ambrozewicz (2012, p. 112) também define a argamassa de assentamento como um componente com a função de unir os blocos entre si, tornando a alvenaria um único elemento. O autor ainda descreve a argamassa de assentamento como um “agente de acomodação de deformações”.

Ramalho et al. (2003, p. 7) sustentam, por fim, que:

“A argamassa de assentamento possui as funções básicas de solidarizar as unidades, transmitir e uniformizar as tensões entre as unidades de alvenaria, absorver pequenas deformações e prevenir a entrada de água e de vento nas edificações.”

### 3.2.1 Propriedades

Coêlho (1998, p. 41) afirma que a qualidade da argamassa é o fator mais determinante para que se consiga uma boa resistência estrutural. Influencia para que a estrutura seja estanque nas juntas dos blocos e também para que se mantenha a aderência dos elementos que são utilizados. O autor ainda define que uma boa argamassa deve permitir que se possa:

- a) deslizar, facilmente, sobre os blocos, quando é lançada através da colher de pedreiro;
- b) permanecer plástica;
- c) assegurar boa aderência;
- d) apresentar boa resistência à compressão; e
- e) manter sua durabilidade.

Estas características mostram que uma boa argamassa deve possuir trabalhabilidade para que se possa manuseá-la com a devida propriedade. Além disto, também apresentam certas propriedades inerentes ao bom desempenho de uma argamassa, tais como aderência, durabilidade, plasticidade e resistência à compressão.

Segundo Roman et al. (1999, p. 25), as propriedades mais importantes para a argamassa se definem como:

- a) trabalhabilidade;

- b) retenção de água;
- c) tempo de endurecimento;
- d) durabilidade; e
- e) resistência à compressão.

A trabalhabilidade apresenta-se como a propriedade da argamassa, no estado fresco, que mais influencia nos processos de assentamento de blocos em alvenaria. Ela transmite o quão fácil ou difícil pode ser a aplicação da argamassa em blocos ou tijolos, se há um bom espalhamento sobre a superfície de aplicação ou não. Está, também, intimamente conectada com características como consistência e plasticidade, propriedades as quais estão relacionadas às deformações.

Consistência: é a propriedade pela qual a argamassa tende a resistir às deformações que lhe são impostas; e plasticidade: é a propriedade que permite a argamassa deformar-se sem ruptura, sob a ação de forças superiores às que promovem a sua estabilidade, mantendo a deformação depois de retirado o esforço. (RILEM, 1982, tradução nossa)

Bauer (2005, p. 40) ainda acrescenta que a trabalhabilidade é uma das mais importantes características das argamassas, dada sua obrigatoriedade para que se possa ser apropriadamente utilizada.

A trabalhabilidade reflete, em termos práticos, as facilidades do operário durante as operações de manuseio e aplicação das argamassas. Em geral, uma falta de trabalhabilidade é traduzida em aspectos como uma argamassa áspera, muito seca ou muito fluida, com segregação e exsudação excessiva, com dificuldade de espalhar sobre a base de aplicação, falta de “liga”, falta de adesão inicial e em certas dificuldades para início das operações de acabamento (ou “puxa” muito rápido ou muito lento). (BAUER, 2005, p. 45)

Ainda quanto à plasticidade, Ramalho et al. (2003, p. 8) julgam que a mesma é mais importante que a resistência à compressão das argamassas, pois é esta propriedade que realmente permite que os esforços sejam transmitidos uniformemente para todas unidades de alvenaria.

Bauer (2005, p. 52), afirma:

A retenção de água corresponde à propriedade que confere à argamassa a capacidade de essa não alterar sua trabalhabilidade, mantendo-se aplicável por um período adequado de tempo quando sujeita a solicitações que provoquem perda de água, seja ela por evaporação, sucção do substrato ou reações de hidratação.

A retenção de água é uma propriedade que não depende de apenas um fator para sua verificação. Sua análise se sujeita à sucção dos blocos, perda de água por evaporação e também pela quantidade de cimento que a argamassa possui, por conta da hidratação dos grãos do mesmo. A retenção de água atinge diretamente a trabalhabilidade da argamassa, podendo ela, se em excesso, tornar a pasta inutilizável em um curto espaço de tempo.

O tempo de endurecimento de uma argamassa dependerá da quantidade de cimento que esta possuir em sua composição, pois está relacionado com a reação de hidratação entre água e cimento. Esta duração está diretamente conectada com a propriedade citada acima: retenção de água. A retenção de água por absorção favorece o rápido endurecimento da argamassa, trazendo malefícios para o assentamento e prumo das futuras fiadas de blocos e tijolos. Roman et al. (1999, p. 27) afirmam que uma mistura homogênea da argamassa melhora a dispersão do cimento na pasta, facilitando o contato com a água e, como resultado, acelerando o processo e endurecimento.

A aderência é definida pela área de superfície a que o bloco é submetido ao contato com a argamassa, juntamente com a capacidade de união que a pasta possui. Roman et al. (1999, p. 27) enfatizam ainda que a aderência entre argamassa e bloco é resultado da associação do grau de contato entre os dois e da adesão da pasta de cimento à superfície do bloco. Os autores também acrescentam que a aderência é então uma propriedade não exclusiva da argamassa, dependendo ela também das características das unidades de alvenaria. Roman et al. (1999, p. 27) definem a aderência como: “A resistência de aderência é a capacidade que a interface bloco-argamassa possui de absorver tensões tangenciais (cisalhamento) e normais (tração) a ela, sem romper-se.”

A resistência à compressão é uma propriedade que nos mostra o quanto a argamassa resiste aos esforços aplicados pela estrutura. Porém, assim como a aderência, esta característica não é reservada unicamente à argamassa. A resistência à compressão também depende das unidades de alvenaria que na estrutura são colocadas, tanto quanto suas características dimensionais. Conceitualizando:

“A resistência mecânica diz respeito à propriedade dos revestimentos de possuírem 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, cisalhamento e compressão” (CARASEK, 2007).

### 3.2.2 Argamassa Polimérica

Ohama (1995, p. 1, tradução nossa) afirma que “Argamassas modificadas polimERICAMENTE têm uma co-matriz rígida, em que a matriz de polímero orgânico e a matriz de cimento são homogeneizadas. As propriedades das argamassas poliméricas são caracterizadas por esta co-matriz”. A partir desta definição, pode-se descrever a argamassa polimérica como um agente sintético, fabricado em ambiente industrial. Ohama (1995, p. 1, tradução nossa) ainda explica que nos sistemas modificados com resina líquida e monômeros, a adição de água induz que o cimento hidrate e que a resina líquida ou os monômeros polimerizem.

Feldman (1989, p. 207, tradução nossa) sustenta que “argamassas e concretos poliméricos foram apenas recentemente apresentados, e muitas das suas propriedades ainda continuam sem ser completamente conhecidas”.

### 3.2.3 Argamassa Industrializada

A argamassa industrializada é um composto preparado em ambiente industrial, que possui componentes dosados de forma sistemática, para que se possua um padrão de fornecimento. Este tipo de argamassa se destaca pelo fato de ser um facilitador para obras de médio/grande porte, uma vez que a sua armazenagem se dá de duas formas: por sacaria ou em silos. Ela também pode ser considerada mais viável, pois apenas necessita da adição de água, na quantidade pré-estabelecida de fábrica, para se ter um composto pronto para utilização. Ambrozewicz (2012, p. 116) sustenta estas informações, afirmando que a argamassa industrializada é preparada na fábrica, já vindo com os componentes previamente dosados, sendo necessário apenas o complemento de água na quantidade determinada pelo fabricante. O autor ainda ampara a citação acima afirmando que a argamassa é normalmente fornecida em sacos ou em silos de armazenagem.

Ainda correspondendo com Ambrozewicz, a argamassa industrializada também é definida pela norma NBR 13529 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013) como uma “argamassa proveniente de processo controlado e dosagem precisa, em instalação industrial, fornecida embalada ou a granel”.

### 3.2.4 Argamassa Convencional

A argamassa convencional, produzida *in loco*, é uma argamassa que é costumeiramente empregada em obras de pequeno porte, pois há a verificação de vantagem econômica quando a necessidade diária não é de grande escala. No entanto, a sua produção carece quando o assunto é controle tecnológico, fazendo com que sua qualidade seja inferior na comparação com argamassas industrializadas.

Esta argamassa, entretanto, não estará presente na abordagem técnica deste trabalho de conclusão.

## 3.3 FORMAS DE APLICAÇÃO

Uma das maiores vantagens que se pode atribuir às argamassas poliméricas é o fato de sua aplicação no levantamento de alvenarias de vedação ser bastante simples e prático. Segundo os fabricantes, dois simples filetes da argamassa, aplicados paralelamente a uma distância mínima da borda, são suficientes para unificar os blocos e prover resistência suficiente para que as unidades de alvenaria fiquem unidas. Ainda sobre a aplicação, o método de filetes pode ser feito através da utilização de uma pistola aplicadora que garante ao profissional uma otimização do tempo de produção e, conseqüentemente, maior produção.

No entanto, não somente a argamassa polimérica possui este diferencial. A argamassa industrializada, com a assistência de diferentes ferramentas de aplicação de argamassa na alvenaria, pode ser considerada também uma argamassa que produz pouca quantidade de resíduos. A palheta e a colher meia cana, por exemplo, quando operadas por profissionais qualificados, podem ser ferramentas que trazem grande produção com pouca perda. Já a colher de pedreiro, que pode ser considerada a ferramenta mais comum no dia-a-dia da construção civil, tem grande potencial de desperdício, pois não possui em qualquer um de seus lados uma parte que proteja e que retenha massa, tornando-a passível de queda de argamassa e, como resultado, a perda de material.

## 4 PROGRAMA EXPERIMENTAL

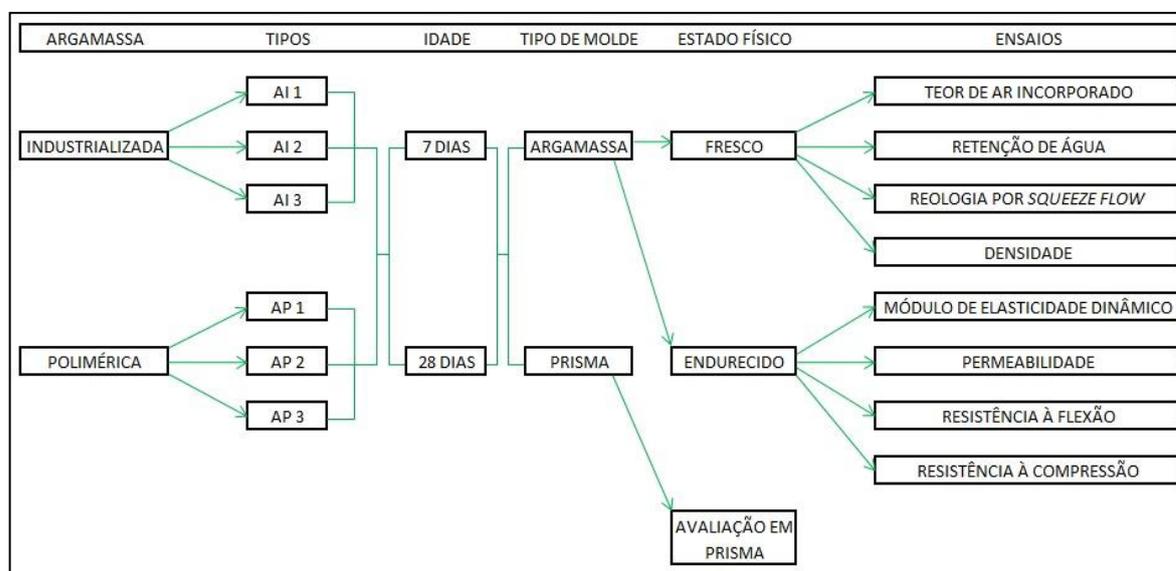
Para atender o objetivo desta pesquisa, que é comparar o desempenho de argamassas poliméricas e argamassas industrializadas ensacadas, do ponto de vista mecânico e de durabilidade, será realizado o seguinte programa experimental descrito a seguir. Os ensaios foram realizados no laboratório LAMTAC/NORIE/UFRGS.

O programa experimental foi estruturado com base em ensaios de caracterização, empíricos e normatizados, e abordarão propriedades das argamassas nos estados fresco e endurecido, como já descritos anteriormente.

### 4.1 METODOLOGIA

A avaliação do comportamento das argamassas analisadas neste trabalho foi feita através da avaliação das mesmas, tanto no estado fresco quanto no endurecido, bem como seu desempenho em prismas confeccionados com elementos cerâmicos. A Figura 4, a seguir, ilustra o programa experimental adotado na pesquisa.

Figura 4: propriedades avaliadas para os diferentes tipos de argamassa



(fonte: elaborado pelo autor)

Além dos corpos de prova de argamassa, foram moldados prismas para avaliação no estado endurecido para duas idades: sete e vinte e oito dias.

A moldagem dos corpos de prova das argamassas industrializadas não apresentou dificuldades, usando uma mesma argamassada para a realização dos ensaios no estado fresco que foram apontados na Figura 4 e, ainda, utilizando o mesmo volume para a aplicação das argamassas nos moldes de 4x4x16 cm para posteriores ensaios de estado endurecido.

A moldagem dos corpos de prova das argamassas poliméricas demonstrou-se ser um desafio particular para este trabalho, especialmente quando se refere aos corpos de prova para ensaio de resistência à tração na flexão. Foram feitas três tentativas de moldagens com as três diferentes marcas de argamassas poliméricas. De acordo com um dos fabricantes, a argamassa, se moldada nos moldes usuais de 4x4x16 cm, fissuraria por retração logo no segundo dia. Foi, então, pensado e desenvolvido um protótipo de forma cerâmica com dimensões iguais aos moldes metálicos, partindo do princípio que uma maior área superficial elevaria as chances de adquirir resistência, a partir das reações com o ar, necessária para a realização de ensaios aos sete dias, como previsto no programa experimental. A informação passada pelo fabricante se confirmou, com o molde apresentando aspecto úmido no seu interior. A Figura 5, abaixo, mostra o protótipo do molde cerâmico usado para a confecção do corpo de prova:

Figura 5: 1ª tentativa de moldagem de corpos de prova de argamassa polimérica.  
a) molde em material cerâmico para execução do corpo de prova, b) corpo de prova moldado

a)



b)

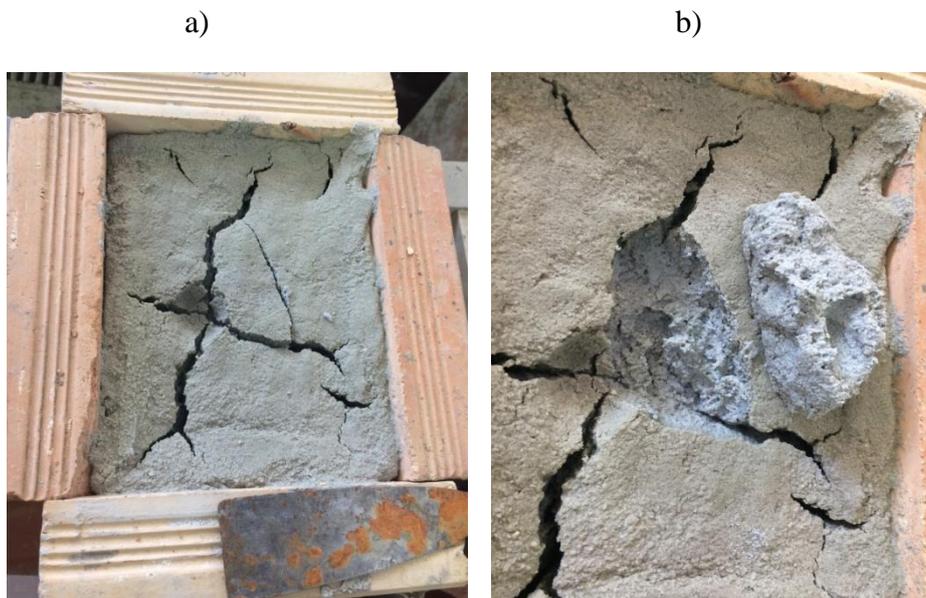


(fonte: elaborado pelo autor)

Mesmo possuindo a mesma altura do molde metálico 4x4x16 (em centímetros), a altura interna do corpo de prova ficou muito grande para permitir as reações no interior do corpo de prova. Aos sete dias ainda não havia endurecido, não possibilitando a realização dos ensaios

para avaliação das propriedades mecânicas. Além disso, observou-se a existência de fissuras de grande abertura e era possível observar que o interior era úmido e sem endurecimento. Após dez dias ainda mantendo estas características, optou-se por descartar estes corpos de prova. A Figura 6 apresenta um dos moldes aos dez dias de idade.

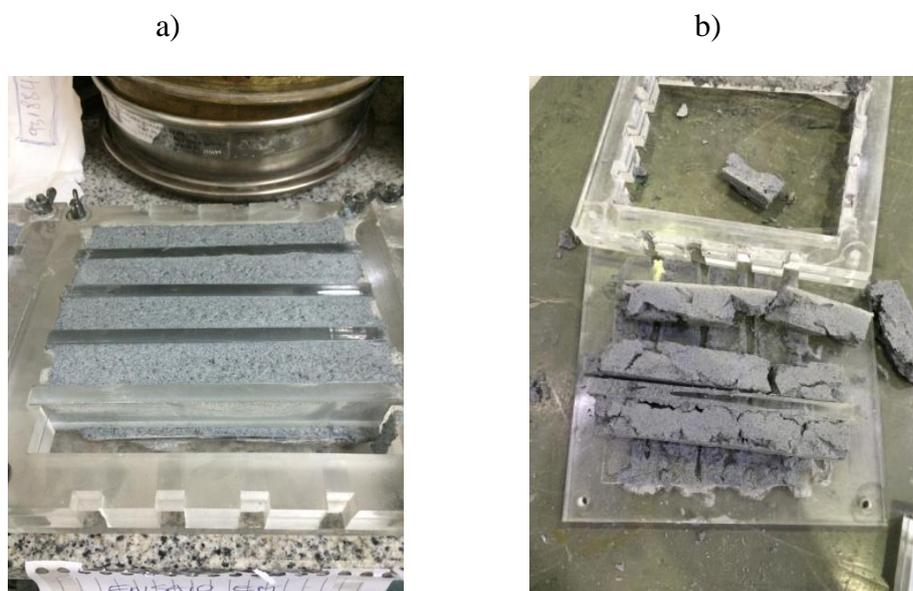
Figura 6: aspecto visual do corpo de prova de argamassa polimérica moldado em molde cerâmico de 14 cm x 18 cm, após 10 dias de idade. a) corpo de prova com fissura de elevada abertura, b) interior úmido e sem cura



(fonte: elaborado pelo autor)

Após verificar em decorrência da elevada espessura não se obtinha a secagem e a cura da argamassa em seu interior, decidiu-se testar corpos de prova de dimensões menores. Optou-se por utilizar um corpo de prova de 2x2x14 cm com molde acrílico utilizado em outras pesquisas, com o intuito de ensaiar estes prismas na flexão a tração. O resultado da moldagem, porém, novamente foi de argamassas não curadas no interior, impossibilitando qualquer tipo de ensaio com resultados coerentes e satisfatórios com os corpos de prova. A Figura 7 mostra o aspecto visual das argamassas no estado fresco e endurecido.

Figura 7: aspecto visual das argamassas moldadas em mole de acrílico de 2x2x14 cm: a) no estado fresco, após moldagem, b) após sete dias, no momento da desmoldagem

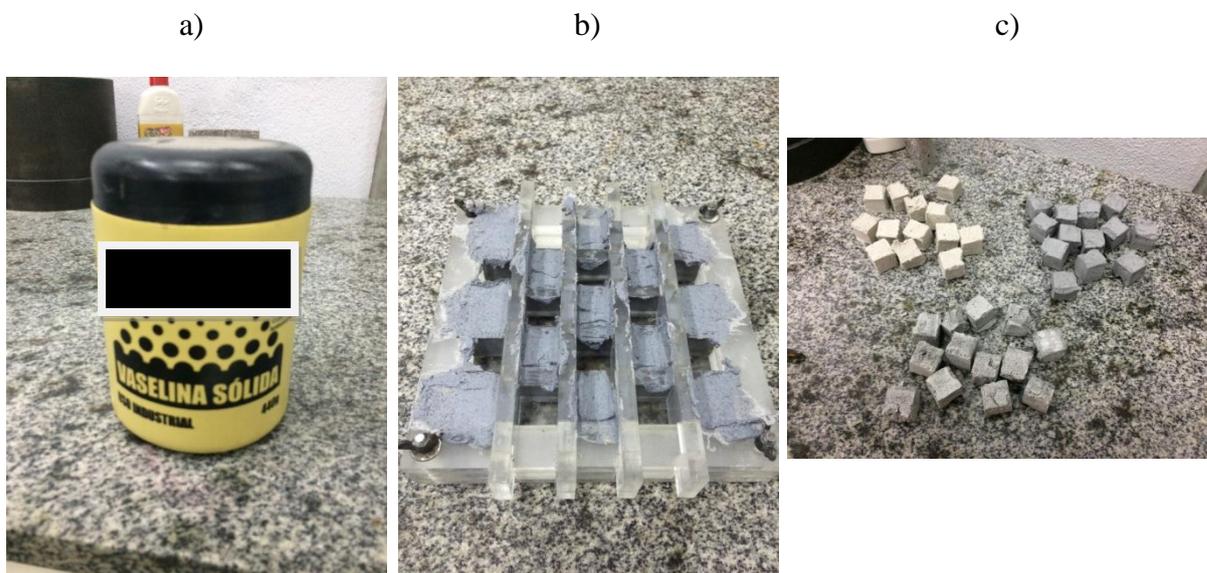


(fonte: elaborado pelo autor)

Desta forma, não foi possível avaliar as argamassas poliméricas do ponto de vista da resistência à tração na flexão, devido à grande dificuldade de moldar um corpo de prova que permitisse uma cura interna e não apenas superficialmente. Pelo mesmo motivo, adotou-se como critério realizar o ensaio de resistência à compressão apenas aos 28 dias de idade, pois assim estaria garantido que a parte interna dos prismas estaria curada e teria resistência necessária para a realização do ensaio.

A partir destas definições, foi feita uma nova moldagem das argamassas poliméricas, desta vez com dimensões reduzidas a 2x2x2 cm. Para uma melhor desforma e garantia de que os mini-prismas não sofreriam qualquer tipo de dano, as formas de acrílico foram lubrificadas com vaselina industrial. A Figura 8 mostra o processo de moldagem dos corpos de prova para o ensaio de resistência à compressão.

Figura 8: confecção dos corpos de prova para o ensaio de resistência à compressão aos 28 dias de idade: a) vaselina utilizada como desmoldante; b) moldagem dos corpos de prova de 2x2x2cm em formas acrílicas; c) aspecto visual dos corpos de prova depois de endurecido



(fonte: elaborado pelo autor)

Em relação às argamassas industrializadas ensaiadas, como esperado, estas não apresentaram nenhuma dificuldade para a produção dos corpos de prova.

## 4.2 PARÂMETROS DE ANÁLISE NO ESTADO FRESCO

Para que se possam verificar as propriedades das argamassas, uma série de ensaios foi realizada. Estes ensaios mensuraram as especificações inerentes às argamassas, para que depois fossem analisadas e comparadas quanto aos dois tipos de argamassas estudados neste trabalho. Os próximos itens especificam os parâmetros que serão analisados nos ensaios de argamassas no estado fresco.

### 4.2.1 Teor de Ar Incorporado

O ensaio que preconiza o teor de ar incorporado no estado fresco de argamassas de assentamento e revestimento de paredes e tetos através do método pressiométrico é dado pela norma NBR NM 47/2002. O teor de ar é calculado através da leitura de um manômetro acoplado à tampa de um cilindro metálico, que possui um pequeno conduto para inserção de

água dentro do volume e uma entrada para pressionamento da argamassa através de bomba de ar.

### 4.2.2 Retenção de Água

O ensaio que preconiza a retenção de água no estado fresco de argamassas de assentamento e revestimento de paredes e tetos é dado pela norma NBR 13277 (ABNT, 1995). A retenção de água é calculada através da Equação 1, descrita como:

$$Ra = \left[ 1 - \frac{(M_f - M_{se})}{AF(M_{ma} - M_m)} \right] \quad (\text{Equação 1})$$

Sendo:

AF = fator água/argamassa fresca, dado pela equação:  $AF = M_w / (M + M_w)$ ;

M = massa de argamassa industrializada ou soma das massas de componentes anidros no caso de argamassa de obra, em g;

$M_w$  = massa total de água acrescentada à mistura, em g;

$M_f$  = massa do conjunto de discos molhados de papel-filtro, em g;

$M_{se}$  = massa do conjunto de discos secos, em g;

$M_{ma}$  = massa do molde com argamassa, em g;

$M_m$  = massa do molde vazio, em g.

### 4.2.3 Reologia pelo Método *Squeeze-Flow*

A reologia de uma argamassa é uma propriedade que vem sendo bastante abordada nos últimos anos, sendo verificada, entre outros, por Stolz (2011), Pagnussat (2013) e Pagnussat e Masuero (2015). Possuindo normatização desde o ano de 2010, através da NBR 15839 (ABNT, 2010), a caracterização reológica pelo método de *Squeeze-Flow* de uma argamassa permite que se possam analisar as propriedades de uma argamassa comparando-as com seu desempenho em situações reais. Conforme Cincotto e Rago (1995), “a reologia está relacionada com a deformação dos materiais, podendo-se correlacionar as propriedades do

material com o seu comportamento em situações práticas”. Bauer (2005, p. 37) define a reologia como “a ciência que estuda a deformação e o 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, tradução nossa)

A caracterização reológica de uma argamassa pode ser medida através de uma variada gama de ensaios e, dentro desta lista, se encontra o ensaio de mesa de consistência. Esse ensaio, definido pela norma NBR 13276 (ABNT, 2002), permite identificar o índice de consistência das argamassas, que corresponde à média das três medidas lidas ao final da execução do ensaio. Segundo a norma, “estas medidas devem ser realizadas em três diâmetros tomados em pares de pontos uniformemente distribuídos ao longo do perímetro” (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2002).

As argamassas industrializadas foram produzidas conforme instruções dos fabricantes, utilizando-se a quantidade de água informada por cada uma delas. Na Tabela 1 são apresentados os valores do índice de consistência segundo a norma NBR 13276:

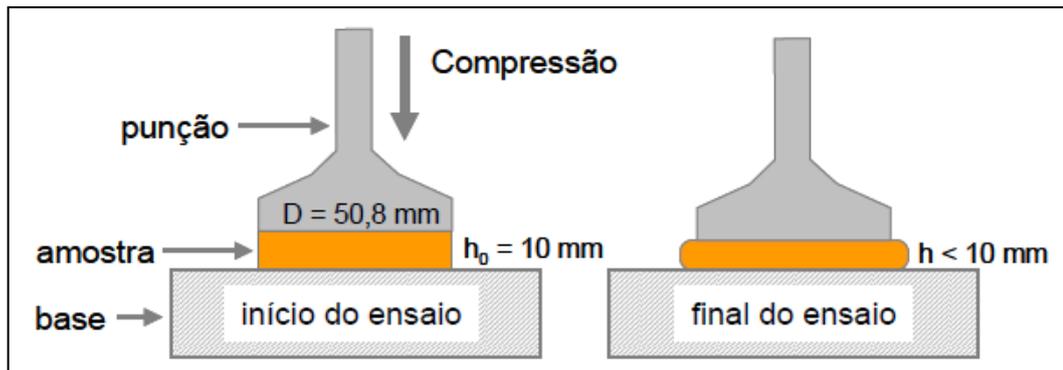
Tabela 1: índice de consistência para as argamassas industrializadas estudadas

Argamassa	Índice de Consistência (mm)
A11	252
A12	275
A13	228
AP1	231
AP2	186
AP3	181

(fonte: elaborado pelo autor)

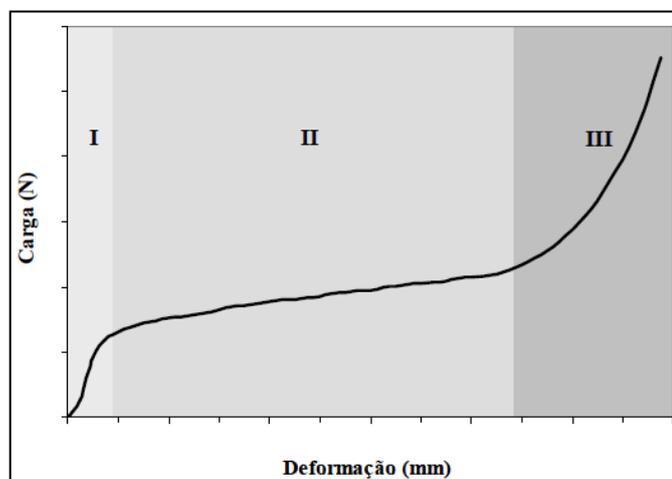
O método *Squeeze-Flow* é definido como um procedimento que “baseia-se na medida do esforço necessário para a compressão uniaxial de uma amostra cilíndrica do material entre duas placas paralelas” (CARDOSO; PILEGGI; JOHN, 2005). Seu ensaio está definido por norma segundo a NBR 15839 (ABNT, 2010). Na Figura 9, apresenta-se um modelo esquemático do processo do ensaio de *Squeeze-Flow*.

Figura 9: ensaio de *squeeze-flow* (CARDOSO; PILEGGI; JOHN, 2005)



Conforme determina a norma NBR 15839, o ensaio finaliza sempre que se chega aos 9 mm de deformação ou quando se chega a 1 kN de carga aplicada. Segundo Cardoso et al. (2005), os resultados do ensaio de *Squeeze-Flow* podem ser verificados a partir da Figura 10, onde se apresenta um gráfico carga (N) *versus* deslocamento (mm), apresentando três estágios bem distintos. De acordo com os autores, o primeiro estágio apresenta pequenas deformações, com a argamassa se apresentando uma deformação elástico linear. O estágio dois nos mostra que a compressão axial do punção resulta em deformação radial e de cisalhamento da argamassa, “superando as forças que o mantinham sob comportamento elástico, e assim, o mesmo flui por deformação plástica e/ou viscosa dependendo das suas características”. O estágio final apresenta uma fase onde se necessita grandes valores de cargas para uma menor deformação, devido à aproximação das partículas e à maior interação das mesmas. A Figura 10, a seguir, apresenta um gráfico modelo que representa os estágios I, II e III.

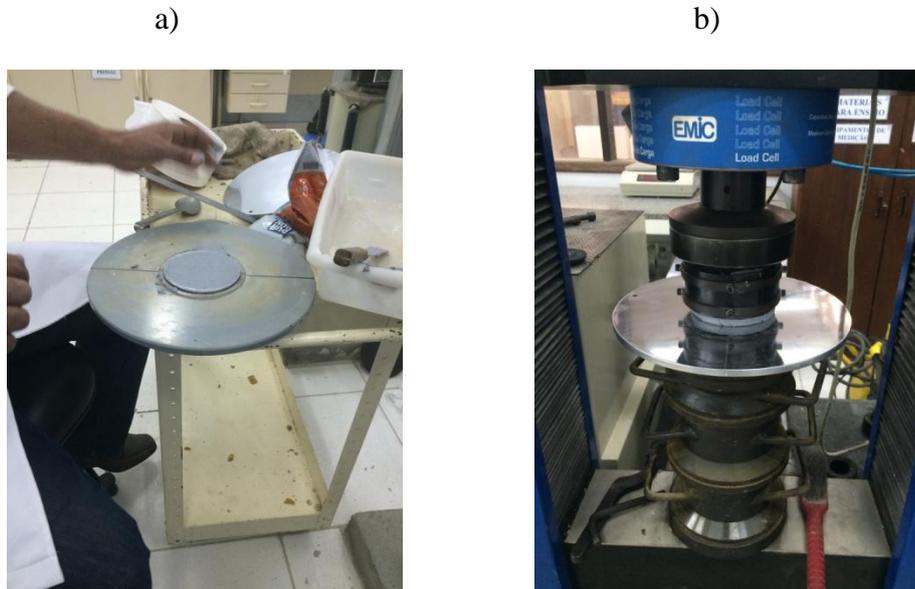
Figura 10: estágios do ensaio de *squeeze-flow* (CARDOSO; PILEGGI; JOHN, 2005)



A caracterização reológica das argamassas neste trabalho é dada pela norma NBR 15839 (ABNT, 2010). Segundo a própria norma, a definição de *Squeeze-flow* é descrita como “fluxo e deformação sob compressão axial de uma amostra cilíndrica, entre duas placas paralelas” (ABNT, 2010).

A norma descreve os processos para realização do ensaio, desde a aparelhagem necessária até o detalhamento de todas as etapas para a execução do ensaio, propriamente dito. A seguir, na Figura 11, o aspecto das argamassas na moldagem para o ensaio e no equipamento para realização do ensaio.

Figura 11: aspecto das argamassas no ensaio de reologia por *Squeeze-Flow*: a) molde preparado, b) molde posicionado para ensaio



(fonte: elaborado pelo autor)

#### 4.2.4 Densidade

A densidade no estado endurecido de argamassas de assentamento e revestimento de paredes e tetos é avaliada pela norma a NBR 13278 (ABNT, 2005). A densidade, é calculada através da Equação 2, descrita como:

$$\rho_{max} = \frac{m}{v} 1000 \quad (\text{Equação 2})$$

Sendo:

$\rho_{\text{máx}}$  = densidade de massa, em kg/m<sup>3</sup>;

m = massa do corpo de prova, em g;

v = volume do corpo de prova, em cm<sup>3</sup>, dado por  $v = l * h * c$ ;

l = largura do prisma;

h = altura do prisma;

c = comprimento do prisma.

### 4.3 PROPRIEDADES NO ESTADO ENDURECIDO

Os ensaios para avaliação das propriedades analisadas das argamassas no estado endurecido estão descritas abaixo.

#### 4.3.1 Módulo de Elasticidade Dinâmico

O ensaio que preconiza o módulo de elasticidade dinâmico no estado endurecido de argamassas para assentamento e revestimento de paredes e tetos é dado pela NBR 15630 (ABNT, 2008). A velocidade de propagação das ondas ultra-sônicas, segundo a norma, é calculada através da Equação 3, descrita por:

$$v = \frac{L}{t} \quad (\text{Equação 3})$$

Sendo:

v = velocidade de propagação da onda ultra-sônica, em mm/μs;

L = distância entre pontos de acoplamento de transdutores (comprimento do corpo de prova), em mm;

t = tempo registrado pelo mostrador digital, em μs.

O módulo de elasticidade dinâmico é, então, definido pela Equação 4:

$$E_d = v^2 \rho \frac{(1+\mu)(1-2\mu)}{1-\mu} \quad (\text{Equação 4})$$

Onde:

$E_d$  = módulo de elasticidade dinâmico, em MPa;

$v$  = velocidade de propagação da onda ultra-sônica, em mm/ $\mu$ s;

$\rho$  = densidade de massa aparente do corpo de prova, em kg/m<sup>3</sup>;

$\mu$  = coeficiente de Poisson, adotado nesta equação como 0,2.

### 4.3.2 Resistência à Compressão

Após os corpos de prova serem submetidos ao ensaio de flexão à tração, os seis prismas resultantes serão avaliados à compressão, conforme descrito na norma NBR 13279 (ABNT, 2005). A resistência à compressão é calculada através da Equação 5, descrita por:

$$R_c = \frac{F_c}{A} \quad (\text{Equação 5})$$

Sendo:

$R_c$  = resistência à compressão, em MPa;

$F_c$  = carga máxima aplicada, em N;

$A$  = área da seção considerada

### 4.3.3 Resistência à Flexão

O ensaio que preconiza a resistência à flexão no estado endurecido de argamassas de assentamento e revestimento de paredes e tetos é dado pela norma a NBR 13279 (ABNT, 2005). Foram avaliados três corpos de prova de cada argamassa, conforme determina a norma acima. A resistência à flexão é calculada através da Equação 6, descrita por:

$$R_f = \frac{1,5F_f L}{40^3} \quad (\text{Equação 6})$$

Sendo:

$R_f$  = resistência à tração na flexão, em MPa;

$F_f$  = força aplicada verticalmente no centro do prisma, em N;

L = distância entre os suportes, em mm.

#### 4.3.4 Permeabilidade

O ensaio que preconiza a absorção de água por capilaridade e determina o coeficiente de capilaridade de argamassas de assentamento e revestimento de paredes e tetos é dado pela norma a NBR 15259 (ABNT, 2005). A absorção de água por capilaridade é calculada através da Equação 7, dada por:

$$A_t = \frac{m_t - m_0}{A} \quad (\text{Equação 7})$$

Sendo:

$A_t$  = absorção de água por capilaridade, para cada tempo, em g/cm<sup>2</sup>;

$m_t$  = massa do corpo de prova, em cada tempo, em g;

$m_0$  = massa inicial do corpo de prova, em g;

A = área do corpo de prova, em cm<sup>2</sup>.

O coeficiente de capilaridade, também segundo a norma NBR 15259, é calculado através da Equação 8:

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

Sendo:

C = coeficiente de capilaridade, em g/dm<sup>2</sup>.min<sup>1/2</sup>

$m_{10}$  e  $m_{90}$  são descritos como o valor de massa no minuto 10 e 90, respectivamente.

#### 4.4 ENSAIO DE DESEMPENHO

Para avaliação do desempenho das argamassas, moldaram-se prismas, nas quais foi avaliada a resistência à flexão do mesmo.

O ensaio consistiu, basicamente, em moldar corpos de prova com quatro blocos de seis furos horizontais, assentados com as diferentes argamassas dos dois tipos estudados. Após isto, em cada idade de ensaio, cada prisma foi colocado na horizontal sobre dois apoios posicionados

nas extremidades. Sobre o corpo de prova, foi colocada uma placa metálica e nela foi aplicada uma força com velocidade controlada. A distribuição dos esforços foi feita para que se tivesse uma melhor noção de qual o ponto mais frágil à ruptura dos prismas, se era na argamassa, na interface tijolo-argamassa, ou ainda se no próprio tijolo. Foram feitos três prismas para cada idade de ensaio, sete e vinte e oito dias, para fazer os ensaios e obtermos uma boa variedade de resultados, respeitando o que pede a norma NBR 13279 (ABNT, 2005) de se moldar três corpos de prova prismáticos por idade.

Este ensaio teve por finalidade verificar se os prismas romperam na interface da aplicação argamassa-bloco, na própria argamassa ou ainda no próprio bloco. Estes três tipos de ruptura caracterizam o quanto rígidas as argamassas podem ser ou não, assim como se a argamassa possui uma boa aderência entre ela e o bloco assentado.

Bauer (2005, p. 37) reforça a importância de ensaios empíricos, afirmando:

“Apesar de todo o avanço no desenvolvimento no desenvolvimento de novos materiais e no estudo de argamassas, em determinadas avaliações ainda é notório o caráter empírico nas proposições de determinadas soluções”.

## 5 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo, serão apresentados os resultados dos ensaios para cada tipo de argamassa. Os ensaios foram realizados no laboratório LAMTAC/NORIE/UFRGS.

### 5.1 ESTADO FRESCO

Inicialmente são mostrados os resultados dos ensaios no estado fresco para os dois tipos de argamassas.

#### 5.1.1 Teor de Ar Incorporado

O teor de ar incorporado foi calculado através do método pressiométrico, conforme a NBR NM 47/2002.

Os valores obtidos para cada argamassa pesquisada são apresentados na Tabela 2, a seguir:

Tabela 2: teor de ar incorporado para os diferentes tipos de argamassas estudadas

Argamassa	Teor de Ar Incorporado (%)
AI1	1,3
AI2	2,3
AI3	4,4
AP1	0,9
AP2	1,9
AP3	1,6

(fonte: elaborado pelo autor)

Nota-se que, de forma geral, que as argamassas industrializadas possuem maior percentual de teor de ar incorporado do que as argamassas poliméricas. Isto se verifica pelo fato de, inseridos os componentes dentro da argamassadeira/betoneira, o movimento das pás do equipamento induz a incorporação de ar. Segundo informações do fabricante, a argamassa industrializada AI1 não possui aditivo incorporador de ar em sua formulação. Isto explica o baixo valor apresentado na Tabela 2. Os resultados estão em conformidade aos encontrados

por Moura (2007) e Stolz (2011), onde avaliaram as propriedades no estado fresco e endurecido de diferentes argamassas industrializadas disponíveis no mercado.

Como esperado, nas argamassas poliméricas não existe essa diferenciação, observado na Tabela 2, pois as mesmas já vêm prontas dentro da embalagem.

Apenas para fins de observação, para o ensaio de teor de ar incorporado da argamassa AP2, se utilizou o volume final de uma bisnaga e posteriormente, para completar o volume do cilindro, foi aberta uma nova bisnaga. Constatou-se, então, alteração de cor entre as duas embalagens, não sendo preciso se houve ou não alteração das propriedades inerentes a esta argamassa polimérica. Entretanto, espera-se não haver modificações das propriedades por conta de a argamassa ser produzida em ambiente industrial.

### 5.1.2 Retenção de Água

A retenção de água das argamassas foi calculada conforme prescrições da norma NBR 13277 (ABNT, 1995) e seus resultados são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3: retenção de água das argamassas estudadas

Argamassa	Retenção de Água (%)
A11	99,12
A12	98,92
A13	98,31
AP1	99,79
AP2	99,79
AP3	99,80

(fonte: elaborado pelo autor)

Conforme a norma NBR 13281 (ABNT, 2005), todas as argamassas analisadas se encontram na faixa de retenção de água entre 95% e 100%, sendo assim classificadas como argamassas U6. Pode-se observar de acordo com os dados apresentados que as argamassas poliméricas têm pouquíssima perda de massa, pois os componentes que fazem parte da mistura da mesma não cumprem esta função de perda de água, uma vez que as argamassas poliméricas não

possuem água. Ainda, isto ocorre pelo fato de que estas argamassas, conforme apresentado na introdução, não demandam a adição de água para suas aplicações, diminuindo assim a possibilidade de uma maior perda de água na realização deste ensaio. Mesmo a variação sendo pequena entre argamassas industrializadas e poliméricas, constata-se que os valores são coerentes. Por conta de não se encontrar referências bibliográficas para as argamassas poliméricas, os resultados não puderam ser comparados.

As argamassas industrializadas tiveram uma perda um pouco maior que as argamassas poliméricas, mas com valores ainda consideráveis para uma boa aplicação em alvenarias de vedação e consequente boa ligação na interface argamassa-bloco. Mesmo que se tenha obtido valores muito altos, os resultados de retenção de água para argamassas industrializadas mostram-se compatíveis com Stolz (2011) e Silva (2007), que apresentam resultados de retenção de água acima dos 90%.

Segundo Carasek e Campagnolo (1990), a sucção exercida pelo tijolo e a capacidade da argamassa de resistir a esta ação são os principais fatores para definir a plasticidade e a trabalhabilidade de uma argamassa de assentamento. Os autores ainda identificam a retentividade como a principal propriedade da argamassa quando se trata da aderência com o tijolo. Vale lembrar que esta propriedade também corresponde às argamassas convencionais, mas não às argamassas poliméricas, que não trabalham com aderência mecânica e sim aderência química.

Se a água é cedida facilmente, a hidratação do cimento presente na mistura fica comprometida e, conseqüentemente, a resistência da argamassa também.

“Retentividade é a capacidade da argamassa de reter água contra a sucção do bloco. Se o bloco for muito poroso e retirar muito rapidamente a água da argamassa, não haverá líquido suficiente para a completa hidratação do cimento, o que resulta em uma fraca ligação entre o tijolo e a argamassa” (ROMAN et al., 1999).

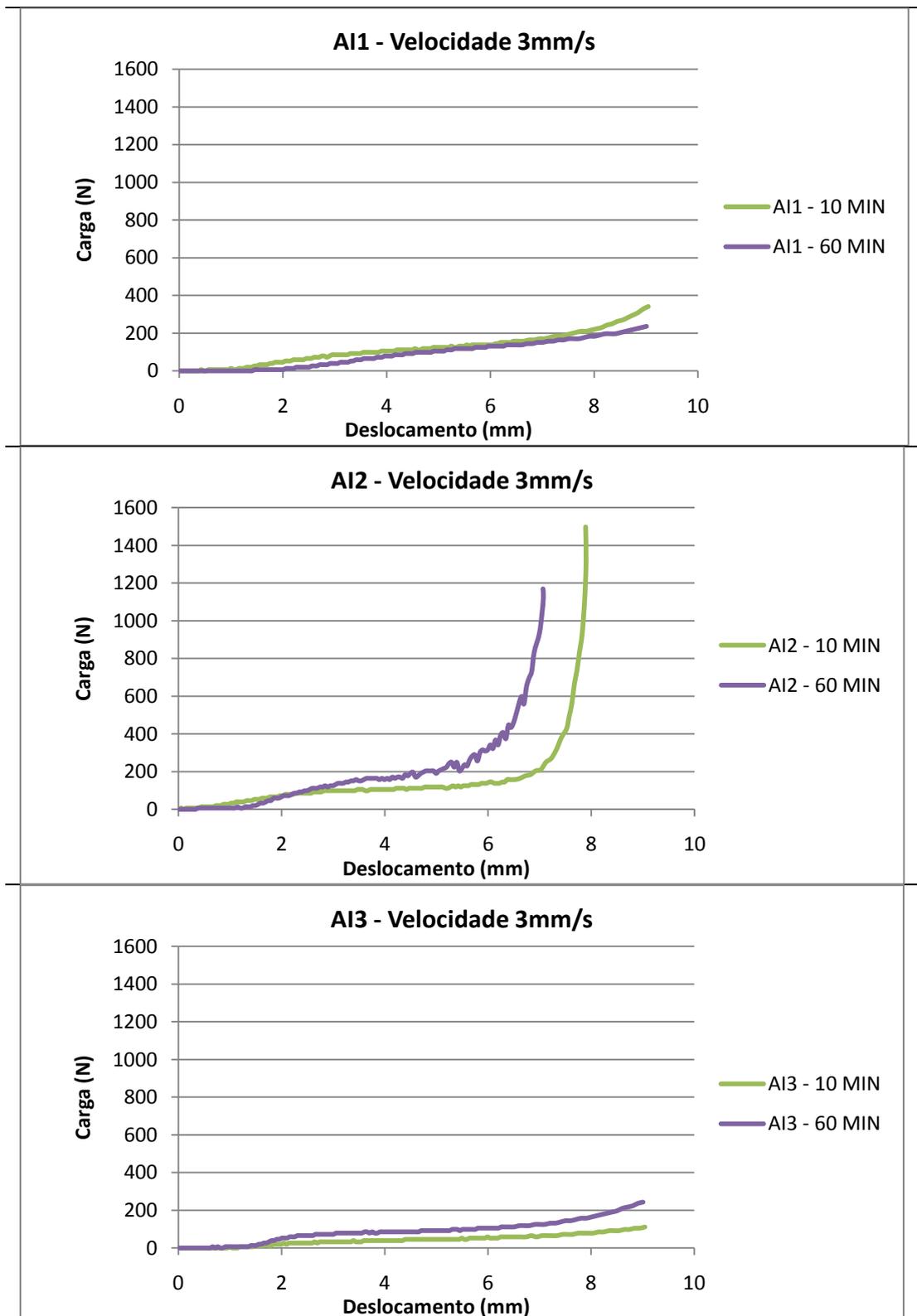
### **5.1.3 Reologia pelo Método *Squeeze-Flow***

O ensaio de *Squeeze-Flow* começa a sua contagem de tempo a partir do final da argamassada, no caso das argamassas industrializadas, obtendo um aumento de resistência pelo seu contato com o ar com o decorrer do tempo. Para melhor comparativo entre as argamassas poliméricas e industrializadas, as argamassas poliméricas foram deixadas expostas ao ar do minuto zero

até a verificação de 65 minutos. A prática disto teve por finalidade gerar um ambiente semelhante para a verificação das seis diferentes argamassas. Isso se explica pelo fato de as argamassas poliméricas chegarem para utilização ensacadas e já prontas para aplicação. Se as mesmas fossem deixadas dentro da embalagem, os ensaios de 60 e 65 minutos teriam praticamente a mesma situação que os de 10 e 15 minutos, por conta de estarem num mesmo ambiente presenciado para os primeiros ensaios.

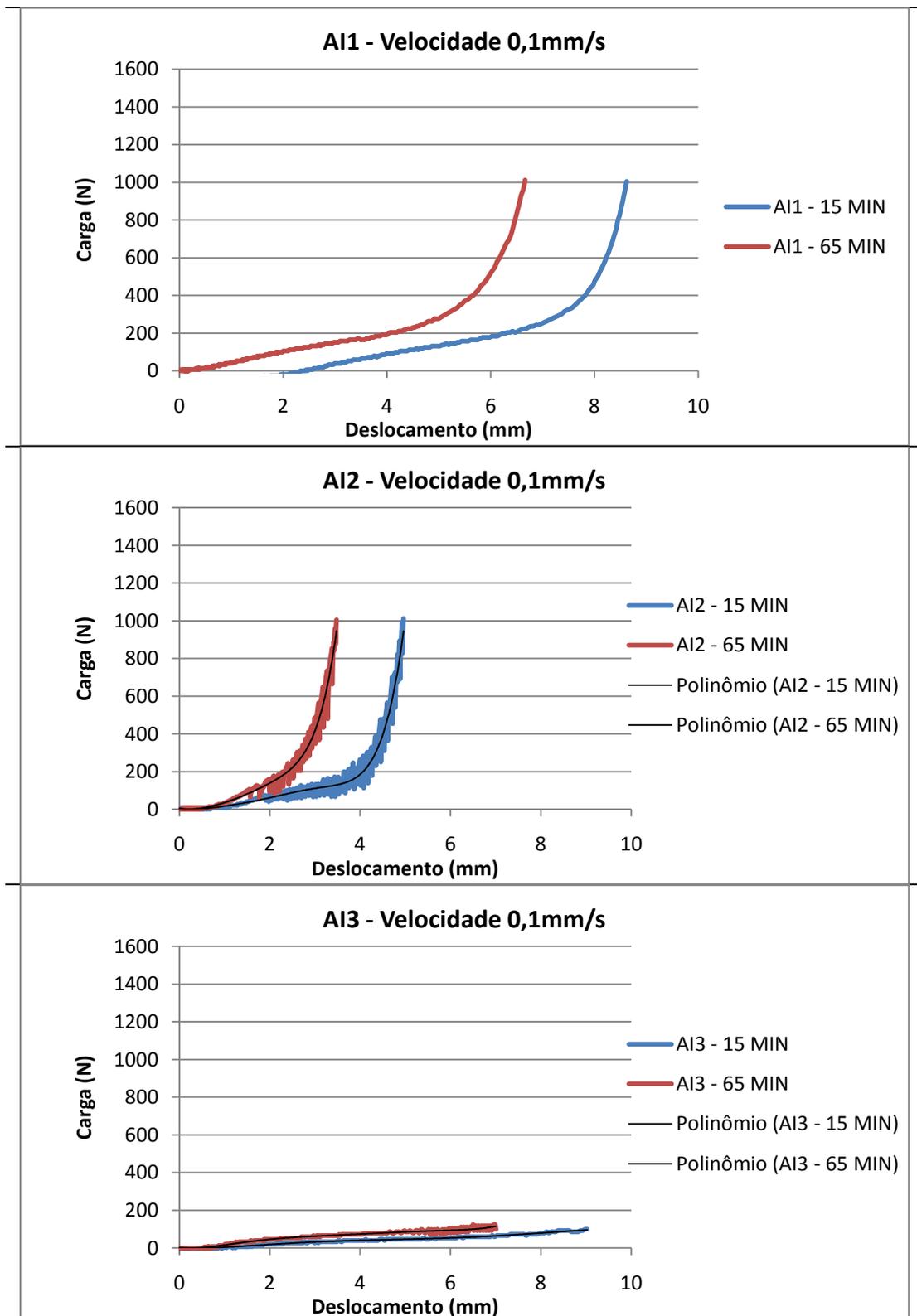
As Figuras 12 a 17, a seguir, apresentam os ensaios para argamassas industrializadas (12 a 14) e poliméricas (15 a 17), respectivamente.

Figura 12: ensaio de *squeeze-flow* aos 10 e 60 minutos para as três argamassas industrializadas



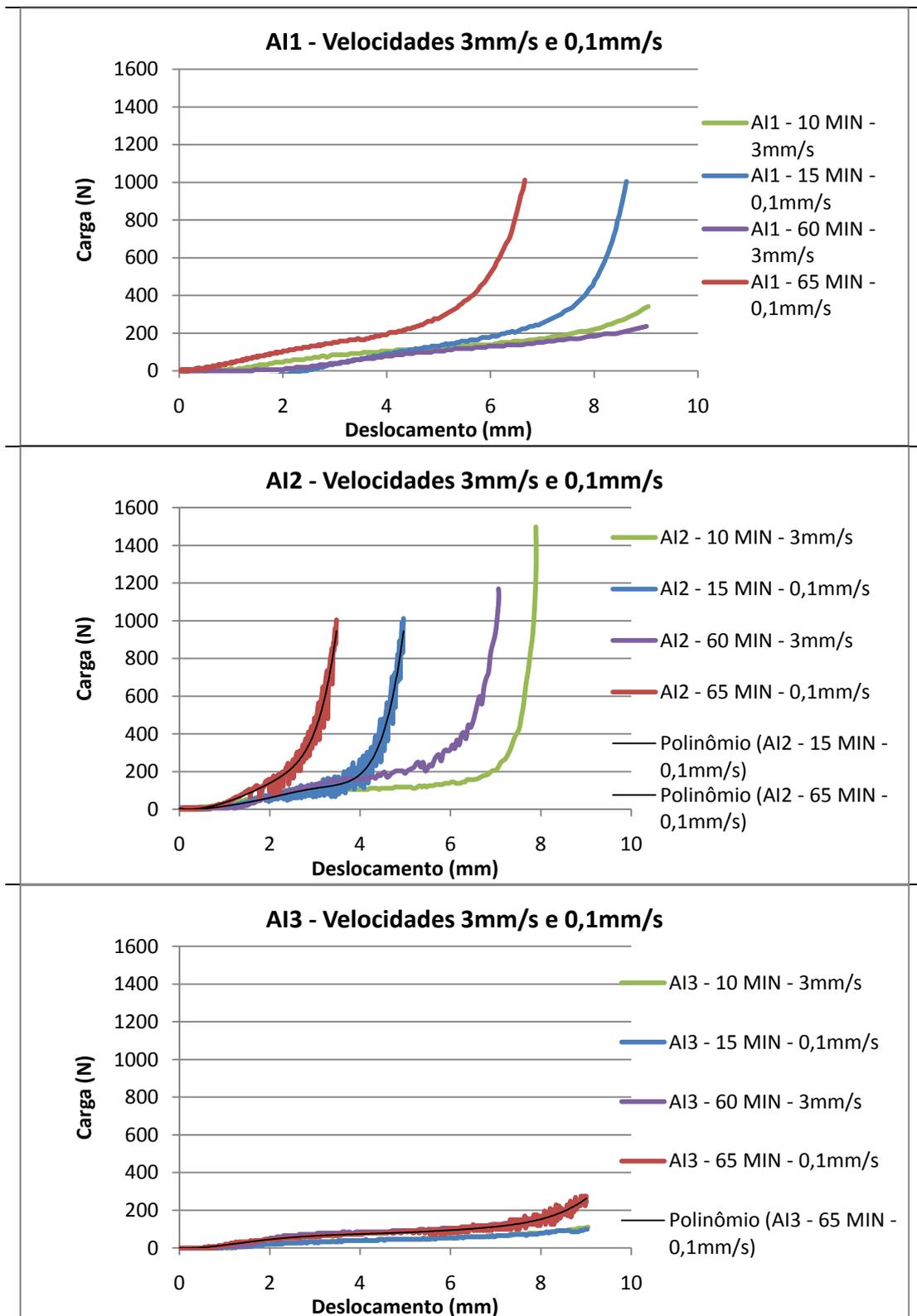
(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 13: ensaio de *squeeze-flow* aos 15 e 65 minutos para as três argamassas industrializadas

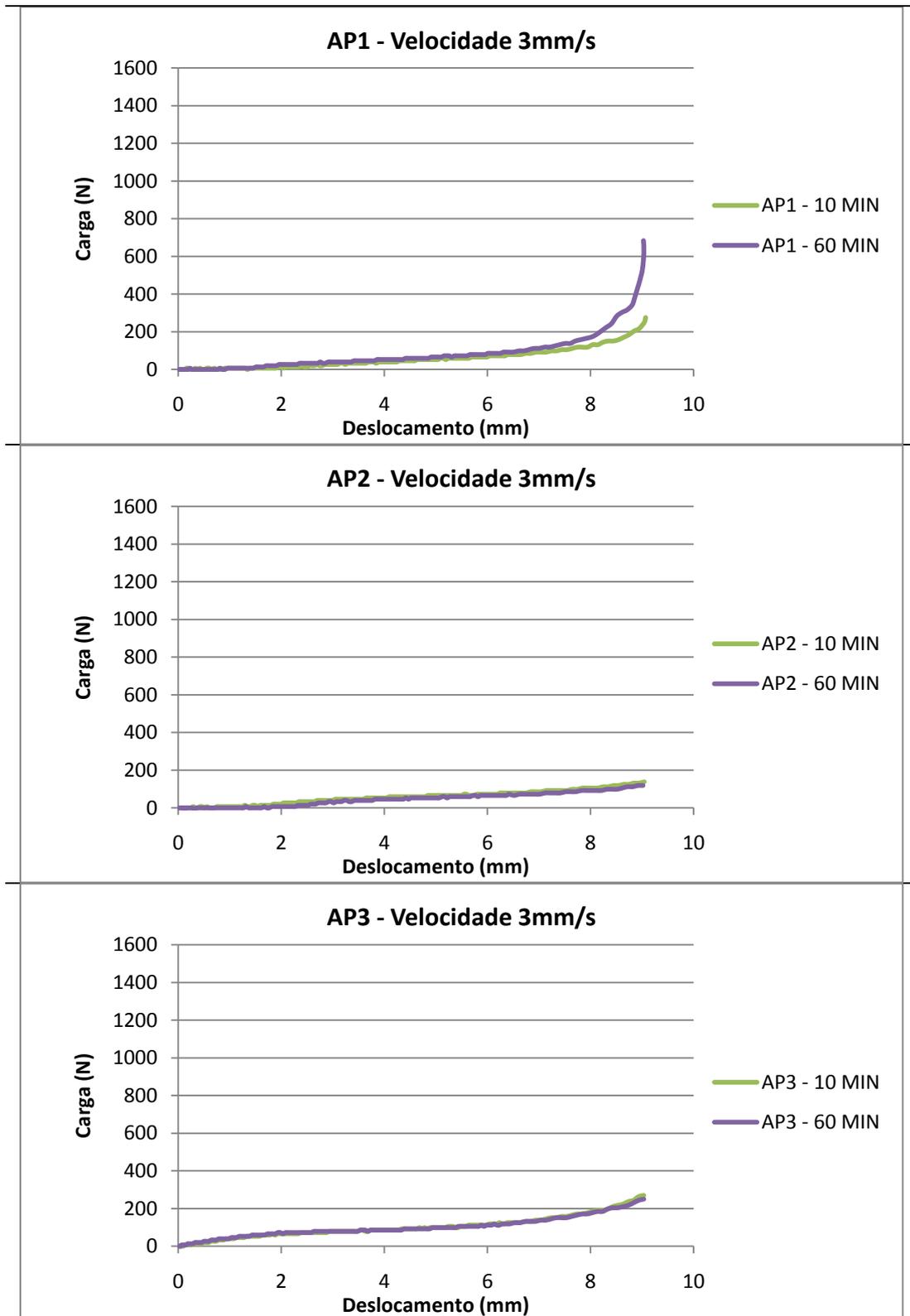


(fonte: elaborado pelo autor)

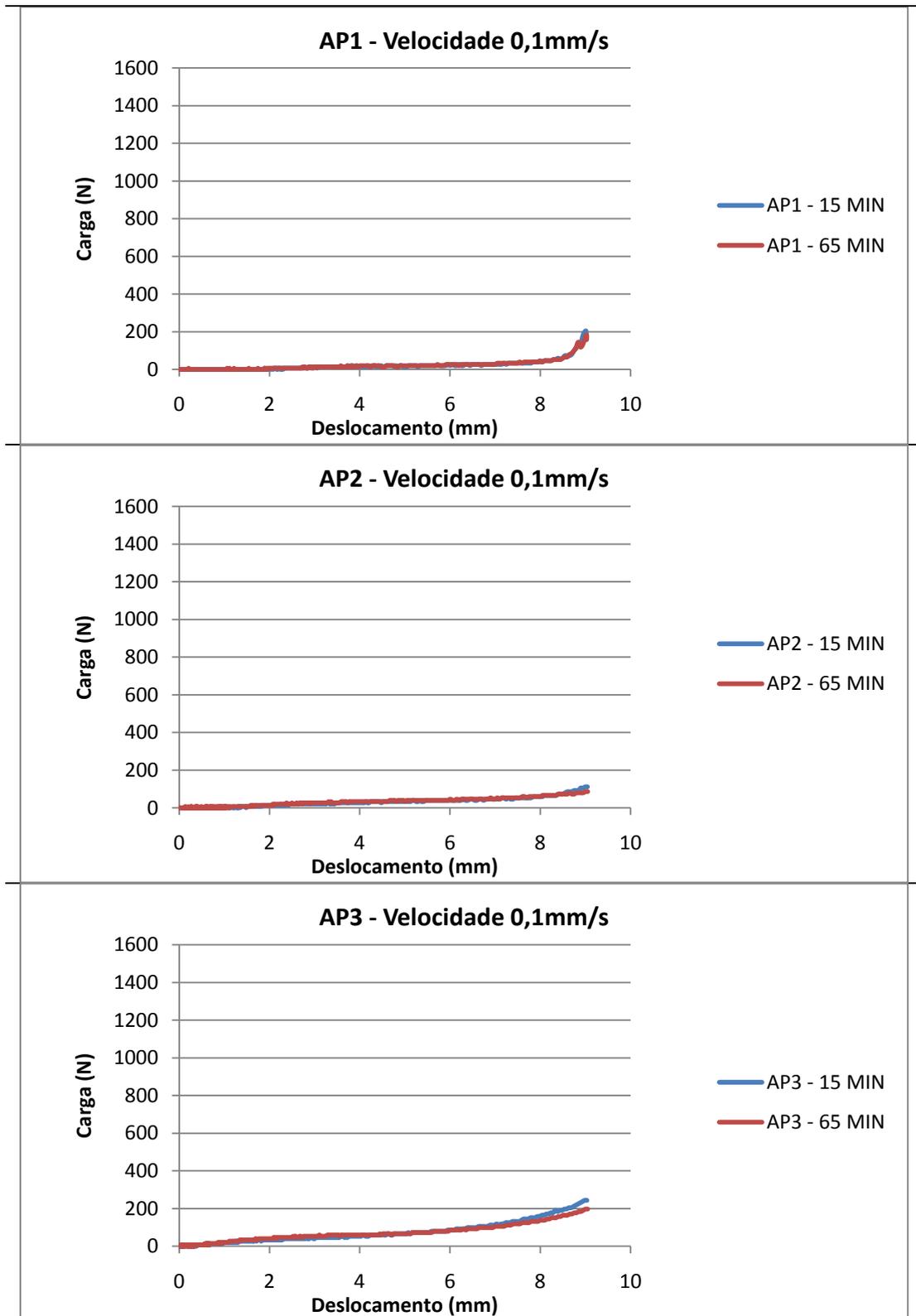
Figura 14: comparativo do ensaio de *squeeze-flow* aos 10, 15, 60 e 65 minutos para as três argamassas industrializadas



(fonte: elaborado pelo autor)

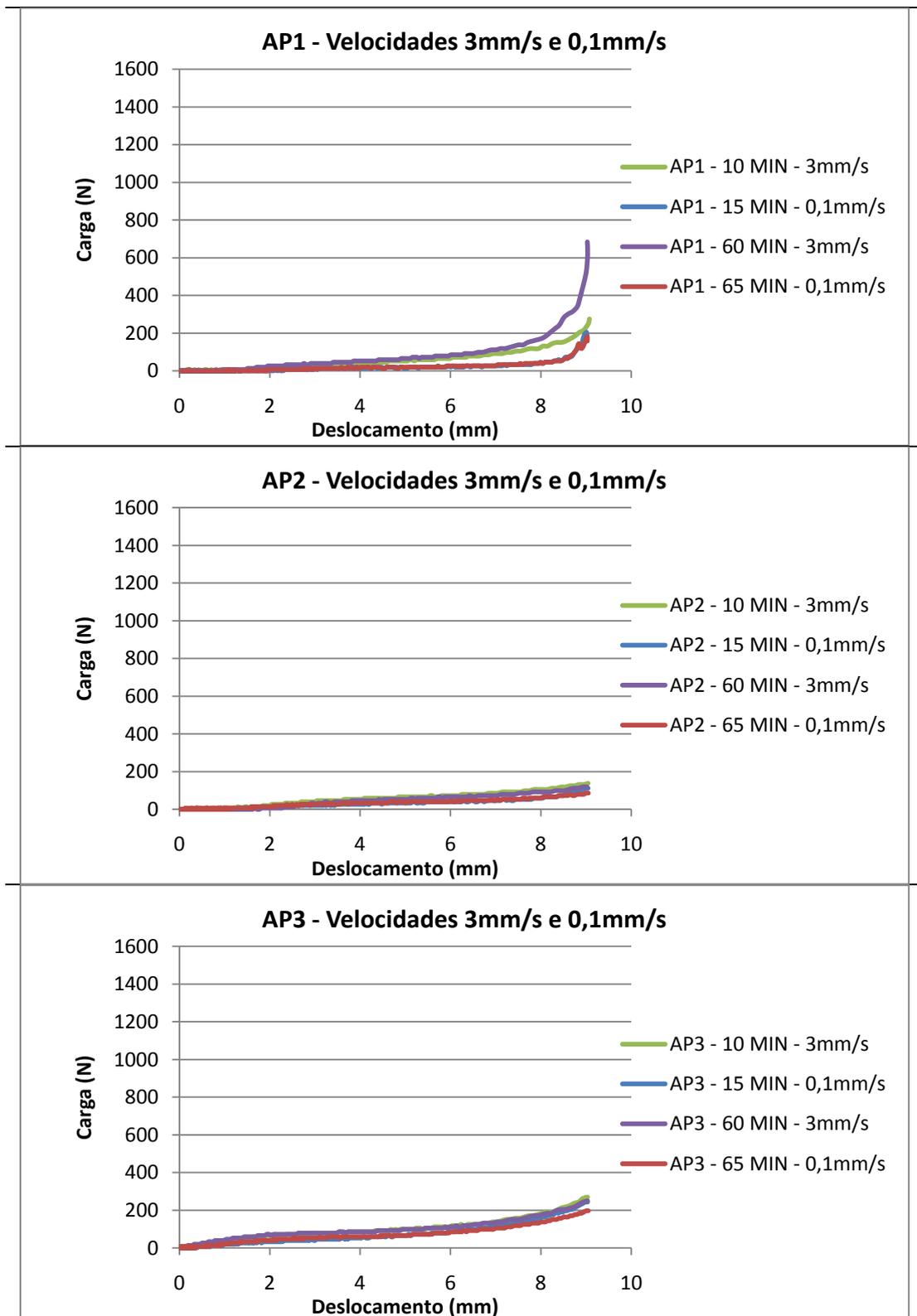
Figura 15: ensaio de *squeeze-flow* aos 10 e 60 minutos para as três argamassas poliméricas

(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 16: ensaio de *squeeze-flow* aos 15 e 65 minutos para as três argamassas poliméricas

(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 17: comparativo do ensaio de *squeeze-flow* aos 10, 15, 60 e 65 minutos para as três argamassas poliméricas



(fonte: elaborado pelo autor)

Analisando os gráficos das Figuras 12 a 17, pode-se verificar que ambos os tipos de argamassas tiveram desempenho assemelhado com o que prevê Cardoso et al. (2005). As argamassas AI3, AP1, AP2 e AP3, com exceção da verificação de 60 minutos da AP1, também tiveram comportamento semelhante, pois necessitaram de uma taxa mais reduzida de carga para obter o deslocamento final. Pode-se afirmar então, comparando os gráficos das Figuras 6 e 9, que as argamassas poliméricas necessitam menos carga comparada às industrializadas para obtenção dos mesmos deslocamentos.

Consegue-se notar que o estágio I, de deformação elástico linear, foi praticamente inexistente nestas argamassas. O estágio II apresentou diferentes configurações, mas ainda assim dentro de um padrão relatado por Cardoso et al. (2005), na Figura 10.

Ainda nas argamassas poliméricas, pode-se constatar que os ensaios finalizaram devido às argamassas terem atingido o valor limite de 9 mm de deformação.

Nas argamassas industrializadas, se nota que no estágio III as argamassas necessitaram mais carga para menores valores de deslocamento principalmente nos ensaios de 60 e 65 minutos, como esperado levando em consideração Stolz (2011), que afirma que “com o aumento da velocidade, observa-se que houve redução no deslocamento máximo das argamassas, com aumento da carga necessária para tal”. Isso se deve ao fato destas argamassas perderem plasticidade em consequência da evaporação da água, assim como as reações de hidratação das partículas cimentícias proporcionarem mais resistência. Pagnussat e Masuero (2015) atestam este parecer, afirmando:

“À medida que a argamassa foi perdendo água por evaporação e as reações de hidratação do cimento foram gradativamente ocorrendo na argamassa o estágio de enrijecimento por deformação foi ocorrendo com deslocamentos menores.”

Pode-se verificar também que para uma mesma carga, nos minutos 10 e 60, as argamassas industrializadas tiveram resultados distintos entre si, assim como nos ensaios dos minutos 15 e 65, como eram de se esperar. Este fato também se observa na realização dos ensaios dos minutos 10 e 60 nas argamassas poliméricas. Porém, pode-se constatar que, para uma mesma velocidade de aplicação de cargas, o segundo ensaio (60 e 65 minutos) necessita menos deformação para a conclusão do mesmo.

### 5.1.4 Densidade

A densidade das argamassas foi calculada através da norma NBR 13278 (ABNT, 2005) e os seus resultados são demonstrados na Tabela 4, a seguir.

Tabela 4: densidade de massa para as argamassa estudadas

Argamassa	Densidade de Massa (kg/m <sup>3</sup> )
AI1	2055,58
AI2	1966,82
AI3	1828,28
AP1	2109,29
AP2	1882,88
AP3	1972,53

(fonte: elaborado pelo autor)

Através da Tabela 4 pode-se perceber que a densidade de massa das argamassas industrializadas e poliméricas não teve grande variabilidade entre os dois tipos. Além disso, correlacionando estes resultados com os de teor de ar incorporado, nota-se que os resultados conectam entre si pois, quanto maior o teor de ar incorporado, menor deve de ser a densidade da argamassa.

Verificando as argamassas quanto à NBR 13281 (ABNT, 2005), pode-se constatar que todas as argamassas são classificadas como D5, apresentando valores de densidade no estado fresco entre 1800 kg/m<sup>3</sup> e 2200 kg/m<sup>3</sup>.

## 5.2 ESTADO ENDURECIDO

A seguir serão apresentados e analisados os resultados dos ensaios no estado endurecido para os dois tipos de argamassas.

### 5.2.1 Resistência à Flexão

O ensaio de resistência à flexão foi executado de acordo com a norma NBR 13279 (ABNT, 2005) e seus resultados estão expostos na Tabela 5.

Tabela 5: resistência à flexão ao longo das idades analisadas

Argamassa	Carga (N)	Carga (MPa)	Resistência à Flexão (MPa) - 7 dias	Desvio Padrão	Carga (N)	Carga (MPa)	Resistência à Flexão (MPa) - 28 dias	Desvio Padrão
AI1	236	0,55	0,93	0,67	368	0,86	0,94	0,07
	729	1,71			414	0,97		
	230	0,54			427	1,00		
AI2	499	1,17	0,94	0,20	545	1,28	1,47	0,48
	368	0,86			473	1,11		
	342	0,80			860	2,02		
AI3	788	1,85	1,80	0,97	1294	3,03	2,58	0,93
	1169	2,74			1360	3,19		
	342	0,80			644	1,51		

(fonte: elaborado pelo autor)

Como era de se esperar, analisando os resultados obtidos, observa-se que as resistências à tração na flexão dos corpos de prova aos 28 dias são superiores aos de 7 dias.

Para fins de constatação, se pode observar que o corpo de prova 3 da argamassa industrializada AI3, para as idades de sete e vinte e oito dias, obteve resultados abaixo do padrão que os outros dois corpos de prova apresentaram, evidenciando novamente algum problema de produção na segunda argamassada deste fabricante.

### 5.2.2 Resistência à Compressão

O ensaio de resistência à compressão foi executado de acordo com a norma NBR 13279 (ABNT, 2005) e seus resultados estão apresentados na Tabela 6.

Tabela 6: resistência à compressão de argamassas industrializadas e poliméricas ao longo das idades analisadas

Argamassa	Carga (N)	Carga (MPa)	Resistência à Compressão (Mpa) - 7 dias	Desvio Padrão	Carga (N)	Carga (MPa)	Resistência à Compressão (Mpa) - 28 dias	Desvio Padrão
AI1	1951	1,22	1,33	0,31	3291	2,06	2,72	0,66
	1653	1,03			3921	2,45		
	1557	0,97			3987	2,49		
	2227	1,39			3567	2,23		
	2608	1,63			5524	3,45		
	2772	1,73			5826	3,64		
AI2	4099	2,56	2,78	0,62	6411	4,01	4,84	0,86
	3737	2,34			6890	4,31		
	3192	2,00			7054	4,41		
	4453	2,78			7169	4,48		
	5622	3,51			9242	5,78		
	5577	3,49			9728	6,08		
AI3	7422	4,64	3,66	1,11	19679	12,30	7,90	3,94
	7304	4,57			16408	10,26		
	6384	3,99			13669	8,54		
	6798	4,25			16303	10,19		
	3396	2,12			5058	3,16		
	3856	2,41			4709	2,94		
AP1	-	-	-	-	4072	9,84	10,26	1,26
	-	-			4611	12,44		
	-	-			4375	10,23		
	-	-			3672	10,36		
	-	-			4210	10,95		
	-	-			2943	8,34		
AP2	-	-	-	-	4480	9,65	10,88	2,79
	-	-			4867	13,75		
	-	-			5636	17,23		
	-	-			2929	8,92		
	-	-			3383	10,10		
	-	-			3507	9,89		
	-	-			3376	9,11		
	-	-			3409	10,29		
AP3	-	-	-	-	3087	9,20	7,13	0,62
	-	-			3140	9,42		
	-	-			2910	7,38		
	-	-			3008	7,87		
	-	-			2240	5,87		
	-	-			2588	7,05		
	-	-			2522	7,51		
-	-	2818	7,19					
-	-	2509	6,65					
-	-	2929	7,50					

(fonte: elaborado pelo autor)

Nota-se pela Tabela 6, que as argamassas industrializadas tiveram um comportamento dentro do esperado quando obtiveram um aumento de, em média, quase duas vezes o valor de sua resistência à compressão dos sete para os vinte e oito dias. Os valores obtidos para as argamassas poliméricas e mesmo para a argamassa industrializada AI3 são relativamente altos para aplicação em paredes de vedação, pois com resistências desta magnitude as argamassas

poliméricas não teriam a flexibilidade necessária para distribuir os esforços aplicados às paredes de vedação de maneira ideal.

Segundo Roman et al. (1999, p. 27), a resistência à compressão de uma parede depende do bloco e da quantidade de cimento utilizado na mistura.

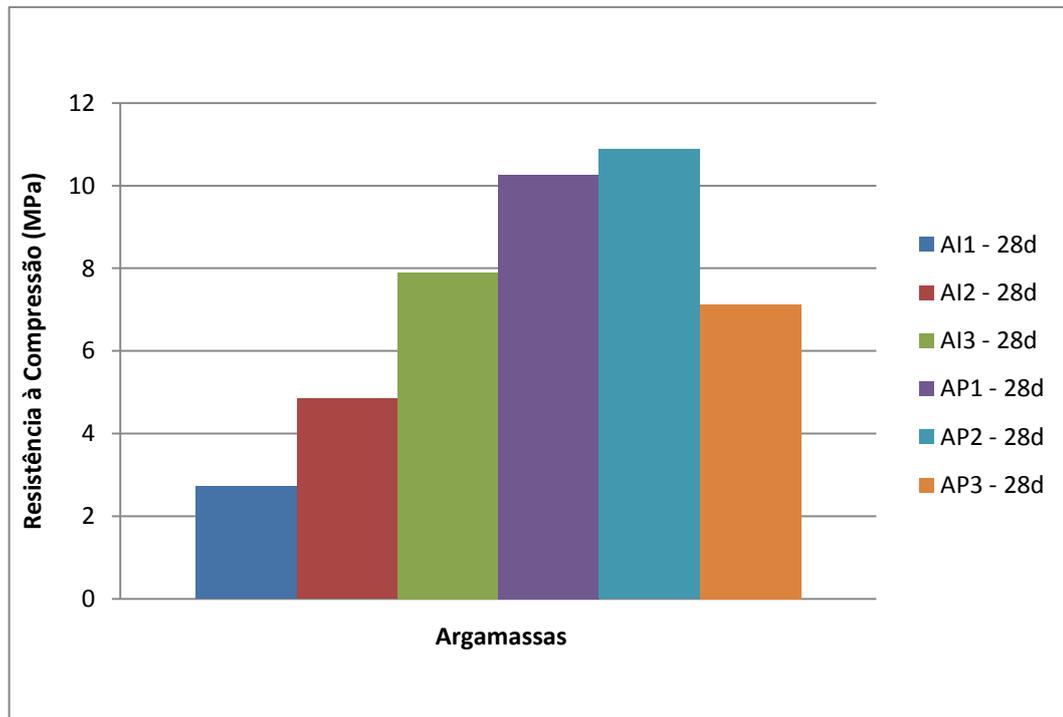
Por conta de dificuldades para curar as argamassas poliméricas, não foi possível realizar ensaios de resistência à compressão das mesmas na idade de sete dias. Uma vez que a cura se dá com o ar, ao fazer a moldagem das argamassas poliméricas com os pequenos corpos de prova, a taxa “área de exposição ao ar por volume” do corpo de prova foi duas vezes maior que os corpos de prova normatizados 4x4x16 cm. Nota-se, através da Tabela 6, que as argamassas poliméricas tiveram maior magnitude de valores finais se comparado às argamassas industrializadas. Isto se relaciona com o fato de que os polímeros presentes nas argamassas poliméricas, se adequados, chegam a níveis de resistência muito superiores.

Segundo a norma NBR 13281 (ABNT, 2005), as argamassas podem também ser classificadas quanto à resistência à compressão. Nesta classificação, as argamassas poliméricas AP1 e AP2 tiveram como resultado a classe P6, enquanto a argamassa polimérica AP3 e a argamassa industrializada AI3 foram classificadas como P5. As argamassas industrializadas AI1 e AI2 foram, respectivamente, classificadas como P3 e P4.

Adverte-se que, devido à dificuldade da moldagem dos corpos de prova das argamassas poliméricas, os mesmos tiveram dimensões bem menores. Os corpos de prova utilizados foram de 2x2x2 cm.

A Figura 18 mostra um comparativo das médias dos resultados de resistência à compressão.

Figura 18: resistência à compressão das argamassas industrializadas e poliméricas aos 28 dias



(fonte: elaborado pelo autor)

Não seria recomendável utilizar argamassa polimérica para encunhar, pois esta argamassa apresenta grandes valores de resistência se comparada à industrializada e conseqüentemente elevado módulo, o que poderia levar ao aparecimento de fissuras.

### 5.2.3 Permeabilidade

O ensaio de permeabilidade foi executado de acordo com a norma NBR 15259 (ABNT, 2005) e seus resultados são expressos através da Tabela 7, a seguir.

Tabela 7: permeabilidade de argamassas industrializadas e poliméricas

Argamassa	Massa Inicial (g)	Massa 10 min (g)	Desvio Padrão 10 min	Massa 90 min (g)	Desvio Padrão 90 min	Absorção 10 min (g/cm <sup>2</sup> )	Absorção 90 min (g/cm <sup>2</sup> )	Coefficiente de Capilaridade (g/dm <sup>2</sup> .min <sup>1/2</sup> )
AI1	501,30	510,97	0,32	528,61	1,18	0,60	1,71	17,64
AI2	465,56	471,47	0,15	481,19	0,81	0,37	0,98	9,72
AI3	359,03	374,98	3,75	381,10	5,28	1,00	1,38	6,12
AP1	11,98	12,02	0,01	12,06	0,01	0,01	0,02	0,04
AP2	11,67	11,70	0,01	11,75	0,03	0,01	0,02	0,05
AP3	12,26	12,33	0,03	12,61	0,07	0,02	0,09	0,02

(fonte: elaborado pelo autor)

Como esperado, as argamassas industrializadas possuem permeabilidade muito superiores que as argamassas poliméricas, pelo simples fato de que as industrializadas, ao serem preparadas, produzem poros capilares nos corpos de prova.

O coeficiente de capilaridade das argamassas industrializadas mostrou-se estar na faixa de valores encontrados na referência (Moura, 2007). Os resultados do coeficiente de capilaridade para as argamassas poliméricas, no entanto, foram baixos, decorrente da utilização de polímeros.

Conforme foi especificado anteriormente, a argamassa industrializada AI3 teve a necessidade de ser moldada uma segunda vez. Resultante de algum problema na moldagem, a argamassa obteve resultados não condizentes, se comparada com seus prismas da primeira argamassada, em relação à resistência à compressão. Isso pode ser verificado com a enorme taxa de absorção dos primeiros dez minutos dos prismas desta argamassa, muito por razão da grande porosidade presente nestes corpos de prova.

#### 5.2.4 Módulo de Elasticidade Dinâmico

O módulo de elasticidade dinâmico das argamassas foi calculado através da norma NBR 15630 (ABNT, 2008) e os resultados são demonstrados na Tabela 8, a seguir.

Tabela 8: módulo de elasticidade dinâmico para as argamassa estudadas

Argamassa	Módulo de Elasticidade Dinâmico (GPa)
AI1	7,69
AI2	10,00
AI3	7,49
AP1	5,50
AP2	3,98
AP3	3,65

(fonte: elaborado pelo autor)

Apesar de as argamassas poliméricas obterem resultados de resistência à compressão maiores que as argamassas industrializadas, os resultados do módulo de elasticidade dinâmico inverteram o padrão relacionado por Baracho et al. (2015), quando afirmam, levando em conta o aumento do percentual de Polímero Insaturado Termofixo (PIT) ao traço da argamassa pesquisada, que os valores do módulo de elasticidade dinâmico diminuiriam ao mesmo tempo que a resistência à compressão fosse baixando, devido a alta absorção de água por parte do PIT.

Apesar de os corpos de prova das argamassas poliméricas resultarem em prismas de tamanho bastante reduzido, este ensaio não foi comprometido em função de uma suposta passagem da ondas ultrassônicas pelo exterior do prisma. Os transmissores de onda ultrassônica do aparelho foram quase que totalmente cobertos pelas dimensões dos corpos de prova.

A Figura 19, a seguir, mostra a disposição do prisma sobre o transmissor.

Figura 19: disposição dos prismas poliméricos sobre o transmissor ultrassônico



(fonte: elaborado pelo autor)

### 5.3 ENSAIO EM PRISMAS – ENSAIO EXPLORATÓRIO

Devido à dificuldade de moldagem dos corpos de prova para as argamassas poliméricas, optou-se pela realização de ensaios em mini prismas para avaliar o desempenho das argamassas sob condições de aplicação. O ensaio realizado contou com a verificação da aderência e resistência das argamassas usadas como argamassas de assentamento em blocos cerâmicos.

O ensaio consistiu na moldagem de prismas de quatro blocos de seis furos, assentados com argamassas industrializadas e poliméricas para as idades de sete e vinte e oito dias. Obedecendo a recomendação da norma NBR 13279 (ABNT, 2005), que pede o mínimo de três corpos de prova para cada idade de ensaio, foram moldados um total de 36 corpos de prova.

De acordo com os fabricantes de argamassas poliméricas, o assentamento de tijolos e/ou blocos deve ser feito com a aplicação de dois filetes de argamassa no sentido longitudinal da face superior destas unidades de alvenaria. Roman et al. (1999, p. 21) define unidade de alvenaria como “o produto industrializado de dimensões e peso que o façam manuseável, de formato paralelepipedal e adequado para compor uma alvenaria”. A seguir, na Figura 20, é possível observar a aplicação da argamassa polimérica sobre a superfície dos blocos e, na Figura 21, o resultado da moldagem dos prismas.

Figura 20: argamassa polimérica sobre bloco cerâmico



(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 21: vista geral dos corpos de prova para os ensaios



(fonte: elaborado pelo autor)

Antes da aplicação das argamassas industrializadas, deixou-se os blocos armazenados em um tonel de água por aproximadamente 10 minutos. Após, os mesmos foram retirados e deixados em ambiente de laboratório, para a saída do excesso de água. Carasek e Campagnolo (1990) conceituam a sucção como “uma medida normalizada pela velocidade de absorção de água.”

Os autores ainda afirmam que esta é uma propriedade que representa a velocidade que o bloco/tijolo possui pela água.

Na idade de sete dias, foi instalada uma base com dois apoios na prensa do laboratório, para o posicionamento dos prismas em cima dela. Sobre o prisma, foi colocada uma placa metálica para a aplicação, de forma uniformemente distribuída, dos esforços. Isto pode ser melhor observado na Figura 22, abaixo.

Figura 22: posicionamento dos prismas para execução dos ensaios: a) destaque da posição centralizada da placa para distribuição uniforme das tensões; b) prisma apoiado nas duas extremidades



(fonte: elaborado pelo autor)

O resultado dos ensaios para a idade de sete dias está apresentado na Tabela 9, a seguir.

Tabela 9: resultados dos ensaios para a idade de 7 dias

Argamassa	Prisma	Carga Aplicada (N)	Local de Ruptura
AI1	1	125	Argamassa
	2	217	Argamassa
	3	230	Argamassa
AI2	1	230	Interface Argamassa-Tijolo
	2	269	Tijolo
	3	269	Interface Argamassa-Tijolo
AI3	1	204	Interface Argamassa-Tijolo
	2	388	Interface Argamassa-Tijolo
	3	355	Interface Argamassa-Tijolo
AP1	1	782	Tijolo
	2	288	Tijolo
	3	1156	Interface Argamassa-Tijolo
AP2	1	578	Tijolo
	2	72	Argamassa
	3	223	Argamassa
AP3	1	*	*
	2	539	Interface Argamassa-Tijolo
	3	138	Interface Argamassa-Tijolo

(fonte: elaborado pelo autor)

Ao analisar a Tabela 9, nota-se que nas argamassas industrializadas a predominância das rupturas aconteceu nas interfaces argamassa-tijolo, o que nos mostra que a aderência da argamassa ao tijolo não foi suficiente para suportar os esforços. Carasek e Campagnolo (1990) sugerem que “A aderência argamassa-tijolo origina-se da interação entre a argamassa e o substrato poroso, não constituindo assim uma característica à argamassa, mas ao conjunto.” Percebe-se, também, que a argamassa industrializada AI1 teve todos os seus corpos de prova rompendo diretamente na argamassa, apresentando assim uma baixa carga de ruptura na flexão da mesma. O prisma 2 da argamassa industrializada AI2, que rompeu no próprio bloco, teve por peculiaridade que a junta horizontal estava saliente ao prumo do bloco, o que leva a crer que, juntamente com possíveis fissuras devido à má queima do tijolo, que as tensões aplicadas pela prensa foram aplicadas mais pontualmente que o padrão do ensaio.

As Figuras 23 e 24 mostram, respectivamente, as rupturas na argamassa e na interface tijolo-argamassa.

Figura 23: aspecto visual da ruptura do prisma de argamassa industrializada AI1 na argamassa aos 7 dias



(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 24: aspecto visual da ruptura do prisma de argamassa industrializada AI3 na interface tijolo-argamassa aos 7 dias



(fonte: elaborado pelo autor)

Ao analisar os ensaios com argamassas poliméricas, nota-se uma variabilidade maior de pontos de ruptura se comparado às argamassas industrializadas. Acrescenta-se também que as argamassas poliméricas tiveram maior resistência aos sete dias que as argamassas industrializadas. Porém, Roman et al. (1999, p. 28) advertem para o fato de que uma argamassa mais resistente não resulta necessariamente em uma parede mais resistente.

Para questões de esclarecimento, devido a pequenas fissuras longitudinais em alguns tijolos, alguns prismas tiveram maior chance romper diretamente no tijolo. Isto é evidenciado pelo prisma 1 da argamassa polimérica AP3 que, no manuseio para colocá-lo sobre os apoios e executar o ensaio, rompeu-se subitamente. Cabe ressaltar que estes blocos foram comprados em loja de varejo e são utilizados em obras convencionais, não possuindo, necessariamente, grande controle de produção e qualidade.

A seguir, nas Figuras 25 e 26, as rupturas dos prismas na argamassa e na interface tijolo-argamassa.

Figura 25: aspecto visual da ruptura do prisma de argamassa polimérica AP2 na argamassa aos 7 dias



(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 26: aspecto visual da ruptura do prisma de argamassa polimérica AP3 na interface tijolo-argamassa aos 7 dias



(fonte: elaborado pelo autor)

O resultado da ruptura dos prismas na idade de 28 dias é apresentado na Tabela 10, a seguir.

Tabela 10: resultados dos ensaios para a idade de 28 dias

Argamassa	Prisma	Carga Aplicada (N)	Local de Ruptura
AI1	1	*	Interface Argamassa-Tijolo
	2	7	Tijolo
	3	394	Interface Argamassa-Tijolo
AI2	1	72	Interface Argamassa-Tijolo
	2	177	Interface Argamassa-Tijolo
	3	*	Interface Argamassa-Tijolo ao Manusear
AI3	1	683	Interface Argamassa-Tijolo
	2	453	Interface Argamassa-Tijolo
	3	7	Interface Argamassa-Tijolo
AP1	1	414	Tijolo
	2	565	Tijolo
	3	512	Tijolo
AP2	1	578	Tijolo
	2	578	Fissuras Internas
	3	716	Tijolo
AP3	1	388	Interface Argamassa-Tijolo
	2	315	Interface Argamassa-Tijolo
	3	217	Interface Argamassa-Tijolo

(fonte: elaborado pelo autor)

Analisando os resultados acima, pode-se interpretar que as argamassas industrializadas apresentam menor aderência na interface tijolo-argamassa, pois todas tiveram ruptura deste formato, com exceção dos prismas 1 e 3 das argamassas AI1 e AI2, respectivamente, que ora por manuseio, ora por defeito do tijolo, romperam antes de poderem ser ensaiados. No prisma 3 da argamassa industrializada AI3 houve um ruído experimental, onde não se sabe precisar o que aconteceu para que o valor resultado tenha sido tão baixo.

Quanto às argamassas poliméricas, pode-se confirmar que as mesmas possuem grandes resistências, pois a maioria dos ensaios apresentou rupturas nos tijolos, mantendo a interface intacta. Apenas a argamassa polimérica AP3 não apresentou o mesmo comportamento, rompendo os seus três prismas na interface, à mesma maneira dos ensaios de 7 dias, configurando assim a pouca aderência tijolo-argamassa deste fabricante. As Figuras 27 a 29 apresentam os resultados dos ensaios.

Figura 27: aspecto visual da ruptura dos prismas de argamassa polimérica AP1 e AP2 no bloco aos 28 dias



(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 28: aspecto visual da ruptura do prisma de argamassa polimérica AP2 com fissuras internas aos 28 dias



(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 29: aspecto visual da ruptura dos prismas de argamassa polimérica AP3 na interface tijolo-argamassa aos 28 dias



(fonte: elaborado pelo autor)

## 6 CONCLUSÕES

Com base nos dados analisados em cada ensaio, para cada tipo de argamassa estudada, em cada estado físico, são apresentadas a seguir as conclusões retiradas deste trabalho de conclusão.

Em termos de ligação entre blocos de vedação, ambas as argamassas, industrializada e polimérica, funcionam.

Com relação aos ensaios processados nas argamassas quando no estado fresco, pode-se notar que os dois tipos de argamassas, industrializada e polimérica, possuem aspectos que se relacionam, mas também pontos divergentes.

Entre os pontos onde se relacionam, cita-se a pequena perda de água dos dois tipos de argamassa durante o ensaio de retenção de água. Isto se explica pela sua composição química do material.

Nos ensaios que tiveram uma diferença maior entre argamassas poliméricas e industrializadas, cita-se a maior variabilidade dos valores resultantes no ensaio de teor de ar incorporado. Neste ensaio, percebeu-se que as argamassas industrializadas, mesmo possuindo um tempo padrão de preparo em argamassadeiras/betoneiras, tiveram um maior resultado de incorporação de ar quando comparadas às argamassas poliméricas, originado da movimentação das pás do aparelho que incorporam ar à mistura.

Ainda analisando o estado fresco, concluiu-se que as argamassas poliméricas necessitam de uma menor carga para um mesmo deslocamento que as argamassas industrializadas, conforme os resultados dos ensaios de *squeeze-flow* demonstraram, pois no estado fresco a viscosidade entre os tipos das argamassas é muito diferente.

Com relação aos ensaios executados nas argamassas no estado endurecido, pode-se notar que as argamassas poliméricas têm maiores magnitudes de resistência à compressão, ainda assim abaixo do esperado. O padrão se inverte ao se analisar os resultados do Módulo de Elasticidade Dinâmico, onde se conclui que as argamassas industrializadas apresentam maiores valores comparados aos das argamassas poliméricas, como esperado.

Sobre os resultados do ensaio de permeabilidade das argamassas, notou-se que as argamassas industrializadas possuem maior coeficiente de capilaridade que as argamassas poliméricas.

Talvez fosse até evidente no início, mas agora fica comprovado, é que se deve ter um cuidado técnico muito grande no momento da especificação e do manuseio destas argamassas, pois elas possuem características, tanto no estado fresco quanto no estado endurecido, bastante distintas.

Analisando os fatores acima destacados, o que se conclui deste trabalho é que as argamassas industrializadas possuem mais e melhores elementos para que seja utilizada em maior escala na construção civil em obras de média/larga escala. Dentre eles, pode-se destacar o fato de a resistência à compressão ser menor que as argamassas poliméricas. Associado a isso, segundo a indústria de argamassa polimérica, a argamassa tem rápido crescimento de resistência logo nos primeiros dias de aplicação. Estes dois fatores referenciam que esta argamassa não pode ser utilizada, por exemplo, em alvenaria estrutural, onde se exige que as argamassas tenham menor resistência para que possam absorver as cargas e não romper o bloco. Outras frentes de trabalho na construção civil, tal como argamassa de encunhamento de paredes de vedação, são uma possibilidade de aplicação, pois poderiam reduzir o tempo de espera para a conclusão das alvenarias de um pavimento em uma edificação, promovendo o aceleração das etapas construtivas.

## REFERÊNCIAS

AMBROZEWICZ, P. H. L. **Materiais de Construção**. São Paulo: Pini, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13276**. Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Preparo da mistura e determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2005.

\_\_\_\_\_. **NBR 13277**. Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos – Determinação da retenção de água. Rio de Janeiro, 2005.

\_\_\_\_\_. **NBR 13278**. Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos – Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado. Rio de Janeiro, 1995.

\_\_\_\_\_. **NBR 13279**. Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro, 2005.

\_\_\_\_\_. **NBR 13281**. Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Requisitos. Rio de Janeiro, 2005.

\_\_\_\_\_. **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.

\_\_\_\_\_. **NBR 13529**: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Terminologia. Rio de Janeiro, 2013.

\_\_\_\_\_. **NBR 13530**. Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Classificação. Rio de Janeiro, 1995.

\_\_\_\_\_. **NBR 15630**. Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação do módulo de elasticidade dinâmico através da propagação de onda ultrassônica. Rio de Janeiro, 2008.

\_\_\_\_\_. **NBR 15839**. Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Caracterização reológica pelo método *squeeze-flow*. Rio de Janeiro, 2010.

ASOCIACIÓN MERCOSUR DE NORMALIZACIÓN. **NBR NM 23**: Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação da massa específica. [s. l.], 2001.

\_\_\_\_\_. **NM 47**: Determinação do teor de ar em concreto fresco – Método pressiométrico. [s. l.], 2002.

BARACHO, C. F.; DIÓGENES, H. J. F.; BATISTA, I. L. R.; SILVEIRA, J. M.; FERUKAVA, M.; DE ALMEIDA, M. V. V. Determinação do módulo de elasticidade dinâmico de argamassas produzidas com adição de PIT (Polímero Insaturado Termofixo). In: Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas, 11., 2015. Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: SBTA, 2015.

BAUER, E. **Revestimento em argamassa: características e peculiaridades**. Brasília: LEM-UnB, 2005.

CARASEK, H. Argamassas. In: Saia, G. C. (Org.). **Materiais de Construção Civil e Princípios da Ciência e Engenharia de Materiais**. São Paulo: Ibracon, 2007. p. 863-904

CARASEK, H.; CAMPAGNOLO, J. L. Aderência de argamassas de assentamento para alvenaria estrutural. In: 10º Encontro Nacional da Construção, Vol.1, 1990, Gramado. **Anais...** Gramado: 10º ENCO, 1990.

CARDOSO, F. A.; PILEGGI, R. G.; JOHN, V. M. Caracterização reológica de argamassas pelo método *Squeeze-Flow*. In: Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas, 6. International Symposium on Mortars Technology, 1. 2005. Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: SBTA, 2005.

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

CINCOTTO, M.; RAGO, F. A reologia da pasta de cimento e a influência da cal. In: Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas, 1., 1995. Goiânia. **Anais...** Goiânia: SBTA, 2005

COÊLHO, R. S. A. **Alvenaria estrutural**. São Luís: UEMA, 1998.

FELDMAN, D. **Polymeric Building Materials**. New York: Elsevier Science Publisher, 1989.

KLOSS, C. L. **Materiais para Construção Civil**. 1ª ed. Curitiba: CEFET – Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná, 1991.

MOURA, C. B. **Aderência de revestimentos externos de argamassa em substrato de concreto: influência das condições de temperatura e ventilação na cura do chapisco**. 2007. 234p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

OHAMA, Y. **Handbook of polymer-modified concrete and mortars**. New Jersey: Noyes Publications, 1995.

RAMALHO, M. A.; CORRÊA, M. R. S. **Projeto de edifícios de alvenaria estrutural**. São Paulo, 2003.

RILEM. MR-3. **The Complex Workability – Consistence – Plasticity**. France, 1982.

ROMAN, H. R.; MUTTI, C. N.; ARAÚJO, H. N. **Construindo em alvenaria estrutural**. Florianópolis: Editora da UFSC, 1999.

PAGNUSSAT, D. T. **Efeito da temperatura de queima de blocos cerâmicos sobre a resistência de aderência à tração de revestimentos de argamassa**. 2013. 211p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

PAGNUSSAT, D. T.; MASUERO, A. B. Uso do ensaio Squeeze-Flow para avaliação do comportamento plástico de uma argamassa aplicada sobre substratos cerâmicos com diferentes temperaturas de queima. In: Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas, 11., 2015. Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: SBTA, 2015.

SILVA, M.R. **Materiais de Construção**. 2ª ed. rev. São Paulo: Pini, 1991.

STOLZ, C. M. **Influência da interação entre os parâmetros reológicos de argamassas e a área potencial de contato de substratos na aderência de argamassas de revestimento**. 2011. 211p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

TANNER, R. I. **Engineering Rheology**. Rev. ed. Oxford Science Publications, New York, 1998.