



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA  
ENGENHARIA CIVIL

FERNANDA BIANCHI PEREIRA DA COSTA

**ARGAMASSAS MODIFICADAS POLIMERICAMENTE PARA O  
ASSENTAMENTO DE ALVENARIA ESTRUTURAL**

Trabalho de Conclusão de Curso

Alegrete  
2012

**FERNANDA BIANCHI PEREIRA DA COSTA**

**ARGAMASSAS MODIFICADAS POLIMERICAMENTE PARA O  
ASSENTAMENTO DE ALVENARIA ESTRUTURAL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado  
como parte das atividades para obtenção do  
título de bacharel em Engenharia Civil na  
Universidade Federal do Pampa.

Orientador: Profa. Dra. Elizabete Yukiko  
Nakanishi Bavastri

Co-orientador: Prof. Dr. Gihad Mohamad

Co-orientador: Prof. Dr. Alexandre Vargas

**Alegrete**

**2012**

**FERNANDA BIANCHI PEREIRA DA COSTA**

**ARGAMASSAS MODIFICADAS POLIMERICAMENTE PARA O  
ASSENTAMENTO DE ALVENARIA ESTRUTURAL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado  
como parte das atividades para obtenção do  
título de bacharel em Engenharia Civil na  
Universidade Federal do Pampa.

Trabalho apresentado e aprovado em: ..... de ..... de 2012.

Banca examinadora:

---

Prof. Dr. Gihad Mohamad

Co-orientador

Engenharia Civil – UFSM

---

Profa. Dra. Larissa Degliuomini Kirchhof

Engenharia Civil – UFSM

---

Profa. Dra. Monica Garcez

Engenharia Civil – UFPEL

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por esta conquista e pelos benefícios que me foram concedidos; deles seria indigno se os atribuísse ao acaso dos acontecimentos ou ao meu próprio mérito.

A minha família, que é a minha base e o meu incentivo, pelos conselhos, carinho, dedicação, paciência, amor, e por estarem sempre presentes, tanto nos momentos felizes, como nos momentos difíceis da minha vida.

Ao meu namorado Marcelo, que me dedicou todo seu amor, carinho e atenção. Sempre sendo compreensivo e, acima de tudo, incentivador e motivador das minhas conquistas.

Ao Professor Gihad, pela excelente orientação, amizade, paciência e atenção sempre que precisei, e pela contribuição na obtenção de conhecimentos para o meu aprimoramento profissional.

Um agradecimento especial à Professora Elizabete e ao Professor Alexandre da FEEVALE, pela orientação, ajuda e atenção.

Aos meus colegas e amigos por terem me apoiado, ajudado nos ensaios laboratoriais e, também, pelos bons momentos vividos.

As empresas que forneceram os produtos para a realização deste trabalho.

Ao Engenheiro Marcelo, que me ajudou nos ensaios do laboratório.

A todos aqueles que de alguma forma contribuíram na realização deste trabalho.

## RESUMO

A alvenaria estrutural carece de avanços tecnológicos que melhorem o desempenho e as propriedades mecânicas da alvenaria, no desígnio de se aproximar do adiantamento que operam as estruturas de concreto armado. O objetivo do trabalho é utilizar argamassas modificadas poliméricamente para o assentamento de alvenaria estrutural, verificando se o comportamento da mesma na parede aumenta a eficiência do elemento estrutural e a ductilidade. Para tanto, realizou-se ensaios de caracterização mecânica em argamassas com e sem a adição de polímeros (PVA e SBR), e ensaios de aderência e resistência à compressão em prismas de alvenaria estrutural. O trabalho mostra que, de todas as argamassas testadas, a argamassa modificada com 10% de polímero PVA apresentou os melhores resultados de resistências individuais e, também, quando assentada nos prismas.

Palavras-chave: Alvenaria estrutural. Argamassa. Polímeros.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Prismas (a) e pequena parede (b). .....	15
Figura 2: Estado de tensões atuantes nos blocos e nas juntas de argamassa. ....	17
Figura 3: Distribuição das tensões horizontais no conjunto bloco-argamassa. ....	19
Figura 4: Ruptura observada nos ensaios de Mohamad (2007). (a) aumento das tensões verticais e simulação da perda de aderência na interface superior até a ruptura. (b) desenvolvimento das tensões laterais de tração e compressão nas interfaces próximas a ruptura do conjunto.....	19
Figura 5: Microfotografia eletrônica de concreto de cimento Portland (direita) e concreto de cimento Portland modificado com látex (esquerda).....	30
Figura 6: Etapas do modelo de hidratação do cimento em argamassas modificada com látex. ....	32
Figura 7: Modelo de formação de filme de polímero proposto por Ohama. ....	33
Figura 8: Curva granulométrica da areia .....	36
Figura 9: Ensaio de consistência da argamassa: retirada do cone (a) e medida da consistência após os 30 golpes (b) .....	38
Figura 10: Corpos de prova prismáticos 4x4x16 cm. ....	39
Figura 11: Ensaio para a determinação do módulo de elasticidade dinâmico. ....	40
Figura 12: Prismas de dois blocos cerâmicos (a) com assentamento total (b). ....	42
Figura 13: Assentamento da argamassa para ensaio de aderência.....	43
Figura 14: Determinação da resistência de aderência: colocação do aparelho de tração (a) e retirada das amostras (b).....	43
Figura 15: Módulo de elasticidade dinâmico das argamassas de assentamento.....	45
Figura 16: Determinação da resistências: a) à tração na flexão em primas de 4x4x16 cm; b) à compressão em prisma 4x4x8, este submetido ao ensaio à flexão.....	46
Figura 17: Resistência à compressão e tração na flexão das argamassas de assentamento.....	48
Figura 18: Distribuição do tamanho dos poros das argamassas. ....	49
Figura 19: Volume de poros acumulado. ....	49
Figura 20: Ruptura dos prismas de alvenaria estrutural: princípio de fendilhamento (a), fissuras verticais (b) e esmagamento das argamassas (c). ....	50
Figura 21: Resistências à compressão dos prismas de alvenaria estrutural.....	51
Figura 22: Resultados das resistências de aderência à tração.....	53

**LISTA DE TABELAS**

Tabela 1: Resistência à compressão característica da alvenaria. ....	16
Tabela 2: Requisitos para argamassa no estado fresco e endurecido. ....	20
Tabela 3: Influência das características granulométricas nas propriedades das argamassas. ...	22
Tabela 4: Porcentagem passante de areia nas peneiras. ....	23
Tabela 5: Limites granulométricos do agregado miúdo. ....	23
Tabela 6: Exigências estabelecidas para as argamassas de assentamento. ....	25
Tabela 7: Traços de argamassa. ....	26
Tabela 8: Propriedades físicas e mecânicas das argamassas. ....	26
Tabela 9: Traços de argamassa em volume. ....	27
Tabela 10: Propriedades mecânicas das argamassa. ....	27
Tabela 11: Classe de resistência das argamassas. ....	27
Tabela 12: Propriedades de alguns polímeros. ....	28
Tabela 13: Propriedades dos polímeros. ....	34
Tabela 14: Propriedades do bloco cerâmico utilizado. ....	34
Tabela 15: Valores de massa. ....	35
Tabela 16: Composição granulométrica. ....	35
Tabela 17: Traços a serem utilizados na confecção das argamassas. ....	37
Tabela 18: Resultados referentes à determinação do teor de ar incorporado. ....	44
Tabela 19: Resultados referentes à determinação do módulo de elasticidade dinâmico. ....	45
Tabela 20: Resultados da resistência à tração na flexão das argamassas de assentamento. ....	47
Tabela 21: Resultados da resistência à compressão das argamassas de assentamento. ....	47
Tabela 22: Resultados da resistência à compressão dos prismas de alvenaria. ....	51
Tabela 23: Resultados das resistências de aderência à tração. ....	52

## SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS .....	4
Resumo .....	5
Lista de ilustrações .....	6
Lista de TABELAS .....	7
Sumário.....	8
1 Introdução .....	10
1.1 Introdução .....	10
1.2 Justificativa .....	11
1.3 Objetivos.....	12
1.3.1 Geral.....	12
1.3.2 Específico.....	12
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	13
2.1 Alvenaria estrutural.....	13
2.1.1 Considerações gerais .....	13
2.1.2 Resistência à compressão da alvenaria.....	14
2.1.3 Mecanismos de ruptura .....	16
2.2 Argamassa de assentamento .....	20
2.2.1 Materiais constituintes.....	21
2.2.2 Tipos de argamassa.....	24
2.2.2.1 Argamassa de cal .....	24
2.2.2.2 Argamassa de cimento portland .....	24
2.2.2.3 Argamassas mistas.....	24
2.2.2.4 Argamassas industrializadas.....	25
2.2.3 Especificações normativas dos traços de argamassa.....	25
2.3 Argamassas modificadas polimERICAMENTE .....	28
2.3.1 Princípio da modificação.....	30
3 MATERIAIS E MÉTODOS .....	34
3.1 Caracterização dos materiais .....	34
3.2 Confeção das argamassas .....	36
3.2.1 Definição do traço .....	36
3.2.2 Mistura .....	37
3.2.3 Definição da consistência das argamassas .....	37
3.2.4 Determinação do teor de ar incorporado .....	38
3.2.5 Moldagem e cura dos corpos-de-prova .....	38



3.3	Determinação da resistência à compressão e tração, e módulo de elasticidade dinâmico .....	39
3.4	Porosimetria .....	41
3.5	Confecção dos prismas de alvenaria estrutural .....	41
3.6	Ensaio de compressão em prismas.....	42
3.7	Ensaio de aderência na interface bloco e argamassa .....	42
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	44
4.1	Introdução .....	44
4.2	Teor de ar incorporado no estado fresco .....	44
4.3	Módulo de elasticidade dinâmico .....	44
4.3.1	Resistência à compressão e tração na flexão.....	46
4.3.2	Porosimetria .....	48
4.3.3	Resistência à compressão dos prismas .....	50
4.3.4	Ensaio de aderência na interface bloco-argamassa.....	52
5	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES FUTURAS .....	54
5.1	Conclusões .....	54
5.2	Recomendações futuras .....	55
6	Referências .....	56
	ANEXO 1 – Tabela de dados completos para a obtenção dos módulos de elasticidade das argamassas.....	59
	ANEXO 2 – Tabela de dados completos para a obtenção das resistências das argamassas.....	60
	ANEXO 3 – Tabela de dados completos para obtenção das resistências dos prismas .....	62
	ANEXO 4 – Tabela de dados completos para a obtenção das resistências de aderência nos prismas.....	63

# **1 INTRODUÇÃO**

## **1.1 Introdução**

No início da década de 80, a alvenaria estrutural passou a ser uma proposta interessante na indústria da construção civil brasileira. Entretanto, devido à falta de conhecimento do sistema e de projetos mais elaborados, inúmeras foram as patologias apresentadas por estas edificações. A partir de meados da década de 90, com os incentivos governamentais e o avanço da tecnologia brasileira em relação à alvenaria estrutural, houve um crescimento significativo desta forma de estrutura.

Segundo Izquierdo (2011) este crescimento da alvenaria estrutural na indústria da construção civil atual é devido às vantagens que possui em comparação com outros sistemas convencionais. Entretanto, o autor alerta que as pesquisas em alvenaria estrutural devem avançar para proporcionar um melhor aproveitamento do sistema.

Neste sentido, Juste (2001) mostra que a alvenaria estrutural necessita obter grandes avanços tecnológicos para se aproximar do desenvolvimento que opera as estruturas convencionais de concreto armado. Para tanto, é necessário testar diferentes alternativas tecnológicas no intuito de melhorar o desempenho e as propriedades mecânicas da alvenaria.

Neste primeiro capítulo são apresentados os objetivos e a justificativa que motivou a escolha do trabalho. O capítulo 2 aborda revisões bibliográficas, na qual são mencionados conceitos referentes às considerações gerais sobre a alvenaria estrutural como primeiro item, tratando a respeito dos mecanismos de ruptura e resistência à compressão da mesma. O segundo item deste capítulo trata da argamassa de assentamento, abordando suas funções, propriedades, materiais constituintes, tipos de argamassa e especificações normativas sobre os traços. O terceiro item trata das argamassas modificadas poliméricamente, abordando mais especificamente sobre o PVA e SBR, utilizados na pesquisa.

No capítulo 3 é apresentada a metodologia de pesquisa, abordando as normas para efetuação dos ensaios de caracterização dos materiais, a preparação das argamassas, a determinação do módulo de elasticidade, da resistência à compressão e a tração da mesma, assim como o ensaio de porosimetria por intrusão de mercúrio. Também é mostrado como são realizados os ensaios de compressão nos prismas e aderência na interface bloco-argamassa.

No Capítulo 4 apresentam-se os resultados obtidos bem como a análise dos mesmos, seguindo da conclusão, no Capítulo 5.

## 1.2 Justificativa

Izquierdo (2011) afirma que a principal característica da alvenaria estrutural é o seu comportamento à compressão, sendo os tijolos ou blocos os elementos mais importantes nessa resistência. Contudo, lembra também, que é de essencial importância o conhecimento das funções e características de cada componente da alvenaria isoladamente, para que se tenha um melhor entendimento do desempenho estrutural deste tipo de sistema construtivo. Logo, é gerado um grande desafio ao meio técnico, de como aumentar o desempenho a compressão da alvenaria, quando se emprega unidades cerâmicas. Para isso, é necessário compreender os mecanismos que levam o conjunto a ruptura e, com isso, evoluir para o desenvolvimento de novos componentes com propriedades modificadas para atender a finalidade estrutural.

A argamassa adequada para alvenaria estrutural está vinculada com a capacidade de dissipação dos esforços atuantes na mesma, sem que incida fissuras prejudiciais a alvenaria. Para que se possa obter tal argamassa, é necessário um estudo da sua composição e dosagem, assim como a capacidade de aderência entre o bloco e a argamassa (Solórzano e Sabbatini, 1995, apud JUSTE, 2001).

De acordo com Muller e Agopyan (1991), ensaios de compressão de blocos ou tijolos e da argamassa, individualmente, não permitem uma boa avaliação do comportamento mecânico da parede, pois este não depende apenas das características dos seus componentes, mas, também, da interação entre eles, fornecido pela aderência entre os mesmos.

Izquierdo (2011) afirma que o surgimento de tensões multiaxiais proporcionado pela aderência é dependente da rigidez entre os componentes (bloco e argamassa), no qual estudos anteriores demonstram que existe uma tendência da argamassa em diminuir as deformações laterais ao longo do carregamento, devido a porosidade, sendo este um fator determinante para o modo de ruptura do material.

Neste contexto, o presente trabalho tem o objetivo de colaborar no que diz respeito ao sistema construtivo da alvenaria estrutural, desenvolvendo argamassas modificadas poliméricamente como uma alternativa tecnológica viável em relação às argamassas convencionais, visando o aumento das características de aderência entre o bloco cerâmico e a junta de argamassa, no intuito de melhorar a interação entre os mesmos; e verificar se o comportamento da mesma na parede aumenta a eficiência do elemento estrutural e a ductilidade.

### **1.3 Objetivos**

#### **1.3.1 Geral**

Colaborar para o desenvolvimento de materiais e componentes construtivos, propondo novas alternativas tecnológicas para o auxílio do desempenho de sistemas construtivos como a alvenaria estrutural. Analisar o comportamento da alvenaria de blocos cerâmicos não-grauteada, em relação à resistência e à deformabilidade de seus componentes e do conjunto bloco-argamassa com e sem adição de polímeros, quando submetida a esforços de compressão.

#### **1.3.2 Específico**

- Estudar a composição de argamassas de assentamento modificadas polimERICAMENTE destinadas à alvenaria estrutural;
- Avaliar os mecanismos de aderência das composições de argamassa com as unidades cerâmicas (porosidade por intrusão de mercúrio e teor de ar incorporado);
- Analisar as propriedades mecânicas dessas argamassas modificadas;
- Determinar a resistência à compressão de prismas de dois blocos assentados com argamassa modificada e não modificada.
- Determinação dos mecanismos de aderência por arrancamento entre a argamassa e a unidade cerâmica.

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 Alvenaria estrutural**

#### **2.1.1 Considerações gerais**

De acordo com Ramalho e Corrêa (2003), os materiais que compõem a alvenaria estrutural são: blocos, ou unidades; argamassa; graute e armadura. Estes, segundo Roman et. al (s.d.) juntam-se de modo a atuar como elementos resistentes às cargas verticais de peso próprio e de ocupação e às cargas horizontais devidas ao vento.

Atualmente, a Alvenaria Estrutural tem assumido uma grande posição no mercado brasileiro da construção habitacional. Isso se deve, principalmente, à economia obtida com este sistema em relação ao processo construtivo convencional de concreto armado. A alvenaria estrutural reduz significativamente o uso de materiais como aço e madeira na utilização de fôrmas, resultando numa maior racionalidade na execução da obra, apresentando vantagens proeminentes como flexibilidade de construção, economia, valor estético e velocidade de construção.

Contudo, é necessário um maior avanço em termos tecnológicos para que o sistema de alvenaria estrutural possa se equiparar ao sistema convencional de concreto armado. Segundo Juste (2001), a própria normalização nacional é pobre, sendo necessário um grande esforço no intuito de projetar e executar edifícios baratos e seguros. Ainda mencionado pela mesma, a ABNT apresenta apenas uma norma para cálculo de alvenaria de blocos de concreto, sendo esta a NBR 10.837 (1989), não havendo norma específica para blocos cerâmicos.

É visto que a qualidade da alvenaria estrutural está relacionada com os materiais empregados, bem como as técnicas utilizadas nesse sistema. Segundo Pasquali (2007), a melhora da qualidade da alvenaria está ligada à busca de materiais que permitam ao conjunto um melhor desempenho. Um dos princípios fundamentais para que a alvenaria estrutural tenha eficácia ao longo de sua vida útil como estrutura, é o emprego de materiais adequados. Materiais de má qualidade resultam em assentamento fora do prumo, do nível de alinhamento, além da probabilidade de não conferir à parede resistência mecânica especificada em projeto.

### 2.1.2 Resistência à compressão da alvenaria

A resistência à compressão da alvenaria, dentro das propriedades mecânicas atuantes na mesma, é o parâmetro mais importante para alvenaria estrutural, pois é notável que, geralmente, as paredes de alvenaria estão submetidas a carregamentos verticais, de características compressivas, muito mais intensos que os carregamentos horizontais.

Shrive (1985, apud MOHAMAD, 2007) confirma que a resistência à compressão da alvenaria é um dos principais parâmetros de projeto, no qual pode ser obtido por meio de normalizações ou ensaios experimentais. As normalizações utilizam de combinações que possibilitam o fornecimento da resistência à compressão do conjunto, através da resistência do bloco e da argamassa como parâmetros de entrada. Nos ensaios experimentais, obtêm-se as resistências das alvenarias através de testes em amostras cuja denominação é prismas ou paredinhas (MOHAMAD, 2007).

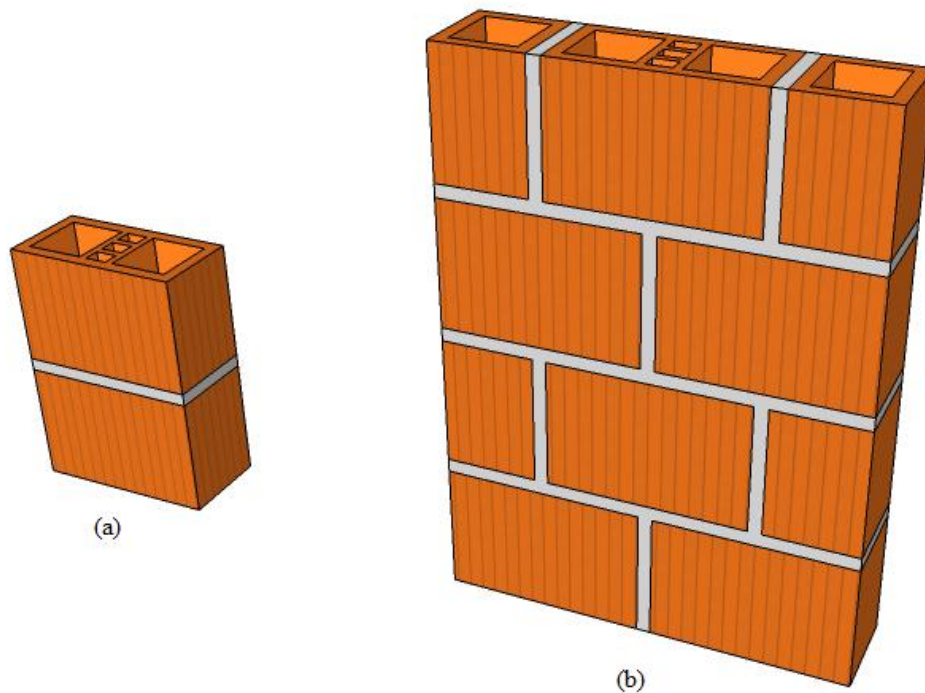
Izquierdo (2011) também menciona em seu trabalho a existência de três procedimentos mais utilizados para a avaliação da resistência à compressão das paredes de alvenaria. Tais procedimentos serão mencionados e explicados brevemente a seguir.

- **Estimativa através da resistência de prismas**, na qual é feita a realização de ensaios experimentais em prismas e “paredinhas” sob compressão axial;
- **Estimativa através dos componentes**, na qual utiliza-se equações empíricas que correlacionam a resistência à compressão do bloco e argamassa;
- **Modelos teóricos de ruptura**, feitos através de formulações matemáticas feitas por vários pesquisadores para estabelecer, de forma teórica, um modelo de ruptura das paredes.

A Figura 1, mostra como é feito a montagem dos corpos-de-prova de alvenaria estrutural para os ensaios de compressão axial, sendo, conforme Izquierdo (2011):

**prismas:** superposição de blocos, comumente dois ou três, aderidos por uma junta de argamassa e encaminhados ao ensaios de compressão axial (Figura 1a);

**mini-parede:** também conhecida como “paredinha”, conjunto de unidade de alvenaria dispostas alternadamente, aderidas por argamassa (Figura 1b).



**Figura 1: Prismas (a) e pequena parede (b).**

**Fonte:** o autor.

Diversos pesquisadores tentam estabelecer, através de ensaios experimentais, a resistência última a compressão da alvenaria. Salhin (1971, apud MOHAMAD, 2007), menciona que muitas foram as tentativas de obter a relação entre a resistência da alvenaria com a unidade e a argamassa, através de equações. Contudo, tais equações não avaliam o estado triaxial de tensões existente nos blocos e argamassas. Sendo assim, para maior compreensão da composição dos elementos bloco e argamassa, são utilizados testes em escalas reduzidas denominados prismas, pois testes realizados em paredes em escala real são exorbitantemente caros. Normativamente é advertido que os métodos empíricos não conduzem a resultados confiáveis, indicando que a resistência da alvenaria deve ser obtida por meio de ensaios experimentais. Na NBR 10837 (1989) para o cálculo de alvenaria estrutural de blocos vazados de concreto, a resistência da alvenaria é obtida através da resistência do prisma de dois blocos. De acordo com a Norma Britânica BS 5628 (1992), a resistência característica à compressão da alvenaria depende da resistência à compressão do bloco, e estabelece uma tabela de correlação, na qual se pode perceber que para a resistência à compressão do bloco de 5 MPa, o aumento da resistência da argamassa não influencia no total

da resistência da alvenaria, somente para resistências de blocos acima de 20 MPa (MOHAMAD, 2007).

A Tabela 1 mostra a resistência característica da alvenaria, através do tipo de argamassa e da resistência do bloco, segundo a BS 5628 (1992).

**Tabela 1: Resistência à compressão característica da alvenaria.**

Fonte: BS 5628 (1992)

Resistência característica da alvenaria (BS-5628:1992)				
Argamassa do tipo				
$f_b$ (MPa)	<i>I</i>	<i>Ii</i>	<i>iii</i>	<i>iv</i>
5	5	5	5	4,4
10	6,1	5,7	5,5	4,9
20	7,5	6,5	5,9	5,3
35	11,4	9,4	8,5	7,3

Os traços *i*, *ii*, *iii* e *iv* são designados pelas proporções em volume 1:0,25:3; 1:0,5:4,5; 1:1:6 e 1:2:9, respectivamente.

Contudo, a resistência à compressão e o modo de ruptura dos materiais cerâmicos são expressivamente distintos quando comparados aos de concreto. Os materiais cerâmicos possuem resistência à compressão maior e um modo de ruptura mais frágil, sendo o concreto com uma faixa menor de resistência, uma ruptura mais dúctil e uma fissuração mais distribuída em relação ao cerâmico (MOHAMAD, 2007).

Segundo Juste (2001), a normalização nacional é pobre, pois a ABNT apresenta apenas uma norma para cálculo de alvenaria de blocos de concreto, sendo esta a NBR 10.837 (1989), não havendo norma específica para blocos cerâmicos.

### 2.1.3 Mecanismos de ruptura

O estudo dos mecanismos indutores de ruptura na alvenaria e a influência da resistência do bloco e da argamassa no conjunto são parâmetros fundamentais para estimar a capacidade resistente do elemento.

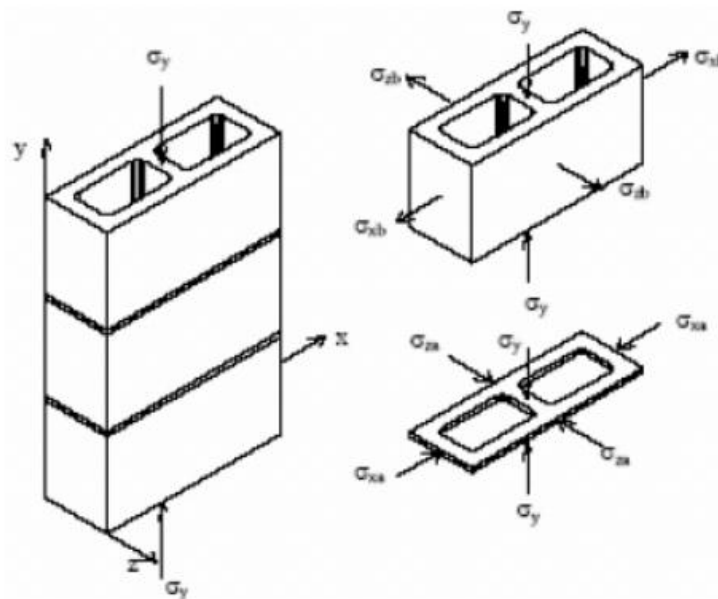
Conforme Pasquali (2007) e Izquierdo (2011), a alvenaria está submetida à tração, cisalhamento, flexão e esforços combinados. Para que os modelos de ruptura estejam dentro da realidade, faz-se necessário a consideração de todos estes modos de ruptura. O fator que



dificulta o desenvolvimento de tais modelos matemáticos é o fato de a alvenaria ser composta de materiais distintos que interagem de modo a suportar os carregamentos dos quais são solicitados durante sua vida útil.

Ainda segundo o mesmo autor, vários pesquisadores vêm estudando modelos e estabelecendo equações na tentativa de prever o modo de ruptura que acontece na alvenaria. Os dois principais critérios, relacionados à alvenaria submetida à compressão, são os critérios de Hilsdorf e Lenczner.

O critério de Hilsdorf considera o comportamento do prisma submetido a um estado de compressão axial. Tais carregamentos que submetem a alvenaria à compressão, produzem tensões biaxiais de compressão e tração no bloco (ou tijolo), e tensões triaxiais de compressão na argamassa e graute, caso os furos sejam preenchidos com concreto. A Figura 2 mostra como são desenvolvidas as tensões atuantes no bloco e na argamassa.



**Figura 2: Estado de tensões atuantes nos blocos e nas juntas de argamassa.**

Fonte: Mata (2006, apud IZQUIERDO, 2011).

O critério de Lenczner baseia-se na incompatibilidade de deformações entre a argamassa e o bloco, ou seja, devido ao menor módulo de elasticidade que possui a argamassa do que o bloco, esta fica submetida a esforços de compressão, e os blocos, impedidos de se deformar devido à aderência, surgem tensões de tração, ocorrendo a ruptura do bloco por tração, devido a sua baixa resistência a este fator.

Izquierdo (2011) conclui que ambos os critérios são parecidos, pois assumem a mesma hipótese. Contudo, Hilsdorf se baseia nas tensões, e Lenczner na incompatibilidade de deformações.

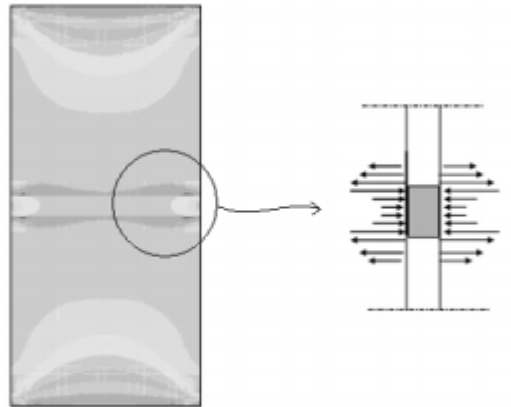
Atualmente, segundo Mohamad (2007), os critérios das deformações laterais máximas impedidas servem para explicar o surgimento das tensões e, por consequência, dos mecanismos que levam a alvenaria à ruptura, cujos modelos teóricos evidenciam a necessidade de estudos experimentais que melhorem o desempenho à compressão da parede.

Cheema e Klingner (1986, apud IZQUIERDO, 2011), conceituam os tipos de ruptura que podem ocorrer em prismas não grauteados, como:

- **Tração no bloco:** a tensão de tração principal no bloco supera a resistência à tração do mesmo.
- **Esmagamento do bloco:** a tensão principal de compressão no bloco supera a resistência à compressão do mesmo.
- **Esmagamento da argamassa:** a tensão de compressão axial da argamassa é maior que a resistência da argamassa confinada.

Em grande parte dos trabalhos realizados em prismas submetidos à compressão, a ruptura usual é a dos blocos, sendo possível o esmagamento da argamassa de uma das fiadas, quando utilizada de baixa resistência. Em inúmeros casos, a ruptura que ocorre no bloco cerâmico é devido ao fendilhamento vertical, que ocorre quando a tensão de tração atuante ultrapassa sua resistência.

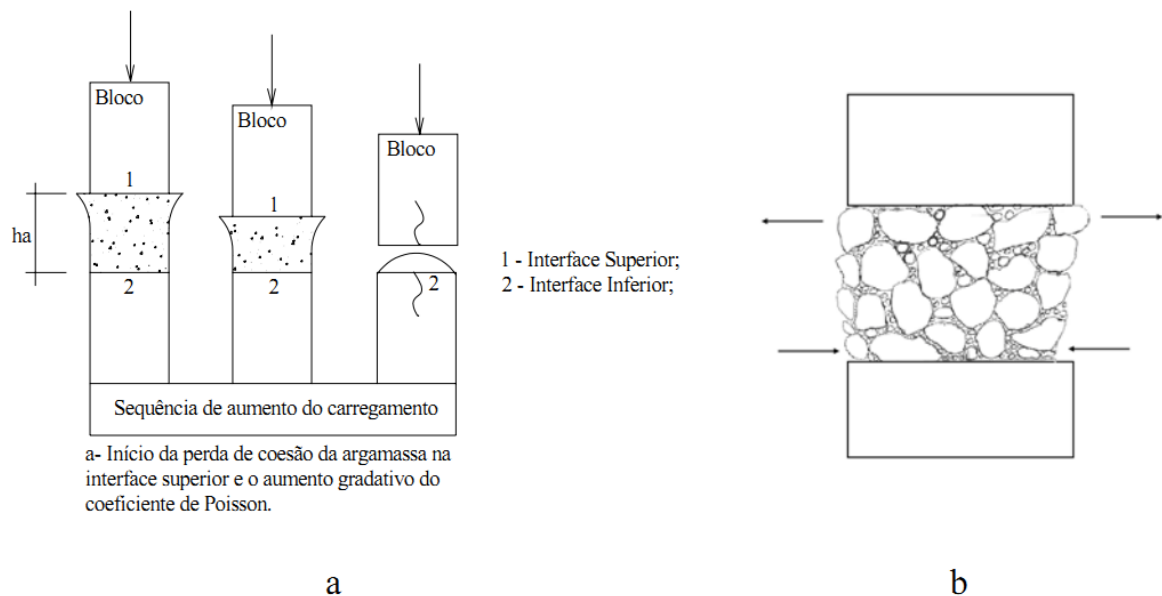
Segundo Afshari e Kaldjan (1989, apud MOHAMAD, 2007), as tensões de tração que surgem nos blocos são maiores na interface bloco-argamassa, e diminuem à medida que se afastam das mesmas. Na argamassa as tensões de compressão também são máximas próximas à interface, e atingem um mínimo a meia altura da junta. Tais fatores são responsáveis pela diminuição da resistência da alvenaria à compressão face à resistência uniaxial do bloco. A Figura 3 mostra o esquema representativo das tensões atuantes na junta.



**Figura 3: Distribuição das tensões horizontais no conjunto bloco-argamassa.**

Fonte: MOHAMAD (2007).

A Figura 4 (a) representa o esquema da ruptura do conjunto bloco-argamassa, observada nos ensaios de compressão em prismas com o aumento gradual do carregamento, por Mohamad (2007). A Figura 4 (b) apresenta o surgimento de tensões de tração, devido à perda de aderência na junta entre a argamassa e o bloco, detectada pelo mesmo autor, através de aspectos visuais verificados na ruptura, não podendo afirmar em que nível de tensão ocorre o desprendimento da junta de argamassa na interface superior.



**Figura 4: Ruptura observada nos ensaios de Mohamad (2007). (a) aumento das tensões verticais e simulação da perda de aderência na interface superior até a ruptura. (b) desenvolvimento das tensões laterais de tração e compressão nas interfaces próximas a ruptura do conjunto.**

Fonte: MOHAMAD (2007).

## 2.2 Argamassa de assentamento

A argamassa de assentamento, segundo Oliveira Junior (1992), pode ser conceituada como um material formado por um aglomerante, areia e água; tendo como finalidade o assentamento de blocos de concreto ou cerâmicos, que garantem o monolitismo e a solidez à parede.

Segundo o mesmo autor, as funções primárias da argamassa de assentamento são:

- solidarizar os blocos de modo que estes resistam às ações laterais;
- distribuir uniformemente as cargas atuantes nas paredes, por toda área resistente das unidades;
- absorver as deformações naturais sujeitas as alvenarias;
- impedir a penetração de água, mediante a união dos blocos;
- na presença de armadura nas juntas, promover sua aderência;
- melhorar a estética dos blocos aparentes;
- compensar as variações geométricas dos blocos e ajudar a modular os vãos.

Vários pesquisadores como Izquierdo (2011), Pasquali (2007), Juste (2001), e Oliveira Junior (1992), afirmam que a resistência da argamassa não influencia significativamente na resistência final das paredes. Segundo Izquierdo (2011), do ponto de vista econômico, não há necessidade de utilizar uma argamassa com elevada resistência à compressão, sendo mais desejável a utilização de argamassas menos resistentes e mais deformáveis, para acomodar pequenas deformações.

A Tabela 2 mostra os requisitos básicos que a argamassa deve apresentar no estado fresco e endurecido.

**Tabela 2: Requisitos para argamassa no estado fresco e endurecido.**

Fonte: MOHAMAD, 2007.

<b>ESTADO FRESCO</b>	<b>ESTADO ENDURECIDO</b>
Consistência	Resistência
Retenção de água	Aderência superficial
Coesão e mistura	Durabilidade
Exsudação	Capacidade de acomodar deformações (resiliência)

“A argamassa deve possuir módulo de elasticidade adequado de forma a acomodar deformações provenientes de movimentos da estrutura e intrínsecas, ou seja, aquelas

provocadas por retração na secagem e de origem térmica, sem que ocorra o aparecimento de fissuras” (Sabbatini, 1984, apud JUSTE, 2001).

A capacidade de aderência entre o bloco e a argamassa é um aspecto fundamental, pois, ainda segundo o mesmo autor, esta tem o intuito de absorver esforços normais e tangenciais (tensões de cisalhamento e de tração) gerados na interface unidade-argamassa, sem romper-se. Da resistência de aderência dependem a monolicidade e a resistência da alvenaria quando submetida a esforços provocados por deformações volumétricas, carregamentos e esforços ortogonais à parede.

Conforme Solórzano e Sabbatini (1995, apud JUSTE, 2001), a resistência de aderência é influenciada pelas características das unidades utilizadas, tais como absorção inicial, porosidade e rugosidade superficial; características das argamassas de assentamento, tais como trabalhabilidade, retenção de água, porosidade, granulometria da areia, e pelas condições de execução e cura da alvenaria.

### 2.2.1 Materiais constituintes

**Cimento:** o cimento utilizado pode ser de qualquer tipo e classe, desde que esteja dentro das especificações brasileiras pertinentes.

Existe uma gama de cimentos no mercado da construção civil com diferentes propriedades conferidas às argamassas, que permite ao consumidor a oportunidade de escolha de acordo como desejado.

Segundo Prudêncio Jr. (1986), do ponto de vista técnico, a escolha oferece certas vantagens. Cimentos com maior superfície específica conferem à argamassa maior trabalhabilidade e maior retenção de água. Os cimentos de endurecimento mais lento podem resultar em argamassas mais resilientes (com maior capacidade de absorver pequenas deformações).

**Cal:** A cal deve ser hidratada e estar dentro dos requisitos impostos pelas normas técnicas da ABNT (NBR 7175). Sendo um aglomerante aéreo, a cal deve estar em contato com o ar para que ocorra a reação de carbonatação resultando no seu endurecimento; ao contrário do cimento, aglomerante hidráulico, que endurece ao entrar em contato com a água. Segundo Mata (2006, apud IZQUIERDO, 2011), a cal, por ser muito fina, confere importantes propriedades plastificantes e de retenção de água. Colabora na obtenção da aderência, proporcionada pela habilidade da cal em evitar minúsculas fissuras e preencher os vazios

através da carbonatação que se processa ao longo do tempo. Além disso, a cal gera a diminuição da exsudação e retração na secagem.

**Areia:** A areia pode ser de origem natural ou artificial, desde que atenda os requisitos pressuposto pela NBR 7211. Conforme Mohamad (2007), o ensaio granulométrico realizado na mesma, permite determinar o tamanho dos grãos de areia conforme a porcentagem retida ou passante em cada respectiva peneira, possibilitando assim verificar se trata-se de uma areia contínua ou descontínua, fato que influencia nas propriedades da argamassa no estado fresco, tais como consistência, coesão e retenção de água, podendo, também, influenciar em propriedades no estado endurecido, como porosidade, permeabilidade e densidade da massa de argamassa.

Quanto à granulometria, influem as dimensões, a distribuição granulométrica e a forma dos grãos. Para obtenção de um melhor potencial à argamassa, é adequado a utilização de uma areia que tenha uma granulometria contínua, uma classificação como média, em que o módulo de finura varia entre 1,8 e 2,8; tendo, também, uma predominância de grãos arredondados (IZQUIERDO, 2011).

A seguir, a Tabela 3 expõe características qualitativas da influência dos principais parâmetros da areia nas propriedades da argamassa.

**Tabela 3: Influência das características granulométricas nas propriedades das argamassas.**

Fonte: OLIVEIRA JR. (1992).

PROPRIEDADES	CARACTERÍSTICAS DA AREIA		
	Quanto menor o módulo de finura	Quanto mais descontínua for a granulometria	Quanto maior o teor de grãos angulosos
Trabalhabilidade	<i>Melhor</i>	<i>Pior</i>	<i>Pior</i>
Retenção de água	<i>Melhor</i>	<i>Variável</i>	<i>Melhor</i>
Resiliência	<i>Variável</i>	<i>Pior</i>	<i>Pior</i>
Retração na secagem	<i>Aumenta</i>	<i>Aumenta</i>	<i>Variável</i>
Porosidade	<i>Variável</i>	<i>Aumenta</i>	<i>Variável</i>
Aderência	<i>Pior</i>	<i>Pior</i>	<i>Melhor</i>
Resistência mecânica	<i>Variável</i>	<i>Pior</i>	<i>Variável</i>
Impermeabilidade	<i>Pior</i>	<i>Pior</i>	<i>Variável</i>

Conforme as referências normativas, as mesmas fixam que as areia deve estar dentro das faixas granulométricas estabelecidas em função dos tamanhos dos grãos de agregados. Tais exigências são fundamentais para o desenvolvimento de argamassas adequadas para o uso em alvenaria estrutural, são elas ABNT NBR 7211:1990, a BS 1200:1976 e a ASTM C-144:2004, que especificam as porcentagens passantes das areais em função das peneiras,

estabelecendo os limites granulométricos inferiores (LI) e superiores (LS) ideais ao uso de agregados de assentamento (MOHAMAD, 2007).

A Tabela 4 mostra as porcentagens passante em cada peneira estabelecida pelas normas BS 1200:1976 e ASTM C-144:2004.

**Tabela 4: Porcentagem passante de areia nas peneiras.**

Fonte: MOHAMAD (2007)

Peneira abertura (mm)	Porcentagem passante		Porcentagem passante	
	BS 1200:1976		ASTM C-144:2004	
	LI	LS	LI	LS
4,80	100	100	100	100
2,40	90	100	95	100
1,20	70	100	70	100
0,60	40	80	40	75
0,30	5	40	10	35
0,15	0	10	2	15

A Tabela 5 ilustra as porcentagens, em massa, retida acumulada de agregado miúdo, proposta pela ABNT NBR 7211:2009. A diferença básica em relação as outras normas citadas, está em designar a zona utilizável e ótima para a classificação da areia.

**Tabela 5: Limites granulométricos do agregado miúdo.**

Fonte: ABNT NBR 7211 (2009).

Peneira com abertura em malha em mm	Porcentagem em massa retida acumulada			
	Limites inferiores		Limites superiores	
	Zona utilizável	Zona ótima	Zona utilizável	Zona ótima
9,50	0	0	0	0
6,30	0	0	0	7
4,75	0	0	5	10
2,36	0	10	20	25
1,18	5	20	30	50
0,60	15	35	55	70
0,30	50	65	85	95
0,15	85	90	95	100

Nota 1 – O módulo de finura da zona ótima varia de 2,20 a 2,90

Nota 2 – O módulo de finura da zona utilizável inferior varia de 1,55 a 2,20

Nota 3 – O módulo de finura da zona utilizável superior varia de 2,90 a 3,50

**Água:** A água utilizada deve ser cristalina e isenta de produtos orgânicos. A NBR 8798:1985 recomenda o uso de água potável com pH entre 5,8 e 8,0.

## **2.2.2 Tipos de argamassa**

As argamassas podem ser classificadas conforme o tipo de material utilizado na mesma, ou seja, argamassas com base de cal, argamassas de cimento, argamassas mistas de cimento e cal e argamassas industrializadas. A seguir, descreve-se brevemente as características de cada tipo de argamassa.

### **2.2.2.1 Argamassa de cal**

Argamassas de cal é a mais tradicional. Usada antigamente pelos romanos, e muito encontrada em construções históricas. É composta de cal e areia. Seu endurecimento acontece devido à carbonatação gerada em contato com o ar.

Utilizadas mais em paredes de vedação de pequenas construções, a cal possui baixa resistência à compressão e grade porosidade, não devendo ser usada em climas úmidos e frios. Não devem ser utilizadas na alvenaria estrutural por possuir baixa resistência mecânica e capacidade de aderência muito fraca (SOLÓRZANO e BABBATINI, 1995).

### **2.2.2.2 Argamassa de cimento portland**

É composta basicamente de cimento Portland e areia. A maior proporção de cimento na mistura ocasiona, no estado fresco, maior exsudação, menor tempo de endurecimento e aumento da retração e coesão. No estado endurecido, confere maior resistência à compressão, maior aderência superficial, porém, diminui a capacidade da argamassa de acomodar as deformações provenientes da estrutura (MOHAMAD, 2007).

### **2.2.2.3 Argamassas mistas**

Argamassas mistas de cimento, cal e areia que, quando bem dosadas, apresentam as vantagens de ambas.

Conforme Mata (2006, apud IZQUIERDO, 2011), a cal possui baixa resistência à compressão, alta retenção de água, boa trabalhabilidade e excelente deformabilidade, enquanto que o cimento apresenta ótima resistência à compressão. Aliando a resistência do cimento com a boa trabalhabilidade e retenção de água concedida pela cal, torna esse tipo de argamassa ideal para alvenaria estrutural.

“Atualmente, a crescente exigência do meio técnico quanto a ritmo, velocidade e orgaização da população tem deixado as argamassas tradicionais (cimento, cal e areia) em segundo plano,



pela dificuldade de manuseio e controle das percentagens de cada material. De uma maneira geral, isso icentivou o surgimento das argamassas industrializadas, cujos materiais estão prontos e apenas se adiciona água à mistura” (MOHAMAD, 2007).

#### 2.2.2.4 Argamassas industrializadas

Em argamassas industrializadas, a cal é substituída por aditivos, sendo estes plastificantes ou incorporadores de ar. Os aditivos plastificantes aumentam a aderência, diminuem o consumo de água, não afetando a resistência mecânica da argmassa. Aditivos incorporadores de ar podem diminuir significativamente a resistência mecânica da argmassa conforme o tempo de mistura da mesma, geralmente acima de 3 minutos afetam sua resistência.

Argamassas industrializadas são constituídas de diversos componentes que oferecem propriedades específicas ao produto quando no estado fresco. Logo, empresas especializadas que desenvolvem este tipo de argmassa, antes de recomendar o seu uso à alvenaria estrutural, devem certificar-se em relação ao desempenho do produto com a realização de ensaios específicos (MOHAMAD, 2007).

#### 2.2.3 Especificações normativas dos traços de argmassa

As normas ASTM C-270:2008, BS-5628:1992 e EN 998-2:2003, especificam os traços de argmassas padrões. As exigências estabelecidas por tais normalizações estão relacionadas com a consistência e retenção de água, considerando o estado fresco da argmassa. A Tabela 6 apresenta tais valores recomendados pela ASTM C-270:2008.

**Tabela 6: Exigências estabelecidas para as argmassas de assentamento.**

**Fonte:** ASTM C-270 (2008)

<b>PROPRIEDADES</b>	<b>ARGAMASSA</b>
Consistência (abatimento) medido na mesa de consistência	230 ± 10 mm
Retenção de água	≥ 75 %

A tabela 7 especifica os traços de argmassa, na proporção de volume, recomendados pela ASTM C-270:2008.

**Argmassa tipo M:** Argmassa de alta resistência à compressão para alvenarias armadas e não armadas submetidas à grande carga de compressão.

**Argamassas do tipo S:** Argamassa para estruturas sujeitas a cargas de compressão e também flexão provocada por cargas laterais provenientes do solo, vento ou sismos. Podem ser, ainda, aplicados em estruturas em contato com o solo (fundações).

**Argamassa do tipo N:** Argamassa de uso geral, com uma boa relação entre resistência à compressão e flexão, trabalhabilidade e economia. É a argamassa mais empregada para assentamento de alvenarias em geral.

**Argamassa tipo O:** Argamassa com baixa resistência à compressão, recomendada para áreas internas não sujeitas à umidade. Geralmente utilizada em edificações de um e dois pavimentos.

**Tabela 7: Traços de argamassa.**

Fonte: ASTM C-270 (2008)

<b>Tipo</b>	<b>Cimento Portlad ou com adição</b>	<b>Cal hidráulica ou leite de cal</b>	<b>Proporção de agregado</b>
M	1	0,25	Maior que 2,5 e menor que 3 vezes a soma dos volumes de aglomerantes
S	1	0,25 a 0,50	
N	1	0,50 a 1,25	
O	1	1,25 a 2,50	

As exigências quanto a resistência média à compressão aos 28 dias, a porcentagem de retenção de água e a porcentagem de ar na mistura, devem seguir os preceitos da ASTM C-270:2008, conforme a Tabela 8.

**Tabela 8: Propriedades físicas e mecânicas das argamassas.**

Fonte: ASTM C-270 (2008).

<b>Tipo</b>	<b>Resistência média à compressão aos 28 dias (MPa)</b>	<b>Retenção de água (%)</b>	<b>Ar na mistura (%)</b>
M	17,2	≥ 75	≤ 12
S	12,4	≥ 75	≤ 12
N	5,2	≥ 75	≤ 14*
O	2,4	≥ 75	≤ 14*

\*Quando houver armadura incorporada à junta de argamassa, a quantidade de ar incorporado não poderá ser maior que 12%

A BS-5628:1992 estabelece os traços de argamassa, que podem ser vistos na Tabela 9, bem como os limites de resistência à compressão, Tabela 10.

**Tabela 9: Traços de argamassa em volume.**

Fonte: BS-5628 (1992)

Designação da Argamassa	TIPO DE ARGAMASSA		
	Cimento:Cal:Areia	Cimento Alv.:Areia	Cimento:Areia Plástico
(I)	1: 0 a 0,25: 3	-	-
(II)	1: 0,5: 4 a 4,5	1: 2,5 a 3,5	1: 3 a 4
(III)	1:1: 5 a 6	1: 4 a 5	1: 5 a 6
(IV)	1:2: 8 a 9	1: 5,5 a 6,5	1: 7 a 8

**Tabela 10: Propriedades mecânicas das argamassa.**

Fonte: BS-5628 (1992).

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO MÉDIA AOS 28 DIAS (MPa)		
Designação da argamassa	Testes laboratoriais	Testes em loco
(I)	16,0	11,0
(II)	6,5	4,5
(III)	3,6	2,5
(IV)	1,5	1,0

Nota-se, em comparação à ASTM C-270:2008 com BS-5628:1992, uma diferença de quase 100% no que diz respeito a resistência à compressão para os traços "S", "N" e "O" em relação aos traços "II", "III" e "IV".

A Tabela 11 refere-se ao estabelecido pela EN 998-2:2003, nos quais os materiais das argamassas podem ser proporcionados em volume ou peso e todos os constituintes devem ser declarados pelo fabricante, juntamente com a classe de resistência à compressão.

**Tabela 11: Classe de resistência das argamassas.**

Fonte: EN 998-2 (2003)

Classe	M 1	M 2,5	M 5	M 10	M 15	M 20	M d
Resistência à Compressão (N/mm <sup>2</sup> )	1	2,5	5	10	15	20	D

A ABNT NBR 15812-1:2010 designa as argamassas destinadas ao assentamento, sendo que estas devem atender aos requisitos previstos na ABNT NBR 13281:2005. Para a resistência à compressão, deve ser atendido o valor mínimo de 1,5 MPa e o máximo limitado a 0,7.fbk (resistência característica do bloco) referida à área líquida. A resistência da argamassa deve ser determinada de acordo com a ABNT NBR 13279:2005.

### 2.3 Argamassas modificadas polimERICAMENTE

A ciência dos materiais tem mostrado uma gama de possibilidades de associação de argamassas e concretos com materiais distintos, no intuito de melhorar suas propriedades físicas, mecânicas e de durabilidade. Dentre tais materiais podemos citar as escórias de alto forno, as cinzas volantes, a sílica ativa, as fibras naturais e sintéticas, os superplastificantes e, mais recentemente, os polímeros (FERREIRA, s.d.)

Ainda segundo o mesmo autor, utilização de polímeros no Brasil ainda é pouco empregada, porém em países industrialmente desenvolvidos já vêm sendo largamente utilizados, com efeitos favoráveis para a melhoria da qualidade e do desempenho das construções.

“Polímeros são substâncias químicas de alto peso molecular, obtidos pela reação denominada polimerização através da qual compostos químicos de baixo peso molecular (monômeros) reagem entre si para formar as macromoléculas. Como consequência desse tipo de reação, a estrutura da macromolécula é constituída pela repetição de unidades estruturais ligadas entre si por ligações covalentes” (Mano e Mendes, 1999, apud PIMENTEL, 2004).

Ferreira (s.d.) afirma que o polímero mais utilizado é o látex, constituído de copolímeros de ao menos dois ou mais monômeros e contém cerca de 50% de polímeros em massa. Conforme Cestari (2001, apud PIMENTEL, 2004), os látex mais utilizados na modificação dos compósitos à base de cimento Portland são:

- Acetato de polivinila (PVA);
- Copolímeros Acrílicos;
- Copolímeros Estireno-acrílico (SA);
- Copolímeros Vinil maleato (AM);
- Copolímeros Etileno vinil acetato (EVA);
- Copolímeros Estireno-butadieno (SBR);
- Hidroxietil celulose (HEC).

A Tabela 12 apresenta as propriedades de alguns látexes.

**Tabela 12: Propriedades de alguns polímeros.**

Fonte: FERREIRA (s.d.)

<b>Tipo de polímero</b>	<b>Sólido (%)</b>	<b>Massa específica (kg/dm<sup>3</sup>, 20°C)</b>	<b>pH</b>	<b>Viscosidade (cP, 20°C)</b>	<b>Tipo de catalizador</b>
Estireno-butadieno	48	1,01	10,0	26	Não iônico

Acrilonitrila-butadieno	41	1,01	9,1	27	--
Metacrilato de metila-butadieno	43	1,03	6,1	21	--
Acrílico	46	1,05	9,5	250	Não iônico
Neopreno	42	1,10	9,0	10	Não iônico
Acetato de polivinila	50	1,09	2,5	17	Não iônico

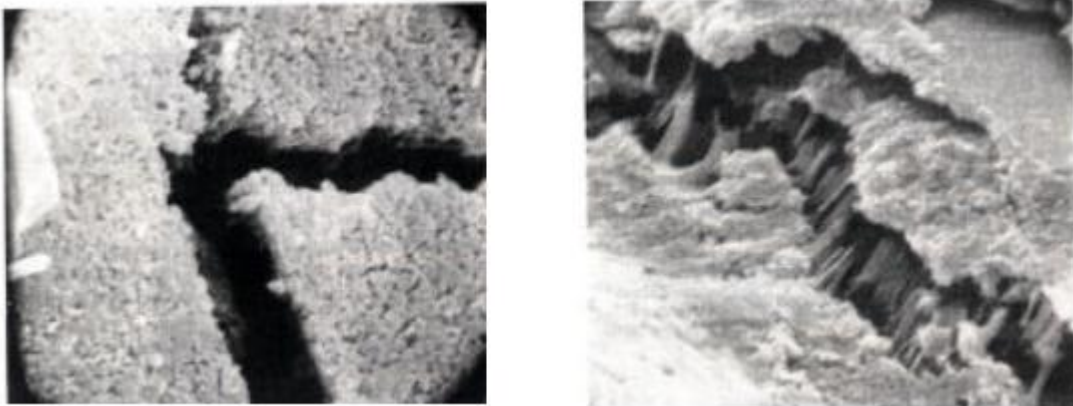
Conforme Silva e Roman (2001), os polímeros adicionados nas argamassas têm a função de conferir maior capacidade de retenção de água, melhor trabalhabilidade, maior adesividade e maior elasticidade às mesmas.

Dentro deste contexto, optou-se pela utilização dos polímeros PVA e SBR, visando um aumento das propriedades da argamassa como retenção de água e aderência, com o intuito de aumentar a eficiência do elemento estrutural e sua ductilidade, acomodando as deformações provenientes de movimentos da estrutura.

As pequenas quantidades de polímeros adicionadas às argamassas colantes (até 5% em relação ao peso de cimento) aumentam a viscosidade e a capacidade de retenção de água da argamassa, por formarem uma película muito fina e impermeável. As partículas do polímero e as bolhas de ar que surgem durante a mistura, promovem, juntas, um deslizamento entre as demais partículas da argamassa, concedendo uma melhor trabalhabilidade à mesma. Os efeitos serão maiores na argamassa, quanto maior for o teor de polímero aplicado, resultando com isso em maior resistência de aderência a substratos porosos. Devido a sua alta atividade superficial, o polímero tem efeito plastificantes e incorporador de ar, resultando também em maior tempo de pega. Contudo, quanto maior o teor de polímero aplicado, menor a resistência mecânica (tração, compressão e flexão) da argamassa (Chandra e Ohama, 1994, apud SILVA e ROMAN, 2001).

Segundo Siqueira (2007) a utilização do látex na argamassa aumenta significativamente o teor de ar incorporado na mesma, contudo, apesar da incorporação de ar diminuir a resistência á compressão, ela promove uma melhora considerável na absorção de deformações.

De acordo com o American Concrete Institute (1995, apud SIQUEIRA, 2007), as partículas do látex além de reduzirem a quantidade de movimentação de água através do bloqueio dos capilares, também tampam estes canais e restringem a propagação de fissuras (Figura 5). Isto resulta em incrementos na resistência à flexão.



**Figura 5: Microfotografia eletrônica de concreto de cimento Portland (direita) e concreto de cimento Portland modificado com látex (esquerda)**

**Fonte:** AMERICAN CONCRETE INSTITUTE (1995, apud FERREIRA, s.d.)

“O ponto ótimo de modificação com polímero está entre 5% e 10% do teor de sólidos por peso de cimento. Percentagens menores não propiciam mudanças significativas nas propriedades dos concretos e argamassas modificados. Além disso, não trarão os benefícios da redução significativa da quantidade de água de amassamento, visto que os látex possuem propriedades plastificantes no concreto fresco. O uso de sólidos em excesso torna-se inviável economicamente e pode causar elevada incorporação de ar ou um comportamento de polímero preenchido de agregados e cimento, no qual o cimento entra como filler, ocorrendo descaracterização do processo de modificação (AMERICAN CONCRETE INSTITUTE, 1995, apud SIQUEIRA, 2007),

### 2.3.1 Princípio da modificação

A modificação dos concretos e argamassas é consequência da hidratação do cimento Portland e da coalescência das partículas de polímero que formam filmes contínuos ou membranas ligados aos géis hidratados do cimento e aos agregados, estabelecendo uma cadeia monolítica na qual a fase do polímero interpenetra a fase do cimento Portland hidratado. Tal fase responsável pela diminuição da permeabilidade do material e pelo aumento da aderência entre a pasta e o agregado (OHAMA, 1987, apud SIQUEIRA, 2007).

Em seu trabalho, Ohama (1984, apud GODOY e BARROS, 1999) aborda em três etapas simplificadas, a formação da estrutura aglomerante, ou seja, a matriz resultante. Tais etapas são descritas a seguir.

#### a) Primeira etapa

Ao misturar látex à água de amassamento da argamassa, as partículas de polímero são uniformemente dispersas na pasta de cimento, no qual o cimento é hidratado gradualmente

liberando, entre outros produtos, o hidróxido de cálcio, enquanto parte das partículas de polímeros depositam-se na superfície das partículas de cimento parcialmente hidratado.

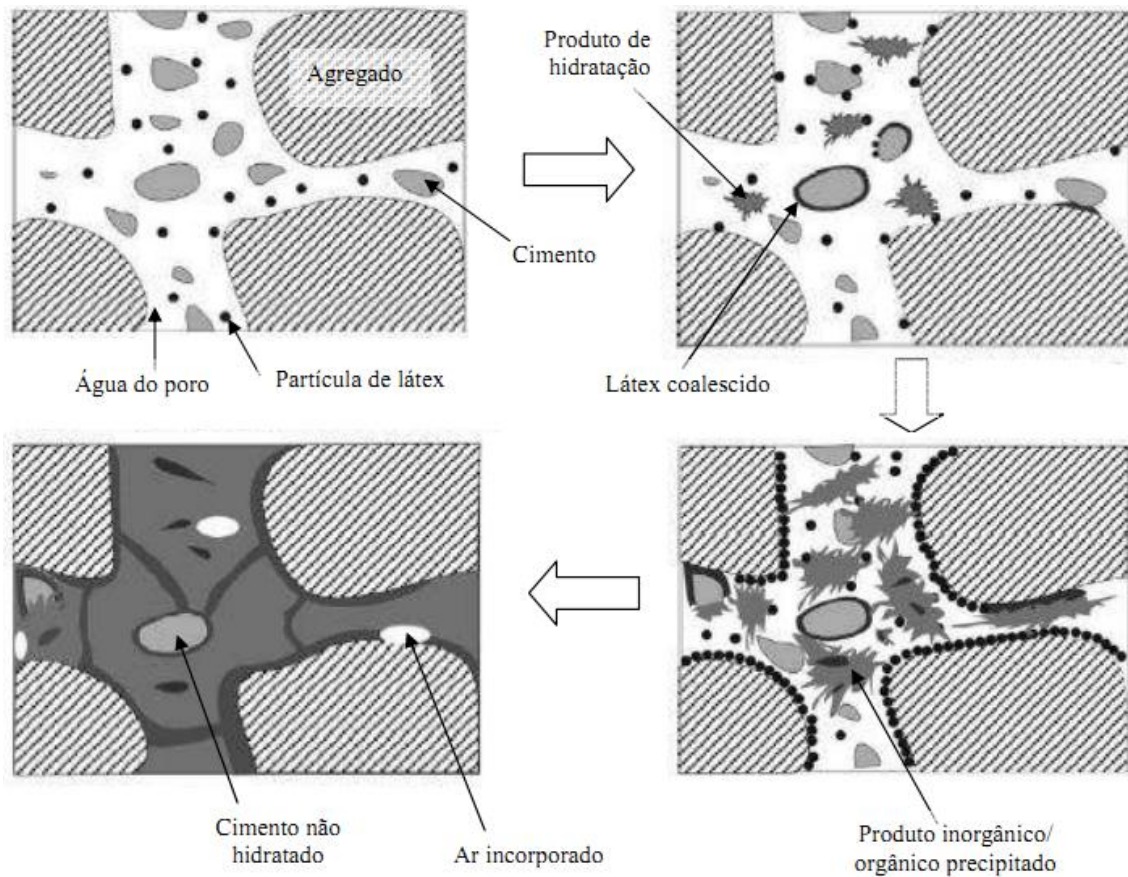
**b) Segunda etapa**

Com a saída da água em excesso (água não consumida na reação de hidratação do cimento) através da evaporação, as partículas de polímero são gradativamente confinadas nos poros capilares da pasta, pois o tamanho dos poros na pasta de cimento são muito superiores ao diâmetro das partículas de polímero de um látex, que variam de 500 a 5000 angstrons. Com a continuidade da hidratação do cimento, as partículas de polímero floculam, formando uma camada contínua e compacta sobre a superfície das partículas de cimento parcialmente hidratado, bem como dos agregados.

**c) Terceira etapa**

Após a remoção completa da água como descrito anteriormente, as partículas de polímero agrupadas coalescem em um filme ou membrana contínua, formando uma estrutura monolítica em que a fase do polímero interpenetra pela fase do cimento hidratado. Tal estrutura age como uma matriz para as argamassas modificadas poliméricamente, onde os agregados estão aglomerados por esta matriz.

A Figura 6 ilustra as etapas do modelo de hidratação do cimento em argamassas modificada com látex.



**Figura 6: Etapas do modelo de hidratação do cimento em argamassas modificada com látex.**  
 Fonte: BEELDENS ET AL. (2003, apud MANSUR, 2007).

Em contraste, na argamassa modificada com polímeros, as microfissuras são sobrepassadas por filmes ou membranas do polímero que previnem a propagação das fissuras e simultaneamente, desenvolvem uma ligação mais forte entre o cimento hidratado e os agregados (OHAMA, 1987, apud GODOY e BARROS, 1998).

A Figura 7 ilustra o modelo de formação de filme de polímero proposto por Ohama.



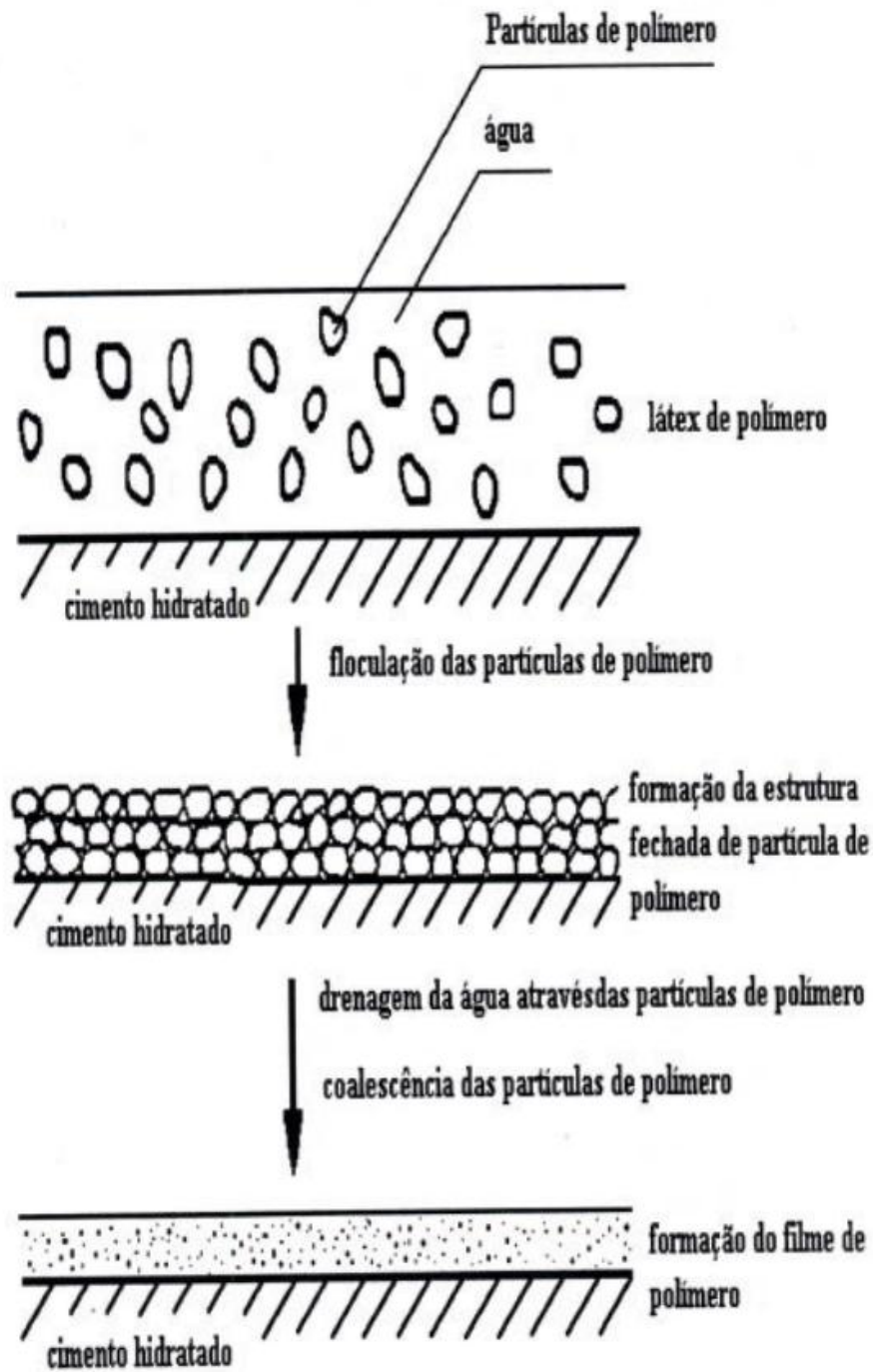


Figura 7: Modelo de formação de filme de polímero proposto por Ohama.  
 Fonte: ROSSIGNOLO (1998, apud FERREIA, s.d.).

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

Este capítulo aborda a metodologia experimental do trabalho, expondo os materiais, equipamentos e procedimentos realizados no Laboratório de Engenharia Civil da Universidade Federal do Pampa, em parceria com os laboratórios da Universidade Federal de Santa Maira (UFSM) e da Universidade FEEVALE.

Serão descritos os ensaios de prismas de blocos cerâmicos submetidos a esforços de compressão axial. Tais ensaios foram realizados no intuito da obtenção de dados necessários para a determinação das características de resistência dos materiais utilizados e do conjunto bloco-argamassa.

#### 3.1 Caracterização dos materiais

Os materiais usados no preparo das argamassas foram cimento CP IV 32, cal hidráulica, areia, acetato de polivinila (PVA), copolímero Estireno-butadieno (SBR), e água de-ionizada.

Os polímeros, acetato de polivinila (PVA) e copolímero Estireno-butadieno (SBR), utilizados no trabalho, são de aspecto branco, leitoso, isento de bolhas de ar e de qualquer resíduo ou material em suspensão. A Tabela 13 mostra suas principais propriedades.

**Tabela 13: Propriedades dos polímeros**

Fonte: Fabricante.

<b>Propriedades</b>	<b>Acetato de Polivinila (PVA)</b>	<b>Estireno-butadieno (SBR)</b>
Aspecto	Branco, fluído	Branco, fluído
Densidade	$\cong 1,02 \text{ g/cm}^3$	$\cong 0,97 \text{ g/cm}^3$
Teor de sólidos	12 a 14 %	49 a 51 %

O bloco cerâmico foi obtido da região de Santa Maria/RS. A Tabela 14 apresenta suas dimensões, seus valores de área bruta, área líquida e resistência média à compressão.

**Tabela 14: Propriedades do bloco cerâmico utilizado**

<b>Dimensões (cm)</b>	14x19x29
<b>Área Bruta</b>	406 cm <sup>2</sup>

**Área Líquida** 190,82 cm<sup>2</sup>

**Resistência média** 10 MPa

Os materiais cimento, cal e areia foram caracterizados fisicamente para a obtenção das suas massas específicas e aparentes. Para tanto, utilizou-se o frasco de Chapman (NBR 9776/1987) e Le Chatelier (NBR NM 23:2000) para a determinação da massa específica. A massa aparente foi determinada através de um recipiente indeformável, seguindo as recomendações da NBR 7251 (1982).

A areia foi caracterizada granulometricamente, conforme a NBR 7217 (1987), obtendo-se as relativas porcentagens retidas e passantes em cada peneira, sua dimensão máxima característica e o módulo de finura.

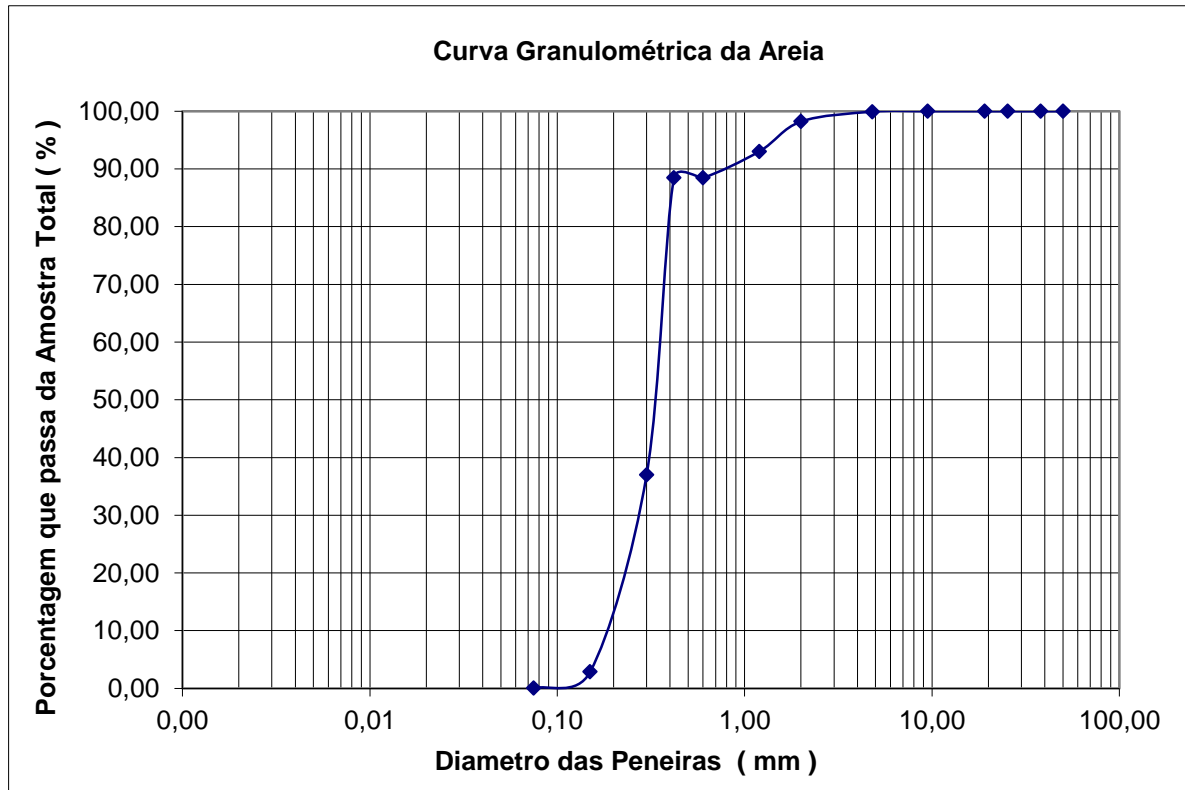
A Tabela 15 apresenta os valores obtidos na caracterização dos materiais analisados (cimento, cal e areia) e a Tabela 16 os resultados da composição granulométrica da areia, seguido de sua curva granulométrica (Figura 8).

**Tabela 15: Valores de massa**

<b>Material</b>	<b>Massa aparente (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Massa específica (g/cm<sup>3</sup>)</b>
Cimento CP-IV	0,99	2,86
Cal Hidráulica	0,68	2,39
Areia	1,61	2,70

**Tabela 16: Composição granulométrica**

<b>Peneira abertura (mm)</b>	<b>Massa retida (g)</b>	<b>Massa retida acumulada (g)</b>	<b>% Retida</b>	<b>% Retida acumulada</b>	<b>% Passante acumulada</b>
4,8	1,59	1,59	0,08	0,08	99,92
2,4	33,96	35,55	1,70	1,78	98,22
1,2	69,85	105,4	3,49	5,27	93,05
0,6	92,94	198,34	4,65	9,92	88,48
0,3	1047,85	1246,2	52,39	62,31	37,02
0,15	695,06	1941,3	34,75	97,06	2,89
Fundo	58,03	1999,3	2,90	99,96	0,04
Dimensão máxima característica		2,4 mm	Módulo de finura		2,7638



**Figura 8: Curva granulométrica da areia**

O resultado do módulo de finura obtido de aproximadamente 2,76 mostra que, de acordo com a NBR 7211 (2005), a areia utilizada está classificada em zona ótima, na qual o MF varia de 2,20 a 2,90.

## **3.2 Confecção das argamassas**

### **3.2.1 Definição do traço**

Utilizou-se o traço de 1:1:6 (em volume), conforme a BS 5628, sendo este o mais empregado para assentamento de alvenarias em geral, com uma boa relação entre resistência à compressão e flexão, trabalhabilidade e economia.

O traço utilizado bem como a porcentagem de polímero correspondente, pode ser mais bem visualizado na Tabela 17.

Tabela 17: Traços a serem utilizados na confecção das argamassas.

ARGAMASSA	A0	AP5	AP10	AS5	AS10
Traço em volume (cimento:cal:areia)	1:1:6	1:1:6	1:1:6	1:1:6	1:1:6
PVA (%)	-	5,0	10,0	-	-
SBR (%)	-	-	-	5,0	10,0

A fração de cada material em massa foi obtida através das massas unitárias dos materiais cimento, cal e areia, obtendo-se assim o traço em massa de 1:0,69:9,76, aplicando-se a seguinte equação:

$$1: \frac{V_{ca} \cdot \delta_{ca}}{\delta_{ci}} : \frac{V_a \cdot \delta_a}{\delta_{ci}}$$

Onde:

$V_{ca}$  – proporção de cal em pasta, em volume aparente;

$V_a$  – proporção de areia seca, em volume aparente;

$\delta_{ca}$  – massa unitária da pasta de cal hidratada, em kg/dm<sup>3</sup>;

$\delta_a$  – massa unitária da areia seca, em kg/dm<sup>3</sup>.

### 3.2.2 Mistura

As argamassas de traço fixo variando somente o teor de polímero foram preparadas em argamassadeira, com velocidade baixa de rotação da pá, misturando-se inicialmente na cuba toda a quantidade de água, cimento, cal e aditivo, quando houvesse. A mistura destes materiais foi realizada com o misturador em velocidade baixa, durante 30 segundos. Após este tempo, e sem paralisar a operação, adicionou-se a areia gradualmente durante 30 segundos. A seguir, a velocidade foi alterada para alta, misturando os materiais por mais 30 segundos. Terminado o tempo, o misturador foi desligado durante 1 min e 30 segundos, retirando-se a quantidade de argamassa aderida às paredes da cuba. Imediatamente após, o misturador foi ligado em velocidade alta por mais 1 minuto. Tais preceitos foram adequados para a adição de polímeros, porém seguindo o fundamental proposto pela NBR 7215 e NBR 13276.

### 3.2.3 Definição da consistência das argamassas

A relação água/aglomerante foi determinada através da consistência da argamassa, fixada em  $230 \pm 10$  mm, recomendando pela ASTM C-270 (2008). Para tanto, foi utilizada a

mesa de consistência “flow table”, de acordo com a NBR 13276 (2005) e o Anexo B da NBR 7215 (1996).

Este ensaio foi realizado logo após a preparação da argamassa. O molde tronco-cônico e a mesa foram previamente umedecidos. O molde foi centralizado na mesa, e então preenchido com a argamassa em três camadas sucessivas, com alturas aproximadamente iguais, e aplicadas, em cada uma delas, 15, 10 e 5 golpes, respectivamente. Com régua metálica, fez-se o arrasamento rente à borda do molde tronco-cônico, e retirou-se qualquer partícula em volta do mesmo. Após, o molde foi lentamente retirado verticalmente e aplicados 30 golpes em 30 segundos no tampo da mesa. Imediatamente após o último golpe, mediu-se o espalhamento da argamassa em duas direções ortogonais entre si. A Figura 9 mostra a realização do ensaio.



**Figura 9:** Ensaio de consistência da argamassa: retirada do cone (a) e medida da consistência após os 30 golpes (b)

### **3.2.4 Determinação do teor de ar incorporado**

Após a fixação da consistência, cada argamassa foi pesada, ainda em seu estado fresco, a fim de determinar o teor de ar incorporado, conforme a NBR 13278 (2005). Para tanto, foram calculadas as densidades de massa considerando o volume de vazios e a densidade de massa teórica da argamassa, sem vazios.

### **3.2.5 Moldagem e cura dos corpos-de-prova**

Os corpos-de-prova de argamassa foram moldados conforme a NBR 13279 (2005), ou seja, com o molde 4x4x16 cm, espalhou-se, uniformemente, a primeira camada de cada

argamassa em cada compartimento. Em seguida, aplicou-se 30 quedas através da mesa de adensamento. Introduziu-se a segunda camada de cada argamassa uniformemente, aplicando novamente 30 quedas na mesa. Os corpos-de-prova permaneceram 48h nos moldes em condições ambientes de laboratório de aproximadamente 23°C e 60% de UR. A seguir, foram desmoldados e mantidos nas mesmas condições até sua ruptura, em 28 dias.

Foram moldados seis corpos-de-prova prismáticos de argamassa referente a cada traço, totalizando trinta corpos de prova. A Figura 10 mostra as imagens das argamassas moldadas.

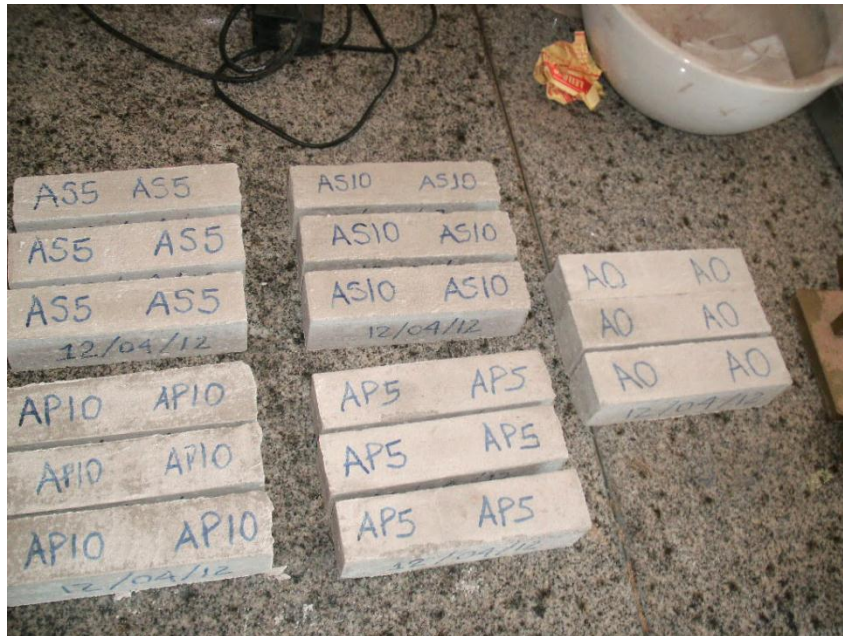


Figura 10: Corpos de prova prismáticos 4x4x16 cm.

### 3.3 Determinação da resistência à compressão e tração, e módulo de elasticidade dinâmico

Anteriormente aos ensaios de compressão e tração, foi realizada a determinação do módulo de elasticidade dinâmico, obtido por ensaio de emissão de pulso elétrico de baixa frequência ultrassônica (NBR 15630:2008), usando-se um aparelho de ultrassom, com transdutores de 54 kHz e forma direta de leitura.

O aparelho possibilita a leitura do tempo em microssegundos, que a onda ultrassônica demora a atravessar o corpo de prova (Figura 11).



**Figura 11: Ensaio para a determinação do módulo de elasticidade dinâmico.**

Através do tempo obtido, foi possível presumir a velocidade de pulso em km/s, dividindo-se o comprimento do corpo de prova pelo tempo resultante.

A norma brasileira NBR 15630 (2008), para argamassas, fornece a seguinte equação para o cálculo do módulo de elasticidade dinâmico, mesmo critério adotado pela norma britânica BS 1881:Part 203:1986.

$$E_d = \frac{\rho V^2 (1 + \nu)(1 - 2\nu)}{(1 - \nu)}$$

Onde:

$E_d$  – Módulo de elasticidade dinâmico (MPa)

$\rho$  – Densidade do corpo de prova ( $\text{kg/m}^3$ )

$V$  – Velocidade de pulso (km/s)

$\nu$  – Coeficiente de Poisson – adotado 0,2 na norma brasileira NBR 15630 (2008).

Após a determinação do módulo de elasticidade dinâmico dos corpos-de-prova de argamassa, foram determinadas as resistências à compressão e tração na flexão, conforme os preceitos da NBR 13279 (2005). Primeiramente rompe-se a tração na flexão e, fazendo-se o uso das metades do corpo-de-prova do ensaio de flexão, rompe-se a compressão.



### **3.4 Porosimetria**

Conforme Silva e Roman (2001), por afetar o comportamento de materiais à base de cimento no estado endurecido, a estrutura de poros é uma das suas características mais importantes. Logo, os ensaios de porosimetria foram realizados com a finalidade de analisar a microestrutura das argamassas com e sem adição de polímeros.

Conforme Bastos et. al (2001) a técnica de intrusão de mercúrio, mesmo limitada por não ter a possibilidade de se atingir os poros fechados da argamassa, ainda é adequada para efeito de comparação entre os resultados obtidos em amostras de mesma natureza.

Para tanto, as amostras foram obtidas através dos corpos-de-prova prismáticos de argamassa endurecida, após o rompimento dos mesmos. Os pequenos pedaços foram retirados da parte central dos corpos-de-prova de forma manual, nas dimensões de 5mm x 5mm x 15mm aproximadamente e, então, realizados ensaios de porosimetria por intrusão de mercúrio, determinando, assim, a distribuição e tamanho de poros do volume total de poros.

Este método de medição da quantidade e tamanho dos poros é baseado no princípio da penetração dos poros através da pressão, não devendo molhar o sólido poroso (TAYLOR, 1997).

Os resultados dos ensaios de porosimetria por intrusão de mercúrio são expressos, normalmente, na forma de porosidade total, que indica o volume total de acumulado de mercúrio intrudido, e na forma de curvas de distribuição do tamanho dos poros.

### **3.5 Confeção dos prismas de alvenaria estrutural**

A moldagem dos prismas sucedeu conforme a NBR 15812-2 (2010), na qual especifica que os mesmos devem ser constituídos de dois blocos sobrepostos, com juta de argamassa em toda a área líquida do bloco e com capeamento total (sobre toda a superfície dos blocos), mantido em plano uniforme. A Figura 12 mostra o momento da moldagem de um dos prismas de dois blocos cerâmicos.



**Figura 12: Prismas de dois blocos cerâmicos (a) com assentamento total (b).**

Ao todo, foram moldados quinze prismas, sendo três referentes a cada traço. A espessura das juntas atendeu ao requisito da 15812-2 (2010) de  $10 \pm 3$  mm.

### **3.6 Ensaio de compressão em prismas**

Os ensaios em prismas de dois blocos foram executados para avaliar a capacidade de resistência e de ductilidade das alvenarias construídas com a argamassa modificada, a fim de comparar com a alvenaria de argamassa padrão.

A determinação da resistência à compressão nos prismas foi feita de acordo com a NBR 15812-2 (2010), ensaiados aos 28 dias em série de três prismas para cada tipo de argamassa. Para os seus rompimentos foi utilizada uma prensa hidráulica de 3 MN da marca WPM.

### **3.7 Ensaios de aderência na interface bloco e argamassa**

Conforme Mohamad (2007), a aderência é a principal responsável pelo surgimento das tensões de confinamento que induzem um aumento na rigidez da argamassa e transfere tensões para a unidade.

Para a realização dos ensaios de aderência na interface entre os elementos, as argamassas, com e sem adição de polímero, foram assentadas na face lateral dos blocos, conforme a Figura 13. Utilizou-se um bloco para cada tipo de argamassa, possibilitando a

execução de seis ensaios de arrancamento cada, com diâmetro de corte correspondente a 49,5 mm.



**Figura 13: Assentamento da argamassa para ensaio de aderência.**

Após 28 dias, foram realizados os ensaios de arrancamento, conforme a Figura 14, através de um aparelho de tração digital calibrado na escala de 5000 N. O ensaio para determinação da resistência de aderência à tração foi executado de acordo com a NBR 13528 (2010).



**Figura 14: Determinação da resistência de aderência: colocação do aparelho de tração (a) e retirada das amostras (b).**

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Introdução

Nesta seção são apresentados os dados e os valores obtidos nos ensaios experimentais, juntamente com uma análise geral integrada aos objetivos do trabalho.

Para uma melhor compreensão dos resultados, nos anexos encontram-se os dados completos obtidos nos ensaios realizados neste trabalho.

### 4.2 Teor de ar incorporado no estado fresco

Este ensaio foi realizado conforme NBR 13278 (1995), na qual foram calculadas as densidades de massa considerando o volume de vazios e a densidade de massa teórica da argamassa, sem vazios. A Tabela 18 mostra os resultados obtidos.

**Tabela 18: Resultados referentes à determinação do teor de ar incorporado.**

<b>Exemplar</b>	<b>Densidade de massa (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Densidade de massa teórica (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Teor de ar incorporado (%)</b>
A0	2,055	2,209	6,95
AP5	2,008	2,224	9,72
AP10	2,021	2,227	9,23
AS5	1,984	2,230	11,02
AS10	1,945	2,235	12,98

Nota-se que o aumento da porcentagem de polímero aumentou o teor de ar incorporado nas misturas, com exceção da argamassa com adição de PVA que, com a variação da porcentagem de 5% para 10%, apresentou uma incorporação de ar relativamente menor. De uma maneira geral, a adição de polímero aumentou o teor de ar incorporado na mistura quando comparado à argamassa sem adição do mesmo.

### 4.3 Módulo de elasticidade dinâmico

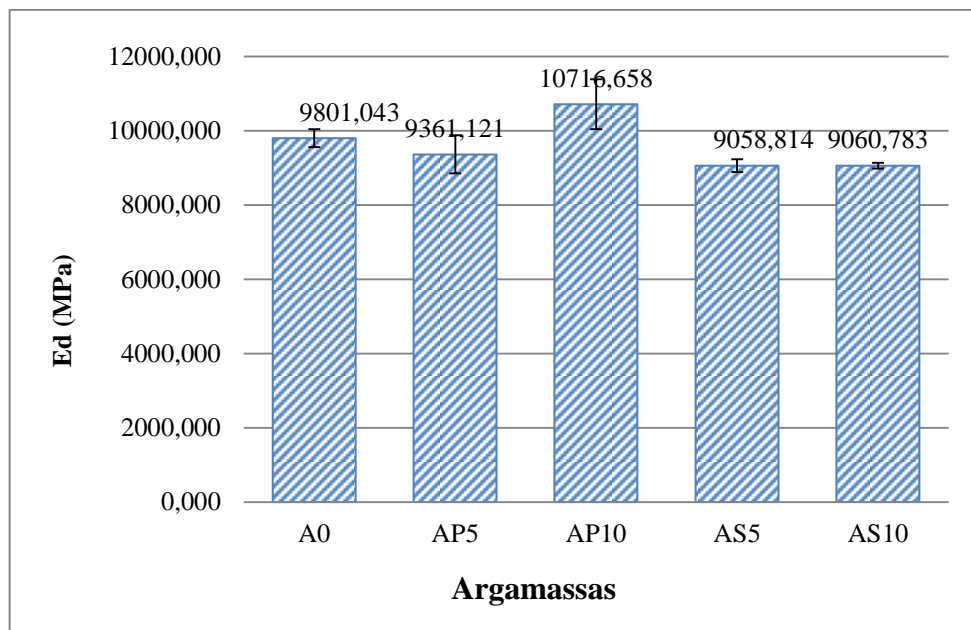
O módulo de elasticidade dinâmico das argamassas foi determinado conforme a NBR 15630 (2008), através de um aparelho de ultrassom, e da aplicação da equação apresentada no item 3.3 do capítulo anterior.

A Tabela 19 mostra os resultados médios obtidos nos corpos de prova de argamassa relativos à densidade de massa e módulo de elasticidade dinâmico (Ed), bem como o desvio padrão (sd) e coeficiente de variação (cv) das amostras.

**Tabela 19: Resultados referentes à determinação do módulo de elasticidade dinâmico.**

Exemplar	Densidade média de massa (kg/m <sup>3</sup> )	Ed Média (MPa)	Desvio Padrão (MPa)	Coeficiente de Variação (%)
A0	1858,33	9801,04	242,261	2,47
AP5	1847,14	9361,12	513,019	5,48
AP10	1866,02	10716,66	672,992	6,28
AS5	1821,22	9058,81	170,535	1,88
AS10	1839,84	9060,78	77,4631	0,85

A Figura 15 mostra os dados do módulo de elasticidade distribuídos em um histograma, para uma melhor visualização da diferença entre os tipos de argamassas.



**Figura 15: Módulo de elasticidade dinâmico das argamassas de assentamento.**

De uma maneira geral, a adição de polímeros diminuiu o módulo de elasticidade dinâmico das argamassas, com exceção da argamassa AP10 (argamassa com 10% de polímero PVA). Como se sabe, o módulo de elasticidade representa a relação tensão/deformação. Logo, quanto menor o módulo de elasticidade da argamassa, maior a capacidade de absorver

deformações. Contudo, segundo Godoy e Barros (1999), a resistência do filme de polímero contribui para o aumento da resistência à compressão da argamassa, podendo elevar o módulo de deformação da mesma, desenvolvendo, ainda, a capacidade da argamassa de absorver deformações.

#### 4.3.1 Resistência à compressão e tração na flexão

As resistências à compressão e à tração na flexão foram determinadas seguindo a NBR 13279 (2005), a partir da confecção dos corpos de prova prismáticos de 4x4x16 cm e testados com idade de 28 dias. Primeiramente determinaram-se as resistências à tração na flexão e, posteriormente, fazendo o uso das metades dos corpos-de-prova, determinaram-se as resistências à compressão (Figura 16).



**Figura 16: Determinação da resistências: a) à tração na flexão em primas de 4x4x16 cm; b) à compressão em prisma 4x4x8, este submetido ao ensaio à flexão.**

A Tabela 20 mostra os resultados médios obtidos nos corpos de prova de argamassa relativos à resistência à tração na flexão, bem como o desvio padrão (sd) e coeficiente de variação (c.v.) das amostras. A Tabela 21 mostra os valores referentes à resistência à compressão, juntamente com o desvio padrão e coeficiente de variação amostral.

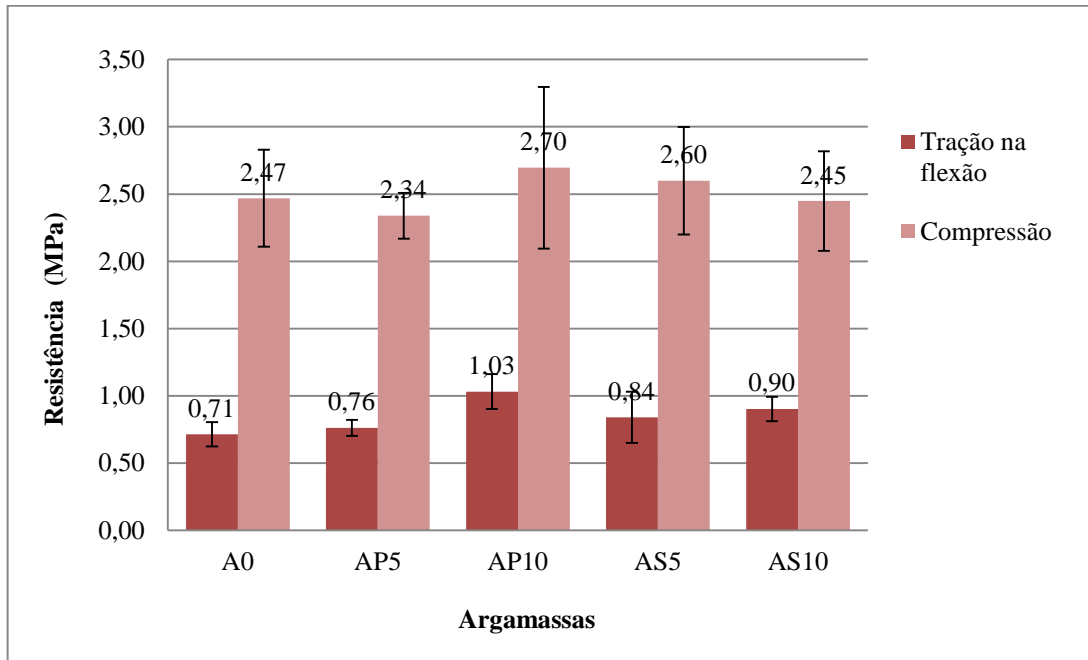
**Tabela 20: Resultados da resistência à tração na flexão das argamassas de assentamento.**

<b>Exemplar</b>	<b>Resistência média à tração (MPa)</b>	<b>Desvio Padrão (MPa)</b>	<b>Coefficiente de Variação (%)</b>
A0	0,71	0,09	13,24
AP5	0,76	0,06	8,43
AP10	1,03	0,13	12,61
AS5	0,84	0,19	22,28
AS10	0,90	0,09	9,82

**Tabela 21: Resultados da resistência à compressão das argamassas de assentamento.**

<b>Exemplar</b>	<b>Resistência média à compressão (MPa)</b>	<b>Desvio Padrão (MPa)</b>	<b>Coefficiente de Variação (%)</b>
A0	2,47	0,36	14,38
AP5	2,34	0,17	7,34
AP10	2,70	0,60	22,20
AS5	2,60	0,40	15,43
AS10	2,45	0,37	15,27

A Figura 17 mostra os dados das resistências à tração na flexão e compressão, distribuídos em um histograma.



**Figura 17: Resistência à compressão e tração na flexão das argamassas de assentamento.**

Como previsto, as argamassas modificadas poliméricamente possuíram uma maior resistência à tração quando comparadas a argamassa sem aditivo. Isto se deve a maior capacidade de deformação das argamassas quando adicionados polímeros.

É possível observar que a argamassa AP10, apesar de possuir um maior módulo de elasticidade, como visto anteriormente, também consegue manter a capacidade de absorver deformações, apresentando uma maior resistência à tração na flexão. É neste aumento que se torna notável a contribuição da resistência mecânica do filme de polímero.

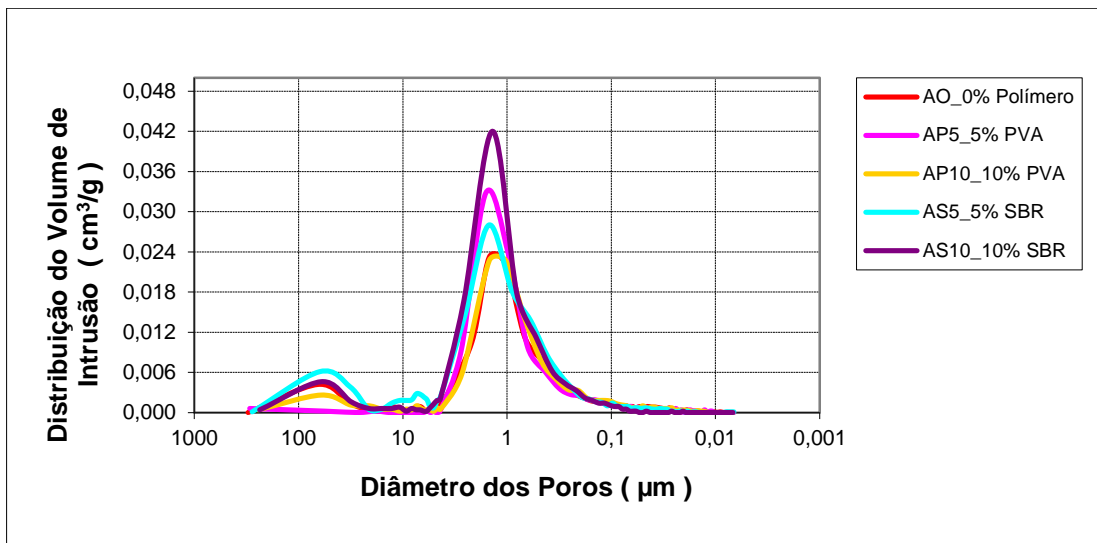
Em relação à resistência à compressão, somente as argamassas AP10 (argamassa com 10% de PVA) e AS5 (argamassa com 5% de SBR) apresentaram resistências à compressão superiores à argamassa comum (A0), sendo o valor de resistência obtido para a argamassa AS10 (argamassa com 10% de SBR) praticamente igual ao adquirido para argamassa A0 (0% de polímero). Apenas a argamassa AP5 (argamassa com 5% de PVA) obteve um valor de resistência com inferioridade mais significativa. Contudo, é comprovado que a resistência à compressão da argamassa não tem grande influência na resistência à compressão da alvenaria.

#### **4.3.2 Porosimetria**

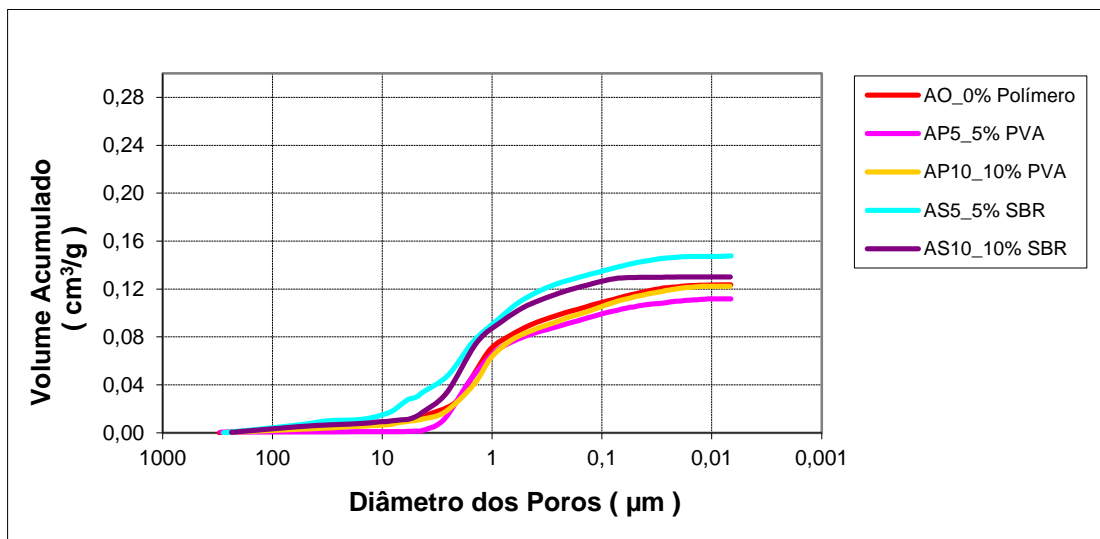
Como descrito no item 3.4 do capítulo anterior, os ensaios de porosimetria foram realizados em amostras de dimensões de 5mm x 5mm x 15mm aproximadamente, retiradas dos corpos-de-prova de argamassa após seu rompimento à tração na flexão e à compressão.



A Figura 18 mostra a curva *volume de mercúrio versus diâmetro dos poros*, no qual indica a quantidade de poros de um determinado diâmetro, através do volume de mercúrio intrudido, referente a cada argamassa. A Figura 19 mostra a curva *volume de mercúrio acumulado versus diâmetro dos poros*, apontando a quantidade total de mercúrio intrudido, ou seja, a porosidade total da amostra por unidade de massa da mesma, também referente a cada traço de argamassa.



**Figura 18: Distribuição do tamanho dos poros das argamassas.**



**Figura 19: Volume de poros acumulado.**

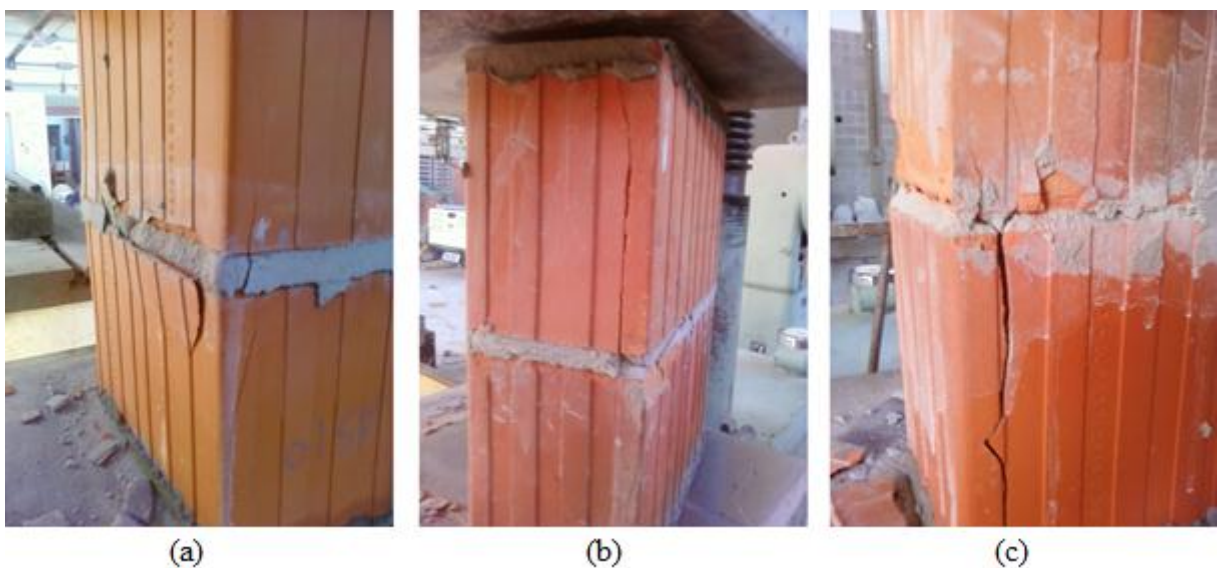
Na Figura 18 é possível notar que, em todos os diferentes tipos de argamassa, a maior quantidade de poros é de diâmetro próximo a 2,0 µm. A Figura 19 mostra que a argamassa

AS5 (5% de SBR) possui uma maior porosidade total, seguido da argamassa AS10 (10% de SBR), A0 (0% de polímero) e AP10 (10% de PVA), com praticamente com a mesma porosidade total. Por fim, a argamassa AP5 (5% de PVA) com uma porosidade total inferior as demais.

Logo, nota-se que, em relação à argamassa padrão A0, o copolímero SBR conferiu as maiores porosidades totais às argamassas, ao contrário da adição do polímero PVA. Isto se deve ao maior teor de ar incorporado proporcionado pela adição do SBR às argamassas, aliado ao maior diâmetro dos poros de ar. As argamassas com PVA possuíram também maior teor de ar incorporado em relação ao padrão A0, porém com menor diâmetro dos poros.

### 4.3.3 Resistência à compressão dos prismas

As resistências à compressão dos prismas foram determinadas aos 28 dias, conforme a NBR 15812-2 (2010). As rupturas, em geral, apresentaram fissuração vertical, além de fendilhamento do bloco ou esmagamento da argamassa, que aconteceu devido à aderência entre os elementos, impedindo a argamassa de se deformar lateralmente, ocasionando o surgimento de tensões laterais de tração no bloco e de compressão na argamassa. Houve esmagamentos localizados devido a concentração de tensão provocado pela falta de nivelamento no momento da moldagem. A Figura 20 mostra algumas das rupturas ocorridas nos prismas.



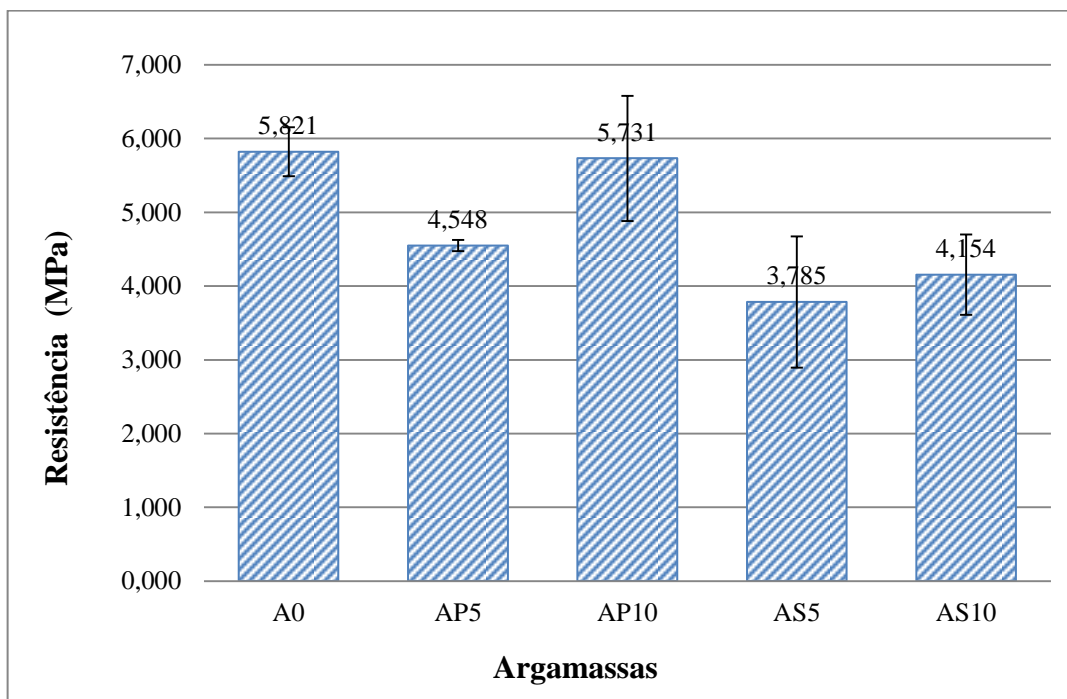
**Figura 20: Ruptura dos prismas de alvenaria estrutural: princípio de fendilhamento (a), fissuras verticais (b) e esmagamento das argamassas (c).**

A Tabela 22 mostra os resultados referentes às resistências à compressão dos prismas de alvenaria estrutural para os diferentes tipos de argamassas modificadas.

**Tabela 22: Resultados da resistência à compressão dos prismas de alvenaria.**

<b>Exemplar</b>	<b>Resistência média à compressão (MPa)</b>	<b>Desvio Padrão (MPa)</b>	<b>Coefficiente de Variação (%)</b>
P-A0	5,8210	3,326	5,714
P-AP5	4,5484	0,752	1,654
P-AP10	5,7307	8,480	14,797
P-AS5	3,7849	8,902	23,521
P-AS10	4,1544	5,435	13,075

A Figura 21 mostra os resultados das resistências distribuídos em um histograma, para uma melhor visualização da diferença entre os tipos de argamassas.



**Figura 21: Resistências à compressão dos prismas de alvenaria estrutural.**

É possível observar que o prisma moldado com a argamassa A0 (0% de polímero) possuiu uma melhor resistência à compressão. Os demais prismas moldados com argamassas modificadas polimericamente obtiveram, sem exceção, resistências à compressão inferiores quando comparadas ao primeiro. Contudo, foi possível notar durante a análise de ruptura dos

mesmos que, os prismas com argamassas modificadas polimERICAMENTE, resultaram em uma ruptura mais lenta. Os prismas moldados com argamassa mais forte, ou seja, a argamassa padrão A0, com 0% de polímero, apresentou uma ruptura mais explosiva, com rompimento súbito.

As moldagens dos prismas de dois blocos serviram para obter uma noção quanto aos valores de resistência à compressão. No entanto, seria necessário à moldagem de mini-paredes para uma melhor análise à compressão, bem como a utilização de transdutores para medição dos deslocamentos, no intuito de obter os módulos de deformação, para comprovar o comportamento na ruptura.

#### 4.3.4 Ensaios de aderência na interface bloco-argamassa

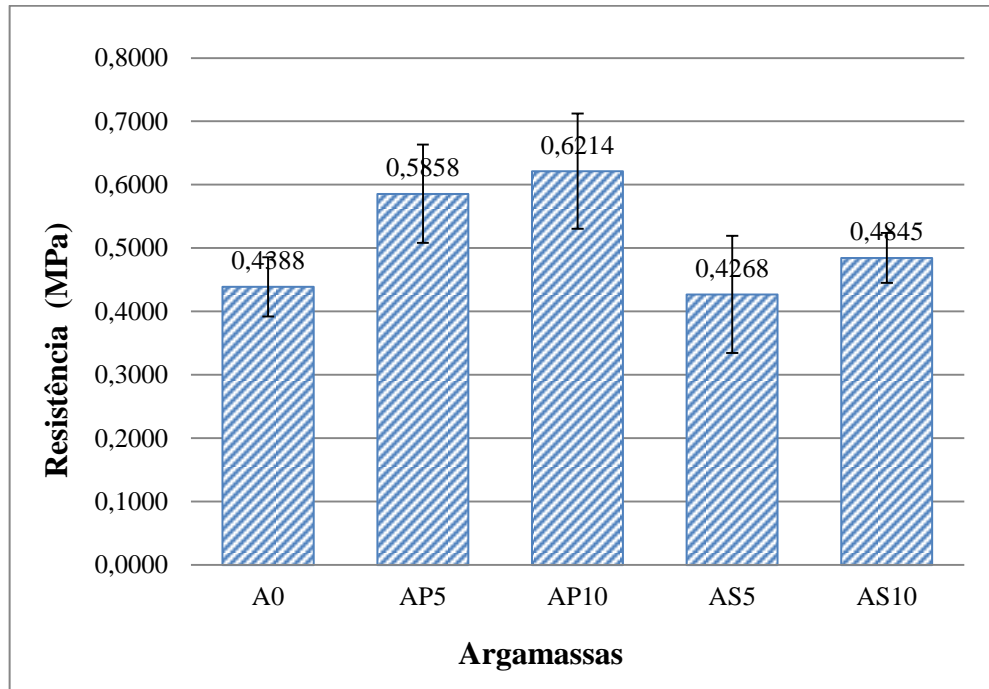
Os ensaios de aderência foram realizados conforme a NBR 13528 (2010), aos 28 dias, através de um aparelho de tração, descrito no item 3.7 do capítulo anterior.

A Tabela 23 mostra os resultados referentes às resistências médias de aderência à tração, obtidas para cada tipo de argamassa, o desvio padrão e o coeficiente de variação.

Tabela 23: Resultados das resistências de aderência à tração.

<b>Exemplar</b>	<b>Resistência média de aderência (MPa)</b>	<b>Desvio Padrão (MPa)</b>	<b>Coeficiente de Variação (%)</b>
B-A0	0,439	0,046	10,596
B-AP5	0,586	0,078	13,254
B-AP10	0,621	0,091	14,622
B-AS5	0,427	0,092	21,655
B-AS10	0,484	0,040	8,163

A Figura 22 mostra os resultados das resistências de aderência à tração, distribuídos em um histograma.



**Figura 22: Resultados das resistências de aderência à tração.**

Assim, é possível perceber que, praticamente todos os blocos assentados com argamassa modificada poliméricamente, com exceção do bloco assentado com a argamassa AS5 (5% de SBR) que possuiu uma pequena variação quando comparada à argamassa padrão (A0), obtiveram uma melhor resistência de aderência à tração.

## 5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES FUTURAS

### 5.1 Conclusões

O presente trabalho teve por objetivo avaliar o comportamento das argamassas modificadas polimericamente no assentamento de prismas de alvenaria estrutural. Os focos principais nos ensaios experimentais com as argamassas foram a resistência à compressão e à tração, o módulo de elasticidade, teor de ar incorporado e porosidade. Nos prismas de alvenaria estrutural de dois blocos analisou-se a resistência à compressão e a aderência entre o substrato e as argamassas.

A adição de polímeros pode implicar em mudanças significativas nas propriedades mecânicas das argamassas. Como características principais notou-se o seguinte:

- Na confecção das argamassas, os polímeros atribuíram melhor trabalhabilidade às mesmas, pois foi necessária uma menor quantidade de água para obtenção da consistência de  $230 \pm 10$  mm.
- Os polímeros melhoraram a elasticidade das argamassas, comprovado pelo aumento da resistência à tração na flexão.
- Algumas argamassas apresentaram melhor resistência à compressão, evidenciando a capacidade resistente que adquire o filme de polímero.
- A utilização de polímeros melhorou a adesividade da argamassa, proporcionando um aumento de aderência com o substrato cerâmico.
- De uma maneira geral, a argamassa que apresentou melhor desempenho foi a AP10 (argamassa com 10% de PVA). O maior módulo de elasticidade obtido em comparação as demais, pôde ser explicado pela eficiência da resistência do filme de polímero que, além de contribuir para aumento da resistência à compressão, desenvolveu a capacidade de absorver deformações, comprovado pelo alto valor de resistência à tração na flexão. Os prismas moldados com a argamassa AP10 apresentaram valores de resistência à compressão praticamente iguais aos valores obtidos com argamassa padrão (argamassa com 0% de polímero). Além disso, conferiu melhor resistência de aderência com o substrato cerâmico.

Em relação à ruptura dos prismas de alvenaria estrutural, pode-se concluir que:

- Foi possível observar, através das características visuais de ruptura obtidas durante os ensaios, que a argamassa induziu elevadas tensões laterais nos blocos. O esfacelamento

aconteceu na face inferior do bloco superior. Após o esfacelamento, verificou-se uma perda de aderência entre a argamassa e o bloco, gerando o esmagamento da junta de assentamento.

- Notou-se, também, a ocorrência de fendilhamento na superfície do bloco em contato com a argamassa, aparentando o esmagamento localizado da junta de assentamento. As fissuras verticais nos prismas podem ser traduzidas pelo fenômeno.
- Através dos ensaios experimentais realizados por diferentes autores, pode-se sugerir como hipótese, através da análise visual dos rompimentos, que o início da perda da capacidade resistente do conjunto bloco-argamassa aconteceu somente após o surgimento de esfacelamento na superfície do bloco superior. Logo, não é possível afirmar que a causa da ruptura seja apenas por tração no bloco ou esmagamento da argamassa, acreditando-se na associação destes fatores como causa provável da ruptura.
- Apesar da resistência de todos os prismas apresentarem valores inferiores em relação aos prismas moldados com argamassa padrão A0, notou-se visualmente no momento da ruptura que, devido à ductilidade das argamassas modificadas, o rompimento dos prismas foi de forma mais lenta, enquanto que os rompimentos dos prismas com argamassa padrão deram-se de maneira mais súbita.

## **5.2 Recomendações futuras**

As moldagens dos prismas de dois blocos serviram para obter uma noção quanto aos valores de resistência à compressão. Portanto, seria necessário a moldagem de mini-paredes para uma melhor análise à compressão, bem como a utilização de transdutores para medição dos deslocamentos, no intuito de obter os módulos de deformação, para comprovar o comportamento na ruptura.

## 6 REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211**: Agregado para concreto. Rio de Janeiro, 1983.

\_\_\_\_\_. **NBR 7217**: Agregados – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 1987.

\_\_\_\_\_. **NBR 7251**: Agregado em estado solto – Determinação da massa unitária. Rio de Janeiro, 1982.

\_\_\_\_\_. **NBR 8798**: Concreto – Execução e controle de obras em alvenaria estrutural de blocos vazados de concreto. Rio de Janeiro, 1985.

\_\_\_\_\_. **NBR 9776**: Agregados – Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco de Chapman. Rio de Janeiro, 1987.

\_\_\_\_\_. **NBR 10837**: Cálculo de alvenaria estrutural de blocos vazados de concreto. Rio de Janeiro, 1989.

\_\_\_\_\_. **NBR 13276**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Preparo da mistura e determinação do índice de consistência, 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 - Determinação da resistência à compressão – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1995.

\_\_\_\_\_. **NBR 13528**: Revestimento de paredes de argamassas inorgânicas – Determinação da resistência de aderência à tração. Rio de Janeiro, 2010.

\_\_\_\_\_. **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 15812-2**: Alvenaria estrutural – Blocos cerâmicos. Parte 2: Execução e controle de obras. Rio de Janeiro, 2010.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 23:2000**: Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 2000.

AMERICAN STANDARD TEST METHOD. **ASTM C 270-86b**: Mortar for unit masonry. Philadelphia, 1987.

BRITISH STANDARD INSTITUTION. **BS 5628-1**: Code of practice for use of masonry – Part 1: Structural use of unreinforced masonry. 1992.



BRITISH STANDARD INSTITUTION. **BS 5628-3**: Code of practice for use of masonry – Part 3: Material and components, design and workmanship. 1985.

EUROPEAN STANDARD. **EN 998-2**: Specification for mortar for masonry- Part 2: Masonry mortar. 2002.

FERREIRA, Osny Pellegrino. **Concretos polímeros**. Palestra proferida no programa da palestra sobre Concretos Especiais – Polímeros. UNESP – Bauru/SP. S.d.

GODOY, Eduardo Henrique P. de; BARROS, Mercia M. S. Bottura de. Contribuição ao estudo da influência do teor de polímero nas propriedades das argamassas de cimento Portland. In: Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, 3., 1999, Vitória. **Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas (3)**. Vitória: PPGEC/ANTAC, 1999. v. 1, p. 249-265.

IZQUIERDO, Orieta Soto. **A influência do tipo de argamassamento e da utilização de peças de ajuste dimensional na resistência à compressão da alvenaria de blocos de concreto**. 2011. 179 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. 2011.

JUSTE, Andrea Elizabeth. **Estudo da resistência e da deformabilidade da alvenaria de blocos de concreto submetida a esforços de compressão**. 2001. 255 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. 2001.

MOHAMAD, Gihad. **Mecanismos de ruptura da alvenaria de blocos à compressão**. 2007. 290p. Tese (Doutorado), Universidade do Minho, Portugal, 2007.

MULLER, Mônica Sybille Korff, AGOPYAN, Vahan. **Estudo de correlações entre resistência à compressão de paredes e prismas de alvenaria estrutural cerâmica não armada submetidos a esforços de compressão axial**. Relatório Técnico. São Paulo: Universidade de São Paulo; 1991. Relatório n°: BT/PCC/40.

OLIVEIRA JR., Valdir. **Recomendações para projeto de edifícios em alvenaria estrutural**. 1992. 273 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. 1992.

PASQUALI, Ivair. **Influência do tipo de argamassamento na resistência à compressão de pequenas paredes de alvenaria estrutural cerâmica**. 2007. 140 f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil e Preservação Ambiental) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 2007.

PIMENTEL, Lia Lorena. **Durabilidade de argamassas modificadas por polímeros e reforçadas com fibras vegetais**. Tese (Doutorado em Construções Rurais) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 2004.

PRUDÊNCIO JR., Luiz Roberto. **Resistência à compressão da alvenaria e correlação entre resistência de unidades, prismas e paredes**. 1986. 144 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 1986.

RAMALHO, Mario A., CORRÊA, Marcio R. S. **Projeto de edifícios de alvenaria estrutural**. 1. Ed, Rio São Paulo – SP: Editora PINI, 2003.

ROMAN, Humberto Ramos; SIGNOR, Régis; RAMOS, Arnaldo da Silva; MOHAMAD, Gihad. **Curso: Análise de Alvenaria Estrutural**. Universidade Corporativa CAIXA. S.d.

SOLÓRZANO, Marcelo Giovanni Palacios; SABBATINI, Fernando Henrique. **Características e Desempenho de Juntas de Argamassa na Alvenaria Estrutural de Blocos de Concreto**. Relatório Técnico. São Paulo: Universidade de São Paulo; 1995. Relatório n°: BT/PCC/141.

SILVA, D. A. ; ROMAN, H. R. **Caracterização microestrutural de pastas de cimento aditivadas com polímeros HEC e EVA**. Ambiente Construído (São Paulo), Porto Alegre - RS - Brasil, v. 2, n. 2, p. 31-46, 2002.

\_\_\_\_\_. **Pastas de cimento modificadas com polímeros hec e eva: estudo da distribuição de tamanho de poros**. In: IV Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, 2001, Brasília. IV Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, 2001. v. 1. p. 321-332.

SIQUEIRA, Gustavo Henrique. **Almofada de apoio de compósito de cimento para ligações em concreto pré-moldado**. 2007. 191 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. 2007.

TAYLOR, H. F. W. **Cement chemistry**. 2ed. London, 1997. 459p.

ANEXO 1 – Tabela de dados completos para a obtenção dos módulos de elasticidade das argamassas.

Exemplar	Massa (g)	Densidade de massa - $\rho$ máx ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )		Tempo (microseg)	Tempo (microseg) Média	Velocidade de pulso (km/s)	Velocidade de pulso (km/s) Média	Módulo de elasticidade dinâmico (MPa)		Desvio Padrão	Coef. Variação
		Individuais	Média					Individuais	Média		
A0	469,50	1833,98		66,40		2,41		9583,89			
	475,10	1855,86	1858,33	66,20	66,10	2,42	2,42	9756,89	9801,04	242,2609	2,47
	482,60	1885,16		65,70		2,44		10062,34			
AP5	480,10	1875,39		65,90		2,43		9949,55			
	471,00	1839,84	1847,14	68,60	67,47	2,33	2,37	9007,73	9361,12	513,0187	5,48
	467,50	1826,17		67,90		2,36		9126,09			
AP10	474,90	1855,08		65,50		2,44		9962,36			
	476,10	1859,77	1866,02	61,70	63,40	2,59	2,53	11255,64	10716,66	672,9924	6,28
	482,10	1883,20		63,00		2,54		10931,97			
AS5	461,20	1801,56		67,00		2,39		9246,60			
	468,80	1831,25	1821,22	68,80	68,07	2,33	2,35	8913,60	9058,81	170,5346	1,88
	468,70	1830,86		68,40		2,34		9016,24			
AS10	470,60	1838,28		68,70		2,33		8973,89			
	468,70	1830,86	1839,84	68,00	68,40	2,35	2,34	9122,62	9060,78	77,46312	0,85
	473,70	1850,39		68,50		2,34		9085,83			

ANEXO 2 – Tabela de dados completos para a obtenção das resistências das argamassas.

Exemplar	Carga de ruptura à flexão (N)	Resistência à Tração na Flexão (MPa)	Desvio Padrão	Coeficiente de Variação	Carga de ruptura à compressão (N)	Resistência à Compressão (MPa)	Desvio Padrão	Coeficiente de Variação	Resistências médias calculadas (MPa)	
									Tração na Flexão	Compressão
A0 12/abr	330	0,77	0,09	13,24	2900	1,81	0,36	14,38	0,77	2,46
					4000	2,50				
	320	0,75			4000	2,50				
					4500	2,81				
	340	0,80			4000	2,50				
A0 18/abr					4200	2,63				
	230	0,54			3700	2,31				
					3300	2,06				
	320	0,75			3500	2,19			0,66	2,48
					5100	3,19				
	290	0,68			4000	2,50				
AP5 12/abr			0,06	8,43	4000	2,50	0,17	7,34	0,73	2,36
	310	0,73			3700	2,31				
					3900	2,44				
	340	0,80			3300	2,06				
					3700	2,31				
AP5 18/abr					4100	2,56				
	360	0,84			3400	2,13				
					3400	2,13				
	330	0,77			4100	2,56			0,80	2,31
					3800	2,38				
	330	0,77			3600	2,25				
AP10 12/abr			0,13	12,61	4400	2,75	0,60	22,20	0,99	2,78
	390	0,91			4600	2,88				
					4600	2,88				
	400	0,94			4400	2,75				
					4200	2,63				
AP10 18/abr					4500	2,81				
	480	1,13			4600	2,88				
					4500	2,81				
	400	0,94			2500	1,56 *			1,07	2,61
	530	1,24			1800	1,13 *				
				3100	1,94					

					4500	2,81			
<b>AS5 12/abr</b>	300	0,70			4300	2,69			
					3800	2,38			
	270	0,63			3400	2,13			
					3600	2,25		0,67	2,36
	290	0,68			3400	2,13			
		0,19	22,28		4200	2,63	0,40	15,43	
<b>AS5 18/abr</b>	440	1,03			5100	3,19			
					5200	3,25			
	410	0,96			4500	2,81			
					3400	2,13		1,01	2,83
	440	1,03			4400	2,75			
				4600	2,88				
<b>AS10 12/abr</b>	380	0,89			3000	1,88			
					3900	2,44			
	360	0,84			4300	2,69			
					3600	2,25		0,84	2,34
	340	0,80			3900	2,44			
		0,09	9,82		3800	2,38	0,37	15,27	
<b>AS10 18/abr</b>	370	0,87			4700	2,94			
					4600	2,88			
	420	0,98			4100	2,56			
					4700	2,94		0,96	2,55
	440	1,03			3000	1,88			
				3400	2,13				

ANEXO 3 – Tabela de dados completos para obtenção das resistências dos prismas

Exemplar	Moldagem	Data de ensaio	Idade dias	Área (mm <sup>2</sup> )	Carga de ruptura (N)	Resistência (MPa)	Desvio Padrão	Média (MPa)	Coef. de Variação
A0	04/mai	01/jun	28	40600	223000	5,493	0,333	5,821	5,714
	04/mai	01/jun	28	40600	236000	5,813			
	04/mai	01/jun	28	40600	250000	6,158			
AP5	04/mai	01/jun	28	40600	184000	4,532	0,075	4,548	1,654
	04/mai	01/jun	28	40600	182000	4,483			
	04/mai	01/jun	28	40600	188000	4,631			
AP10	04/mai	01/jun	28	40600	194000	4,778	0,848	5,731	14,797
	04/mai	01/jun	28	40600	260000	6,404			
	04/mai	01/jun	28	40600	244000	6,010			
AS5	04/mai	01/jun	28	40600	195000	4,803	0,890	3,785	23,521
	04/mai	01/jun	28	40600	138000	3,399			
	04/mai	01/jun	28	40600	128000	3,153			
AS10	04/mai	01/jun	28	40600	193000	4,754	0,543	4,154	13,075
	04/mai	01/jun	28	40600	150000	3,695			
	04/mai	01/jun	28	40600	163000	4,015			

ANEXO 4 – Tabela de dados completos para a obtenção das resistências de aderência nos prismas.

Exemplar	Carga (N)	Área (mm <sup>2</sup> )	Esp. Camada de corte (mm)	Resistência (MPa)	Média (MPa)	Desvio Padrão (MPa)	Coef. Variação
A0	789	1924,42	19,00	0,410	0,439	0,046	10,596
	948	1924,42	18,00	0,493			
	703	1924,42	17,00	0,365			
	880	1924,42	20,00	0,457			
	914	1924,42	19,00	0,475			
	833	1924,42	17,00	0,433			
AP5	1042	1924,42	19,00	0,541	0,586	0,078	13,254
	1284	1924,42	17,00	0,667			
	982	1924,42	16,00	0,510			
	1301	1924,42	20,00	0,676			
	1186	1924,42	18,00	0,616			
	969	1924,42	19,00	0,504			
AP10	1471	1924,42	15,00	0,764	0,621	0,091	14,622
	1140	1924,42	18,00	0,592			
	1228	1924,42	17,00	0,638			
	1015	1924,42	14,00	0,527			
	1298	1924,42	15,00	0,674			
	1023	1924,42	16,00	0,532			
AS5	591	1924,42	19,00	0,307	0,427	0,092	21,655
	648	1924,42	19,00	0,337			
	1024	1924,42	19,00	0,532			
	773	1924,42	20,00	0,402			
	963	1924,42	19,00	0,500			
	929	1924,42	19,00	0,483			
AS10	894	1924,42	15,00	0,465	0,484	0,040	8,163
	875	1924,42	15,00	0,455			
	907	1924,42	15,00	0,471			
	1049	1924,42	15,00	0,545			
	1005	1924,42	15,00	0,522			
	864	1924,42	15,00	0,449			