

CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

Gêneton Flaviano Behling

**VERIFICAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA ESPESSURA E DA
RESISTÊNCIA DA JUNTA DE ARGAMASSA NO ROMPIMENTO À
COMPRESSÃO DO PRISMA**

Santa Cruz do Sul

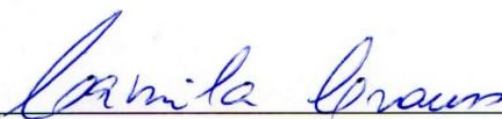
2014

UNIVERSIDADE DE SANTA CRUZ DO SUL
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

Por

Gêneton Flaviano Behling

Trabalho de Curso II apresentado ao curso de Engenharia Civil, da Universidade de Santa Cruz do Sul (RS), na área de Materiais de Construção Civil.



Camila Crauss

Professora Orientadora

Christian Donin

Professor Examinador



Deborah Marcant Madalozzo

Professora Examinadora

Santa Cruz do Sul, 27 de Novembro de 2014

SUMÁRIO

RESUMO.....	6
1 LIMITAÇÃO DO TEMA	7
2 JUSTIFICATIVA	8
3 OBJETIVOS	10
3.1 Objetivos gerais.....	10
3.2 Objetivos específicos.....	10
4 METODOLOGIA.....	11
4.1 Blocos	11
4.2 Argamassa	11
4.3 Recepção	11
4.4 Primeiro capeamento	11
4.5 Argamassa de 2 MPa e junta de 10 mm	12
4.6 Argamassa de 12 MPa e junta de 10 mm	12
4.7 Argamassa de 6 MPa e juntas de 3 mm; 5 mm; 10 mm; 20 mm e 30 mm	12
4.8 Segundo capeamento	12
4.9 Área bruta	13
4.10 Cura dos prismas	13
4.11 Rompimento dos prismas.....	13
4.12 Registro de atividades	13
5 CRONOGRAMA.....	14
6 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
6.1 Alvenaria - breve abordagem	15
6.2 Blocos e tijolos	18
6.3 A argamassa e a junta	21
6.3.1 Espessura da junta.....	22
6.3.2 Resistência da junta.....	22

6.3.3	Trabalhabilidade	24
6.3.4	Retentividade de água	24
6.3.5	Tempo de endurecimento.....	24
6.3.6	Aderência.....	25
6.3.7	Resiliência.....	25
7	CONTROLE DE QUALIDADE EM OBRAS DE ALVENARIA	26
7.1	Projeto.....	26
7.2	Execução	27
7.2.1	Marcação da alvenaria	27
7.2.2	Elevação da alvenaria.....	29
7.2.3	Inspeção da produção.....	30
8	MOLDAGEM DOS PRISMAS	31
8.1	Recepção dos materiais	31
8.2	Primeiro capeamento	31
8.3	Preparo da argamassa.....	33
8.4	Cuidados com os blocos.....	33
8.5	Moldagem das juntas.....	34
8.6	Segundo capeamento	37
9	DETERMINAÇÃO DE VALORES.....	38
9.1	Carga de ruptura	38
9.2	Área média	38
9.3	Resistência à compressão média.....	39
10	ANÁLISE DE RESULTADOS.....	41
10.1	Tabela resumo.....	41
10.2	Junta de 10 mm e 6 MPa (Tipo 1 - padrão).....	43
10.3	Junta de 10 mm e 2 MPa (Tipo 2)	44
10.4	Junta de 10 mm e 12 MPa (Tipo 3)	46

10.5 Junta de 3 mm e 6 MPa (Tipo 4)	48
10.6 Junta de 5 mm e 6 MPa (Tipo 5)	49
10.7 Junta de 20 mm e 6 MPa (Tipo 6)	51
10.8 Junta de 30 mm e 6 MPa (Tipo 7)	53
10.9 Compilação de resultados	54
11 CONCLUSÃO	58
12 BIBLIOGRAFIA	60
ANEXO A - RELATÓRIO DE ENSAIOS P1	63

RESUMO

Com foco na alvenaria estrutural, este trabalho irá analisar como diferentes espessuras de juntas e resistências de suas argamassas influem no comportamento de prismas submetidos à carga de compressão.

Partindo de observações práticas em obras, pode-se facilmente encontrar uma gama de espessuras e resistências de juntas em paredes de alvenaria. A conscientização dos executores e o acompanhamento adequado de um profissional técnico na área contribuem para a execução de juntas adequadas, mas estas variações existem e aqui serão analisadas.

Com base em normas e uso de componentes da alvenaria estrutural, será feita a moldagem de prismas ociosos de 2 blocos cerâmicos com 7 tipos diferentes de juntas. Destas juntas, uma terá resistência e espessura ideal, defendida por bibliografias, duas irão ter resistências inadequadas mantendo-se a espessura correta, e quatro terão espessuras inadequadas mantendo-se a resistência correta.

Desenvolvidos os ensaios com os prismas, se tornarão mais visíveis, por meio da análise de resultados e observações, o comportamento destas diferentes juntas estudadas e os valores adequados de resistência e espessura. As observações feitas nos prismas ainda serão ampliadas ao nível de uma parede ou estrutura inteira

1 LIMITAÇÃO DO TEMA

Por meio deste trabalho de conclusão de curso haverá o estudo do recorrente problema da variação no traço e na espessura da argamassa utilizada no assentamento da alvenaria, especialmente a estrutural.

Fazendo-se uso de componentes e normas da alvenaria estrutural, será analisada a influência que juntas de espessuras maiores ou menores que as devidas, bem como a resistência maior ou menor do que a recomendada para a argamassa que preenche estas juntas tem no rompimento do prisma à compressão.

De posse destes resultados, tentar-se-á expandir o comportamento destes tipos de juntas para uma estrutura inteira em alvenaria.

2 JUSTIFICATIVA

Com um período de estudos em engenharia civil do ano de 2009 ao de 2014, e o trabalho diário em obras residenciais de pequeno porte por um período igual ou maior ao anterior, tornou-se muito evidente a ampla variedade de espessuras e resistências das argamassas usadas nas juntas das paredes de alvenaria.

O operário assentador da alvenaria, que na grande maioria das vezes aprendeu o ofício apenas observando na prática os trabalhadores mais experientes, desconhece a influência desta junta no comportamento da parede em aspectos como modulação ou a transferência de tensões entre unidades da alvenaria.

Em obras residenciais, pequenas obras comerciais e outras de porte menor acontece por vezes a construção de paredes de alvenaria sem o uso de pilares, cabendo a estas paredes fazer a vedação com o exterior e divisão de cômodos interiores, resistir ao seu próprio peso, ao do telhado e de uma eventual laje. Como estas obras de pequeno porte aparentam menor preocupação técnica, o profissional responsável pela execução acaba por negligenciar a vistoria e orientação aos operários. Sendo estes últimos muitas vezes contratados informal e diretamente pelo proprietário da obra.

Nestas circunstâncias, devido a esta falta de vínculo entre técnico e operário, fica difícil exigir uma execução de acordo com as boas técnicas, e na construção acaba sendo produzida argamassa com pouco controle, geralmente com resistência superior à do bloco, pois a adição de cimento causa a impressão de que a parede suportará melhor as cargas; e como lembra Roman (1999) quando a mão de obra é despreparada, é comum a construção com juntas mais grossas que o desejável, pois elas facilitam o processo de assentamento das unidades e aumentam a produtividade.

Em obras de grande porte, edifícios em alvenaria estrutural ou de concreto armado e vedação em alvenaria, onde o controle de obra deve ser acentuado devido aos graves riscos gerados por possíveis falhas na execução, tem-se a presença constante de profissionais responsáveis pela execução.

Nestas circunstâncias há a perfeita possibilidade de investir na conscientização dos operários, pois são subalternos aos engenheiros, arquitetos ou técnicos daquela empresa, e igualmente na conscientização deste corpo técnico, para que possam adequadamente transmitir tal conhecimento de modo prático aos subalternos.

Assim, com a conscientização paulatina, tende-se a subtrair o aspecto negativo já mencionado sobre a mão de obra, a qual desconhecendo os aspectos técnicos da alvenaria, da influência da junta no comportamento da parede e das possíveis patologias; mesmo mediante orientação, muitas vezes termina por executar as juntas da maneira que mais fácil lhe é, por julgar estar fazendo certo.

Muitas outras partes de uma obra sofrem com os problemas acima mencionados, como despreparo da mão de obra e certa negligência na conscientização e fiscalização por parte dos técnicos. Mas os erros na execução das juntas são um problema existente e recorrente, que influem muito nas propriedades da alvenaria, e assim receberão um estudo por meio do rompimento de prismas com diferentes tipos de juntas que ocorrem em obra. Isso permitirá visualizar o comportamento destes diferentes tipos de juntas, podendo tais comportamentos serem extrapolados para uma parede ou edificação inteira.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivos gerais

Fazendo uso dos componentes da alvenaria estrutural e de sua bem desenvolvida normalização, deseja-se inferir, pelo rompimento dos prismas, a influência que a junta de argamassa causa na parede e na estrutura de alvenaria.

A alvenaria de blocos de furos verticais pode ser considerada a evolução das alvenarias que fazem uso de blocos de furos horizontais e de tijolos maciços, porém, a forma como a estrutura comporta-se à compressão não sofre alterações. Portanto as observações feitas para os prismas de alvenaria estrutural também poderão ser aplicadas às outras alvenarias.

Com este trabalho haverá a possibilidade de evidenciar os resultados dos ensaios, com embasamento prático e teórico, para auxiliar na compreensão da influência das diferentes juntas de argamassa ensaiadas na estrutura como um todo.

3.2 Objetivos específicos

Serão moldados e rompidos prismas, com diferentes espessuras e resistências de juntas, para que seja possível observar o comportamento de cada tipo destes prismas ao romperem e a resistência alcançada por eles, e assim verificar a influência que a junta de argamassa tem no comportamento do prisma submetido à carga de compressão.

4 METODOLOGIA

A pesquisa seguirá conjuntos de ações conforme especificado no decorrer desta metodologia. Os ensaios e demais determinações seguem a ABNT NBR 15270-3:2005. Componentes cerâmicos. Parte 3: Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural e de vedação - Métodos de ensaio.

4.1 Blocos

Os prismas serão de 2 blocos de altura, com 7 tipos diferentes de juntas e 4 ensaios por tipo. Para tanto serão usados blocos estruturais cerâmicos 14 cm × 19 cm × 29 cm da Cerâmica Candelária, com resistência característica à compressão (fbk) declarada pelo fabricante de aproximadamente 8,0 MPa.

4.2 Argamassa

Serão usados os seguintes produtos do fabricante FIDA: argamassa de assentamento de vedação de resistência característica à compressão (fak) 2 MPa, argamassa de assentamento estrutural de fak 6 MPa e argamassa de assentamento estrutural de fak 12 MPa, fornecidas em sacos de 25 kg.

4.3 Recepção

Com o advento do material necessário para a prática da pesquisa será conferida a integridade física dos blocos cerâmicos e a boa conservação dos sacos de argamassa, para garantir a qualidade dos ensaios.

4.4 Primeiro capeamento

Preparar argamassa no traço 1:1(cimento: areia) e trabalhabilidade compatível com o capeamento dos blocos.

Capear 30 blocos em um dos lados vazados com espessura máxima de 3 milímetros.

4.5 Argamassa de 2 MPa e junta de 10 mm

Preparar manualmente a argamassa de 2 MPa, com adição de água conforme fabricante e até obter total homogeneidade.

Umedecer, conforme demanda, os 8 blocos a serem usados.

Moldar os 4 prismas de 2 blocos cada, com junta de 10 mm e auxílio de espaçadores plásticos.

4.6 Argamassa de 12 MPa e junta de 10 mm

Preparar manualmente a argamassa de 12 MPa, com adição de água conforme fabricante e até obter total homogeneidade.

Umedecer, conforme demanda, os 8 blocos a serem usados.

Moldar os 4 prismas de 2 blocos cada, com junta de 10 mm e auxílio de espaçadores plásticos.

4.7 Argamassa de 6 MPa e juntas de 3 mm; 5 mm; 10 mm; 20 mm e 30 mm

Preparar a argamassa de 6 MPa com adição de água conforme fabricante e até obter total homogeneidade.

Umedecer, conforme demanda, os 30 blocos a serem usados.

Moldar:

- 4 prismas de 2 blocos cada, com juntas de 3 mm e auxílio de espaçadores plásticos.
- 4 prismas de 2 blocos cada, com juntas de 5 mm e auxílio de espaçadores plásticos.
- 4 prismas de 2 blocos cada, com juntas de 10 mm e auxílio de espaçadores plásticos.
- 4 prismas de 2 blocos cada, com juntas de 20 mm e auxílio de espaçadores de madeira.
- 4 prismas de 2 blocos cada, com juntas de 30 mm e auxílio de espaçadores de madeira.

4.8 Segundo capeamento

Quando possível manusear e girar os 28 prismas, capear sua outra face vazada.

4.9 Área bruta

Medir largura e comprimento dos 2 blocos que compõem o prisma. Tal processo deve ser feito para todos os blocos de todos os prismas, a fim de, posteriormente, calcular a área bruta do prisma por meio da média aritmética das áreas individuais de cada um dos 2 blocos.

4.10 Cura dos prismas

Os prismas ficarão armazenados em local coberto, em condições climáticas naturais, por um período de ao menos 28 dias.

4.11 Rompimento dos prismas

Passado o mínimo de 28 dias, os prismas serão rompidos na prensa hidráulica com um incremento de carga da ordem de $0,05 \pm 0,01$ MPa/s.

A tensão de ruptura do prisma será dada em mega Pascal, sendo obtida pelo quociente da divisão do peso necessário à ruptura (em Newton) pela área bruta do prisma (em metros quadrados).

4.12 Registro de atividades

Os prismas serão identificados por espessura de junta e resistência de argamassa e numerados de 1 a 28 com uso de tinta.

O processo de moldagem e rompimento dos prismas será documentado por fotos, as quais mostrarão todos os estágios da moldagem e as formas de ruptura vistas na prensa.

5 CRONOGRAMA

- **07 de Maio**

Capear 30 blocos em um dos lados vazados.

Moldar 4 prismas de juntas 10 mm e argamassas de 2 MPa e 4 prismas de juntas 10 mm e argamassas de 12 MPa, perfazendo 8 prismas.

- **08 de Maio**

Moldar os prismas com argamassa de 6 MPa, sendo estes com juntas de 3 mm, 5 mm, 10 mm, 20 mm e 30 mm, num total de 4 prismas de cada tipo, perfazendo 20 prismas.

- **13 de Maio**

Sendo possível girar os prismas, capear seu outro lado vazado.

Medir comprimento e largura dos 2 blocos de cada um dos 28 prisma.

- **9 de Junho**

Romper os 28 prismas, no turno que houve disponibilidade da prensa.

6 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Toda bibliografia especializada em alvenaria, especialmente a estrutural, aborda em alguns parágrafos o tema da junta de argamassa. Tais escritas citam estudos realizados por especialistas no assunto, e especificam que a junta ideal deve ter a resistência da argamassa compreendida entre 70% e 100% da resistência do bloco e espessura de 1 cm.

Também é recorrente que estes trechos de bibliografias enfatizem certo aspectos da argamassa na junta, tais como o de que a argamassa deve transferir uniformemente as tensões entre as unidades da alvenaria e que a argamassa dentro da junta está confinada e submetida a um estado triaxial de tensões.

Novamente há convergência nas afirmações feitas pelos autores a respeito dos efeitos de diferentes resistências e espessuras de juntas na parede.

No entanto, em algumas bibliografias, há espaço para descrições e apresentações de ensaios que abordem os passos até chegar-se aos resultados já mencionados.

Para uma boa explanação e embasamento do assunto junta de argamassa e da alvenaria como um todo, o presente capítulo revisará a bibliografia pesquisada e aprofundará o tema em questões como breve histórico e descrição da alvenaria, peculiaridades dos componentes argamassa e bloco, ensaios de pesquisadores e projeto, execução e controle de qualidade da alvenaria em obras.

6.1 Alvenaria - breve abordagem

Para conhecer melhor a alvenaria, vale remontar à origem da palavra, que deriva do árabe al-bannã, ou seja: aquele que constrói. Para definir alvenaria, pode-se dizer que esta já foi, e ainda pode ser o tipo obra com pedras ou tijolos simplesmente sobrepostos, ou como a conhecemos em tempos atuais, "chamamos de alvenaria o conjunto de peças justapostas coladas em sua interface, por uma argamassa apropriada, formando um elemento vertical coeso" (TAUIL, 2010).

Há muitos séculos o homem faz uso da alvenaria para construir, sendo mundialmente conhecidos monumentos históricos com tal sistema. Um bom exemplo é o conjunto de pirâmides do Egito, apresentadas na Figura 1, com pedras assentadas sem argamassa.

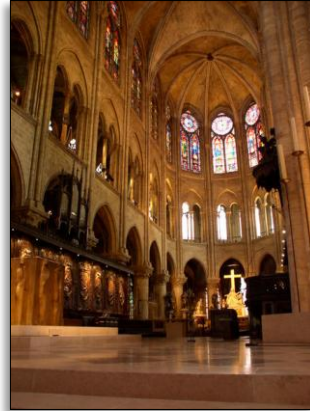
Ramalho (2003) diz que o conceito crucial na alvenaria como sistema construtivo é a transmissão de tensões por compressão, e que ao longo do tempo percebeu-se que os arcos eram excelentes formas de estruturas para este sistema, por minimizarem as tensões de tração.

Também este conceito de estruturas em arco é mundialmente conhecido há séculos, como se pode ver na Figura 2, que apresenta os arcos da igreja de Notre Dame, em Paris.

Figura 1 - Pirâmides de Gizé, no Egito **Figura 2 - Igreja de Notre Dame, em Paris**



Fonte: alfa-asp.blogspot.com



Fonte: crismeloso.blog.uol.com.br

Almeida (2009) comenta que para obterem uma maior estabilidade nas construções, os nossos antepassados passaram a utilizar pequenas camadas de argila, como o exemplo da Figura 3, de forma a reduzirem ou eliminarem as fendas entre as diversas unidades utilizadas, até que nos dias de hoje chegou-se à combinação do bloco ou tijolo com a argamassa.

Figura 3 - Parede de adobes e juntas de argila



Fonte: skyscrapercity.com

Baseando-se nesta técnica de executar obras em alvenaria para os mais diferentes usos, Lordsleem (2000) identifica dois estágios da alvenaria, o tradicional e o racionalizado:

- Alvenaria tradicional: é a forma empírica de construção, utilizada há séculos sem avanços significativos até os dias de hoje.

A alvenaria tradicional é caracterizada por elevados desperdícios, adoção de soluções construtivas no próprio canteiro de obras (no momento da realização do serviço) pelo pedreiro ou no máximo pelo mestre, ausência de fiscalização dos serviços, deficiente padronização do processo de produção e ausência de planejamento prévio à execução (LORDSLEEM, 2000).

- Alvenaria racionalizada: surge da busca por redução de desperdícios e retrabalhos e do ganho de produtividade.

Entende-se por racionalização construtiva todas as ações que objetivam otimizar o uso dos recursos disponíveis na construção em todas as suas fases. Em outras palavras, seria a aplicação mais eficiente dos recursos em todas as atividades que se desenvolvem para a construção do edifício (LORDSLEEM, 2000).

Conforme utilização e forma de confecção, a alvenaria pode ser dividida em tipos, que são abordados e denominados por Roman (1999), Tauil (2010) e Parsekian (2010) como:

- Alvenaria resistente: construídas para resistirem a outras cargas além do próprio peso. Seu dimensionamento é empírico, não considera critérios de racionalização de materiais e não se baseia em normalizações vigentes. Uma de suas vertentes mais comuns é a construção de prédios de tijolos maciços.
- Alvenaria estrutural: dimensionada por métodos de cálculo racionais e confiáveis, pode ser considerada o último elo na evolução deste sistema construtivo ao longo dos tempos. E como Manzione (2007) enaltece, quando aplicados integralmente seus conceitos e técnicas, a alvenaria estrutural gera maior economia e propicia facilidades na construção se comparada com sistemas tradicionais.
- Alvenaria não armada: neste caso, a armadura é desconsiderada para resistir aos esforços solicitantes, sendo usada para fins construtivos e para evitar patologias, enumeradas por Tauil (2010) como trincas e fissuras provenientes de acomodações da estrutura, movimentação por efeitos térmicos, concentração de tensões e efeitos de ventos. Aplica-se o conceito deste tipo de alvenaria tanto à alvenaria estrutural quanto à resistente.
- Alvenaria armada ou parcialmente armada: são utilizadas armaduras passivas que devem resistir aos esforços solicitantes a partir do ponto em que a alvenaria por si só não mais os suporta. Estas armaduras ocuparão os vazios dos blocos que serão posteriormente grautados, portanto aplicando - se especificamente à alvenaria estrutural de blocos de furos verticais.

- Alvenaria protendida: é reforçada por uma armadura ativa que submete a alvenaria a esforços de compressão. A protensão é pouco utilizada, pois demanda grande conhecimento e preparo de projetistas e mão de obra, além de os materiais e dispositivos para a protensão terem custo elevado. Igualmente à alvenaria armada, a protendida aplica - se especificamente à alvenaria estrutural de blocos de furos verticais.

As paredes de alvenaria, de acordo com suas funções, ainda são divididas por Roman (1999) e por Parsekian (2010) de duas formas:

- Parede de vedação ou não estrutural: resistem apenas ao peso próprio e têm função de separação de ambientes internos ou de fechamento externo. Não tem responsabilidade na estrutura, pois apenas impõe um carregamento aos outros elementos da estrutura.
- Parede estrutural: são todas as paredes admitidas como participantes da estrutura, apoiando lajes e outros elementos e resistindo às cargas verticais, como o peso próprio, as de ocupação e as acidentais, além de ações de ventos.

Nota-se que para chegar à conclusão do produto alvenaria, usam-se certos componentes, que Manzione (2007) diz serem os principais o bloco, a argamassa, o graute e a armadura. Os elementos bloco e argamassa, que são o fundamento deste trabalho de curso, serão tratados nos próximos dois subitens.

6.2 Blocos e tijolos

São as unidades mais básicas da alvenaria, apresentado sempre comprimento, largura e altura. Estarão sempre vinculadas às obras de alvenaria e Ramalho (2003) diz serem os principais responsáveis pela definição das características resistentes da estrutura.

Mata (2006), lembra que desde a antiguidade a pedra e o tijolo de barro cru, chamado de adobe e mostrado na Figura 4, foram usados como unidades da alvenaria, e que o tijolo cozido surgiu da observação de que o tijolo próximo ao fogo tinha sua resistência melhorada.

Figura 4 - Adobes

Fonte: zamora-oviedo.blogspot.com

De forma geral, se seguida a boa técnica, quanto mais resistente a unidade, mais resistente a parede. Este é um conceito ligado à eficiência das unidades, que segundo Ramalho (2003) é a relação entre a resistência da parede e a resistência da unidade.

As unidades da alvenaria se dividem em blocos e tijolos. Diferentes autores complementam as definições de cada tipo de unidade, podendo referir-se as seguintes:

"Os tijolos diferenciam-se dos blocos pelas dimensões. São denominadas tijolos as unidades com dimensões máximas de 25x 12x 5,5 cm. Unidades com dimensões superiores são consideradas blocos" (ROMAN, 1999).

Além das dimensões, há quem os discrimine pela área vazada:

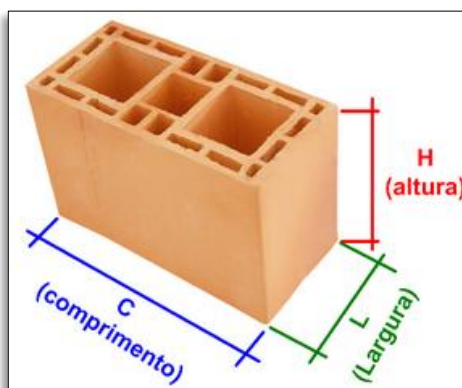
Quanto à forma as unidades podem ser maciças ou vazadas, sendo denominadas tijolos ou blocos, respectivamente. São consideradas maciças aquelas que possuem um índice de vazio de no máximo 25% da área. Se os vazios excederem esse limite, a unidade é classificada como vazada (RAMALHO, 2003).

Tauil (2010) intitula como bloco maciço aquele com área vazada menor que 25% da área bruta, e bloco vazado aquele com área vazada maior que 25 % da área bruta.

Recorrendo às normas técnicas, vê-se que, quanto a tijolos, a NBR 8041:1983 - Tijolo maciço cerâmico para alvenaria - Forma e dimensões - Padronização, define que as únicas dimensões de tijolos maciços devem ser de comprimento 19 cm, largura 9 cm e altura 9 cm ou 5,7 cm.

E quanto a blocos, como o exemplo da Figura 5, a NBR 15270-1: 2005 - Componentes cerâmicos - Parte 1: Blocos cerâmicos para alvenaria de vedação - Terminologia e requisitos, define que as menores dimensões de blocos de vedação são de comprimento 19 cm, largura 9 cm e altura 9 cm. Já a NBR 15270-2: 2005 - Componentes cerâmicos - Parte 2: Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural - Terminologia e requisitos, define como menores dimensões de blocos estruturais o comprimento 24 cm, a largura 11,5 cm e a altura 11,5 cm.

Figura 5 - Exemplo de bloco de furos horizontais



Fonte: construlitoral.com.br

Conhecidas as dimensões, ainda pode-se expandir a caracterização dos blocos, tão recorrentes neste trabalho de curso, com outras características físicas vigentes em norma, como as que seguem nos parágrafos abaixo.

Pela NBR 15270-1: 2005 são componentes da alvenaria que possuem furos prismáticos perpendiculares às faces que os contém. Os blocos da alvenaria estrutural, em especial, tem furos verticais, são produzidos sob rigoroso controle de qualidade, tem precisão dimensional, e ainda quanto às dimensões, elas permitem modular a planta para o perfeito encaixe das unidades, evitando cortes ou preenchimentos comuns na alvenaria tradicional.

Quanto ao material que compõem os blocos, pode-se dizer que no mercado são encontrados habitualmente blocos cerâmicos e de concreto e ainda há a possibilidade de se encontrar blocos sílico-calcários.

No tangente às dimensões e resistências, eles devem seguir normalização das NBRs 15270-1: 2005 e 15270-2: 2005, podendo ser fabricados dentro de algumas famílias de dimensões e, quanto às resistências, obedecidas as mínimas, podem variar conforme a capacidade de produzi-las.

De blocos de pedras, adobes, tijolos maciços e blocos de furos horizontais, chegou-se, em tempos atuais, aos blocos vazados de furos verticais. E se o sistema construtivo em alvenaria estrutural pode ser considerado o mais evoluído em termos de alvenaria, isto é possível graças aos blocos nela utilizados.

6.3 A argamassa e a junta

A argamassa é um elemento que deve ligar solidariamente as unidades da alvenaria, transferir as tensões de maneira uniforme entre os blocos ou tijolos, compensar as irregularidades e as variações dimensionais deles, absorver as deformações a que a parede é naturalmente submetida como variações devido ao gradiente térmico, retração por secagem e pequenos recalques.

Parsekian (2010) recomenda que as argamassas para assentamento sejam compostas por cimento, cal e areia, pois quando bem dosadas trazem consigo as qualidades dos dois aglomerantes e amenizam as desvantagens individuais deles.

Em obras de alvenaria estrutural é frequente o uso de argamassas industrializadas, e para seu preparo Manzione (2007) recomenda adotar argamassadeiras de eixo horizontal, pois permitem uma incorporação mais adequada de ar e uma mistura mais homogênea em relação às betoneiras convencionais.

A junta de argamassa se forma a partir do momento em que a argamassa de assentamento endurece. Em blocos de furos verticais ela é disposta em filetes sobre os septos dos blocos, já em blocos de furos horizontais e tijolos é disposta em camadas sobre a superfície.

As juntas de argamassa podem percorrer o bloco horizontalmente tanto em seu comprimento quanto em sua largura, sendo chamadas de longitudinais e transversais, respectivamente.

As juntas de argamassa também devem percorrer o bloco verticalmente, porém "muitas vezes a junta vertical é deixada em segundo plano pelos projetistas, mas é importante ressaltar que a mesma confere propriedades importantes para o sistema construtivo de alvenaria estrutural" (SANTOS, 1998).

6.3.1 Espessura da junta

A espessura das juntas deve ser rigorosamente próxima a 1,0 centímetro. Caso fosse muito menor que este valor, Ramalho (2003) ressalta que isso poderia permitir que por falhas na execução ou irregularidades das unidades, alguns pontos das superfícies dos blocos acabassem se tocando e provocando uma concentração de tensões naquele ponto.

No caso oposto, de juntas muito maiores que este valor, Pasquali (2007) menciona que haveria diminuição da resistência das alvenarias devido ao aparecimento de tensões maiores de tração lateral nas unidades, fato este corroborado por Ramalho (2003), ao explicar que com o aumento da espessura da junta se diminui o confinamento da argamassa, que é justamente o que torna a argamassa pouco suscetível à ruptura.

Alguns pioneiros nestes tipos de pesquisa, entre eles Francis (1971) apud Ramalho (2003), comprovaram que "a resistência da parede decresce com o aumento da espessura da junta horizontal". Outro pesquisador de igual pioneirismo é Sahlin (1971) apud Santos (1998), que diz que "é razoável assumir que a resistência à compressão da alvenaria diminui em aproximadamente 15% para cada aumento de 3 mm na espessura da junta, em relação a uma junta ideal de 1,0 cm de espessura".

6.3.2 Resistência da junta

A resistência das juntas deve estar compreendida entre 70% e 100% da resistência do bloco. Juntas de argamassa muito mais resistentes que o bloco causarão problemas pelo seguinte fato:

Argamassas mais fortes [...] não são recomendadas, pois são muito rígidas e têm baixa capacidade de absorver deformações. Qualquer pequena deformação em uma junta de argamassa com esse traço resultará em tensões elevadas e conseqüente aparecimento de fissuras. Portanto, é um erro pensar que, pelo fato da alvenaria ser estrutural, deva ser utilizado um traço de argamassa muito forte (PARSEKIAN, 2010).

Logo, tem-se que é sempre mais desejável a utilização de argamassas menos resistentes que os blocos, para que possam acomodar pequenas deformações comuns à parede.

Parsekian (2010) lembra que a resistência à compressão da alvenaria pode aumentar com o aumento da resistência da argamassa, porém é de senso comum entre os pesquisadores a afirmativa de que a argamassa não deve exceder a resistência dos blocos da parede, de maneira que as fissuras decorrentes de movimentações da parede ocorram na junta.

Pozzobon (2003) destaca que a junta da primeira fiada é importantíssima para a correta execução da alvenaria, e como esta junta costuma compensar desnivelamentos da concretagem, exigindo espessuras maiores que 1,0 centímetro por vezes, permite-se que a argamassa desta junta seja reforçada com um traço mais resistente.

No caso de juntas muito mais fracas que o bloco, estas têm resistência à compressão e de aderência muito baixas, o que prejudica a resistência da parede. As pesquisas mostram que a ruptura da alvenaria ocorre geralmente na unidade, em um processo descrito por Parsekian (2010) como tração-compressão, mas em argamassas muito fracas a ruptura pode ter início pelo esmagamento à compressão da argamassa.

Como um bom parâmetro, Ramalho (2003) afirma que argamassas com resistência em torno de 50% da resistência dos blocos não causarão uma queda significativa na resistência da parede, sendo que somente abaixo desta faixa surgirão influências importantes.

Nas juntas de argamassa ocorre um fenômeno do qual pode se dizer que:

[...] Assim como surgem tensões transversais de tração nas unidades da alvenaria submetida à compressão, surgem, por equilíbrio, tensões de compressão na argamassa, ficando esta submetida assim a um estado tri-axial de compressão, ou seja, a resistência à compressão da argamassa na alvenaria será superior do que a obtida isoladamente, em ensaios de corpos de prova cilíndricos, que é a resistência uniaxial à compressão (MATA, 2006).

Sobre a resistência da junta de argamassa, pode-se reforçar o anteriormente explanado com a ideia de Gomes (1983) apud Ramalho (2003):

Segundo os resultados obtidos por Gomes (1983), para paredes construídas com blocos de 7,5 MPa, variando a resistência da argamassa em torno de 135%, verificou-se que o acréscimo de resistência para as paredes foi de apenas 11,5%. [...] Dessa forma [...] conclui-se que a argamassa de assentamento deve ter como resistência um valor entre 70% e 100% da própria resistência do bloco.

Além das duas propriedades vistas acima e que formam a base deste trabalho, existem outras propriedades da argamassa de relevante importância, que são enumeradas por autores como Roman (1999), Parsekian (2010) e Mata (2006), sendo elas: trabalhabilidade, retentividade de água, tempo de endurecimento, aderência e resiliência.

6.3.3 Trabalhabilidade

A trabalhabilidade é uma propriedade importante da argamassa em seu estado plástico, porém um tanto subjetiva, visto que não há uma medida exata de trabalhabilidade, sendo este um critério que pode variar pessoalmente para cada pedreiro ou assentador de blocos ou tijolos.

A NBR 13276: 2005 -Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Preparo da mistura e determinação do índice de consistência, estabelece que, por meio de ensaio padronizado com cone, a argamassa deve ter abatimento de 255 ∓ 10 mm. Roman (1999) sugere fluidez entre 115% e 150%. Parsekian (2010) lembra que uma determinada trabalhabilidade pode ser adequada para o assentamento de determinado tipo de bloco em certa condição ambiental, mas pode ser inadequada para outra condição ou tipo de bloco.

6.3.4 Retentividade de água

A retentividade é a capacidade de a argamassa não perder sua água da mistura para a sucção do bloco ou para o meio. Mata (2006) relaciona a capacidade de a argamassa reter água com a manutenção de sua consistência.

Parsekian (2010) diz que argamassas que perdem água em excesso se tornam pulverulentas e prejudicam sua resistência e aderência.

6.3.5 Tempo de endurecimento

É o tempo necessário para cimento e água reagirem.

Almeida (2009), alerta que argamassas que endurecem muito rapidamente, especialmente em temperaturas elevadas, tendem a fissurar e desagregar. Roman (1999), sobre argamassas que endurecem muito lentamente, especialmente em temperaturas baixas, alerta que elas podem exigir que os assentadores esperem até que seja possível continuar a erguer a parede de alvenaria.

6.3.6 Aderência

A aderência provém do contato entre a argamassa e a superfície bloco e da ligação da pasta de cimento com esta superfície. Para que a aderência ocorra de maneira adequada, Parsekian (2010) explica que a água cedida gradualmente pela argamassa para a unidade da alvenaria deve penetrar nos poros desta unidade, que após cristalizar formará pequenas cunhas.

6.3.7 Resiliência

De grande valor para o comportamento da alvenaria, a resiliência da argamassa pode ser descrita como "a capacidade da junta de se adaptar a diferentes solicitações sem prejuízo ao seu desempenho" (PARSEKIAN, 2010).

O mesmo Parsekian (2010) diz que a alvenaria sofre deformações por causas térmicas, atmosféricas e de recalques. Mata (2006) argumenta que essas deformações devem ocorrer em um estado plástico da argamassa, em dimensões microscópicas, não prejudicando sua composição.

7 CONTROLE DE QUALIDADE EM OBRAS DE ALVENARIA

Como descrito ao longo do trabalho, as espessuras e resistências corretas das juntas tem valores bem definidos e aceitos comumente por diversos pesquisadores de diferentes locais e datas. Porém, como justificado ao longo deste trabalho, na prática nem sempre esta boa técnica é seguida à risca.

Todos os tipos de paredes sejam elas de vedação, resistentes ou portantes, se beneficiam da execução correta das juntas de argamassa, e especialmente as paredes portantes da alvenaria estrutural, que são o enfoque deste capítulo, terão melhor desempenho se seguida a técnica correta.

Partindo do pressuposto de que não há execução de obra sem projeto para tal, a qualidade da empreitada parte já da fase de projeto.

7.1 Projeto

Santos (1998) alerta que as falhas podem partir dos projetistas, que caso desconheçam as características dos materiais de construção e seu comportamento ao longo do tempo, deixarão as edificações expostas às influências físicas que o ambiente lhes impuser.

Para atender às necessidades específicas da precisão das juntas, podem-se enumerar certos tópicos a serem considerados no projeto da alvenaria sugeridos por Lordsleem (2000), como: especificação das unidades a serem usadas, dosagem da argamassa, locação da primeira fiada por eixos predefinidos, plantas de primeira e segunda fiadas e juntas de dilatação, entre os principais para o foco deste trabalho.

Depois de elaborado o estudo ao redor destas variáveis, "é fundamental que as intenções de projeto sejam claramente interpretadas na obra. Uma interpretação errada bem como a falta de detalhes pode ocasionar atraso nos prazos, retrabalho (correção dos erros) e diminuição da produtividade" (ROMAN, 1999).

Mesmo havendo um projeto executivo de perfeita clareza, Lordsleem (2000) ressalta que apenas isso não torna necessariamente o processo racionalizado, deve-se assegurar sua efetiva utilização no canteiro de obras para atingir os benefícios desejados.

7.2 Execução

Qualquer edificação se beneficia de executores bem qualificados, e especialmente no caso da alvenaria estrutural, isto se aplica com ênfase.

A alvenaria estrutural exige uma mão de obra qualificada e apta a fazer uso de instrumentos adequados para sua execução. Isso significa um treinamento prévio da equipe contratada para sua execução. Caso contrário, os riscos de falhas que comprometam a segurança da edificação crescem sensivelmente (RAMALHO, 2003).

Roman (1999) já alertava sobre aspectos negativos da mão de obra dos canteiros da construção civil, como a maior parte ser formada empiricamente, com pouco incentivo ao treinamento pessoal, e resultando assim em uma desqualificação geral e elevado índice de rotatividade.

Ainda hoje há persistência no que foi descrito por Roman, sendo sempre necessário levar aos funcionários das construtoras e empreiteiras, cursos, treinamentos e palestras de conteúdo prático, que evidenciem as patologias causadas pela indevida execução, mas que, sobretudo, enalteçam a qualidade de um bom serviço, além de incentivar e fiscalizar para que tais funcionários apliquem o que foi a eles transmitido.

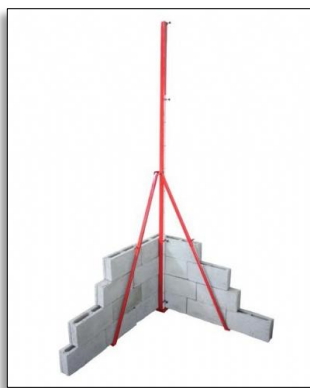
Uma vez iniciada a obra, Manzinone (2007) orienta que o canteiro seja organizado e planejado para permitir bom fluxo entre as centrais de produção e os estoques de materiais, e que o posicionamento de guias, guinchos, elevadores e afins sejam fruto de um estudo criterioso.

Para a produção da alvenaria, Parsekian (2010) distingue dois serviços: o de marcação da primeira fiada e, na sequência, elevação da parede, que serão abordados abaixo.

7.2.1 Marcação da alvenaria

Tão importante quanto aplicar a argamassa nas proporções corretas, é os blocos estarem na posição correta. Para isto são necessárias ferramentas simples referidas por Parsekian (2010) e Manzione (2007) como: esquadro para alvenaria, trena, fio de prumo, linha guia, nível de bolha e mangueira de nível.

Para uma perfeita visualização da posição correta do bloco, tanto vertical quanto horizontalmente, recomenda-se o uso dos escantilhões, como da Figura 6, que "funcionam como gabaritos que materializam o prumo, o nível, o alinhamento e as distâncias entre fiadas" (SANTOS, 1998).

Figura 6 - Escantilhão

Fonte: multiplaequipamentos.com.br

Para que a parede de alvenaria tenha um início correto é necessário que:

Anteriormente ao serviço de marcação se proceda ao levantamento dos níveis da base. Depois de verificado todos os pontos chaves no nivelamento é que se determinará por onde será iniciado o assentamento do primeiro bloco chave. Isso se deve ao fato de que a primeira fiada deve iniciar nivelada, ou seja, caso ocorra diferenças de níveis entre 5 a 10 mm devemos assentar primeiro os blocos na cota mais alta da laje. Isto evitará que se tenha que cortar a laje (ou blocos) para assentar estes blocos, o que aconteceria no caso de se começar a marcação pelos blocos na cota mais baixa (POZZOBON, 2003).

E ainda tratando-se do nivelamento da primeira fiada:

O valor mínimo da espessura da junta horizontal de argamassa de assentamento dos blocos da primeira fiada é de 5 mm e o valor máximo não pode ultrapassar 20 mm[...], admitindo-se espessuras de no máximo 30 mm em trechos de comprimento inferiores a 50 cm. Caso a espessura da junta horizontal de argamassa de assentamento dos blocos da primeira fiada ultrapasse o valor máximo, deve ser feito um nivelamento com material com a mesma resistência da laje (NBR 15961-2: 2011).

A seguir, marcam-se os eixos das paredes para verificação do esquadro do pavimento e correto posicionamento da alvenaria a subir.

Tendo em mãos a planta de primeira fiada, devem-se assentar os blocos chave ou estratégicos, que são aqueles de cantos, de encontros de paredes e de limites das aberturas de portas. Parsekian (2010) recomenda representar na planta de primeira fiada cotas acumuladas que indiquem a locação de cada bloco estratégico.

Tomar o nível do bloco estratégico mais alto como referência para assentar os outros blocos chave. Então, com auxílio da linha devidamente esticada, assentar completamente a primeira fiada.

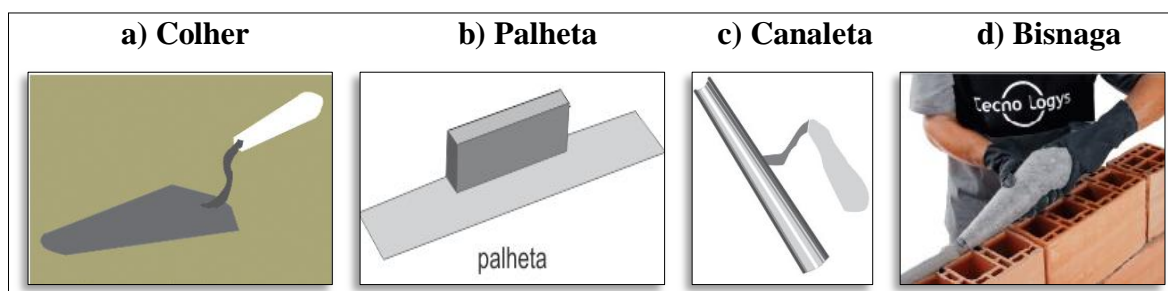
Ao cabo da primeira fiada, se conforme recomendado, devido à agilidade conferida ao sistema, forem utilizados os escantilhões, estes devem então ser fixados nos cantos dos cômodos, assentando-os, apurando-os e nivelando a primeira marca com o nível da primeira fiada dos blocos.

No caso da não utilização dos escantilhões, procede-se à confecção do castelo de fiadas, que devidamente prumados, nivelados e esquadrejados, serão a referência para as fiadas vindouras.

7.2.2 Elevação da alvenaria

Para a execução dos serviços em alvenaria, certas ferramentas fazem-se necessárias. São ferramentas simples, de fácil uso e bem aceitas pela mão de obra. Para a aplicação do filete de argamassa Parsekian (2010) e Manzione (2007) sugerem a colher de pedreiro, a palheta, a canaleta e a bisnaga, conforme ilustrado na Figura 7.

Figura 7 - Ferramentas de aplicação



Fonte:

Adaptado de Pauluzzi.com. e Tecnologys.com.br

Quando utilizada a colher, deve-se atentar para não cometer exageros na aplicação da argamassa do filete. A bisnaga apresenta a dificuldade de expelir a argamassa, devido a sua densidade. A paleta também exige atenção para não cometer exageros na aplicação, mas acelera a aplicação. Quanto à canaleta, é tecnicamente a mais recomendada, pois racionaliza o uso da argamassa, limitando a quantidade a ser depositada sobre a superfície do bloco, evitando desperdício de material.

Depois de posicionado, o bloco deve ser acomodado na junta. Com a colher isto pode ser feito por batidas com o próprio cabo, e para as outras ferramentas de aplicação de argamassa é apropriado o uso de uma marreta emborrachada para fazer estas acomodações.

Em qualquer das técnicas empregadas para o assentamento dos blocos é fundamental que a camada ou filete de argamassa de assentamento, a ser distribuída, possua um ligeiro excesso de material, de modo que seja necessária uma pequena pressão das unidades com a mão ou equipamento adequado, no sentido de se atingir a espessura ideal da junta, especificada em projeto (SANTOS, 1998).

A NBR 15961-2: 2011 diz que o filete ou cordão de argamassa, uma vez aplicado sobre o bloco, não deve ficar muito tempo exposto, sem o assentamento do bloco seguinte, para não prejudicar a aderência.

7.2.3 Inspeção da produção

Lordsleem (2000) refere-se ao controle de qualidade da produção como imprescindível na racionalização da alvenaria. Sugere ainda definir os responsáveis por cada etapa e a liberação para a etapa seguinte apenas se a anterior estiver correta, e que, para fins de padronização, a verificação das etapas seja feita por meio de preenchimentos de planilhas elaboradas pelos inspetores ou baseadas em propostas de bibliografias.

Também deverão ser executados ensaios de resistência da argamassa utilizada e dos blocos, além de serem rompidos prismas para conferir se a estrutura em execução está de acordo com a resistência projetada, conforme normas específicas.

Por fim, a NBR 15961-2: 2011 - Blocos de concreto. Parte 2: Execução e controle de obras, estabelece certos limites de variações geométricas para paredes de alvenaria, conforme Tabela 1.

Tabela 1 - Controle geométrico na produção da alvenaria

Fator		Tolerância
Junta horizontal	Espessura	± 3 mm
	Nível	2 mm/m e 10 mm no máximo
Junta Vertical	Espessura	± 3 mm
	Alinhamento vertical	2 mm/m e 10 mm no máximo
Alinhamento da parede	Vertical (desaprumo)	± 2 mm/m ± 10 mm no máximo por piso ± 25 mm na altura total do edifício
	Horizontal	± 2 mm/m ± 10 mm no máximo
Nível superior das paredes	Nivelamento da fiada de respaldo	± 10 mm

Fonte: NBR 15961-2 :2011

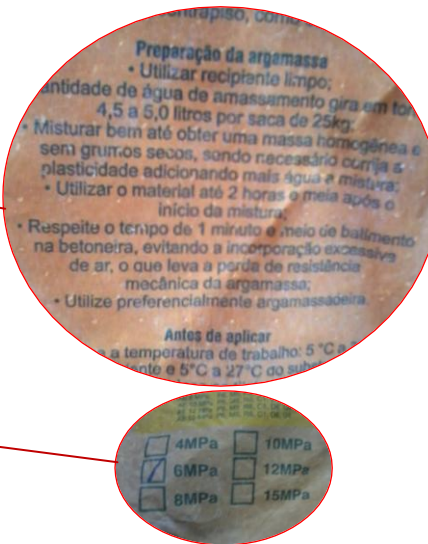
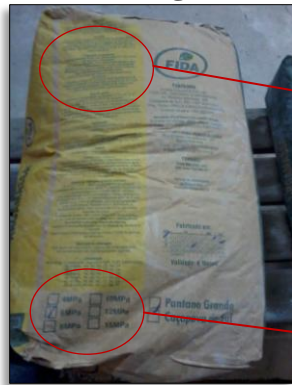
8 MOLDAGEM DOS PRISMAS

8.1 Recepção dos materiais

Chegados os elementos necessários à pesquisa, procedera-se a estas verificações:

- Na argamassa: integridade das embalagens, validade, resistência e instruções de dosagem. A Figura 8 mostra o dorso de uma embalagem de um tipo de argamassa usada, onde se encontram as informações supracitadas, algumas destacadas em lupa.
- Nos blocos: conservação e refutação das unidades trincadas, basicamente.

Figura 8- Dorso da embalagem



Fonte : O autor

8.2 Primeiro capeamento

A fim de nivelar perfeitamente a superfície de contato entre bloco e prensa, foi realizado o capeamento de todos os blocos a serem utilizados e de alguma quantidade reserva, como na Figura 9. Nesta ocasião, a argamassa usada para o nivelamento teve um traço de 1:1 (cimento: areia média), medidos por volume conforme a Figura 10. A água foi dosada gradualmente de forma a dar uma trabalhabilidade compatível com a função (Figura 11), não sendo crítica a precisão de sua dosagem para esta etapa da pesquisa, e os componentes foram argamassados manualmente até constatar-se que a mistura estava o mais homogênea possível.

Figura 9- Capeamento

Fonte : O autor

Figura 10- Traço da argamassa de capeamento

Fonte : O autor

Figura 11- Preparo da argamassa de capeamento

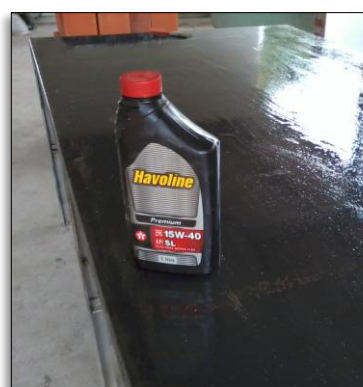
Fonte : O autor

Devido à absorção d'água dos blocos cerâmicos, estes foram saturados previamente a seu assentamento sobre a argamassa de nivelamento, como mostrado na Figura 12, para que não absorvessem a água da argamassa e não prejudicassem assim suas reações e sua aderência.

A superfície de trabalho, na Figura 13, onde foram capeados os blocos, é plana e foi untada para que o nivelamento se desse de forma adequada e que os prismas se soltassem da mesa quando curada a argamassa.

Figura 12- Saturação

Fonte : O autor

Figura 13- Mesa untada

Fonte : O autor

Nesta fase houve o inconveniente de muitos grãos de diâmetros até maiores do que 1 mm presentes na areia. Estes grãos criavam calços que dificultavam e principalmente atrasavam o nivelamento dos blocos, pois muitas vezes foi necessário erguer os blocos para removê-los. Seria conveniente o uso de areia fina no lugar da areia disponibilizada, já que o nivelamento cumpre uma função importante e é um trabalho de precisão.

8.3 Preparo da argamassa

Assim que manuseáveis os blocos capeados, seguiu-se para o preparo da argamassa, visto na Figura 14. O volume preparado era condizente com aquele a ser empregado para a moldagem dos prismas que usariam aquela argamassa, logo, para seguir as determinações de quantidade de água por saco do fabricante, foi necessário pesar o volume de argamassa a ser usado, e com este peso recalcular – por simples regra de 3 – a quantidade de água a ser usada na mistura.

Havendo sido dosados com precisão a argamassa seca, em uma balança, e a água, em um cilindro graduado, a mistura foi argamassada manualmente até obter-se o máximo de homogeneidade possível. Ainda segundo instruções do fabricante, a argamassa pronta deveria ser usada em no máximo 2 horas, tempo que em momento algum foi superado.

Figura 14- Preparo da argamassa



Fonte : O autor

A primeira argamassa a ser utilizada foi a de resistência característica à compressão (f_{ak}) de 2 MPa, para a moldagem de 4 prismas; na sequencia foi utilizada a argamassa de f_{ak} 12 MPa, para a moldagem de mais 4 prismas; e por fim a argamassa de 6 MPa para a moldagem dos outros 20 prismas.

8.4 Cuidados com os blocos

Capeados os blocos, fez-se nova triagem para garantir o uso apenas de blocos sem trincas em suas paredes ou em seu capeamento.

Como dito anteriormente, os blocos cerâmicos absorveriam a água da argamassa caso não estivessem saturados. Para coibir este fenômeno, os blocos foram novamente molhados, agora com o uso de uma trincha, da forma mostrada na Figura 15.

Figura 15- Saturação



Fonte : O autor

8.5 Moldagem das juntas

Pronta a argamassa, deu-se início ao que havia de mais essencial neste trabalho, a junta de argamassa. Para garantir a altura exata das juntas foram usados espaçadores plásticos com o tamanho desejado, e espaçadores de madeira nos casos em que não havia o tamanho desejado disponível comercialmente em plástico.

Neste ponto é crucial o entendimento do uso dos espaçadores. Há o consenso de que calços na junta de alvenaria a inutilizariam, pois se permanecessem ali ao aplicar-se a carga, criariam uma ponte direta de tensões entre os blocos, e caso fossem removidos após a argamassa endurecer, já teriam impedido que os blocos acompanhassem a retração natural da argamassa.

Logo, na execução deste trabalho, foram aplicados filetes de argamassa com altura maior que a definitiva balizada pelos espaçadores, como se pode ver nas Figura 16 e Figura 17. Em seguida foi assentado o bloco superior e este foi levemente golpeado para ser acomodado, até que o mesmo bloco ficasse muito próximo ao espaçador. Então se removeram os espaçadores e novamente golpeou-se levemente o bloco para sua acomodação definitiva.

O pequeno espaço vazio deixado pelo espaçador após sua remoção foi imediatamente preenchido com mais argamassa, sem causar alterações ao prisma, como se vê na Figura 18.

Figura 16- Espaçador plástico 5 mm



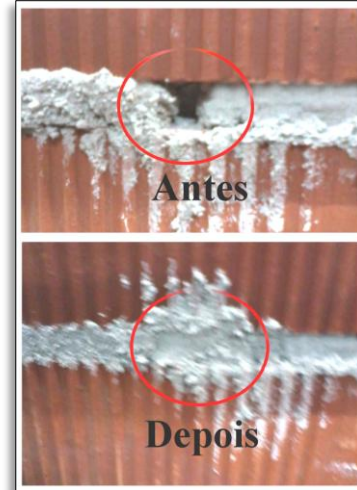
Fonte: O autor

Figura 17- Espaçador de madeira 20 mm



Fonte: O autor

Figura 18- Vazio do espaçador



Fonte: O autor

Não foi possível garantir a precisão absoluta da altura das juntas, fato este devido às propriedades intrínsecas do sistema, pois a junta naturalmente acomodou as imperfeições dos blocos, como rebarbas ou desníveis, que mesmo dentro das tolerâncias tiveram influência.

Foram moldadas 5 espessuras de juntas diferentes, sendo elas descritas na sequência:

- Junta de 3 mm de espessura (Figura 19): usando-se argamassa de fak 6 MPa. Inicialmente foi concebida com 2,5 mm, porém no momento da execução, devido a fatores físicos como imperfeições nos blocos e até mesmo a própria granulometria da argamassa, ficou limitada aos 3 mm.

Com esta verificação pôde-se deduzir que, nestas condições controladas de preparo e uso da argamassa e também dos blocos, este se torna um limite físico exequível mínimo, dificilmente superável.

- Junta de 5 mm de espessura (Figura 20): usando-se argamassa de fak 6 MPa.
- Junta de 10 mm de espessura (Figura 21): usando-se argamassa de fak_s 2, 6 e 12 MPa.

Pelo que se afirmou anteriormente na revisão bibliográfica, a junta de 10 mm de espessura e fak 6 MPa foi adotada como padrão ideal a ser aplicado e referência na análise do comportamento das demais juntas.

Figura 19- Junta 3 mm



Fonte: O autor

Figura 20- Junta 5 mm



Fonte: O autor

Figura 21- Junta 10 mm



Fonte: O autor

- Junta de 20 mm de espessura (Figura 22): usando-se argamassa de fak 6 MPa.
 - Junta de 30 mm de espessura (Figura 23): usando-se argamassa de fak 6 MPa.
- Inicialmente concebida com 40 mm, porém no momento da execução, após a retirada dos espaçadores, devido a trabalhabilidade da argamassa e o peso do bloco, esta veio a ser comprimida naturalmente até os 30 mm, onde se estabilizou. Com esta verificação pôde-se deduzir que, nestas condições controladas de preparo e uso da argamassa e também dos blocos, este se torna um limite físico exequível máximo, dificilmente superável.

Figura 22- Junta 20 mm



Fonte: O autor

Figura 23- Junta 30 mm



Fonte: O autor

8.6 Segundo capeamento

Finda a moldagem das juntas, foi aguardada uma semana para que a argamassa obtivesse resistência suficiente para permitir o giro dos prismas, de forma a efetuar o segundo capeamento.

Seguindo o mesmo processo de nivelamento do primeiro capeamento, nesta fase houve apenas a diferença de agora tratar-se do peso de um prisma oco de dois blocos, como visto na Figura 24.

Destaca-se que todos os 28 prismas foram girados e manuseados, e nenhuma das juntas de argamassa apresentou qualquer avaria ou desprendimento do substrato. Com esta observação pôde-se deduzir que a argamassa cumpriu sua função de aderência.

Figura 24 - Segundo capeamento



Fonte: O autor

9 DETERMINAÇÃO DE VALORES

9.1 Carga de ruptura

Findas as etapas de moldagem foram contados 28 dias a partir do dia da moldagem das juntas para dar início ao rompimento dos prismas.

Os procedimentos de ensaios de compressão foram realizados no Laboratório de Estruturas da UNISC, em uma prensa Emic DL30000. A aplicação de carga em relação à área bruta dos prismas foi a uma razão de $0,05 \pm 0,01$ MPa/s, de forma progressiva, como normalizado pela NBR 15270 - 3 (2005).

Para cada um dos 28 rompimentos a prensa gerou automaticamente um relatório, o qual contém várias informações, sendo a mais relevante a carga de compressão necessária ao rompimento do prisma, as quais estão todas relacionadas na Tabela 2. Os relatórios são padronizados, variando apenas os valores de cada ensaio, então, para exemplificar, o ANEXO A trás o relatório do Prisma 1 (P1).

Observaram-se as características dos rompimentos dos prismas e tais observações foram cruzadas com os resultados de compressão gerados pela prensa, sendo que assim foram inferidos os males e os benefícios de cada tipo de junta.

9.2 Área média

Neste trabalho foi usada para cálculo apenas a área bruta dos prismas. Para isto foi medido cada bloco de cada prisma com auxílio de um paquímetro digital, tomando seu comprimento (C) e sua largura (L), como exemplificados nas Figura 25 e Figura 26, respectivamente.

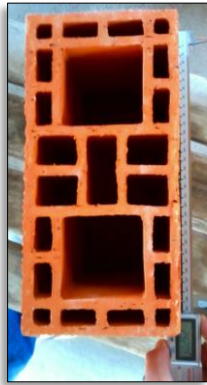
Obteve-se a área média (A_m), em m^2 , de cada prisma, pela soma da área individual do seu bloco superior com a do bloco inferior, dividida pelas duas amostras (n), conforme Equação 1.

$$A_m [m^2] = \frac{L_{\text{bloco sup.}} [m] \times C_{\text{bloco sup.}} [m] + L_{\text{bloco inf.}} [m] \times C_{\text{bloco inf.}} [m]}{n}$$

Equação 1

Para fins de simplificação, este trabalho apresenta diretamente a área média de cada prisma, estando elas relacionadas na Tabela 2.

Figura 25 - Comprimento



Fonte: O autor

Figura 26 - Largura



Fonte: O autor

9.3 Resistência à compressão média

O valor da resistência à compressão de cada prisma (f_{p_i}), em MPa, foi obtido pela divisão da força máxima até a ruptura (F), em kN, pela área média do prisma (A_m), em m^2 , conforme Equação 2. As resistências individuais de cada prisma se encontram na Tabela 2.

$$f_{p_i} [MPa] = \frac{F [kN]}{A_m [m^2]}$$

Equação 2

Neste trabalho, devido ao foco mais analítico dos resultados e nem tanto de dimensionamento, usou-se apenas a resistência à compressão média (f_{pm}) de cada tipo de junta.

Inicialmente calculou-se a fpm dos 4 prismas de cada tipo de junta, conforme Equação 3. Em seguida, o prisma com resistência à compressão individual (fp_i) de valor mais discrepante, ou seja, com a maior diferença em módulo a partir de fpm, foi então eliminado da equação, para que assim o valor de fpm fosse recalculado com os 3 valores restantes, na mesma Equação 3, conferindo maior uniformidade aos resultados.

$$fpm = \frac{\sum fp_i}{n}$$

Equação 3

Para testar a representatividade da média de resistência à compressão das 3 amostras, procedeu-se ao cálculo do desvio padrão (S), conforme Equação 4, para então determinar o coeficiente de variação (CV), em porcentagem, dado pela Equação 5.

O coeficiente de variação caracteriza a dispersão dos dados em relação ao seu valor médio, sendo que um $CV \geq 30\%$ indica alto grau de dispersão dos resultados, já um $CV < 30\%$ indica baixo grau de dispersão, sendo este preferível em detrimento daquele (BODINI, 2013).

$$S = \frac{\sum [(fp_i - fpm)^2]}{n - 1}$$

Equação 4

$$CV [\%] = \frac{S}{fpm} \times 100$$

Equação 5

Os próximos subitens do presente capítulo tratam de cada um dos 7 tipos de junta em específico, trazendo a resistência à compressão média de cada tipo, seu coeficiente de variação e as observações dos rompimentos.

10 ANÁLISE DE RESULTADOS

10.1 Tabela resumo

Logo na sequencia apresenta-se a Tabela 2, que reúne todos os prismas e os dados obtidos durante os ensaios e posteriores análises dos mesmos, de forma a tornar claros, já de início, os valores e as nomenclaturas que serão tratadas no decorrer do presente capítulo.

As informações contidas na tabela são de suma importância para o entendimento e a interpretação do comportamento dos prismas, sendo elas as que enumeram e nomeiam os prismas e os tipos de juntas; as predeterminadas, como a espessura das juntas e a resistência das argamassas; as tomadas por medidas, como a área média de cada prisma; as dadas pelo rompimento, como as cargas necessárias ao rompimento dos prismas e adicionalmente o tempo necessário à ruptura; e as calculadas, como a tensão individual de cada prisma, destacando aquela com valor discrepante removida para o cálculo da tensão média, que também é apresentada ali, e o coeficiente de variação das amostras de cada tipo de junta.

Tabela 2- Resumo de resultados

	Tipo	Esp. Junta (mm)	Argamassa (MPa)	Prisma	Carga (kN)	Área média (m ²)	Tempo (s)	Tensão (MPa)	Coef. Var. (%)
Junta 1 cm	1 Padrão	10,0	6,0	P1	125,80	0,04081	72,12	3,083	11,915
				P2	75,15	0,04088	49,11	1,838 (*)	
				P3	107,00	0,04093	59,77	2,614	
				P4	136,00	0,04100	75,46	3,317	
								fpm = 3,005	
	2	10,0	2,0	P5	70,80	0,04126	47,70	1,716	9,072
				P6	85,34	0,04149	52,20	2,057	
				P7	107,30	0,04106	64,14	2,613 (*)	
				P8	79,30	0,04100	48,54	1,934	
								fpm = 1,902	
	3	10,0	12,0	P9	130,60	0,04107	73,76	3,180	21,417
				P10	160,10	0,04075	86,03	3,929	
P11				104,90	0,04111	60,24	2,552		
P12				202,90	0,04113	107,00	4,933 (*)		
							fpm = 3,220		
Junta 6 MPa	4	3,0	6,0	P13	152,80	0,04121	84,05	3,708 (*)	11,905
				P14	86,04	0,04123	53,74	2,087	
				P15	105,30	0,04108	61,74	2,564	
				P16	106,60	0,04093	62,55	2,605	
								fpm = 2,418	
	5	5,0	6,0	P17	114,40	0,04087	64,24	2,799	9,645
				P18	80,56	0,04117	54,67	1,957 (*)	
				P19	118,80	0,04105	68,75	2,894	
				P20	138,40	0,04140	77,69	3,343	
								fpm = 3,012	
	1 Padrão	10,0	6,0	P1	125,80	0,04081	72,12	3,083	11,915
				P2	75,15	0,04088	49,11	1,838 (*)	
P3				107,00	0,04093	59,77	2,614		
P4				136,00	0,04100	75,46	3,317		
							fpm = 3,005		
6	20,0	6,0	P21	106,30	0,04100	60,47	2,593	1,499	
			P22	104,20	0,04104	61,20	2,539		
			P23	122,60	0,04099	67,74	2,991 (*)		
			P24	103,00	0,04090	59,28	2,519		
							fpm = 2,550		

(*) Valor discrepante descartado para o cálculo de fpm.

Fonte: O autor

10.2 Junta de 10 mm e 6 MPa (Tipo 1 - padrão)

Já foi estabelecido e justificado na revisão bibliográfica que a espessura de 10 mm de junta é o padrão a ser executado, e que a resistência da argamassa deve estar compreendida entre 70% e 100% da resistência do bloco. Usando-se um bloco de fbk 8 MPa e argamassa de fak 6 MPa, logo se verificou que a resistência da argamassa equivalia a 75% da do bloco.

Dados obtidos para este tipo de junta:

- Nomenclatura: Junta Tipo 1, com 4 prismas enumerados do P1 ao P4 e mostrados na prensa na Figura 27.

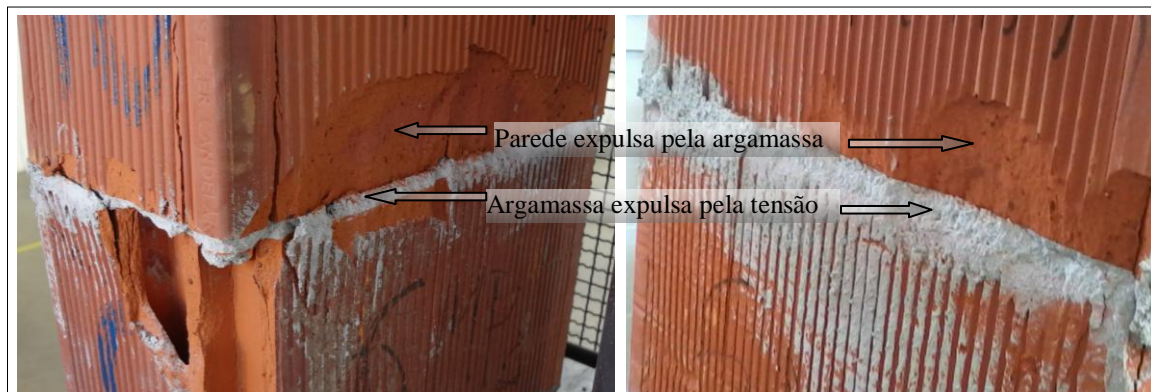
Figura 27 - P1 ao P4



Fonte: O autor

- Resistência à compressão média: $f_{pm} = 3,005 \text{ MPa}$
- Coeficiente de variação dos valores das amostras em relação à f_{pm} : $CV = 11,915 \%$.
- Observações da compressão: A argamassa foi comprimida até seu limite de tensão, sendo expulsa lateralmente, em um rompimento de forma cônica, e assim carregando consigo a parede dos blocos como pode ser visto na Figura 28.

Figura 28 - Rompimentos típicos da junta Tipo 1



Fonte: O autor

Devido a esta resiliência da argamassa, que permitiu que lentamente os blocos fossem fissurando, a ruptura se deu de forma dúctil, ou seja, deformações prévias anunciaram a ruptura por vir.

É exatamente este o comportamento esperado de uma parede ou de todo um prédio em alvenaria estrutural, onde a junta deforma e acomoda as tensões dos mais variados esforços ao quais está suscetível e, em um caso extremo de comprometimento da estrutura, este será notado com antecedência, propiciando tempo hábil para definir soluções cabíveis.

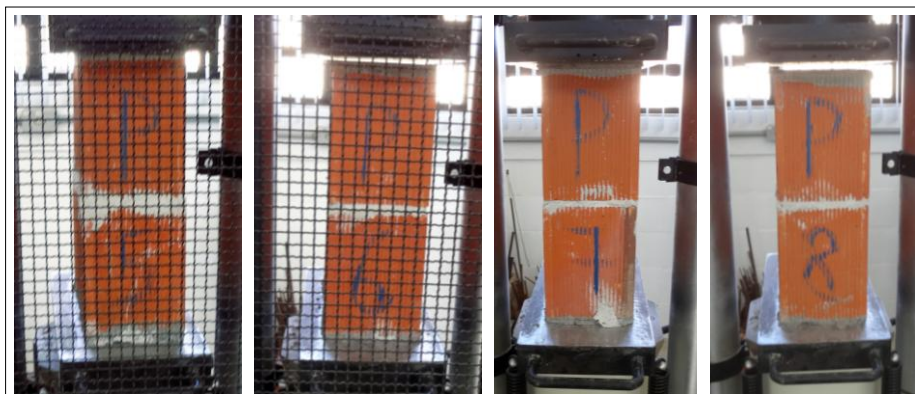
10.3 Junta de 10 mm e 2 MPa (Tipo 2)

Nesta configuração a espessura da junta se manteve adequada, porém a argamassa apresentava resistência muito abaixo da do bloco, o equivalente a 25 % de f_{bk} .

Dados obtidos para este tipo de junta:

- Nomenclatura: Junta Tipo 2, com 4 prismas enumerados do P5 ao P8 e mostrados na prensa na Figura 29.

Figura 29 - P5 ao P8



Fonte: O autor

- Resistência à compressão média: $f_{pm} = 1,902 \text{ MPa}$
- Coeficiente de variação dos valores das amostras em relação à f_{pm} : $CV = 9,072\%$.
- Observações da compressão: A argamassa não teve resistência suficiente para manter-se confinada, deformando facilmente, sendo completamente esmagada e rompendo de diferentes formas. As paredes dos blocos foram carregadas junto com a argamassa devido a esta facilidade com que ela rompia-se e era expulsa da junta. Este foi o principal motivo do rompimento dos blocos, já que as tensões às quais foram submetidos antes do rompimento da junta foram baixas, não suficientes para danificá-los. A interação bloco e junta para este caso pode ser vista na Figura 30.

Figura 30 - Rompimentos típicos da junta Tipo 2



Fonte: O autor

Este rompimento também foi de forma dúctil, com deformações anunciando o rompimento. Com esta grande facilidade de acomodar tensões, a argamassa absorveria qualquer das mais variadas deformações sofridas pela parede, que, até certo limite, gerariam apenas micro fissuras na argamassa.

Porém uma argamassa com apenas 25% do fbk é de uso irracional, pois reduz a resistência da parede consideravelmente e desperdiça a resistência dos blocos, além do risco de perderem a aderência com os blocos, instabilizando a estrutura.

10.4 Junta de 10 mm e 12 MPa (Tipo 3)

Nesta configuração a espessura da junta se manteve adequada, porém a argamassa apresentava resistência muito acima da do bloco, o equivalente a 150 % de fbk.

Dados obtidos para este tipo de junta:

- Nomenclatura: Junta Tipo 3, com 4 prismas enumerados do P9 ao P12 e mostrados na prensa na Figura 31.

Figura 31 - P9 ao P12

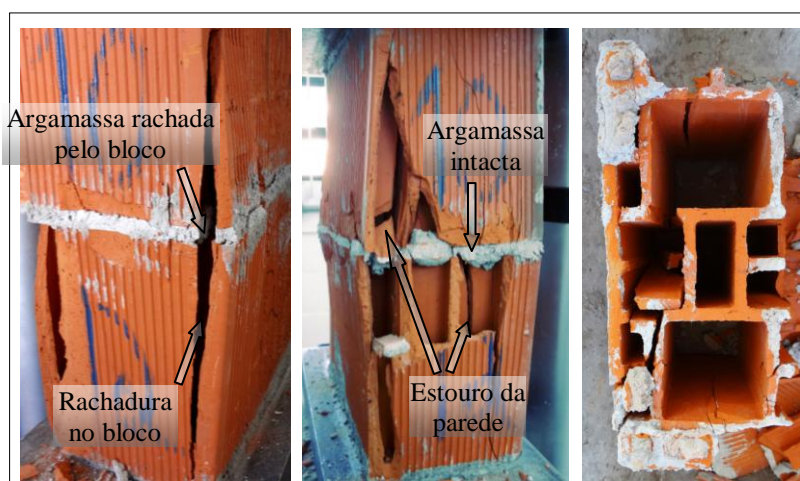


Fonte: O autor

- Resistência à compressão média: $f_{pm} = 3,220 \text{ MPa}$
- Coeficiente de variação dos valores das amostras em relação à f_{pm} : $CV = 21,417\%$.

- Observações da compressão: A argamassa não sofreu deformações significativas, comuns à sua função durante a compressão. Também não houve esmagamento da argamassa, e como esta tinha resistência superior à do bloco, o primeiro a romper foi este. Assim, a argamassa agiu como uma ponte de transferência direta de tensões entre os blocos, e somente quando as paredes dos blocos foram ao colapso é que o filete de argamassa, por estar aderido a estas paredes, se rompeu. A interação bloco e junta para este caso pode ser vista na Figura 32.

Figura 32 - Rompimentos típicos da junta Tipo 3



Fonte: O autor

O bloco não apresenta resiliência que pudesse ter colaborado com sua deformação, logo, sendo o primeiro a romper, isto ocorreu de forma frágil, ou seja, nenhuma deformação perceptível precedeu seu rompimento, levando a um estouro no momento de sua ruptura.

Apesar de esta ser a junta com o maior valor de resistência da argamassa e apresentar o maior valor de resistência do prisma, o comportamento deste tipo de junta é indesejável em uma edificação, pois não absorve as deformações intrínsecas do sistema, gerando fissuras e trincas e em um caso extremo de comprometimento da estrutura, este será notado somente no fim do processo, não propiciando tempo para definir soluções cabíveis.

10.5 Junta de 3 mm e 6 MPa (Tipo 4)

Nesta configuração a resistência da argamassa se manteve adequada, porém a junta aprestava uma espessura muito abaixo da recomendada, o equivalente a 30 % dos 10 mm ideais.

Dados obtidos para este tipo de junta:

- Nomenclatura: Junta Tipo 4, com 4 prismas enumerados do P13 ao P16 e mostrados na prensa na Figura 33.

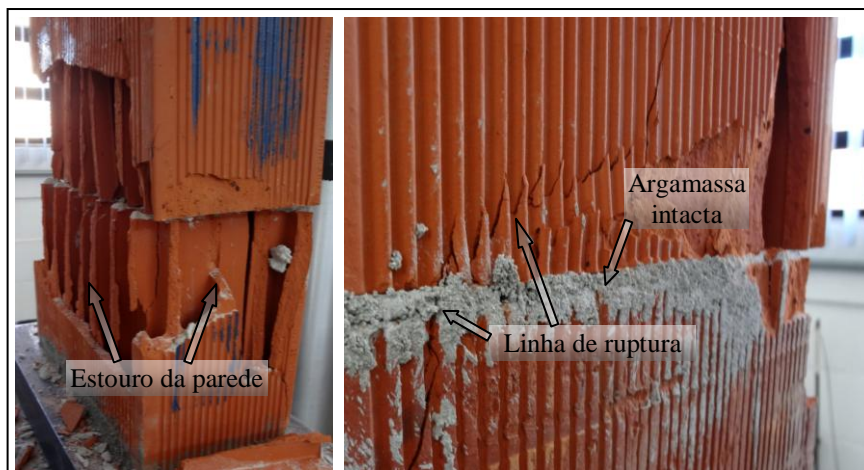
Figura 33 - P13 ao P16



Fonte: O autor

- Resistência à compressão média: $f_{pm} = 2,418 \text{ MPa}$
- Coeficiente de variação dos valores das amostras em relação à f_{pm} : $CV = 11,905\%$.
- Observações da compressão: A argamassa, devido a pouca altura da junta, não dissipou as tensões e ficou fortemente confinada. Devido a este confinamento que não permitia que a argamassa estourasse e a incapacidade de deformação, ela agiu como um calço, ligando os blocos um ao outro diretamente e sendo esmagada em alguns pontos de maior tensão. A interação bloco e junta para este caso pode ser vista na Figura 34.

Figura 34 - Rompimentos típicos da junta Tipo 4



Fonte: O autor

Como a argamassa não deformou, o rompimento se deu de forma frágil, com estouro das paredes dos blocos, em um comportamento análogo ao da ruptura de dois blocos que se tocam.

Em alguns pontos formaram-se linhas de maior tensão que geraram trincas. Nestas ficou visível como a junta assumiu uma função de calço, ao propagar a trinca ao bloco seguinte sem antes deformar-se.

Este tipo de junta é indesejável em uma edificação, pois reduz a resistência da parede e não distribui as tensões, logo, não absorve as deformações as quais o sistema está submetido, gerando fissuras e trincas e, caso haja um comprometimento mais avançado da estrutura, este será notado somente no fim do processo, não propiciando tempo para definir soluções cabíveis.

10.6 Junta de 5 mm e 6 MPa (Tipo 5)

Nesta configuração a resistência da argamassa se manteve adequada, porém a junta apresentava uma espessura abaixo da recomendada, o equivalente a 50 % dos 10 mm ideais.

Dados obtidos para este tipo de junta:

- Nomenclatura: Junta Tipo 5, com 4 prismas enumerados do P17 ao P20 e mostrados na prensa na Figura 35.

Figura 35 - P17 ao P20



Fonte: O autor

- Resistência à compressão média: $f_{pm} = 3,012 \text{ MPa}$
- Coeficiente de variação dos valores das amostras em relação à f_{pm} : $CV = 9,645\%$.
- Observações da compressão: Como no caso da junta Tipo 4, a junta Tipo 5 manteve sua argamassa muito confinada devido a sua pouca altura. Porém o aumento na altura desta junta em relação àquela, permitiu alguma pequena, mas maior acomodação das tensões, e assim pôde deformar-se levemente mais. Ainda que o rompimento tenha se dado de forma frágil. A interação bloco e junta para este caso pode ser vista na Figura 36.

Figura 36 - Rompimentos típicos da junta Tipo 5



Fonte: O autor

Nesta junta houve a contribuição de dois fatores importantes que a tornaram mais resiliente que a junta de 3 mm e o prisma mais resistente que a junta padrão de 10 mm.

A maior resiliência se deu pelo maior volume de argamassa, que acomodou melhor as tensões, e por consequência as deformações, ainda que de forma modesta. Isto evitou que a junta agisse imediatamente como um calço que liga os dois blocos, situação esta prorrogada até que o nível de tensões fizesse com que os blocos rompessem, e não a argamassa, já que igualmente a junta Tipo 4 a argamassa não deformou o suficiente, provocando um rompimento de forma frágil, com estouro das paredes dos blocos, em um comportamento análogo ao da ruptura de dois blocos que se tocam.

A maior resistência deu-se justamente pelo confinamento da argamassa, que não se rompeu como na junta Tipo 1, permitindo um maior nível de tensões.

Ainda que apresente boa resistência à compressão, o comportamento deste tipo de junta é indesejável em uma edificação, pois não propicia que sejam absorvidas adequadamente as deformações intrínsecas do sistema, gerando fissuras e trincas e em um caso extremo de comprometimento da estrutura, este será notado somente no fim do processo, não proporcionando tempo para definir soluções cabíveis.

10.7 Junta de 20 mm e 6 MPa (Tipo 6)

Nesta configuração a resistência da argamassa se manteve adequada, porém a junta apresentava uma espessura acima da recomendada, o equivalente a 200 % dos 10 mm ideais.

Dados obtidos para este tipo de junta:

- Nomenclatura: Junta Tipo 6, com 4 prismas enumerados do P21 ao P24 e mostrados na prensa na Figura 37.

Figura 37 - P21 ao P24



Fonte: O autor

- Resistência à compressão média: $f_{pm} = 2,550 \text{ MPa}$
- Coeficiente de variação dos valores das amostras em relação à f_{pm} : $CV = 1,499\%$.
- Observações da compressão: A argamassa acomodou todas as tensões a ela impostas, fissurando e permitindo que as deformações fossem absorvidas. Mas, mesmo com resistência adequada da argamassa, devido à altura elevada da junta, a pressão fez com que a argamassa estourasse lateralmente, por não conseguir manter-se confinada.

Nesta situação, primeiramente rompeu-se a argamassa, que consigo, ao estourar, carregou as paredes dos blocos. A interação bloco e junta para este caso pode ser vista na Figura 38.

Com um grande volume de argamassa na junta, ela apresentou boa resiliência, distribuindo de forma homogênea as tensões entre um bloco e outro, que, até certo limite, gerariam apenas micro fissuras na argamassa, e tornando perceptíveis, pelas deformações, a ruptura por vir.

Figura 38 - Rompimentos típicos da junta Tipo 6



Fonte: O autor

Apesar deste tipo de junta apresentar excelente resiliência, absorvendo adequadamente as deformações intrínsecas do sistema, seu uso é irracional, pois com o confinamento reduzido da argamassa esta é impelida para fora da junta, reduzindo muito a resistência da parede, desperdiçando a resistência da argamassa e do bloco e a própria argamassa, devido à quantidade exagerada dela usada na junta.

10.8 Junta de 30 mm e 6 MPa (Tipo 7)

Nesta configuração a resistência da argamassa se manteve adequada, porém a junta apresentava uma espessura acima da recomendada, o equivalente a 300 % dos 10 mm ideais.

Dados obtidos para este tipo de junta:

- Nomenclatura: Junta Tipo 7, com 4 prismas enumerados do P25 ao P28 e mostrados na prensa na Figura 39.
- Este conjunto de prismas não coube na prensa disponibilizada pelo laboratório da UNISC. Para rompê-los, inicialmente optou-se por levá-los para a prensa do laboratório da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), a qual comportaria suas dimensões.

Visando a preservação da integridade física dos prismas durante o transporte, estes foram firmados com auxílio de uma chapa de madeira sobre cada superfície capeada, as quais foram fixadas por arames, como pode-se conferir na Figura 39.

Figura 39 - P25 ao P28 travados por chapas



Fonte: O autor

Contudo, devido a contratempos, passou-se muito tempo da data de moldagem até a data disponível para o transporte, o que levou a conjecturar-se que a diferença de tempo de cura da argamassa, em relação aos demais prismas já rompidos, pudesse mascarar os resultados de resistência à compressão.

Ainda tentou-se nova moldagem dos 4 prismas tomando-se como baliza os limites físicos da prensa disponível, porém, desta vez, não se conseguiu em tempo hábil a argamassa necessária para a moldagem.

Assim sendo, a junta Tipo 7 foi excluída dos cálculos estatísticos aos quais foram submetidas as outras juntas. Tal fato pode ter deixado de contribuir especificamente na análise do comportamento das juntas submetidas à compressão, entretanto, as constatações feitas durante a moldagem são plenamente válidas para esta junta.

10.9 Compilação de resultados

No presente subitem estão condensados todos os valores e observações obtidos durante o rompimento, exibindo de forma simplificada e organiza estes resultados.

Nos gráficos seguintes, estão relacionadas apenas de forma quantitativa as resistências e as espessuras das juntas com a resistência do prisma. Porém esta relação não define diretamente melhores ou piores juntas, já que não considera sua capacidade de acomodar as tenões nem a relação benefício-custo do ponto de vista econômico, considerações estas feitas individualmente para cada junta nos seus subitens individuais, anteriores a este, e que qualificaram se a junta é aceitável ou não e por quê.

O Gráfico 1ordena de forma crescente a resistência média (fpm) obtida para os prismas de cada tipo de junta, apenas para fins de ordenação e conferência.

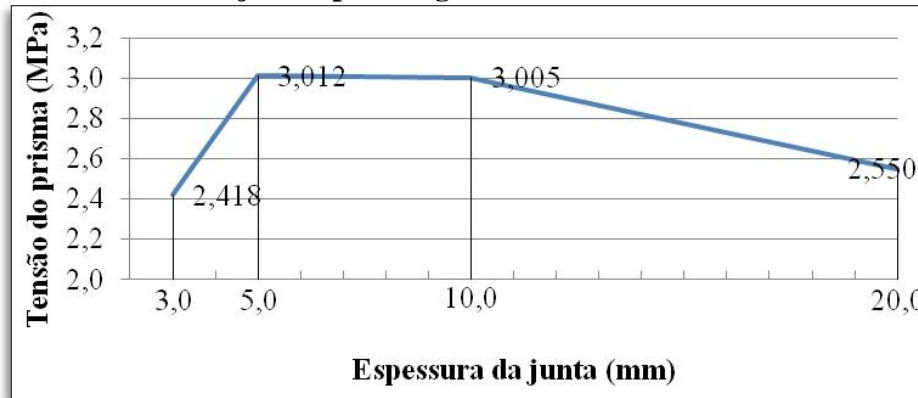
Gráfico 1 - Resistência dos prismas à compressão em relação aos diferentes tipos de juntas



Fonte: O autor

O Gráfico 2 relaciona a espessura das juntas com a resistência média (f_{pm}) de seus respectivos prismas.

Gráfico 2 - Resistência do prisma à compressão em relação a diferentes espessuras de juntas para argamassa de 6 MPa



Fonte: O autor

Pode-se notar geometricamente que para um aumento de 50% na espessura da junta a partir do ideal de 10 mm ($h = 15$ mm $\rightarrow f_{pm} = 2,777$ MPa, conforme Equação 6), o decréscimo na resistência do prisma é de apenas 7,587%.

$$f_{pm_x} = f_{pm_1} + \left(\frac{f_{pm_2} - f_{pm_1}}{h_1 - h_2} \right) \times (h_2 - h_x)$$

$$f_{pm_{15mm}} = 2,55 + \left(\frac{3,005 - 2,55}{20 - 10} \right) \times (20 - 15)$$

$$f_{pm_{15mm}} = 2,777 \text{ MPa}$$

Equação 6

Este percentual de 7,587 % difere daquele apresentado na revisão bibliográfica, que preconizava uma diminuição de 15% na resistência da parede para cada aumento de 3,0 mm na espessura da junta.

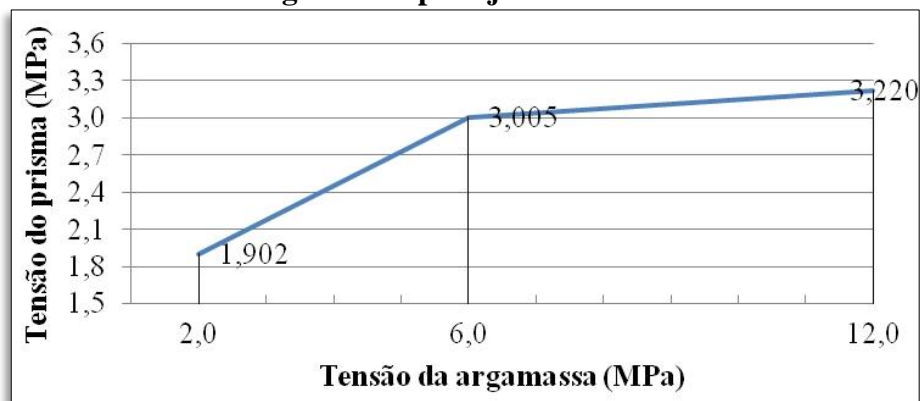
Porém, dadas as margens de variações devido às poucas amostras, ele ainda aponta no mesmo sentido daquele ao corroborar que espessuras maiores que 10 mm enfraquecem a parede de alvenaria, e apesar de acomodarem muito bem as tensões e conseqüentemente as deformações, desperdiçam material.

Já uma diminuição de até 50% na espessura da junta, a partir do ideal de 10 mm, praticamente não altera sua resistência, obtendo-se ainda um ganho mínimo. Porém as tensões ficam extremamente concentradas, não há distribuição de tensões e provoca-se a ruptura de forma indesejada.

Somente quando o decréscimo é maior que 50% na espessura da junta a partir do ideal, é que se pode notar o quão bruscamente cai a resistência do prisma.

O Gráfico 3 relaciona as resistências das juntas com a resistência média (f_{pm}) de seus respectivos prismas.

Gráfico 3 - Resistência do prisma à compressão em relação a diferentes resistências de argamassas para junta de 1 cm



Fonte: O autor

Pode-se notar de forma puramente geométrica que para uma diminuição de 50% na resistência da argamassa (f_{ak}) da junta a partir do ideal definido de 6 MPa ($f_{ak} = 3 \text{ MPa} \rightarrow f_{pm} = 2,178 \text{ MPa}$, conforme Equação 7), que o decréscimo na resistência do prisma é de 27,521%.

$$f_{pm_x} = f_{pm_1} + \left(\frac{f_{pm_2} - f_{pm_1}}{h_2 - h_1} \right) \times (h_x - h_1)$$

$$f_{pm_{3\text{MPa}}} = 1,902 + \left(\frac{3,005 - 1,902}{6 - 2} \right) \times (3 - 2)$$

$$f_{pm_{3\text{MPa}}} = 2,178 \text{ MPa}$$

Equação 7

Apesar de argamassas mais fracas permitirem que ocorram deformações, diminuindo-se a resistência da argamassa, diminui-se consideravelmente a resistência do prisma e a capacidade de aderência da argamassa, o que acaba por desperdiçar a resistência dos blocos.

Já um acréscimo de 50% na resistência da argamassa (fak) da junta, a partir do ideal definido de 6 MPa, praticamente não altera sua resistência, obtendo-se ainda um ganho mínimo. Porém não há distribuição das tensões, não são distribuídas as tensões nem acomodadas as deformações e provoca-se a ruptura de forma indesejada.

11 CONCLUSÃO

De acordo com o previsto, as rupturas de cada tipo de junta ocorreram de formas diferentes, apresentando comportamentos peculiares, e em alguns casos, comuns a mais de um tipo de junta.

Baseando-se nas tensões de compressão e nas observações práticas das rupturas, foi possível desvelar parte dos fatos por trás dos valores comumente defendidos pelas bibliografias como corretos para espessuras e resistências das juntas de argamassa.

Transcreveu-se para este trabalho, como almejado, de forma teórica o comportamento observado na prática, que com o auxílio dos valores obtidos, tornam visível e mais compreensível a teoria pré-estabelecida sobre o assunto abordado.

Ficou claro que juntas de argamassa muito resistentes, apesar de elevarem a resistência do prisma, rompem bruscamente, situação esta de alto risco em uma parede. Comportamento similar a este ocorre com juntas muito pequenas, que não acomodam adequadamente as tensões e assim não permitem deformações, diminuem a resistência da parede e também rompem bruscamente.

Quanto às juntas de argamassas muito fracas, estas distribuem bem as tensões e permitem deformações que se tornam visíveis previamente à ruptura, mas enfraquecem o prisma, desperdiçando o potencial do bloco. Similarmente, as juntas muito altas comportam-se da mesma forma quanto às deformações e à queda na resistência do prisma, com o agravante de serem expelidas lateralmente devido ao pouco confinamento da argamassa. Ambos os tipos de juntas podem instabilizar a estrutura mediante solicitações que estejam além de sua capacidade de resistência, e assim levá-la ao colapso.

Já as juntas levemente menores que 1 centímetro, mesmo que contribuam para o aumento na resistência do prisma, tornam menor a possibilidade de se deformarem. Sendo então a junta de 1 centímetro a que mais otimiza a resistência e a adequada deformação.

Com estas observações em laboratório do comportamento das juntas, torna-se possível, ao ver-se uma parede em execução ou já executada, especialmente no sistema de alvenaria estrutural, antever qual o comportamento que a mesma terá em função de suas juntas.

Assim, com o respaldo e os argumentos da pesquisa, é possível em obra intervir para conscientizar o executor a respeito daquilo que é correto, ou em casos de patologias já consumadas em função da má execução, nortear a busca de soluções compatíveis com o comportamento esperado da estrutura.

Tratando-se especificamente dos resultados estatísticos obtidos na pesquisa, estes vieram a corroborar com aqueles estudados na revisão bibliográfica, no máximo divergindo quantitativamente devido ao número mínimo de amostras ensaiadas por tipo de junta.

Ainda assim, colaboraria muito o rompimento de mais amostras por tipo de junta, mais espessuras de junta e mais faixas de resistência da argamassa por tipo de junta, além do ensaio de resistência a compressão dos blocos e das argamassas, em individual. Com esta maior gama de observações seriam mais fáceis e mais precisas as conclusões sobre o que rompeu primeiro, o bloco ou argamassa, em cada tipo de junta.

Com mais amostras também seria possível trabalhar perfeitamente com a resistência características dos materiais e ter coeficientes de variação mais baixos.

Também seria útil tratar da largura das juntas horizontais de argamassa, tema este não mencionado nas bibliografias consultadas e que, talvez, possa ter influência significativa sobre o comportamento da estrutura.

Obviamente, quanto mais blocos e juntas sobrepostos, maior será a fidelidade dos resultados, portanto para uma análise ainda mais profunda da influência da espessura e da resistência da junta de argamassa no sistema de alvenaria, seria necessário moldar pequenas paredes de alvenaria para os ensaios. Com estas paredinhas também seria possível estudar a influência da junta vertical no comportamento da alvenaria e o comportamento das diferentes juntas submetidas a tensões de cisalhamento.

12 BIBLIOGRAFIA

ALMEIDA, José Luís Mesquita dos Santos Lima de. *Argamassas tradicionais e industriais de alvenaria em edifícios*. Dissertação (Especialização em Materiais e Processos de Construção – Mestrado Integrado em Engenharia Civil) – Universidade do Porto, Porto, 2009.

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

_____. *NBR 15270-1:2005*: Componentes cerâmicos. Parte 1: Blocos cerâmicos para alvenaria de vedação - Terminologia e requisitos: Rio de Janeiro, 2005.

_____. *NBR 15270-2:2005*: Componentes cerâmicos. Parte 2: Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural -: Terminologia e requisitos. Rio de Janeiro, 2005.

_____. *NBR 15270-3:2005*: Componentes cerâmicos. Parte 3: Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural e de vedação - Métodos de ensaio: Rio de Janeiro, 2005.

_____. *NBR 15961-2:2011*: Blocos de concreto. Parte 2: Execução e controle de obras. Rio de Janeiro, 2011.

_____. *NBR 8041:1983*: Tijolo maciço cerâmico para alvenaria - forma e dimensões - padronização: Rio de Janeiro, 1983.

BODINI, Vera Lucia. *Estatística para a engenharia*. 2013. Notas de aula.

FERREIRA, Aurélio Buarque de Holanda. *Mini Aurélio*: o dicionário da língua portuguesa. Coord. de edição: Marina Baird Ferreira. Curitiba: Ed. Positivo, 2010.

FRANCIS, A. J.; HORMAN, C. B.; JEREMS, L. E. *The effect of joint thickness and other factors on the compressive strength of brickwork*. In: International Brick Masonry Conference, 2., 1971, Stoke-on-Trent, England. *Proceedings...* Stoke-on-Trent, British Ceramic Research Association, 1971.

GOMES, Nelson dos Santos. *A resistência das paredes de alvenaria*. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo – São Paulo, 1983.

LORDSLEEM JÚNIOR, Alberto Casado. *Execução e inspeção de alvenaria racionalizada*. São Paulo: Ed. O Nome da Rosa, 2000.

MANZIONE, Leornado. *Projeto e execução de alvenaria estrutural*. São Paulo: Ed. O Nome da Rosa, 2007.

MATA, Rodrigo Carvalho da. *Influência do padrão de argamassamento na resistência à compressão de prismas e mini-paredes de alvenaria estrutural de blocos de concreto*. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – PPGEC) – Universidade Federal de Santa Catarina – Florianópolis, 2006.

PARSEKIAN, G. A.; SOARES, M. M. *Alvenaria estrutural em blocos cerâmicos*. São Paulo. Ed. O Nome da Rosa, 2010.

PASQUALI, Ivair. *Influência do tipo de argamassamento na resistência à compressão de pequenas paredes de alvenaria estrutural cerâmica*. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria – Santa Maria, 2007.

POZZOBON, Marco Antonio. *O processo de monitoramento e controle tecnológico em obras de alvenaria estrutural*. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Área de concentração em Construção Civil) – Universidade Federal de Santa Maria – Santa Maria, 2003.

RAMALHO, M. A.; CORRÊA, M. R. S.. *Projeto de edifício de alvenaria estrutural*. São Paulo: Ed. Pini, 2003.

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

SAHLIN, Sven. *Structural masonry*. Prentice-Hall, New Jersey: Ed. Englewood Cliffs, 1971.

SANTOS, Marcus Daniel Friederich dos. *Técnicas construtivas em alvenaria estrutural: contribuição ao uso*. Dissertação (Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria – Santa Maria, 1998.

TAUIL, C. A.; NESE, F. J. M. *Alvenaria Estrutural*. São Paulo: Ed. Pini, 2010.

ANEXO A - Relatório de ensaios P1

UNISC

LABORATÓRIO DE ESTRUTURAS

Relatório de Ensaio

Máquina: **Emic DL3000N** Célula: **Trd 30** Extensômetro: - Data: **09/06/2014** Hora: **14:05:49** Trabalho nº **2742**
 Programa: **Tesc versão 3.04** Método de Ensaio: **Compressão_Bloco_Cel 200tf**
 Ident. Amostra: >>>> Professor: **Camila Krause** Matéria / Aluno: **TCC II / Geneton Behling** Material: **Bloco Cerâmico P1**

Corpo de Prova	Área (mm ²)	Força Máxima (kN)	Resistência Compressão (MPa)	Tempo Ensaio (s)	Incremento de Tensão (MPa/s)
CP 1	40600	126	3.10	72	0.04
Número CPs	1	1	1	1	1
Média	40600	125.8	3.098	72.12	0.04196
Mediana	40600	125.8	3.098	72.12	0.04196
Desv. Padrão	*	*	*	*	*
Coef. Var. (%)	*	*	*	*	*
Mínimo	40600	125.8	3.098	72.12	0.04196
Máximo	40600	125.8	3.098	72.12	0.04196

Tensão (MPa)

