

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA

PAULA ROBERTA DOS SANTOS

**INFLUÊNCIA DE DIFERENTES RESISTÊNCIAS DE ARGAMASSA NA
RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO DE PRISMAS DE BLOCOS CERÂMICOS**

**Alegrete
2015**

PAULA ROBERTA DOS SANTOS

**INFLUÊNCIA DE DIFERENTES RESISTÊNCIAS DE ARGAMASSA NA
RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO DE PRISMAS DE BLOCOS CERÂMICOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Me. André Lübeck

Coorientador: Prof. Dr. Gihad Mohamad

**Alegrete
2015**

PAULA ROBERTA DOS SANTOS

**INFLUÊNCIA DE DIFERENTES RESISTÊNCIAS DE ARGAMASSA NA
RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO DE PRISMAS DE BLOCOS CERÂMICOS**

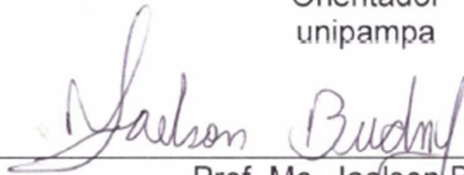
Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Engenharia Civil
da Universidade Federal do Pampa, como
requisito parcial para obtenção do Título
de Bacharel em Engenharia Civil.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em: 19 de janeiro de 2015.

Banca examinadora:



Prof. Me. André Lübeck
Orientador
unipampa



Prof. Me. Jaelson Budny
unipampa



Prof. Me. Alisson Simonetti Milani
unipampa

Dedico este trabalho a minha mãe que sempre se fez forte nos momentos mais difíceis me ajudando chegar até aqui.

AGRADECIMENTO

Agradeço a Deus, por ter me dado persistência ao longo do curso, e muita saúde.

Aos meus pais, Paulo e Lucimeire, pelo apoio, carinho e amor, caminharam ao meu lado e se fizeram presente em todos os momentos.

Aos meus irmãos, Carlos e Gabriel que fizeram meus dias mais felizes e me apoiaram na minha escolha.

Agradeço ao meu namorado Renan que nesses últimos três anos, soube me compreender e me apoiar tornando tudo mais fácil.

Aos amigos que se fizeram presentes seja com uma palavra de apoio ou com um mate na praça, e entenderam que às vezes não teria tempo pra estar presente em todos os momentos, muito obrigada sem vocês com certeza não teria conseguido.

Agradeço ao meu orientador Prof. Me. André Lübeck, que sempre se fez presente durante toda a minha graduação e me auxiliou no desenvolvimento deste projeto, sempre com paciência e prontidão pra me ajudar no que fosse necessário, muito obrigada.

Ao meu coorientador Prof. Dr. Gihad Mohamad e aos colegas do laboratório de materiais de construção civil da UFSM, obrigada pela ajuda, vocês contribuíram e muito em todos os ensaios realizados.

Por fim agradeço a toda minha família, tios, avos, primos, que me ajudaram em tudo que precisei, estiveram ao lado da minha mãe cuidando dela nos momentos em que eu não estava presente, jamais terei como agradecer tudo o que vocês fizeram, obrigada mesmo sem vocês eu não chegaria até aqui.

“Que os vossos esforços desafiem as impossibilidades, lembrai-vos de que as grandes coisas do homem foram conquistadas do que parecia impossível.”

Charles Chaplin

RESUMO

O sistema construtivo em alvenaria estrutural é composto pela unidade (bloco) e argamassa sendo que ambos desenvolvem um papel importante na resistência final do conjunto. Este trabalho tem como objetivo principal avaliar o comportamento mecânico dos prismas combinados com diferentes blocos e argamassas e assim determinar a influencia dos elementos na resistência do conjunto. O estudo foi realizado com dois blocos de diferentes resistências e geometrias, e com três diferentes resistências de argamassas industrializadas. O programa experimental abrangeu a avaliação da resistência à compressão da argamassa, blocos e prismas. Para a argamassa foi realizado mais o ensaio de tração na flexão e índice de consistência. Foram confeccionados no total 36 prismas de 2 blocos, combinando as diferentes argamassas e blocos. No ensaio à compressão dos blocos ambos apresentaram resistência superior ao especificado pelo fabricante. As argamassas possuíam índice de consistência dentro da norma e resistência a compressão superior ao determinado pelo fabricante. Com base na análise dos resultados entre as combinações ensaiadas, pode-se concluir que o bloco de paredes maciças é mais eficiente para o uso na alvenaria estrutural em relação ao bloco de paredes vazadas. A resistência da argamassa influenciou na resistência do prisma, pois a mesma deixa de ser um limitante na resistência. A principal influência da resistência da argamassa foi a mudança na forma de ruptura.

Palavras-chave: alvenaria estrutural, resistência à compressão, modo de ruptura.

ABSTRACT

The construction system consists of the masonry unit (block) and mortar both of which carry an important role in the final assembly strength . This work aims to evaluate the mechanical behavior of prisms combined with different blocks and mortar and thus determine the influence of the elements in the joint strength. The study was conducted with two blocks of different strengths and geometries and with three different resistances industrial mortars. The experimental program included the evaluation of the compressive strength of the mortar, blocks and prisms. For the mortar was more accomplished the tensile test in flexion and consistency index. Were made in total 36 prisms of 2 blocks, combining the different mortars and blocks. In the test to compression of the blocks both showed higher resistance specified by the manufacturer. The mortars had consistency index within the norm and resistance to higher compression determined by the manufacturer. Based on the analysis of the results of the tested compounds, it can be concluded that the block of solid walls is more efficient for use on masonry block in relation to the cast. The mortar strength influenced the prism of resistance, because it is no longer a limiting resistance. The main influence of mortar strength was the change in the form of rupture.

Keywords: masonry , compressive strength , failure mode

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Sistema construtivo em alvenaria estrutural.....	16
Figura 2 – Blocos modulares cerâmicos	18
Figura 3 – Fluxograma da fabricação de argamassa na obra	20
Figura 4 – Fluxograma da argamassa industrializada.....	20
Figura 5 – Prisma de 2 blocos cerâmicos	22
Figura 6 – Verificação da largura, altura e comprimento	26
Figura 7 – Medidas dos septos e desvio em relação ao esquadro.....	26
Figura 8 – Bloco capeado e ensaio de resistência a compressão.....	27
Figura 9 – Ensaio para determinar a resistência à tração na flexão.....	29
Figura 10 – Ensaio para determinar a resistência à compressão.....	30
Figura 11 – Ruptura do prisma.....	31
Figura 12 – Blocos com paredes vazadas e fases ranhuradas – 7 MPa.....	32
Figura 13 – Bloco com paredes maciças e fases lisas – 10 MPa.....	32
Figura 14 – Ensaio de tração na flexão e compressão	37
Figura 15 – Prisma rompido na prensa hidráulica aos 28 dias.....	39
Figura 16 – Ruptura por esmagamento da junta no prisma com bloco de 10 MPa e argamassa de 10 MPa.	44
Figura 17 – Ruptura por fendilhamento do bloco no prisma com bloco de 7 MPa e argamassa de 4 MPa.	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Características Geométricas – Blocos de 7 MPa	33
Tabela 2 – Características Geométricas - Blocos de 10 MPa	34
Tabela 3 – Resistência a Compressão – Bloco de 7 MPa	35
Tabela 4 – Resistência a Compressão – Blocos de 10 MPa.....	35
Tabela 5 – Relação de água e massa seca	36
Tabela 6 – Resistência a compressão e à tração na flexão, argamassa de 4 MPa	37
Tabela 7 – Resistência a compressão e à tração na flexão, argamassa de 8 MPa	37
Tabela 8 – Resistência a compressão e à tração na flexão, argamassa de 10 MPa.....	38
Tabela 9 – Prisma com bloco de 7 MPa e argamassa de 4 MPa.....	40
Tabela 10 – Prisma com bloco de 7 MPa e argamassa de 8 MPa.....	40
Tabela 11 – Prisma com bloco de 7 MPa e argamassa de 10 MPa.....	40
Tabela 12 – Prisma com bloco de 10 MPa e argamassa de 4 MPa.....	41
Tabela 13 – Prisma com bloco de 10 MPa e argamassa de 8 MPa.....	41
Tabela 14 – Prisma com bloco de 10 MPa e argamassa de 10 MPa.....	41
Tabela 15 – Resistência prisma/bloco (eficiência) – Bloco de 7 MPa	42
Tabela 16 – Resistência prisma/bloco (eficiência) – Bloco de 10 MPa.	42

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Relação entre as resistências médias à tração na flexão e na compressão axial das argamassa de 4, 8 e 10 MPa.....	38
Gráfico 2 – Relação entre a resistência à compressão do prisma e a resistência a compressão da argamassa – bloco de 7 MPa	43
Gráfico 3 – Relação entre a resistência à compressão do prisma e a resistência a compressão da argamassa – bloco de 10 MPa.	43

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	Objetivo geral	14
1.2	Objetivos específicos	14
1.3	Justificativa	14
2	REVISÃO DE LITERATURA	15
2.1	Alvenaria Estrutural no contexto brasileiro	15
2.2	Blocos	17
2.3	Argamassa	18
2.4	Resistência do prisma	21
3	METODOLOGIA	25
3.1	Resistência do bloco cerâmico	25
3.2	Preparação da argamassa e determinação do índice de consistência	27
3.3	Resistência a compressão e tração na flexão da argamassa	28
3.4	Resistência a compressão do prisma	30
4	APRESENTAÇÃO DA PESQUISA E ANÁLISE DOS RESULTADOS	32
4.1	Ensaio com blocos cerâmicos	32
4.1.1	Características geométricas	33
4.1.2	Ensaio a compressão	34
4.2	Ensaio com argamassa	36
4.2.1	Resistência a compressão e à tração na flexão	36
4.3	Resistência a compressão do prisma	39
5	CONCLUSÃO	47
	REFERÊNCIAS	49

1 INTRODUÇÃO

A alvenaria estrutural se desenvolveu ha milhares de anos, iniciando-se com o conhecimento empírico de experientes construtores. Ainda hoje, é possível encontrar algumas obras em perfeito estado de conservação, o que comprova a qualidade e durabilidade desse processo que consiste basicamente em uma unidade modular, denominada bloco, unida com argamassa, formando elementos responsáveis por absorver todas as ações ou cargas atuantes.

O ponto inicial da “Moderna Alvenaria Estrutural” surgiu com os estudos realizados pelo professor Paul Haller, na Suíça, pois, devido a Segunda Guerra Mundial, houve a escassez de aço e concreto, o que motivou estudos mais aprofundados nesta área (TMS, 2005 apud RIZZATTI; MOHAMAD, 2013).

No Brasil, as primeiras edificações em alvenaria estrutural surgiram em torno de 1966 e tinham no máximo quatro pavimentos e foi, somente em 1977 que foi construído um edifício de nove pavimentos, em alvenaria não armada. A partir daí, o sistema foi se firmando e ganhando espaço, pois além de eficiente é uma técnica econômica (RAMALHO; CORRÊA, 2003).

Assim, somando-se a economia com o custo e tempo de obra, além da facilidade para o financiamento oferecida pelos órgãos financiadores no país, chegou-se na forte expansão desta tipologia construtiva.

Na alvenaria estrutural, os elementos que constituem o processo são o bloco e a argamassa. Durante muito tempo o bloco foi considerado como elemento principal, assim, a argamassa foi pouco estudada, sendo entendida apenas com a função de unir as unidades e acomodar as deformações. Em 1972, alguns estudos foram realizados a fim de verificar o comportamento triaxial para explicar os mecânicos de ruptura das alvenarias à compressão (MOHAMAD, 2007 2013).

A argamassa é utilizada para obter um apoio uniforme e permitir a aderência de um bloco sobre o outro, formando elementos que resistem as ações e as condições ambientais. A resistência a compressão é requisito importante, pois influencia na resistência a compressão da alvenaria. As propriedades mais importantes da argamassa, no estado endurecido, são aderência, resistência a compressão variação volumétrica e durabilidade (PARSEKIAN; HAMID; DRYSDALE, 2013).

A industrialização do processo construtivo em alvenaria estrutural também tem grande relevância no crescimento desta tecnologia. Contemporaneamente, as

argamassas industrializadas são amplamente utilizadas, devido a sua facilidade de emprego e controle de quantidade dos materiais, no qual é necessário apenas acrescentar água a mistura. Porém ainda carece-se de estudos que qualifiquem a participação das argamassas industrializadas no comportamento na ruptura na alvenaria estrutural (MOHAMAD, 2007).

Para um bom resultado do conjunto bloco-argamassa deve ser feita uma análise a fim de garantir a resistência ótima da argamassa em função da resistência do bloco. Para essa escolha é necessário levar em consideração dois fatores, resistência e capacidade de deformações, pois, quanto maior sua resistência, pior a trabalhabilidade e a capacidade de acomodar deformações, ocasionando maior potencial de fissuras (PARSEKIAN; HAMID; DRYSDALE, 2013).

Assim, a pergunta que se busca responder com este trabalho é: **qual a resistência adequada da argamassa industrializada para diferentes resistências de blocos cerâmicos?**

1.1 Objetivo geral

Avaliar o comportamento mecânico dos prismas para diferentes blocos cerâmicos e argamassas, e com isso determinar a influência da argamassa e do bloco sobre a resistência do conjunto.

1.2 Objetivos específicos

- Determinar a resistência à compressão dos blocos cerâmicos.
- Caracterizar em termos de trabalhabilidade e resistência a compressão três tipos de argamassa industrializada.
- Ensaiar a compressão prismas de blocos cerâmicos e argamassa industrializada a fim de determinar a resistência do conjunto.

1.3 Justificativa

É necessário um estudo sobre a influência da argamassa industrializada na resistência do prisma, pois o conhecimento sobre este comportamento ainda é limitado.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Nesta seção será abordada e explicada a alvenaria estrutural no contexto brasileiro, blocos, argamassa e tópicos que influenciam a resistência do prisma.

2.1 Alvenaria Estrutural no contexto brasileiro

A Alvenaria Estrutural ganhou força, no Brasil, a partir da década de 80, quando começou a busca por conhecimento e informações devido à implementação em conjuntos habitacionais, dessa forma, ela ficou associada como um sistema construtivo de baixa renda. Atualmente, várias construtoras e produtoras de blocos começam, a investir nesse sistema (TAVARES, 2011).

O uso da alvenaria em conjuntos habitacionais ainda é intenso, pois o sistema construtivo, nestes casos, demanda ser amplamente planejado, racionalizado, rápido e de custo reduzido, o que pode ser oferecido por esta técnica. Vários edifícios residenciais estão sendo construídos em alvenaria estrutural, já os comerciais são menos frequentes, pois demandam vãos maiores, com espaços amplos. A alvenaria é indicada quando não há previsão e necessidade de mudar a arquitetura e remover paredes, pois o sistema limita a alterações destas, já que as mesmas suportam todas as cargas da edificação (PARSEKIAN; HAMID; DRYSDALE, 2013). A Figura 1 demonstra a construção em alvenaria estrutural, canteiro de obra limpo e apropriado para o modelo construtivo.

Figura 1- Sistema construtivo em alvenaria estrutural



Fonte: Pauluzzi Blocos Cerâmicos (2012, não paginado)

Vale destacar que tal sistema vem sendo utilizado extensivamente em todas as regiões do Brasil, sendo um ramo estudado e conhecido na Engenharia, e a maioria das universidades tem a disciplina de alvenaria estrutural em sua matriz curricular. Conta também com o envolvimento de pesquisadores, construtores, projetistas e fornecedores na busca do seu desenvolvimento (PARSEKIAN; HAMID; DRYSDALE, 2013).

Dentre as vantagens da alvenaria estrutural, em relações aos processos tradicionais, pode-se citar: a economia com formas, redução do uso de concreto e ferragens, redução de mão-de-obra com carpintaria e ferraria, facilidade de treinar mão-de-obra, facilidade de detalhar projetos, rapidez na construção, ótima resistência ao fogo, bom isolamento térmico e acústico. Existem desvantagens como, parede portantes que não podem ser removidas, projeto arquitetônico fica mais restrito, vãos livre são limitados e as juntas de controle de dilatação a cada 15m (KALIL, 200-).

Em relação à altura, geralmente opta-se pela técnica em edifícios de até 15 pavimentos, pois a redução de custo é maior, já que há predominância da ação vertical e do esforço de compressão em relação à ação horizontal de menor intensidade, viabilizando a utilização de alvenaria não armada. É possível construir edifícios mais altos utilizando outras técnicas do sistema, como alvenaria armada, entretanto, a redução de custo não é tão significativa (PARSEKIAN; HAMID; DRYSDALE, 2013).

Pode-se classificar a alvenaria estrutural em três tipos em função do uso de armaduras. A alvenaria não armada, onde é feito apenas o reforço de aço por motivos construtivos e reforço de aberturas para evitar o surgimento de trincas e fissuras. Alvenaria armada, ou parcialmente armada, que recebe reforços, fios, barras, telas de aço, em determinadas regiões por exigências estruturais. E alvenaria protendida, onde se utiliza armadura ativa, pré-tensionada, que submete a alvenaria a esforços de compressão (TAUIL; NESSE, 2010).

2.2 Blocos

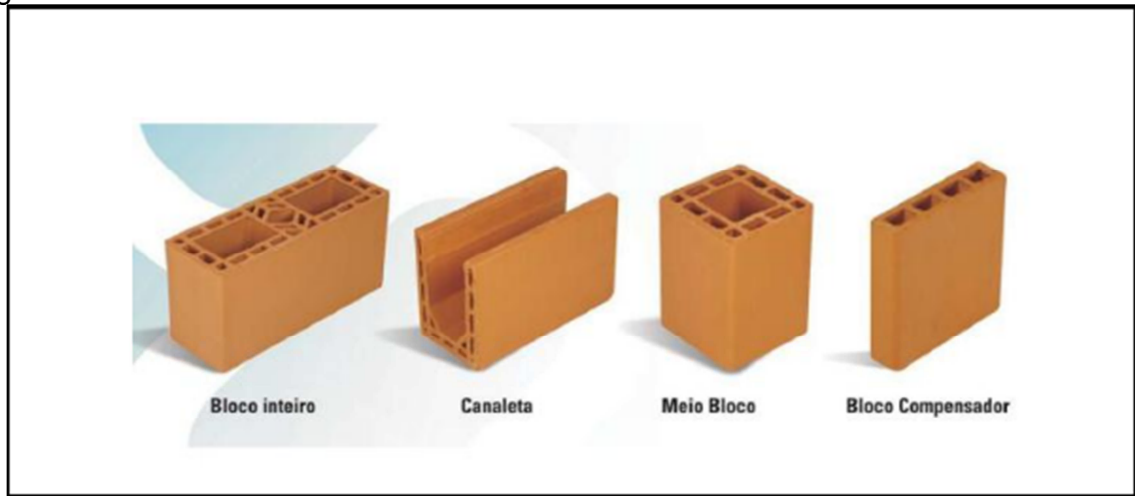
Dos componentes da alvenaria estrutural o principal responsável pela definição das características resistente é o bloco, tendo como principais três tipos, que são: bloco de concreto, sílico- calcário e cerâmico. Podendo ser maciços, quando o índice de vazios não ultrapassa 25% da área total, ou vazados quando ultrapassa os 25% (RAMALHO; CORRÊA, 2003).

O bloco de concreto surge no mercado brasileiro nos anos de 1970, constituído por areia, pedra, cimento, água e aditivos para aumentar a coesão. Produzido por vibrocompactação, a cura é realizada ao ar ou em câmara úmida com aquecimento, devendo ser confeccionado de maneira a garantir um concreto homogêneo e compacto. A resistência do bloco deve variar de 4 a 20 MPa e as modulações de dimensões são de 7,5, 10, 15 e 20 cm. Ademais, são blocos pesados que devem ser manipulados com as duas mãos (MOHAMAD; RIZZATTI; ROMAN, 2013).q

A produção do bloco sílico-calcário é por prensagem e cura por vapor, sua produção é realizada em apenas algumas regiões do Brasil, por isso, sua utilização não é comum. A resistência é variada, mas sua utilização deve ser feita de forma adequada, já que o bloco possui uma alta retração na secagem (MOHAMAD; RIZZATTI; ROMAN, 2013).

Os blocos cerâmicos são as unidades mais utilizadas no país, possuem baixo custo já que a matéria prima é a argila, e a mesma é encontrada na maioria das regiões. Contribuem para a utilização o fato de possuir uma boa aparência e baixa manutenção. Pode ser aplicado com função estrutural ou de vedação (PARSEKIAN; HAMID; DRYSDALE, 2013). A Figura 2 apresenta tipos de blocos cerâmicos utilizados na construção de uma edificação.

Figura 2 – Blocos modulares cerâmicos



Fonte: Rodrigues (2013, p.33)

Comparando economicamente os blocos de sílico-calcário, concreto e os cerâmicos, é possível concluir que o cerâmico possui um custo menor, além de possuir desempenho acústico e térmico bom, quando comparado ao concreto (MOHAMAD, 2007).

A resistência à compressão do bloco cerâmico varia de acordo com a região e país onde é produzido. Nos Estados Unidos é possível encontrar blocos com resistência de até 200 MPa, considerando a área líquida e descontados os vazios. Já no Brasil a resistência é normalmente medida em relação a área bruta, sendo possível encontrar blocos de até 18 MPa na região sul. Em função da dificuldade na medição da resistência à tração direta, é normalmente usada a resistência a tração na flexão, que é aproximadamente de 10% da resistência a compressão (PARSEKIAN; HAMID; DRYSDALE, 2013).

Um fator importante a ser considerado nos blocos cerâmicos é a absorção de água inicial, pois, se esta for muito alta, pode resultar em grande absorção de água, tornando a argamassa fraca, ou se for muito baixa, pode resultar em uma superfície de contato insatisfatória com o bloco (PARSEKIAN; HAMID; DRYSDALE, 2013).

2.3 Argamassa

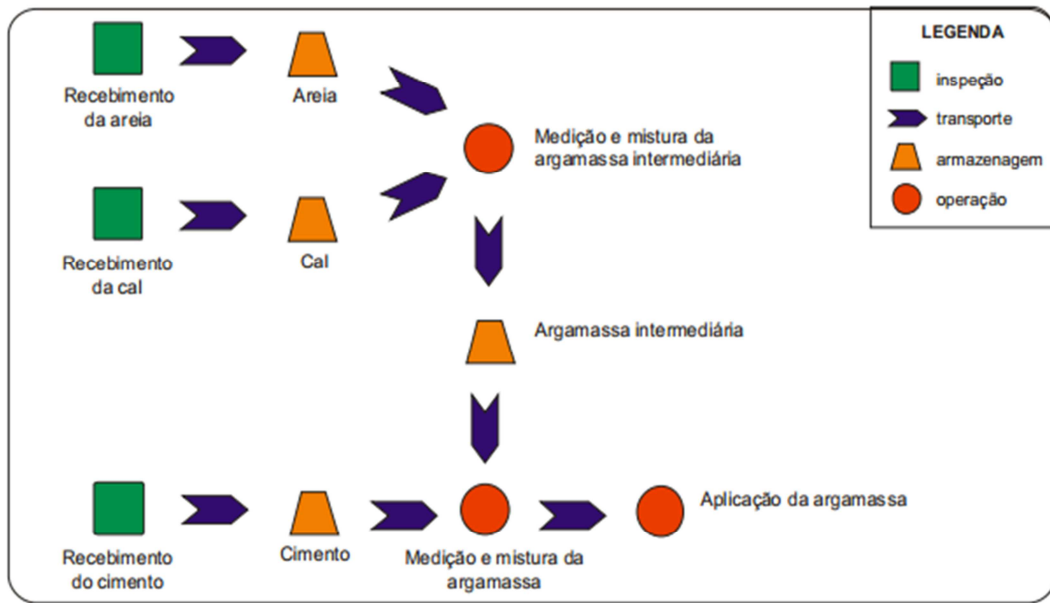
As primeiras argamassas foram fabricadas com argila, betume e mistura de argila e palha, sendo utilizada para preencher fissuras e assentar as unidades, a resistência dependia das condições climáticas do local. A argamassa moderna surge

com o gesso, cal e pozolanas. Os romanos constatam que a cal não endurecia com água e adicionaram as cinzas vulcânicas, dando origem ao cimento com pozolanas. No século 19 ocorreu avanços, na Inglaterra, com a adição de cimento Portland, areia, cal e água, produzindo uma argamassa mais forte e resistente (PARSEKIAN; HAMID; DRYSDALE, 2013).

A principal responsabilidade da argamassa é transmitir as tensões verticais através das unidades e acomodar as deformações inerentes ao processo de execução. Por um grande período sua principal finalidade foi a de unir as unidades e acomodar as deformações, com isso, a resistência da argamassa não era vista como importante. Somente na década de 70, após testes que avaliaram o comportamento triaxial, a argamassa passou a receber mais atenção dos pesquisadores (MOHAMAD, 2007).

Argamassas empregadas para o assentamento das unidades podem ser classificadas devido aos materiais presentes. Argamassa de cal, a mais usual na alvenaria, formada por cal e areia, possui resistência baixa, mas boa trabalhabilidade. Argamassa de cimento, feita com cimento portland e areia, a resistência depende da quantidade de cimento. Quanto maior a quantidade de cimento, maior a resistência, entretanto, misturas com elevado teor de cimento possuem alto custo e tendência ao aparecimento de fissuras por retração. Argamassas mistas, constituídas de cimento, cal e areia, possuem boa resistência devido ao cimento e boa trabalhabilidade devido a presença da cal, sendo a mais adequada pra alvenaria estrutural (MOHAMAD; RIZZATTI; ROMAN, 2013). A Figura 3 demonstra o fluxograma para fabricação da argamassa, no canteiro de obras, desde o recebimento dos materiais, até a aplicação da mesma.

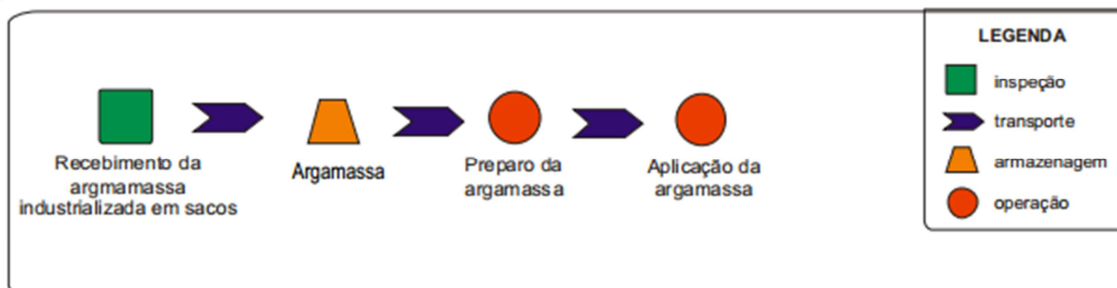
Figura 3 – Fluxograma da fabricação de argamassa na obra



Fonte: Oliveira, (2006 p.16)

Devido à necessidade de velocidade, controle e organização da produção, a argamassa industrializada ganha destaque, os materiais estão prontos e basta adicionar água. A cal é substituída por aditivos incorporadores de ar ou plastificantes. Nas argamassas com incorporadores de ar, a resistência à compressão diminui se o tempo adequado de mistura for ultrapassado. Os fabricantes de argamassas industrializadas sugerem que antes de utilizar qualquer tipo de argamassa, testes devem ser realizados para verificar o desempenho do produto (MOHAMAD; RIZZATTI; ROMAN, 2013). A Figura 4 mostra como o processo de preparo de argamassa é simples, realizado em poucas etapas.

Figura 4 – Fluxograma da argamassa industrializada



Fonte: Oliveira, (2006 p.16)

As propriedades relevantes no estado fresco da argamassa são trabalhabilidade, consistência, retenção de água e tempo de endurecimento. E, no estado endurecido, aderência e resistência à compressão (KALIL, 200-).

A trabalhabilidade e retenção de água são determinadas pela quantidade de cal, e a resistência pela quantidade de cimento. Diz-se que a argamassa é forte, quando é rica em cimento, e fraca, quando predomina a cal. No entanto, a trabalhabilidade é considerada uma característica mais importante que a resistência à compressão. Argamassas com resistência acima de 20 MPa não são utilizadas nem mesmo em edifícios altos. Enquanto um grande aumento da resistência da argamassa traz um pequeno benefício na resistência da alvenaria, a melhor trabalhabilidade resulta em melhor aderência e durabilidade (PARSEKIAN; HAMID; DRYSDALE, 2013).

2.4 Resistência do prisma

O resistência à compressão é determinada a partir de ensaios de prisma, ou mini paredes, mas devido ao custo o ensaio de parede não é comum. Prismas são corpos-de-prova resultado da superposição de normalmente dois ou três blocos unidos por junta de argamassa, destinada ao ensaio de compressão axial (KALIL, 200-). A figura 5 representa um prisma de 2 blocos cerâmicos devidamente capeado, com junta de argamassa que será utilizado para verificação da resistência a compressão.

Figura 5 – Prisma de 2 blocos cerâmicos



Fonte: Elaboração Própria

Parsekian, Hamid e Drysdale (2013) discutem a geometria do prisma, altura do prisma, resistência da argamassa, resistência do bloco, restrição ao atrito com a placa de carregamento, amarração dos blocos, espessuras da junta de assentamento, forma de disposição da argamassa de assentamento, resistência do graute e relações prisma/bloco como fatores que influenciam na resistência dos prismas e prismas e serão explicados nos próximos parágrafos.

A geometria do bloco influencia na resistência. Quanto maior a área líquida, maior a resistência. O prisma com blocos de paredes maciças normalmente possui maior resistência do que de blocos perfurados, a diferença é explicada pela área de argamassa de assentamento e pela seção transversal do bloco que pode resistir à tração lateral. Por outro lado, a resistência de blocos perfurados tende a ser mais alta devido à melhor queima. A altura do bloco também influencia uma vez que a expansão lateral do bloco diminui com o aumento da altura. Padroniza-se a altura do bloco em 190 mm e a espessura da argamassa em 10 mm a fim de garantir resultados comparáveis entre diferentes pesquisas.

Em relação à altura do prisma ocorre uma redução da resistência quando a altura é elevada, estando associada à diminuição do efeito de confinamento dado pelos pratos de aplicação de carga, permitindo que a fissuração vertical ocorra sem restrição. Prisma com dois blocos são utilizados no controle de qualidade,

apresentando maior facilidade no transporte, quando moldados na obra, e permite a utilização de vários tipos de máquinas de ensaio devida a sua pequena altura.

A resistência à compressão do prisma depende da resistência do bloco, nos blocos de cerâmica a resistência no prisma não aumenta de forma linear, ocorrendo pouco aumento da resistência do prisma à medida que aumenta a do bloco. Mas em blocos de concreto vazado eleva a resistência do prisma com o aumento da do bloco.

Para uma melhor representatividade do comportamento da alvenaria, o prisma deveria ser construído com o mesmo tipo de amarração e forma de disposição da argamassa como é construída a parede. Entretanto, em termos práticos e de padronização isso não é comum, sendo o prisma confeccionado com junta não armada, empilhando-se um bloco sobre o outro.

Padronizou-se a espessura da junta de assentamento em 10 mm para a maioria das alvenarias, mas a falta de mão de obra especializada pode elevar essa espessura para acima do limite permitido. O aumento da espessura da junta causa uma redução significativa na resistência do prisma, maior deformação lateral e fissuras sob cargas menores.

A forma de disposição de argamassa de assentamento modifica a forma de ruptura do prisma de blocos vazados. A resistência à compressão do argamassamento lateral é de 4 a 11 % maior que o argamassamento total considerando apenas a área efetiva. Para área bruta utilizando argamassa apenas na lateral causa uma redução de 20% da resistência do prisma.

Alvenarias totalmente grauteada tem resistência à compressão menor que a esperada pela combinação da resistência do graute mais a do bloco. O uso do graute é eficiente para aumento da resistência à compressão.

Normas brasileiras não apresentam tabelas com a relação prisma/blocos, mas recomendam que os ensaios de caracterização de prismas e blocos devem ser realizados sempre antes de dar início a uma construção, ou pelo menos pelos fabricantes de blocos a cada 6 meses.

Camacho (1986) relaciona a resistência da alvenaria com a resistência da argamassa através de uma raiz cúbica ou quarta. Embora possa parecer que este fato indica pouca influência da argamassa na resistência da alvenaria, o autor concluiu que a argamassa é quem conduz o modo de ruptura do conjunto. A influência da resistência da argamassa sobre a alvenaria aumenta com o acréscimo

de resistência da unidade. Gomes (1983) afirma que, com o aumento da resistência da argamassa, ocorre uma mudança no modo de ruptura da alvenaria, tornando a ruptura excessivamente frágil não acompanhando, portanto, os eventuais movimentos da estrutura.

3 METODOLOGIA

Neste capítulo serão apresentados os procedimentos para verificar qual a influência da argamassa sobre a resistência a compressão do prisma, de maneira a garantir resultados previsíveis para o prisma a partir do conhecimento da resistência da argamassa e do bloco.

Foram testados argamassa com resistência de 4, 8 e 10 MPa em prismas confeccionados com 2 blocos e duas resistências de bloco de resistência igual a, 7 e 10 MPa.

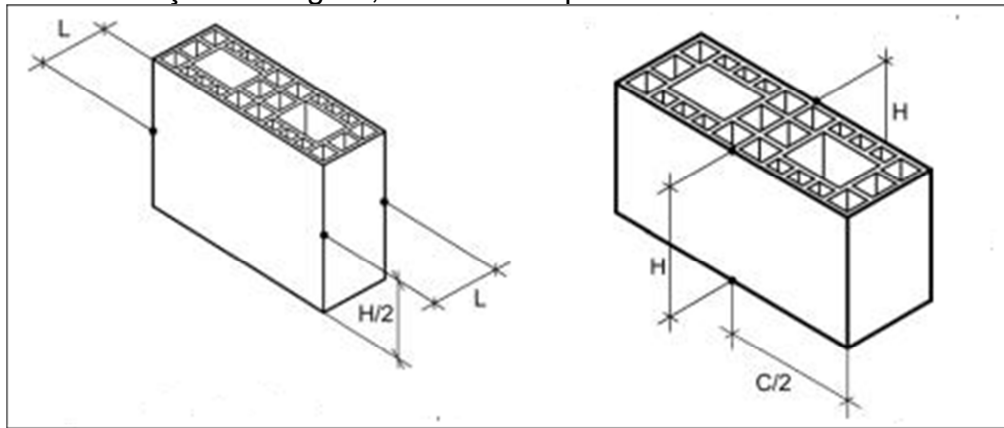
3.1 Resistência do bloco cerâmico

A resistência do bloco cerâmico foi avaliada conforme a NBR 15270-3 (ABNT, 2005). Para a determinação das características geométricas foram realizados os ensaios de medida das faces, espessura dos septos e paredes externas dos blocos, desvio em relação ao esquadro e planeza das faces. Os aparelhos e instrumentos necessários são régua metálica com sensibilidade mínima de 0,5 mm e esquadro metálico de $90 \pm 0,5^\circ$.

O procedimento para a verificação das dimensões consistiu em identificar os blocos, limpá-los, retirar as rebarbas e acomodá-los em ambiente que preservasse suas características. O corpo-de-prova era constituído por um bloco sem defeitos. Em uma superfície plana foram obtidos os valores da largura, altura, comprimento, espessura da parede internas e externas, espessura dos septos, desvio em relação ao esquadro e planeza das faces.

A Figura 6 apresenta os locais onde as medições foram realizadas no bloco para verificar a largura, altura e comprimento.

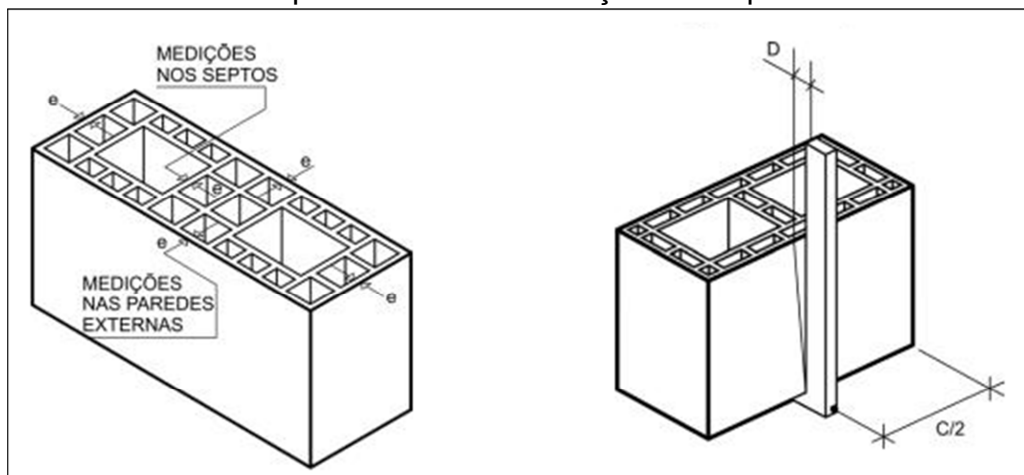
Figura 6 – Verificação da largura, altura e comprimento



Fonte: NBR 15270-3 (ABNT, 2005, p.8)

A Figura 7 apresenta as medições das espessuras dos septos e desvio em relação ao esquadro.

Figura 7 – Medidas dos septos e desvio em relação ao esquadro



Fonte: NBR 15270-3 (ABNT, 2005, p.11)

Para determinar a resistência à compressão do bloco foi necessário utilizar uma prensa aferida e passível de controle da velocidade de aplicação da carga. Primeiramente foi realizado o ensaio de determinação geométrica do bloco e o capeamento das faces de trabalho com pasta de cimento ou argamassa. Após o endurecimento da camada de regularização, o corpo de prova ficou imerso em água, por 6 horas. O ensaio foi realizado de modo que a carga ficasse aplicada na direção do esforço que o bloco deve suportar durante o seu emprego. Seis corpos-de-prova foram ensaiados. A figura 8 apresenta o bloco cerâmico capeado e o ensaio para determinação da resistência à compressão em prensa hidráulica.

Figura 8 – Bloco capeado e ensaio de resistência a compressão



Fonte: Santos (2008, p.67)

3.2 Preparação da argamassa e determinação do índice de consistência

A preparação da argamassa industrializada e o ensaio de índice de consistência seguiram a NBR 13276 (ABNT, 2005). Para determinação, foram necessários os aparelhos: balança com resolução de 0,1 g, mesa para índice de consistência, molde tronco cônico, soquete metálico, misturador mecânico e paquímetro.

A preparação foi realizada da seguinte forma: pesar a água necessária informada pelo fabricante, colocar à água no recipiente do misturador, após colocasse o material seco de modo contínuo e liga-se o misturador por 30 segundos. Depois é desligado, removida a pá de mistura e raspada toda a superfície interna do recipiente e da pá. Depois é recolocada a pá em um intervalo de 60 segundos, ligado novamente o equipamento e misturado pelo tempo determinado pelo fabricante.

Para o ensaio de índice de consistência foi preparada uma quantidade suficiente de argamassa para encher o molde tronco-cônico, sendo que o mesmo foi colocado no centro da mesa para índice de consistência. O molde foi cheio em três camadas sucessivas, com alturas aproximadamente iguais, e aplicadas em cada uma delas 15, 10 e 5 golpes respectivamente com um soquete. O rasamento foi realizado com uma espátula metálica, o molde foi retirado e aplicou-se 30 golpes de modo que a mesa subisse e caísse 30 vezes em 30 segundos. Logo após a última queda foi medido em três pontos com o paquímetro o diâmetro formado pela

amostra. O índice de consistência da argamassa é a media das três diâmetros, expresso em milímetros.

3.3 Resistência a compressão e tração na flexão da argamassa

Na argamassa foram realizados dois ensaios, resistência à compressão e resistência à flexão na tração. Normatizados pela NBR 13279 (ABNT, 2005), a aparelhagem necessária foi: moldes prismáticos metálicos formando três compartimentos de 4 cm x 4 cm x 16 cm, mesa de adensamento por queda, nivelador de camadas (duas espátulas de dimensões diferentes), régua metálica, máquina para ensaios de resistência à tração na flexão e de compressão, dispositivo de carga para ensaio de resistência à tração na flexão, capaz de aplicar uma carga uniforme e sem choque de 50N/s, dispositivo de carga para ensaio de resistência à compressão, capaz de aplicar uma carga uniforme e sem choque de 500N/s, cronômetro e utensílios de laboratório.

O local do ensaio estava com temperatura do ar entre 21 e 24 °C e umidade relativa entre 55 e 65%. Os moldes foram colocados sobre a mesa de adensamento e aplicou-se uma fina camada de óleo mineral na parte interna.

Após o preparo da argamassa colocou-se nos moldes uma porção, e com o auxílio do nivelador espalhou-se até formar uma camada uniforme, em seguida foi aplicado 30 quedas através da mesa de adensamento, colocou-se a segunda camada, espalhou-se e foi aplicada novamente 30 quedas. Imediatamente após rasar os corpos-de-prova com a régua metálica, os mesmos ficaram nos moldes de 24 horas. Em seguida foi desmoldado e mantido no local do ensaio até a ruptura.

A ruptura foi realizada aos 28 dias de idade dos corpos-de-prova.

No ensaio de resistência à tração na flexão posicionou-se o corpo-de-prova nos dispositivos de apoio do equipamento ensaio, de modo que a fase rasada não fique em contato com os dispositivos de apoio nem com o dispositivo de carga como apresentado na figura 9. A carga aplicada foi de 40 a 60 N/s até a ruptura e a resistência foi calcula pela equação 1.

$$R_f = \frac{1,5 \cdot F_t \cdot L}{40^3} \quad \dots(1)$$

Onde:

R_f é a resistência à tração na flexão, em megapascals;

F_t é a carga aplicada verticalmente no centro do prisma, em newtons;

L é a distância entre os suportes, em milímetros;

Figura 9– Ensaio para determinar a resistência à tração na flexão



Fonte: Concretest testes e análises LTDA (2012, não paginado)

Para o ensaio de resistência a compressão axial utilizou-se as metades dos três corpos-de-prova utilizados no ensaio de flexão, posicionou-se no apoio do equipamento de ensaio, a face rasada não pode ficar em contato com o dispositivo de apoio nem com o dispositivo de carga conforme a figura 10. A carga aplicada foi de 450 a 550 N/s até a ruptura. A resistência a compressão foi calcula pela equação 2.

$$R_c = \frac{F_c}{1600} \quad \dots(2)$$

Onde:

R_c é a resistência à compressão, em megapascal;

F_c é a carga máxima aplicada, em newtons;

1600 é a área da seção considerada 40 mm x 40 mm

Figura 10 – Ensaio para determinar a resistência à compressão



Fonte: Leão (2008, p.66)

O resultado de cada corpo de prova foi arredondado ao centésimo mais próximo. A resistência média a tração na flexão é a média dos 3 corpos-de-prova e na compressão é a média dos 6 corpos-de-prova ensaiados.

3.4 Resistência a compressão do prisma

O ensaio a compressão do prisma foi executado conforme a NBR 15961-2 (ABNT, 2011), para o ensaio a compressão utilizou-se prensa com altura mínima útil superior ao dobro da altura dos blocos, mais a espessura da argamassa de assentamento e o capeamento dos dois lados acrescido de 1 cm.

Para a preparo dos prismas foi utilizado nível, prumo e colher de pedreiro. O prisma foi preparado sobre uma base plana, limpa e indeformável. Colocou-se o bloco sobre a base e outro bloco do mesmo lote, assentado sobre a argamassa. A argamassa foi disposta sobre toda a face do bloco, com um martelo de borracha e com o nível de prumo foi colocado o bloco em sua posição final resultando assim em uma junta com 10 ± 3 mm.

O capeamento foi feito com argamassa possuindo resistência superior a resistência dos blocos na área líquida. A superfície onde foi realizado o capeamento não pode se afastar do plano mais que 0.08 mm para cada 400 mm. A superfície estava plana e uniforme no momento do ensaio e o capeamento tinha espessura média igual ou inferior a 3 mm.

O ensaio seguiu os seguintes procedimentos: a carga foi aplicada na direção do esforço que o bloco deve suportar durante o seu emprego na alvenaria. O centro de gravidade do prisma estava no eixo de carga dos pratos da prensa. A tensão foi calculada na área bruta. A ruptura do prisma foi realizada conforme à figura 11.

Figura 11 – Ruptura do prisma



Fonte: Tecnocon (2012, não paginado)

4 APRESENTAÇÃO DA PESQUISA E ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1 Ensaio com blocos cerâmicos

Foram utilizados blocos cerâmicos estruturais com dimensão de 14x19x29cm de 7 MPa com paredes vazadas e fases ranhuradas conforme ilustrado na figura 12, e 10 MPa com paredes maciças e fases lisas ilustrado na figura 13. Todos os blocos estavam devidamente identificados pelo fabricante, sem quebras ou trincas, as amostras apresentavam-se conforme determina a NBR 15270-3 (ABNT, 2005).

Figura 12 – Blocos com paredes vazadas e fases ranhuradas – 7 MPa



Fonte: Elaboração Própria

Figura 13 – Bloco com paredes maciças e fases lisas – 10 MPa



Fonte: Elaboração Própria

4.1.1 Características geométricas

As inspeções visuais e os ensaios quanto as dimensões efetivas, espessuras mínimas de paredes e septos e desvios máximos são apresentados na Tabela 1 para o bloco de 7 MPa e na Tabela 2 para o bloco de 10 MPa.

Tabela 1 – Características Geométricas - Blocos de 7 MPa

Amostra	Dimensões efetivas médias dos blocos (mm)			Espessuras mínimas (mm)				Desvios máximos (mm)	
	Largura	Altura	Comprimento	Parede externa	Septos	Parede vazada	Vazados	Esquadro	Flecha
1	141	188	288	11	7	35	71	2	1
2	140	189	289	10	7	33	71	1	1
3	141	190	290	9	7	33	71	1	1
4	140	190	288	10	7	34	71	2	2
5	139	188	290	9	8	34	73	2	1
6	140	189	289	10	7	35	71	1	1
7	140	189	289	9	7	33	71	2	1
8	141	189	288	10	8	34	71	2	1
9	140	190	290	11	7	35	72	1	1
10	139	189	288	10	7	33	71	2	0
11	141	191	290	10	7	35	73	2	1
12	141	189	288	9	7	34	71	1	1
13	140	188	288	9	8	34	72	1	0
Média	140,2	189,2	288,8	9,8	7,2	34	71,5	1,5	0,9

Fonte: Elaboração Própria

Tabela 2 – Características Geométricas - Blocos de 10 MPa

Bloco	Dimensões efetivas médias dos blocos (mm)			Espessuras mínimas (mm)				Desvios máximos (mm)	
	Largura	Altura	Comprimento	Parede externa	Septos	Parede vazada	Vazados	Esquadro	Flecha
1	140	192	290	22	15	49	97	1	1
2	140	191	289	21	15	49	97	1	1
3	140	191	289	21	15	49	96	1	1
4	140	192	290	21	15	49	96	0	1
5	140	192	290	22	15	48	96	1	0
6	140	192	290	21	15	50	97	0	0
7	140	192	290	21	15	49	96	1	1
8	140	192	290	22	15	49	96	1	1
9	141	191	290	21	16	49	97	1	1
10	141	192	290	22	16	49	97	2	1
11	140	191	289	22	15	48	96	1	1
12	140	191	289	21	15	49	97	1	1
13	140	192	290	23	16	49	96	1	0
Média	140,2	191,6	289,7	21,5	15,2	48,9	96,5	0,9	0,8

Fonte: Elaboração Própria

Quanto a análise dimensional, a NBR 15270 – 2 (ABNT, 2005), especifica as tolerâncias dimensionais que as dimensões efetivas médias possuem, determinadas por medição individual. Esta tolerância é de $\pm 5\text{mm}$ para as determinações individuais, e de $\pm 3\text{mm}$ para a média das determinações. Para blocos de paredes vazadas, a espessura mínima das paredes externas deve ser de 8mm e dos septos de 7mm, o desvio em relação ao esquadro e a flecha máxima (planeza das faces) permitida é de 3mm. Pelos parâmetros de aceitação e rejeição, permite-se verificar pelos ensaios realizados nas amostras, que as mesmas estão em conformidade com a norma.

4.1.2 Ensaio a compressão

Foi utilizada uma amostra com treze blocos para o ensaio a compressão, porém os resultados de alguns blocos, por falhas laboratoriais, precisaram ser descartados. A Tabela 3 apresenta os resultados da amostra formada com blocos de 7 MPa onde foram descartados 4 resultados, resultando uma amostra de nove

blocos. A Tabela 4 apresenta os resultados para blocos de 10 MPa, sendo que foram descartados 3, resultando uma amostra de 10 blocos.

Tabela 3 – Resistência a Compressão – Bloco de 7 MPa

Valores	Média	Desvio Padrão	Desvio Relativo
21,2	21,48	1,14	-0,28
22,7			1,22
20,3			-1,18
22,4			0,92
20,6			-0,88
21,7			0,22
22,9			1,42
21,9			0,42
19,6			-1,88

Fonte: Elaboração Própria

Tabela 4 – Resistência a Compressão – Blocos de 10 MPa

Valores	Média	Desvio Padrão	Desvio Relativo
16	17,40	1,42	-1,40
15,3			-2,10
18,8			1,40
18			0,60
18,1			0,70
19,3			1,90
17,1			-0,30
15,3			-2,10
17,9			0,50
18,2			0,80

Fonte: Elaboração Própria

As amostras apresentaram resistência característica média superior ao estipulado pelo fabricante. A explicação pode estar no fato das olarias não terem um controle nas características de resistência em função do tipo de argila e processo de queima, diferentemente dos blocos de concreto onde a resistência é modificada e controlada com o teor do cimento.

4.2 Ensaaios com argamassa

Utilizou-se argamassas de 4, 8 e 10 MPa, as mesmas foram ensaiadas a flexo-tração e a compressão de acordo com a NBR 13279 (ABNT, 2005). A tabela 5 demonstra a relação de água e massa seca de argamassa de acordo com as resistências.

Tabela 5 – Relação de água e massa seca

	Resistência		
	4 MPa	8MPa	10 MPa
Água (mL)	440	435	450
Água (%)	17,6	17,4	18
Massa Seca(g)	2500		

Fonte: Elaboração Própria

O ensaio de índice de consistência foi realizado conforme as recomendações da norma NBR 13276 (ABNT, 2005), o resultado obtido de 260 mm para as três resistências ensaiadas encontra-se dentro da média recomendada pela norma de 260 ± 5 .

4.2.1 Resistência a compressão e à tração na flexão

Para cada resistência utilizada de argamassa, 3 corpos de prova foram confeccionados. Os corpos de prova prismáticos de 4x4x16cm foram submetidos primeiramente ao ensaio de tração na flexão, com uma carga centrada no meio da barra que era bi apoiada com um vão de 8 cm e posteriormente foi realizado o ensaio a compressão com as duas partes da barra dividida conforme a NBR 13279 (ABNT, 2005), a figura 14 representa o procedimento dos ensaios. A Tabela 6 incida os resultados de ambos os ensaios para a resistência de 4 MPa, a Tabela 7 para 8 MPa e a Tabela 8 para 10 MPa.

Figura 14 – Ensaio de tração na flexão e compressão



Fonte: Leão (2008, p.66)

Tabela 6 – Resistência a compressão e à tração na flexão, argamassa 4MPa.

Lado (mm)	Leitura (mm)	Exemplar	Carga Flexão (N)	Resistência Tração (MPa)	Compressão (N)	Resistência Compressão (MPa)	Média T (MPa)	Média C (MPa)	ABS (T)	ABS (C)
40	50	1	740	1,73	8.100	5,06	1,8	4,9	0,05	0,11
					7.600	4,75				0,20
40	42	2	630	1,48	7.800	4,88			0,31	0,07
					8.000	5,00				0,05
40	63	3	918	2,15	8.300	5,19			0,36	0,24
					7.700	4,81				0,14
Desvio Padrão (MPa)				0,3		0,2				
Desvio Absoluto Máximo (MPa)				0,4		0,2	Tração/Compressão (%)		36,12	
Coeficiente de Variação (%)				19,1		3,3				

Fonte: Elaboração Própria

Tabela 7 – Resistência a compressão e à tração na flexão, argamassa de 8 MPa

Lado (mm)	Leitura (mm)	Exemplar	Carga Flexão (N)	Resistência Tração (MPa)	Compressão (N)	Resistência Compressão (MPa)	Média T (MPa)	Média C (MPa)	ABS (T)	ABS (C)
40	75	4	1.08	2,54	15.300	9,56	2,6	9,4	0,10	9,47
			3		15.600	9,75				9,65
40	74	5	1.06	2,51	15.300	9,56			0,13	9,47
			9		15.000	9,38				9,28
40	85	6	1.22	2,86	14.800	9,25			0,23	9,15
			0		14.500	9,06				8,97
Desvio Padrão (MPa)				0,2		0,2				
Desvio Absoluto Máximo (MPa)				0,2		0,4	Tração/Compressão(%)		27,94	
Coeficiente de Variação (%)				7,4		2,6				

Fonte: Elaboração Própria

Tabela 8 – Resistência a compressão e à tração na flexão, argamassa de 10 MPa

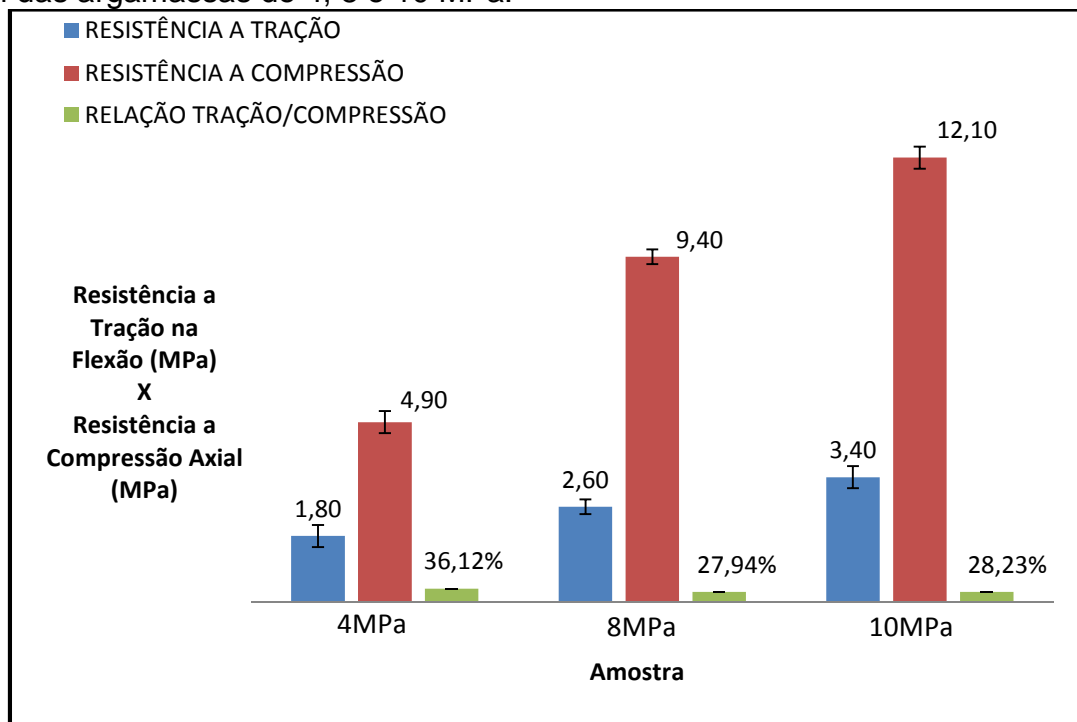
Lado (mm)	Leitura (mm)	Exemplar	Carga Flexão (N)	Resistência Tração (MPa)	Compressão (N)	Resistência Compressão (MPa)	Média T (MPa)	Média C (MPa)	ABS (T)	ABS (C)
40	100	7	1.426	3,34	18.700	11,69	3,4	12,1	0,08	0,42
					19.500	12,19				0,08
40	112	8	1.590	3,73	19.900	12,44			0,31	0,33
					20.000	12,50				0,40
40	95	9	1.357	3,18	18.900	11,81			0,24	0,29
					19.200	12,00				0,10
Desvio Padrão (MPa)				0,3		0,3				
Desvio Absoluto Máximo (MPa)				0,3		0,4	Tração/Compressão (%)			28,23
Coeficiente de Variação (%)				8,2		2,7				

Fonte: Elaboração Própria

Em todos os ensaios as amostras apresentaram resistência média superior ao especificado pelo fabricante.

A relação entre a resistência a tração e compressão foi 36,12%, 27,94% e 28,23% respectivamente para as argamassas de 4, 8 e 10 MPa, gráfico 1 apresenta uma comparação entre as resistências à tração na flexão e a resistência à compressão.

Gráfico 1 - Relação entre as resistências médias à tração na flexão e na compressão axial das argamassas de 4, 8 e 10 MPa.



Fonte: Elaboração Própria

A argamassa de 4 MPa foi a que apresentou maior relação entre as resistências, seguida pela de 10MPa e posteriormente pela de 8 MPa.

4.3 Resistência a compressão do prisma

Os prismas foram ensaiados de acordo com a NBR 15961-2 (ABNT,2011) em prensa hidráulica aos 28 dias após a confecção conforme a figura 15.

Figura 15 – Prisma rompido na prensa hidráulica aos 28 dias



Fonte: Elaboração Própria

As tabelas 9, 10, 11, 12, 13 e 14 apresentam a resistência à compressão do prisma em relação a área bruta, identificadas conforme a resistência do bloco e a da argamassa utilizada.

Tabela 9 – Prisma com bloco de 7 MPa e argamassa de 4 MPa

Unidade	Largura	Comprimento	Área	Carga	Tensão	Média	Desvio	c.v.
nº	mm	mm	mm ²	N	MPa	MPa	MPa	%
1	141	290	40.890	195.000	4,8	4,6	0,4	8,4
2	142	290	41.180	200.000	4,9			
3	140	291	40.740	175.000	4,3			
4	139	291	40.449	160.000	4,0			
5	139	291	40.449	200.000	4,9			
6	139	289	40.171	190.000	4,7			

Fonte: Elaboração Própria

Tabela 10 – Prisma com bloco de 7 MPa e argamassa de 8 MPa

Unidade	Largura	Comprimento	Área	Carga	Tensão	Média	Desvio	c.v.
nº	mm	mm	mm ²	N	MPa	MPa	MPa	%
7	139	288	40.032	205.000	5,1	5,3	0,9	16,3
8	142	290	41.180	175.000	4,2			
9	139	289	40.171	275.000	6,8			
10	141	291	41.031	205.000	5,0			
11	141	289	40.749	205.000	5,0			
12	140	289	40.460	215.000	5,3			

Fonte: Elaboração Própria

Tabela 11 – Prisma com bloco de 7 MPa e argamassa de 10 MPa

Unidade	Largura	Comprimento	Área	Carga	Tensão	Média	Desvio	c.v.
nº	mm	mm	mm ²	N	MPa	MPa	MPa	%
13	140	289	40.460	280.000	6,9	7,4	0,5	6,3
14	140	290	40.600	300.000	7,4			
15	139	289	40.171	330.000	8,2			
16	141	292	41.172	305.000	7,4			
17	142	292	41.464	290.000	7,0			
18	139	290	40.310	290.000	7,2			

Fonte: Elaboração Própria

Tabela 12 – Prisma com bloco de 10 MPa e argamassa de 4 MPa

Unidade	Largura	Comprimento	Área	Carga	Tensão	Média	Desvio	c.v.
nº	mm	mm	mm ²	N	MPa	MPa	MPa	%
19	139	289	40.171	215.000	5,4	5,0	0,4	7,2
20	139	290	40.310	205.000	5,1			
21	141	291	41.031	215.000	5,2			
22	140	292	40.880	190.000	4,6			
23	139	290	40.310	200.000	5,0			
24	140	291	40.740	180.000	4,4			

Fonte: Elaboração Própria

Tabela 13 – Prisma com bloco de 10 MPa e argamassa de 8 MPa

Unidade	Largura	Comprimento	Área	Carga	Tensão	Média	Desvio	c.v.
nº	mm	mm	mm ²	N	MPa	MPa	MPa	%
25	141	289	40.749	290.000	7,1	5,5	0,8	14,5
26	139	291	40.449	205.000	5,1			
27	139	291	40.449	210.000	5,2			
28	140	292	40.880	220.000	5,4			
29	140	292	40.880	205.000	5,0			
30	140	290	40.600	215.000	5,3			

Fonte: Elaboração Própria

Tabela 14 – Prisma com bloco de 10 MPa e argamassa de 10 MPa

Unidade	Largura	Comprimento	Área	Carga	Tensão	Média	Desvio	c.v.
nº	mm	mm	mm ²	N	MPa	MPa	MPa	%
31	140	291	40.740	400.000	9,8	8,7	0,6	6,6
32	139	289	40.171	345.000	8,6			
33	140	291	40.740	335.000	8,2			
34	140	291	40.740	350.000	8,6			
35	141	291	41.031	355.000	8,7			
36	140	291	40.740	340.000	8,3			

Fonte: Elaboração Própria

Define-se como eficiência a relação entre a resistência à compressão entre o prisma e o bloco. A eficiência para o bloco de 7 MPa é apresentada na tabela 15 e para o bloco de 10 MPa na tabela 16.

Tabela 15 – Resistência prisma/bloco (eficiência) – Bloco de 7 MPa

Bloco 7 Mpa	Argamassa		
	4 Mpa	8 Mpa	10 Mpa
Eficiência prisma/bloco (%)	21,42	24,67	34,45

Fonte: Elaboração Própria

Tabela 16 – Resistência prisma/bloco (eficiência) – Bloco de 10 MPa

Bloco 10 Mpa	Argamassa		
	4 Mpa	8 Mpa	10 Mpa
Eficiência prisma/bloco (%)	28,74	31,61	50,00

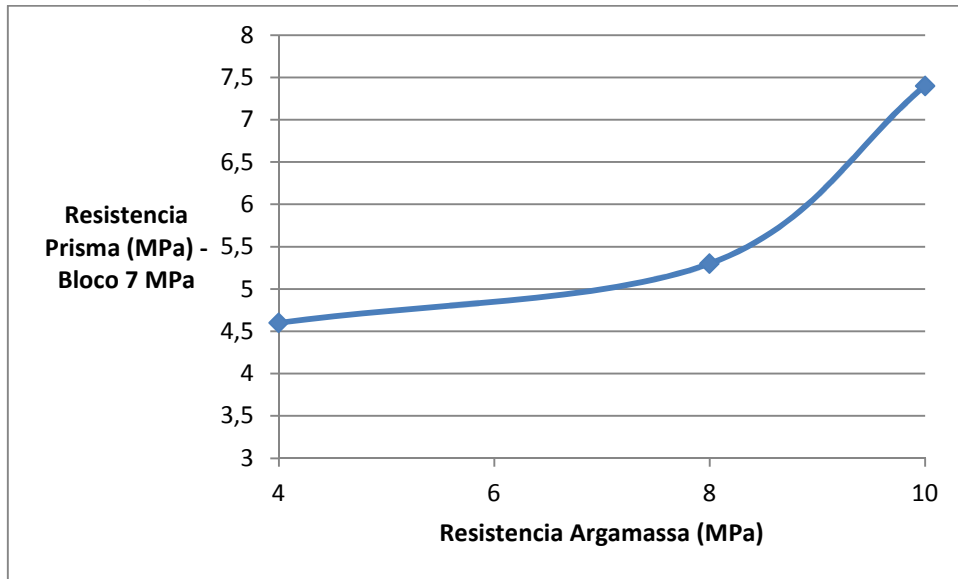
Fonte: Elaboração Própria

Com base nos dados obtidos é possível avaliar que o bloco de 10 MPa em conjunto com a argamassa de 10 MPa apresentou a melhor eficiência prisma/bloco, chegando a 50%.

Santos (2008) encontrou resultados semelhantes, para blocos de paredes vazadas a eficiência medida por ele ficou entre 21,7% a 35,9%, quando aumentada à resistência da argamassa de 4,4 MPa para 16,8 MPa, respectivamente. Já para o bloco de paredes maciças, o pesquisador obteve eficiências entre 21,3% e 48,7%, para os mesmos tipos de argamassa.

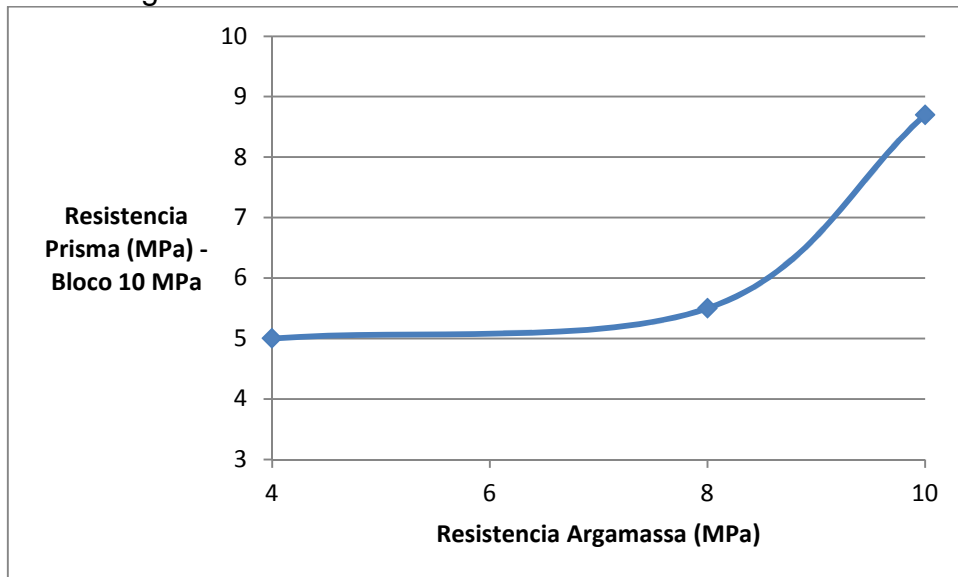
Em relação à argamassa, pode-se perceber que conforme aumenta sua resistência à compressão, eleva-se a resistência à compressão do prisma conforme ilustrado nos gráficos 2 e 3.

Gráfico 2 – Relação entre a resistência à compressão do prisma e a resistência a compressão da argamassa – bloco de 7 MPa



Fonte: Elaboração Própria

Gráfico 3 – Relação entre a resistência à compressão do prisma e a resistência a compressão da argamassa – bloco de 10 MPa



Fonte: Elaboração Própria

A falha ou ruptura de prismas depende da resistência dos elementos argamassa e bloco, e da interação entre eles. Ao se aplicar uma carga de compressão no prisma, em função da diferença entre os módulos de elasticidade, surge um estado de tensões compressão/tração no bloco e um estado de compressão triaxial na argamassa. A ruptura acontecerá quando um dos limites for

atingido. Se a tensão de compressão de confinamento da argamassa for alcançada, acontece o esmagamento da junta e a indução de tração localizada no bloco, resultando na ruptura. Se a resistência à tração do bloco é atingida, acontece a fissuração do bloco e ruptura do prisma, (MOHAMAD, 2007).

A ductilidade dos prismas também depende basicamente da resistência da argamassa. Argamassas mais fracas rompem de forma mais lenta, pois possuem maior capacidade de absorver deformações, ou seja, resultam em prismas de comportamento mais dúcteis. Já nos prismas com argamassas mais "fortes" (menos porosas) ocorre o esmagamento da mesma (Santos, 2008).

Foi observado que para os prismas de blocos e argamassa de 10 MPa, houve o esmagamento da junta, havendo o descolamento da mesma na interface superior da junta com o bloco. Já para os prismas de argamassa de 4 MPa e bloco de 7 MPa, a ruptura deu-se por tração no bloco. A deformabilidade da junta induziu a concentração de tensões no bloco, levando-o a ruptura. As figuras 16 e 17 demonstram estas formas de ruptura.

Figura 16 – Ruptura por esmagamento da junta no prisma com bloco de 10 MPa e argamassa de 10 MPa.



Fonte: Elaboração Própria

Figura 17 – Ruptura por fendilhamento do bloco no prisma com bloco de 7 MPa e argamassa de 4 MPa.



Fonte: Elaboração Própria

Os modos de ruptura observados neste trabalho são semelhantes às observações de outros autores. Hamid e Drysdale (1979) sugerem que a ruptura na alvenaria acontece devido ao surgimento de um estado de tensão biaxial tração e compressão, por consequência da pouca rigidez da argamassa de assentamento. A unidade impede a argamassa de deformar-se na lateral, produzindo tensões de confinamento na mesma.

Cheema e Klingner (1986) estudaram os primas e concluíram que a ruptura acontece por diferentes ações, ou seja, quando a tensão de tração principal no bloco atingia a resistência do bloco à tração, a ruptura era por tração do bloco, quando a tensão principal de compressão no bloco atingia a resistência do bloco à compressão, a ruptura era por esmagamento do bloco, e quando a tensão de compressão axial da argamassa atingia a resistência à compressão da argamassa confinada, a ruptura era por esmagamento da argamassa.

Mohamad (1998) estudou prismas de blocos de concreto e observou que os prismas tiveram diferentes modos de rupturas, de acordo com a resistência da argamassa. E conclui que o esmagamento da junta não se traduziu na perda da capacidade resistente do conjunto, mas sim no surgimento de fissuras por fendilhamento no bloco.

Mohamad (2007), após estudar os ensaios experimentais realizados por diferentes autores, sugeriu a hipótese que o início da perda da capacidade resistente do conjunto acontece somente após o surgimento de esfacelamento na superfície do bloco superior. Assim, não se poderia afirmar que a causa da ruptura seja apenas a indução de tração no bloco ou o esmagamento da junta, a causa provável de ruptura é a associação de dois modos de ruptura. Dessa forma ao avaliar a resistência do prisma dever-se-ia utilizar a referência do bloco e da argamassa, sendo necessário o conhecimento da resistência última do conjunto e do modo de ruptura.

5 CONCLUSÃO

Foi feito o estudo sobre o comportamento das partes que constituem o prisma, sendo eles o bloco (unidade) e a argamassa verificando a influencia dos mesmos sobre a resistência a compressão dos prismas confeccionados.

Para o bloco foram determinadas as características geométricas e resistência a compressão, já na argamassa foram analisados o índice de consistência, resistência a compressão e resistência a tração na flexão. Com os resultados obtidos foi possível fazer um breve estudo do prisma, avaliando sua resistência à compressão e a forma de ruptura.

O ensaio de resistência à compressão e análise geométrica dos dois blocos de resistência nominal e geometria diferentes apresentou características geométricas dentro do exigido pela norma, mas resistência à compressão acima do informado pelo fabricante. O bloco de 7 MPa atingiu resistência de 21,48 MPa, já o de 10 MPa chegou a 17,40 MPa. A geometria do bloco influenciou significativamente na resistência do conjunto, pois o bloco de paredes vazadas possuía maior resistência comparado com bloco de paredes maciças, porem apresentou uma eficiência prisma/bloco menor.

As três argamassas industrializadas de 4, 8 e 10 MPa atingiram o índice de consistência que a norma determina e resistência a compressão superior ao especificado pelo fabricante, respectivamente, 4,9 , 9,4 e 12,1 MPa.

Foi possível observar que a ruptura dos prismas acontece de acordo com a resistência da argamassa utilizada, o aumento da resistência provocou a ruptura por esmagamento da junta de argamassa, pois a tensão de compressão de confinamento da argamassa foi alcançada. Para as argamassas menos resistentes ocorre o fendilhamento do bloco, fato explicado quando a resistência à tração é atingida, resultando em fissuração do bloco e ruptura do prisma.

Estudando de maneira separada argamassa e bloco e posteriormente o conjunto foi possível ter uma análise do que ocorre no prisma e qual a participação de cada elemento. O prisma confeccionado com argamassa de 10 MPa em conjunto com o bloco de paredes maciças de 10 MPa apresentou a resistência mais elevada, 8,7 MPa, pois o bloco possui a geometria de melhor eficiência e argamassa não foi limitante na resistência do prisma. Para os demais prismas confeccionados com blocos de 10 MPa, com argamassas de 4 e 8 MPa, as resistências a compressão

respectivamente são 5,5 e 8,7 MPa. Já para os prismas com blocos de 7 MPa, com argamassas de 4, 8 e 10 MPa, as resistências a compressão atingidas são 4,6 , 5,3 e 7,4 MPa, respectivamente.

REFERÊNCIAS

ABNT – Associação Brasileira de Norma Técnicas. **NBR 15961-1**. Alvenaria estrutural – blocos de concreto parte1: projetos. Rio de Janeiro, 2011a.

_____.**NBR 15270-2**. Componentes cerâmicos – parte 2: blocos cerâmicos para alvenaria estrutural – terminologia e requisitos. Rio de Janeiro, 2005.

_____.**NBR 15270-3**. Componentes cerâmicos – parte 3: blocos cerâmicos para alvenaria estrutural – métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2005.

_____.**NBR 15276**. Argamassa para assentamento e revestimento de parede e tetos: preparo da mistura e determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2005.

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

_____.**NBR 15961-1**. Alvenaria estrutural – bloco de concreto parte 1:projetos. Rio de Janeiro, 2011.

_____.**NBR 15961-2**. Alvenaria estrutural – blocos de concreto parte 2: execução e controle de obras. Rio de Janeiro, 2011.

CAMACHO, J.S. **Projeto de edifícios de alvenaria estrutural**. Universidade Estadual Paulista. Ilha Solteira, 2006. Disponível em: <<http://www.nepae.feis.unesp.br/Apostilas/Projeto%20de%20edificios%20de%20alvenaria%20estrutural.pdf>>. Acesso em: 01 jul. 2014.

CONCRETEST TESTES E ANALISES LTDA. **Fotos de alguns serviços prestados e da estrutura de nossa empresa**. 2012. Disponível em: <<http://concretestmg.wordpress.com/>>. Acesso em: 20 jul. 2014.

KALIL, S.M.B. **Alvenaria Estrutural**. PUCRS. Rio Grande do Sul. Disponível em: <http://www.feng.pucrs.br/professores/soares/Topicos_Especiais_-_Estruturas_de_Madeira/Alvenaria.pdf>. Acesso em: 01 jul. 2014.

LEÃO, C.T. **Resistência de prismas de blocos estruturais cerâmicos submetidos a esforços de compressão e tração na flexão**. 2008. 85f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

MASONRY SOCIETY (TMS). **The masonry society**. Disponível em: <<http://www.masonrysociety.org/>>. Acesso em: jun. 2005.

MANZIONE, L. **Projeto e execução de alvenaria estrutural**. São Paulo: O Nome da Rosa, 2004.

MOHAMAD, G.; RIZZATTI, E.; ROMAN, H.R. Propriedades da alvenaria e de seus componentes. In: MOHAMAD, G. **Alvenaria Estrutural**. São Paulo: Editora Blucher, 2015, p.63-95.

MOHAMAD, G.; RIZZATTI, E. Introdução a alvenaria estrutural In: MOHAMAD, G. **Alvenaria Estrutural**. São Paulo: Editora Blucher, 2015, p.12-21.

MOHAMAD, G. **Mecanismo de ruptura da alvenaria de blocos à compressão**. 2007. 155 f. Tese de Doutorado (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade do Minho, Escola de Engenharia, Guimarães, Portugal, 2007.

OLIVEIRA, F. A. L. **Argamassa industrializada: vantagens e desvantagens**. 2006. 21 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Anhembi Morumbi, São Paulo, 2006.

PARSEKIAN, G.A.; HAMID, A.A.; DRYSDALE, R.G. **Comportamento e dimensionamento de alvenaria estrutural**. 2ª Edição Revista. São Carlos: EdUFSCar, 2013.

PASQUALI, I. **Influência do tipo de argamassamento na resistência à compressão de pequenas paredes de alvenaria estrutural cerâmica**. 2007. 70f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

PAULUZZI, BLOCOS CERÂMICOS. **Alvenaria estrutural, o sistema**. 2012. Disponível em: <<http://www.pauluzzi.com.br/alvenaria.php?PHPSESSID=ccd0dd0c90aa9901b2a2e49d3182897c#Sistema>>. Acesso em: 01 jul. 2014.

RAMALHO, M. A.; CORRÊA, M. R. S. **Projetos de Edifícios de Alvenaria Estrutural**. Edição 1. São Paulo: PINI Ltda., 2003.

RIZZATTI, E.; ROMAN, H. R.; MOHAMAD, G.; NAKANISHI, E. Y. **Tipologia de blocos cerâmicos estruturais: influência da geometria dos blocos no comportamento mecânico da alvenaria**. Revista Matéria, Rio de Janeiro, v.16, n.2, p. 730-746, 2011. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1517-70762011000200008&lng=pt&nrm=iso>. Acesso em: 01 jul. 2014.

SANTOS, M.J.F. **Análise da resistência de prismas e pequenas paredes de alvenaria estrutural cerâmica para diferentes tipos de argamassas**. 2008. 68f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.

TAUIL, C. A.; NESE, F.J.M. **Alvenaria Estrutural**. Edição1. São Paulo: Editora PINI Ltda., 2010.

TAVARES, J.H. **Alvenaria Estrutural**: Estudo Bibliográfico e Definições. 2011. 58 f. Monografia (Graduação em Ciência e Tecnologia) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido. Mossoró, 2011.

TECNOCON ENGENHARIA. **Ensaio em blocos de alvenaria cerâmicos ou concreto**. 2012. Disponível em: < <http://www.tecnoconservicostecnicos.com.br/ser6.php> >. Acesso em: 28 jul. 2014.