

CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

Yuri dos Santos Tatim Filho

**ESTUDO DAS INTERFACES DAS ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO
ENTRE VIGAS/LAJES E ALVENARIA COM BLOCOS CERÂMICOS**

Santa Cruz do Sul

2019

Yuri dos Santos Tatim Filho

**ESTUDO DAS INTERFACES DAS ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO
ENTRE VIGAS/LAJES E ALVENARIA COM BLOCOS CERÂMICOS**

Trabalho de conclusão apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade de Santa Cruz do Sul para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. M.Sc. Eng. Marcus Daniel Friederich dos Santos

Santa Cruz do Sul

2019

AGRADECIMENTOS

Quando paramos para pensar em como dependemos de pessoas a nossa volta para que possamos chegar onde almejamos, começamos a refletir em cada momento e aprendizado ao longo da jornada percorrida. Ninguém chega a lugar algum absolutamente sozinho.

Na minha longa jornada de acadêmico, gostaria de agradecer as pessoas que de alguma forma me influenciaram a me tornar o profissional que pretendo ser. A principal dessas pessoas, é com toda absoluta certeza, minha mãe, Elizabeth, que não mediu esforços para que me tornasse um profissional da área de engenharia. À todos meus familiares, e em especial meu pai Yuri, meu irmão Willian, minha irmã Jessica, minha irmã Alessandra, meu cunhado Gustavo, minha namorada Karoline.

Agradeço aos meus colegas e futuros engenheiros, Guilherme Alves, Guilherme Calheiro e Julia Weber Reuter pelo companheirismo de toda a jornada e ajuda na elaboração de ensaios para o trabalho de conclusão. À todos os colegas e amigos que trilharam e acompanharam meu progresso, emitindo palavras de apoio.

Agradecimento especial também para minha segunda família, Suzana Schuh, Beto Schuh e Renata Schuh por todo apoio. À família Schroder também por todo apoio.

Aos laboratoristas ao qual agregaram aos ensaios realizados. Ao corpo docente da UNISC que é contemplado com sábios professores e profissionais. Em especial ao meu orientador professor Marcus Daniel Friedrich dos Santos, agradeço a oportunidade de poder contribuir aos estudos relacionados ao encunhamento a nível nacional, e por ter me transmitido um vasto conhecimento que com toda certeza irá agregar a minha carreira profissional, és um exemplo a ser seguido.

RESUMO

Uma das etapas e de muita importância, que é relacionada com muitas causas patológicas contemporâneas, é a etapa da fixação da alvenaria de vedação na estrutura de concreto armado, ou encunhamento, como é geralmente conhecida. A NBR 8545:1984, normativa para execução de alvenaria sem função estrutural de tijolos e blocos cerâmicos, contém procedimentos ultrapassados com relação a execução atual, e principalmente a respeito ao encunhamento. Autores elaboraram métodos a partir de estudos em como executar a correta fixação da alvenaria na viga de concreto armado. Visto que não existe normativas específicas relacionadas a região do encunhamento, a metodologia do trabalho foi elaborada a ensaios de argamassas disponíveis comercializadas para o uso e execução do encunhamento, concluindo quais teriam melhor desempenho segundo propostas de execução de autores. A metodologia utilizada para ensaios de tração na flexão e compressão foi conforme a NBR 13279:2005, e determinação do módulo de elasticidade pelo método da NBR 8522:2017 associada ao conhecimento da resistência dos materiais em que é possível determinar o módulo de elasticidade ou módulo de Young pela Lei de Hooke. As argamassas para encunhamento, segundo autores devem ter baixa resistência e módulo de elasticidade a fim de suportar as deformações que a viga impõe sobre a alvenaria, e das argamassas ensaiadas apenas ARG1 teve resultados satisfatórios de argamassa com baixa resistência e módulo de elasticidade, classificando-a como encunhamento resiliente, típica de argamassa com baixa módulo de elasticidade, segundo Sabbatini (2002) conforme citado por Daldon (2008). Mostrando uma real necessidade de critérios de uma normativa brasileira para execução e escolha do tipo de material para a fixação, ou encunhamento, da alvenaria de vedação na estrutura de concreto armado entre vigas/lajes e parede.

PALAVRAS-CHAVE: encunhamento, argamassas, patologia, resistência a compressão, resistência a tração na flexão.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Tipo de bloco cerâmico de classe VED	15
Figura 2 – Chapisco rolado para aumento da ligação alvenaria/estrutura.....	20
Figura 3 – Ligação da alvenaria com a estrutura por meio de tela metálica	21
Figura 4 – Conferencia da fiada de locação	22
Figura 5 – Alguns equipamentos utilizáveis para execução da alvenaria	23
Figura 6 – Gabarito para porta e janela em alvenaria de vedação.....	23
Figura 7 – Verga e contravergas no contorno de vão de janelas	24
Figura 8 – Última fiada da alvenaria de vedação em meio blocos vazados	25
Figura 9 – Fixação da alvenaria a estrutura com a bisnaga de agamassa.....	26
Figura 10 – Deformação do suporte maior que a deformação da viga superior.....	30
Figura 11 - Deformação do suporte inferior que a deformação da viga superior.....	30
Figura 12– Deformação do suporte idêntica que a deformação da viga superior	30
Figura 13 – Deformações causadas pela deformação dos componentes estruturais em paredes com aberturas.....	31
Figura 14 – Fissuras na alvenaria provocadas por deformação da viga na região do balanço.	31
Figura 15 – Fissura horizontal na base da parede provocada pela deformação excessiva da laje	32
Figura 16 – Destacamento provocado pela fixação precoce da alvenaria.....	32
Figura 17 – Equipamento para moldagem dos corpos de prova.....	34
Figura 18 – Mesa de adensameto para moldagem dos corpos de prova	34
Figura 19 – Máquina utilizada para realização dos ensaios	35
Figura 20 – Extensômetro utilizado para medir a deformação do corpo de prova.....	36
Figura 21 – Areia média utilizada para preparo da argamassa 1:6.....	38
Figura 22 – Balança utilizada para pesar os materiais utilizados no preparo das argamassas a serem ensaiadas	39
Figura 23 – Misturador mecânico.....	40
Figura 24 – Determinação do índice de consistência	41
Figura 25 – Determinação das medidas reais dos corpos de prova com auxilio de paquímetro	42
Figura 26 – Determinação da massa dos corpos de prova 4x4x16 cm.....	43
Figura 27 – Dispositivo de ensaio de resistencia a tração na flexão	45
Figura 28 – Dispositivo de ensaio resistencia a compressão.....	46

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Requisitos mínimos conforme a aplicação	15
Tabela 2 – Classificação dos tipos de encunhamnto e respectivos materiais.....	27
Tabela 3 – Tolerancia de tempo para ruptura dos corpos de prova por idade.....	35
Tabela 4 – Relação de materiais utilizados na mistura das argamassas	39
Tabela 5 – Densidade de massa aparente no estado endurecido ARG1	43
Tabela 6 - Densidade de massa aparente no estado endurecido ARG2.....	43
Tabela 7 - Densidade de massa aparente no estado endurecido ARG3.....	44
Tabela 8 - Densidade de massa aparente no estado endurecido ARG4.....	44
Tabela 9 - Densidade de massa aparente no estado endurecido ARG1:6	44
Tabela 10 - Densidade de massa aparente no estado endurecido ARG1:6A.....	45
Tabela 11 – Resistências a tração na flexão e compressão ARG1	46
Tabela 12 – Resistências a tração na flexão e compressão ARG2	47
Tabela 13 – Resistências a tração na flexão e compressão ARG3	47
Tabela 14 – Resistências a tração na flexão e compressão ARG4	48
Tabela 15 – Resistências a tração na flexão e compressão ARG1:6	48
Tabela 16 – Resistências a tração na flexão e compressão ARG1:6A	49
Tabela 17 – Resultados referentes ao modulo de elasticidade das argamassas.....	49
Tabela 18 – Resultados médios das argamassas para encunhamento ensaiadas	50
Tabela 19 – Classificação das argamassas	51

LISTA DE GRAFICOS

Grafico 1 – Resultados médios laboratoriais das argamassas	51
--	----

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	8
1.1 Área.....	8
1.2 Limitação do tema	8
1.3 Objetivo geral e específicos	9
1.3.1 Objetivo geral.....	9
1.3.2 Objetivos específicos.....	9
1.4 Justificativa	9
2 REFERENCIAL TEÓRICO	11
2.1 Tipos de alvenarias	11
2.1.1 Vedação vertical.....	11
2.1.2 Alvenaria	11
2.1.3 Alvenaria tradicional.....	11
2.1.4 Alvenaria racionalizada	12
2.2 Materiais e componentes.....	14
2.2.1 Blocos cerâmicos	14
2.2.2 Cimento	16
2.2.3 Agregados	16
2.2.4 Cal	17
2.2.5 Argamassa de assentamento	17
2.2.6 Argamassa de encunhamento	18
2.2.7 Espuma de Poliuretano	19
2.3 Execução da alvenaria de vedação	19
2.4 Fixação da alvenaria.....	25
2.5 Deformações das estruturas de concreto: lajes e vigas	28
2.6 Patologias.....	29
3 METODOLOGIA	33
3.1 Procedimentos e aparelhagem.....	33
3.2 Materiais utilizados	37
3.3 Preparação dos corpos de prova	39
4 RESULTADOS	42
4.1 Análise de resultados	50
5 CONCLUSÃO	52
5.1 Sugestão de trabalhos futuros	52

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS54

1 INTRODUÇÃO

Na execução de uma construção sólida e economicamente viável, todo pessoal da obra, do engenheiro ao servente, deverá ter conhecimento da utilização racional e econômica dos materiais, executar os serviços conforme regras certas de construir, e seguir instruções e recomendações das firmas fornecedoras (RIPPER, 1995).

Para Franco (2004), os fatores que explicam o porquê de as patologias não se manifestarem antes se relacionam diretamente com os desenvolvimentos tecnológicos de outras etapas da construção.

Um das etapas e de muita importância, que é relacionada com muitas causas patológicas contemporâneas, é a etapa da fixação da alvenaria de vedação na estrutura de concreto armado, ou encunhamento, como é geralmente conhecida. O processo é basicamente, o preenchimento de um espaço deixado propositalmente entre a alvenaria de vedação e a estrutura de concreto armado com material deformável e que suporte as deformações impostas da estrutura na parede.

Em estudos passados, elaborados por autores de renome na área da construção civil, obteve uma gama de conceitos e conhecimentos na tentativa de aprimoramento dos processos executivos da NBR 8545:1984.

1.1 Área

Visto que o tema é direcionado na região da fixação (encunhamento), o presente trabalho é voltado à área de execução e dos materiais de construção necessários no processo executivo, e ainda assim estudando as possíveis causas patológicas ocasionadas pela falha de procedimentos executivos incorretos da fixação.

1.2 Limitação do tema

A proposta do seguinte estudo é direcionada à interface entre vigas/lajes em concreto armado e alvenaria de vedação executadas com blocos cerâmicos vazados, a fixação (encunhamento). Bem como as deformações impostas da estrutura de concreto armado sobre a alvenaria. As interfaces entre pilares e alvenaria de vedação não serão estudadas a fundo.

1.3 Objetivo geral e específicos

1.3.1 Objetivo geral

Analisar os processos executivos de construção da alvenaria tradicional a alvenaria racionalizada, estudando as interfaces de contato entre blocos cerâmicos vazados e vigas/lajes, analisando patologias ocorridas na região do encunhamento.

1.3.2 Objetivos específicos

Serão estudados os seguintes assuntos:

- Estudo dos procedimentos executivos da alvenaria de vedação;
- Análise da interface entre viga de concreto armado e parede da alvenaria de vedação, na região da fixação (encunhamento);
- Verificação das deformações impostas pelas estruturas de concreto armado sobre a alvenaria de vedação;
- Estudo das prováveis causas patológicas geradas a partir das deformações impostas das vigas sobre a alvenaria de vedação;
- Análise do desempenho das argamassas para encunhamento presentes no mercado.

1.4 Justificativa

Visto que existem inúmeras manifestações patológicas na região da fixação presentes nas construções contemporâneas de edifícios em concreto armado. A região da fixação (encunhamento) é uma das principais causas patológicas a nível nacional.

A norma brasileira vigente NBR 8545, a qual explica sobre a execução de alvenaria sem função estrutural, é de julho de 1984, e contém procedimentos antigos de processos de execução, porém já existem novos estudos em como proceder a execução da alvenaria de vedação. Principalmente sobre os melhores procedimentos da interação das interfaces entre blocos cerâmicos e estruturas de concreto armado.

Em uma de suas publicações, Franco (2004) informou que o aprimoramento da execução das estruturas e vedações levou à alterações significativas no processo de encunhamento das alvenarias. O processo consistia em preencher a última camada entre a parede e a laje ou viga do pavimento superior com pedaços de bloco cerâmico ou de concreto. Os fragmentos atuavam como uma cunha no espaço do encunhamento. A justificativa desse processo era para que a parede não se movimentasse entre os pilares, porém em registro de casos ocasionados pela

pressão da deformação lenta da estrutura levava ao aparecimento de trincas e/ou rompimento de alvenarias, e revestimentos. O uso de concretos mais resistentes associado a introdução de ferramentas tecnológicas proporcionaram maior precisão ao projeto, portanto vigas e pilares passaram a atuar com tensões mais elevadas e tornaram-se mais flexíveis, logo passou a transferir mais cargas para a alvenaria.

A região da fixação (encunhamento) é uma das regiões que então se deve dar atenção na hora da execução da alvenaria de vedação. Portanto um tema para estudo a nível nacional, e de muita importância, visto que muitos edifícios podem ter menos problemas patológicos gerados pela falha no procedimento executivo da fixação da alvenaria de vedação na estrutura de concreto armado. Problemas patológicos geram depreciação do imóvel, além de abalar psicologicamente seus usuários.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Nesse capítulo, buscou-se conceitualizar todo o processo necessário para produção de alvenaria de vedação.

2.1 Tipos de alvenarias

Segundo Lordsleem Junior (2000), para melhor entender o significado de racionalização da atividade aplicada a execução de um edifício é importante conhecer o significado de vedação vertical, paredes de alvenaria, alvenaria tradicional e alvenaria racionalizada.

2.1.1 Vedação vertical

Para Lordsleem Junior (2000) a vedação vertical pode ser entendida como um subsistema do edifício constituído por elementos que definem e compartimentam os ambientes internos, controlando a entrada de ações indesejáveis, dentre os quais estão: intrusos, animais, poeira, vento, chuva, sol, calor e ruído. Além dessas funções, as vedações verticais servem para embutir instalações elétricas e hidráulicas, e criam condições de habitabilidade do edifício. As vedações verticais são as paredes, as esquadrias, e os revestimentos.

A NBR 15270:2017 define uma alvenaria de vedação como alvenaria que não é admitida como participante da estrutura.

2.1.2 Alvenaria

Lordsleem Junior (2000) diz que a alvenaria pode ser entendida pela união entre tijolos ou blocos cerâmicos ligados por juntas argamassadas, formando um conjunto rígido e coeso. A palavra alvenaria vem do termo árabe al-bannã, aquele que constrói (bannã significa construir). Chama-se alvenaria de vedação, aquela parede em que foi dimensionada à não suportar cargas além de seu peso próprio.

2.1.3 Alvenaria tradicional

A alvenaria tradicional é caracterizada pelos desperdícios de materiais e serviços prestados, soluções desenvolvidas no canteiro das obras por pedreiros ou no máximo por mestres, sem a fiscalização do processo de produção, ausência de padronização do processo de produção e ausência do prévio planejamento a execução (LORDSLEEM JUNIOR, 2000).

Os processos construtivos tradicionais são aqueles baseados na produção “artesanal” com uso intensivo de mão-de-obra, baixa mecanização (produção manual), com elevados desperdícios de mão-de-obra, material e tempo (BARROS,1996 apud SABBATINI, 1989).

Além de técnicas e métodos construtivos tradicionais, a alvenaria tradicional é caracterizado também por uma atividade de projeto tradicional, isto é, o projeto não é voltado ao processo de produção e é voltado apenas ao produto. Os projetos não passam coordenação, e quando passam, não se compatibilizam. Um exemplo é o projeto de instalações das tubulações, dos eletrodutos e aparelhos, muitas vezes não se compatibiliza com o projeto estrutural, tendo que cortar elementos estruturais ou não cabem na espessura disponível, no caso das lajes (BARROS, 1996).

A maioria das edificações executadas pelo processo construtivo convencional, utiliza para o fechamento dos vãos paredes de alvenaria de vedação tradicional, apresenta as seguintes características (SILVA et al, 2006):

- Mão-de-obra pouco qualificada executa os serviços com facilidade, mas nem sempre com a qualidade desejada;
- Tijolos ou blocos assentados para compor a parede é seccionado para a passagem de instalações e embutimento de caixas, logo depois, preenchido com remendo de argamassas os vazios;
- Desperdício de materiais;
- Eventuais problemas na execução são detectados somente por ocasião da conferência do prumo do revestimento, tendo aumento de consumo de argamassa e das ações permanentes atuantes na estrutura.

2.1.4 Alvenaria racionalizada

Para Sabbatini (1989), racionalização da construção é entendida como uma ação ou conjunto de ações com o objetivo de tornar a atividade construtiva mais racional. No entanto, é um conjunto de ações complexas na tentativa de obter-se um conceito simplificado. O mais eficiente é o mais racional, chamada solução ótima.

Lordsleem Junior (2000) entende o termo, racionalizações construtivas, todas as ações que objetivam otimizar os processos de produção da construção em todas as fases. Em outras palavras a melhor aplicação dos recursos nas atividades de execução do edifício. Vem contraponto a alvenaria tradicional. A alvenaria racionalizada segue as diretrizes dos processos construtivos de alvenaria estrutural em um nível de racionalização elevada. Dessa forma, deu-

se o nome de alvenaria racionalizada, por todas as ações que objetivam otimizar os recursos envolvidos na execução das alvenarias de vedação.

Franco (1998) diz que não se pode imaginar que a racionalização da vedação vertical é uma simples troca dos materiais e equipamentos tradicionais, por congêneres de maior qualidade e desempenho. O conceito de racionalização construtiva deve ser empregado quando as ações são planejadas desde o momento de concepção da construção.

Alvenaria racionalizada é aquela participante ou não da estrutura, construída a partir de um projeto específico (projeto de produção) contendo compatibilização entre instalações, coordenação modular e demais detalhes para uma execução com o melhor aproveitamento dos recursos disponíveis (NBR 15270:2017).

Nos processos construtivos racionalizados, todas as etapas de projeto são desenvolvidas em conjunto - projeto arquitetônico, estrutural, elétrico, hidrossanitário, impermeabilização, revestimentos etc. – interagindo para o projeto executivo, contendo informações suficientes para que seja produzido sem a necessidade de decisões subjetivas no momento de produção. A aplicação da metodologia de implantação de tecnologias construtivas racionalizadas na produção de um edifício, não resultará em um sucesso automático nas empresas construtoras. O processo de implantação das tecnologias inovadoras para se ter uma alvenaria racionalizada é complexo e depende de organizações, assim não existe uma “maneira milagrosa” que resolva o problema de todos (BARROS, 1996).

Para que a implantação de tecnologias construtivas racionalizadas possa ter sucesso, Barros (1996) propõe alguns elementos que devem estar presentes na organização para favorecer a introdução da metodologia, elas são:

- Estabelecimento de um sistema de decisões e de informação;
- Identificação da situação tecnológica da empresa;
- Disposição e a motivação para o aprendizado da empresa;
- Disponibilidade dos recursos.

Em contraponto a alvenaria tradicional, a alvenaria dita racionalizada apresenta as seguintes características (SILVA *et al*, 2006):

- Utilização de blocos de melhor qualidade, preferencialmente com furos na vertical, para assim poder passar as instalações;
- Planejamento prévio;
- Projeto de produção;
- Treinamento da mão-de-obra;

- Redução de desperdícios de materiais;
- Melhora na limpeza e organização do canteiro de obras.

2.2 Materiais e componentes

Nesse tópico buscou-se brevemente conceituar os diferentes materiais e componentes necessários segundo autores para execução da alvenaria de vedação e a fixação, ou encunhamento da alvenaria, como é conhecida.

2.2.1 Blocos cerâmicos

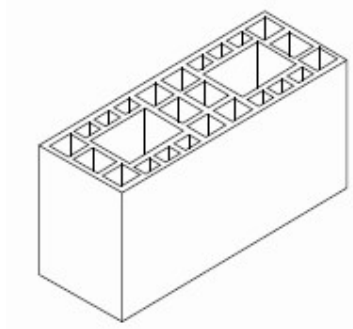
Componente vazado, com furos prismáticos perpendiculares as faces que os contém, integram alvenaria de vedação intercaladas nos vãos de estruturas de concreto armado, aço ou outros materiais. Normalmente é empregado com furos na horizontal, devendo resistir somente ao peso próprio e a pequenas cargas de ocupação (THOMAZ, 2009).

No que diz respeito a blocos cerâmicos, não é fácil o controle das características na fabricação devido a um processo deficiente e matéria prima com elevada variação, não sendo possível prever a retração durante a queima e as dimensões exatas ao final do processo do componente. Em um mesmo lote existem diferentes qualidades referente as queimas, podendo ser encontrados blocos com queima adequada, queima parcial, e ainda crus (SANTOS JUNIOR, 2014 apud SABBATINI; BRITO e SELMO, 1998).

Os requisitos e ensaios de blocos cerâmicos para alvenaria de vedação, deverão seguir as diretrizes da ABNT NBR 15270:2017

- Parte 1: Requisitos
- Parte 2: Métodos de ensaios

Segundo a NBR 15270:2017, os blocos utilizados para alvenaria de vedação, tem sua classe de comercialização com as siglas VED, podendo ser VED15 ou VED30. Para blocos com classe VED15, a resistência f_b mínima é de 1,5 Mpa e sua absorção d'água (%) é de 8 a 25, com espessura externa mínima das paredes do bloco de 7 mm, e interna não há. Já para VED30, a resistência f_b mínima é de 3,0 Mpa e sua absorção d'água (%) é de 8 a 21, com espessura externa mínima das paredes do bloco de 7 mm, e interna 6 mm. A figura 1 mostra o tipo de bloco cerâmico de classe vedação.

Figura 1 – Tipo de bloco cerâmico de classe VED

Fonte: NBR 15270-1:2017.

Uma possibilidade de verificação na obra e muito importante de fácil aplicação é feita referente a queima, feita pelo som gerado ao aplicar batidas de um objeto metálico contra o bloco. Em caso de o som sair forte e vibrante metálico significa uma queima adequada do bloco, já se o som sair abafado indica que o bloco não teve uma queima de boa qualidade (SANTOS JUNIOR, 2014 apud SOUZA et al, 1996).

A tabela 1 a seguir retirada da NBR 15270-1:2017 mostra onde pode ser aplicado os blocos com classe de comercialização VED e EST (indicação estrutural).

Tabela 1 – Requisitos mínimos conforme a aplicação

Classe	Aplicação				
	Tipo de construção				
	Vedação		Estrutural		
	Geral	Racionalizada	Um único pavimento	Até dois pavimentos	Acima de dois pavimentos
VED	x	x			
EST	x	x	x	x	
Largura mínima do bloco e tijolo	Todas as larguras são aplicáveis. Blocos e tijolos com largura de 70mm, admitidos excepcionalmente, somente em funções secundárias (como em shafts ou pequenos enchimentos) e respaldos por projeto com identificação do responsável técnico.		90 mm	115 mm	140 mm

Fonte: adaptado de NBR 15270-1:2017.

2.2.2 Cimento

Cimento Portland, é um produto formado pela pulverização de clinker que é constituído de silicatos hidráulicos de cálcio, com uma certa proporção de sulfato de cálcio natural, e eventualmente pode-se adicionar certas substâncias que modificam suas propriedades e facilitam seu emprego. As suas propriedades físicas são consideradas sob três aspectos distintos: produto ao natural, ou seja, produto em pó, condições da mistura de cimento e água obtendo uma pasta, e da mistura da pasta com agregado dando origem as argamassas. As suas propriedades químicas estão ligadas diretamente ao processo de endurecimento por hidratação (OLIVEIRA, 2000).

O cimento exerce um papel importante na aderência dos componentes da alvenaria de vedação, na resistência mecânica e na estanqueidade à água das juntas. Sempre que possível deve-se evitar a utilização de cimentos de alto forno (CP III) ou pozolânico (CP IV), devido a importante presença de escória de alto forno e de material pozolânico, a argamassa poderá ter elevada retração caso não haja adequada hidratação do aglomerante. Porém esses cimentos podem ser utilizados quando há situações de prevenção das reações de compostos do cimento com sulfatos presentes na cerâmica (THOMAZ, 2009).

2.2.3 Agregados

Os agregados são classificados segundo a sua origem, dimensões das partículas e o peso específico aparente. Sua origem pode ser “natural”, encontrados de forma particulada na natureza (Ex: areia e cascalho), ou “Industrializados”, sua composição é obtida a partir de processos industrializados, e sua matéria prima pode ser constituída por rocha, escória de alto-forno e argila. Suas dimensões são classificadas em agregado miúdo (areias) e agregado graúdo (cascalhos e britas). O peso específico é dado em conforme de sua densidade, podendo ser leves, médios e pesados (ALBUQUERQUE, 2000).

Na execução de alvenaria de vedação recomenda-se que as areias sejam lavadas e bem granuladas. Recomenda-se que em argamassa de assentamento sejam empregadas areias médias (modulo de finura em torno de 2 a 3), e não é recomendada o emprego de areias com porcentagem elevadas de material silto-argiloso, sendo que a areia deve atender a NBR 7211:2005 (THOMAZ, 2009).

2.2.4 Cal

Cal é um nome genérico dado a um aglomerante simples, resultado da calcinação de rochas calcárias. A calcinação das rochas calcárias puro resulta na produção de óxido de cálcio puro, material de grande importância industrial. A sílica, os óxidos de ferro e de alumínio são as impurezas em maior ou menor grau, na constituição das rochas calcárias. Cal Hidratada é um produto manufaturado que sofreu processo de hidratação em usina, e oferece algumas vantagens em relação a cal virgem, entre elas a maior facilidade de manuseio, transporte e armazenamento. Produto pronto para ser utilizado, eliminando em canteiro o processo de envelhecimento. A plasticidade das argamassas preparadas com cal hidratada é inferior a das argamassas feitas com pasta de cal resultante da extinção da cal viva. O rendimento econômico é menor (OLIVEIRA, 2000).

A cal em função de reter água, propicia menor módulo de deformação as paredes, com maior potencial de suportar movimentações das deformações das estruturas impostas sobre a alvenaria. Pode-se utilizar os tipos de cal hidratada desde que atendam a NBR 7175:2003 (THOMAZ, 2009).

2.2.5 Argamassa de assentamento

Segundo a NBR 13281:2005, argamassa é uma mistura homogênea de agregados miúdos, aglomerantes inorgânicos e água, contendo ou não aditivos, tendo como propriedade aderência e endurecimento, podendo ser preparada sua mistura em obra ou em instalação própria (argamassa industrializada). A norma ainda classifica argamassa de assentamento em alvenaria de vedação, indicada para ligação de blocos e tijolos, com função apenas de vedação.

As argamassas são misturas de um ou mais aglomerantes, junto a agregados miúdos e água. E ainda podem ser adicionados outros componentes a fim de melhorar determinadas propriedades. Para um desempenho esperado das paredes de vedação em alvenaria, elas dependem da argamassa, de seu adequado emprego e interação com o bloco (SANTOS JUNIOR, 2014).

Em emprego de assentamento dos blocos de vedação, Recena (2012) fala que é esperado que a as argamassas possam garantir:

- União sólida dos elementos que compõem uma alvenaria;
- Aderência ao substrato de elementos de revestimento em pisos ou fachadas;
- Distribuição uniformemente dos esforços aplicados sobre a alvenaria;
- Impermeabilidade das alvenarias de elementos sem revestimento.

Recena (2012) ressalta que as propriedades da argamassa exigidas a fim de garantir suas principais funções, são:

- Trabalhabilidade adequada para a função a ser empregada;
- Retenção de água adequada;
- Durabilidade compatível com a vida útil da edificação;
- Estabilidade química frente aos agentes de deterioração, sem que ocorra alterações nos seus elementos por reações retardadas;
- Estabilidade física, com resistência mecânica suportando solicitações de ciclos alternados de molhagem e secagem;
- Capacidade de aderir ao substrato formando um sistema com resistência de aderência que suporte as solicitações;
- Modulo de elasticidade baixo para suportar deformações das tensões internas geradas pela movimentação da estrutura e/ou dos materiais que a compõem.

A argamassa de assentamento deve ser plástica e ter consistência para manter os tijolos no alinhamento do assentamento e suportar seus pesos. Produzir a argamassa em quantidade apenas a ser utilizada, não deixando sobras. Em casos de distancias longas a ser transportada, pode-se misturar a seco os materiais, e utilizar água somente no local de emprego da argamassa. Para paredes externas não revestidas e/ou em contato com umidade, a argamassa deve ser impermeável e insolúvel em água (NBR 8545:1984).

Segundo Recena (2012), sempre será possível associar a retração de uma argamassa mineral a sua inevitável fissuração. É um fenômeno diretamente ligado ao movimento da água no interior da pasta formada, ou para o exterior. Sendo o fenômeno, a retração, e sua manifestação, a fissuração.

2.2.6 Argamassa de encunhamento

Segundo a NBR 13281:2005, argamassa de encunhamento é indicada para o fechamento da alvenaria de vedação após a última fiada de blocos assentados.

Existem diversos produtos no mercado, cada um com suas características e indicações. O que mais é indicado no processo de encunhamento segundo autores, são argamassas específicas, com propriedades que suportem as deformações, ou espuma de poliuretano, caracterizado no subitem 2.2.7.

2.2.7 Espuma de Poliuretano

O poliuretano pode ser formulado para apresentar propriedades de borracha ou de plástico. Antigamente os polímeros eram divididos em plásticos e as borrachas (elastômeros). Borrachas eram elásticas, os plásticos deformavam plasticamente. Espuma de poliuretano é um polímero próprio para construção. São fabricados muitos tipos de espumas de poliuretano, flexíveis e rígidas. As flexíveis são utilizadas com frequências em mobiliários e raramente em construções. A única espuma flexível utilizada em construções é a de polietileno, que é uma espuma branca e macia sendo um material excelente de base para revestimentos, e utilizados em juntas de dilatação que podem ser comprimidas sem que se abram. As espumas de poliuretano são produzidas por uma reação entre um diisocianato e um poliéster, com uma pequena quantidade de água para formar o dióxido de carbono (CO₂) que é o agente espumante. Acrescenta-se um óleo silicônico que tem função de manter as células bem pequenas. A reação de polimerização produz ligação química entre ureia e etano, que vem daí o nome, poliuretano. O gás contido nas células de poliuretano são CO₂ ou freon, e quanto maior for a quantidade, tanto de CO₂ como o freon, o poliuretano funcionará como melhor isolante que o isopor (PATTON, 1978).

Segundo Purcom (2019), uma das maiores empresas no ramo de produtos em poliuretano, fala que espuma flexível de poliuretano é obtido através da reação química de isocianato e polioliol, podendo ser produzida em variáveis densidades e graus de dureza. Suas principais vantagens são ótimo acolchoamento, elasticidade, conforto, facilidade de corte e além de possuir considerável resistência a fadiga e ao rasgamento.

2.3 Execução da alvenaria de vedação

A NBR 8545:1984, faz algumas recomendações sobre o processo de produção da alvenaria de vedação, dentre elas estão:

- Executar o chapisco na face da estrutura (lajes, vigas e pilares) quando em contato com alvenaria (Figura 2);
- Não deixar panos soltos por longos tempos e nem executado em grandes alturas de uma vez só;
- Recomenda-se molhar os componentes cerâmicos antes do seu emprego;
- Em alvenaria de blocos de vedação, não devem ser executados com os furos na vertical e no sentido transversal ao da parede, com exceção em casos particulares;
- A execução deve ser iniciada pelos cantos, ou qualquer elemento de ligação da edificação;

- Deve-se utilizar o escantilhão para juntas horizontais;
- Deve utilizar o prumo de pedreiro para alinhamento vertical da alvenaria;
- Após o levantamento dos cantos, utilizar uma linha esticada para garantir o alinhamento e o prumo das fiadas;
- Em obras de concreto armado, a alvenaria de vedação deve ser interrompida logo abaixo das vigas e lajes. Este espaço deve ser preenchido logo após 7 dias, de forma que entre a alvenaria e a estrutura sejam perfeitamente travadas.

Lordsleem Junior (2000) diz que quando se constrói uma parede de vedação de alvenaria, procura-se atender os critérios de desempenho e que não apresente problemas patológicos no futuro. Ou seja, procura-se obter uma parede com locação, planeza, prumo e nivelamentos adequados ao revestimento que será empregado, juntas e fixação executadas de forma correta. Ainda para o autor a execução da alvenaria segue três etapas, a locação da primeira fiada, a elevação e a fixação. É necessário, o preparo da superfície para receber a alvenaria. Ela consiste em quatro etapas: a limpeza do local, a melhoria da aderência estrutura/alvenaria, a definição das galgas e a fixação das alvenarias aos pilares.

Figura 2 – Chapisco rolado para aumento da ligação alvenaria/estrutura



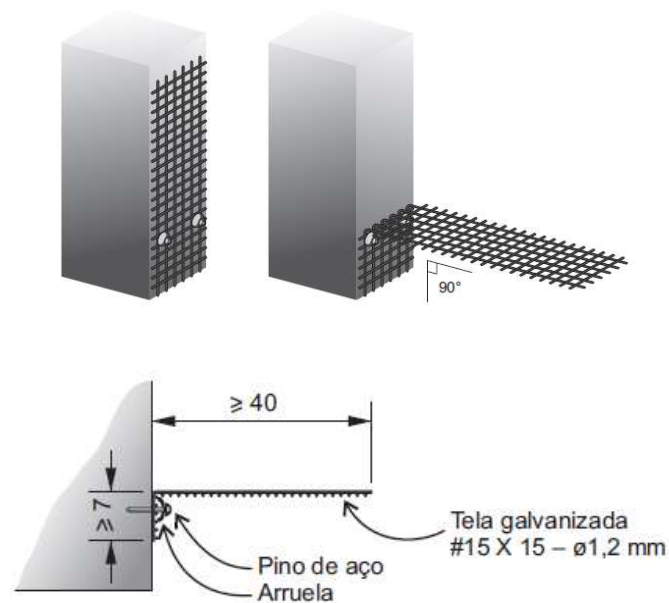
Fonte: Material de aula Marcus Daniel Friedrich dos Santos, 2019.

A análise do projeto estrutural em que as vedações verticais serão inseridas é de extrema importância, visto que determinados detalhes construtivos necessários ao bom desempenho desta devem ser empregados. Assim estabelecendo a ligação dos elementos de vedação com as estruturas de concretos. Esta análise irá orientar a decisão de inclusão de reforços onde as tensões são superiores a capacidade dos elementos de vedação vertical (FRANCO, 1998).

A ligação da alvenaria com os pilares de concreto armado, pode ser executada utilizando barras de aço com diâmetros de 5 a 10 mm, a cada 60 cm e comprimento de barra de 60 cm, engastando 10 cm dentro do pilar e 50 cm dentro da alvenaria (NBR 8545:1984).

A interface alvenaria-estrutura deve receber atenção no momento da elaboração do projeto. A diferença da natureza dos materiais leva a comportamentos diferentes durante a vida útil da edificação. O uso de telas metálicas eletrossoldadas (figura 3) como componente da ligação estrutura e pilar é proposto com o objetivo de reduzir o tempo de instalações do dispositivo, tendo aumento na produtividade da execução de alvenaria (SILVA *et al*, 2006).

Figura 3 – Ligação da alvenaria com a estrutura por meio de tela metálica

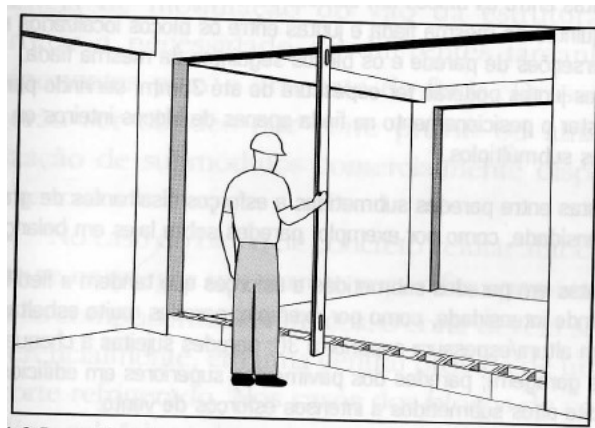


Fonte: Thomaz, 2009.

Para uma correta locação da alvenaria, recomenda-se que seja designado um pedreiro ou uma equipe de pedreiros, treinados e qualificados. Recomenda-se também que o pedreiro ou a equipe de pedreiros designado, comece e termine a locação da alvenaria e a execução de todos os pavimentos. Antes da locação deve-se verificar o nivelamento da laje, com auxílio do nível de mangueira ou do aparelho de nível. No caso de desnivelamento, corrigir a superfície. A locação deve ser iniciada pelas paredes de fachada, e considerando o prumo do conjunto de pavimentos já executados. No caso de emprego de blocos vazados, normalmente na primeira fiada é feito o preenchimento destes, a fim de melhorar a fixação dos rodapés, podendo ser substituída pelo uso de parafusos com buchas. Inicialmente as marcações são feitas pelas faces da parede a partir dos eixos de referências, usando cotas acumuladas e materializando-os pelo

posicionamento dos blocos da extremidade, sempre verificando possíveis distorções. A argamassa de assentamento deverá ser a mesma, tanto da primeira fiada quanto da elevação da alvenaria, e a espessura poderá ser de 1 a 3 cm para absorver defeitos da laje. A junta vertical, ao encontro de pilares, deverá ser preenchida a fim de garantir melhor resistência a choques e distribuição de esforços entre a estrutura e a alvenaria (LORDSLEEM JUNIOR, 2000). A figura 4 mostra a conferência do nivelamento da primeira fiada de alvenaria com a estrutura de concreto armado.

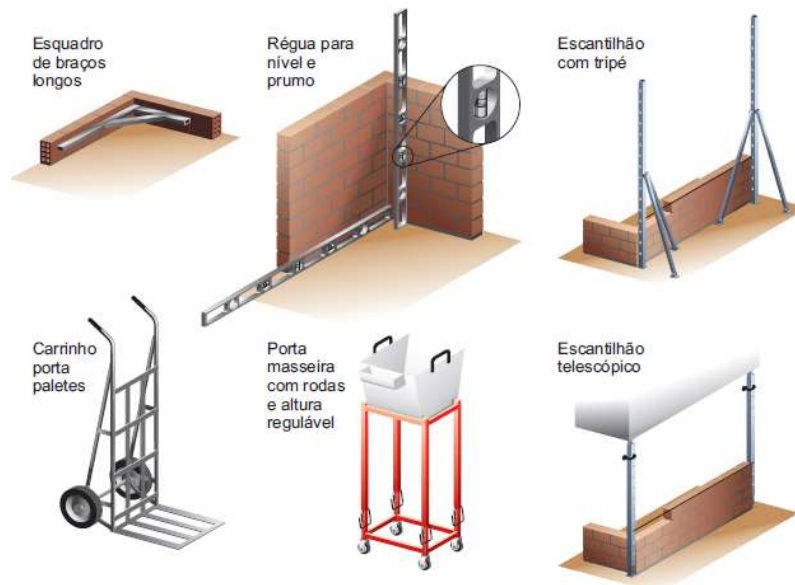
Figura 4 – Conferencia da fiada de locação



Fonte: Lordsleem Junior, 2000.

Para um início da elevação da alvenaria adequado, recomenda-se a observação do prazo mínimo ideal, e estar concretado a laje de pelo menos quatro pavimentos acima. As ferramentas utilizáveis para elevação da alvenaria são as colheres de pedreiro, desempenadeira de madeira, bisnaga, meia-cana e ainda o uso de escantilhões auxiliando o alinhamento das direções horizontais da fiada de locação (LORDSLEEM JUNIOR, 2000). A figura 5 mostra mais alguns equipamentos utilizáveis para a execução da alvenaria de vedação.

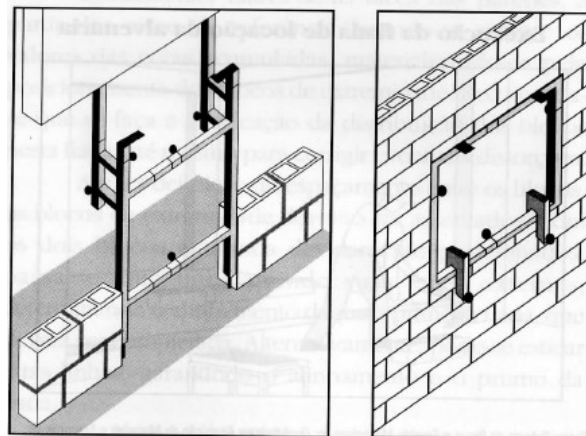
Figura 5 – Alguns equipamentos utilizáveis para execução da alvenaria



Fonte: Thomaz, 2009.

A fim de garantir a locação precisa das esquadrias, como janelas e portas, recomenda-se o uso de gabaritos para marcação delas mesmas, ilustrado na figura 6. Esse gabarito serve também como escantilhão, garantindo o alinhamento das fiadas da alvenaria (LORDSLEEM JUNIOR, 2000).

Figura 6 – Gabarito para porta e janela em alvenaria de vedação

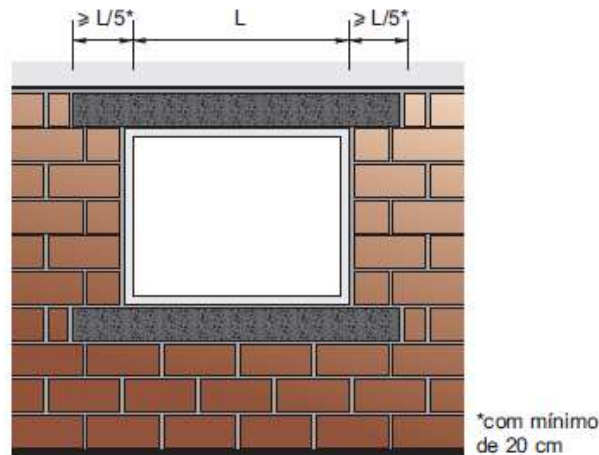


Fonte: Lordsleem Junior, 2000.

A NBR 8545:1984 ainda garante que devem ser moldadas ou colocadas sobre vãos de portas e janelas, vergas e contra-vergas. Elas servem para aliviar as tensões transmitidas da alvenaria para as esquadrias. Devem exceder a largura do vão de pelo menos 20 cm de cada lado e altura mínima de 10 cm. Quando os vãos entre as vergas e contra-vergas forem

relativamente próximos, recomenda-se a união das vergas em uma só, o mesmo se faz para as contra-vergas. Ilustrado na figura 7.

Figura 7 – Verga e contravergas no contorno de vão de janelas



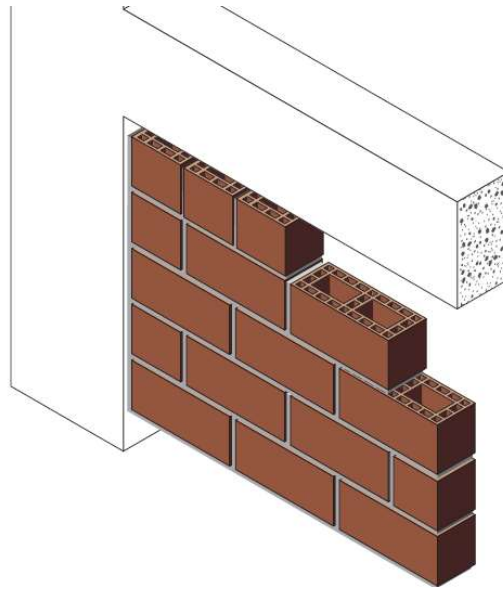
Fonte: Thomaz, 2009.

No mesmo sentido que a NBR 8545:1984 recomenda, coxim de concreto, para evitar que vigas com grandes cargas concentradas possam distribuir suas cargas e não transmitam tensões diretamente sobre a parede.

No caso de alvenaria de vedação executada com blocos cerâmicos, possuírem furos na vertical, a última fiada pode ser executada com blocos menores, compensadores ou meio-blocos, assentados com furos na horizontal. Também pode ser utilizados blocos canaleta ou mesmo os tijolos de barro cozido (SILVA *et al*, 2006).

Recomenda-se que as paredes do mesmo pavimento sejam executadas simultaneamente, para não sobrecarregar a estrutura de forma desbalanceada. É aconselhável que se levante meia parede em um dia, e o restante no dia seguinte, para que a primeira metade ganhe certa resistência. Inicia-se a elevação pelas paredes de fachada, trecho inicial com 1m de altura, para assim liberar bandejas, grades de proteção e outros. A cada duas ou três fiadas deve-se verificar o nivelamento e o prumo da parede, utilizando-se prumo de face, régua e nível de bolha. A elevação da alvenaria só pode ser realizada após a cura do concreto da estrutura, recomendando-se um prazo mínimo de 28 dias. Em projetos modulados, onde a última fiada de blocos praticamente faceia a estrutura de concreto armado, aconselha-se o emprego de argamassa fraca em cimento. Tratando-se de blocos vazados, a última fiada pode ser composta por meio-blocos assentados com furos na horizontal, conforme ilustrado na figura 8, facilitando a execução da fixação (encunhamento) (THOMAZ, 2009).

Figura 8 – Última fiada da alvenaria de vedação em meio blocos vazados



Fonte: Thomaz, 2009.

2.4 Fixação da alvenaria

Ao final da elevação, tem-se a etapa de fixação, que tem como objetivo prender a alvenaria à estrutura de maneira que não venha a prejudicar o seu desempenho quando solicitada. A fixação superior da alvenaria ao elemento estrutural pode ser de 3 tipos de casos (LORDSLEEM JUNIOR, 2000):

- 1 A alvenaria funciona com travamento da estrutura;
- 2 A alvenaria não funciona como travamento e a estrutura que envolve é deformável;
- 3 A alvenaria não funciona como travamento e a estrutura que envolve é pouco deformável.

Nos casos de alvenaria de vedação em que a mesma está envolta por uma estrutura deformável e não ser utilizada como contraventamento, uma vez que a alvenaria “apertada” sofre de antemão uma deformação razoável na sua estrutura, levando um estado de tensões em que a alvenaria não suporta, para execução da fixação, é recomendada material com elevada capacidade de absorver deformações (SANTOS JUNIOR, 2014, apud SABBATINI, BRITO e SELMO, 1988).

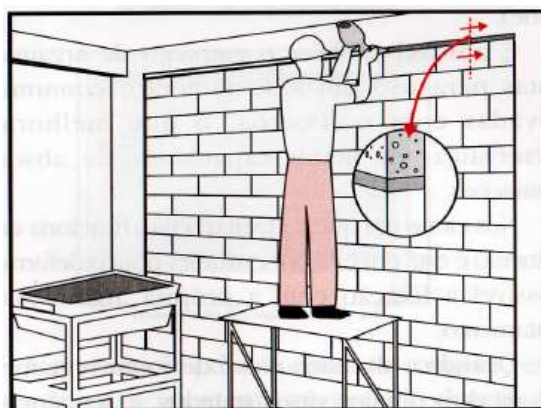
Deve-se deixar uma folga para o encunhamento flexível com o uso de argamassa fraca de cimento, ou de outros materiais que apresentem grande capacidade de acomodar deformações, como por exemplo, a espuma de poliuretano. O detalhamento desse tipo de interface em um projeto de alvenaria de vedação pode reduzir o índice de patologias das edificações contemporâneas prontas (SILVA *et al*, 2006).

Em estruturas muito deformáveis, paredes muito extensas ou enfraquecidas pela presença de aberturas, recomenda-se ligações mais flexíveis possível, por exemplo o uso de poliuretano expandido ou “massa podre” composta por esferas de EPS (poliuretano expandido). Os materiais e detalhes devem ser estudados para garantir a integridade do revestimento na parede (THOMAZ, 2009).

O procedimento de fixação, deverá ser deixado um espaçamento de 2 a 3 cm entre a alvenaria e a estrutura de concreto, e ser executada com um material que tenha elevada capacidade de absorver deformações. Podendo ser aplicada espuma de poliuretano ou argamassa rica em cal e com baixo teor de cimento, de traço 1:3:12 (cimento:cal:areia, em volume) por exemplo. Sequência de execução da fixação da alvenaria de vedação (LORDSLEEM JUNIOR, 2000):

- A limpeza e umedecida do local de fixação com auxílio de uma broxa;
- Fixar a alvenaria com a utilização de bisnaga (Figura 9);
- Em paredes de fachadas, pela face interna da parede, é preenchido toda a junta até a metade da alvenaria;
- Quando realizada a limpeza, taliscamento ou chapiscamento da fachada, executar o preenchimento do restante da junta;
- Acabamento da junta com auxílio da colher de pedreiro;
- Se o espaçamento deixado para fixação for maior que 35mm, a argamassa deverá ser colocada em duas camadas com intervalo de 24 horas entre elas.

Figura 9 – Fixação da alvenaria a estrutura com a bisnaga de agamassa



Fonte: Lordsleem, 2000.

Em obras com estrutura de concreto armado a alvenaria deve ser interrompida abaixo das vigas ou lajes. O espaço deixado deve ser preenchido após 7 dias de modo a garantir o perfeito

travamento entre a alvenaria e a estrutura. Para obras com mais de um pavimento, o travamento da alvenaria deve ser executado respeitando o prazo de 7 dias, e somente após as alvenarias do pavimento imediatamente acima tenha sido levantada até igual altura (NBR 8545:1984).

Lordsleem Junior (2000) ainda recomenda que a fixação seja executada quando o último dos pavimentos já esteja concluído, e alvenaria já elevada há pelo menos 30 dias. A execução da fixação é do pavimento superior para o inferior e respeitar o prazo mínimo de 24 horas entre o término da fixação superior para o inferior.

De acordo com Thomaz (2009), para evitar a transferência de cargas para as paredes de vedação, recomenda-se defasagem de no mínimo dez dias do término da elevação da alvenaria de vedação a execução da fixação (encunhamento), lembrando que não deve ser executada em hipótese alguma antes que a parede do andar superior esteja concluída. Ainda recomenda que a fixação seja executada de cima para baixo após 14 dias da elevação do último pavimento. Outro método é “encunhar” em grupos de três pavimentos, de cima para baixo, estando três pavimentos acima com a alvenaria já elevada. O pavimento térreo e o primeiro pavimento só podem ser “encunhados” no final do processo de execução da fixação. As quatro últimas fiadas podem ser ajustados para que a folga da fixação (encunhamento), fique em torno de 1,5 cm a 3,0 cm. O material introduzido no espaço deixado, deve ser bem compactado no interior da junta, para que não ocorra destacamentos. Cabe ao projetista definir se toda a espessura da parede será preenchida ou apenas dois cordões laterais de argamassa para encunhamento. No geral não deve ser empregada argamassas ricas em cimento ou com aditivos expansores.

Uma pré-classificação (tabela 2) do tipo de encunhamento de paredes e então escolha do material adequado deve ser feita (DALDON, 2008 apud SABBATINI, 2002).

Tabela 2 – Classificação dos tipos de encunhamnto e respectivos materiais

Encunhamento	Materiais
Com pré-tensionamento (rígido)	Tijolos inclinados a 45°
	Cunhas de concreto
	Argamassa Expansiva
Sem pré-tensionamento (resiliente)	Argamassa de baixo modulo de elasticidade
Plástico	Espuma de poliuretano

Fonte: Daldon, 2008 apud Sabbatini, 2002.

2.5 Deformações das estruturas de concreto: lajes e vigas

Entende-se por flecha o maior deslocamento vertical da viga. A resistência dos materiais para o cálculo da flecha e sua rigidez é caracterizado pelo produto entre módulo de elasticidade secante do concreto e a inércia da seção de concreto ($E_{cs} \cdot I_c$). Três estádios são caracterizados pelo comportamento da estrutura, Estádio I é quando a viga não fatura, Estádio II quando há fissuração na viga, Estádio III onde o aço começa a escoar. A viga só rompe quando as deformações da fibra mais comprimida do concreto ou mais tracionada da armadura atingem valores elevados, caracterizado pelo ELU, estado-limite último (FRANÇA, 2003).

Os parâmetros para os dimensionamentos, verificações de estado-limite último para lajes e vigas devem seguir as diretrizes da NBR 6118:2014 e indicações das normas necessárias para complementação das diretrizes. Os deslocamentos-limites são utilizados para verificação em serviço do estado-limite de deformações excessivas da estrutura. São classificados em quatro grupos básicos: aceitabilidade sensorial, efeitos específicos, efeitos em elementos não estruturais, efeitos em elementos estruturais. A NBR 6118:2014 fornece dados de valores-limites de deslocamentos que visam proporcionar um adequado comportamento da estrutura em serviço, e para as paredes de vedação, não participante do elemento estrutural, o tipo de classificação são os “efeitos em elementos não estruturais”. Após a construção da parede, para as alvenarias, caixilhos e revestimentos, o deslocamento-limite é de $l/500$ e 10mm e a rotação nos elementos que suportam a parede é de 0,0017 rad. O movimento lateral de edifícios provocado pela ação do vento para combinação frequente tem um deslocamento-limite de $H/1700$ e $H_i/850$, sendo H , altura total do edifício, e H_i , desnível entre dois pavimentos vizinhos. Já os movimentos térmicos verticais e horizontais, provocados pelas diferenças de temperaturas, tem-se deslocamento-limite de $l/400$ e 15mm para verticais em paredes, e para os horizontais $H_i/500$ em forros. Após a construção do forro o deslocamento limite para revestimentos colocado é de $l/350$, e para revestimentos pendurados ou com juntas é de $l/175$ (NBR 6118:2014).

Quando o carregamento é mantido sobre a estrutura, as deformações aumentam com a fluência e a retração e conseqüentemente as flechas também (FRANÇA, 2003). As variáveis envolvidas no fenômeno no estádio I e estádio II são:

- Estádio I:
 - Ecs (Módulo de elasticidade secante do concreto)
 - Fluência e retração do concreto
 - Dimensões da peça

Vão e carregamento atuante

- Estádio II:

Além das citadas acima, a quantidade de armadura de tração (A_s), e de compressão ($A's$). Quanto maior for a quantidade de armadura, menores serão as flechas.

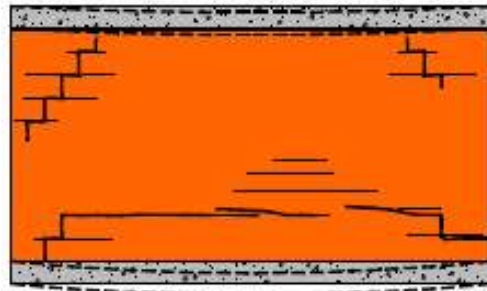
Nas estruturas de concreto armado, o estado-limite ultimo de instabilidade é atingido quando se eleva a intensidade do carregamento sobre a estrutura, logo suas deformações se elevam, e elementos são submetidos a flexo-compressão em que o aumento da capacidade resistente passa a ser inferior ao aumento da solicitação (NBR 6118:2014).

2.6 Patologias

Tendo inúmeros problemas patológicos que afetam os edifícios, residências, comerciais ou institucionais, muitas vezes os problemas são ligados a trincas, devido a aspectos fundamentais como: o aviso de um eventual estado perigoso para a estrutura, o comprometimento do desempenho da obra, e o constrangimento psicológico que a fissuração do edifício exerce sobre seus usuários. E entre os profissionais que atuam na construção civil, as fissuras são em geral motivos em grandes polemicas teóricas e de infundáveis demandas judiciais que na maioria das vezes, os leigos no assunto culpam engenheiros, empreiteiros, arquitetos, ou o fabricante do material. Visto que as trincas podem surgir de forma congênita, logo no início do projeto arquitetônico, os profissionais da área devem-se conscientizar de que muito pode ser feito para minimizar os problemas patológicos. Incompatibilidade entre projetos de arquitetura, estrutura e fundações conduzem a tensões que são desfavoráveis para as resistências dos materiais, originando problemas patológicos (THOMAZ *et al.*, 1989).

Os elementos e componentes de uma construção estão sujeitos a variações de temperatura, e elas repercutem numa variação dimensional dos materiais de construção, dilatação e contração. Esses movimentos são restringidos por vínculos que envolvem os elementos e componentes, e por esse motivo, as tensões podem provocar fissuras. Em alvenarias de vedação, as fissuras podem também surgir devido a sobrecargas impostas sobre as paredes (THOMAZ *et al.*, 1989). Para paredes de vedação sem aberturas de portas e janelas existem 3 configurações de trincas, representadas nas figuras 10 a 12:

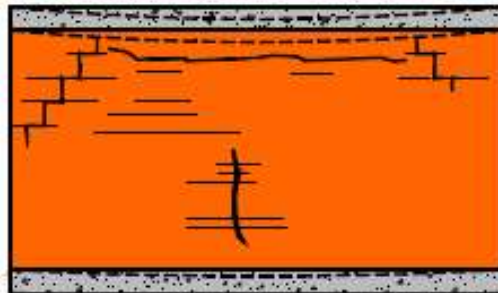
Figura 10 – Deformação do suporte maior que a deformação da viga superior



Fonte: Pereira, 2005.

Conforme ilustrado na figura 10, as trincas inclinadas nos cantos superiores da parede são providas do carregamento da viga superior sobre o painel, já que a tendência é o maior carregamento junto aos cantos das paredes. Quando o comprimento da parede é maior que sua altura, na parte inferior, normalmente é o surgimento de uma trinca horizontal, e ela tem o comportamento de um arco desviando-se em direção aos vértices inferiores do painel.

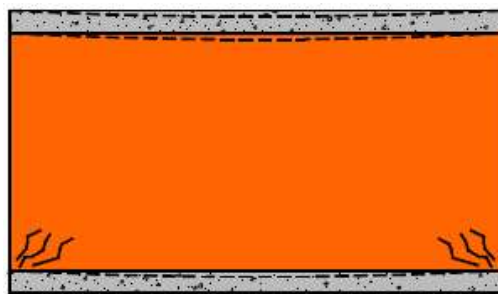
Figura 11 - Deformação do suporte inferior que a deformação da viga superior



Fonte: Pereira, 2005.

Conforme ilustrado na figura 11, as fissuras, nesse caso, são semelhantes aos casos de flexão de vigas de concreto armado. Ocorrem da trajetória dos esforços principais de tração.

Figura 12– Deformação do suporte idêntica que a deformação da viga superior

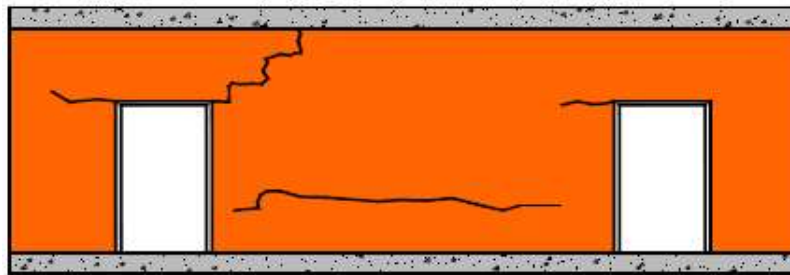


Fonte: Pereira, 2005.

Conforme ilustrado na figura 12, a parede é submetida principalmente a tensões de cisalhamento, e as fissuras se comportam de maneira idêntica ao de vigas deficientemente armadas contra o cisalhamento. Iniciam nos vértices inferiores e apresentam inclinação de 45°.

Nas alvenarias com presença de aberturas, as fissuras se originam em função da extensão da parede, da intensidade da movimentação, do tamanho e da posição dessas aberturas (PEREIRA, 2005 apud THOMAZ, 2003). Em geral as fissuras poderão apresentar configurações como a figura 13.

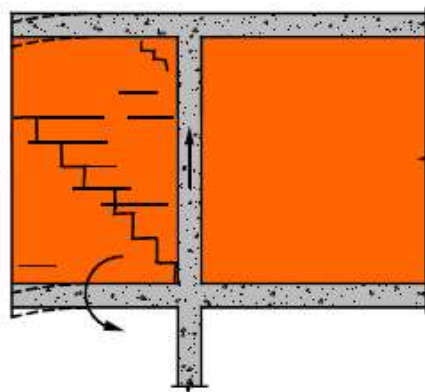
Figura 13 – Deformações causadas pela deformação dos componentes estruturais em paredes com aberturas.



Fonte: Pereira, 2005.

Em regiões em balanço de vigas, a fissuração é provocada pela falta de rigidez estrutural. A deformação da viga geralmente provoca fissuras de corte na alvenaria e/ou destacamento entre a parede e a estrutura (PEREIRA, 2005 apud THOMAZ, 2003). Ilustrado na figura 14.

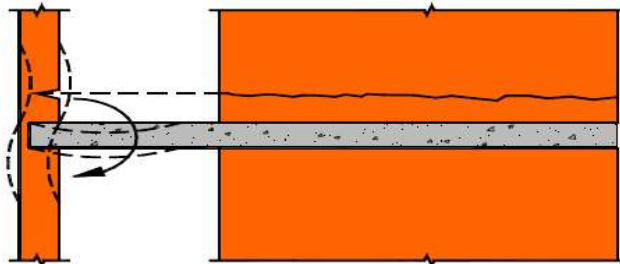
Figura 14 – Fissuras na alvenaria provocadas por deformação da viga na região do balanço



Fonte: Pereira, 2005.

E ainda outro caso típico de fissuração é gerado pela excessiva deformação de lajes ancoradas nas paredes, causando esforços de torção na mesma, a fissura desenvolve-se próximo a base da parede na horizontal que estende por praticamente toda a parede (PEREIRA, 2005 apud THOMAZ, 2003). Ilustrado na figura 15.

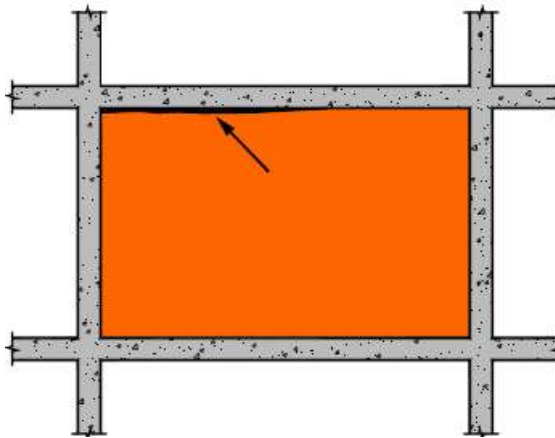
Figura 15 – Fissura horizontal na base da parede provocada pela deformação excessiva da laje



Fonte: Pereira, 2005.

O recalque plástico da argamassa de assentamento cogitará abatimento da alvenaria. No caso da fixação da alvenaria de vedação tenha sido executada de maneira precoce, ocorrerá o destacamento entre os componentes dos blocos cerâmicos e a estrutura de concreto (THOMAZ *et al*, 1989). Ilustrado na figura 16.

Figura 16 – Destacamento provocado pela fixação precoce da alvenaria



Fonte: Pereira, 2005.

3 METODOLOGIA

O presente trabalho foi proposto com relação à fixação (encunhamento). Visto que existem no mercado diferentes argamassas de encunhamento com diferentes resistências, segundo suas fichas técnicas, realizou-se ensaios com quatro tipos de argamassas de encunhamento e duas argamassas de assentamento em traço 1:6 (cimento:areia) com aditivo expensor e sem aditivo, testando suas resistências a tração na flexão e compressão, concluindo quais melhores tipos de argamassas devem ser empregadas na execução do encunhamento.

3.1 Procedimentos e aparelhagem

Os procedimentos e aparelhagem necessários devem seguir as normas vigentes. Fez-se o preparo das argamassas conforme NBR 16541:2016, suficiente para que possa ser moldados seis corpos de prova de cada argamassa de encunhamento a serem ensaiadas com tamanhos de 4 cm x 4 cm x 16 cm conforme NBR 13279:2005, em moldes prismáticos metálicos que consistem em armações abertas com paredes removíveis (figura 17), formando três compartimentos necessários para moldar os corpos de prova. Possibilitando realizar ensaios para determinar suas resistências a tração na flexão e à compressão, a partir das equações 1 e 2 retiradas da NBR 13279:2005.

Resistencia a tração na flexão:

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

Onde:

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

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

L é a distância entre os suportes, em milímetros.

Resistência a compressão axial:

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

Onde:

R_c = resistência a compressão, em megapascals;

F_c = carga máxima aplicada, em newtons.

1600 é a área da seção considerada quadrada do dispositivo de carga 40 mm x 40 mm, em milímetros quadrados.

Figura 17 – Equipamento para moldagem dos corpos de prova



Fonte: autor, 2019.

Foram adensados os moldes na mesa de adensamento por queda (figura 18), conforme procedimentos da NBR 13279:2005. Basicamente os moldes são posicionados na parte superior do aparelho e introduzido uma camada de argamassa com auxílio do nivelador de camadas que após ligar a máquina se desloca cerca de $15\text{mm} \pm 0,3$ verticalmente aplicando 30 quedas em uma frequência de 1 queda por segundo. É inserido a segunda e última camada com auxílio do nivelador de camadas e novamente aplicado 30 quedas, rasando os corpos com a régua metálica.

Figura 18 – Mesa de adensamento para moldagem dos corpos de prova



Fonte: autor, 2019.

As rupturas dos corpos de provas devem ser realizadas após 28 dias de seu preparo, podendo ter tolerâncias mostradas na tabela 3, a seguir, retiradas da NBR 13279:2005.

Tabela 3 – Tolerancia de tempo para ruptura dos corpos de prova por idade

Idade de ruptura	Tolerância
24 h	1 h
3 dias	2 h
7 dias	4 h
14 dias	6 h
28 dias	8 h
91 dias	24 h

Fonte: adaptado de NBR 13279:2005.

A máquina para realização dos ensaios disponível no Laboratório de Estruturas da Universidade de Santa Cruz do Sul é calibrada de acordo com a NBR NM ISO 7500-1. A figura 19 mostra a máquina utilizada:

Figura 19 – Máquina utilizada para realização dos ensaios

Fonte: autor, 2019.

Após os 28 dias é efetuado o ensaio da determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido, conforme NBR 13280:2005. O ensaio consiste em determinar o volume do corpo de prova 4 cm x 4 cm x 16 cm moldados conforme NBR 13279:2005, com auxílio de um paquímetro determinando suas medidas (largura, altura e comprimento), e logo após utilizada uma balança com resolução de 0,1g para determinar sua massa. A densidade da massa aparente no estado endurecido é determinada a partir da equação 3.

$$\rho_{\max} = \frac{m}{v} \times 1000 \quad (3)$$

Onde:

ρ_{\max} = densidade de massa;

m = massa do corpo de prova;

v = volume do corpo de prova.

Nos ensaios para determinação do módulo de elasticidade ou módulo de Young, utilizou-se o método da NBR 8522:2017, norma que estabelece os métodos de ensaio para determinação dos módulos estáticos de elasticidade e de deformação à compressão do concreto endurecido. Associado ao conhecimento das Resistências dos Materiais pela Lei de Hooke, para determinados intervalos, onde a relação entre tensão e deformação pode ser considerada linear (QUOOS, 2016).

Foram moldados 6 corpos de prova em formato cilíndrico 10x20 cm conforme NBR 5738:2015 em adensamento manual, preenchida em 2 camadas com 12 golpes cada e após a cura da argamassa em 28 dias, efetuado o ensaio da resistência a compressão de 3 corpos de prova até a ruptura. Com a média desses resultados foi utilizada 30% da carga obtida e aplicada sobre os outros 3 corpos de prova, ligado ao extensômetro fixado ao corpo de prova (figura 20), disponibilizado no Laboratório de Estruturas da Universidade de Santa Cruz do Sul, medindo sua deformação com precisão de 0,0001 mm.

Figura 20 – Extensômetro utilizado para medir a deformação do corpo de prova



Fonte: autor, 2019.

Para efeitos de cálculo do módulo de elasticidade ou módulo de deformação tangente a origem ou inicial (E_{ci}), onde a tensão σ é fixa a NBR 8522:2017 fornece a equação 4 apresentada.

$$E_{ci,i} = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon} 10^{-3} \quad (4)$$

Onde:

E_{ci} = módulo de elasticidade em gigapascals (GPa);

$\Delta\sigma$ = variação força uniaxial por superfície unitária (MPa);

$\Delta\varepsilon$ = variação da deformação, ou deformação proporcional (mudança no comprimento dividido pelo comprimento original); é adimensional.

Da mesma forma que a relação linear entre tensão e deformação pode ser expressa, segundo a Lei de Hooke, apresentada na equação 5.

$$\sigma = E \times \varepsilon \quad (5)$$

Onde:

E = módulo de elasticidade ou módulo de Young;

σ = estresse uniaxial, ou força uniaxial por superfície unitária (MPa);

ε = deformação, ou deformação proporcional (mudança no comprimento dividido pelo comprimento original); é adimensional.

A tensão (σ) e a deformação (ε) foram obtidas através dos valores gerados a partir do ensaio do módulo de elasticidade do corpo de prova cilíndrico utilizando 30% da carga de ruptura. Sabendo a Força (N), medida em newtons, e a sua área superficial ou de contato, medida em mm^2 , podemos obter a tensão σ em megapascals (MPa ou N/mm^2). E a deformação (ε) é obtida através da divisão da mudança do comprimento (mm) pelo comprimento original (mm), gerando um resultado adimensional. O módulo de elasticidade ou módulo de Young pode ser expresso em megapascals (MPa) ou gigapascals (GPa).

3.2 Materiais utilizados

Foram escolhidos diante da disponibilidade do mercado, quatro argamassas de encunhamento e um aditivo expensor para mistura em argamassa 1:6 (cimento:areia). Segundo suas fichas técnicas, os materiais utilizados são classificados e compostos da seguinte maneira:

- Aditivo - Aditivo expensor para mistura em argamassas secas, tem o objetivo de compensar a retração natural da argamassa.

- Argamassa tipo I - É uma argamassa de mistura seca composta por cimento, cal hidratada, agregados minerais calcários e quartzoso com granulometria controlada, filler mineral e aditivos compensadores de retração.
- Argamassa tipo II – É uma argamassa indicada para o assentamento de blocos de alvenaria de vedação e fixação (blocos de concreto, cerâmicos e tijolos comuns). Não deve ser utilizada para outros serviços
- Argamassa tipo III – Argamassa expansiva com retração compensada, a base de cimento, agregados selecionados e aditivos especiais. Objetivando evitar trincas localizadas na região de encontro entre vigas e alvenarias.
- Argamassa tipo IV – Argamassa indicada para assentamento de blocos de alvenaria de vedação e fixação de alvenarias (encunhamento). É uma mistura homogênea de cimento, cal hidratada, agregados minerais com granulometria controlada e aditivos químicos.

Foram utilizados para o preparo da argamassa com e sem aditivo, cimento CP IV 32 RS passado em peneira 2,36 mm e areia média também passada em peneira 4,75 mm. Logo em seguida a areia foi posta para secar em estufa na temperatura 100°C. A figura 21 mostra a areia utilizada.

Figura 21 – Areia média utilizada para preparo da argamassa 1:6

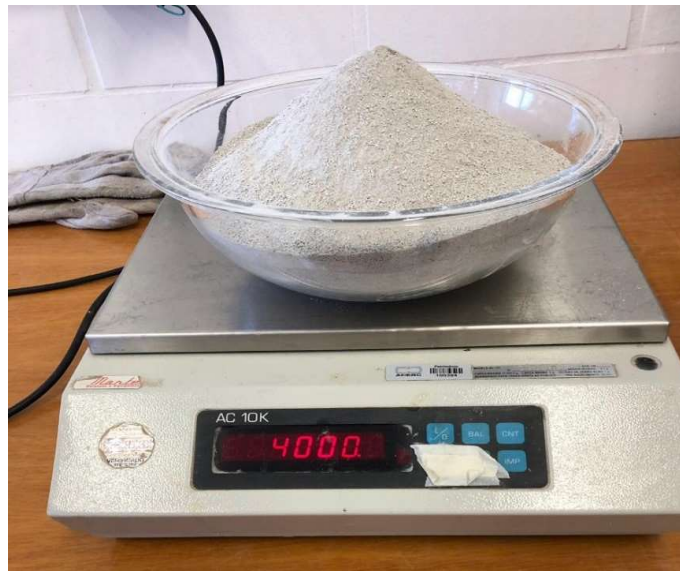


Fonte: autor, 2019.

3.3 Preparação dos corpos de prova

Primeiramente foram separados os materiais, e pesados em uma balança (figura 22) com resolução de 0,1g. A quantidade de materiais utilizados para cada mistura de argamassa é informada na tabela 4.

Figura 22 – Balança utilizada para pesar os materiais utilizados no preparo das argamassas a serem ensaiadas



Fonte: autor, 2019.

Tabela 4 – Relação de materiais utilizados na mistura das argamassas

Nome	Argamassa (g)	Cimento (g)	Agregado miúdo (g)	Aditivo expansor (g)	Água (mL)
ARG1	4000	-	-	-	527
ARG2	4000	-	-	-	587
ARG3	4000	-	-	-	569
ARG4	4000	-	-	-	586,5
ARG1:6	-	572	3432	-	594
ARG1:6A	-	572	3432	5,72	450

Fonte: autor, 2019.

Para o misturador mecânico utilizado (figura 23), não foi adicionado mais que 4kg de material cimentício e areia, para que não transbordasse na hora da mistura, já que no preparo pede-se que ligue o misturador em velocidade baixa e velocidade alta.

Figura 23 – Misturador mecânico



Fonte: autor, 2019.

Conforme os fornecedores das argamassas industrializadas, a quantidade de água a ser adicionada na mistura é indicada no saco do material. Porém as argamassas devem atender a NBR 13276:2016 com uma consistência entre $260\text{mm} \pm 5\text{mm}$, e a partir dessa informação, todas as argamassas industrializadas foram reajustadas a quantidade de água adicionada na mistura até que se obtivesse a consistência adequada. O ensaio consiste, na mesa de adensamento, introduzir o material em um molde troncônico em 3 camadas aplicando em cada camada sucessivamente 15, 10 e 5 golpes, e rasar o material com uma régua metálica. Retirar o molde troncônico e aplicar 30 quedas na mesa de adensamento. Aplicado as quedas, medir a abertura do diâmetro do espalhamento da argamassa com auxílio de um paquímetro. Ilustrado na figura 24.

Figura 24 – Determinação do índice de consistência



Fonte: autor, 2019.

Atendendo a consistência adequada, foi produzido 6 corpos de prova 4x4x16 cm para realização dos ensaios de tração na flexão, com as suas metades após o ensaio de tração na flexão, realização do ensaio de compressão de 12 metades dos corpos de prova. Também foi preparado 6 corpos de prova em formato cilíndrico 10x20 cm para realização do ensaio de módulo de elasticidade. E então esperado o prazo de 28 dias para a realização dos ensaios citados no texto.

4 RESULTADOS

Foram feitos ensaios de tração na flexão, compressão e densidade de massa aparente no estado endurecido nos corpos de prova 4x4x16 cm, e modulo de elasticidade por deformação a compressão nos corpos de prova cilíndricos 10x20 cm, conforme normas vigentes, e passíveis de serem executadas na Universidade de Santa Cruz do Sul.

O local dos ensaios dos corpos de prova foi realizado no laboratório do bloco 50 da Universidade de Santa Cruz do Sul e a partir da máquina da figura 19. Os valores obtidos referente a tração na flexão, compressão e modulo de elasticidade, foram utilizados nas fórmulas fornecidas pelas normas vigentes e estudos relacionados a materiais, para que então chegasse a resultados finais.

Primeiramente após a cura dos 28 dias dos corpos de prova 4x4x16 cm, foi obtida suas medidas reais (figura 25a e 25b).

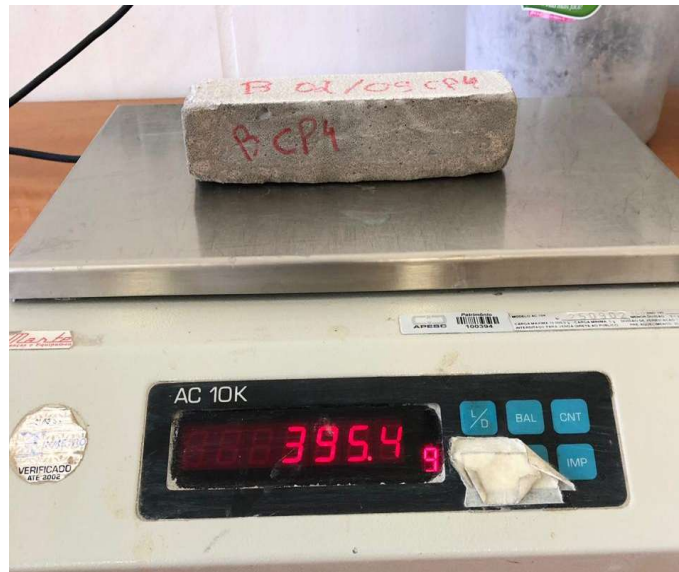
Figura 25 – Determinação das medidas reais dos corpos de prova com auxilio de paquímetro



Fonte: autor, 2019.

E então determinada sua massa na balança (figura 26) para que possa ser calculada sua densidade de massa aparente no estado endurecido conforme dados fornecidos nas tabelas 5 a 10.

Figura 26 – Determinação da massa dos corpos de prova 4x4x16 cm



Fonte: autor, 2019.

Tabela 5 – Densidade de massa aparente no estado endurecido ARG1

ARG1	Massa(g)	Largura (cm)	Altura (cm)	Comprimento (cm)	Volume (cm ³)	Densidade de massa aparente no estado endurecido (kg/m ³)
CP1	372,5	4	4	16	256	1455
CP2	401	4	4	16,1	257,6	1557
CP3	422,1	4	4	16,3	260,8	1618
CP4	398,8	4	4	16,1	257,6	1548
CP5	386,8	4	4	16	256	1511
CP6	397,8	4	4	16,1	257,6	1544

Fonte: autor, 2019.

Tabela 6 - Densidade de massa aparente no estado endurecido ARG2

ARG2	Massa(g)	Largura (cm)	Altura (cm)	Comprimento (cm)	Volume (cm ³)	Densidade de massa aparente no estado endurecido (kg/m ³)
CP1	377,6	4	4	16,1	257,6	1466
CP2	381,6	4	4	16,2	259,2	1472
CP3	379,2	4	4	16,2	259,2	1462
CP4	385,4	4	4,1	16,3	267,32	1441
CP5	382,7	4	4,1	16,2	265,68	1440
CP6	383,5	4	4,1	16,3	267,32	1434

Fonte: autor, 2019.

Tabela 7 - Densidade de massa aparente no estado endurecido ARG3

ARG3	Massa(g)	Largura (cm)	Altura (cm)	Comprimento (cm)	Volume (cm³)	Densidade de massa aparente no estado endurecido (kg/m³)
CP1	387,8	4	4	16,2	259,2	1496
CP2	385,4	4	4	16,1	257,6	1496
CP3	387,3	4	4	16,2	259,2	1494
CP4	395,4	4,1	4,1	16,5	277,36	1425
CP5	395,4	4,1	4,1	16,5	277,36	1425
CP6	397,2	4,1	4,2	16,5	284,13	1398

Fonte: autor, 2019.

Tabela 8 - Densidade de massa aparente no estado endurecido ARG4

ARG4	Massa(g)	Largura (cm)	Altura (cm)	Comprimento (cm)	Volume (cm³)	Densidade de massa aparente no estado endurecido (kg/m³)
CP1	503,9	4	4	16,2	259,2	1944
CP2	513,1	4	4,1	16,3	267,32	1919
CP3	504,6	4	4	16,2	259,2	1947
CP4	510,8	4	4,1	16,2	265,68	1923
CP5	504,5	4	4	16,2	259,2	1946
CP6	500,3	4	4	16,2	259,2	1930

Fonte: autor, 2019.

Tabela 9 - Densidade de massa aparente no estado endurecido ARG1:6

ARG1:6	Massa(g)	Largura (cm)	Altura (cm)	Comprimento (cm)	Volume (cm³)	Densidade de massa aparente no estado endurecido (kg/m³)
CP1	500,8	4	4,1	16,4	268,96	1862
CP2	492,8	4	4,1	16,3	267,32	1843
CP3	495,3	4	4,1	16,4	268,96	1841
CP4	501,7	4	4,1	16,4	268,96	1865
CP5	500,4	4	4,1	16,4	268,96	1860
CP6	499,6	4	4,1	16,4	268,96	1857

Fonte: autor, 2019.

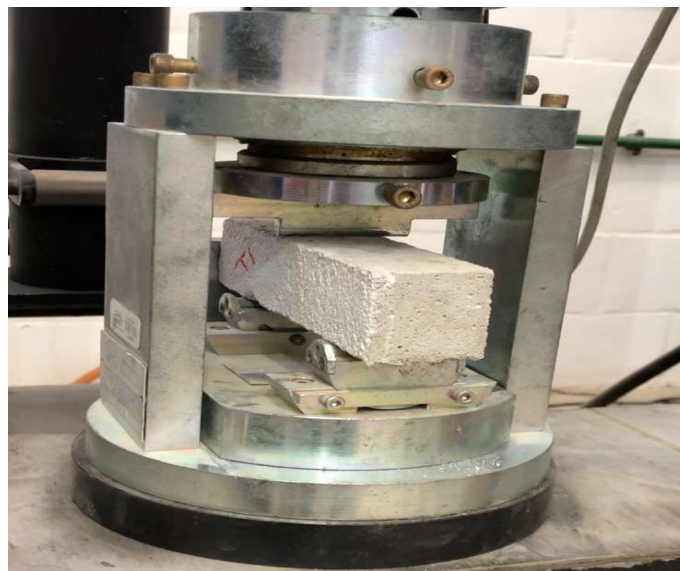
Tabela 10 - Densidade de massa aparente no estado endurecido ARG1:6A

ARG1:6A	Massa(g)	Largura (cm)	Altura (cm)	Comprimento (cm)	Volume (cm ³)	Densidade de massa aparente no estado endurecido (kg/m ³)
CP1	508,7	4,1	4,1	16,3	274,00	1856
CP2	490,5	4	4,1	16,2	265,68	1846
CP3	501,3	4	4,1	16,3	267,32	1875
CP4	490,9	4	4,1	16,2	265,68	1848
CP5	498,1	4,1	4,1	16,2	272,32	1829
CP6	494,7	4	4,1	16,2	265,68	1862

Fonte: autor, 2019.

O ensaio de tração na flexão conforme NBR 13279:2005, consiste em posicionar o corpo de prova 4x4x16 cm em um dispositivo com dois suportes de aço em forma de roletes, distantes entre si 100 mm \pm 5 mm na parte de baixo, e um rolete centralizado na parte superior do corpo de prova, onde é aplicado o carregamento da máquina até o rompimento do corpo de prova. A figura 27 mostra o dispositivo com o corpo de prova posicionado.

Figura 27 – Dispositivo de ensaio de resistencia a tração na flexão



Fonte: autor, 2019.

Para o ensaio de compressão, conforme NBR 13279:2005, é utilizado as duas metades do corpo de prova após o ensaio de tração na flexão. As metades são posicionadas no dispositivo com pratos de 40 mm \pm 0,1 mm sobrepostos, e aplicado carregamento até o esmagamento do corpo de prova. A figura 28 mostra o dispositivo com a metade do corpo de prova já ensaiado.

Figura 28 – Dispositivo de ensaio resistencia a compressão



Fonte: autor, 2019.

Os resultados obtidos referente aos ensaios de flexão e compressão em corpos de prova 4x4x16 cm conforme NBR 13279:2005, são fornecidos nas tabelas 11 a 16 a seguir:

Tabela 11 – Resistências a tração na flexão e compressão ARG1

ARG1	Carga de Ruptura (N)	Resistencia à tração na flexão (MPa)	Carga de ruptura a compressão (N)	Resistencia à compressão (MPa)	Resistencia média calculadas (MPa)	
					Tração na flexão	Compressão
CP1	232	0,54	1400	0,87	0,48	0,91
CP2	191	0,45	1400	0,87		
CP3	191	0,45	1600	1,00		

- Desvio absoluto flexão na tração: 0,06 MPa

- Desvio absoluto na compressão: 0,09 MPa

- Consistência: 264 mm

Fonte: autor, 2019.

Tabela 12 – Resistências a tração na flexão e compressão ARG2

ARG2	Carga de Ruptura (N)	Resistencia à tração na flexão (MPa)	Carga de ruptura a compressão (N)	Resistencia à compressão (MPa)	Resistencia média calculadas (MPa)	
					Tração na flexão	Compressão
CP1	383	0,90	2300	1,44	0,93	1,54
CP2	410	0,96	2500	1,56		
CP3	397	0,93	2600	1,62		

- Desvio absoluto flexão na tração: 0,03 MPa
- Desvio absoluto na compressão: 0,10 MPa
- Consistência: 260 mm

Fonte: autor, 2019.

Tabela 13 – Resistências a tração na flexão e compressão ARG3

ARG3	Carga de Ruptura (N)	Resistencia à tração na flexão (MPa)	Carga de ruptura a compressão (N)	Resistencia à compressão (MPa)	Resistencia média calculadas (MPa)	
					Tração na flexão	Compressão
CP1	1206	2,83*	8000	5,00*	2,40	4,39
CP2	1028	2,41	6550	4,09		
CP3	863	2,02*	6050	3,78*		
CP4	1014	2,38	7350	4,59		
CP5	1124	2,63	7650	4,78		
CP6	932	2,18	6600	4,12		

- Desvio absoluto flexão na tração: 0,23 MPa
- Desvio absoluto na compressão: 0,39 MPa
- Consistência: 261 mm

Fonte: autor, 2019.

Tabela 14 – Resistências a tração na flexão e compressão ARG4

ARG4	Carga de Ruptura (N)	Resistencia à tração na flexão (MPa)	Carga de ruptura a compressão (N)	Resistencia à compressão (MPa)	Resistencia média calculadas (MPa)	
					Tração na flexão	Compressão
CP1	561	1,32	5850	3,66	1,25	3,52
CP2	506	1,19	6000	3,75		
CP3	561	1,32	5850	3,66		
CP4	520	1,22	5250	3,28		
CP5	520	1,22	5200	3,25		
CP6	520	1,22	5700	3,56		

- Desvio absoluto flexão na tração: 0,07 MPa

- Desvio absoluto na compressão: 0,27 MPa

- Consistência: 259 mm

Fonte: autor, 2019.

Tabela 15 – Resistências a tração na flexão e compressão ARG1:6

ARG1:6	Carga de Ruptura (N)	Resistencia à tração na flexão (MPa)	Carga de ruptura a compressão (N)	Resistencia à compressão (MPa)	Resistencia média calculadas (MPa)	
					Tração na flexão	Compressão
CP1	599,7	1,41	9067,5	5,67	1,37	5,20
CP2	589,3	1,38	7578,5	4,74		
CP3	620,4	1,45	8209,5	5,13		
CP4	599,7	1,41	8442	5,28		
CP5	785,8	1,84*	8633	5,40		
CP6	506,6	1,19	8002,5	5,00		

- Desvio absoluto flexão na tração: 0,18 MPa

- Desvio absoluto na compressão: 0,47 MPa

- Consistência: 256 mm

Fonte: autor, 2019.

Tabela 16 – Resistências a tração na flexão e compressão ARG1:6A

ARG1:6A	Carga de Ruptura (N)	Resistencia à tração na flexão (MPa)	Carga de ruptura a compressão (N)	Resistencia à compressão (MPa)	Resistencia média calculadas (MPa)	
					Tração na flexão	Compressão
CP1	1148	2,69	16160	10,10	2,94	10,13
CP2	1282	3,00	14770	9,23*		
CP3	1199	2,81	14375	8,98*		
CP4	1272	2,98	17245	10,78*		
CP5	1323	3,10	15985	9,99		
CP6	1299	3,04	16495	10,31		

- Desvio absoluto flexão na tração: 0,25 MPa

- Desvio absoluto na compressão: 0,17 MPa

- Consistência: 261 mm

Fonte: autor, 2019.

Com os corpos de prova 10x20 cm curados 28 dias, foram realizados ensaios de modulo de elasticidade por deformação na compressão pela NBR 8522:2017 e a Lei de Hooke. A partir da média da resistência a compressão de 3 corpos de provas cilíndricos, utilizou-se 30% da média obtida, e efetuado carregamento em mais 3 corpos de prova cilíndrico, medindo a partir do extensômetro ligado ao corpo de prova, sua deformação com precisão de 0,0001 mm.

Tabela 17 – Resultados referentes ao modulo de elasticidade das argamassas

Argamassa	Deformação (mm)	Força (N)	Tensão (MPa)	ϵ	Modulo de Young (GPa)
ARG1	0,011	2067,90	0,26	$1,05 \times 10^{-4}$	2,50
ARG2	0,012	4590,60	0,58	$1,22 \times 10^{-4}$	4,78
ARG3	0,014	9656,90	1,23	$1,39 \times 10^{-4}$	8,83
ARG4	0,011	6668,80	0,85	$1,06 \times 10^{-4}$	7,99
ARG1:6	0,016	14351,00	1,83	$1,63 \times 10^{-4}$	11,19
ARG1:6A	0,018	23708,00	3,02	$1,83 \times 10^{-4}$	16,50

Fonte: autor, 2019.

4.1 Análise de resultados

Para análise dos resultados, seguiu os parâmetros das normas vigentes, e conforme itens 6.4 e 6.5 da NBR 13279:2005 resultados com desvio absoluto maiores de 0,3 MPa na tração na flexão e 0,5 MPa na compressão, são descartados e identificados com um asterisco. Ainda o item 6.4 estabelece que os resultados da resistência a tração na flexão devem conter ao menos 2 inferiores ao desvio absoluto de 0,3 MPa. No mesmo sentido que o item 6.5 estabelece que os resultados da resistência a compressão devem conter ao menos 4 inferiores ao desvio absoluto de 0,5 MPa, e não atendendo esses critérios, os ensaios devem ser refeitos.

A tabela 18 contém as médias dos resultados das densidades de massa aparente no estado endurecido, modulo de elasticidade, resistência a tração na flexão e resistência a compressão das argamassas ensaiadas, aos 28 dias de idade com exceção das ARG1 e ARG2 com suas resistências a tração na flexão e compressão aos 7 dias de idade.

Tabela 18 – Resultados médios das argamassas para encunhamento ensaiadas

Argamassa	Resultados médios			
	Densidade de massa aparente no estado endurecido (kg/m ³)	Módulo de elasticidade (GPa)	Resistência a tração na flexão (MPa)	Resistência a compressão (MPa)
ARG1	1538	2,50	0,48	0,91
ARG2	1452	4,78	0,93	1,54
ARG3	1455	8,83	2,40	4,39
ARG4	1934	7,99	1,25	3,52
ARG1:6	1855	11,17	1,37	5,20
ARG1:6A	1852	16,50	2,94	10,13

Fonte: autor, 2019.

Para os requisitos segundo autores mencionados na revisão bibliográfica, o encunhamento requer uma argamassa que seja fraca e consiga absorver as deformações das vigas/lajes. Das argamassas ensaiadas, a ARG 1 apresentou menores resistências a tração na flexão, compressão e modulo de elasticidade, e, portanto, resultados satisfatórios, classificada como P1, M4 e R1 (NBR 13281:2005), portanto encunhamento resiliente (DALDON, 2008).

A argamassa ARG2 apresentou resistências baixas e classificada como P2, M4 e R1 (NBR 13281:2005), porém o módulo de elasticidade elevado em relação a ARG1 e, portanto, encunhamento rígido (DALDON, 2008). Já os resultados das ARG 3, ARG4, ARG1:6 e ARG1:6A apresentaram resistências e módulos elevados. A tabela 19 mostra as classificações segundo NBR 13281:2005 e Daldon (2008).

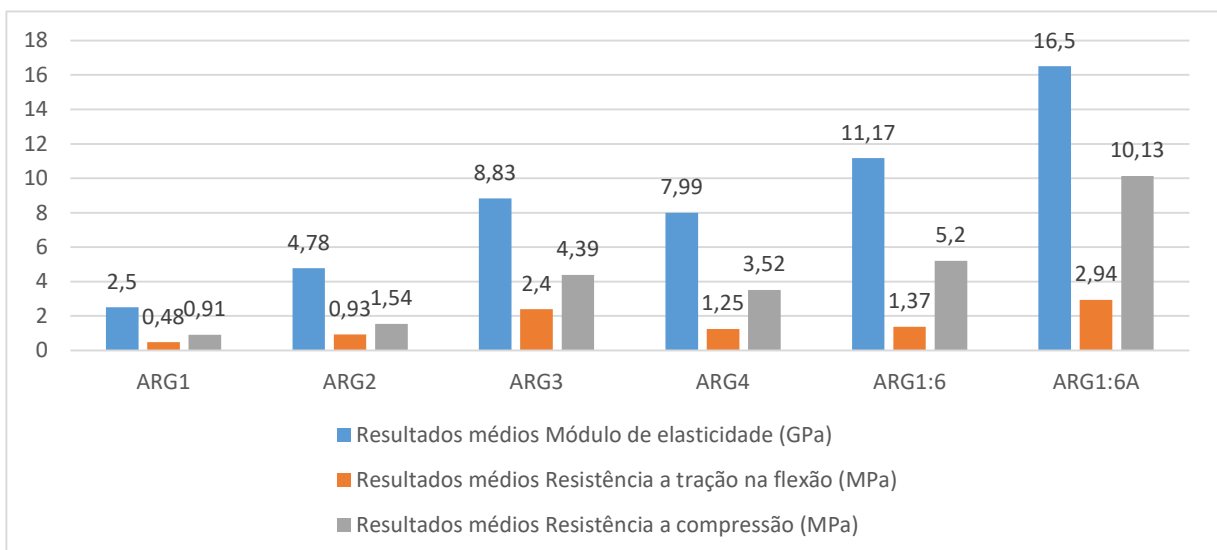
Tabela 19 – Classificação das argamassas

Argamassa	Classificação	
	NBR 13281:2005	Daldon (2008)
ARG1	P1;M4;R1	Resiliente
ARG2	P2;M4;R1	Rígido
ARG3	P4;M4;R4	Rígido
ARG4	P3;M6;R2	Rígido
ARG1:6	P5;M6;R3	Rígido
ARG1:6A	P6;M6;R5	Rígido

Fonte: autor, 2019.

O gráfico 1 mostra a relação dos resultados médios entre os módulos de elasticidade e suas resistências de tração na flexão e compressão. Como não se conhece a composição dos agregados miúdos, nem qual aditivo e quantidade utilizados em cada tipo de argamassas industrializadas, os resultados gerados nos ensaios laboratoriais são influenciados.

Gráfico 1 – Resultados médios laboratoriais das argamassas



Fonte: autor, 2019.

5 CONCLUSÃO

Visto que profissionais na área da construção civil são os principais responsáveis pelos projetos e execução de nossas obras, é importante o conhecimento de qual material a ser utilizado no processo do encunhamento, e de como ser executado. A NBR 8545:1984 atual norma vigente para execução de alvenaria sem função estrutural de tijolos e blocos cerâmicos, contém soluções e procedimentos antigos que deveriam ser elaborados em uma nova norma, visando proporcionar metodologias executivas e adoção de materiais corretos as construções contemporâneas.

Aos resultados dos ensaios laboratoriais, baseado na biografia dos autores citados no trabalho, construções onde é utilizado o sistema construtivo em concreto armado e alvenaria de vedação com blocos cerâmicos, o esperado para o emprego do encunhamento é uma argamassa com menor resistência e modulo de elasticidade a fim de ser uma argamassa mais deformável e não rígida. E de acordo com a NBR 13281:2005 as argamassas classificadas como R1 possuem resistência a tração na flexão baixas e P1 possuem resistências a compressão baixas. Conseqüentemente tem menor modulo de elasticidade e pode ser classificado como material resiliente segundo Daldon (2008). Apenas a ARG1 atendeu os critérios sugeridos pelos autores.

Portanto, parâmetros como formas de execução, classificação do tipo de estrutura tendo controles como agregados, traço, com aditivo expensor ou não, volume de água na mistura, direcionados para cada tipo de classificação da estrutura seguindo uma normativa para que possa padronizar os processos e assim minimizar as manifestações patológicas na região do encunhamento. Quanto maior a deformação das vigas/lajes sobre a alvenaria de vedação, mais flexível o encunhamento deverá ser.

5.1 Sugestão de trabalhos futuros

A partir de novos estudos feitos com relação a fixação da alvenaria de vedação na estrutura de concreto armado, como a simulação da deformação de uma estrutura deformável em uma parede de vedação, pode-se obter parâmetros da escolha do tipo de encunhamento necessário.

Estudos com a utilização de espuma de poliuretano e comparação ao uso de argamassa para encunhamento, segundo a biografia dos autores. E poderá ser realizados trabalhos como o traço ideal de argamassa para o emprego do encunhamento resiliente.

Com tudo, desenvolvendo parâmetros para execução e escolha do material ideal para a fixação da alvenaria de vedação na estrutura de concreto armado em uma normativa brasileira, minimizando assim manifestações patologias na região do encunhamento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADITIVO TIPO I – **Vedacit** – Aditivo expansor. Ficha técnica. Revisada em jun/2017.

ALBUQUERQUE, Alexandre Serpa. Agregados. In: BAUER, Luiz Alfredo Falcão. **Materiais de Construção**. 5. ed. Rio de Janeiro: Ltc - Livros Técnicos e Científicos Editora S.a., 2000. Cap. 4. p. 63-119.

ARGAMASSA TIPO I – **Fida** – Argamassa de encunhamento. Ficha Técnica Revisada em fev/2019.

ARGAMASSA TIPO II – **Quartzolit** – Argamassa de assentamento e encunhamento. Ficha Técnica. Revisada em abr/2017.

ARGAMASSA TIPO III – **Bautech** – Argamassa de encunhamento. Ficha Técnica. Revisada em mar/2014.

ARGAMASSA TIPO IV – **Votoran** - Matrix 1201 Argamassa de assentamento de vedação e encunhamento. Ficha Técnica. Revisada em ago/2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738**: Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2015.

____ **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.

____ **NBR 7175**: Cal hidratada para argamassas. Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2003.

____ **NBR 7211**: Agregados para concreto. Rio de Janeiro, 2005.

____ **NBR 8522**: Concreto – Determinação dos módulos estáticos de elasticidade e de deformação à compressão. Rio de Janeiro, 2017.

____ **NBR 8545**: Execução de alvenaria sem função estrutural de tijolos e blocos cerâmicos, 1984.

____ **NBR 13276**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2016.

____ **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 13280**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido. Rio de Janeiro, 2005.

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

____ **NBR 15270**: Componentes cerâmicos – Blocos e tijolos para alvenaria. Rio de Janeiro, 2017.

_____. **NBR 16541**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Preparo da mistura para a realização de ensaios. Rio de Janeiro, 2016.

_____. **NBR NM ISO 7500-1**: Materiais metálicos – Calibração de máquinas de ensaio estático uniaxial – Parte 1: Máquinas de ensaio de tração/compressão – Calibração do sistema de medição da força. Rio de Janeiro, 2004.

BARROS, Mercia Maria Bottura. **Metodologia para implantação de tecnologias construtivas racionalizadas na produção de edifícios**. Tese (doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil. São Paulo, 1996.

DALDON, Marcelo. **Fatores que podem estar contribuindo para o aparecimento de manifestações patológicas na zona de encunhamento de paredes em obras de Porto Alegre**. 2008. 89 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

DOS SANTOS, Marcus Daniel Friederich. **Material de aula**. Santa Cruz do Sul, 2019.

FRANCO, Luiz Sergio. **Alvenaria - Revista Técnica**. São Paulo. p. 56-57. Maio, 2004.

_____. O projeto das vedações verticais: Características e a importância para a racionalização do processo de produção. Departamento de Engenharia de Construção Civil da Escola Politécnica da USP. São Paulo, 1998.

FRANÇA, Ricardo. **Concreto: Deformações estruturais**. **Revista Técnica**. São Paulo. p. 66-69. Dezembro, 2003.

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

OLIVEIRA, Hélio Martins de. Cimento Portland. In: BAUER, Luiz Alfredo Falcão. **Materiais de Construção**. 5. ed. Rio de Janeiro: Ltc - Livros Técnicos e Científicos Editora S.a., 2000. Cap. 3. p. 35-62.

_____. Aglomerantes. In: BAUER, Luiz Alfredo Falcão. **Materiais de Construção**. 5. ed. Rio de Janeiro: Ltc - Livros Técnicos e Científicos Editora S.a., 2000. Cap. 2. p. 11-34.

PATTON, William John. **Materiais de construção para engenharia civil** / W. J. Patton; (tradução de A. O. Bassoli e M. C. Bassoli; revisão e adaptação de L. A. Falcão Bauer). – São Paulo: EPU: Ed. Da Universidade de São Paulo, 1978.

PEREIRA, Manuel Fernando Paulo. **Anomalias em paredes de alvenaria sem função estrutural**. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade do Minho, Guimaraes, 2005.

PURCOM QUIMICA. **Espuma flexível de poliuretano** – Disponível em: <<https://www.purcom.com.br/espuma-flexivel-de-poliuretano>>. Acesso em: 22 mai. 2019.

QUOOS, Cristiano André. **Contribuição ao estudo de parâmetros de resistência do concreto estrutural**. 2016. 98 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade de Santa Cruz do Sul, Santa Cruz do Sul, 2016.

RECENA, Fernando Antonio Piazza. **Conhecendo argamassa**. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2012. ed. 2.

RIPPER, Ernesto. **Manual prático de materiais de construção**. São Paulo: Pini, 1995.

SABBATINI, Fernando Henrique. **Desenvolvimento de métodos, processos e sistemas construtivos: Formulação e aplicação de uma metodologia**. 1989. 321 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Escola Politécnica da USP, São Paulo, 1989.

SANTOS JUNIOR, Luís Viana dos. **Projeto e execução de alvenarias: fiscalização e critérios de aceitação**. São Paulo: Pini, 2014.

SILVA, R.C; GONÇALVES, M.O; ALVARENGA, R.C.S.S. **Alvenaria racionalizada. Revista Técnica**. São Paulo. Julho, 2006. Disponível em: <<http://technel7.pini.com.br/engenharia-civil/112/artigo285542-1.aspx>>. Acesso em: 02 mai. 2019.

THOMAZ, Ercio. **Código de práticas nº 01: alvenaria de vedação em blocos cerâmicos**. São Paulo: IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo), 2009.

_____. **Tecnologia, gerenciamento e qualidade na construção**. São Paulo: Editora Pini, 2001.

_____. **Trincas em edifícios: causas, prevenção e recuperação**. São Paulo: Editora Pini : Escola Politécnica da Universidade de São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1989.