

**UNIVERSIDADE SANTA CECÍLIA
FACULDADE DE ENGENHARIA
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**HANA KALED SAYAH
PATRICIA VASQUES SALGUEIROSA**

**TÉCNICAS CONSTRUTIVAS E ANÁLISE DE ANOMALIAS EM EDIFÍCIOS DE
ALVENARIA ESTRUTURAL**

**Santos – SP
Novembro/2016**

**UNIVERSIDADE SANTA CECÍLIA
FACULDADE DE ENGENHARIA
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**HANA KALED SAYAH
PATRICIA VASQUES SALGUEIROSA**

**TÉCNICAS CONSTRUTIVAS E ANÁLISE DE ANOMALIAS EM EDIFÍCIOS DE
ALVENARIA ESTRUTURAL**

**Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como exigência parcial para
obtenção do título de Engenheiro Civil à
Faculdade de Engenharia da Universidade
Santa Cecília, sob a orientação do Professor
Me. Orlando Carlos Batista Damin.**

**Santos – SP
Novembro/2016**

HANA KALED SAYAH
PATRICIA VASQUES SALGUEIROSA

TÉCNICAS CONSTRUTIVAS E ANÁLISE DE ANOMALIAS EM EDIFÍCIOS DE
ALVENARIA ESTRUTURAL

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como exigência parcial para obtenção do título de Engenheiro Civil à Faculdade de Engenharia da Universidade Santa Cecília.

Data da aprovação: ____/____/____

Nota: _____

Banca examinadora:

Prof. Me. Orlando Carlos Batista Damin
Orientador

Prof. Me. Rosana Alo Maluzo Braga

Prof. Paulo Eduardo de Oliveira Andrade

AGRADECIMENTOS

A todos os professores ao longo desta jornada e em especial ao orientador Orlando Carlos Batista Damin, pelos conhecimentos compartilhados, paciência e prestatividade durante todo o período de pesquisa;

A nossos familiares, por todo o apoio, carinho e compreensão dados nesta longa jornada de estudos;

Aos amigos feitos durante todos esses anos, pelo companheirismo, parceria e conquistas alcançadas lado a lado;

À Somatec Engenharia, em especial aos engenheiros Marcos e André, pelo apoio, incentivo e ajuda durante o processo de pesquisa e coleta de dados deste trabalho.

Não é tão simples quanto pensa.
Leonardo Fressato, 2016.

RESUMO

A utilização da alvenaria como estrutura existe desde a pré-história, com os povos maias e incas, sendo posteriormente difundida pelos gregos, romanos e egípcios, evoluindo constantemente até os tempos modernos. No Brasil, o uso inicia-se no período colonial, com a chegada do império, em meados de 1880, tendo os blocos vazados de concreto – alvo desta pesquisa – introduzidos na década de 60. A alvenaria estrutural tornou-se bastante presente em programas sociais – entre eles Minha Casa, Minha Vida, por exigir um baixo custo de investimento e curto prazo de finalização. Porém, muitas falhas ocorrem, principalmente devido à falta de conhecimento em obras de alvenaria estrutural, falta de investimentos no setor e a mão de obra desqualificada. O objetivo da pesquisa é, então, indicar recomendações construtivas além das existentes para a fase de execução, em acordo com as normas técnicas vigentes e possíveis soluções para os problemas que venham a ocorrer, evitando danos à estrutura e à comunidade em que está inserida. Nesta pesquisa foi realizado, ainda, um estudo de campo em um residencial na cidade de São Paulo, o qual apresentou as falhas mais comuns encontradas em obras de alvenaria estrutural. Para a elaboração deste estudo, foram catalogadas fotografias, realizadas visitas técnicas ao local e reuniões com os engenheiros responsáveis. A obra gerou um vasto número de falhas e resolução de problemas, enriquecendo a pesquisa e atrelando toda a teoria e prática citadas. As principais falhas estão relacionadas ao desaprumo, desnível, esquadro, juntas, grauteamento e blocos fora do padrão. Como prevenção, destaca-se a importância do planejamento do método construtivo em todas as etapas do sistema, melhor qualificação da mão de obra e alinhamento dos projetos estruturais, arquitetônicos, elétricos e hidráulicos.

Palavras-chave: alvenaria estrutural; blocos de concreto; falhas executivas; recomendações técnicas.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1: Blocos estruturais de concreto da Família 29 (Freitas Jr, 2013) | 18 |
| Figura 2: Blocos estruturais de concreto da Família 39 (Freitas Jr, 2013) | 18 |
| Figura 3: Blocos compensadores do tipo: canaleta "U" e "J" (Freitas Jr, 2013) | 18 |
| Figura 4: Encontro entre paredes em "L" (Freitas Jr, 2013) | 22 |
| Figura 5: Encontro entre paredes em "L" armadas (Freitas Jr, 2013) | 23 |
| Figura 6: Encontro entre paredes em "T" (Freitas Jr, 2013) | 23 |
| Figura 7: Fôrma e detalhe (Bedim, 2002) | 24 |
| Figura 8: Detalhe verga (Bedim, 2002) | 25 |
| Figura 9: Detalhe verga e contra-verga (Bedim, 2002) | 25 |
| Figura 10: Encontro laje-parede com bloco "J" (Freitas Jr, 2013) | 26 |
| Figura 11: Encontro laje-parede com bloco "U" (Freitas Jr, 2013) | 26 |
| Figura 12: Preenchimento inadequado de juntas (Sousa, 2011) | 29 |
| Figura 13: Falta de prumo (Sousa, 2011) | 30 |
| Figura 14: Cortes posteriores na alvenaria (Sousa, 2011) | 30 |
| Figura 15: Grauteamento incorreto (Sousa, 2011) | 31 |
| Figura 16: Variações máx. da espessura das juntas (ABNT, NBR 15.961:2010) | 33 |
| Figura 17: Limites para desaprumo e desalinhamento (ABNT, NBR 15.961:2010) | 34 |
| Figura 18: Fundação sem uso de espaçadores (Silveira, 2016) | 37 |
| Figura 19: Detalhe do espaçador já colocado na fôrma (Silveira, 2016) | 38 |
| Figura 20: Blocos armazenados de forma incorreta (Silveira, 2016) | 38 |
| Figura 21: Marcação de fiadas (Silveira, 2016) | 39 |
| Figura 22: Elevação de paredes (Silveira, 2016) | 40 |
| Figura 23: Rasgos nos blocos (Silveira, 2016) | 41 |
| Figura 24: Máquina serra copos (Silveira, 2016) | 42 |
| Figura 25: Corte e resultado final (Silveira, 2016) | 42 |
| Figura 26: Paredes fora de prumo (Silveira, 2016) | 43 |
| Figura 27: Descontinuidade máx. das paredes e pilares (ABNT, NBR 15.961:2010) | 43 |
| Figura 28: Caixas de graute mal cortadas (Silveira, 2016) | 44 |
| Figura 29: Falta de preenchimento de graute (Silveira, 2016) | 45 |
| Figura 30: Desobstrução dos furos (ABNT, NBR 15.961:2010) | 45 |
| Figura 31: Uso de "fita Hermann" nas caixas de graute (Silveira, 2016) | 46 |

| | |
|---|----|
| Figura 32: Falhas em juntas horizontais e verticais (Silveira, 2016)..... | 47 |
| Figura 33: Falta de junta de dilatação (Silveira, 2016) | 48 |
| Figura 34: Laje aplicada na obra (Silveira, 2016)..... | 48 |
| Figura 35: Lajes quebradas (Silveira, 2016)..... | 49 |
| Figura 36: Armação positiva e negativa (Silveira, 2016) | 49 |
| Figura 37: Consequência da má vibração dos pilares (Silveira, 2016)..... | 50 |

LISTA DE QUADROS

| | |
|---|----|
| Quadro 1 – Requisitos para resistência característica à compressão..... | 17 |
| Quadro 2 – Variáveis de controle geom. de parede (ABNT, NBR 15.961:2010)..... | 44 |

SUMÁRIO

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO | 10 |
| 1.1 | OBJETIVOS | 11 |
| 1.2 | HIPÓTESES | 11 |
| 1.3 | JUSTIFICATIVA | 11 |
| 2 | A ALVENARIA ESTRUTURAL | 12 |
| 2.1 | EVOLUÇÃO HISTÓRICA | 12 |
| 2.2 | PROCESSO CONSTRUTIVO | 13 |
| 2.3 | PRINCIPAIS CONCEITOS E ELEMENTOS | 14 |
| 2.4 | FUNÇÃO DA ARMADURA NA ALVENARIA ESTRUTURAL | 14 |
| 2.5 | MATERIAIS E COMPONENTES | 15 |
| 2.5.1 | Blocos estruturais | 17 |
| 2.5.2 | Argamassa | 19 |
| 2.5.3 | Graute | 19 |
| 2.6 | TÉCNICAS EXECUTIVAS | 20 |
| 2.7 | ENCONTROS DE ALVENARIA | 22 |
| 2.7.1 | Encontro parede-parede | 22 |
| 2.7.2 | Encontro laje-parede | 24 |
| 2.8 | ANÁLISE DO SISTEMA ESTRUTURAL | 26 |
| 2.8.1 | Vantagens | 26 |
| 2.8.2 | Desvantagens | 27 |
| 2.9 | PRINCIPAIS FALHAS EXECUTIVAS | 28 |
| 2.9.1 | Espessura e preenchimento das juntas | 28 |
| 2.9.2 | Desaprumo | 29 |
| 2.9.3 | Cortes de Alvenaria | 30 |
| 2.9.4 | Grauteamento incorreto | 31 |
| 2.9.5 | Ausência de ferramentas adequadas | 32 |
| 2.10 | CONTROLE TECNOLÓGICO | 32 |
| 3 | MATERIAIS E MÉTODO | 35 |
| 4 | RESULTADOS E DISCUSSÃO | 37 |
| 4.1 | FUNDAÇÃO | 37 |
| 4.2 | ARMAZENAGEM DOS BLOCOS | 38 |
| 4.3 | ELEVAÇÃO DE ALVENARIA | 39 |
| 4.4 | RASGOS NA ALVENARIA | 41 |
| 4.5 | NÍVEL E PRUMO | 42 |
| 4.6 | GRAUTEAMENTO | 44 |
| 4.7 | JUNTAS | 46 |
| 4.8 | LAJES | 48 |
| 4.9 | PILARES | 50 |
| | CONCLUSÃO | 51 |
| | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 53 |

1 INTRODUÇÃO

A alvenaria estrutural é um método que surge no momento em que os povos maias e incas começam a “encaixar” pedras brutas umas nas outras, como em um quebra cabeças, a fim de erguer suas moradias. Muitas construções dos tempos mais antigos existem até hoje, como é o caso do Coliseu de Roma e as diversas Catedrais Góticas ao longo da região europeia (Ramalho e Corrêa, 2003). No Brasil, as obras em alvenaria estrutural, mais especificamente com o uso de blocos de concreto vazado, iniciam-se em meados de 1960, introduzindo o método construtivo conhecido hoje.

As obras em alvenaria estrutural ainda enfrentam certa resistência da população brasileira que, por falta de conhecimento, acredita que são menos seguras. Assim, é bastante utilizada em construções de habitações populares e conjuntos habitacionais para a população de baixa renda, por exigir um baixo custo de investimento e curto prazo de finalização. Visando os principais objetivos de qualquer construtor – economia e agilidade nos processos –, Manzione (2004) afirma que a alvenaria estrutural é uma ótima opção no mercado.

Os principais problemas encontrados atualmente neste tipo de estrutura, listados por Bauer (2007), são: fissuras, provenientes das mais diversas causas, podendo ocorrer nas juntas de assentamento ou seccionando blocos; a qualidade dos blocos, muitas vezes mal acabados e com dimensões fora de padrão normativo; argamassa com falhas no teor de água e aglomerantes; problemas de geometria e recalques em fundação, proveniente de falhas na execução dos mesmos; eflorescências na superfície das alvenarias, as quais podem surgir, entre outros fatores, pela presença de água (infiltrações, tubulações com vazamentos, aberturas); vedação mal executada; entre outros.

A pesquisa, enfim, busca recomendar técnicas construtivas eficientes, identificar quais as principais causas de falhas e, também, evitar a propagação deste tipo de problema.

1.1 OBJETIVOS

- Geral:

Identificar as principais falhas executivas em edificações construídas em alvenaria estrutural.

- Específicos:

Recomendar técnicas construtivas em conformidade com as normas técnicas atuais, de construção em alvenaria estrutural para evitar futuras patologias;

Identificação de falhas relacionadas ao desaprumo, desnível, juntas, grauteamento, blocos, entre outros, além de seus maiores causadores;

Pesquisa de campo, através do estudo de um edifício construído pelo sistema de alvenaria estrutural, indicando problemas e soluções em obra.

1.2 HIPÓTESES

- 1- Quais as falhas mais comuns identificadas em obras de alvenaria estrutural?
- 2- É possível evitar e/ou resolver as falhas executivas identificadas conforme as Normas Técnicas atuais?

1.3 JUSTIFICATIVA

A alvenaria estrutural ainda é um processo pouco discutido, analisado e atualizado no mercado atual da construção civil. Visando a economia e agilidade nos processos, o método é uma ótima opção no mercado se executada de forma correta.

No entanto, se há ocorrência de falhas no processo de execução, a edificação pode apresentar manifestações patológicas graves, causando a necessidade de manutenção antes do previsto ou, ainda, problemas muito mais graves, comprometendo a segurança da população dentro e fora do empreendimento.

2 A ALVENARIA ESTRUTURAL

2.1 EVOLUÇÃO HISTÓRICA

A alvenaria estrutural tem origem pré-histórica, sendo um dos métodos construtivos mais antigos da humanidade. Contudo, como observa Coêlho (1998), ao longo desses tempos, os elementos que a compõe são substituídos por outros, para uma melhor adequação devido ao aparecimento de novos materiais industrializados. As primeiras alvenarias eram compostas por pedras ou tijolos cerâmicos secos ao sol, seguindo regras puramente empíricas e intuitivas, ou seja, baseadas nos instintos pessoais e conhecimentos adquiridos até tal momento. No ano de 480 A.C., por exemplo, o principal material utilizado em edificações era a pedra, previamente preparada nas pedreiras, para posteriormente ser levada à obra. Todas as pedras eram cortadas à medida e serradas de forma padrão, da fundação (com pedras grandes, entre cinco e sete metros) até o teto.

Ao longo dos anos utilizaram-se técnicas diversificadas, além da inclusão de aparelhos ou instrumentos de auxílio no movimento de blocos de pedras. Entre os maiores exemplos históricos da utilização de alvenaria estrutural, têm-se as Catedrais Góticas; as pirâmides do Egito, sendo a maior é a de Quéops, considerada uma das Sete Maravilhas do Mundo, com 146 metros de altura e 230 metros de base; a Torre de Babel, construída por meio de tijolos queimados especialmente para sua execução; entre outros tantos (COÊLHO, 1998).

A partir do final do século 19, as estruturas de aço assumiram o domínio das grandes obras, face a evolução de cálculos, métodos e tecnologias. Em meados de 1950, entretanto, cálculos e experimentos laboratoriais na Suíça permitiram acertar as resistências de alvenarias em âmbito estrutural. Devido ao sucesso, a região da Europa passou a propagar pesquisas e aperfeiçoamentos acerca do método.

No Brasil, a alvenaria estrutural chega junto ao período colonial, por intermédio da população portuguesa que atracava em terras tupiniquins. Contudo, a grande percussora do método foi a engenharia militar, composta por construtores renomados que buscavam encontrar um sistema construtivo efetivo e econômico. Neste momento, as construções dividiam-se em térreas e casas do tipo sobrado.

Atualmente, a alvenaria estrutural é aplicada principalmente em conjuntos habitacionais populares com, em média, quatro pavimentos. No entanto, existem

algumas edificações que “fogem” ao padrão, como é o exemplo do edifício Maturity, com dezesseis andares, localizado na cidade de São José dos Campos, estado de São Paulo.

No cenário brasileiro, a criação de grupos de pesquisa e de fabricantes de blocos estruturais com tecnologias avançadas incentiva o desenvolvimento e utilização deste sistema. Contudo, é notável a carência de profissionais com conhecimentos suficientes, visto, ainda, a pouca introdução do tema em cursos de graduação, por exemplo.

Em países como Estados Unidos, Inglaterra e Alemanha, ao contrário do Brasil, a alvenaria estrutural é tão utilizada quanto as edificações em concreto armado, resultando em um sistema econômico e competitivo.

2.2 PROCESSO CONSTRUTIVO

O sistema construtivo em alvenaria estrutural baseia-se em prédios autoportantes, admitindo-se a não utilização da estrutura de concreto armado tradicional, conforme explica Coêlho (1998). Em outras palavras, o processo segue basicamente o princípio de que as cargas recebidas pela edificação serão suportadas apenas pelas paredes, além de seu peso próprio, sem a necessidade de vigas e pilares, no concreto armado.

Todas as paredes são dimensionadas para suportar tensões de compressão, possuir resistência a impactos, vedação, estanqueidade, conforto térmico e acústico, admissíveis também na alvenaria de vedação convencional. É notável em seu cálculo a admissão da não existência de cargas concentradas em nenhum ponto da edificação, apenas cargas distribuídas. Isto ocorre, principalmente, porque toda carga recebida é uniformemente disposta a todas as paredes, não somente a determinados pontos de recebimento de cargas (pilares e vigas).

O transporte e armazenamento de materiais também devem prover as devidas precauções, para prevenir quebra ou perda de material, os quais acarretariam novos custos. Blocos e argamassas, por exemplo, devem ser estocados em sistemas paletizados, protegidos da umidade e possíveis intempéries.

De acordo com a Norma Técnica 15.961:2010, todos os blocos recebidos na obra devem ser inspecionados no ato do recebimento e antes do uso, para detectar inconformidades. O material deve ser descarregado em uma superfície plana,

nivelada (garantindo a estabilidade da pilha), indicar as resistências, número do lote e local onde será aplicado e, por fim, armazenados na ordem em que foram recebidos.

Os blocos devem ser armazenados sobre lajes cimbradas, separando os blocos de vedação dos estruturais, pois ambos têm resistências diferentes e pode haver quebra de material se misturados. Por fim, é recomendável o empilhamento de no máximo dois paletes, um sobre o outro, em até oito fiadas, podendo variar conforme o fabricante. As pilhas devem ser protegidas da chuva e de quaisquer elementos que possam prejudicar o desempenho do material.

2.3 PRINCIPAIS CONCEITOS E ELEMENTOS

A seguir, serão explicados alguns conceitos bastante comuns na alvenaria estrutural e citados ao longo desta pesquisa, de forma a facilitar o entendimento.

- a) Armadura: Barras de ferro, com dimensões e localizações previamente determinadas em projetos, utilizadas tanto absorver esforços de tração e alguns de compressão, quanto para cobrir necessidades construtivas;
- b) Cinta: elemento construtivo que transmite cargas para as paredes estruturais, com função de amarração;
- c) Diafragma (laje): elemento horizontal que tem por finalidade transmitir esforços às paredes resistentes;
- d) Parede: lâmina vertical apoiada em toda a sua base; a parede de alvenaria classifica-se em três tipos: resistente ou estrutural, dimensionada para resistir cargas além do peso próprio; não resistente ou de vedação, resiste apenas ao seu próprio peso, além de ter a finalidade de embutir tubulações hidráulicas em certos casos; e, por fim, parede de contraventamento, que promove o travamento da estrutura, absorvendo esforços externos e efeitos de segunda ordem.

2.4 FUNÇÃO DA ARMADURA NA ALVENARIA ESTRUTURAL

Toda alvenaria estrutural é armada de alguma forma, por meio de peças como vergas, contravergas e cintas de amarração. Segundo Cavalheiro (S.D.)

existem diferentes funções exercidas pela armadura na alvenaria estrutural, sendo as principais:

- a) Alvenaria Estrutural Não Armada: sua estrutura compõe-se exclusivamente de blocos e juntas argamassadas; em alguns casos, possui armaduras apenas com função de amarração e para evitar fissuração em pontos de concentração de tensões, nunca para absorção de esforços;
- b) Alvenaria Estrutural Armada: possui armaduras passivas instaladas entre tijolos ou pontos vazados da estrutura, devidamente envolvidas por graute; as regiões onde haverá colocação de armaduras são previamente definidas pelo projetista, admitindo-se a absorção de esforços;
- c) Alvenaria Estrutural Parcialmente Armada: de forma simplificada, é a mistura entre a alvenaria estrutural não armada com a alvenaria estrutural armada, ou seja, parte da estrutura possui armaduras com finalidade de amarração, sendo suas paredes não armadas e, ainda, parte possui armaduras passivas, para resistir aos esforços a elas destinados;
- d) Alvenaria Estrutural Protendida: por fim, consiste na utilização de armadura ativa, submetida a esforços de compressão por parte da edificação.

Para fim de melhor entendimento, a diferença entre a armadura passiva e a armadura ativa é que a segunda é previamente alongada, antes de ser aderida no processo construtivo, ou seja, há a introdução de esforços prévios, que anulam as tensões de tração e passam a criar um esforço de compressão adicional ao concreto, conferindo-lhe maior resistência em relação ao seu principal ponto fraco, a tração.

2.5 MATERIAIS E COMPONENTES

Os materiais são os componentes básicos para a execução da edificação, diferentes para cada processo construtivo. Componentes, por sua vez, são os entes que compõe os elementos da obra, sendo dois principais, na alvenaria estrutural: a unidade de alvenaria e a junta de argamassa.

A unidade de alvenaria consiste em blocos ou tijolos industrializados e modulados, obtidos pela mistura e cura de cimento, agregado e água, facilmente manuseados, podendo ser vazados, perfurados ou maciços, de acordo com sua

utilização. A diferença entre blocos e tijolos é, basicamente, a diferença entre suas dimensões, sendo o bloco muito maior do que o tijolo.

Alguns fenômenos ocorrem durante a execução de um edifício em alvenaria estrutural, sendo eles, segundo Prudencio Jr., Oliveira e Bedin (2002):

- a) Quanto maior a espessura da junta, menor a resistência da alvenaria: isto ocorre porque aumenta o esforço de tração transversal no bloco, fazendo-a romper com cargas de compressão mais baixas;
- b) Quanto menor a altura do bloco, menor a resistência da alvenaria: tijolos que possuem altura pequena proporcionam alvenarias com menor resistência do que a aquelas confeccionadas com blocos de maior altura. Isto se deve à menor seção transversal do bloco, a qual resiste ao esforço de tração e ao fato de que quanto maior a altura, mais o bloco se deforma transversalmente e menor será a tensão transversal gerada na interface bloco/argamassa;
- c) Quanto maior o módulo de deformação dos blocos, menor a resistência da alvenaria: como o módulo de deformação da junta de argamassa é geralmente baixo, unidades muito rígidas fazem com que a tensão de tração na interface bloco/junta aumente;
- d) A resistência da alvenaria pode ser maior do que a da argamassa da junta: na realidade, quando um corpo de prova de argamassa é ensaiado isoladamente, ele está sob um estado uniaxial de compressão, tornando necessário um carregamento mais baixo para romper, diferentemente de quando está confinado lateralmente (argamassa na junta);
- e) A resistência da alvenaria dificilmente ultrapassa a resistência do bloco: isto acontece devido a tensão de tração transversal que ocorre nas extremidades dos blocos, quando a alvenaria está sujeita a compressão, reduzindo-se a carga necessária para rompê-las, se comparada com a carga de um ensaio de resistência a compressão de um bloco isolado, que está submetido a um confinamento em suas extremidades, devido ao atrito dos pratos da prensa;
- f) Um incremento da resistência à compressão da argamassa normalmente não implica em aumento significativo da resistência da alvenaria: isto ocorre porque o módulo de deformação da argamassa não aumenta na mesma proporção que sua resistência à compressão, fazendo com que o estado de tensões no bloco, o qual geralmente causa o colapso da alvenaria sob compressão, mantenha-se quase inalterado;

- g) Para um mesmo material constituinte e uma mesma geometria, quanto maior a resistência à compressão do bloco, maior a resistência à compressão da alvenaria: um aumento da resistência a compressão do bloco faz com que sua resistência a tração transversal cresça, aumentando diretamente a resistência da alvenaria.

2.5.1 Blocos estruturais

Para utilização no sistema de alvenaria estrutural, existem dois materiais componentes de blocos mais comuns no mercado, que são os blocos de concreto e os blocos cerâmicos. No estado de São Paulo, conforme pesquisado, o bloco mais utilizado é o de concreto, tal qual será definido a seguir, de acordo com parâmetros de aceitabilidade e utilização no mercado.

Por definição, blocos estruturais são aqueles utilizados em paredes projetadas para resistir a esforços. Blocos de vedação, por sua vez, são utilizados em paredes que precisam, apenas, suportar seu peso próprio.

Blocos são constituídos de cimento Portland, agregados e água. Os cimentos devem ser os normalizados e os agregados podem ser areia e pedrisco, devendo satisfazer as especificações próprias de cada um destes materiais.

Os blocos estruturais são divididos em classes e, também, entre grupos denominados “família”. Cada família diferencia-se uma da outra pela dimensão de seus blocos, fundamentais para a modulação da edificação.

No Quadro 1, mostram-se as resistências características necessárias para cada tipo de bloco de concreto, de acordo com sua classe e função a ser exercida. As classes dividem-se entre blocos com função estrutural (A e B) e blocos com ou sem função estrutural.

| Classificação | Classe | Resistência ¹ (Mpa) |
|---|--------|--------------------------------|
| Com Função Estrutural | A | $f_{bk} \geq 8,0$ |
| | B | $4,0 \leq f_{bk} < 8,0$ |
| Com ou Sem Função Estrutural | C | $f_{bk} \geq 3,0$ |
| ¹ Resistência característica à compressão axial obtida aos 28 dias | | |

Quadro 1: Requisitos para resistência característica à compressão (ABNT NBR 6136:2014)

Cada família diferencia-se pelas dimensões modulares de seus blocos, sendo estas fundamentais para a determinação do projeto. Nas Figuras 1 e 2 estão alguns exemplos de blocos das famílias 29 e 39, respectivamente.

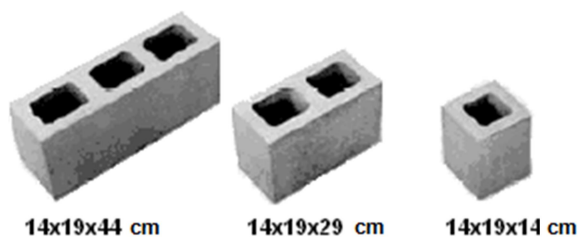


Figura 1: Blocos estruturais de concreto da Família 29 (Freitas Jr, 2013)

Os blocos da família 29, demonstrados na Figura 1, são modulados de forma a não haver a necessidade de blocos complementares para as amarrações nos cantos. Além disso, se enquadra na designação M-15, padronizados com dimensões múltiplas pré-determinadas pela norma, presente em blocos de vedação.

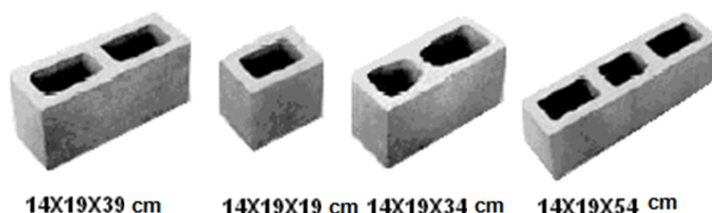


Figura 2: Blocos estruturais de concreto da Família 39 (Freitas Jr, 2013)

Os blocos da família 39, presentes na Figura 2, apesar de estarem na mesma designação dos blocos da família 29, possuem dimensões modulares que necessitam de blocos auxiliares para a modulação de cantos e de amarrações no formato “T”, exemplificados na imagem acima, sendo o terceiro e quarto bloco, respectivamente.



Figura 3: Blocos compensadores do tipo: canaleta “U” e “J” (Freitas Jr, 2013)

Outros blocos bastante comuns são os blocos “canaleta” e “J”, presentes na Figura 3. São utilizados geralmente na execução de cintas, vergas e contra vergas, tais quais são pontos de encontro entre paredes e lajes.

2.5.2 Argamassa

É o componente de ligação entre blocos, ou seja, a lâmina (ou cordão de argamassa) endurecida, intercalada e aderente às unidades de alvenaria que garante a monoliticidade do conjunto (Cavalheiro, S.D.). Geralmente possui apenas 1cm de largura, exercendo funções básicas, como solidarizar os blocos, prevenir entrada de agentes externos e uniformizar tensões, por exemplo.

Na definição do traço, ou seja, a proporção entre materiais que comporão a argamassa deve-se levar em conta sua trabalhabilidade, resistência, plasticidade e durabilidade, sendo estas primordiais para o bom funcionamento do material.

Normalmente utiliza-se argamassa mista, com cimento, cal e areia, além da água. A cal tem a função de cola, o cimento e a areia aceleram o processo de endurecimento e a água ajuda na trabalhabilidade. O mais usual em alvenaria estrutural é a proporção 1:2:9, ou seja, uma parte de cimento, duas de cal e nove de areia, em volume.

Durante o período de uso, a argamassa poderá ter a consistência ajustada com a adição de água no máximo duas vezes, com o volume da argamasseira consumido em no máximo 2h30min. Em climas quentes, a Norma 15.961:2010 recomenda também que se cubra o recipiente para inibir a perda de água.

Acrescenta-se, ainda, que a argamassa não deve ser curada, não somente pela dificuldade de executar tal operação, mas porque umedeceria principalmente os blocos de alvenaria, criando deformações de expansão e contração, atentando contra a integridade da parede e gerando fissuras por retração de secagem, conforme descrevem Prudencio Jr, Oliveira e Bedin (2002).

2.5.3 Graute

O graute, também conhecido como “micro concreto” é um concreto com agregados miúdos, feito exclusivamente por meio de betoneiras ou usinado. Deve ser dosado a fim de que os blocos de concreto, armaduras interiores e o próprio

graute tornem-se peças homogêneas e íntegras, suportando esforços solicitantes variados, estes resultantes de ações aplicadas na estrutura e a auto-sustentação requerida por paredes estruturais. (Penteado, 2003).

Com o uso do graute, torna-se possível aumentar a capacidade da alvenaria à compressão e, ainda, tornar a alvenaria armada capaz de combater tensões de tração.

As proporções mais comuns para a execução do graute são: 1:2,49:2,72 e 1:1,82:1,94 para cimento, areia e pedriscos, respectivamente. A Norma NBR15.961:2010 recomenda que o graute deva ser usado dentro de 2h30min, a partir do momento de adição de água. Nunca se pode usar o produto com prazo de validade vencido, exceto em casos de uso de aditivos retardadores de pega.

Antes do grauteamento os blocos devem ser limpos, furos executados de acordo com projeto e ferragens são colocadas soltas nos furos verticais e nas canaletas. Outro ponto importante é de que não é recomendável o armazenamento de graute pronto.

2.6 TÉCNICAS EXECUTIVAS

Em relação às fases de execução de uma obra em concreto armado, a alvenaria estrutural tem uma economia de tempo de até 50%. Como explica Cavalheiro (S.D.), o concreto armado tem uma sequência construtiva a ser seguida, começando desde a execução de formas, colocação de armaduras, concretagem, retirada de formas, alvenaria de vedação até as instalações finais na edificação.

A alvenaria estrutural, por seu lado, trabalha as etapas de forma simultânea, desde o início da obra até as instalações básicas, diminuindo tempo e dinheiro gastos.

Nota-se que a qualidade do produto final, neste caso a edificação, está diretamente relacionada à forma de execução, principalmente de acordo com o projeto estrutural, o qual indica materiais, marcações, aberturas, juntas, enfim, todos os detalhes importantes da construção.

É importante ressaltar a necessidade de qualificação da mão-de-obra empregada. Apesar de ter um elenco reduzido em relação às estruturas em concreto armado, na alvenaria estrutural necessita-se de melhores conhecimentos e técnicas, pois cada bloco possui uma importante função no produto final. Logo, deve-se

investir em ferramentas e materiais adequados, especialização e treinamentos aos funcionários.

Outro aspecto importante é a total integração dos projetos estrutural, arquitetônico e de instalações, devido às paredes exercerem função dupla e o sistema ser bastante racionalizado. Seguindo esta indicação, é possível evitar problemas de “desencontros”, como paredes estando em locais diferentes nos projetos estruturais e de arquitetura, por exemplo. Entretanto, como revela Cavalheiro (S.D.), nada impede que um determinado projeto arquitetônico, já pronto, possa ser adaptado para alvenaria estrutural.

Como todo sistema, a alvenaria estrutural é dividida em etapas, sendo as principais citadas por Tomaz e Helene (2000), brevemente exemplificadas a seguir:

- a) Locação das paredes: prévia conferência das posições dos componentes da estrutura, de acordo com projeto;
- b) Nível da primeira fiada: demarcação vertical, respeitando a modulação de projeto e acerto de cotas;
- c) Locação de ferros: locar as posições indicadas previstas em projeto;
- d) Assentamento da primeira fiada: começa-se pelos blocos de extremidades e de encontro entre paredes, sendo a qualidade desta parte que influenciará todo o serviço futuro;
- e) Execução de vergas, contra-vergas e cintas nas canaletas: nas posições determinadas e na última fiada, onde entrarão as canaletas, deverão ser totalmente preenchidas com graute, após posicionamento da armadura.

Para obter-se qualidade na execução, ferramentas adequadas a cada tipo de trabalho devem ser utilizadas, influenciando ainda na produtividade do serviço.

Muitas são as ferramentas presentes em obras, mas as principais são:

- a) Escantilhão metálico: peça metálica utilizada no assentamento da alvenaria que mantém paredes no prumo e fiadas niveladas e alinhadas.
- b) Esticador de linha: ferramenta de madeira simples fabricada no próprio canteiro, ajuda na colocação das fiadas por meio da fixação da linha de auxílio.
- c) Régua de prumo e nível: régua metálica, com referências de prumo e nível.
- d) Argamasseira: transporte e manuseio de argamassa, em material impermeável, localizada estrategicamente para que o pedreiro não precise mover-se muito para continuar seu trabalho.

- e) Andaime: cavaletes de apoio e sustentação para assentamento acima da oitava fiada.
- f) Canaletas: auxilia na colocação de argamassa nos blocos, visando regularidade na espessura de juntas.
- g) Palhetas: utilizada, também, para assentamento de argamassa sobre blocos. Neste caso, o cuidado do profissional é essencial para manter e regular a espessura das juntas.

2.7 ENCONTROS DE ALVENARIA

Para pontos onde há o encontro de alvenarias, algumas precauções devem ser tomadas, a fim de evitar patologias futuras, como fissuras, trincas, recalques, entre outros problemas.

2.7.1 Encontro parede-parede

Os encontros de paredes são de grande importância, pois é onde ocorre a concentração de tensões e também a transferência de cargas de uma parede a outra. O Encontro parede-parede é o ponto onde duas paredes, estruturais ou de alvenaria, encontram-se, divididas em dois subgrupos: encontro em “L” e encontro em “T”.

No encontro em “L”, as duas paredes encontram seu “ponto final”, logo, sua modulação deverá ser executada em acordo, como na Figura 4. Note que a primeira fiada começa por um dos lados do encontro, enquanto a segunda fiada segue ao outro lado, gerando um “quebra-cabeça” que garante a correta amarração entre blocos.

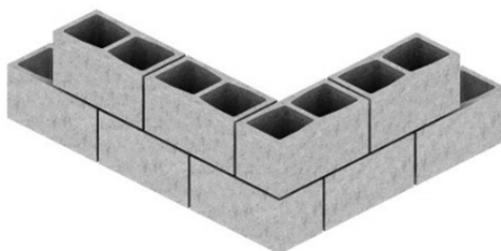


Figura 4: Encontro entre paredes em "L" (Freitas Jr, 2013)

Se há o uso de armadura neste encontro, a amarração ocorrerá com as ferragens subindo junto à alvenaria e o uso de graute, como na Figura 5.

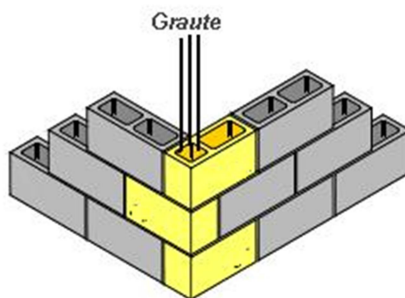


Figura 5: Encontro entre paredes em "L" armadas (Freitas Jr, 2013)

Já em pontos de encontro em "T", apresentado na Figura 6, uma das paredes encontra seu final em um ponto de continuação da próxima, necessita-se de modulação adequada dos blocos, formando também uma espécie de "quebra-cabeça".



Figura 6: Encontro entre paredes em "T" (Freitas Jr, 2013)

As cintas de amarração são elementos estruturais aplicadas em paredes onde há uma concentração de duas ou mais aberturas, funcionando como uma verga contínua. Elas possuem a função de distribuir e uniformizar as cargas atuantes sobre as paredes de alvenaria.

Nas paredes internas, a cinta de amarração é executada com blocos caneleta tipo "U", enquanto nas paredes externas são empregados os blocos "J", evitando o uso de formas de madeira.

A maior dificuldade na execução das cintas são os cantos e encontros de paredes, onde não há o encaixe entre os blocos, necessitando da utilização de formas de madeira conforme ilustra a Figura 7.

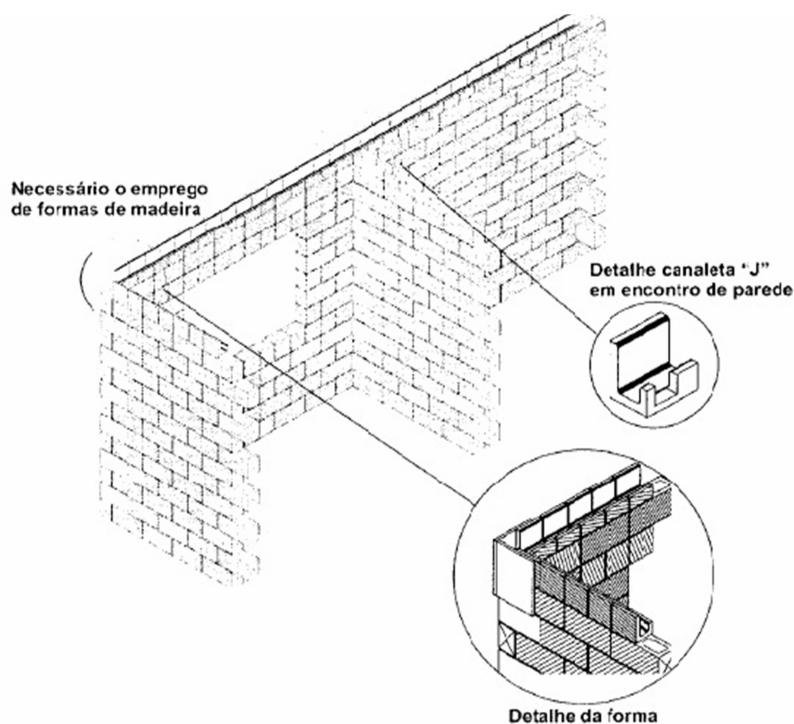


Figura 7: Fôrma e detalhe (Bedim, 2002)

2.7.2 Encontro laje-parede

No encontro laje-parede será necessário executar as vergas e as contra-vergas.

As vergas são elementos estruturais com função de absorver as reações e as cargas distribuídas das lajes para as paredes, podendo ser executadas em blocos canaleta ou podendo ser empregadas peças pré-fabricadas de concreto, com comprimento mínimo, a medida do comprimento de um bloco canaleta (19 cm) para portas, e dois blocos canaletas para janelas em ambos os lados.

As vergas são posicionadas na primeira fiada acima da abertura, tanto em portas quanto em janelas, como ilustrado na Figura 8.

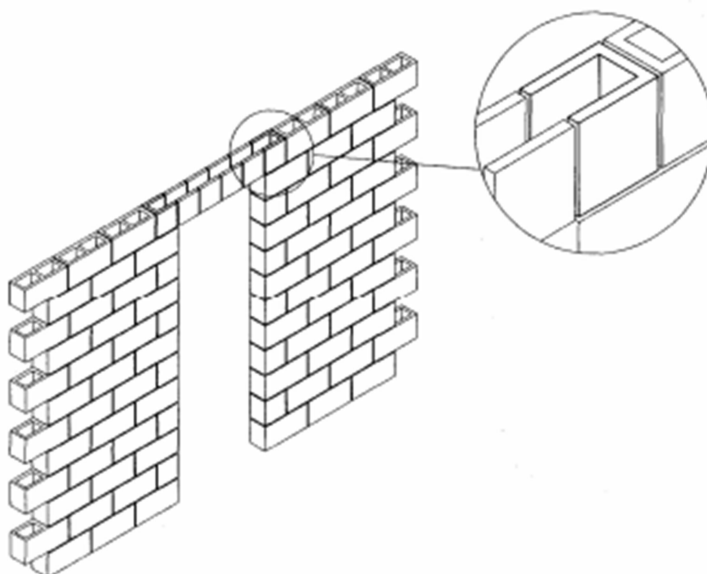


Figura 8: Detalhe verga (Bedim, 2002)

Normalmente, as contra-vergas são executadas em blocos canaletas, e é posicionada na última fiada antes da abertura (de baixo para cima), como na Figura 9, para uma melhor distribuição de cargas na parede. As contra-vergas possuem a função de auxiliar a verga.

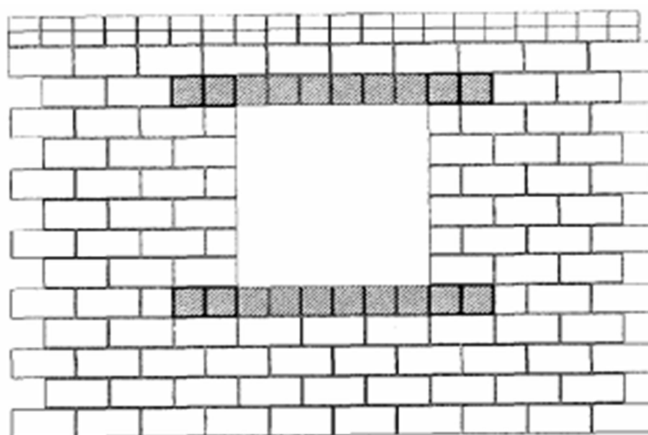


Figura 9: Detalhe verga e contra-verga (Bedim, 2002)

Para lajes não aparentes, utilizam-se blocos em “J”, que servem como compensadores para as paredes internas, conforme Figura 10. Desta forma, não há a sobrecarga a partir da laje sobre as paredes.

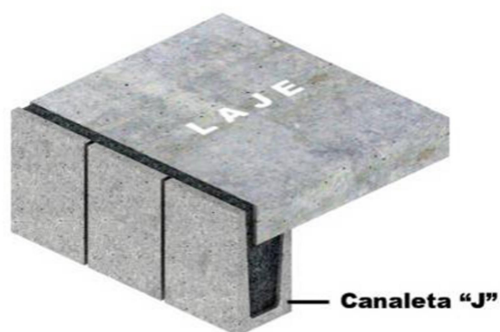


Figura 10: Encontro laje-parede com bloco "J" (Freitas Jr, 2013)

Em lajes aparentes, utiliza-se o bloco canaleta e, ainda, necessita do uso de forma para acabamento lateral da laje no ponto. Na Figura 11 é demonstrada o Encontro laje-parede com bloco "U".



Figura 11: Encontro laje-parede com bloco "U" (Freitas Jr, 2013)

2.8 ANÁLISE DO SISTEMA ESTRUTURAL

2.8.1 Vantagens

No campo das edificações no país, existem duas formas básicas construtivas, sendo elas: o sistema convencional, com estruturas moldadas "in loco"; e o sistema industrializado, com elementos pré-fabricados ou moldados "in loco" de forma mecanizada e racionalizada. A alvenaria estrutural, por sua vez, utiliza-se de sistemas estruturais industrializados, visto que seus componentes estruturais básicos (bloco ou tijolo) são peças modulares executadas em usinas ou indústrias cerâmicas.

Como todo método, sistema ou técnica, a alvenaria estrutural tem pontos positivos e negativos. Em outras palavras, vantagens e desvantagens para seu uso (ou não) em determinadas situações e projetos.

Um dos pontos fortes deste processo, como exemplifica Coêlho (1998) é a racionalização, uma vez que materiais e mão-de-obra afetam consideravelmente no custo geral do investimento. Ainda neste âmbito, nota-se que há a economia (ou extinção) do uso de fôrmas, sendo estas usadas apenas na concretagem de lajes ou de vigas auxiliares calculadas no projeto.

Outro aspecto importante é redução de revestimentos, visto que a alvenaria tem uma qualidade controlada e o revestimento poderá ser aplicado em camadas mais finas. Além disso, há menor desperdício de materiais e de mão-de-obra, sendo desnecessária a contratação de especialistas (como carpinteiros e armadores).

Têm-se, ainda, um ritmo de execução mais rápido e diferenciado daquele do sistema em concreto armado, pois em determinados tipos de lajes utilizadas nas estruturas não necessitam esperar o tempo de cura do concreto, tornando mais ágil a finalização da obra.

Por fim, nota-se a capacidade do sistema de alvenaria estrutural em se adequar à inovações tecnológicas, com novas técnicas e materiais, por meio de experimentos e resultados geralmente condizentes com as normas vigentes.

2.8.2 Desvantagens

Do outro lado da situação, existem também algumas desvantagens acerca deste sistema, sendo o principal deles a dificuldade de adequação entre projeto arquitetônico e estrutural. Um grande problema da alvenaria estrutural é o fato de ser “engessado”, ou seja, pouco se pode mudar em relação ao que foi calculado previamente, pois depende de modulação e tamanhos de vãos – geralmente pequenos – que devem seguir o padrão da família do bloco escolhido para a estrutura. Há, ainda, a restrição de uso de acordo com o que foi determinado em projeto.

Além da interferência em projetos arquitetônicos, podem acontecer também problemas entre projetos estruturais e de instalações. É importante ressaltar que paredes resistentes não podem ser posteriormente remanejadas pelo usuário, pois acarretaria problemas em toda a estrutura da edificação. Casos de remanejamento

podem ocorrer apenas em paredes de vedação. Para tanto, é importante estar atento ao manual de uso da edificação e projetos estruturais do mesmo.

Em relação a recalques diferenciais, se a alvenaria for do tipo armada, as cargas são distribuídas uniformemente, sem grandes deformações. Contudo, em casos de alvenaria estrutural não armada, recalques podem causar deformações e fissurações na alvenaria.

Finalmente, como desvantagens mais comuns na utilização do método, têm-se extrema necessidade de mão-de-obra qualificada, para evitar possíveis erros executivos e a falta de informações e conhecimentos da população face a alvenaria estrutural, ensejando assim a resistência inicial de profissionais e futuros usuários.

2.9 PRINCIPAIS FALHAS EXECUTIVAS

As causas das falhas podem estar relacionadas a falhas de projeto, de execução, de uso inadequado, ou falha de manutenção. Essas falhas, além de colocar em risco toda a qualidade do processo, comprometem também a economia esperada com a utilização da alvenaria estrutural.

Segundo Helman e Andery (1995), os efeitos das falhas são as formas como afetam o desempenho do sistema, do ponto de vista do cliente, ou seja, é o que o cliente pode observar. Por exemplo, o aparecimento de fissuras em um empreendimento pode afetar o conforto do usuário de várias formas entre as quais: do ponto de vista da estética, durabilidade e a estanqueidade do edifício e o constrangimento psicológico temendo pela própria segurança.

A seguir citam-se as principais falhas executivas encontradas em edifícios de alvenaria estrutural.

2.9.1 Espessura e preenchimento das juntas

Um dos principais problemas na alvenaria estrutural é a correta execução de juntas argamassadas entre blocos, principalmente quando há o despreparo da mão de obra, resultando em juntas grossas e problemas maiores de fissuração.

Diversas pesquisas indicam que a espessura ótima para as juntas de alvenaria é de 1 centímetro. Valores menores não são recomendáveis, pois a junta

não conseguiria absorver as imperfeições que ocorrem nas unidades (Roman et al., 1999).

Todas as juntas, horizontais e verticais devem ser completamente preenchidas, podendo acarretar perda de até 33% de resistência à compressão no primeiro caso e afetar resistência à flexão e cisalhamento, no segundo (Roman et al., 1999).

Podem ser também constatadas falhas nas juntas devido a impactos provocados pela utilização de equipamentos inadequados (martelo e talhadeira) para fazer rasgos nas paredes, pelo impacto da montagem das lajes pré-fabricadas ou mesmo pela execução de formas para lajes moldadas no local. Nessas situações a união da argamassa com o bloco é prejudicada, levando ao aparecimento de fissuras nesta interface ou mesmo o desprendimento de blocos das paredes, conforme Figura 12.



Figura 12: Preenchimento inadequado de juntas (Sousa, 2011)

2.9.2 Desaprumo

Além do dever de seguir todas as especificações em projeto, principalmente relacionadas à execução de alvenaria neste aspecto, é essencial de que se adote um programa de avaliação e controle de qualidade, a fim de alcançar os objetivos esperados sem surpresas no final. Durante esta avaliação, o prumo é uma das características mais importantes.

Logo após o assentamento da primeira fiada, deve-se definir o prumo, o alinhamento e o nível em que as fiadas constituintes da parede deverão seguir (Penteado, 2003).

Paredes fora de prumo como ilustrado na Figura 13, com reentrâncias ou não alinhadas com as paredes dos pavimentos próximos, produzirão cargas excêntricas com conseqüente redução em sua resistência (Roman et al., 1999).



Figura 13: Falta de prumo (Sousa, 2011)

2.9.3 Cortes de Alvenaria

Muitas vezes os empreendedores cortam blocos de alvenaria para executar tubulações de água, esgoto, águas pluviais e conduites para passagem de fiação elétrica, gerando desperdícios e problemas estruturais pela perda de resistência dos blocos, além de ser um processo incorreto. Na Figura 14 podemos visualizar tal situação.



Figura 14: Cortes posteriores na alvenaria (Sousa, 2011)

Existem diversas alternativas a este tipo de trabalho, como cita Roman (1999), sendo as principais: a utilização de embutimento das tubulações nos blocos, aberturas de passagens tipo “shafts” ou o emprego de tubulações aparentes.

A opção de tubulação embutida na parede permite que a parede possa desempenhar a função hidráulica e estrutural ao mesmo tempo. Neste processo, os vazados dos blocos são utilizados para a passagem de tubulação, excluindo a necessidade de cortes e quebras.

Já os “shafts” são passagens ocas, geralmente locadas em banheiros e cozinhas, por onde passam as tubulações hidráulicas da edificação. Para o uso destas é preferível que banheiros e cozinhas estejam próximos, para que as tubulações possam ser alocadas no mesmo ponto.

2.9.4 Grauteamento incorreto

Segundo a NBR 15.961:2010, graute é um componente utilizado para preenchimento de espaços vazios de blocos com a finalidade de solidarizar armaduras à alvenaria ou aumentar sua capacidade resistente.

Para ser totalmente aceito, o processo de grauteamento deve seguir algumas especificações, sendo as principais: a limpeza dos furos através das aberturas na base, o lançamento de graute deve ser feito em altura limitada e protegido e o prazo mínimo para execução após a elevação de alvenaria é de vinte e quatro horas.

A principal falha está no grauteamento efetuado apenas após a execução de todas as fiadas de determinado pavimento, acarretando falhas e pontos aonde o graute não chega, não espalha ou, ainda, pontos sem graute, como na Figura 15. Roman (1999) indica que a melhor opção seria o grauteamento a cada fiada ou, se não for possível, no meio pé-direito esperado e na última fiada, pelo menos.



Figura 15: Grauteamento incorreto (Sousa, 2011)

Os problemas de pontos vazados ocorrem pelo acúmulo de ar no interior da alvenaria ou, ainda, pela segregação do material, ocasionando enfraquecimento da parede e desproteção da armadura.

2.9.5 Ausência de ferramentas adequadas

É de suma importância que se utilize ferramentas adequadas a cada tipo de serviço realizado na obra, visto que incorporam velocidade, garantia da qualidade do serviço e previne acidentes de trabalho causados por materiais em más condições de uso.

Entre os principais utilizados, estão o nível alemão para conferência de níveis, palhetas ou canaletas para padronização de espessuras de juntas (evitando outra falha já citada), martelos com pontas de borracha para pequenos ajustes, pás de pedreiro para aplicação de argamassa, equipamentos de proteção individual e coletivos, entre muitos outros.

As ferramentas devem sempre estar em bom estado de conservação, de acordo com os padrões de qualidade exigidos, incluindo inspeções e substituições sempre que necessário.

Um material bastante suscetível à deteriorização rápida é o escantilhão – ferramenta de aferimento de prumo – que, quando exposto ao sol, perde resistência e ocorre a retração do material, podendo “entortar” e aferir prumos errados nas paredes.

2.10 CONTROLE TECNOLÓGICO

Os principais fatores relacionados à fase executiva, que devem ser controlados para obtenção da qualidade, são:

- a) Argamassa: deve-se padronizar os traços da argamassa para a obra, mudando apenas ocasiões exigidas pelo projeto;
- b) Juntas verticais e horizontais: devem ser preenchidas totalmente, mantendo espessura constante e dentro dos valores de tolerância;
- c) Assentamento: deve evitar perturbações nos blocos logo após seus assentamentos para não intervir na aderência bloco-argamassa;

- d) Prumo da parede: deve-se verificar prumo e alinhamento da parede à medida que a alvenaria vai sendo executada, para que sejam evitadas excentricidades adicionais de carregamento.

De acordo com a NBR 15.691, alguns requisitos são exigidos para aceitabilidade da alvenaria relacionados a esses fatores executivos:

- a) Espessura das juntas: O valor mínimo da espessura da junta horizontal de argamassa de assentamento dos blocos da primeira fiada é de 5 mm e o valor máximo não deve ultrapassar 20 mm. As demais juntas devem ter espessuras de 10 mm, com variação máxima de ± 3 mm, como pode ser visto na Figura 16.

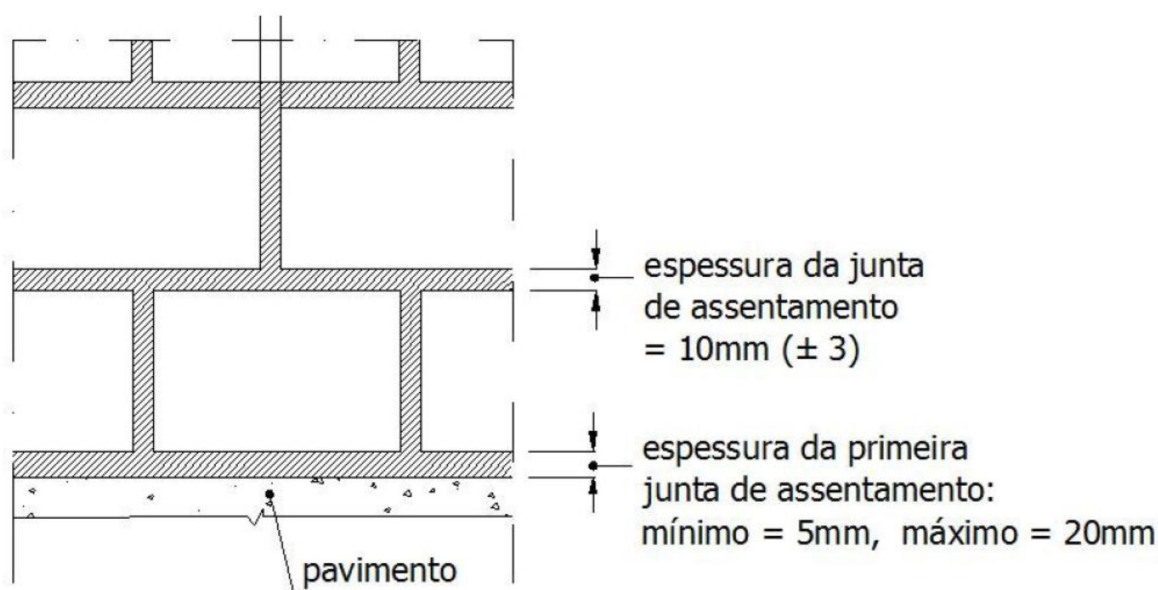


Figura 16: Variações máx. da espessura das juntas (ABNT, NBR 15.961:2010)

- b) Assentamento dos blocos: durante a elevação das paredes, os blocos devem ser assentados e alinhados de forma a exigir o mínimo de ajuste possível. Devem ser posicionados enquanto a argamassa estiver trabalhável e plástica e, em caso de necessidade de acomodação do bloco, a argamassa deve ser removida e o componente assentado novamente de forma correta.
- c) Prumo: a falta de prumo de alinhamento na elevação da alvenaria não pode exceder o valor de 10 mm, além de atender a um limite de 2 mm por metro,

como é mostrado na Figura 17. Quanto ao prumo total da obra, este não deve ultrapassar o valor de 25 milímetros.

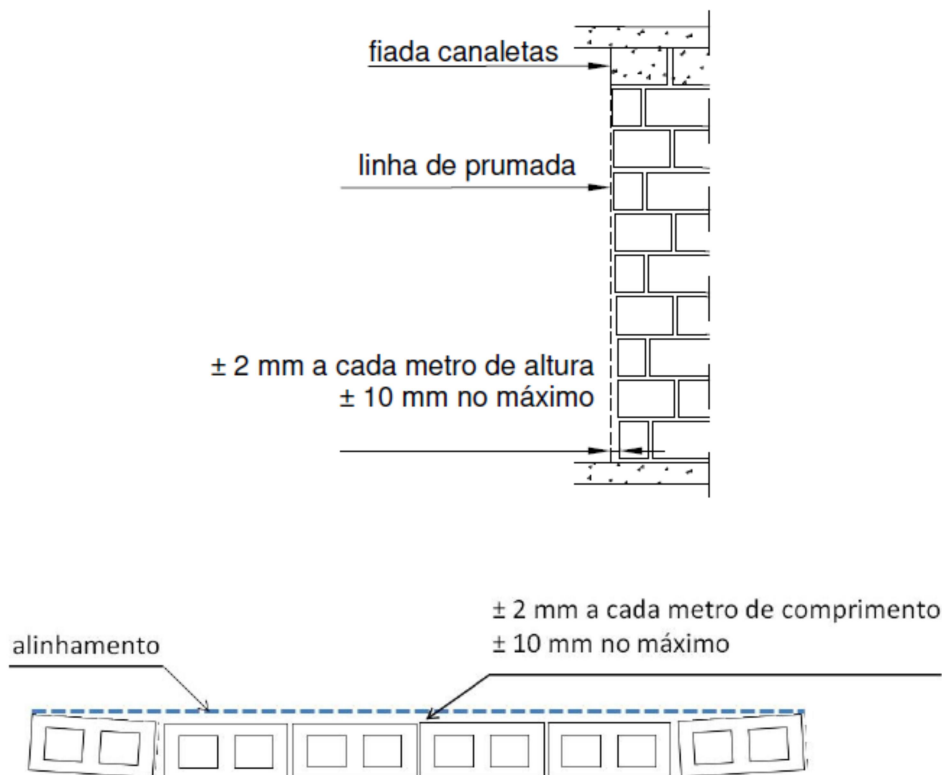


Figura 17: Limites para desprumo e desalinhamento (ABNT, NBR 15.961:2010)

Para avaliar os itens de locação das paredes, Tomaz e Helene (2000) citam que os desvios máximos entre a localização real da parede e onde ela realmente devia estar devem ser de 10mm. A medida poderá ser feita pelo eixo da parede, ou pela face da mesma, uma vez que seja controlada sua espessura.

Outro quesito que Tomaz e Helene (2000) citam sobre o controle tecnológico da execução da alvenaria estrutural é com relação à modulação das paredes. Para a avaliação deste item deve-se utilizar o projeto de paginação que, geralmente, é disponibilizado pelo projetista, e que deverá ser distribuído aos encarregados e operários que executarão o serviço. Citam, ainda, a importância da não utilização de blocos quebrados para compor algumas peças de ajustes.

3 MATERIAIS E MÉTODO

Para melhor desenvolvimento da pesquisa, foi realizado um levantamento de campo em um edifício construído pelo método estudado, localizado na cidade de São Paulo, financiado pelo banco “Caixa Econômica Federal”, governos municipal, estadual e federal, como parte de um projeto de urbanização de favelas.

No início desta pesquisa, a obra encontrava-se em fase de acabamento e entrega, porém, continha um enorme acervo fotográfico de todas as fases de realização, além do auxílio do engenheiro responsável por todo o processo, com fornecimento de informações e dados referentes.

Logo, para execução deste estudo, foram recolhidas aproximadamente 600 fotografias, desde a execução da fundação até o acabamento da obra. Além disso, foram realizadas duas visitas técnicas ao local, com duração de, aproximadamente, 3 horas cada, para reconhecimento de campo e reuniões com o engenheiro responsável, onde foram coletadas informações sobre as falhas mais comuns e peculiaridades do projeto relevantes à pesquisa.

O Residencial é composto por 3 torres e 407 apartamentos, distribuídos em 6 pavimentos. Faz parte de um projeto de reassentamento de famílias que viviam em situações de risco (em favelas, próximas a áreas de deslizamentos de terras, etc), com objetivo de unir habitações populares e desenvolvimento sustentável. Um dos diferenciais do edifício é o uso de cobertura metálica sombreante, contribuindo com o conforto e diminuindo a necessidade de manutenção não prevista.

Além das três torres construídas, o projeto contemplou também a construção de salão de festas, quadra esportiva, área de lazer infantil com playground, áreas cobertas para o estacionamento de motocicletas, praças e portarias. Além disso, em cada um dos blocos do conjunto habitacional também foi construído um apartamento com total acessibilidade, e que permite o bem-estar de pessoas com mobilidade reduzida, totalizando uma área construída aproximadamente 23.000 m².

De posse dos dados citados buscam-se, então, formas de unificá-los e relacioná-los às hipóteses da pesquisa. Logo, os resultados foram elaborados por meio de textos explicativos e analíticos, seguindo a cronologia de uma obra, iniciando pela fundação, armazenagem de blocos, elevação de alvenaria, rasgos na alvenaria, nível e prumo, grauteamento, juntas entre blocos e colocação de lajes.

Em cada uma destas fases foram notadas falhas, sejam elas comuns ou não. Então, na apresentação dos resultados, indica-se qual a falha, sua causa, sua solução de acordo com a norma relacionada e se esta fora aplicada em obra, contendo inclusive soluções alternativas adotadas pelo engenheiro. Todas contam, ainda, com imagens relacionadas às anomalias no Residencial, selecionadas durante a triagem e auxiliando na exposição dos resultados.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante as visitas e reuniões realizadas com os engenheiros envolvidos na obra do Residencial, diversas falhas foram apontadas, algumas bastante comuns em todas as fases do projeto, outras com menos incidência, porém com consequências ainda mais graves. Nos tópicos a seguir ressaltaremos as situações de maior impacto na execução e falhas mais comuns encontradas durante o levantamento do Residencial.

4.1 FUNDAÇÃO

Durante a execução da fundação de qualquer tipo de estrutura, deve haver um distanciamento entre armaduras e fôrmas de, no mínimo, 2 centímetros, para garantir a correta execução de sua armação.

Neste caso, no entanto, a fundação começou a ser executada sem o uso de espaçadores, conforme indicado na Figura 18. O problema ocorreu devido ao despreparo do profissional responsável por sua execução.

Buscando corrigir este problema, a solução encontrada foi refazer a fundação de forma correta – com o espaçamento adequado –, para evitar futuras patologias. Esta situação gerou atrasos no cronograma inicialmente planejado para a obra (Figura 19).



Figura 18: Fundação sem uso de espaçadores (Silveira, 2016)



Figura 19: Detalhe do espaçador já colocado na fôrma (Silveira, 2016)

4.2 ARMAZENAGEM DOS BLOCOS

É de extrema importância o armazenamento correto dos materiais utilizados em obra, principalmente dos blocos. Durante a execução desta obra, em diversas situações, os blocos de concreto não foram locados corretamente, acarretando situações de risco ao produto, chances de quebra do material e possível desperdício. Na Figura 20 mostram-se duas situações onde ocorre este tipo de situação.



Figura 20: Blocos armazenados de forma incorreta (Silveira, 2016)

De acordo com a NBR 15.961:2011, citada no item “2.2 – Processo Construtivo”, os blocos de concreto necessitam ser inspecionados no ato de recebimento e antes da utilização, e o seu armazenamento deve seguir as prescrições a seguir:

- a) Os blocos devem ser descarregados em uma superfície plana e nivelada, assegurando a estabilidade da pilha;

- b) Os blocos devem ser utilizados de preferência na ordem do recebimento;
- c) Os blocos devem possuir identificação quanto à resistência, número do lote de obra, e o local de sua aplicação;
- d) Os blocos devem ser armazenados em lajes cimbradas ou sobre o solo, porém somente se for evitada a contaminação direta ou indireta por ação da capilaridade da água;
- e) Todos os blocos devem estar protegidos de situações que possam prejudicar a alvenaria, como a chuva.

Em função das determinações da Norma, todos os blocos que deveriam ser armazenados em obra passaram a ser colocados em locais adequados, evitando perdas e futuros problemas estruturais. Além disso, os blocos que se encontravam em local inadequado (mostrados na figura anterior) também foram movidos.

4.3 ELEVAÇÃO DE ALVENARIA

Um aspecto bastante importante da alvenaria estrutural é de que os projetos já indicam as marcações da primeira e segunda fiadas de elevação de alvenaria em todos os pavimentos, em suas plantas, cortes e perfis. As marcações prévias buscam evitar a execução das chamadas “juntas prumo”, ou seja, a execução de paredes com juntas coincidentes, acarretando problemas de rigidez lateral e pior distribuição de carregamentos verticais. Logo, todas as paredes, sejam elas de vedação ou estruturais, tiveram as primeiras fiadas de blocos marcadas e executadas exatamente de acordo com o projetado, conforme mostra a Figura 21, não acarretando falhas neste âmbito.



Figura 21: Marcação de fiadas (Silveira, 2016)

Importante ressaltar que o assentamento dos blocos deve ser a partir dos cantos, subindo a alvenaria gradualmente, deixando sempre os blocos do meio, para a etapa final. A Figura 22, obtida em obra, mostra exatamente como deve ocorrer.



Figura 22: Elevação de paredes (Silveira, 2016)

Conforme a NBR 15.961:2010 para certificar-se que a elevação da alvenaria seja executada da forma correta, alguns procedimentos devem ser verificados. Assim, antes do início da elevação, deve-se analisar:

- A locação, esquadros e nivelamento da base de assentamento da alvenaria, descritos no projeto;
- O posicionamento dos reforços metálicos e das tubulações conforme projeto;
- Deverá ocorrer a limpeza do pavimento onde a alvenaria será executada em relação a materiais que prejudiquem a aderência da argamassa entre o bloco e o pavimento;
- Deverá ocorrer a limpeza dos componentes blocos e peças pré-fabricadas, os quais devem estar livres de materiais que possam prejudicar sua aplicação e desempenho.

Executados tais procedimentos, parte-se para a elevação da edificação. Nesta fase, a norma indica que:

- Após o assentamento, os blocos não devem ser movidos da sua posição para não perder a aderência;
- Somente executar as paredes de alvenaria com blocos inteiros e seus complementos;

- As paredes estruturais não devem apresentar amarração direta com as paredes não estruturais.

4.4 RASGOS NA ALVENARIA

Apesar da execução correta das fiadas, muitas das falhas encontradas aconteceram durante a fase de elevação de alvenaria. Um exemplo é o corte de buracos para conduites e tubulações, feito com martelo, o qual não tem a precisão necessária e acaba danificando a estrutura dos blocos, conforme ilustra a Figura 23.



Figura 23: Rasgos nos blocos (Silveira, 2016)

De acordo com a NBR 15.961:2010, citada no item “4.2 – Elevação da alvenaria”, as paredes de alvenaria devem ser apenas executadas com blocos inteiros e seus complementos. As peças cortadas, pré-fabricadas e pré-moldadas devem estar previstas no projeto de produção e devem ser adquiridas em condições controladas.

Conforme citado, existem diversas alternativas ao corte de alvenaria, como o uso de “shafts” ou a passagem de tubulação por dentro dos blocos. Neste caso, optou-se pela passagem de tubulação por dentro dos blocos, sendo executado conforme ocorria a elevação da alvenaria. Outra forma de rasgo acontece nos pontos de caixas hidráulicas e elétricas, onde serão instaladas tomadas, torneiras, chuveiros, entre outros aparelhos.

A solução encontrada pelo engenheiro responsável, e mais indicada para este tipo de corte, foi o uso da máquina serra copos, vista na Figura 24, que executa cortes redondos com precisão e sem desperdício, não gerando sujeira e mantendo

as características necessárias dos blocos, evitando rasgos destrutivos. O resultado final do corte está mostrado na Figura 25.



Figura 24: Máquina serra copos (Silveira, 2016)



Figura 25: Corte e resultado final (Silveira, 2016)

4.5 NÍVEL E PRUMO

A aferição de nível e prumo é crucial na elevação da alvenaria, podendo qualquer falha acarretar problemas de fissuras, recalques e, em casos extremos, queda da edificação.

Como citado no capítulo “2.9.2 - Desaprumo”, as aferições e correções necessárias devem ser realizadas logo após o assentamento da primeira fiada, porém, este processo não foi realizado corretamente.

Durante a execução da obra, ocorreram falhas na verificação do prumo, que podem ter como consequência o comprometimento da edificação. Neste caso, o mestre de obras sugeriu que fosse corrigido no emboço externo. O emboço é visto como o corpo do revestimento, e suas funções fundamentais são a vedação e regularização da superfície e a proteção da edificação. Como podemos visualizar na Figura 26, a parede se encontra fora de prumo.



Figura 26: Paredes fora de prumo (Silveira, 2016)

De acordo com a NBR 15.961:2010, o desaprumo e desalinhamento máximo das paredes e pilares do pavimento não devem ultrapassar 10mm, e obedecer ao limite de 2mm por metro. O desaprumo admitido para a altura total do edifício é de 25mm.

Na Figura 27 podemos observar que a descontinuidade vertical de pilares e paredes de um pavimento para outro deve ser no máximo de 5mm. O limite do desalinhamento em relação a laje no caso das alvenarias periféricas é de 5mm.

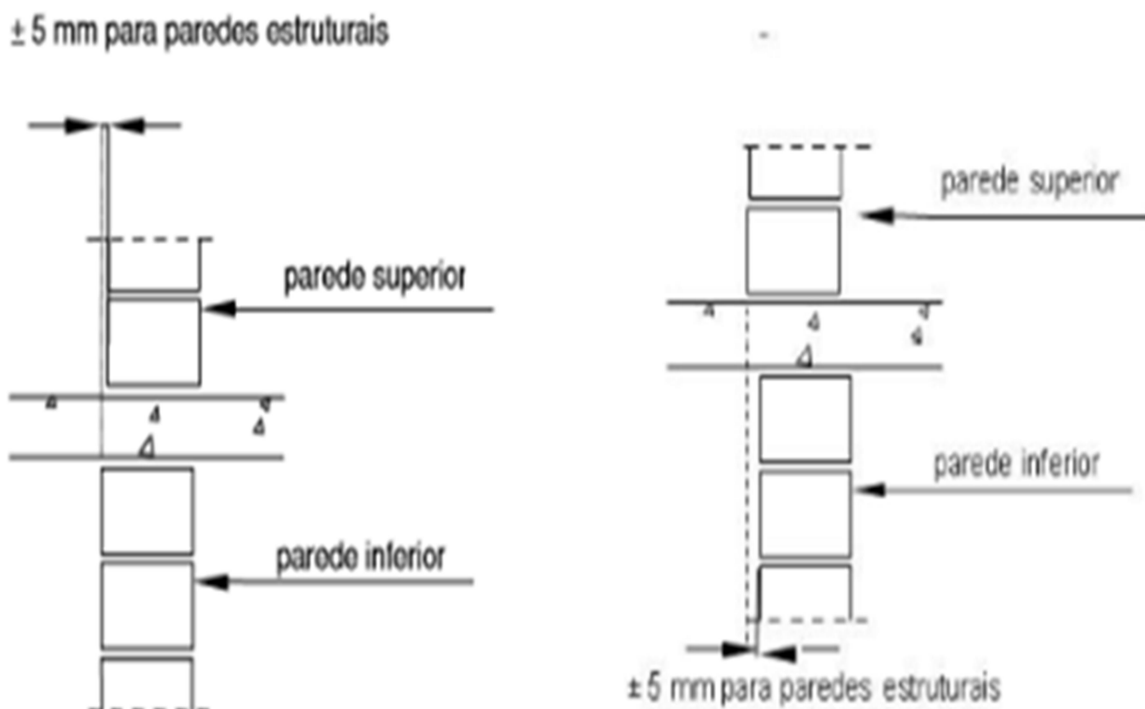


Figura 27: Descontinuidade máx. das paredes e pilares (ABNT, NBR 15.961:2010)

No Quadro 2, mostram-se a tolerância do alinhamento das paredes e o nível superior das paredes.

| Fator | | Tolerância |
|----------------------------|----------------------------------|---|
| Alinhamento da parede | Vertical (desaprumo) | ± 2 mm/m ± 10 mm no máximo por piso ± 25 mm na altura total do edifício |
| | Horizontal (desalinhamento) | ± 2 mm/m ± 10 mm no máximo |
| Nível superior das paredes | Nivelamento da fiada de respaldo | ± 10 mm |

Quadro 2: Variáveis de controle geométrico de parede (ABNT, NBR 15.961:2010)

4.6 GRAUTEAMENTO

Caixas de graute são pequenos “buracos” localizados na parte mais baixa da parede, que funciona como uma janela de inspeção, conforme abordado anteriormente nesta pesquisa. Estas caixas devem ter dimensões de acordo com o indicado em projeto e não devem danificar a estrutura do bloco. No entanto, o que ocorre com bastante frequência é a falta de cuidado na hora do corte, resultando em blocos danificados e caixas fora de padrão.

A Figura 28 demonstra falhas ocorridas na execução das caixas de graute em paredes. Ao contrário do que ocorreu na obra, onde usaram martelo, indica-se que estes blocos sejam cortados antes de serem assentados, com uma “makita” de bloco e com o cuidado de seguir as especificações de projeto.



Figura 28: Caixas de graute mal cortadas (Silveira, 2016)

Durante a execução da obra, alguns pontos não foram preenchidos corretamente. Na Figura 29 podemos visualizar os aspectos dos blocos com a falta de preenchimento do graute.

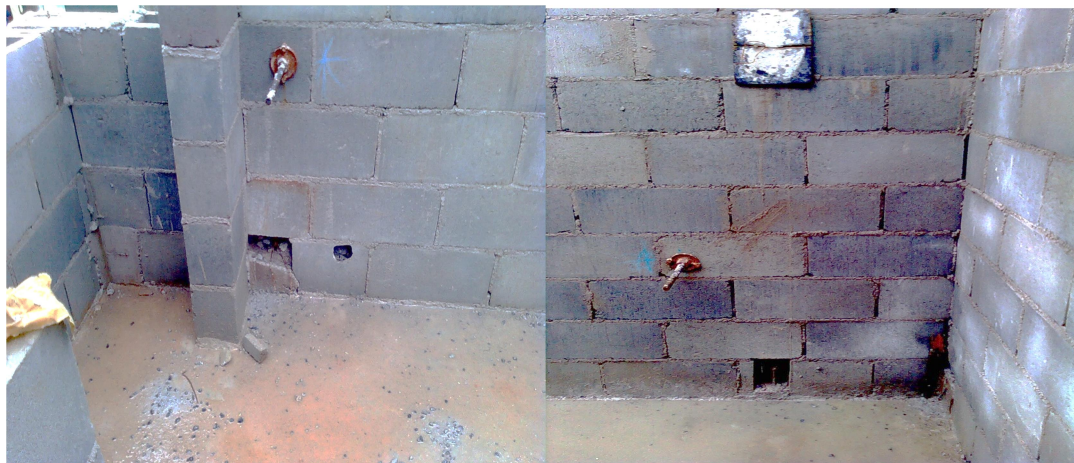


Figura 29: Falta de preenchimento de graute (Silveira, 2016)

Para se adequar a NBR 15.961:2010, na execução de grauteamento devem ser observados:

- a) Os furos devem ser desobstruídos antes de espalhar o graute, como na Figura 30. Aconselha-se limpar as rebarbas de argamassa;

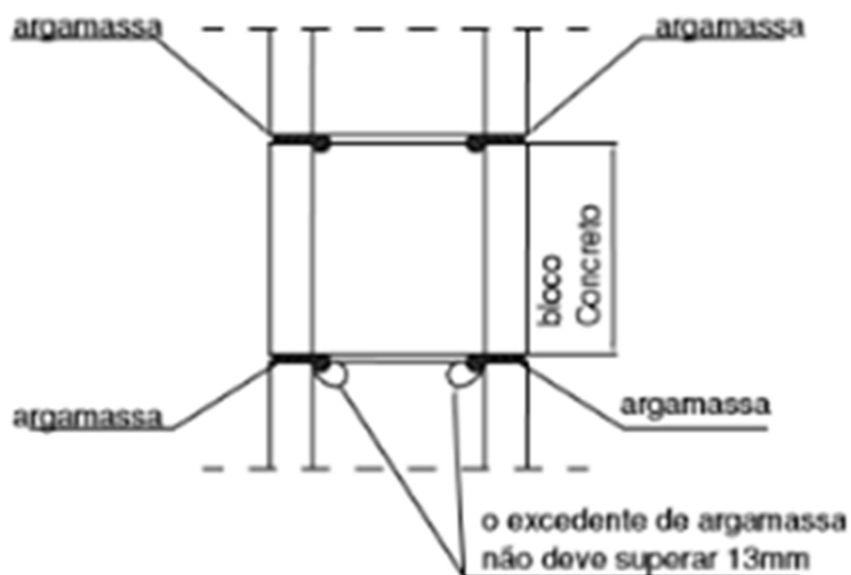


Figura 30: Desobstrução dos furos (ABNT, NBR 15.961:2010)

- b) O limite da altura para o lançamento do graute deve ser de 1,6m. Se o graute for aditivado, assegurando a coesão sem segregação situação, então o limite de altura para o lançamento é de no máximo 2,8m;
- c) Os vazados devem ser molhados antes do lançamento do graute;
- d) Deve ser utilizada no adensamento manual haste entre 10 e 15mm de diâmetro, a qual deve ter comprimento o bastante para atingir toda a extensão do vazado. Não pode ser utilizada a própria armadura da parede para esse adensamento;
- e) Para a limpeza e a inspeção da operação de grauteamento, janelas de visita devem ser produzidas nos pontos a serem grauteados.

Nesta “caixa” também usam-se arames, a fim de garantir que a tampa fique no lugar. Contudo, o arame é um tipo de ferro, o qual sofre com a oxidação – devido a gases atmosféricos – e quebra antes do esperado.

Como forma alternativa ao arame, o engenheiro responsável pela obra utilizou a “fita Hermann”, como pode ser visto na Figura 31, uma fita plástica maleável que se adapta, atende perfeitamente às expectativas e tem vida útil maior.



Figura 31: Uso de "fita Hermann" nas caixas de graute (Silveira, 2016)

4.7 JUNTAS

Conforme citado no item “2.9.1 – Espessura e preenchimento de juntas”, falhas nas juntas acarretam problemas relacionados às resistências horizontais e verticais das paredes estruturais. Neste estudo, notaram-se diversos pontos com

falhas nas juntas, pelos mais diversos motivos. A Figura 32 demonstra as falhas ocorridas devido à pressa dos funcionários em executar o trabalho, além da falta de preparo de alguns na execução de juntas com o tamanho aceitável pela norma.

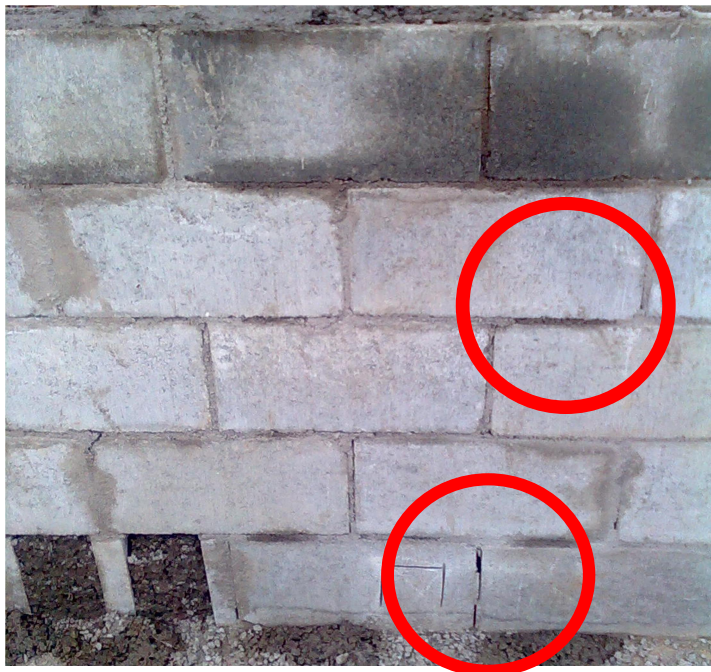


Figura 32: Falhas em juntas horizontais e verticais (Silveira, 2016)

Em relação ao tipo de falha, existiam aquelas em que as juntas estavam mal preenchidas, havendo pontos com buracos entre blocos. Outro tipo encontrado foi o de juntas com tamanho maior do que o normalizado, tornando visivelmente desagradável e acarretando problemas de resistências.

Neste caso, pouco pôde ser feito para correção das falhas, visto que a alvenaria já havia sido levantada e a demolição seria inviável. Contudo, após notado o problema, intensificou-se a fiscalização acerca da execução das juntas.

Além disso, foram encontrados pontos de piso sem juntas de dilatação, as quais são utilizadas para separar o piso de outras estruturas e tem a função de impedir rachaduras ou trincas.

Segundo a NBR 15.961:2010, as juntas horizontais devem ter espessuras de 10mm, a menos que seja junta horizontal da primeira fiada, a qual deverá ter valor mínimo da espessura de 5mm e o valor máximo de 20mm. Admite-se, ainda, espessuras de no máximo 30mm em trechos de comprimento inferiores a 50cm. Caso a junta horizontal de argamassa de assentamento dos blocos da primeira fiada ultrapassar o limite máximo imposto, deverá ser executado um nivelamento com

material com a mesma resistência da laje. O limite da variação da espessura das juntas de argamassa deve ser de $\pm 3\text{mm}$.

Na Figura 33 obtida em obra, o piso apresenta fissuras como consequência da falta de junta de dilatação, devido a força de compressão e estiramento ou alongamento. Esta situação resulta da falta de orientação e despreparo dos responsáveis por executar as juntas.



Figura 33: Falta de junta de dilatação (Silveira, 2016)

Para evitar novas fissuras, o mestre de obras sugeriu, então, que executasse as juntas de dilatação. Para a aplicação, a junta deve estar limpa, seca, nivelada e sem caimento.

4.8 LAJES

Em projetos de alvenaria estrutural o mais comum é que se utilizem lajes pré-moldadas, em placas, com armadura treliçada, garantindo a resistência necessária e a correta adequação às paredes da estrutura, como na Figura 34.



Figura 34: Laje aplicada na obra (Silveira, 2016)

Geralmente, em obras sociais, as lajes são aparentes devido à boa modulação e aceitabilidade visual. Os pontos positivos das lajes pré-moldadas estão associados ao fato de que não necessitam de uma quantidade significativa de madeiramento para sustentação. Contudo, o preenchimento deve ser instalado e escolhido de forma correta, caso contrário, poderão ocorrer trincas e fissuras. Na Figura 35 pode ser observada a formação de trincas, resultadas da falta de cuidado na colocação das lajes. Neste caso, como solução, a laje deverá ser substituída antes da concretagem.



Figura 35: Lajes quebradas (Silveira, 2016)

Uma vantagem encontrada para executar os encontros de lajes e paredes foram os blocos em “J”, que excluem a necessidade de cintas de amarração e, conseqüentemente, diminuem o uso de madeira.

Durante o estudo, também foi possível observar falha nas armaduras positivas e negativas, resultando no aparecimento de trincas. Como podemos visualizar na Figura 36, as armações encontram-se em péssimo estado e totalmente soltas, gerando necessidade de ponteamento.



Figura 36: Armação positiva e negativa (Silveira, 2016)

4.9 PILARES

Nos pilares, alguns cuidados devem ser tomados na hora do lançamento de concreto. A altura de queda livre do concreto não pode ultrapassar 2 m, pois tal situação levaria à segregação dos componentes. Para que a vibração dos pilares seja realizada de forma apropriada e satisfatória, o lançamento deve ser realizado em camadas inferiores a 50 cm. Caso contrário, poderão ocorrer falhas, como as demonstradas na Figura 37, obtida em obra.



Figura 37: Consequência da má vibração dos pilares (Silveira, 2016)

Como solução, o mestre de obras recomendou executar uma nova forma para o pilar e, depois, executar o grauteamento. O pilar que irá receber o esforço deverá ser apicoado, melhorando a aderência do graute. Durante o processo, a camada superficial de concreto é removida manualmente ou com o auxílio de equipamentos. A profundidade é estabelecida em projeto.

CONCLUSÃO

Ao longo da execução desta pesquisa, notou-se que a execução de edificações pelo método da alvenaria estrutural possui aspectos positivos e negativos, como qualquer outro método. Um de seus maiores atrativos é o fato de ser um método mais barato financeiramente, sendo utilizado principalmente em projetos sociais e de baixo orçamento.

Algumas limitações estiveram presentes durante a pesquisa, principalmente pelo fato do Residencial ser uma obra pública, gerando maior dificuldade na obtenção de informações internas e o impedimento da divulgação de seu nome. Outra situação foi a obra já estar em fase de finalização, impedindo o acompanhamento de todas as fases do projeto.

Analisando os objetivos e hipóteses propostos ao iniciar a pesquisa, todos foram atingidos com êxito, sendo descritas as principais falhas e anomalias encontradas em edifícios de alvenaria estrutural, realizada pesquisa de campo em um residencial, com imagens e conhecimentos expostos nos resultados, além das recomendações técnicas em acordo com as Normas Brasileiras em vigor.

Durante as reuniões e análise das informações obtidas, ficou evidente que o maior causador das anomalias é o despreparo de funcionários e a falta de conhecimento das Normas Técnicas. Assim, diversas falhas poderiam ser evitadas, como por exemplo, as falhas em juntas horizontais e verticais, as quais são normatizadas e, ainda assim, são executadas com tamanhos incorretos; e a vibração de pilares feita com altura superior à permitida, gerando segregação de componentes e necessidade de novo grauteamento. Contudo, existiram soluções executadas antes mesmo do aparecimento de anomalias, como no caso do uso de “fitas Hermann” para fechamento de caixas de graute, devido à sua maior durabilidade e vida útil em relação ao arame.

Por fim, foi possível demonstrar por meio desta pesquisa a importância da alvenaria estrutural, as anomalias mais presentes neste método, suas causas, consequências e soluções. Para empreendimentos futuros é importante que haja sempre a preocupação com a capacitação de funcionários e aplicação de técnicas construtivas efetivas, evitando problemas e custos adicionais e, ainda, um produto final muito satisfatório ao cliente, construtor e comunidade na qual está inserido.

Em relação a futuras pesquisas sobre o tema, seria interessante a execução de um manual de recomendações técnicas baseado nas normas vigentes, com exemplos reais e soluções para possíveis problemas que possam acontecer durante uma obra, utilizando, ainda, esta pesquisa como referência. Além disso, pode-se ainda realizar pesquisa sobre as patologias encontradas após a ocupação da edificação por seus moradores, mapeando as patologias encontradas, relacionando-as ao projeto aplicado e identificando-as através de fotografias no local, por exemplo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Alvenaria estrutural – Blocos de concreto: Parte 2: Execução e controle de obras – **NBR 15.961**. Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Blocos vazados de concreto simples para alvenaria – Requisitos – **NBR 6.136**. Rio de Janeiro, 2014.

BAUER, R. J. F.; Patologias em alvenaria estrutura de blocos vazados de concreto – Caderno Técnico Alvenaria Estrutural – CT5; São Paulo, SP. **Revista Prisma**, Ed. Mandarin, 2007.

BEDIM C.A.; OLIVEIRA, A.I.; PRUDENCIO JR, L.R. **Alvenaria estrutural de blocos de concreto**. Florianópolis: Associação Brasileira de Cimento Portland, 2002. 208 p.

CAVALHEIRO, O. P.; Artigo: **Alvenaria Estrutural – Tão antiga e tão atual**; Grupo de Pesquisa e Desenvolvimento em Alvenaria Estrutural (GPDAE). Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, RS, sem data.

COÊLHO, R. S. A.; **Alvenaria Estrutural**. São Luis, MA. Ed. UEMA, 1998.

FREITAS JR., José de Almendra. **Construção Civil II: Alvenaria Estrutural**. Universidade Federal do Paraná – Setor de Tecnologia, 2013. 107 slides, color, com texto.

HELMAN, H.; ANDERY, P.R.P. **Análise de falhas** (aplicação dos métodos de FMEA-FTA). Belo Horizonte – MG. Fundação Christiano Ottoni, Escola de Engenharia da UFMG, 1995.

MANZIONE, L.; **Projeto e execução de Alvenaria estrutural** – Primeiros passos da qualidade no canteiro de obras. São Paulo, SP, 2004.

PENTEADO, A. F.; **Gestão da produção do sistema construtivo em alvenaria estrutural**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2003.

PRUDENCIO JR, L.R.; OLIVEIRA, A.I.; BEDIN, C.A. **Alvenaria estrutural de blocos de concreto**. Florianópolis: Associação Brasileira e Cimento Portland, 2002. 208 p.

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

ROMAN, H. R.; MUTI, C. N.; ARAÚJO, H. N. **Construindo em alvenaria estrutural**. Florianópolis: Ed. UFSC, 1999.

SILVEIRA, André. **“Fotos Mata Virgem”**, São Paulo, SP, 2016. 1 álbum (621 fotografias).

SOUSA, M. W. S.; **Levantamentos de erros executivos em edifícios em alvenaria estrutural de bloco cerâmico**. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2011.

THOMAZ, E.; HELENE, P.; Boletim técnico: **Qualidade no projeto e na execução de alvenaria estrutural e de alvenarias de vedação em edifícios**. São Paulo: Escola Politécnica da USP, 2000.