



2025

PAREDES DE ALVENARIA ESTRUTURAL COM BLOCOS DE CONCRETO ARMADO - SÍNTSESE DO MÉTODO CONSTRUTIVO E DIMENSIONAMENTO

Matheus de Souza Teixeira¹; Munir Mohamed Kassab²;

¹Aluno de Graduação em Engenharia Civil, matheus.teixeira@ufms.br

²Professor Orientador da UFMS - FAENG, munir.kassab@ufms.br

Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia. Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. Av. Costa e Silva, s/nº | Bairro Universitário | 79070-900 | Campo Grande, MS, Brasil.

RESUMO

O sistema construtivo em alvenaria estrutural com blocos de concreto armado, é um dos sistemas construtivos amplamente utilizado no Brasil, principalmente quando comparado quantitativamente às construções de madeira, aço ou mistas. Na utilização de elementos de concreto estruturais, as paredes exercem simultaneamente as funções de vedação e estrutural, ou seja, além da função convencional de fechamento, também são projetadas de modo a suportar seu peso próprio e o peso global da edificação, diminuindo assim a quantidade de vigas e pilares de concreto armado. Alvenaria estrutural com blocos de concreto armado é um sistema de construção em que as paredes são construídas com os blocos de concreto reforçadas com barras de aço, visando aumentar sua capacidade resistente às cargas. Este método de construção é empregado em diversos tipos de estruturas, desde simples edificações residenciais de médio ou grande porte até edifícios comerciais ou prédios com vários andares, proporcionando um equilíbrio entre resistência, custo-benefício e velocidade de construção. Neste trabalho, apresenta-se uma sistemática para o cálculo e dimensionamento de paredes em alvenaria estrutural com blocos de concreto armado conforme a norma NBR15961 (ABNT, 2011) partes 1 e 2, abordando as principais etapas construtivas, as prescrições técnicas normativas nacionais vigentes e finalizando com a idealização de dois exemplos numéricos de cálculo de dimensionamento utilizando este sistema de construtivo.

Palavras-chave: Alvenaria estrutural. Blocos de concreto armado. Sistema construtivo

ABSTRACT

The structural masonry construction system with concrete blocks is one of the most widely used in Brazil, especially when compared quantitatively to timber, steel, or mixed structures. In this system, the walls simultaneously perform structural and partition functions, meaning that, in addition to enclosing the building, they are designed to support their self-weight and the overall loads of the structure, reducing the need for reinforced concrete beams and columns. Structural masonry with reinforced concrete blocks consists of walls built with concrete units strengthened with steel bars to enhance their load-bearing capacity. This construction method is applied to various types of structures, from medium- and large-scale residential buildings to commercial buildings or multi-story constructions, providing a balance between strength, cost-effectiveness, and construction speed. This study presents a systematic approach for the design and calculation of structural masonry walls using reinforced concrete blocks according to the Brazilian standard NBR 15961 (ABNT, 2011), parts 1 and 2. The work discusses the main construction stages, the applicable technical prescriptions, and concludes with two numerical design examples illustrating the use of this construction system.

Keywords: Structural Masonry Walls, Reinforced concrete blocks, Construction systems.

1. INTRODUÇÃO

A alvenaria é basicamente caracterizada como um sistema construtivo composto por blocos ou tijolos dispostos e executados diretamente na obra, unidos entre si por meio de argamassa de assentamento, de forma a garantir, do ponto de vista estrutural, um comportamento monolítico e coeso do conjunto.

A alvenaria estrutural é um sistema construtivo no qual as paredes exercem simultaneamente as funções de vedação e estrutural. Essas paredes podem ser armadas ou não e, quando enrijecida pelas lajes, atuam de forma integrada na estrutura, diminuindo em partes, a utilização de vigas e pilares convencionais.

Diversos trabalhos de pesquisa foram desenvolvidos em alvenaria estrutural nos últimos 50 anos no Brasil e no mundo, melhorando a qualidade dos materiais empregados e os métodos de cálculo. Atualmente no Brasil, as construções seguem todas as diretrizes preceituadas pela norma NBR 15961 partes 1 e 2 (ABNT, 2011) que tratam de Projeto, Execução e Controle de Obras, respectivamente.

A alvenaria estrutural oferece vantagens em comparação aos métodos construtivos convencionais, destacando-se pela maior rapidez e simplificação na execução, redução do consumo de materiais como madeira, aço e concreto, diminuição do tempo e do custo total da obra, além de gerar maior flexibilidade, integração e compatibilidade entre os projetos, entre outros benefícios. Por outro lado, o sistema também apresenta algumas desvantagens, como restrição a reformas, ampliações ou adaptações não previstas, menor possibilidade de improvisações, limitação em relação aos vãos, exigência de mão de obra especializada, dentre outras.

Apesar do aumento na demanda pelo uso da alvenaria estrutural como método construtivo, ainda são poucas as instituições do ensino superior que oferecem, nos cursos de engenharia civil disciplinas dedicadas a esse tema. Como consequência, observa-se um crescimento significativo no número de profissionais que concluem o curso de graduação com pouco ou quase nenhum conhecimento técnico necessário sobre esse sistema construtivo. Essa lacuna na formação acaba forçando as construtoras a contratar profissionais pouco qualificados ou totalmente despreparados, o que pode causar prejuízos econômicos e ainda pior, comprometer a segurança das edificações.

Sendo uma das técnicas construtivas mais antigas, a alvenaria tem evoluído gradualmente ao longo do tempo, adaptando-se às diversas demandas humanas e sociais, sem deixar de incorporar os avanços

tecnológicos ao seu processo, mantendo-se relevante e eficiente nas diferentes épocas e contextos.

O componente básico da alvenaria estrutural é o bloco, podendo o mesmo ser de concreto, cerâmico vazado, cerâmico maciço (tijolo) ou concreto celular. Neste trabalho serão tratados apenas as unidades de alvenaria que utilizam blocos de concreto e armadura passiva, que quando unidos entre si por argamassa de assentamento, resistem aos esforços solicitantes.

A alvenaria estrutural com blocos de concreto armado é um exemplo notável e atual dessa técnica de construção, pois alia tradição e inovação para criar estruturas modernas, eficientes e duráveis. Por estar consolidada no mercado há anos, essa modalidade construtiva é também considerada como sendo uma solução tradicional, pois, além de se destacar pela sua eficiência estrutural, racionalização dos materiais e rapidez na execução, é amplamente utilizada em obras de pequeno, médio e grande porte.

Além das vantagens já citadas, a alvenaria estrutural com blocos de concreto armado apresenta relevância tanto no atendimento às normas técnicas quanto na adequação às demandas atuais de sustentabilidade. O cumprimento rigoroso das diretrizes da NBR 15961 (ABNT, 2011) é fundamental para garantir a segurança estrutural, abrangendo desde o posicionamento correto das armaduras até as verificações de estados limites e combinações de cargas, assegurando a integridade da estrutura, durabilidade e a viabilidade econômica.

Paralelamente, esse sistema contribui para práticas sustentáveis ao promover a racionalização de materiais e redução de desperdícios, minimizando assim, os impactos ambientais. Além disto, a integração com ferramentas digitais, como o Building Information Modeling (BIM), possibilita maior precisão no planejamento, identificação antecipada de interferências e redução de retrabalho, aumentando a eficiência e a compatibilidade com cronograma cada vez mais rigorosos.

Essa combinação entre rigor normativo, sustentabilidade e a integração com inovações tecnológicas, consolida esse método como uma alternativa moderna e eficiente de construção.

2. OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é apresentar as principais características do sistema construtivo utilizando paredes de alvenaria estrutural com blocos de concreto armado. Uma sintética abordagem história do método construtivo no Brasil e no mundo, além de um exemplo numérico de cálculo e dimensionamento de paredes de concreto armado com base nas normas técnicas vigentes, constituem o foco principal.

3. METODOLOGIA EMPREGADA

Para alcançar o objetivo proposto, foi realizada uma pesquisa bibliográfica abrangendo o método construtivo em alvenaria estrutural com blocos de concreto armado, tanto em âmbito nacional quanto internacional. Essa pesquisa incluiu a apresentação cronológica de obras de referência, contemplando exemplos históricos e aplicações atuais, a fim de contextualizar a evolução técnica.

Em seguida, foram descritos os principais aspectos e procedimentos construtivos empregados no Brasil, com ênfase nas características que distinguem esse sistema das metodologias convencionais utilizadas em paredes de alvenaria comum.

Posteriormente, mostram-se as principais verificações necessárias ao dimensionamento de paredes estruturais utilizando esse sistema construtivo, ou seja, análises de resistência, equilíbrio e estabilidade local e global.

Os cálculos realizados no exemplo numérico proposto, estão em conformidade com as recomendações estabelecidas nas normas técnicas, ou seja, NBR 15961-1 e NBR 15961-2 (ABNT, 2011).

4. PESQUISA BIBLIOGRÁFICA

A utilização da alvenaria como estrutura de edificações data de milhares de anos. Inicialmente eram utilizados blocos de rocha como elementos de alvenaria, mas segundo a National Concrete Masonry Association (1988), no ano de 4000 a.C. a argila passou a ser trabalhada, possibilitando assim a produção de tijolos. Tempos depois os romanos desenvolveram a argamassa de cal utilizada no assentamento dos blocos e também com revestimento. (PRUDÊNCIO JR.; OLIVEIRA; BEDIN, 2002).

A alvenaria estrutural ao longo do tempo acompanha a própria evolução da construção civil. Desde a antiguidade, muitas civilizações ergueram construções marcantes, como as Pirâmides do Egito (2600 A.C), o Partenon grego (80 A.C), a Muralha da China (220 A.C) e o Coliseu romano (80 D.C). Essas obras, entretanto, eram executadas com pedras e tijolos maciços, dimensionadas de forma empírica, cuja base era totalmente na transferência de conhecimento entre as sucessivas gerações, sem respaldo de cálculos estruturais ou normatização técnica (UNESP, 2021).

Com o crescimento do concreto armado no início do século XX, a aplicação da alvenaria estrutural diminuiu consideravelmente. Contudo, em 1951, o pesquisador suíço Paul Haller projetou um edifício de 13 pavimentos em Basileia, com 41,4m de altura, paredes internas de 15cm de espessura e externas de 37,5cm. Foi uma obra que contribuiu para o

desenvolvimento da alvenaria estrutural moderna, fundamentada em pesquisas experimentais e diretrizes técnicas. (PRUDÊNCIO JR.; OLIVEIRA; BEDIN, 2002).

Nos Estados Unidos, Inglaterra, Alemanha e muitos outros países, a alvenaria estrutural atinge níveis de cálculo, execução e controle, similares aos aplicados nas estruturas de aço e concreto, constituindo-se num econômico e competitivo sistema racionalizado, versátil e de fácil industrialização, face as diminutas dimensões do componente modular básico empregado (bloco) (CAVALHEIRO, 1999).

No Brasil, o Estado de São Paulo foi o primeiro a começar implementar esse sistema construtivo, cuja disseminação da técnica construtiva ocorreu a partir de 1966, com a execução de edifícios de quatro pavimentos em blocos de concreto.

Em 1968 foi fundada a primeira indústria de blocos de concreto no Brasil. Estima-se que, entre 1964 e 1966, aproximadamente 2,5 milhões de unidades habitacionais tenham sido construídas utilizando esse sistema construtivo. (PRUDÊNCIO JR.; OLIVEIRA; BEDIN, 2002).

Posteriormente, em 1972, o Conjunto Central Parque da Lapa, em São Paulo, composto por quatro edifícios de 12 pavimentos, consolidou o uso da alvenaria estrutural no país.

Nas décadas seguintes, intensificaram-se os esforços de universidades, construtoras e órgãos normativos para o aperfeiçoamento do sistema. Como resultado, surgiram normas específicas, como a NBR 15961-1 (ABNT, 2011), voltada ao projeto, e a NBR 15961-2 (ABNT, 2011), que trata da execução e controle.

O maior edifício construído em alvenaria estrutural armada no Brasil é “Solar dos Alcântaras” (1990), com 24 pavimentos. Hoje, a Alvenaria Estrutural é o principal processo construtivo para edifícios de pequena altura, em todo o mundo.

Já contexto local, ou seja, na cidade de Campo Grande e interior do Estado de MS, apesar de algumas construtoras estarem migrando seus projetos para paredes de concreto armado, a grande maioria ainda utiliza os métodos tradicionais.

Estes exemplos no Brasil e no mundo, antigos e atuais, evidenciam a versatilidade e a importância contínua da alvenaria estrutural na construção civil. A técnica construtiva evoluiu ao longo dos séculos, adaptando-se às necessidades modernas, porém ainda mantém suas raízes antigas na construção de edificações duráveis.

5. SISTEMA CONSTRUTIVO

A alvenaria estrutural em blocos de concreto armado consiste no empilhamento ordenado dos blocos, de modo que as superfícies de contato fiquem bem ajustadas e as juntas sejam reduzidas ao mínimo necessário. Esse arranjo permite que as cargas atuantes sejam transmitidas de bloco a bloco, garantindo a distribuição adequada das tensões de compressão ao longo das paredes. Mesmo que possam surgir tensões de tração em pontos específicos, como nas regiões de aberturas, elas são controladas pela presença da armadura.

A introdução de barras de aço em canaletas ou nas partes vazadas dos blocos e posteriormente preenchidas com graute, proporciona o enrijecimento da estrutura, gerando maior capacidade resistente às solicitações verticais e horizontais. Dessa forma, a alvenaria em blocos de concreto armado associa a resistência à compressão dos blocos à ductilidade do aço, resultando em um sistema mais seguro e confiável.

A estabilidade lateral da edificação é garantida por contraventamentos e amarrações adequadas entre as paredes, que funcionam em conjunto para evitar deslocamentos indesejados e garantir o desempenho estrutural global da construção.

5.1 Blocos de concreto

O item principal da alvenaria estrutural em blocos de concreto armado é o próprio bloco de concreto, elemento industrializado que deve atender a rigorosos critérios de qualidade e desempenho. Sua função principal é resistir às cargas atuantes e em conjunto com a armadura de aço, compor paredes estruturais capazes de suportar esforços verticais e horizontais.

De acordo com a NBR 6136 (ABNT, 2016), os blocos de concreto destinados à alvenaria estrutural devem possuir dimensões, formatos padronizados e apresentar resistência característica mínima à compressão compatível com o uso estrutural. Essas resistências são verificadas por meio dos ensaios descritos na NBR 12118 (ABNT, 2013), que estabelece parâmetros para a avaliação da absorção de água, resistência à compressão e integridade.

Os blocos podem apresentar geometrias diferentes, adaptadas para funções específicas no projeto estrutural. Entre os tipos mais comuns encontram-se os blocos de vedação, os blocos canaleta utilizados para passagem e acomodação das armaduras e os blocos compensadores, que auxiliam no ajuste de modulação das paredes. A correta seleção e combinação desses elementos garantem racionalidade

construtiva e redução de perdas no canteiro de obras (PRUDÊNCIO JR.; OLIVEIRA; BEDIN, 2002).

A execução da alvenaria em blocos de concreto armado está regulamentada pela NBR 15961-2 (ABNT, 2011), que define as práticas corretas de assentamento, grauteamento e posicionamento das armaduras. A relação entre o bloco, graute e o aço gera um sistema híbrido, no qual as tensões de compressão são absorvidas principalmente pelo bloco, enquanto o aço gera ductilidade e resistência às tensões de tração e esforços laterais.

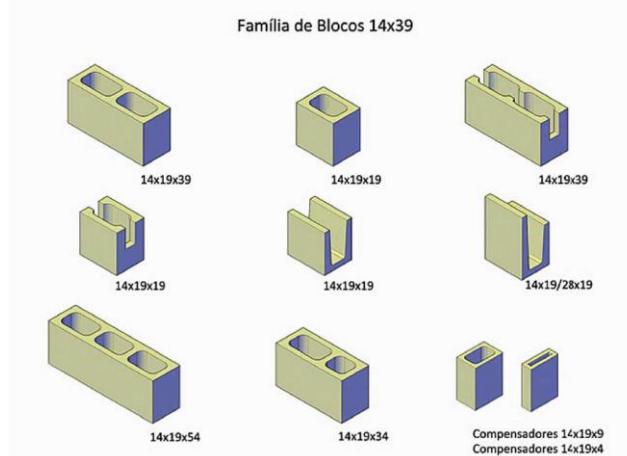
Visualmente, os blocos de concreto devem estar livres de defeitos que comprometam a utilização, como quebras, trincas e deformações. A norma ainda exige que os blocos possuam marcações, contendo informações mínimas de identificação do fabricante, dimensões e rastreabilidade.

No mercado, além dos blocos convencionais, existem também modelos especiais desenvolvidos por fabricantes para atender a situações específicas de obra, como blocos para vergas, contravergas ou passagens de instalações. Esses itens, embora não sejam diretamente normalizados, seguem o mesmo princípio de desempenho e complementam o sistema, conferindo maior praticidade à execução.

Assim, a utilização de blocos de concreto armado em alvenaria estrutural representa uma solução eficiente, racional e tecnicamente consolidada, combinando a resistência dos blocos com o reforço da armadura de aço, o que resulta em edificações seguras, econômicas e alinhadas às normas técnicas vigentes.

Conforme a Figura 1 a seguir, os blocos de concreto estrutural podem ser encontrados em diferentes tipologias, como blocos inteiros, meios-blocos, blocos compensadores e canaletas; cada um desempenhando uma função específica dentro do sistema de alvenaria.

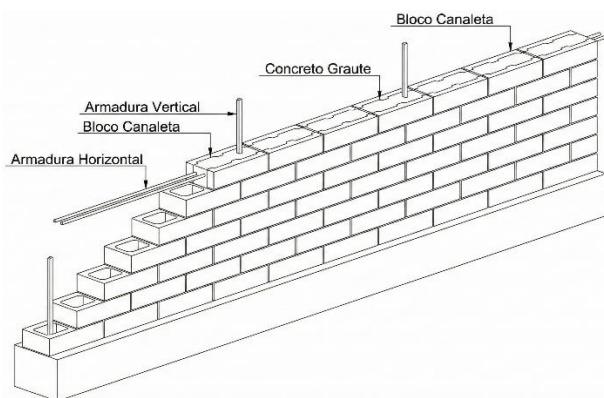
Figura 1 – Família de blocos de concreto.
Fonte: (Tauil e Nese (2010, p. 65)).



A Figura 2 evidencia a utilização do bloco canaleta, que possibilita a inserção de armaduras horizontais e o posterior grauteamento, função primordial para o aumento da resistência da parede em regiões críticas.

Figura 2 – Bloco de canaleta com armação e grauteamento.

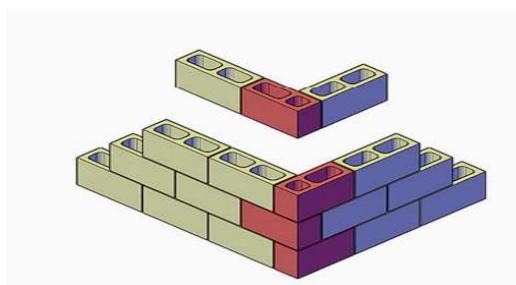
Fonte: (Tauil e Nese (2010, p. 71)).



Em seguida, na Figura 3 mostra a paginação adequada das paredes para garantir o travamento entre as fiadas, etapa fundamental para o desempenho estrutural da alvenaria de blocos de concreto.

Figura 3 – Paginação de parede em alvenaria estrutural.

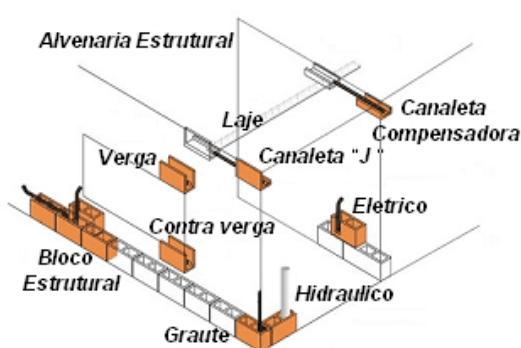
Fonte: (Tauil e Nese (2010, p. 71)).



Na figura 4, é possível analisar de forma simplificada a aplicabilidade dos diferentes formatos de blocos de concreto que constituem uma alvenaria estrutural, destacando-se tanto os blocos especiais, que são adaptados conforme as necessidades específicas do projeto, quanto os blocos não especiais.

Figura 4 – Esquematização dos blocos.

Fonte: <http://www.construtens.com.br>



5.2 Argamassa para assentamento dos blocos

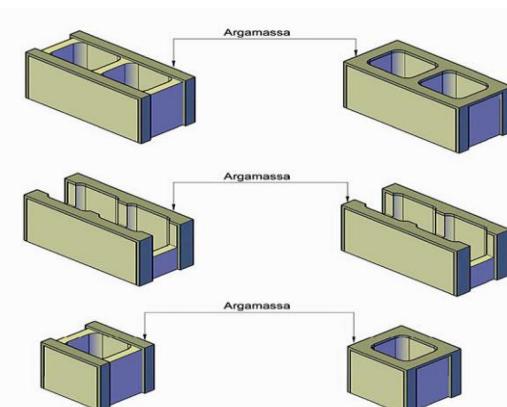
A argamassa de assentamento é composta por cimento, areia, água e aditivos; sendo então aplicada entre as fiadas de blocos, unindo-os, a fim de distribuir uniformemente as cargas atuantes na parede, também ajudando a resistir aos esforços laterais, absorver as deformações naturais e selar as juntas contra a água da chuva. A argamassa pode ser aplicada tanto no sentido longitudinal quanto no transversal. (TAUIL; NESE, 2018)

Pesquisas mostram que, em média, a resistência à compressão pode aumentar em até 20% quando aplicada nos dois sentidos. Portanto se aplicado apenas no sentido longitudinal é recomendado considerar um fator de correção de 0,80 na resistência a compressão da alvenaria, conforme a NBR16868-1 (ABNT, 2020). Cabe ressaltar, que a argamassa deve ter resistência a compressão menor que o bloco escolhido.

A aplicação uniforme da argamassa em toda alvenaria gera melhor desempenho estrutural do conjunto, contribuindo para transmissão adequada dos esforços evitando possíveis pontos frágeis que possam comprometer a estabilidade da edificação, também melhora a aderência entre os blocos e maior coesão do conjunto. A figura 5 ilustra, de maneira simplificada, o assentamento da argamassa nos blocos de concreto, tanto no sentido horizontal quanto no vertical, demonstrando a importância da correta execução dessa etapa para o desempenho global do sistema.

Figura 5 – Aplicação de argamassa em blocos.

Fonte: (Tauil e Nese (2010, p. 83)).



A aplicação de argamassa, figura 6 abaixo, pode ser aplicada sobre o bloco com o auxílio de uma palheta, ferramenta que serve para distribuir o material de forma uniforme na superfície de contato. Nos casos em que se faz necessária a aplicação nos dois sentidos, é recomendado o uso de um aplicador em formato de bisnaga, pois assim garante melhor precisão, economia e regularidade no assentamento das fiadas.

Figura 6 – Aplicação de argamassa com palheta.
Fonte: <https://engenharia360.com>



5.3 Graute

O graute é uma argamassa de elevada plasticidade e fluidez, que se mede pelo ensaio de teste de abatimento onde o recomendado é apresentar abatimento entre 20 a 28cm, composta por água, cimento e areia quando se trata de graute fino, ou por cimento, areia e pedrisco em caso de graute grosso. Sua principal função é preencher os vazios existentes nos blocos, como furos verticais e canaletas, o que proporciona aumento de resistência à compressão da alvenaria, sem modificar a resistência individual de cada bloco.

Vale salientar que a alvenaria armada tem como característica armadura vertical e longitudinal. Para conseguir fazer essa união dos blocos e armadura, utiliza-se o graute, preenchendo os espaços vazios, reiterando, por isso se faz necessário ser uma argamassa fluída, capaz de gerar aderência a armadura e proteger elas da corrosão.

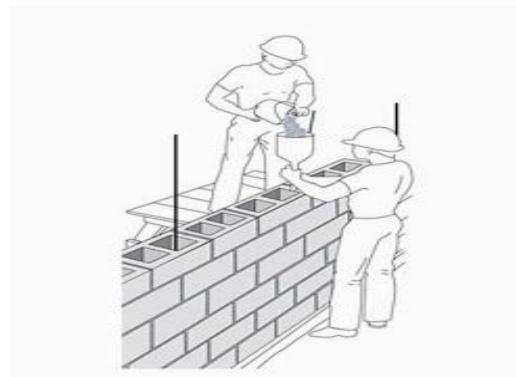
Portanto o graute tem papel essencial em pontos de amarração, contraventamento, vergas e contravergas. A norma NBR 16868-1 (ABNT, 2020) estabelece uma resistência mínima de 15 MPa. Caso seja necessário atingir resistências pouco maiores, é recomendado o uso de aditivos plastificantes ou superplastificantes na composição da argamassa. Para avaliar sua influência na resistência à compressão, recomenda-se a realização de ensaios em prismas e paredes reduzidas.

O processo de aplicação exige que os vazios sejam previamente limpos, garantindo a remoção de detritos, poeira e resíduos que possam prejudicar a aderência e o preenchimento adequado e que o lançamento seja feito após, no mínimo, um dia da conclusão do assentamento dos blocos, para evitar de acontecer recalques diferenciais.

A altura máxima de lançamento do graute é de 1,60m, caso ele seja aditivado e garantido a coesão sem segregação a altura máxima permitida é de 2,80m.

A figura 7 exemplifica esse procedimento, destacando o uso de uma peça de madeira compensada empregada na limpeza dos furos, etapa essencial para garantir a qualidade e a continuidade do grauteamento

Figura 7 – Aplicação do graute.
Fonte: (Tauil e Nese (2010, p. 146)).



5.4 Modulação

A modulação é de suma importância para o conjunto estrutural, partindo da premissa que as dimensões dos ambientes da edificação são múltiplos inteiros da unidade base do bloco, essa técnica faz com que seja evitado quebras de blocos e recortes nas paredes, afim de ter menor desperdício de materiais, mão-de-obra, e tempo, onde tudo isso é englobado no custo da obra. O quadro da figura 8 abaixo, mostra os blocos mais comuns que são utilizados normalmente.

Figura 8 – Blocos modulares comuns.

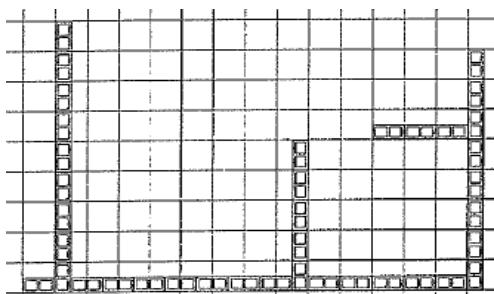
Fonte: Autor

BLOCO	DIMENSÃO MODULAR (CM)	DIMENSÃO NOMINAL (CM)	UNIDADE-BASE PARA MODULAÇÃO (CM)
	20X20X40	19X19X39	20
	15X20X30	14X19X29	15

Segundo Ramalho e Corrêa (2003), cada unidade de alvenaria é definida por três dimensões principais, ou seja, o comprimento, a largura e a altura. O comprimento e a largura do bloco estabelecem o módulo horizontal ou módulo em planta, conforme mostrado na figura 9, enquanto que a altura define o módulo vertical utilizado nas elevações principais e vistas em cortes.

Figura 9 – Modulação horizontal.

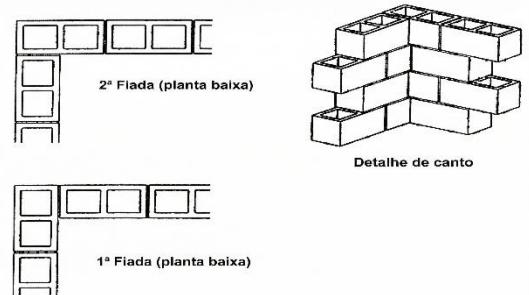
Fonte: ((Prudêncio Jr.; oliveira; Bedin, 2002. pag. 67)



As uniões das paredes são os pontos mais importantes e que exigem alguns detalhes por conta da concentração de tensões e da transferência de carga entre as paredes. Tem-se uma disposição onde é feito intercalando os blocos, ou seja, buscando o intertravamento mais efetivos entre as paredes. A figura 10 abaixo exemplifica esta configuração.

Figura 10 – Vista em planta e corte da amarração de canto.

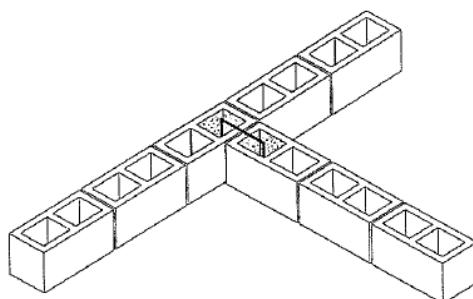
Fonte: ((Prudêncio Jr.; Oliveira; Bedin, 2002). pag. 67)



Existem alguns encontros de paredes onde a amarração entre os blocos não é possível. Então, nesses casos, adota-se alguns artifícios, como por exemplo uma tela metálica, estribos e grampos metálicos, os quais são normalmente utilizados a cada duas ou três fiadas utilizando-se argamassas com boa aderência. A figura 11 mostra a amarração de uma fiada utilizando-se grampos metálicos.

Figura 11 – Amarração usando grampos metálicos.

Fonte: ((Prudêncio Jr.; oliveira; Bedin, 2002). pag. 70)



Nas modulações verticais, é essencial considerar duas abordagens diferentes. A primeira, a distância modular é aplicada de piso a teto, fazendo que seja utilizado blocos "J" nas paredes externas, permitindo que uma

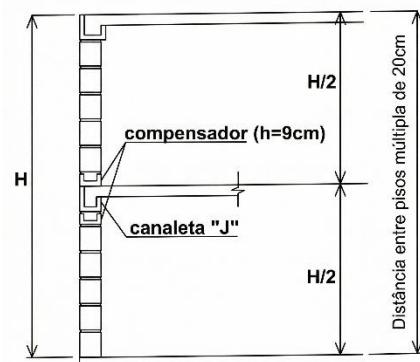
delas tenha dimensões superiores à convencional para acomodar a laje. Já nas paredes internas, adotam-se blocos canaletas que são comuns na última fiada afim de ajustar a altura da laje.

A segunda abordagem, é relacionada à distância entre pisos, a última fiada das paredes externas é composta por blocos "J", sendo uma das suas laterais com altura menor que a convencional favorecendo a acomodação da laje. Nas paredes internas é utilizado blocos compensadores na última fiada, possibilitando o ajuste da distância de piso a teto que não segue uma modulação padrão. (RAMALHO E CORRÊA, 2003).

Na figura 12, é possível a modulação vertical com o uso das canaletas tipo "J" e a utilização de compensador para conseguir atingir as dimensões estabelecidas no projeto.

Figura 12 – Modulação vertical, com canaleta tipo "J".

Fonte: ((Prudêncio Jr.; Oliveira; Bedin, 2002). pag. 88)



6. DIMENSIONAMENTO DE PAREDE EM ALVENARIA ESTRUTURAL

A seguir são apresentadas as verificações de cálculo e os dimensionamentos que são necessários para estrutura de bloco de concreto armado. As verificações são realizadas quanto ao esforço resistente de cálculo " S_d " frente aos esforços solicitantes " S_k ", que são, compressão, flexão, cisalhamento e flexo-compressão

6.1 Dimensionamento quanto a compressão simples

Nos projetos de alvenaria estrutural, a verificação fundamental se refere a resistência das paredes à compressão, tendo em vista que a parede é o principal elemento estrutural e a solicitação à compressão é a mais recorrente. O procedimento normativo para a determinação da resistência das paredes inicia-se a partir da resistência dos prismas a qual é estabelecida pela norma NBR 15961-2 (ABNT 2011) e também por normas estrangeiras, como a BS 5628 (1996) do Reino Unido e ACI530 (2016). A força normal de resistência de cálculo da alvenaria (N_{rd}) tem que ser menor ou no máximo igual ao esforço característico ou solicitante de cálculo (N_{sd}).

Para paredes em alvenaria estrutural armada a força normal resistente de cálculo é obtida por meio da equação 1.

$$N_{rd} = f_a \cdot A \cdot R \quad (1)$$

Sendo:

Nrd: força normal de compressão resistente de cálculo.
fa: resistência à compressão de cálculo da alvenaria (kN/m²).

A: área da seção resistente (m²);

R: coeficiente redutor devido a esbeltez da parede.

Segundo a NBR 15961-1 (ABNT, 2011) o coeficiente redutor (adimensional) é correlacionado com o índice de esbeltez conforme a equação 2.

$$R = 1 - \left(\frac{\lambda}{40} \right)^3 \quad (2)$$

O índice de esbeltez é dado pela equação 3, ou seja:

$$\lambda = \frac{h_e}{t_e} \quad (3)$$

Sendo:

λ : índice de esbeltez;

h_e: altura da parede;

t_e: largura da parede.

Para paredes não armadas, o índice de esbeltez (λ) deve ser no máximo igual a 30.

Se as juntas horizontais forem assentadas com argamassa parcial (apenas sobre as paredes longitudinais dos blocos) e se a resistência for determinada conforme o ensaio de prisma ou pequena parede, moldados com a argamassa aplicada em toda área líquida dos blocos, a resistência característica à compressão simples deve ser corrigida pelo fator 0,80.

A determinação da resistência característica à compressão simples (f_k) é realizada a partir de ensaios específicos em paredes, seguindo as diretrizes da NBR 8949 (ABNT, 2014).

Também é possível estimar como 70% da resistência característica de compressão simples do prisma (f_{pk}), equação 4, ou 85% da de pequena parede (f_{ppk}), equação 5. As resistências características de parede ou prisma são determinadas de acordo com as especificações da NBR 15961-2 (ABNT 2011).

$$f_{pk} = \frac{f_k}{0,70} \quad (4)$$

$$f_{ppk} = \frac{f_k}{0,85} \quad (5)$$

Sendo:

f_{pk}: resistência característica à compressão do prisma (kN);

f_k: resistência característica à compressão (kN).

f_{ppk}: resistência característica à compressão de paredes de pequena parede (kN).

6.2 Dimensionamento quanto a flexão simples

A flexão simples é uma solicitação comum em paredes de alvenaria estrutural, que ocorre também em outros elementos de concreto armado tais como: vigas, reservatórios, muros de arrimo, paredes submetidas à ação do vento e pilares.

Assim como o concreto, a alvenaria apresenta baixa resistência à tração e alta resistência a compressão. No caso de alvenaria armada, a determinação do momento fletor resistente na seção transversal pode ser realizada por meio do diagrama de deformações e tensões.

As condições de determinação da resistência característica à compressão (f_k) devem ser as mesmas condições da região comprimida do elemento estrutural, no que diz respeito à porcentagem de preenchimento com graute e à direção da resultante de compressão em relação a junta de assentamento.

Nos casos em que a compressão ocorre paralelamente às juntas, como acontece, por exemplo, em vigas de alvenaria estrutural, a resistência característica à flexão pode ser estimada da seguinte forma:

- Equivalente a resistência à compressão na direção perpendicular às juntas, quando a região comprimida estiver completamente preenchida com graute;
- Corresponde a 50% da resistência à compressão na direção perpendicular às juntas, quando não houver preenchimento integral por graute.

Quando a parede de alvenaria estrutural está sob ações variáveis, como a do vento, é possível considerar a resistência à tração na flexão. Nesse caso, devem ser utilizados os valores característicos definidos na tabela 1, conforme a norma prescreve, que se aplicam em alvenarias executadas com argamassas de cimento, cal e areia, sem aditivos e juntas verticais preenchidas.

Para outros casos, a resistência de tração na flexão deve ser determinada conforme procedimento descrito no Anexo C da NBR 15961-2 (ABNT, 2011), ou de acordo com a NBR 14322 (ABNT, 1999) e (NBR 15961-1, 2011).

Tabela 1 – Valores característicos da resistência à tração na flexão.

Fonte: (NBR 15961-1, ABNT, 2011).

Direção da tração	Resistência média à compressão da argamassa (MPa)		
	1,5 a 3,4 ^a	3,5 a 7,0 ^b	Acima de 7,0 ^c
Normal à fiada	0,10	0,20	0,25
Paralela à fiada	0,20	0,40	0,50

Em seções retangulares com armadura simples, o momento fletor resistente de cálculo é obtido pela equação 6.

$$M_{Rd} = A_s \cdot F_s \cdot Z \quad (6)$$

O braço de alavanca (Z) é dado pela equação 7:

$$Z = d \cdot 1 - \left[0,5 \cdot \left(\frac{A_s \cdot F_s}{b \cdot d \cdot f_d} \right) \right] \leq 0,95d \quad (7)$$

O fator de segurança (FS) é obtido pela equação 8:

$$F_s = 0,5 \cdot f_{yd} = 0,5 \cdot \left(\frac{f_{yk}}{\gamma_m} \right) \quad (8)$$

E, finalmente, obtém-se M_{Rd} conforme equação 9:

$$M_{Rd} = \leq 0,4 \cdot F_d \cdot b \cdot d^2 \quad (9)$$

6.3 Dimensionamento quanto ao cisalhamento

Para à tensão de cisalhamento, a tabela 4 da NBR 15961-1, (ABNT, 2011), apresenta valores de resistência característica ao cisalhamento em juntas horizontais (f_{vk}) com base na resistência da argamassa de assentamento. Esses valores só podem ser aplicados em paredes executadas com juntas verticais. A tabela 2 a seguir reúne esses valores característicos de resistência ao cisalhamento.

Tabela 2 – Valores característicos da resistência ao cisalhamento.

Fonte: (NBR 15961-1, ABNT, 2011).

Resistência média de compressão da argamassa MPa		
1,50 a 3,40	3,50 a 7,00	Acima de 7,00
0,10 + 0,50 $\sigma \leq 1,00$	0,150 + 0,50 $\sigma \leq 1,40$	0,35 + 0,50 $\sigma \leq 1,70$

* “ σ ” é a tensão normal de pré-compressão na junta, considerando-se apenas as ações permanentes ponderadas por coeficiente igual a 0,9. (ação favorável).

Também vale ressaltar que no caso de interface vertical de paredes com juntas amarradas, a resistência característica pode ser adotada igual a 0,35 MPa.

Quando a alvenaria estiver submetida à flexão e quando existirem armaduras perpendiculares ao plano de cisalhamento e envoltas por graute, a resistência característica ao cisalhamento pode ser obtida por meio da equação 10.

$$f_{vk} = 0,35 + 17,5 \cdot \rho \leq 0,7 \text{ MPa} \quad (10)$$

Onde:

$\rho = \frac{As}{b \cdot d}$ é a taxa geométrica de armadura;

As: área da armadura principal de flexão;

b: largura da seção transversal

d: altura útil da seção transversal

Agora em casos de vigas de alvenaria estrutural biapoiadas ou em balanço, a resistência característica ao cisalhamento pode ser multiplicada pelo seguinte fator apresentado na equação 11:

$$\left[2,5 - 0,25 \cdot \left(\frac{M_{\max}}{V_{\max} \cdot d} \right) \right] \quad (11)$$

Considerando que deve ser sempre maior que 1, desde que a resistência característica majorada não ultrapasse 75 MPa, M_{\max} é o maior valor de momento de cálculo da viga, V_{\max} é o maior valor do esforço cortante de cálculo da viga e d é a altura útil.

A expressão para o cálculo da tensão de cisalhamento (τ_{vd}) em peças de alvenaria armada é dada pela equação 12:

$$\tau_{vd} = \frac{V_d}{b \cdot h} \quad (12)$$

Onde:

τ_{vd} : tensão de cisalhamento de cálculo da alvenaria.

V_d : esforço cortante de cálculo da alvenaria.

b: largura do bloco.

h: altura da alvenaria.

O esforço cortante de cálculo (V_d) é a resultante do carregamento distribuído ao longo do comprimento efetivo da parede.

A tensão de cisalhamento de cálculo (τ_{vd}), não pode superar a resistência de cálculo (f_{vd}), obtida a partir dos valores característicos da resistência ao cisalhamento (f_{vk}). A equação 13 a seguir, exemplifica este cálculo.

$$\tau_{vd} \leq f_{vd} = \frac{f_{vk}}{\gamma_m} \quad (13)$$

Onde:

τ_{vd} : tensão de cisalhamento de cálculo da alvenaria.

f_{vk} : resistência característica ao cisalhamento.

γ_m : coeficiente de ponderação das resistências.

Os valores do coeficiente de ponderação das resistências (γ_m), conforme a norma NBR 15961-1 (ABNT, 2011), são apresentados na Tabela 3 abaixo:

Tabela 3 – Valores de γ_m .

Fonte: (NBR15961-1, ABNT, 2011).

Combinações	Alvenaria	Graute	Aço
Normal	2,00	2,00	1,15
Especiais ou de construção	1,50	1,50	1,15
Expcionais	1,50	1,50	1,00

Quando se trata de armaduras de cisalhamento, pode-se descontar a parcela da força cortante que a alvenaria absorve, V_a , dada pela equação 14.

$$V_a = f_{vd} \cdot b \cdot d \quad (14)$$

E, quando for necessário, a armadura de cisalhamento, paralela à direção de atuação da força cortante, é determinada pela equação 15:

$$A_{sw} = \frac{(V_d - V_a) \cdot s}{0,5 \cdot f_{yd} \cdot d} \quad (15)$$

Onde:

s é o espaçamento da armadura de cisalhamento

Vale ressaltar que em nenhum caso é admitido espaçamento maior que 50% da altura útil. No caso de vigas de alvenaria esse limite não pode superar 30cm e no caso de paredes armadas ao cisalhamento o espaçamento não pode superar 60cm.

6.4 Dimensionamento quanto ao flexo-compressão

A flexo-compressão acontece quando o momento fletor e a força normal de compressão atuam simultaneamente no elemento estrutural. Por exemplo, é citado as paredes de contraventamento, paredes com cargas verticais sob empuxo do solo ou da água, parede com carga vertical excêntrica, dentre outros.

Os elementos de alvenarias estruturais submetidos à flexo-compressão têm que resistir à força de compressão de cálculo atuante (item 6.1), ou seja, precisam ser respeitadas as forças normais resistentes de cálculo (N_{Rd}) conforme apresentado na equação 1.

No caso de alvenaria armada, temos duas considerações para prosseguir com os cálculos, ou

seja: elementos curtos onde o elemento deve possuir índice de esbeltez menor ou igual a 12 e elementos esbeltos onde o índice de esbeltez é maior que 12.

Então quando se trata de elementos curtos (índice de esbeltez ≤ 12), o dimensionamento é realizado calculando-se a força normal de cálculo e também flexão composta oblíqua, sendo estas apropriadas para a flexão reta de elementos de seção retangular.

Quando a força normal de cálculo (N_{Rd}) não excede a resistência de cálculo, equação 16, é necessário apenas a armadura mínima. Vale ressaltar que esta aproximação não pode ser usada se a excentricidade exceder 0,50h.

$$N_{Rd} = f_d \cdot b \cdot (h - 2ex) \quad (16)$$

Onde:

b : largura da seção;

ex : excentricidade resultante no plano de flexão;

fd : resistência de cálculo à compressão;

h : altura da seção no plano de flexão.

Caso a força normal de cálculo exceda o limite da equação 16, a resistência da seção pode ser estimada pelas seguintes equações 17 e 18.

$$N_{Rd} = f_d \cdot b \cdot y + f_{s1} \cdot A_{s1} - f_{s2} \cdot A_{s2} \quad (17)$$

$$M_{Rd} = 0,5 \cdot f_d \cdot b \cdot y \cdot (h - y) + f_{s1} \cdot A_{s1} \cdot (0,5 \cdot h - d1) + f_{s2} \cdot A_{s2} \cdot (0,5 \cdot h - d2) \quad (18)$$

Onde:

A_{s1} : área de armadura comprimida na face de maior compressão;

A_{s2} : área de armadura na outra face;

b : largura da seção;

$d1$: distância do centroide da armadura A_{s1} à borda mais comprimida;

$d2$: distância do centroide da armadura A_{s2} à outra borda;

y : profundidade da região de compressão uniforme ($y = 0,8x$);

f_d : resistência à compressão de cálculo da alvenaria;

f_{s1} : tensão na armadura na outra face, podendo ser $\pm 0,5 \cdot f_{yd}$, se estiver tracionada ou comprimida, respectivamente;

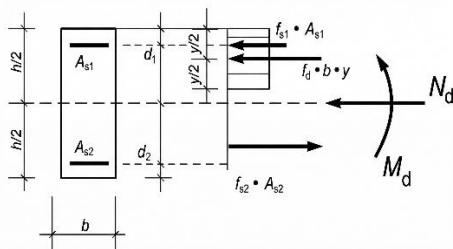
h : altura da seção no plano de flexão;

A figura 13 a seguir, mostra um detalhe de uma seção retangular em equilíbrio de forças e momentos, onde

são realizadas as considerações para a obtenção das equações a serem utilizadas no dimensionamento de uma parede estrutural submetida a flexo-compressão.

Figura 13 – Flexo-compressão - Seção retangular.

Fonte: NBR15961-1 (ABNT, 2011)



Caso seja necessário considerar o elemento curto submetido a uma flexão composta oblíqua, é possível dimensionar uma seção com armaduras simétricas, mediante a transformação em uma flexão reta composta, aumentando um dos momentos fletores, de acordo com as seguintes equações 19 e 20:

$$M'_x = M_x + j \cdot \frac{p}{q} \cdot M_y \text{ para } \frac{M_x}{p} \geq \frac{M_y}{q} \text{ ou; } \quad (19)$$

$$M'_y = M_y + j \cdot \frac{p}{q} \cdot M_x \text{ para } \frac{M_x}{p} \leq \frac{M_y}{q} \text{ ou; } \quad (20)$$

Onde:

M'_x : momento fletor efetivo em torno do eixo x;

M'_y : momento fletor efetivo em torno do eixo y;

M_x : momento fletor em torno do eixo x;

M_y : momento fletor em torno do eixo y;

p: dimensão da seção transversal na direção perpendicular ao eixo x;

q: dimensão da seção transversal na direção perpendicular ao eixo y.

j: coeficiente fornecido na tabela 4.

A tabela 4 fornece os valores para o coeficiente “J”, que são utilizados nas equações 19 e 20.

Tabela 4 – Valores do coeficiente j.

Fonte: (NBR15961-1, ABNT, 2011).

Valor de $N_d/(A f_k)$	J
0	1,00
0,10	0,88
0,20	0,77
0,30	0,65
0,40	0,53
0,50	0,42
$\geq 0,60$	0,30

Quando se trata de elementos esbeltos (índice de esbeltez superior a 12), o dimensionamento tem que ser feito de acordo com o elemento curto, mas os efeitos de primeira ordem são necessários adicionar os efeitos de segunda ordem. O momento de segunda ordem pode ser aproximado, conforme equação 21:

$$M_{2d} = \frac{N_d \cdot (h_e)^2}{2000 \cdot t} \quad (21)$$

Onde:

N_d : força normal de cálculo;

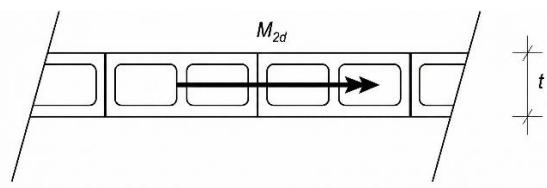
h_e : altura efetiva do elemento comprimido;

t: dimensão da seção transversal da peça no plano de flexão.

Na figura 15, tem-se o momento de segunda ordem, para visualização do efeito.

Figura 15 – Momento de 2º ordem.

Fonte: NBR15961-1 (ABNT, 2011)



6.5 Dimensionamento quanto às aberturas

As aberturas de portas devem ser definidas durante a modulação, com medidas adequadas e compatíveis de modo a evitar altas concentrações de tensões.

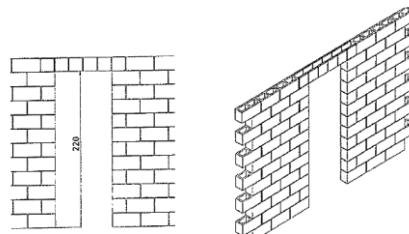
As vergas e contravergas, posicionadas em vãos de portas e janelas, respectivamente, normalmente são executadas com blocos canaletas moldados no local ou pré-fabricadas conforme especificado no projeto. A função exclusiva dessas canaletas é transmitir as cargas verticais para as paredes adjacentes à abertura.

Os blocos que ficam nas extremidades das aberturas de portas, tem suas partes vazadas preenchidas com graute e contendo armadura para combater a tração.

Normalmente utiliza-se barras de aço de 8,0 a 10,0mm, para aumentar a rigidez da parede, conforme mostrado na figura 16 a seguir:

Figura 16 – Verga com canaletas sobre abertura da porta

Fonte: ((Prudêncio Jr.; Oliveira; Bedin, 2002). pag. 108)

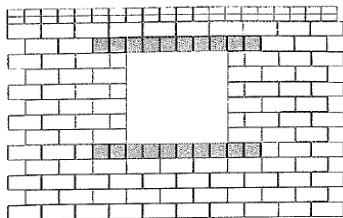


Quando se trata de janelas, é importante que sejam definidas como múltiplas da altura do bloco, para que a modulação seja mantida nas fiadas, por exemplo, blocos de 14x19x19cm, a abertura da janela deve ser múltipla de 20cm.

Para evitar as fissuras que podem vir a acontecer nos cantos das aberturas, os elementos devem apresentar no mínimo um comprimento de apoio igual a dois blocos de canaletas, como se pode ver na figura 17.

Figura 17 – Verga e contraverga, com blocos canaletas.

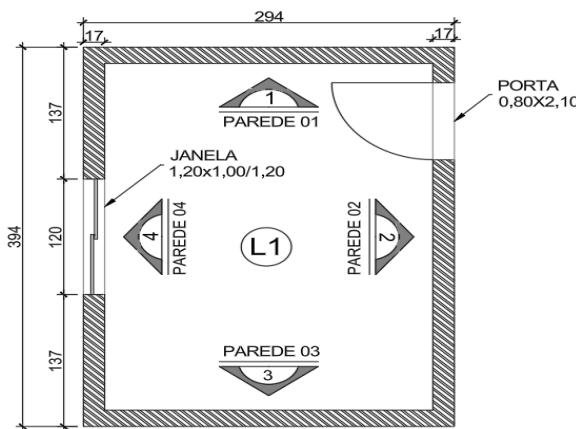
Fonte: ((Prudêncio Jr.; Oliveira; Bedin, 2002). pag. 111)



7. EXEMPLO NUMÉRICO DE APLICAÇÃO

Neste item, um exemplo numérico de cálculo e dimensionamento são realizados. As duas paredes de alvenaria estrutural utilizando-se blocos de concreto armado fazem parte do simples projeto arquitetônico mostrado na figura 18 abaixo. Este exemplo tem objetivo de verificar todas as etapas e formulações constantes nas normas técnicas mencionadas no texto.

Figura 18 – Planta arquitetônica
Fonte: Autor



7.1 Reação da laje e peso próprio nas paredes

Para o dimensionamento, será considerado laje treliçada, adotando o β12 (TR8645) com enchimento de lajota cerâmica, peso próprio: $P_{P\text{laje}} = 2,01 \text{ KPa}$, peso próprio de revestimento $P_{P\text{rev}} = 1,0 \text{ KPa}$ e ação variável aplicadas à edifícios residenciais, dormitórios $P = 1,5 \text{ KPa}$ conforme a NBR 6120 (ABNT, 2019).

Conforme Chust Carvalho e Figueiredo Filho (2023) vol1, aplicando-se o método racional de cálculo, obtém-se as reações da laje nas vigas perpendiculares

às nervuras e paralelas às nervuras utilizando-se equações 22 e 23, respectivamente.

$$P_{vy} = \frac{(58 + 17 \cdot \lambda) \cdot P \cdot L_x}{200} \quad (22)$$

$$P_{vx} = \frac{(42 - 17 \cdot \lambda) \cdot P \cdot L_y}{200} \quad (23)$$

Onde:

P_{vy} : reação da laje (kN/m);

P_{vx} : reação da laje (kN/m);

P : carga distribuída na laje (kN/m²);

λ : razão entre as dimensões L_y e L_x ;

L_y : maior dimensão da laje (m);

L_x : menor dimensão da laje (m);

Os quinhões de cargas, reações provenientes da laje, atuantes em cada parede, são mostrados na tabela 5.

Tabela 5 – Reações da laje nas paredes

Fonte: Autor

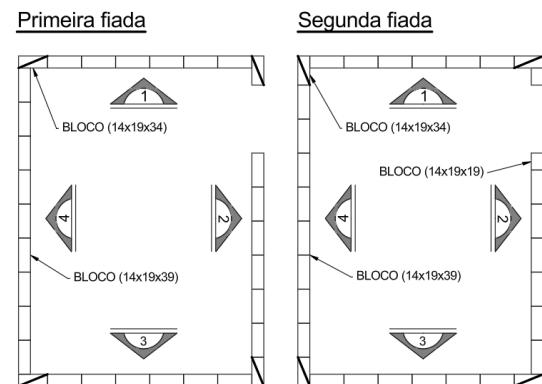
Laje h12	Dimensões da laje			P (kN/m ²)	Carga proveniente da laje nas paredes	
	Lx (m)	Ly (m)	λ (Ly/Lx)		P_{vy} (kN/m)	P_{vx} (kN/m)
P01	2,77	3,77	1,36	4,51	-	1,60
P02	2,77	3,77	1,36	4,51	5,07	-
P03	2,77	3,77	1,36	4,51	-	1,60
P04	2,77	3,77	1,36	4,51	5,07	-

A partir da modulação dos blocos, obtém-se um pré-dimensionamento do peso próprio das paredes.

A figura 19 abaixo, mostra em planta a primeira e segunda fiadas de blocos utilizados na modulação e, consequentemente, utilizados no cálculo do peso próprio das paredes em questão.

Figura 19 – Modulação da primeira e segunda fiadas.

Fonte: Autor



Por meio da norma NBR 6120 (ABNT, 2019), obtém-se o peso específico dos blocos. Para blocos de concreto com função estrutural, o valor encontrado na norma é de 14 kN/m³.

Apresenta-se na tabela 6, os valores dos pesos próprios das paredes, para uma altura de 3,0m, juntamente com valores dos quinhões de cargas, uniformemente distribuídos, proveniente da laje.

Observa-se que a resultante dos quinhões de cargas aplicados sobre cada parede, somados com a resultante do peso próprio de cada parede por metro, multiplicado pelo vão respectivo, resulta no esforço normal solicitante ou característico (Ns).

Para se obter o peso próprio da parede, é multiplicado o peso específico dos blocos pela altura (3m) e espessura final da parede (17cm).

Para se obter a força normal de cálculo (Nsd), multiplica-se o valor obtido para (Ns) pelo coeficiente de ponderação (γ_m), apresentado anteriormente na Tabela 3.

Tabela 6 – Resultantes dos carregamentos de forças normais características e de cálculo.

Fonte: Autor

Paredes	Peso próprio parede (kN/m)	Pv (kN/m)	L(par) (m)	Ns (kN)	Nsd (kN)
P01	7,14	1,60	2,94	25,70	51,40
P02	7,14	5,07	3,94	48,11	96,21
P03	7,14	1,60	2,94	25,70	51,40
P04	7,14	5,07	3,94	48,11	96,21

7.2 Dimensionamento dos blocos de concreto

A resistência à compressão das paredes, foram obtidas por meio das equações 1, 2 e 3 descritas no item 6.1, cujos resultados são:

$$f_{d,01} = 140,71 \text{ kN/m}^2 = 0,14 \text{ MPa}$$

$$f_{d,02} = 196,40 \text{ kN/m}^2 = 0,20 \text{ MPa}$$

$$f_{d,03} = 140,71 \text{ kN/m}^2 = 0,14 \text{ MPa}$$

$$f_{d,04} = 196,40 \text{ kN/m}^2 = 0,20 \text{ MPa}$$

A resistência característica à compressão simples, é calculada sendo 70% da resistência característica de compressão simples de prisma, conforme a equação 4, portanto tem-se:

$$f_{pk,01} = 200,94 \text{ kN/m}^2 = 0,20 \text{ MPa}$$

$$f_{pk,02} = 280,56 \text{ kN/m}^2 = 0,28 \text{ MPa}$$

$$f_{pk,03} = 200,94 \text{ kN/m}^2 = 0,20 \text{ MPa}$$

$$f_{pk,04} = 280,56 \text{ kN/m}^2 = 0,28 \text{ MPa}$$

A resistência característica à compressão dos blocos (f_{bk}) é a resistência característica à compressão simples (f_{pk}) dividido por 0,7. Portanto, tem-se:

$$f_{bk,01} = 287,10 \text{ kN/m}^2 = 0,29 \text{ MPa}$$

$$f_{bk,02} = 400,80 \text{ kN/m}^2 = 0,41 \text{ MPa}$$

$$f_{bk,03} = 287,10 \text{ kN/m}^2 = 0,29 \text{ MPa}$$

$$f_{bk,04} = 400,80 \text{ kN/m}^2 = 0,41 \text{ MPa}$$

Sendo assim, com base nos resultados obtidos acima, adota-se bloco de concreto estrutural classe B, com resistência característica à compressão de 4,5 MPa.

7.3 Dimensionamento quanto a flexão simples

Para seção retangulares, o cálculo do momento fletor resistente na seção transversal é realizado através das equações apresentadas no item 6.2. Neste exemplo, com 3cm de cobrimento, o cálculo do momento resistente de cálculo foi obtido com a equação 9. Os resultados obtidos são apresentados na tabela 7 abaixo.

Tabela 7 – Momentos resistentes de cálculo

Fonte: Autor

Parede 1	$M_{RD1} = 0,022 \text{ kN.m}$	Parede 3	$M_{RD3} = 0,022 \text{ kN.m}$
Parede 2	$M_{RD2} = 0,030 \text{ kN.m}$	Parede 4	$M_{RD4} = 0,030 \text{ kN.m}$

Para o cálculo da área de aço foi utilizada a equação 7. Os resultados são apresentados na tabela 8:

Tabela 8 – Áreas de aço.

Fonte: Autor

Parede 1	$A_{S1} = 0,31 \text{ cm}^2$	Parede 3	$A_{S3} = 0,31 \text{ cm}^2$
Parede 2	$A_{S2} = 0,43 \text{ cm}^2$	Parede 4	$A_{S4} = 0,43 \text{ cm}^2$

Portanto uma barra de 8mm ($A_s = 0,50 \text{ cm}^2$) é suficiente.

7.4 Verificação quanto ao cisalhamento

Quanto ao cálculo da resistência ao cisalhamento em paredes de alvenaria estrutural, conforme apresentado no item 6.3, quando existir armaduras perpendiculares ao plano do cisalhamento e envoltas por graute, a resistência característica ao cisalhamento é obtida por meio da equação 10. Sendo assim, tem-se:

$$\rho = \frac{0,31}{(14 \cdot 34)} = 0,0007$$

$$\rho = \frac{0,43}{(14 \cdot 34)} = 0,0009$$

$$f_{vk,01} = 0,35 + 17,5 \cdot 0,0007 = 0,36 MPa \\ \leq 0,7 MPa$$

$$f_{vd,01} = \frac{0,36}{2} = 0,18 MPa$$

$$f_{vk,02} = 0,35 + 17,5 \cdot 0,0009 = 0,37 MPa \\ \leq 0,7 MPa$$

$$f_{vd,02} = \frac{0,37}{2} = 0,19 MPa$$

$$f_{vk,03} = 0,35 + 17,5 \cdot 0,0007 = 0,36 MPa \\ \leq 0,7 MPa$$

$$f_{vd,03} = \frac{0,36}{2} = 0,18 MPa$$

$$f_{vk,04} = 0,35 + 17,5 \cdot 0,0009 = 0,37 MPa \\ \leq 0,7 MPa$$

$$f_{vd,04} = \frac{0,37}{2} = 0,19 MPa$$

Sabendo-se que o esforço de cálculo V_d é a resultante do carregamento distribuído ao longo do comprimento efetivo da parede. Então a tensão normal de cisalhamento calculada para cada parede é:

$$\tau_{D1} = \frac{18}{(14 \cdot 34)} = 0,38 MPa$$

$$\tau_{D2} = \frac{24,10}{(14 \cdot 34)} = 0,50 MPa$$

$$\tau_{D3} = \frac{18}{(14 \cdot 34)} = 0,38 MPa$$

$$\tau_{D4} = \frac{24,10}{(14 \cdot 34)} = 0,50 MPa$$

Como a tensão de cisalhamento de cálculo é maior que a resistência de cálculo, é necessário dimensionar armadura de cisalhamento.

Antes de calcular essa armadura é necessário descontar a parcela que a alvenaria absorve, conforme a equação 14.

$$V_{a1} = 180 \cdot 0,14 \cdot 0,34 = 8,57 kN$$

$$V_{a2} = 190 \cdot 0,14 \cdot 0,34 = 9,04 kN$$

$$V_{a3} = 180 \cdot 0,14 \cdot 0,34 = 8,57 kN$$

$$V_{a4} = 190 \cdot 0,14 \cdot 0,34 = 9,04 kN$$

A área da armadura de cisalhamento é calculada através da equação 15, apresentada no item 6.3, que após os cálculos, chega-se aos seguintes resultados:

$$A_{SW1} = \frac{(18 - 8,57) \cdot 19}{0,5 \cdot \left(\frac{50}{1,15}\right) \cdot 34} = 0,24 cm^2$$

$$A_{SW2} = \frac{(24,10 - 9,04) \cdot 19}{0,5 \cdot \left(\frac{50}{1,15}\right) \cdot 34} = 0,39 cm^2$$

$$A_{SW3} = \frac{(18 - 8,57) \cdot 19}{0,5 \cdot \left(\frac{50}{1,15}\right) \cdot 34} = 0,24 cm^2$$

$$A_{SW4} = \frac{(24,10 - 9,04) \cdot 19}{0,5 \cdot \left(\frac{50}{1,15}\right) \cdot 34} = 0,39 cm^2$$

Portanto é necessário de apenas 01 barra de diâmetro 6,3mm ($A_s = 0,31 cm^2$) nas paredes 1 e 3, e 02 barras de diâmetro 6,3mm para as paredes 2 e 4.

7.5 Dimensionamento quanto à abertura

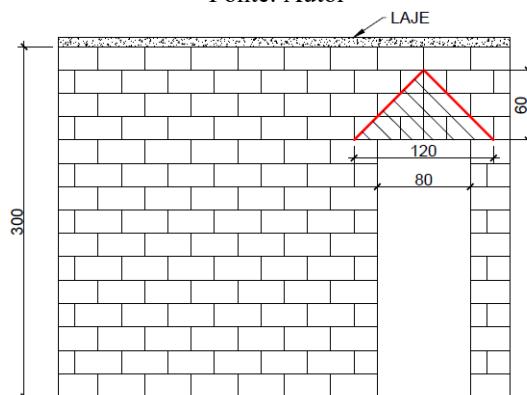
As paredes 2 e 4 possuem aberturas, logo se torna necessário o cálculo de uma verga e contraverga. Sendo ambas construídas com bloco canaletas, facilita a introdução de uma armadura de aço para conter os esforços concentrados de tração.

A NBR 15961-1 estabelece que a área de influência para vergas e contravergas deve considerar a dispersão das ações verticais com inclinação de 45° em relação ao plano horizontal, partindo da região carregada. Essa regra permite identificar qual porção da alvenaria realmente contribui para transmitir os esforços ao elemento estrutural. Desta forma a área dentro desse prisma de 45° constitui a região que deve ser considerada no dimensionamento.

A figura 20 abaixo, mostra a parede 2 contendo uma abertura para porta e, em detalhe, a correspondente área de influência para o carregamento sobre a canaleta superior que servirá como verga.

Figura 20 – Área de influência do carregamento sobre a verga na abertura da porta da parede 2.

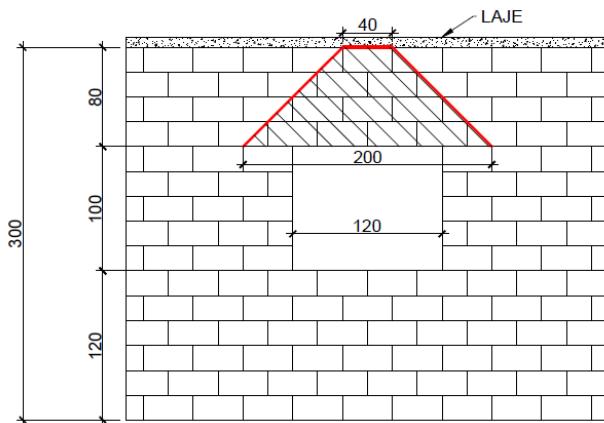
Fonte: Autor



A figura 21 mostra a abertura e área de influência na janela da parede 4.

Figura 21 – Área de influência do carregamento sobre a verga na abertura da janela da parede 4.

Fonte: Autor



Quanto ao dimensionamento da armadura de aço necessária para a verga sobre a abertura da janela, a mesma é obtida em função do carregamento atuante relativo à área de influência sobre a verga, conforme mostrado anteriormente na figura 20. A tabela 9 mostra a composição dos valores dos carregamentos atuantes sobre a verga.

Tabela 9 – Carregamentos atuantes sobre a verga.

Fonte: Autor

Paredes	Carregamento da laje na verga (kN/m)	Carregamento da alvenaria na verga (kN/m)	Carregamento total na verga (kN/m)
P02	-	0,59	0,59
P04	0,80	0,94	1,74

De posse dos carregamentos atuantes, e, aplicando-se as equações de equilíbrio universal da estática, obtém-se os seguintes valores para o momento fletor e esforço cortante, respectivamente, para a porta e janela.

$$M_{d,2} = \frac{1,4 \cdot (0,59) \cdot 1,20^2}{8} = 0,15 \text{ kN.m}$$

$$V_{d,2} = \frac{1,4 \times (0,59) \times 1,20}{2} = 0,50 \text{ kN}$$

$$M_{d,4} = \frac{1,4 \cdot (1,96) \cdot 2,00^2}{8} = 1,22 \text{ kN.m}$$

$$V_{d,4} = \frac{1,4 \times (1,96) \times 2,00}{2} = 2,44 \text{ kN}$$

A armadura longitudinal necessária para as vergas e contravergas, utilizando graute com resistência à

compressão de cálculo (fcd), canaleta de bloco de concreto com 14,0 cm de largura, altura de 20,0 cm e aço CA50, é obtida utilizando a equação 24 abaixo.

$$A_S = \frac{Md}{\sigma_{sd}(d - 0,4x)} \quad (24)$$

Sendo “x” a posição da linha neutra, tem-se as seguintes áreas de aço:

$$A_{S4} = \frac{1,221 \times 10^2}{5(15 - 0,4 \cdot 7,123)} = 2,01 \text{ cm}^2$$

$$A_{S2} = \frac{0,148 \times 10^2}{5(15 - 0,4 \cdot 0,714)} = 0,201 \text{ cm}^2$$

A armadura mínima corresponde a 0,10% da área da canaleta, ou seja:

$$A_{S,min} = \frac{0,10}{100} \cdot 14 \cdot 19 = 0,266 \text{ cm}^2$$

No caso da parede 2 à área de aço mínima é maior do que a calculada, portanto, adota-se a mínima. Na parede 4 uma barra de aço CA50 de 16mm, irá suprir a demanda, agora na parede 2 será uma barra de aço CA50 de 8mm.

Quanto ao cisalhamento, primeiro é calculado a taxa geométrica de armadura, onde tem-se os seguintes resultados:

$$\rho_4 = \frac{2,01}{14 \cdot 15} = 0,0096$$

$$f_{vk4} = 0,35 + 17,50 \times 0,0096 = 0,518 \leq 0,7 \text{ MPa}$$

$$\rho_2 = \frac{0,50}{14 \cdot 15} = 0,0024$$

$$f_{vk2} = 0,35 + 17,50 \times 0,0024 = 0,392 \leq 0,7 \text{ MPa}$$

Como já visto, a tensão de cisalhamento na alvenaria deve ser menor que a resistente, então:

$$\frac{V_{d,2}}{b \cdot d} = 23,52 \text{ kN/m}^2$$

$$\frac{V_{d,2}}{b \cdot d} \leq \frac{f_{vk}}{2} \rightarrow 23,52 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \leq 392 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \therefore OK!$$

$$\frac{V_{d,4}}{b \cdot d} = 116,32 \text{ kN/m}^2$$

$$\frac{V_{d,4}}{b \cdot d} \leq \frac{f_{vk}}{2} \rightarrow 116,32 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \leq 518 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \therefore OK!$$

Logo conclui-se que não é necessário armadura para a solicitação ao cisalhamento, tanto para a verga da parede 2, quanto da parede 4 e também para a contraverga.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho teve como objetivo apresentar e analisar todo o sistema construtivo de paredes em alvenaria estrutural armada com blocos de concreto, abordando de forma abrangente os seus princípios, fundamentos técnicos e critérios de dimensionamento, fundamentados através das normas atuais.

A pesquisa iniciou-se com um estudo bibliográfico aprofundado, contemplando a evolução histórica deste sistema, suas aplicações em diferentes contextos e trazendo para atualidade, as exigências normativas vigentes. Essa base teórica permitiu compreender não apenas o comportamento estrutural da alvenaria, mas também sua importância dentro das soluções construtivas modernas.

Buscou-se desenvolver uma abordagem didática e de forma ordenada, apresentando os principais elementos que compõem a execução e dimensionamento da alvenaria estrutural. O conteúdo foi estruturado de uma forma que facilita a compreensão dos processos construtivos, utilizando-se também de tabelas, figuras e expressões normativas, para auxiliar na sistematização dos resultados e na visualização das etapas do dimensionamento.

No campo do dimensionamento estrutural, foram realizadas as principais verificações de segurança, incluindo as análises de compressão, flexão e cisalhamento. Todas as equações empregadas foram devidamente apresentadas e fundamentadas conforme os parâmetros normativos.

No exemplo, foram dimensionadas 04 paredes, sendo 02 com aberturas (01 janela e 01 porta), e duas paredes sem aberturas, todas submetidas aos carregamentos do peso próprio e da laje do tipo treliçada.

Conforme resultados obtidos, principalmente nas paredes com abertura, foi necessário calcular armadura de cisalhamento e, naquelas sem abertura, não foi necessário. Ademais, nas vergas as tensões ficaram inferiores ao limite admissível.

Este sistema construtivo, apesar de demandar planejamento prévio e controle rigoroso na execução em cada etapa construtiva, apresenta um conjunto expressivo de vantagens técnicas e econômicas em relação aos métodos convencionais. Neste contexto, destacam-se algumas das principais vantagens: rapidez construtiva, redução no consumo de materiais como as formas que são um alto custo nas obras em geral, otimização do tempo e custo de obra.

Portanto, este estudo permitiu afirmar seguramente que a alvenaria estrutural com blocos de concreto armado, apresenta uma alternativa eficiente, sustentável e tecnicamente segura para as edificações.

9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR 15961-1: Alvenaria estrutural – Projeto. Rio de Janeiro, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR 15961-2: Alvenaria estrutural – Execução e controle de obras. Rio de Janeiro, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR 6118: Projeto de Estruturas de Concreto. Rio de Janeiro, 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR 6136: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria – Requisitos. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6120: Cargas para o cálculo de estruturas de edificações. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12118: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria – Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14322: Execução de alvenaria estrutural de blocos vazados de concreto. Rio de Janeiro: ABNT, 1999.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8949: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria – Determinação de absorção de água, teor de umidade e massa específica. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

CARVALHO, R. C.; FIGUEIREDO FILHO, J. R. Alvenaria Estrutural. São Paulo: Pini, 2004.

PRUDÊNCIO JR., Luiz Roberto; OLIVEIRA, Alexandre Lima de; BEDIN, Carlos Augusto. Alvenaria Estrutural de Blocos de Concreto, 2002.

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

TAUIL, M.; NESSE, F. Alvenaria Estrutural. São Paulo: Pini, 2010.