Estudo comparativo entre estrutura de concreto armado e de alvenaria confinada em edificações de pequeno porte

Isaque Ferreira de Jesus[1]
(isaqueferreira360@gmail.com)

Professora orientadora: Mayana Chagas Carvalho

Coordenação de curso de Engenharia Civil

Resumo

Em edificações baixas, principalmente em cidades do interior do Brasil, é costumeiro engenheiros projetarem estruturas de pequeno porte em concreto armado. Entretanto, muitas vezes, seu processo executivo é alterado para um semelhante a alvenaria confinada, trazendo implicações para a estrutura. Desta forma, o objetivo da pesquisa consistiu em realizar uma comparação entre a estrutura em concreto armado e alvenaria confinada em obras pequenas. Por meio de um estudo de caso, buscou-se tanto para comparar os dois sistemas construtivos quanto identificar os erros de execução e as dificuldades encontradas no processo executivo do concreto armado, que podem ser geradores de patologias e que diverge das recomendações da NBR 14931 (ABNT, 2004) e NBR 6118 (ABNT, 2014). Como resultado, observou-se que a obra analisada, embora tenha o projeto estrutural em concreto armado, segue um padrão executivo com traços semelhantes ao sistema da alvenaria confinada. Além disso, verificou-se a ocorrência de modificações de projeto e de algumas dificuldades encontradas *in loco* ao executar a estrutura em concreto armado, como uso da própria alvenaria como forma. Por fim, destaca-se que o uso do projeto em alvenaria confinada pode ser uma alternativa construtiva útil, devido à simplicidade executiva, e de menor custo, pois reduz o uso de materiais, para edificações pequenas.

Palavras-chave: Alvenaria confinada. Concreto armado. Normatização. Processo executivo.

1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas o concreto armado vem ganhando bastante força no Brasil, sendo o mais conhecido e se sobressaindo entre os diversos sistemas estruturais. Esse sistema envolve o trabalho realizado em conjunto do concreto e do aço, tendo o dimensionamento normatizado pela NBR 6118 (ABNT, 2014) e o processo executivo pela NBR 14931 (ABNT, 2004).

Em edificações baixas, principalmente em cidades do interior do Brasil, é costumeiro engenheiros projetarem estruturas de pequeno porte em concreto armado. Porém, muitas vezes, as construções são feitas com paredes menos largas, reduzindo as seções dos pilares, ou mais largas, para preencher o vão do pilar e disfarçá-lo na arquitetura. Entretanto, a menor seção de pilar que a NBR 6118 (ABNT, 2014) recomenda é de 19cm, podendo ser adotada a de 14cm para casos excepcionais.

Desta forma, observa-se que o procedimento executivo não é realizado conforme as recomendações normativas para estruturas em concreto armado, ou seja, não são seguidas etapas cruciais para que a estrutura funcione de fato como concreto armado. Concretar pilares junto a alvenaria e concretar vigas sob as mesmas, por exemplo, são fatores que impedem um bom aproveitamento da estrutura e que podem causar diversas patologias na edificação.

[1] Graduação em Engenharia Civil – Centro Universitário AGES.

Rocha (2022) destaca que a execução da estrutura em concreto armado em edificações de pequeno porte acaba se tornando difícil e cara, pois é projetada em concreto armado e executada similarmente a alvenaria confinada/amarrada. Para o autor, este sistema é o método construtivo mais executado, porém é o menos projetado e conhecido, no Brasil, para estruturas prediais baixas, pois seu método de dimensionamento e de execução ainda não foram disseminados. Trata-se de um tipo diferenciado de alvenaria estrutural, que ao invés de utilizar blocos modulados e armaduras em blocos grauteados, usa blocos de diferentes tipos, inclusive "tijolos" de furos horizontais, e a armadura é posicionada em cintas, nas bordas das paredes e pontos de reforço (ROCHA, 2022).

Para Braga e Estevão (2007), do ponto de vista construtivo, a grande diferença entre a alvenaria confinada (amarrada) e a alvenaria de vedação, está na porcentagem de armadura na estrutura de concreto, e no fato de, na alvenaria confinada, a própria parede ter funções de resistir aos esforços, também servindo de escoramento aos elementos de concreto com armaduras. Na alvenaria confinada, a alvenaria possui função estrutural, combinada a um esqueleto em concreto armado.

A utilização de projetos em concreto armado executados erroneamente ou a realização de construções irregulares, que visam facilidade e economia no processo, podem subdimensionar a estrutura. Sendo assim, o objetivo deste trabalho consistiu em comparar os dois métodos, concreto armado e alvenaria confinada em obras de pequeno porte, por meio da pesquisa bibliográfica e da realização de um estudo de caso que buscou tanto comparar os dois sistemas construtivos quanto identificar os erros de execução e as dificuldades encontradas no processo executivo do concreto armado, que podem ser geradores de patologias e que diverge das recomendações da NBR 14931 (ABNT, 2004) e NBR 6118 (ABNT, 2014)..

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Estrutura em Concreto Armado

A execução de projetos de estrutura em concreto armado moldado *in loco* envolve vários fatores, como, escoramentos e fôrmas padronizadas, que necessitam ser moldadas e desmoldadas. Segundo Yazigi (2009), os sistemas de fôrmas servem para moldar e suportar as estruturas de concreto armado até atingir resistência sem afetar sua forma, função, aparência e a durabilidade. Embora seja invisível após a conclusão da construção, é um sistema muito importante que representa cerca de 10% do custo total de uma construção em estrutura de concreto armado moldado *in loco*.

Além de vigas e pilares com seções mínimas determinadas por norma, barras verticais e estribos com, respectivamente, diâmetro mínimo de 10 mm e 5mm, todas as vigas geralmente são projetadas para suportar vãos e vencer flexões e/ou compressão. As vigas não preveem escoramento permanente, apenas o encunhamento, e é necessário verificar também cobrimento mínimo das armaduras, dentre outros fatores que devem seguir os procedimentos e princípios corretos.

Após a conclusão da estrutura em concreto armado, realiza-se chapisco da face da estrutura a ser unida com o bloco, para prosseguir com a execução da alvenaria. A ligação pilar em parede pode ser feita conforme a NBR 8545 (ABNT, 1984), com o emprego de barras de aço com diâmetro de 5 a 10 mm, distância e comprimento com cerca de 60 cm, ou com o emprego de tela metálica galvanizada (THOMAZ, 2009).

Ao término do levante de toda a alvenaria deve ser deixado folga ao topo para posterior encunhamento, que é realizado após a execução dos pavimentos superiores, quando a estrutura já está deformada, para impedir que as cargas sejam transmitidas para a alvenaria e elas absorvam apenas a movimentação da estrutura através do encunhamento. Esses e outros

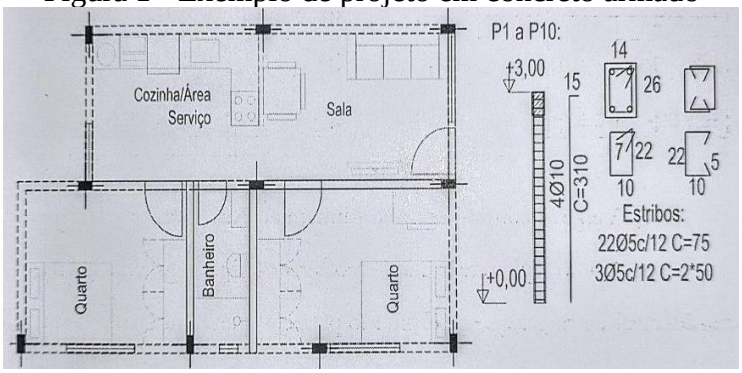
detalhes relacionados ao processo executivo requer um maior investimento em mão de obra especializada e na compra de materiais.

O sistema funciona basicamente em transmitir os esforços das lajes e paredes para as vigas, que os transmitem para os pilares, que os direcionam para as fundações, além de suportar cargas advindas do vento. A NBR 6118 (ABNT, 2014), que trata do projeto das estruturas de Concreto Armado e Protendido, determina critérios totais para o projeto, que abrangem diversos tipos de construções, como prédios de grande porte, obras de infraestruturas, entre outros, que deve ser complementado por outras normas para estruturas específicas.

Batista (2020) constatou em sua pesquisa que em algumas das obras ou na grande maioria das pequenas obras foram encontrados erros na fase de execução, principalmente no processo de concretagem, como: a falta de cobrimento da armadura; adensamento incompleto ou não realizado; ou consistência imprópria do concreto, o que promove a exposição das armaduras e corrosão, reduzindo a resistência e a durabilidade do concreto armado.

Um grande fator que chama a atenção é a forma de execução desse sistema nesse tipo de obra, pois há execuções de obras que não seguem os procedimentos corretos do concreto armado. Na execução costumam seguir, de forma errônea, os seguintes passos: fundação, vigas baldrames, alvenaria com 5 ou 6 fiadas, pilares concretados até essa altura da alvenaria para poder seguir as demais fiadas, são seguidas as fiadas até o topo (respaldo), só então é concretado o restante do pilar e após isto, são concretadas as vigas usando como fundo (permanente) a própria alvenaria.

Figura 1 - Exemplo de projeto em concreto armado



Fonte: Rocha (2022)

Além disso, em casas, sobrados e prédios pequenos, ainda é comum executar a alvenaria junto aos pilares de forma mais espessa e rígida para esconder a estrutura de concreto. Isso resulta na concretagem de vigas sobre a alvenaria, fazendo com que a carga seja diretamente transferida para a parede que sobrecarregará os baldrames. Para Rocha (2022), nesse método utilizado em pequenas edificações, o projeto é dimensionado em concreto armado, mas executa-se uma versão arcaica e mais cara do método da alvenaria confinada/alvenaria amarrada.

2.2 Estrutura em Alvenaria Confinada

De acordo com Fernandes (2013), a alvenaria confinada é amplamente utilizada em construções, principalmente, na Europa e tem sido praticada na América Latina (México, Chile, Peru, Argentina e outros países), no Oriente Médio (Irã), no sul da Ásia (Indonésia) e no Extremo Oriente (China). Para o autor, é um sistema que oferece vantagens em termos de desempenho estrutural, durabilidade e economia comparado a outros sistemas, sendo bastante utilizado em regiões com frequência de tremores, por possuir resistência a abalos sísmicos, além de resistência ao fogo, ao impacto, durabilidade, deformação e interação com outros elementos da construção (FERNANDES, 2013).

Mohamad (2017) afirma que a alvenaria confinada é amplamente utilizada em estruturas de edifícios de alvenaria, proporcionando maior resistência e estabilidade às paredes de alvenaria, especialmente em regiões com alta sismicidade. Trata-se de um padrão construtivo adotado em alguns países de primeiro mundo, pois, comparado com outros sistemas inovadores, é um sistema simples e de menor custo, porém requer um prazo de execução maior. Quando é necessário reduzir o tempo de execução nesse tipo de construção, busca-se aumentar o número de mão de obra e otimizar o gerenciamento de equipe e material, o que causa impacto no valor final, equiparando o custo a outros sistemas.

O dimensionamento da alvenaria confinada é pouco conhecido no Brasil, pois não há normatização brasileira para tal sistema estrutural. Apesar de ser um sistema misto entre concreto armado e alvenaria estrutural, não é possível dimensionar a alvenaria confinada somente com as normas NBR 6118 (ABNT, 2014) e NBR 16868 (ABNT, 2020), mas em momento algum, o seu dimensionamento viola as normas de estruturas vigentes. A norma de desempenho NBR 15575-2 (ABNT, 2013), item 7.2.2.1 cita que:

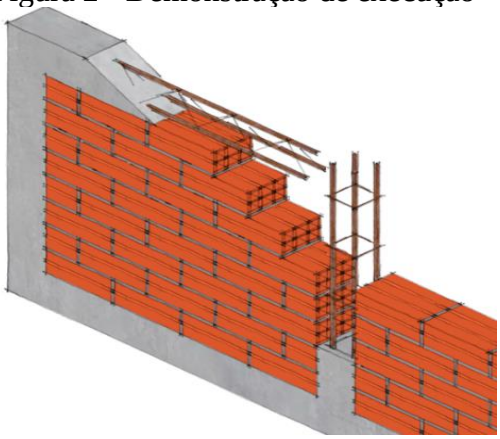
> Na inexistência de Norma Brasileira de projeto estrutural específica para o tipo de estrutura analisado, pode ser aceito o atendimento aos respectivos Eurocódigos, em sua última versão, ou a demonstração da estabilidade e da segurança estrutural através de cálculos, modelos e ensaios, respeitado o estabelecido em 7.2.2.2.

O sistema de alvenaria confinada/amarrada utiliza os mesmos materiais do concreto armado, sendo apenas modificado o método de execução e dimensões dos elementos. O método de execução e dimensionamento desse sistema está presente no Eurocódigo 6 (EN, 2005), uma normatização da Europa que determina dimensionamentos, projetos e execuções, conforme suas diretrizes, para edificações em alvenaria incluindo alvenaria confinada.

A alvenaria confinada é um sistema construtivo de alvenaria reforçada, que utiliza paredes de alvenaria interligadas com elementos de confinamento, como pilaretes e viguetas, cintas ou montantes construtivos, sendo o padrão das lajes, o concreto armado. Esses elementos são dimensionados e dispostos de forma estratégica para proporcionar maior resistência e estabilidade à estrutura de alvenaria. A interligação rígida entre a alvenaria e os elementos de confinamento entrega maior capacidade de suportar cargas verticais e horizontais, resultando em uma estrutura mais robusta e segura.

Para resistir aos esforços de compressão e servir também como vedação, são utilizados blocos/tijolos furados ou maciços, podendo ser cerâmicos ou de concreto, devendo-se respeitar a resistência apropriada tanto para a compressão quanto para a elasticidade. Para suportar os esforços das quinas, é utilizado o concreto com aço, que auxilia e absorve esforços locais de compressão advindo dos ventos e desaprumos (Figura 2).

Figura 2 - Demonstração de execução



Fonte: Rocha (2022)

Rocha (2022) afirma que, o sistema pode ser aplicado não apenas em obras de tijolos furados, mas em qualquer parede amarrada por cintas, e pode ser combinada a tijolos maciços, blocos modulados, pedras, blocos de concreto celular, ou qualquer material que tenha resistência adequada (Figura 3). Para o autor, nas paredes de alvenaria confinada, as cintas armadas funcionam como um exoesqueleto, resistindo a tração, enquanto a alvenaria interna suporta esforços de compressão.

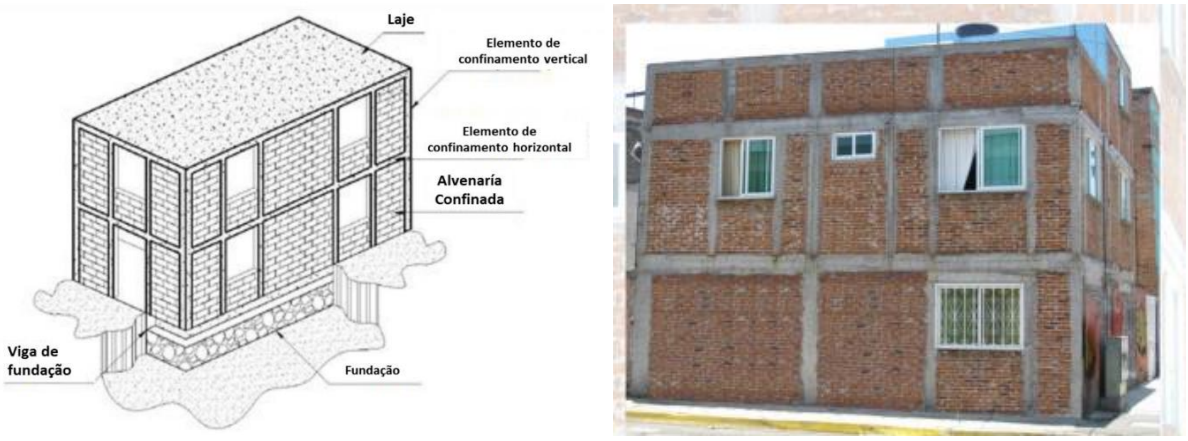
Figura 3 - Construção de alvenaria confinada em blocos cerâmicos na Eslovênia (1) e com ladrilhos (tijolos de barro) em El Salvador (2)

Fonte: BRZEV (2007)

Segundo Gouveia (2007), as cintas, as vergas e as contra-vergas são elementos de confinamento horizontal que proporcionam maior resistência e estabilidade à estrutura de alvenaria, sendo importante destacar que a presença delas nas paredes de alvenaria confinada é fundamental para garantir a capacidade de resistência como um todo, uma vez que a alvenaria possui baixa resistência à tração. A ausência desses elementos faz com que pequenos esforços de tração possam levar a ruína ou patologias na parede de alvenaria.

As cintas são responsáveis por absorver as tensões de tração e distribuí-las ao longo da parede, evitando fissuras e o colapso da estrutura. Portanto, a correta execução e dimensionamento das cintas é essencial para assegurar a adequada performance da alvenaria confinada, garantindo a sua resistência, durabilidade e segurança estrutural. Na Figura 4 é possível observar a localização de cada elemento de confinamento.

Figura 4 - Exemplo de estrutura em alvenaria confinada. Componentes de uma construção

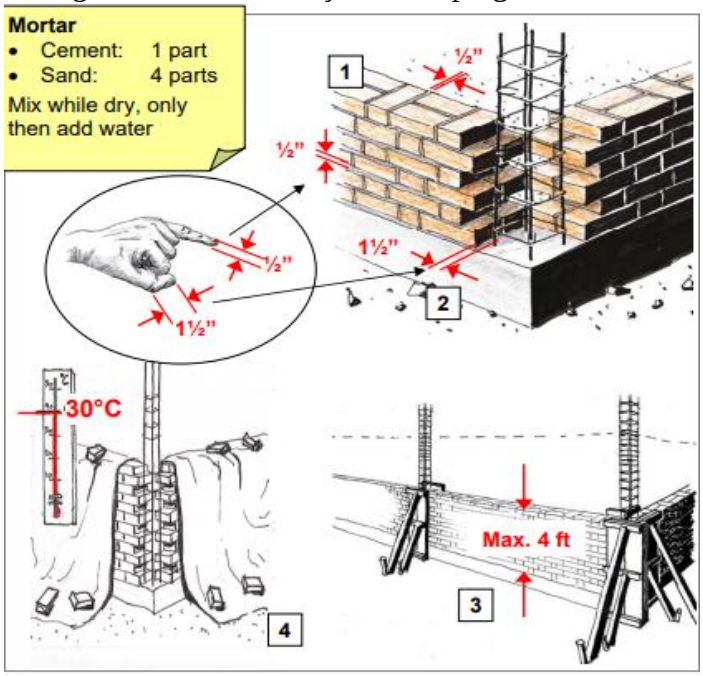


Fonte: Meli e Brzev (2011)

Nunes (2019, p. 283), explica que na alvenaria confinada os elementos de confinamento são executados após a elevação da parede, podendo ser embutidos no seu interior ou executados

com recurso de fôrmas, ficando com faces de acabamento à vista, sendo apresentados nos eurocódigos, os requisitos mínimos para as armaduras e dimensões dos elementos de confinamento, bem como recomendações de execução (Figura 5).

Figura 5 - Demonstração do emprego de formas



Fonte: Schacher (2009)

Para Schacher (2009), na construção da alvenaria confinada, os elementos não são projetados para atuar como um pórtico resistente ao momento, como resultado, o detalhamento do reforço é simples. Em geral, o sistema de confinamento tem dimensões de seção transversal menores do que as vigas e pilares correspondentes em um edifício de estrutura em concreto armado.

No Brasil, esse sistema já é executado, porém desconhecido teoricamente, pois muitas vezes é executado de forma superdimensionada através de projetos de concreto armado em edificações baixas, ou por pedreiros através de conhecimento empírico e dedução na resistência dos materiais, ou ainda de forma incorreta, por não haver conhecimento sobre essa normatização no país.

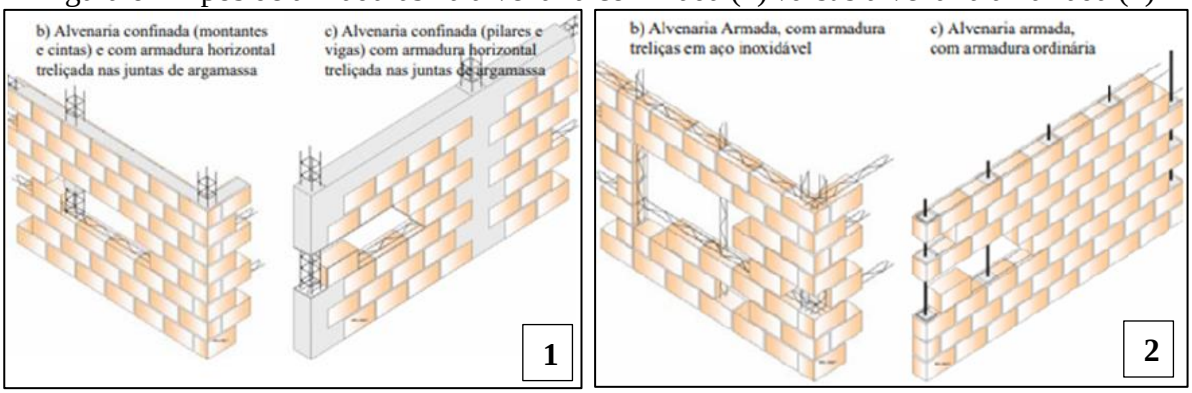
Rocha (2022) faz um questionamento, dizendo que, quem nunca se questionou o porquê pedreiros constroem com pilares de treliça com blocos de 14 ou 19cm e a obra fica de pé (apesar de sofrer patologias)? Se esses pilares tivessem que suportar uma carga de 10 ou 15 toneladas, o autor afirma que esses não a suportariam. A questão é que há uma resistência, uma vez que: ou as cargas estão sendo distribuídas nas paredes ao entorno, ou as cargas distribuídas através das vigas, que não se comportam como tal, se comportam como cintas, pois são concretadas diretamente em cima da parede.

Quando, na construção com projeto em alvenaria confinada, a área total da parede é muito maior do que a do pilar, a carga é distribuída de maneira diferente entre esses elementos. Além disso, a resistência da alvenaria em si não deve ser ignorada, é importante considerar todos os aspectos envolvidos na análise da resistência de uma obra, e não simplesmente se basear em comparações simplistas entre materiais, sempre deve ser feito dimensionamento visando a qualidade e segurança. Não é somente a parede que resiste, no sistema de alvenaria confinada, a alvenaria resiste unida a elementos essenciais de confinamento (ROCHA, 2022).

Pinheiro (2018) enfatiza que, os elementos de confinamento na alvenaria confinada, como cintas, vergas, contra-vergas e pilaretes, são projetados de acordo com as normas técnicas e códigos de construção, que estabelecem os requisitos mínimos para as armaduras, dimensões e detalhamentos desses elementos. O autor esclarece que quando as falhas que ocorrem com o vento quando a carga é baixa, não havendo travamento adequado no topo, como laje, ultrapassando os limites de tração. Nesse caso pode ser aumentado a espessura das paredes, aumentado a resistência da argamassa, construir com laje em cobertura ou reduzir dimensões dos cômodos, e o mais essencial que é suportar flexão na horizontal, com auxílio travamento entre alvenaria e estrutura, para gerar negativos, devendo ser feito o devido cálculo da flexão horizontal (PINHEIRO, 2018).

Conforme Figura 6, na alvenaria confinada treliças também são utilizadas para amarração e como uma substituição ao agulhamento, sendo os pilaretes. Rocha (2022 p. 40) esclarece que não existe pilar de treliça, pois não existe pilar, o que suporta a compressão é a alvenaria, os pilaretes tem função de absorver a tração.

Figura 6 - Tipos de armaduras na alvenaria confinada (1) *versus* alvenaria amarrada (2)



Fonte: Gouveia (2007)

Alguns fatores podem influenciar no aparecimento de fissuras e patologias nas paredes com grande frequência, como: serviços preliminares incorretos; falta de ensaio de resistência do solo; estrutura sem dimensionamento ou mal dimensionada sem considerar todas as cargas, que acabam gerando deformações nas vigas baldrames; e pequenos erros um atrás do outro que podem gerar um grande problema (ROCHA, 2022). Contudo, é imprescindível e de grande importância a existência de um projeto e uma execução que leve em consideração as normas técnicas vigentes.

Blocos, tijolos e concreto possuem uma menor resistência na tração do que na compressão (Tabela 1). Já o módulo de Young (uma grandeza relacionada à elasticidade linear de um material), é quinhentas vezes superior a resistência (ou seja, atingem a resistência de deformação de 1/500=0.2%), (ROCHA, 2022).

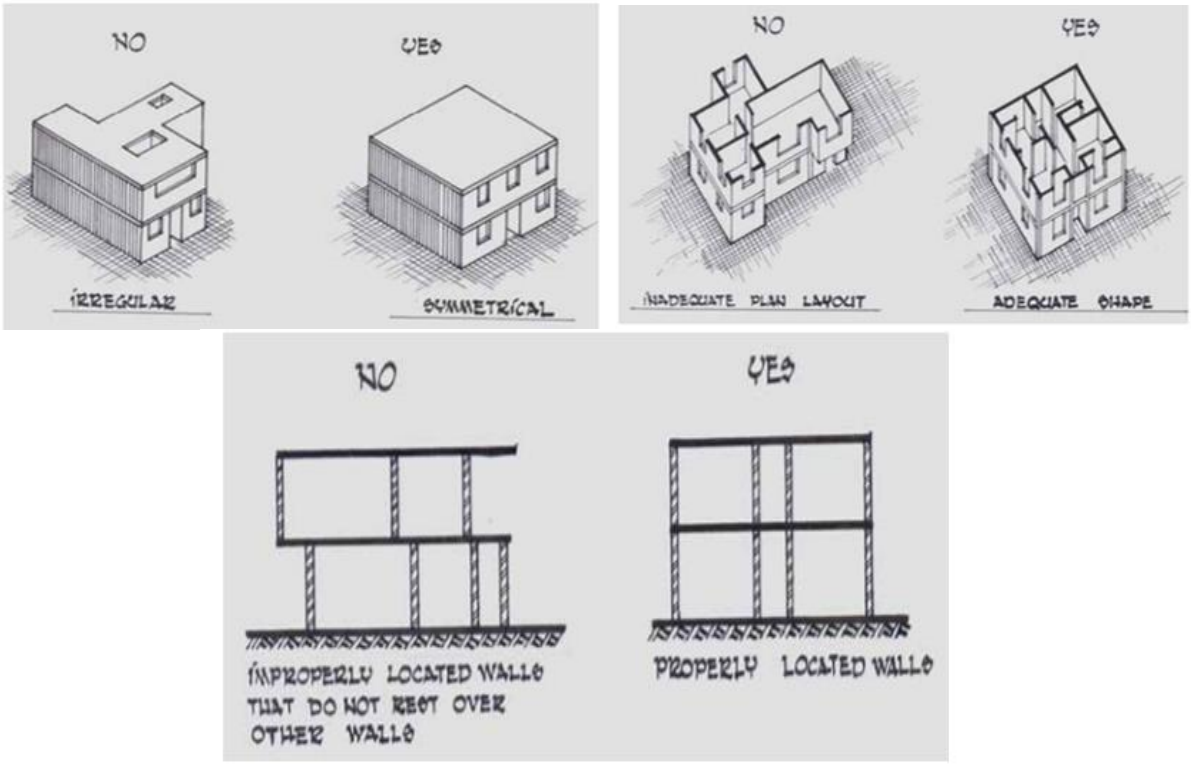
Tabela 1 - Comparativo de materiais na alvenaria amarrada

Material	**Resistência (todas em tf/cm²)**			**Densidade**
	Tração	**Compressão**	**Deformação**	
Bloco cerâmico	0.001-0.005	0.015-0.18	10-100	1-14tf/m³
Bloco concreto	0.001-0.005	0.03-0.24	25-150	1-1.4tf/m³
Bloco celular	0.001-0.005	0.01-0.06	5-30	0.4-0.8tf/m³
Tijolo maciço	0.002-0.005	0.04-0.18	20-100	1.6-1.9tf/m³
Concreto	0.010-0.030	0.15-0.5	200-300	2.4-2.8tf/m³
Vergalhão Aço	5-6	-	2100	7.85tf/m³
Vergalhão fibra	4-20	-	400-1200	1.5-1.8tf/m³

Fonte: Rocha (2022)

Para otimizar esse sistema construtivo deve-se adicionar pilaretes próximo a aberturas, aumentar resistência do bloco aumentando a espessura, modificar posições/reduzir ambientes, colocar a laje sempre no melhor sentido (para o menor vão) e reduzir o pé direito se possível (BRZEV, 2007; ROCHA, 2022). Por ser muito utilizado em construções voltadas à classe baixa/média, existem algumas limitações, como paredes exteriores com poucas aberturas, a fim de estabilizar a estrutura, para que ela não seja enfraquecida com o vento, e paredes internas como travamento, procurando sempre utilizar as paredes a favor da estrutura (Figura 7).

Figura 7 - Exemplo de formas de otimizar o sistema construtivo em alvenaria confinada



Fonte: BRZEV (2007)

Entretanto, é possível unir alvenaria amarrada com concreto armado para executar obras de padrão mais elevado com projetos arquitetônicos complexos, ou em obras com vãos maiores, utilizando pilares soltos em posição onde não é possível a alvenaria, e vigas em vãos livres, onde há cargas elevadas, mas não existe alvenaria. Padrão que já é executado em obras cotidianas no Brasil, a diferença será que ao otimizar o método executivo atual, são mantidos esses pilares soltos e vigas, mas economizar removendo ou minimizando dimensões dos outros que são superdimensionados ao ignorar paredes rígidas (BRZEV, 2007; ROCHA, 2022).

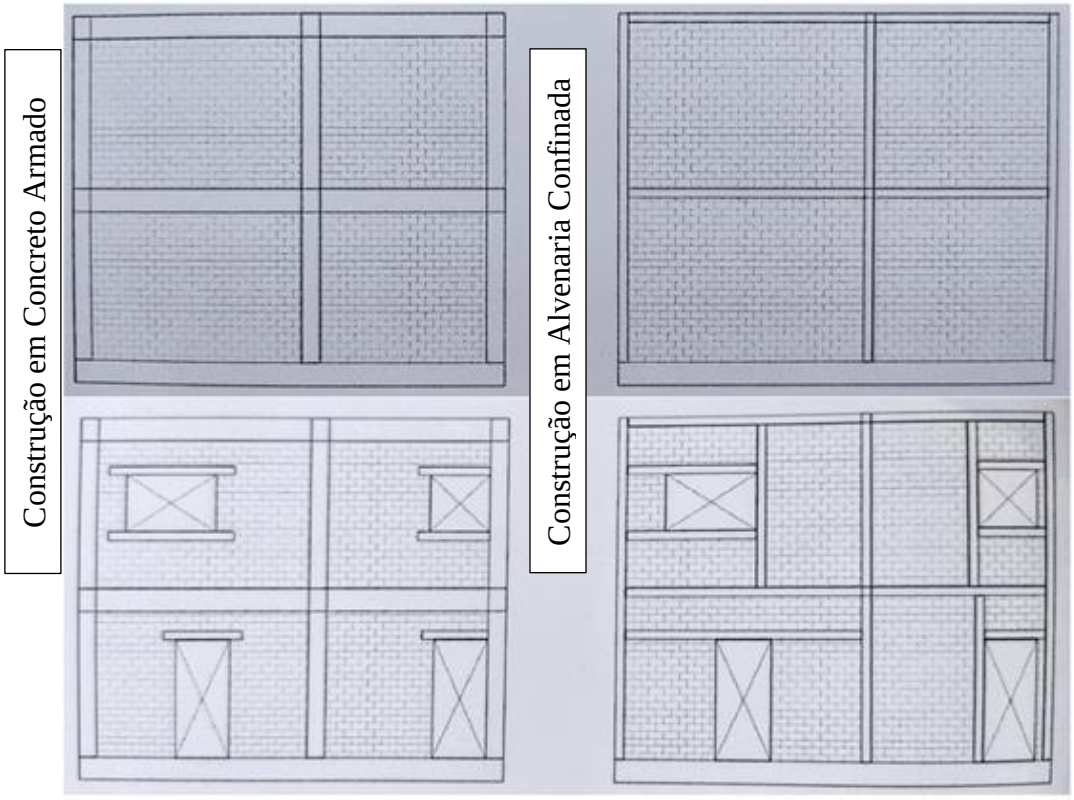
No entendimento de Rocha (2022), outro fator notável é o que funciona em sobrados, mas não em prédios, os motivos são os tamanhos dos pilares e da parede, pois em casas ou sobrados e prédios pequenos, pilares são pequenos e a alvenaria espessa, em torno de 90% da parede é alvenaria, em prédios altos pilares são espessos e largos, mas a alvenaria é fina, vindo toda a resistência dos pilares.

2.3 Comparação entre o concreto armado e alvenaria confinada

Uma das diferenças entre o concreto armado e a alvenaria confinada/amarrada, está nas vergas que seguem sempre são contínuas até os pilaretes (Figura 8). Como não há cargas

gravitacionais consideráveis nos pilaretes, a carga que recebem são para compensar e vencer os esforços das aberturas. Segundo Rocha (2022), os pilaretes podem nascer sobre cintas para receber vergas e contra vergas, devendo ser criado pelo menos um quadro rígido, sem abertura entre dois pilaretes em todas as paredes externas, fazendo então fechamentos de amarração para garantir que não surjam esforços concentrados ou tração.

Figura 8 - Diferença na execução do método convencional projetado em concreto armado e alvenaria confinada



Fonte: (Rocha, 2022)

Em pequenas obras é comum que o concreto seja produzido sem acompanhamento técnico adequado, o que pode resultar em uma resistência abaixo do esperado, muitas vezes não atingindo 10Mpa. Essa resistência baixa, reduz a durabilidade, mas quando não causa colapso na obra é devido ao fato de a alvenaria receber parte dessa carga. Os blocos fabricados costumam ter uma resistência maior, podendo passar de 1.5Mpa em alguns casos.

Para Rocha (2022), se houver uma substituição hipotética do concreto de 30MPa por tijolo de 1.5Mpa, a estrutura não irá perder 95% da resistência, pois há compensação de área, um pilar de 14 cm x 30 cm tem 420 cm², a parede 14 cm x 300 cm tem 4200 cm². O autor diz que uma parede de 14cm com blocos, considerando uma resistência de 2MPa resiste 28tf/m. Isso não inclui fator de segurança, flambagem, vento, aberturas, ou outros fatores que enfraquecem o material, mas é uma base para saber a resistência do material que se é utilizado.

Conforme Brzev (2007), a aparência de uma construção de alvenaria confinada acabada e uma construção de estrutura em concreto armado com preenchimentos de alvenaria podem parecer semelhantes para leigos, porém esses dois sistemas construtivos são substancialmente diferentes. As principais diferenças estão relacionadas com a sequência de construção (Tabela 2) e no comportamento da estrutura em condições sísmicas.

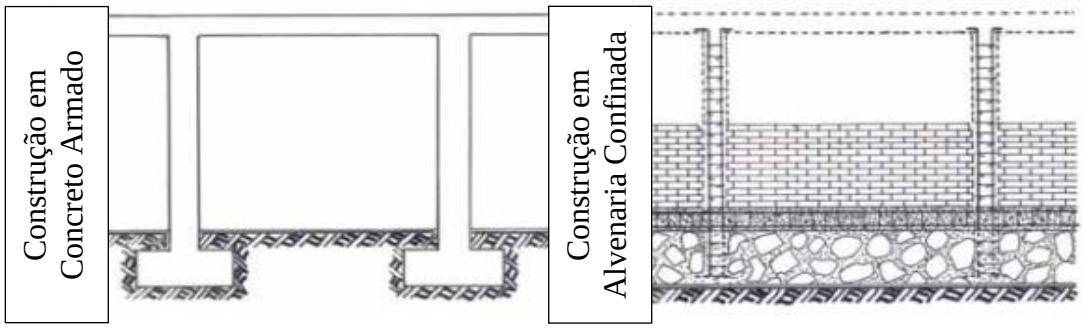
Tabela 2 - Comparação entre as etapas construtivas

Gêneros	**Alvenaria confinada**	**Concreto armado**
Gravidade e resistência	As paredes de alvenaria são os principais elementos de suporte de carga e espera-se que resista à gravidade e cargas laterais	O concreto armado resiste as ações gravitacionais, ventos e cargas laterais através de suas relativamente grandes vigas e pilares. Onde as paredes são somente vedação.
Fundação	Geralmente são sapatas corridas. Podendo ser executadas com concreto ciclópico.	Em grande maioria das vezes é utilizado sapata isolada abaixo de cada pilar.
Superestrutura construção	-As paredes de alvenaria são construídas primeiro. -Posteriormente, as colunas de amarração são concretadas no local. -Finalmente, as vigas de ligação são construídas em cima das paredes, simultaneamente com o piso/telhado construção de laje.	-O quadro de estrutura é construído primeiro. -As paredes de alvenaria são construídas em uma fase posterior e não estão ligados ao mecanicamente a estrutura, são paredes não estrutural, ou seja, não portante.

Fonte: Adaptado de Brzev (2007, p. 7)

No concreto armado, pelo fato da distribuição de cargas para as fundações serem pontuais, normalmente se opta por fundações dos tipos sapatas isoladas, estacas, entre outros. Já na alvenaria confinada, como a distribuição de carga ocorre linearmente, já que os esforços são transmitidos através das paredes é mais usual o sistema de fundações de sapatas corridas ou radier (Figura 9).

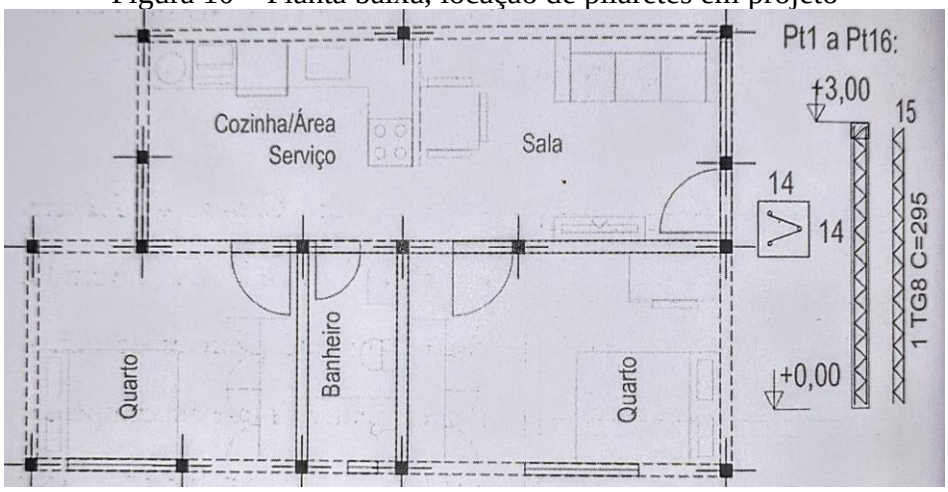
Figura 9 - Exemplo de construção em concreto armado e alvenaria confinada



Fonte: BRZEV (2007)

Para Brzev (2007), a diferença mais importante entre as paredes de alvenaria confinadas e paredes de enchimento/vedação no concreto armado é que as paredes de vedação não são paredes de suporte de carga, enquanto as paredes de um edifício de alvenaria confinado resistem aos esforços. Ao comparar a mesma planta de um projeto em alvenaria confinada (Figura 10) com o de um projeto em concreto armado (Figura 1), pode-se observar que há mais elementos estruturais na alvenaria confinada, 16 pilaretes contra 10 pilares. Porém, em casos como esse, o que se é gasto em quantidade de elementos, ao mesmo tempo é economizado no volume de concreto e aço.

Figura 10 – Planta baixa, locação de pilaretes em projeto



Fonte: (Rocha, 2022)

Diferentemente do concreto armado, onde podem ser adotadas concepções estruturais diferentes, a alocação dos pilaretes seguem algumas regras. Segundo Rocha (2022), as pilaretes devem ser planejados: em toda quina ou borda de alvenaria; e, quando houver aberturas, no meio do pano em paredes com mais de 5m sem quinas. Para minimizar a quantidade de cintas, os pilaretes podem ser alocados ao lado de portas e janelas, sendo recomendado que estas estejam sempre longe das quinas, procurando-se centralizá-las no vão. Alguns problemas também podem ser otimizados na arquitetura, estruturas em balanço sem ganho estrutural (estética) por exemplo, e quando for sobrado, deve-se optar por colocar paredes sob paredes.

No projeto de alvenaria confinada deve ser calculado cada parede separadamente, internas e externas. Respeitando os limites de compressão, tração, esbeltez, vento, esforços globais, desaprumo e inércia adequada, considerando todas as cargas. Já o projeto em concreto armado, deve seguir a normatização vigente NBR 6118 (2014), que estabelece uma resistência mínima de 20Mpa para o concreto e o cobrimento mínimo especificado pela classe de agressividade. Como na alvenaria confinada não há muitos esforços de flexão, pode-se trabalhar com cobrimento de armadura maior e, para suportar esforços de tração, alocar os vergalhões de aço concretados entre as fiadas.

3. METODOLOGIA

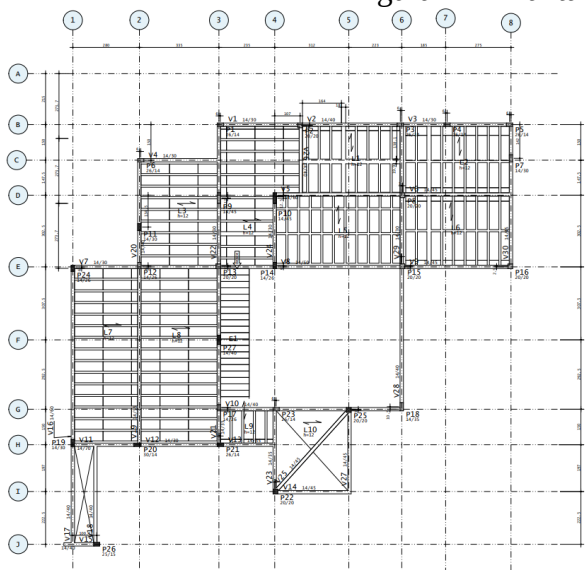
O presente trabalho trata-se de um estudo de natureza exploratória e descritiva que envolve pesquisa de campo e revisões bibliográficas, pois permite se situar dentro da área pesquisada (PRODANOV e FREITAS, 2013). Para ampliar o conhecimento sobre a alvenaria confinada e problemas de execução em concreto armado, utilizou-se fontes primárias e secundárias, como artigos científicos relacionados ao assunto, principalmente internacionais, por haver défice relacionado ao assunto no Brasil, e livro de dimensionamento e detalhamento do sistema apresentado.

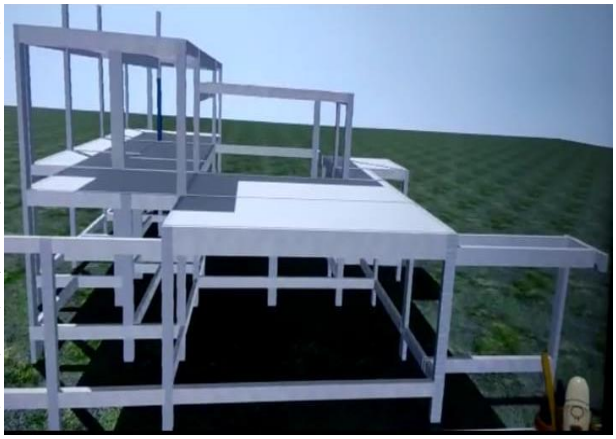
Através de métodos qualitativos e comparativos, com intuito de mostrar o método de dimensionamento e construtivo da alvenaria confinada, realizou-se um estudo de campo. Prodanov e Freitas (2013) afirmam que os estudos de campo tendem a utilizar variadas técnicas de obtenção de dados, sendo os procedimentos de análise nesse estudo predominantemente qualitativos. A obra analisada situa-se na cidade de Monte Santo, no estado da Bahia, trata-se de uma obra residencial unifamiliar em execução, cujo projeto estrutural foi elaborado em concreto armado.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O presente estudo de campo demonstra a execução de uma obra de pequeno e médio porte projetada em concreto armado. Trata-se de uma obra residencial unifamiliar situada na cidade de Monte Santo - BA, cujo projeto estrutural contemplou dois pavimentos com lajes em concreto armado, sendo uma delas de cobertura. A Figura 11 demonstra a planta de formas da primeira laje, com indicações de todos os pilares e as principais vigas e vista 3D e a Tabela 3, as seções de todos os pilares do projeto.

Figura 11 - Planta de formas e vista 3D





Fonte: Autor (2023)

Tabela 3 - Seções dos pilares projetados em concreto armado

P	1	26/14	P	8	20/20	P	15	14/26	P	22	14/35
P	2	20/20	P	9	14/45	P	16	20/20	P	23	14/30
P	3	26/14	P	10	14/45	P	17	20/20	P	24	30/14
P	4	26/14	P	11	14/30	P	18	14/35	P	25	26/14
P	5	26/14	P	12	14/26	P	19	14/26	P	26	20/20
P	6	26/14	P	13	14/26	P	20	26/14	P	27	14/26
P	7	14/30	P	14	20/20	P	21	20/20			

Fonte: Autor (2023)

O sistema construtivo adotado no projeto estrutural foi em concreto armado e com a justificativa de obter uma arquitetura limpa, foram previstos a utilização de tijolos com larguras de 14 cm e de 19 cm, sendo este último adotado para preencher o vão dos pilares 20 cm x 20 cm (Figura 12). Para a NBR 6118 (ABNT, 2014) a menor sessão do pilar em concreto armado é 14 cm, sendo a sua menor área 360 cm², desta forma, a menor seção do pilar que deveria ser adotado era de 14 cm x 26cm, utilizando-se uma fundação de sapatas isoladas.

Entretanto, durante a construção foram deixados de lado alguns critérios do projeto e a execução não seguiu os procedimentos recomentados pela NBR 14931 (ABNT, 2004). Observou-se que as seções de alguns pilares foram reduzidas e seu formato alterado, com a justificativa de obter maior facilidade em executar pilares retangulares com 14 cm de largura e seguir apenas com um tipo tijolo, além de ter menos trabalho com fôrmas grandes (Figura 12).

Figura 12 - Pilar 20 cm x 20 cm armado com 8 barras de aço 10mm alterado para 14 cm x 30 cm sem consulta técnica

Fonte: Autor (2023)

Se o projeto fosse elaborado para uma estrutura em alvenaria confinada, não haveria pilares tão robustos, pois no dimensionamento é previsto a distribuição de parte das cargas para a alvenaria, aproveitando assim a eventual resistência de um tijolo de 14 cm. Para Região (2022), em sistemas aporticados, a alvenaria possui função principal de vedação, porém tem-se o conhecimento da sua contribuição no ganho de rigidez lateral e distribuição de esforços entre os elementos estruturais.

Apesar desta compreensão, não é usual o dimensionamento estrutural considerando as paredes como parte do sistema estrutural em edificação. Há normalizações internacionais que consideram a influência das paredes no ganho de capacidade e rigidez a ações horizontais. Para o projeto analisado, os pilares seriam substituídos por pilaretes e as sapatas da obra poderiam ser substituídas por sapatas corridas para melhor distribuição dos esforços, seguindo com concreto armado somente em pórticos de vãos livres.

Além disso, vários outros erros foram constatados, como o desrespeito ao cobrimento mínimo da armadura inferior a 2,5 cm (Figura 13), conforme recomenda a NBR 6118 (ABNT, 2014), e a ausência de dobras das armaduras (Figura 14). As dobras de armadura das vigas são calculadas conforme a NBR 6118 (ABNT, 2014) e é de grande importância, pois auxiliam na ancoragem, dando firmeza ao engaste, evitando patologias e o escorregamento das barras em uma eventual sobrecarga.

Figura 13 - Armadura de pilar sem espaçamento mínimo

Fonte: Autor (2023)

Figura 14 - Armadura de vigas sem dobras

Fonte: Autor (2023)

Nas construções de pequeno e médio porte, torna-se complicado seguir todos os critérios propostos para a execução correta de concreto armado, pelo alto custo na execução e falta de mão de obra qualificada. Essas limitações contribuem para a má execução de estruturas em concreto armado nesse setor, pois a mão de obra tenta sempre facilitar ao máximo a execução e, muitas vezes, o proprietário não possui o recurso suficiente para executar obras com esse tipo de estrutura, trazendo novamente a necessidade de um sistema mais simples de execução.

Além disso, notou-se que, durante a execução, houve superdimensionamento e subdimensionamento das vigas, sendo alteradas algumas posições e seções das barras, pois a equipe encontrou dificuldades em seguir todos os detalhes e complexidades do projeto, resolvendo adotar os conhecimentos adquiridos de forma empírica para execução (Figura 15).

Figura 15 - Armadura das vigas

Fonte: Autor (2023)

Comparando com uma estrutura projetada em alvenaria confinada, a estrutura não utilizaria tanto aço. As armaduras das vigas seriam substituídas por cintas, que suportam os esforços juntamente com as paredes, e reduziria a complexidade de armação de vigas com grandes quantidades de armaduras, que deveriam seguir precisamente o local de cada barra apresentada no projeto.

Todos os pilares da obra foram concretados em duas etapas, primeiro executou-se a alvenaria e, em seguida, realizou-se a concretagem deles (Figura 16). Porém, esse método pode contribuir para a ocorrência de outros problemas, pois quanto maior a altura dos pilares mais difícil é realizar o controle de regularidade e prumo (Figura 17). Embora seja o mesmo método de concretagem que está presente no sistema construtivo da alvenaria confinada, os pilaretes teriam uma menor dimensão e facilitaria a etapa de fôrma e concretagem, logo, diminuiriam as possíveis grandes irregularidades.

Figura 16 – Pilares concretados pela metade, e após elevação da alvenaria.

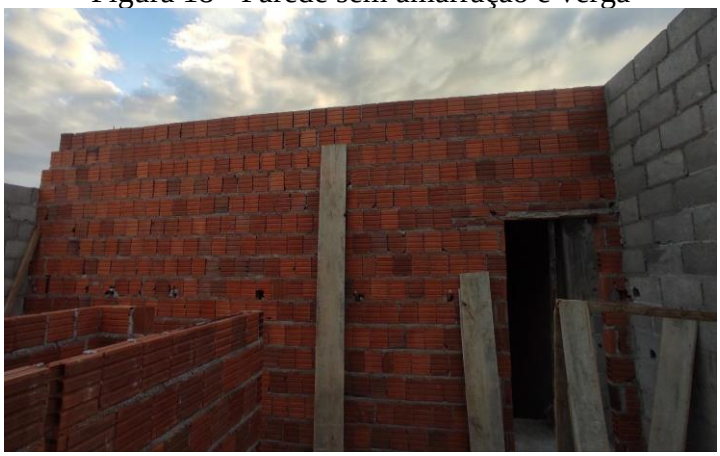
Fonte: Autor (2023)

Figura 17 - Pilares fora de prumo e alvenaria danificada

Fonte: Autor (2023)

Na Figura 18, mostra um trecho da obra executado em bloco cerâmico com um vão maior que 5 m de comprimento sem amarração estrutural e ausência de verga. Em um projeto de concreto armado dificilmente existem detalhamentos de vergas ou cintas, lacuna aproveitada pelos construtores para acelerar o serviço. Além disso, paredes com vãos longos e sem amarração podem perder a estabilidade e possuem um grande risco de ter patologias. Já no projeto em alvenaria confinada, todas as vergas e cintas de cada parede são dimensionadas separadamente.

Figura 18 - Parede sem amarração e verga

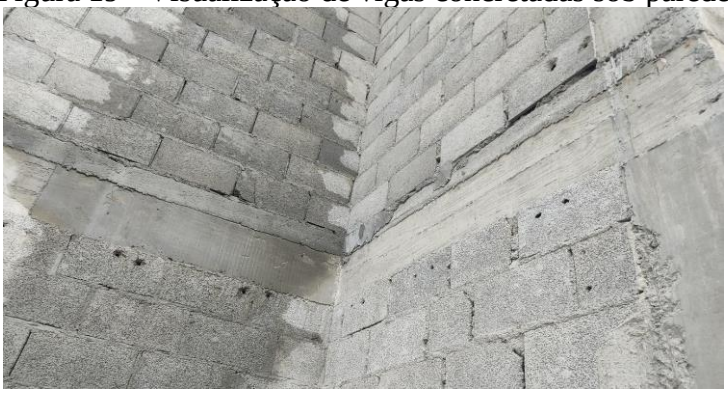


Fonte: Autor (2023)

Observou-se ainda que todas as vigas foram concretadas utilizando a alvenaria como forma, sem a presença de encunhamento (Figura 19). Para Rocha (2022), essa prática em projetos de concreto armado pode sobrecarregar o baldrame (fundação) e/ou gerar um efeito de arco na alvenaria, pois a carga transferida para a parede pode variar de 50% a 90% da carga total, dependendo da rigidez da estrutura. A concretagem de vigas sob paredes é uma prática inadequada que pode resultar em patologias e problemas na estrutura, comprometendo sua durabilidade e desempenho.

No concreto armado, as vigas baldrames são dimensionadas para suportar apenas o peso da parede do térreo, quando executado da forma incorreta (em alvenaria) sobrecarrega essas vigas com peso de toda a obra e acaba provocando uma deformação não prevista, fato que ocorre em grande parte das obras dimensionadas em concreto armado. Essa prática também está presente na alvenaria confinada, mas neste caso, o projeto já deve ser feito considerando esse sobrepeso no baldrame, qual resistirá unida a sapatas corridas e fazendo o devido ensaio SPT para evitar recalques.

Figura 19 - Visualização de vigas concretadas sob parede



Fonte: Autor (2023)

Esses e outros fatos contribuem para refletir sobre a conscientização de pensar em um projeto que seja de fácil execução para uma mão de obra sem qualificação, realidade presente em toda parte do Brasil. É notável que a execução do concreto armado se torna complexa em algumas regiões e tipo de obra. Externamente, observando com um olhar técnico a Figura 20, é possível constatar que a estrutura não segue um padrão normativo, pois é um concreto armado misturado com alvenaria confinada que possui vários erros de execução.

Figura 20 - Visão externa da obra

Fonte: Autor (2023)

Entende-se que, em edificações pequenas, as estruturas de concreto armado e de alvenaria confinada possuem elementos semelhantes e seguem procedimentos executivos diferentes, conforme Tabela 4 e Tabela 2 tratada anteriormente. No concreto armado os pilares devem ser concretados em fôrmas, antes da alvenaria de vedação, as vigas concretadas apoiadas apenas nos pilares, utilizando escoras que devem ser retiradas após os 21 dias, após isso, são executadas as paredes de vedação deixando folga ao topo para o encunhamento. As fundações mais comuns em edificações pequenas são as escavadas, sendo as sapatas isoladas e estacas.

Na alvenaria confinada são usuais os pilaretes, com sessão 14x14cm que são concretados juntamente com a alvenaria, vergas e contra-vergas são dimensionadas como parte da estrutura, e ao invés de vigas utiliza-se as cintas (viguetas), essas são concretadas em cima da parede. As fundações utilizadas preferencialmente são as sapatas corridas ou radier, pois nesse tipo de construção a distribuição de todas as cargas são linearmente distribuídas através das paredes, e não pontuais como no concreto armado através dos pilares. Ou seja, na alvenaria confinada a parede tem função estrutural, a estrutura é projetada para ser executada de fato como um todo.

Tabela 4 - Comparação entre elementos de cada estrutura.

Concreto armado (NBR 6118/2014)	**Alvenaria confinada (Eurocódigo 6/2005)**
Pilares (14 x 26 cm)	Pilaretes (14 x 14 cm)
Vigas	Cintas
Fundação com sapatas isoladas ou estacas	Sapata corrida ou radier
Pilares concretados com fôrmas nas 4 faces	Pilaretes concretados juntamente com a alvenaria
Vigas concretadas com fôrmas e escoras	Cintas de amarração sob parede, sem escoras
Alvenaria de vedação após execução da estrutura	Alvenaria com função estrutural

Fonte: Autor (2023)

5. CONCLUSÕES

A partir da pesquisa, buscou-se comparar o método construtivo em concreto armado com alvenaria confinada em obras de pequeno porte. Para isso, realizou-se um estudo de caso tanto para comparar os dois sistemas construtivos quanto identificar os erros de execução e as dificuldades encontradas no processo executivo do concreto armado, que podem ser geradores de patologias e que diverge das recomendações normativas brasileiras.

No Brasil, o dimensionamento da estrutura em concreto armado é normatizado pela NBR 6118 (ABNT, 2014) e seu processo executivo pela NBR 14931 (ABNT, 2004). Já o sistema da alvenaria confinada, é pouco conhecido no Brasil e bastante difundido na Europa, sendo a principal normatização o Eurocódigo 6 (EN, 2005). Este tipo de estrutura é um sistema construtivo de alvenaria reforçada, que utiliza paredes de alvenaria interligadas com elementos de confinamento.

Através do estudo de campo realizado, pode-se observar que a obra analisada, embora tenha o projeto estrutural em concreto armado, segue um padrão executivo com traços semelhantes ao sistema da alvenaria confinada. Tal constatação corrobora com a justificativa da pesquisa de que estruturas projetadas em concreto armado, quando executadas, não seguem o método construtivo correto desse sistema. Além disso, pode-se observar modificações de projeto e algumas dificuldades encontradas *in loco* ao executar a estrutura em concreto armado, como uso da própria alvenaria como forma.

Assim, destaca-se que o uso do projeto em alvenaria confinada pode ser uma alternativa construtiva útil, devido à simplicidade executiva, e de menor custo, pois reduz o uso de materiais, para edificações pequenas.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, que tem me ajudado e me guardado em todos os momentos da minha vida e nessa etapa. Aos meus familiares, que sempre prezam a minha educação, aos amigos, colegas qual tenho passado diversos momentos de parceria. Agradeço imensamente aos meus professores, que me incentivaram a não desistir em momento algum e persistir, pois, segundo um deles, “quem se destaca é sempre o mais persistente”. Agradeço a instituição e todo seu corpo. Não dispenso agradecimentos a professora/orientadora Mayana Chagas Carvalho, que tem me ajudado e incentivado na criação deste trabalho de conclusão de curso, abrindo a minha mente e sempre mostrando os melhores caminhos a serem seguidos na elaboração.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ANBT **NBR 8545**: Execução de alvenaria sem função estrutural de tijolos e blocos cerâmicos - artigo em publicação periódica

técnica e/ou científica - apresentação. Rio de Janeiro: ABNT, 1984.

_____. ABNT **NBR 14932**: Execução de estruturas de concreto - Procedimento - artigo em publicação periódica técnica e/ou científica - apresentação. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

_____. ABNT **NBR 15575-2**: Edificações habitacionais - Desempenho Parte 2: Requisitos para os sistemas estruturais – apresentação. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

_____. ABNT **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento - artigo em publicação periódica técnica e/ou científica - apresentação. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

_____. ABNT **NBR 16868 1** - Alvenaria Estrutural – Projeto. apresentação. Rio de Janeiro: ABNT, 2020.

BATISTA, Cleber de Sousa; SENA, Rafael Wandson Rocha; OLIVEIRA, Maria Aparecida Bezerra; MATEUS, Gomes Rolim; SILVA, Pedro Braga da; SILVA, Samara Milene da. **Erros** construtivos como origem de patologias no concreto armado em obras na cidade de São João do Rio do Peixe-PB. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v.7, n.1, p.1-14 Jan. 2021. Disponível em: https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/download/23208/18640/59811. Acesso em: 27/03/2023.

BRAGA, Alfredo Manuel Gonçalves Silva; ESTEVÃO, João Manuel Carvalho. Estudo da viabilidade da construção em alvenaria confinada no Algarve. *In*: CONGRESSO DE SISMOLOGIA E ENGEHNARIA SISMICA, 7, 2007, Portugal. **Proceedings [...]**. Porto, Portugal, 2007.

BRZEV, Svetlana. Earthquake-Resistant Confined Masonry Construction. *In:* EARTHQUAKE CONFERRENCE, 2007, Canada. **Proceedings [...]**. Canada, 2007.

EUROPEAN STANDARD (EN). **Eurocode 6** - Part 1-1: General Rules for Reinforced and Unreinforced Masonry Structures. Brussels: CEN, 2005

FERNANDES, Jessika Dayana Abreu. **Dimensionamento sísmico em edificações baixas em alvenaria confinada**. 2013. 110 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade da madeira, Portugal, 2013.

GOUVEIA, João P.; LOURENÇO, Paulo B; VASCONCELOS, Graça. Soluções construtivas em alvenaria. Coimbra, Portugal. *In:* CONGRESSO CONSTRUÇÃ 2007 - CONGRESSO NACIONAL, 3, 2007. Coimbra, **Proceedings [...]**. Portugal: CORE, 2007.

MELI, Roberto; BRZEV, Svetlana. **Seismic Design Guide**: for Low-Rise Confined Masonry Buildings. Oakland, California: EERI & IAEE, 2011.

NUNES, Antônio Cruz.; ALMEIDA, Maria Alice.; PINHEIRO, Pedro. **Manual de alvenaria estrutural.** Lisboa: LNEC, 2019.

PRODANOV, Cleber Cristiano; FREITAS, Ernani Cesar. **Metodologia do trabalho científico:** Métodos e Técnicas da Pesquisa e do Trabalho Acadêmico. 2a edição. Novo Hamburgo, Rio Grande do Sul: Feevale, 2013.

PINHEIRO, Pedro. **Alvenaria Estrutural:** Fundamentos e Aplicações. Porto Alegre: Bookman, 2018.

ROCHA, Gilberto Dorneles da. **Alvenaria amarrada:** Projeto e execução do sistema mais utilizado e menos conhecido do Brasil / Gilberto Dorneles da Rocha. Carazinho, Rio Grande do Sul: Ed. Do Autor, 2022.

SCHACHER, Tom. **Confined Masonry**: For one and two storey buildings in low-tech environments, guidebook for technicians and artisans. Kanpur, India: Nicee, 2009.

MOHAMAD, Gihad. **Construção em alvenaria estrutural:** técnicas, detalhes e projeto. São Paulo: Oficina de Textos, 2017.

THOMAZ, Erico. **Código de práticas n° 01:** Alvenaria de vedação em blocos, Instituto de pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. São Paulo: IPT, 2009.

YAZIGI, Walid. **A técnica de edificar.** 10. ed. São Paulo: Pini: SindusCon, 2009. Disponível em: https://canteirodeengenharia.com.br/2020/10/14/formas-para-concreto-caracteristicas-e-execucao/. Acesso em: 27/03/2023