



DESENVOLVIMENTO DE MATERIAL TÉCNICO PARA CÁLCULO E DETALHAMENTO DE PAREDES DE CONCRETO

Lucas de Sousa Vieira¹, Leovegildo Douglas Pereira de Souza²

RESUMO

O sistema construtivo em parede de concreto armado moldada in loco é um método que vem se tornando bastante popular devido à sua capacidade de atender à crescente demanda por construções rápidas e econômicas. Com tudo, ainda há uma falta de conteúdo completo e atualizado com o intuito de ensinar engenheiros a realizar projetos desse sistema estrutural. Assim, o objetivo do estudo em questão é servir como base para a criação de um manual de dimensionamento e detalhamento de edifícios em parede de concreto armado in loco. Para isso, foi feita a análise de artigos, monografias, normas técnicas, entre outros documentos publicados sobre o tema. A partir dessa etapa, reuniram-se informações sobre o método construtivo, com foco em entender as características particulares desse sistema. Tais informações são importantes para o pré-dimensionamento da estrutura e para entender o funcionamento da mesma. Além disso, foram estudados os procedimentos e parâmetros que devem ser utilizados na análise estrutural de edifícios de parede de concreto. Abordou-se a verificação das paredes submetidas à flexo-compressão e ao cisalhamento, bem como o dimensionamento de reforços ao redor de aberturas e a análise dos efeitos de 2ª Ordem global. Por fim, realizou-se o levantamento de cargas, dimensionamento e detalhamento de um prédio fictício em parede de concreto armado. Através dos resultados desse trabalho, foi possível indicar as informações e procedimentos necessários para a realização de um projeto estrutural em parede de concreto.

Palavras-chave: análise estrutural, dimensionamento, concreto armado.

¹Aluno de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, UFCG, Pombal, PB, e-mail: lucassousa0306@gmail.com

²Doutor em Engenharia Civil, Professor, Departamento de Engenharia Civil, UFCG, Pombal, PB, e-mail: leovegildo.douglas@professor.ufcg.edu.br

DEVELOPMENT OF TECHNICAL MATERIAL FOR CALCULATING AND DETAILING CONCRETE WALLS

ABSTRACT

The cast-in-place reinforced concrete wall construction system is a method that has become very popular due to its ability to meet the growing demand for fast and economical construction. However, there is still a lack of complete and up-to-date content to teach engineers how to design this structural system. Therefore, the objective of this study is to serve as a basis for creating a manual for dimensioning and detailing reinforced concrete wall buildings in situ. To this end, articles, monographs, technical standards and other documents published on the subject were analyzed. From this stage, information was gathered on the construction method, with a focus on understanding the particular characteristics of this system. This information is important for pre-dimensioning the structure and understanding how it functions. In addition, the procedures and parameters that should be used in the structural analysis of concrete wall buildings were studied. The verification of walls subjected to flexioncompression and shear was addressed, as well as the design of reinforcements around openings and the analysis of global 2nd order effects. Finally, a fictitious reinforced concrete wall building was load surveyed, designed and detailed. Through the results of this work, it was possible to indicate the information and procedures necessary to carry out a structural design in reinforced concrete walls.

Keywords: structural analysis, design, reinforced concrete.

INTRODUÇÃO

Já na década de 80 as empresas brasileiras estavam em busca de sistemas construtivos mais eficientes e econômicos. Um dos métodos que se destacou na época foi o sistema de painéis monolíticos moldados in loco introduzido pelas empresas pioneiras Gethal e Outinord. Contudo, devido ao alto investimento inicial e a baixa flexibilidade do sistema houve a descontinuidade dessa tecnologia (Braguim, 2013).

A criação do programa Minha Casa Minha Vida trouxe um contexto econômico (linhas de crédito) e social (habitações populares) que favoreceu a retomada de sistemas estruturais cuja produção seriada se voltasse ao foco dos setores de pesquisa e desenvolvimento das construtoras do Brasil. Habitações residenciais com construções simples e padronizadas em escala, esse foi o contexto ideal para o ressurgimento das construções com paredes de concreto (Braguim, 2013).

Normativamente, em maio de 2012 surge a publicação da NBR 16055 — Parede de concreto moldada no local para a construção de edificações – Requisitos e procedimentos (ABNT, 2012), que ajudou a difundir o modelo e forneceu a todos os setores da construção os parâmetros legais para aplicação em projetos.

Isto posto, observa-se que, mesmo com mudanças sensíveis no contexto econômico do país, a construção civil continua sendo um setor de grande importância no qual as pesquisas e tentativas de otimização industrial continuam necessárias. Essas melhorias servem não só para modernizar o processo construtivo, como também para torná-lo menos danoso ao meio ambiente.

Outrossim, atualmente ainda existe um grande déficit habitacional no Brasil. Segundo dados revisados pela Fundação João Pinheiro, havia um déficit de 6,2 milhões de moradias em todo o país no ano de 2022. Além disso, o estudo apontou uma tendência de crescimento no déficit em razão dos altos valores do aluguel urbano.

Assim sendo, o espaço para aplicação, evolução e desenvolvimento do método construtivo de paredes de concreto continua aberto e em plena expansão. O mercado da construção civil continua necessitando de tecnologias que promovam a industrialização e racionalização, tornando-a mais eficiente e sustentável.

Alguns setores correlatos da indústria da construção civil acompanham essa tendência. Muitos são os sistemas como kits elétricos e hidráulicos desenvolvidos especificamente para paredes de concreto. Técnicas de revestimento, tratamento de fissuras, sistemas de esquadrias também foram adaptados e hoje incorporam o mercado de insumos específicos, assim como aditivos e sistemas para o concreto auto-adensável.

Todavia, no que diz respeito ao projeto (cálculo e detalhamento) de paredes de concreto trata-se de um ambiente ainda muito restrito. Poucos escritórios de cálculo estrutural procedem este serviço e calculistas experientes alegam que, por mais que o modelo estrutural em si seja simples, a ausência de literatura para aferição de parâmetros e calibração do modelo ainda são entraves para a difusão técnica do sistema.

Somado a isso, foi publicada no final de 2022 uma revisão da norma brasileira de paredes de concreto, trazendo mudanças substanciais. Tal fato fez com que grande parte da literatura sob o tema ficasse desatualizada, aumentando ainda mais a necessidade de novas publicações sobre o tema. Assim, o presente trabalho se propõe a criar um estado da arte atualizado para engenheiros que busquem trabalhar com construções em parede de concreto.

MATERIAIS E MÉTODOS (OU METODOLOGIA)

Inicialmente, foi feita uma revisão dos materiais disponíveis sobre a parede de concreto. A maioria deles não está na forma de livro ou manual de cálculo, e sim como estudos de casos pontuais. Dentre as pesquisas analisadas, têm-se trabalhos acadêmicos sobre patologias, dados econômicos ou análises estruturais restritas a um ambiente / modelo, em Trabalhos de Conclusão de Curso ou artigos de eventos.

Outrossim, também foram reunidas informações fornecidas por entidades ligadas ao tema, como a Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) e o Instituto Brasileiro de Telas Soldadas (IBTS).

Todavia, é importante lembrar que o sistema construtivo de paredes de concreto guarda semelhanças pontuais com outros métodos construtivos. O modelo monolítico para distribuição de esforços e análise de segunda ordem pode ser comparado ao já utilizado para o sistema de alvenaria estrutural. Além disso, tendo os esforços solicitantes obtidos pelo modelo estrutural correto, o dimensionamento

dos elementos recai no contexto de elementos de concreto armado submetidos à flexo-compressão.

Por essa razão, o presente trabalho também analisou temas referentes ao dimensionamento de alvenaria estrutural e construções usuais de concreto armado, em especial, pilares-parede. O foco dessa análise foi em aspectos relevantes para o dimensionamento de paredes de concreto, como cálculo de ações atuantes e efeitos de instabilidade global e localizada.

Após o levantamento documental e da escrita, também foi realizado o dimensionamento de um edifício a partir das informações reunidas. O objetivo dessa parte foi exemplificar e expor de maneira prática os procedimentos de dimensionamento e detalhamento de paredes de concreto.

DESENVOLVIMENTO

Primeiramente, foi realizada uma pesquisa sobre os aspectos construtivos da parede de concreto para garantir o entendimento das suas características fundamentais. Ele se trata de um método de construção racionalizado onde a vedação e a estrutura são um único elemento. As paredes são moldadas in loco e concretadas em uma única etapa, já com as instalações elétricas, hidráulicas e as esquadrias embutidas. Ele se caracteriza por ser um método racionalizado, oferecendo produtividade, qualidade e economia em escala, podendo ser utilizado desde a construção de casas térreas até edifícios de mais de 30 pavimentos (Misurelli e Massuda, 2009).

A escolha por esse sistema deve ser fundamentada por uma análise de custos que considere a mão de obra e o tempo de construção com seus encargos. Um dos principais fatores a ser analisado é a disponibilidade e o reaproveitamento do uso de formas. Segundo dados levantados tanto por Braguim (2013), a parede de concreto se torna mais econômica que o sistema convencional e o de alvenaria estrutural quando o número de repetições no uso das formas é elevado.

Para garantir a eficiência do sistema construtivo, algumas medidas devem ser tomadas desde a etapa do projeto arquitetônico. Devem ser evitadas a existência de paredes de vedação feitas de alvenaria, pois adicionariam mais uma atividade aos ciclos construtivos e gerariam atrasos. Outro ponto importante é garantir que haja uma modulação nas dimensões horizontais e verticais da construção e a planta

baixa seja simétrica, isso facilita a fabricação e montagem das formas, além de permitir a reutilização das mesmas (Braguim, 2013).

Com relação aos elementos que compõem o sistema parede de concreto, o primeiro deles é a fundação. Não há restrições quanto ao tipo, no entanto, deve-se garantir que haja um nivelamento rigoroso para permitir a correta montagem do sistema de formas. Outro ponto importante é que paredes não apoiadas em elementos contínuos devem ser calculadas como viga-parede. Para evitar essa situação, normalmente se utiliza sapata corrida ou radier (Comunidade da construção, 2008).

O segundo elemento são as formas que, segundo Misurelli e Massuda (2009): “são estruturas provisórias cujo objetivo é moldar o concreto fresco, compondo-se assim as paredes estruturais. A resistência a pressões do lançamento de concreto até a sua solidificação, é fator decisivo. Para isso, as formas devem ser estanques e favorecer rigorosamente a geometria das peças que estão sendo moldadas”. Elas possuem um grande peso no orçamento da obra e devem ser avaliadas com cuidado.

Para o concreto, qualquer tipo pode ser utilizado caso atenda aos requisitos de resistência e trabalhabilidade. Dentre os tipos utilizados, tem-se o concreto celular, com alto teor de ar incorporado e o com agregados leves, contudo os mais usuais para edifícios são o concreto convencional e o autoadensável. Esse último apresenta ótimos resultados por possuir alta plasticidade e rápida aplicação, dispensando o uso de vibradores, considerado o melhor para acompanhar a eficiência do sistema construtivo (Comunidade da construção, 2008).

Devido ao sistema de Paredes de Concreto ser focado na produtividade, o tipo de armadura deve ser adequado a esse objetivo. A solução normalmente empregada é a utilização de telas soldadas como armadura principal, podendo ser tanto uma tela soldada no eixo central da parede como uma para cada face, respeitando o cobrimento mínimo. O uso delas elimina a necessidade de os armadores precisarem ficar fazendo malhas com vergalhões e facilita o posicionamento da armadura nas paredes. Além disso, também são usados vergalhões tradicionais para reforços, principalmente ao redor de aberturas (Braguim, 2013).

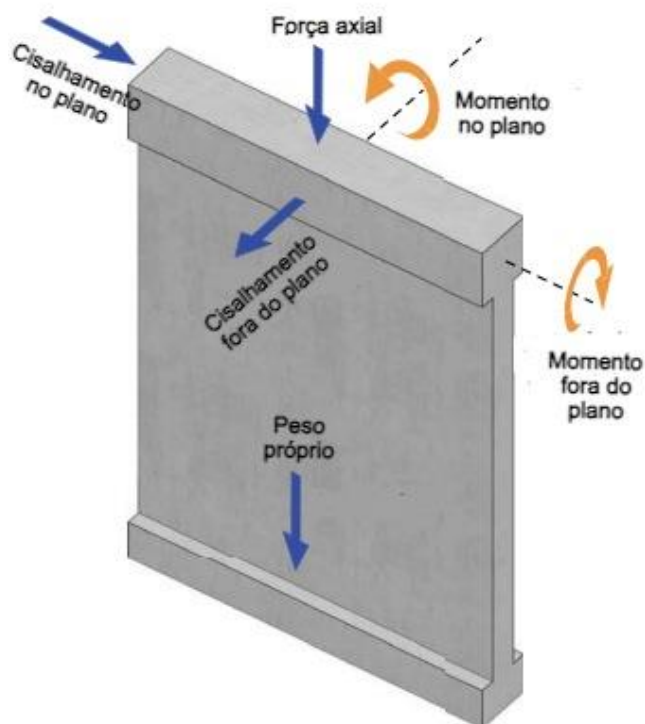
Outro ponto importante são as instalações, deve-se respeitar as condições de manutenibilidade previstas na NBR — 15575. Edificações habitacionais —

Desempenho (ABNT, 2021). Além disso, a NBR 16055 ainda restringe o diâmetro das tubulações elétricas a 25% da espessura da parede, sendo esse limite aumentado para 50% no caso de a tubulação estar no centro da parede e entre duas telas soldadas. Outro ponto importante é que não deve haver nenhum trecho horizontal de tubulação em paredes estruturais e, em paredes não estruturais, eles são limitados a 1 metro ou um terço do comprimento da parede. As instalações hidráulicas só podem ser embutidas se forem do tipo flexíveis reticuladas encamisadas (PEX), caso contrário, recomenda-se a utilização de shafts.

Por fim, não há restrições para o acabamento utilizado em paredes de concreto, sendo os métodos mais utilizados massa corrida, revestimentos cerâmicos, texturas e argamassas industrializadas. Outra possibilidade ocasionada pela textura regular do concreto das paredes após a desforma e a não realização de uma camada de acabamento. Nesse caso, apenas seria feito o lixamento de rebarbas, o preenchimento de furos com argamassa e a realização de uma camada de nata de cimento Portland, com traço rico em cimento, para serem retirados os sinais superficiais deixados pelas formas (Comunidade da construção, 2008).

Finalizada a pesquisa sobre os aspectos construtivos, o foco foi transferido para a análise estrutural do sistema. Segundo a Commentary on Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI, 2019), os tipos de forças que tipicamente agem sobre as paredes de concreto são o cisalhamento e o momento, sendo estes divididos em dois tipos. O primeiro tipo são as ações que atuam no plano da parede e a segunda são ações que atuam fora do plano, como mostrado na Figura 1 a seguir.

Figura 1 – Forças no plano e fora do plano.



Fonte: Adaptado de Commentary on ACI 318–19 (2019)

Para entender como se obter essas cargas, foram analisados os modelos de cálculo usualmente empregados nesse sistema estrutural e, em seguida, serão abordados os métodos de verificação e dimensionamento. De acordo com Nunes (2011), as estruturas de parede de concreto são calculadas mediante procedimentos análogos aos utilizados em alvenaria estrutural. Assim, a obtenção dos esforços provenientes das cargas verticais e horizontais pode ser feita por meio de métodos já consolidados na literatura e a combinação delas deve ser feita seguindo a NBR 6118 — Projeto de estruturas de concreto (ABNT, 2023).

Em um edifício residencial, as cargas verticais são provenientes do peso próprio da estrutura somado às ações permanentes e variáveis especificadas na norma NBR 6120 — Ações para o cálculo de estruturas de edificações (ABNT, 2019). Usualmente, as construções em parede de concreto são compostas pelas paredes e pelas lajes, assim, deve-se somar o peso desses elementos bem como o de eventuais cargas de revestimento. Por fim, deve-se considerar também as cargas variáveis, como as provenientes do uso e ocupação (Braguim, 2013).

Segundo a NBR 16055 (2022), as cargas verticais atuam paralelamente ao plano médio da parede, que devem ser calculados como elementos de casca plana. Os esforços característicos atuantes nas paredes podem ser obtidos no regime

elástico. No caso de cargas concentradas ou parcialmente distribuídas, pode-se considerar um caminhamento inclinado com ângulo limite de 45° em relação à vertical. O mesmo é válido para o espalhamento de cargas para paredes adjacentes, quando forem verificadas as tensões de cisalhamento nas paredes e nas suas interfaces, garantido a possibilidade do desenvolvimento de forças de interação.

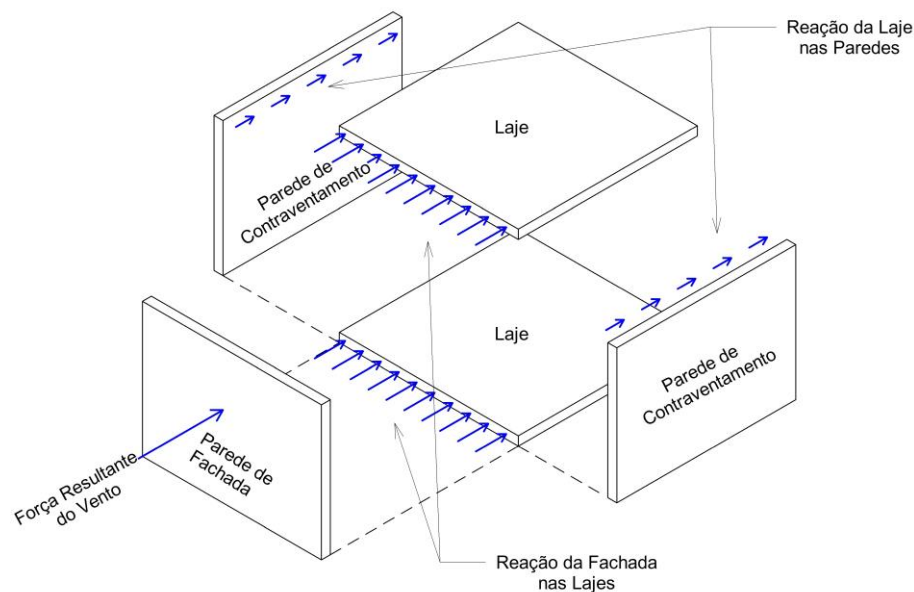
Existem diversos métodos para analisar a distribuição dessas cargas na edificação. Algumas formas apresentadas por Corrêa e Ramalho (2003) são o método das paredes isoladas (PI), grupos isolados de paredes (GIP), grupos de paredes com interação (GPI) e modelagem tridimensional em elementos finitos (MEF). Cada um possui vantagens e desvantagens e deve ser escolhido conforme as necessidades do projetista.

Para as ações horizontais, devem ser obrigatoriamente consideradas segundo a NBR 16055, são as em decorrência do vento, segundo as especificações da NBR — 6123 Forças Devidas ao Vento em Edificações, e do desaprumo. Além disso, devem ser consideradas qualquer outra ação que o projetista considerar necessária, como, por exemplo, os efeitos causados por sismos em regiões onde há possibilidade relevante deles ocorrerem.

Outrossim, em toda edificação deve haver um sistema de contraventamento, normalmente ele é composto por pórticos e núcleos rígidos, contudo, quando a estrutura é composta por paredes, elas próprias atuam como contraventamento. As lajes nessas edificações são solidárias às paredes resistentes e têm função de diafragma rígido, ou seja, têm a função de distribuir as ações horizontais entre as paredes de contraventamento proporcionalmente às suas rigidezes (Braguim, 2013).

Tendo isso em vista, pode-se considerar que o vento atua sobre as paredes que são perpendiculares à sua direção, estas por sua vez transferem as cargas para as lajes que têm função de diafragma rígido. Por fim, as lajes distribuem as cargas para os painéis de contraventamento. Um esquema ilustrando essas interações pode ser visto na Figura 2.

Figura 2 – Atuação do vento e distribuição para os painéis de contraventamento.



Fonte: Autoria Própria (2024)

Com a obtenção das cargas concluídas, deve-se analisar a rigidez das paredes. Segundo Corrêa e Ramalho (2003), é recomendável a consideração de abas e flanges provenientes de trechos de paredes transversais ligadas aos painéis de contraventamento, desde que comprovadas as forças de interação entre eles. Isso irá aumentar consideravelmente a rigidez e o momento de inércia relativo à flexão. Caso esses elementos não sejam considerados, pode ocorrer de alguns painéis terem sua rigidez subestimada ou superestimada, causando uma distribuição incorreta dessas ações.

Existem diversos métodos para conduzir essa distribuição, como o modelo do pórtico equivalente, pórtico equivalente com trechos rígidos e o método dos elementos finitos. Contudo, para estruturas simétricas, que normalmente é o caso de edifícios construídos em parede de concreto, pode-se utilizar o método das paredes isoladas, que é simples e de fácil aplicação.

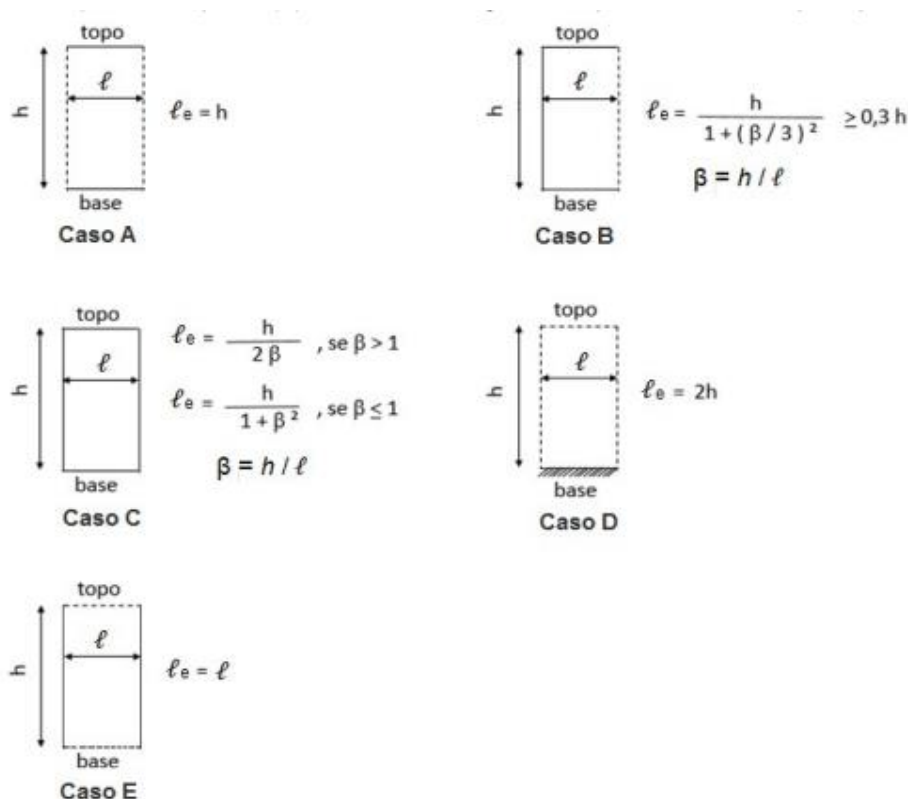
Cada painel irá assumir um quinhão da carga proporcional ao seu momento de inércia. Basta calcular o somatório das inércias de todos os painéis e, a partir dele, calcular a rigidez relativa de cada painel (R_i), que será o resultado da divisão entre o momento de inércia do painel sobre o somatório das inércias. A ação em cada painel pode ser obtida pelo produto da ação total em um determinado pavimento (F_{tot}) pela sua rigidez relativa (R_i).

Após determinar os métodos para o levantamento de cargas, foi feita uma análise dos procedimentos necessários para verificação das paredes. Para isso, foi feito um estudo da norma brasileira de paredes de concreto, a NBR 16055, e de algumas normas internacionais a título de comparação.

Primeiramente, para um elemento ser considerado uma parede de concreto, ele deve ser, segundo a NBR 16055, um: “elemento estrutural autoportante, moldado no local, com comprimento maior que cinco vezes sua espessura e capaz de suportar carga no mesmo plano”. A resistência máxima do concreto a ser considerado não pode ultrapassar 40 MPa, a espessura da parede deve ser de no mínimo 10 cm ou $h/30$, sendo h a altura piso-a-piso. Além disso, devem ser obedecidas às taxas de armadura mínimas tanto na vertical como na horizontal.

A primeira verificação a ser realizada é em relação à altura equivalente da parede (ℓ_e). Ela irá depender da existência ou não de travamentos em cada uma das bordas da parede, da sua altura piso-a-piso e do seu comprimento l , conforme pode ser visto na figura 3.

Figura 3 – Cálculo da altura equivalente.



Fonte: NBR 16055 (2022)

Após isso, a norma indica uma fórmula (Equação 1) para calcular a resistência à compressão de uma parede desde que sua excentricidade transversal não seja maior que a mínima de $(1,5 + 0,03 t)$ cm. A expressão já considera uma pressão de vento de 1 kN/m^2 e os efeitos de segunda ordem.

$$n_d = \frac{(0,85 \cdot f_{cd} + \rho \cdot f_{scd}) \cdot t}{k_1 \cdot [1 + 3 \cdot k_2 \cdot (2 - k_2)]} \leq \frac{(0,85 \cdot f_{cd} + \rho \cdot f_{scd}) \cdot t}{1,643} \leq v_{d,m\acute{a}x} \cdot f_{cd} \cdot t \quad (1)$$

Onde:

n_d = força normal resistente de cálculo, por unidade de comprimento;

ρ = taxa geométrica da armadura vertical da parede, não maior que 1%;

t = espessura da parede;

f_{cd} = resistência do concreto à compressão, igual a $f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c}$;

γ_c = coeficiente redutor de resistência do concreto (1,68 nesse caso);

f_{scd} = resistência do aço à compressão considerando a compatibilização da deformação no aço com a do concreto adjacente, podendo ser calculada como:

$$f_{scd} = \frac{E_s \cdot 0,002}{\gamma_s};$$

E_s = módulo de elasticidade do aço;

γ_s = coeficiente redutor de resistência do aço (1,15);

$v_{d,max}$ = esforço normal adimensional máximo (0,4 para paredes com uma camada de tela e 0,63 para parede com duas camadas de telas travadas com grampos).

Os fatores k_1 e k_2 dependem do índice de esbeltez da parede λ , que deve ser calculado conforme a NBR 6118.

Para a verificação das cargas concentradas aplicadas nas paredes, basta que a tensão de contado não ultrapasse 85% de f_{cd} . Já para o dimensionamento ao cisalhamento, considera-se que o esforço solicitante total se distribui pelas almas das paredes na mesma direção do esforço. Essa força deve ser inferior à resistência de cálculo calculada pela Equação (2):

$$V_{Rd} = 0,3 \cdot f_{ctd} \cdot \left(1 + \frac{3 \cdot \sigma_{cmk}}{f_{ck}}\right) \cdot \sum t \cdot l \quad (2)$$

Onde:

f_{ctd} = resistência de cálculo à tração do concreto;

σ_{cmk} = tensão média característica de compressão no concreto comprimido em Mpa;

l = comprimento de cada trecho que compõe uma mesma parede em m;

t = espessura da parede em m;

γ_c = coeficiente redutor de resistência do concreto (1,4).

Caso essa condição não seja atendida, a parede deve ser armada horizontalmente de forma que a soma da resistência do concreto e da armadura ao cisalhamento seja menor que o esforço solicitante, conforme as Equações 3 e 4.

$$V_{Sd} \leq V_{Rd} + V_{sd} \quad (3)$$

Onde:

$$V_{sd} = \frac{A_{sw} \cdot f_{ywd} \cdot \sum t \cdot l}{s} \quad (4)$$

A_{sw} = área de aço;

f_{ywd} = é a tensão na armadura limitada a f_y e 435 Mpa;

s = espaçamento entre as barras limitado a 30 cm.

Para a tração, a NBR 16055 indica que ela será força total de tração nesse tipo de estrutura será “a resultante da integração do bloco de tensões de tração linearmente distribuídas e ocorre devido a momentos no plano da parede”. A norma não indica uma forma de calcular essa armadura, apenas pede para que a resultante das tensões de tração esteja próxima da força resultante da integração das tensões de tração resistentes nas armaduras.

Existe ainda outra verificação importante. Quando uma estrutura está submetida simultaneamente a um carregamento vertical e horizontal que gera deslocamento, ocorre um fenômeno importante. O momento fletor inicial (de 1º ordem) sofre um aumento pela atuação das cargas verticais no deslocamento chamado momento de segunda ordem. Quando ele é inferior a 10% dos efeitos de primeira ordem a estrutura é dita indeslocável (nós fixos), caso contrário, ela deslocável (nós moveis) e os efeitos de 2º ordem devem ser considerados no cálculo da estrutura (Corrêa e Ramalho, 2003).

Para paredes de concreto, a análise desses efeitos de segunda ordem deve seguir os mesmos princípios que estruturas usuais de concreto armado, conforme a NBR 6118. Os principais métodos a serem utilizados nessa verificação dos efeitos globais são o do parâmetro α e o do parâmetro γ_z .

Por fim, a última verificação que deve ser realizada é das aberturas nas paredes. Existe uma exigência de reforço para aberturas com dimensão horizontal superior a 40 cm. Devem ser utilizadas armaduras nas faces superior e inferior das

aberturas, sendo suas áreas calculadas por modelo elástico ou de biela-tirante. A armadura longitudinal das vergas pode ser calculada como uma viga apoiada nas laterais, tendo como carga o peso próprio da parede e a reação da laje na projeção da mesma.

Quanto às dimensões, a altura da viga deve ser considerada como no máximo a metade do vão da abertura. A armadura mínima será conforme a NBR 6118 a partir da área da viga considerada, devendo obedecer a um mínimo de 1 cm^2 na verga e $0,5 \text{ cm}^2$ na contraverga. O comprimento de ancoragem também será l_b conforme a norma de concreto.

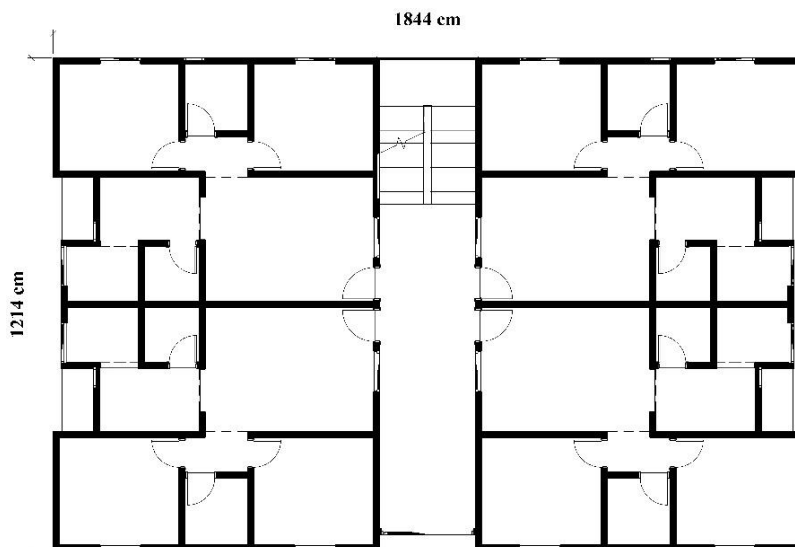
Por fim, foi feito uma análise de projetos reais realizados em parede de concreto e de recomendações do IBTS. Com isso, foi possível averiguar como deve ser feito o detalhamento de projetos estruturais desse tipo de construção. Foi avaliado como deve ser feito a identificação das telas soldadas utilizadas como armadura principal, dos reforços ao redor de aberturas e das armaduras de ligação entre paredes e entre paredes e lajes. Além disso, foram discutidos outros detalhes como comprimentos de ancoragem e arranques entre andares.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para demonstrar os conhecimentos apresentados até então, a presente pesquisa realizou o passo a passo do dimensionamento de um edifício residencial que utiliza o sistema estrutural de paredes de concreto armado.

O edifício escolhido possui 4 pavimentos idênticos com 2,8 m de altura piso-a-piso mais uma cobertura e caixa d'água totalizando 15,4 m de altura. As dimensões em planta são 18,44 m por 12,14 m, como pode ser visto na figura 4. Cada pavimento possui uma área comum com escada e 4 apartamentos compostos por dois quartos, sala, cozinha, despensa, área de serviço e banheiro.

Figura 4 – Planta baixa do edifício exemplo.



Fonte: Autoria Própria (2024)

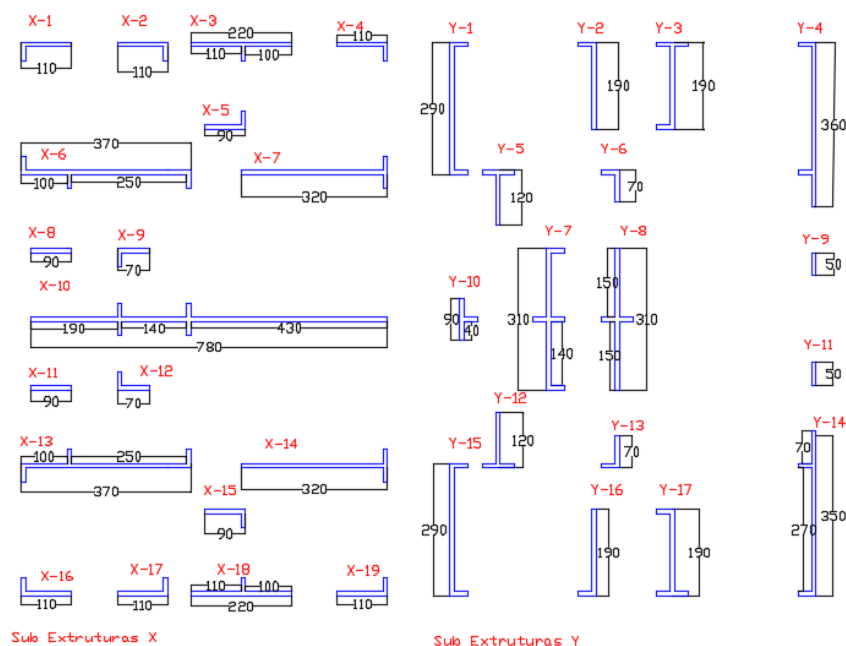
O foco do presente trabalho foi apenas o dimensionamento e detalhamento das paredes de concreto. Os demais elementos, como escada, lajes e fundação, podem ser dimensionados da maneira convencional e, portanto, tal cálculo não será abordado no presente trabalho. Todas as lajes e paredes foram arbitradas inicialmente como tendo 10 cm de espessura, com exceção da laje da caixa d'água, considerada com 15 cm de espessura. A estrutura do edifício foi considerada engastada em um radier no nível térreo.

Após o pré-dimensionamento, foi feito o levantamento das cargas verticais através do método GIP. Foram somados a reação das lajes nas paredes, calculadas pelo método das charneiras plásticas, com o peso próprio das paredes e dividiu-se esse total pelo comprimento total das paredes. Com isso, obteve-se a carga por metro linear em cada grupo.

Para as cargas horizontais, foi primeiramente calculado o ângulo de desaprumo conforme a NBR 16055 e multiplicou-se esse valor pela carga vertical de cada pavimento, obtendo-se uma força horizontal equivalente ao efeito do desaprumo. Para o efeito do vento, seguiram-se os procedimentos da NBR 6123, considerando que o edifício residencial estaria localizado na cidade de Pombal–PB.

Após essa etapa, foram definidas as subestruturas de contraventamento em cada direção (Figura 5) considerando abas de 30 cm e, em seguida, foram calculadas suas características geométricas. Com base nisso, as cargas horizontais foram distribuídas em cada parede proporcionalmente à sua rigidez.

Figura 5 – Estruturas de contravento.



Fonte: Autoria Própria (2024)

Finalizada a etapa de levantamento de cargas, cada parede foi verificada através das fórmulas indicadas na NBR 16055. Inicialmente, na verificação da compressão, a estrutura Y-9 foi a única que não suportava as cargas. Para solucionar esse problema, foi feita uma análise de algumas opções para aumentar a resistência da parede.

Foi possível notar que a taxa de armadura é o fator com menos influência na resistência da parede à compressão. Já o aumento do f_{ck} do concreto apresenta resultados melhores, porém ainda limitados, já que a norma não permite o uso de concretos acima de 40 MPa.

Os fatores geométricos, por outro lado, têm uma grande influência na resistência da parede. Isso se dá, pois os fatores k_1 e k_2 ligados à esbeltez do elemento são responsáveis por uma grande redução na resistência de cálculo da parede, especialmente quando o índice de esbeltez ultrapassa o valor de 86. Um aumento de apenas 1 cm na espessura da parede já oferece a resistência necessária. Tal fato ocorre, pois isso não só aumenta a área resistente da parede como também diminui a sua esbeltez.

Com relação ao cisalhamento, foi constatado que a resistência das paredes supera com bastante folga as solicitações, inclusive nas ligações entre paredes, onde não foi considerado o efeito positivo da tensão de compressão. Também vale ressaltar que não ocorreram tensões de tração em nenhuma das paredes, isso

ocorre devido ao grande peso próprio da estrutura que cria uma tensão de compressão sempre maior que a tração gerada pelas ações horizontais.

Para a análise da estabilidade global foram utilizados tanto o parâmetro α quanto o γ_z e ambos indicaram que se trata de uma estrutura de nós moveis e, portanto, os efeitos de 2º ordem globais podem ser desprezados.

Por fim, foi feito a verificação das aberturas onde foi calculado a armadura longitudinal das vergas da mesma maneira que se calcula a armadura de uma viga. Todas as áreas de reforço foram inferiores ao mínimo de 1 cm², assim, serão utilizadas duas barras de 8 mm como armadura padrão em todas as vergas do edifício. Para as contra-vergas, também será utilizada a armadura mínima de 0,5 cm², ou seja, uma barra de 8 mm.

Após a verificação foi feito o detalhamento das paredes. A taxa de armadura mínima é suficiente para atender às solicitações, basta que a tela escolhida possua 0,09% de armadura vertical e 0,15% de armadura horizontal. Algumas opções disponíveis que atendem esse pré-requisito são a Q159, a R 159 e a M196. Como as telas do tipo Q têm a mesma área de aço nas duas direções, elas são mais fáceis de se trabalhar e, como podem ser utilizadas em qualquer posição, elas geram menos desperdícios.

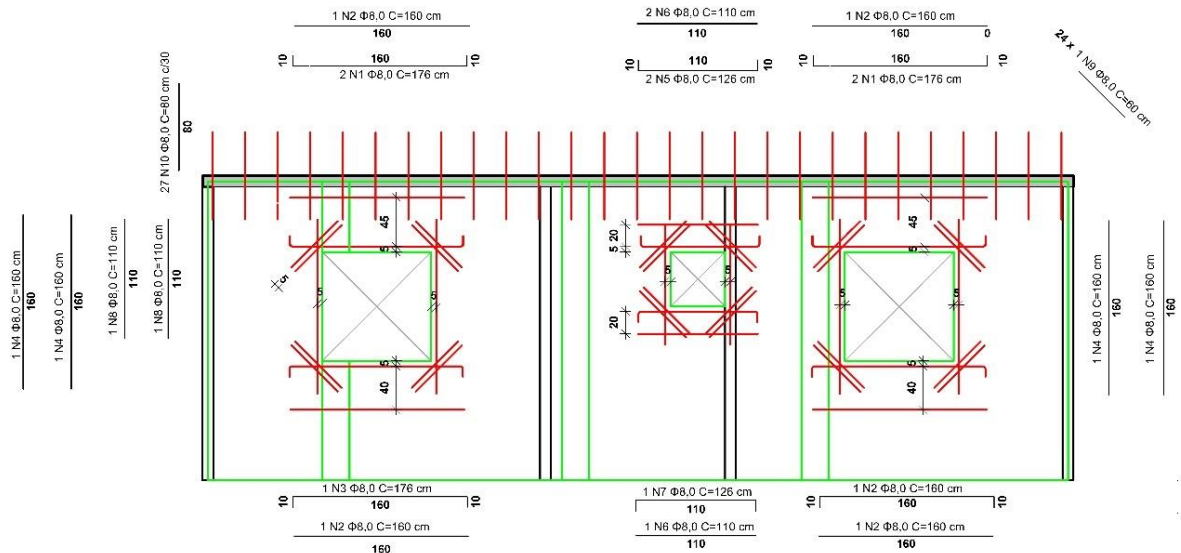
A tela irá até o meio da altura da laje e o arranque entre paredes será feito com barras de 8 mm a cada 30 cm, obedecendo ao distanciamento máximo para barras isoladas. Normalmente, as telas possuem dimensões padrões de 2,45 m x 6,00 m, mas há possibilidade de solicitar peças com comprimento diferente. Nesse detalhamento, foram consideradas telas especiais com 5,50 m de comprimento para melhorar o aproveitamento das mesmas.

Para as armaduras reforço, além das calculadas para a verga e contraverga, também foram utilizadas barras de reforço nas laterais e nos cantos das aberturas, utilizando barras de 8 mm para padronização. O comprimento de ancoragem (l_b), calculado conforme a NBR 6118, foi de 30 cm. Para os reforços entre paredes e entre paredes e lajes, foram utilizados cortes de tela Q159 com 0,6 m x 2,75 m obedecendo ao comprimento mínimo de ligação de 3 vezes a espessura da parede.

As figuras 6 e 7 a seguir indicam como ficou o detalhamento da parede PH01:

[illegible]

Figura 7 – Detalhamento dos reforços na parede PH01.



CONCLUSÃO

18

ainda sofre com a falta de um material completo e atualizado voltado ao ensino do dimensionamento e detalhamento de suas estruturas.

Foi realizada uma extensa pesquisa em trabalhos acadêmicos, bem como em documentos disponibilizados por empresas ligadas ao tema, como a ABCP, IBTS e o Núcleo Parede de Concreto. Além disso, também foi feito o estudo de diversas normas técnicas referentes ao projeto de estruturas de parede de concreto armado. Com isso, foi possível obter informações importantes para o entendimento do método construtivo.

Após essa pesquisa, foi realizada a análise dos parâmetros e procedimentos relevantes para o dimensionamento estrutural e detalhamento nesse tipo de estrutura. Foram mostrados os métodos possíveis para análise de carga e estabilidade global, bem como quais são as etapas necessárias para se verificar a resistência das paredes.

Por fim, também foi realizado todo o processo de dimensionamento e detalhamento de um edifício usando o método construtivo em análise, demonstrando os parâmetros e procedimentos estudados de maneira prática. Essa etapa também serviu para testar os conceitos discutidos no trabalho, tendo sido obtidos resultados satisfatórios.

Num geral, houve algumas limitações ligadas à falta de literatura específica e de conhecimento prático sobre as paredes de concreto. Contudo, considera-se como satisfeito o objetivo de criar uma base para um manual técnico sobre projetos estruturais de um edifício em parede de concreto armado.

AGRADECIMENTOS

A partir do programa PIVIC/UFCG obtive um contato mais aprofundado no ramo da pesquisa científica, assim como experiências com metodologias de pesquisa e atividades do meio acadêmico. Além disso, a iniciação científica foi de grande importância no desenvolvimento do meu Trabalho de Conclusão de Curso.

Participar do programa foi uma ótima experiência para mim, principalmente por ser em uma área em que tenho grande interesse. Me ajudou a aprimorar habilidades relacionadas à pesquisa acadêmica, bem como me ajudou a aprimorar meu conhecimento na confecção de projetos técnicos.

REFERÊNCIAS

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. **Commentary on Building Code Requirements for Structural Concrete ACI 318–19**. Farmington Hills, MI, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto**. Rio de Janeiro, RJ, 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6120: Ações para o cálculo de estruturas de edificações**. Rio de Janeiro, RJ, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6123: Forças devidas ao vento em edificações**. Rio de Janeiro, RJ, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16055: Parede de concreto moldada no local para a construção de edificações – Requisitos e procedimentos**. Rio de Janeiro, RJ, 2022.

BRAGUIM, T. C. **Utilização de modelos de cálculo para projeto de edifícios de paredes de concreto armado moldadas no local**. Universidade de São Paulo. 227 páginas, 2013.

COMUNIDADE DA CONSTRUÇÃO. **Coletânea de ativos em paredes de concreto (2007/2008)**. Disponível em: <https://abcp.org.br/coletanea-de-ativos-em-paredes-de-concreto-2007-2008/>. Acesso em: 29 abr. 2023.

CORRÊA M.R.S.; RAMALHO, M.A. **Projeto de edifícios de alvenaria estrutural**. São Paulo: Editora PINI Ltda, 2003.

IBTS. **Telas Soldadas: Informações Técnicas**. Instituto Brasileiro de Telas Soldadas. Disponível em: http://www.ibts.org.br/telas_info.asp. Acesso em: 5 mar. 2024.

MISURELLI, H.; MASSUDA, C. Paredes de concreto. **Revista Técnica**, n. 147, p.74–78, jun. 2009.

NUNES, Valmiro. **Análise estrutural de edifícios de parede de concreto armado**. São Carlos, SP, 2011 Tese (Engenharia de Estruturas) – UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO.

SANTOS, Ray. **Minha Casa, Minha Vida impulsiona o uso do concreto em obras habitacionais**. Jornal Dia Dia. Três Lagoas – MS, 2023. Disponível em: <https://jornaldiadia.com.br/minha-casa-minha-vida-impulsiona-o-uso-do-concreto-em-obrashabitacionais/>. Acesso em: 29 feb. 2024.