
ANÁLISE DO PRÉ-DIMENSIONAMENTO DE PILARES EM EDIFÍCIOS DE MÚLTIPLOS PAVIMENTOS EM CONCRETO ARMADO (RELAÇÃO GEOMÉTRICA EM PLANTA 1:4)

Aksou Victor Kestring Vera (Engenheiro Civil) E-mail: aksouvictor@hotmail.com
Augusto Romanini (Engenheiro Civil, Professor interino da Universidade do Estado de Mato Grosso) E-mail: augusto.romanini@gmail.com
Roberto Vasconcelos Pinheiro (Doutor em Engenharia de Estruturas, Professor adjunto da Universidade do Estado de Mato Grosso) E-mail: rpinheiro@unemat.br
Hyago Maurício Bremm Muller (Engenheiro Civil): E-mail: hyagomuller@gmail.com
Jennifer Mayara Vilas Boas da Silva (Arquiteta e Urbanista) E-mail: jennifermayaravb@gmail.com
João Paulo Boff Almeida (Engenheiro Civil) E-mail: boff.joaopaulo@gmail.com

Resumo: Um bom sistema estrutural começa pela estimativa da seção transversal de seus elementos. A estimativa permite a concepção do elemento no projeto, sua interação com as demais peças, além da obtenção de seu peso próprio. Nesse sentido, a presente pesquisa visa auxiliar na escolha do melhor método de pré-dimensionamento de pilares, comparando os resultados de três métodos com o dimensionamento via software estrutural, para edifícios de 5, 10 e 15 pavimentos em concreto armado. Verificou-se também a influência dos ventos e das posições dos pilares (canto, extremidade e interno) nos métodos. Através dos resultados pode-se determinar o melhor método para cada tipo de edificação além do mais adequado para cada posição de pilar. Ao final constatou-se que dos três métodos propostos, o que mais se aproximou, de forma geral, da situação dimensionada pelo software foi o método de Bacarji-Pinheiro. No entanto o método de Aufieri se mostrou mais efetivo para pilares internos e de canto. O método de Pinheiro demonstrou pouca acurácia.

Palavras-chave: Pré-dimensionamento, Concreto Armado, Pilares.

PRE-DIMENSIONING ANALYSIS OF COLUMNS IN MULTIPLE FLOORS REINFORCED CONCRETE BUILDINGS (GEOMETRIC RELATIONSHIP IN PLAN 1:4)

Abstract: A good structural system begins by estimating the cross section of its elements. The estimation allows the element conception in the project, its interaction with the other structural parts, in addition to obtain its own weight. In this sense, the present research aims to assist the choice of the best pre-dimensioning method of columns, comparing results of three different methods with structural software results for 5, 10 and 15 floors reinforced concrete buildings. It was also verified the winds influence and the columns position (corner, border and internal) in the methods. By means of the results, it can determine the best method for each building type besides the most suitable for each column position. Finally, it was verified that Bacarji-Pinheiro's method approximates better, in general, to the design situation by software. However, the Aufieri's method proved to be the most effective for internal and corner columns. The Pinheiro's method showed less accuracy.

Keywords: Pre-dimensioning, Reinforced Concrete, Columns

1. INTRODUÇÃO

O aperfeiçoamento da construção civil é constante. Tanto os materiais quanto os métodos estão periodicamente se aprimorando afim de atender as novas realidades e necessidades da população.

A busca por materiais que contribuíssem na evolução da construção, levou ao desenvolvimento do concreto. Assim, Diniz (IBRACON, 2009) afirma que o concreto é o segundo material mais consumido no planeta, ficando atrás apenas da água.

Verificada a baixa resistência a tração do concreto, desenvolveu-se o conceito de concreto armado, uma perfeita associação entre o concreto e o aço, surgindo assim um

material amplamente utilizado na construção civil mundial.

Com o desenvolvimento dos softwares estruturais para estruturas de concreto armado, o processo de elaboração de projetos se tornou mais dinâmico e refinado. Os métodos de cálculo para as estruturas são iterativos, isto é, necessita-se estimar valores para as seções transversais dos elementos, afim de se realizar as rotinas de cálculo e avaliar se a estimativa inicial atendeu as necessidades requeridas.

Esta estimativa exige do engenheiro calculista certa experiência. Com a finalidade de auxiliar o profissional a obter estimativas mais precisas e de forma mais rápida é que surgem os métodos de pré-dimensionamento.

Um método de pré-dimensionamento consistente, agiliza o cálculo estrutural, tornando menor o número de iterações necessárias para se obter o resultado desejado. Estimar de forma eficiente as dimensões iniciais dos elementos também contribui para a visualização dos mesmos na estrutura e sua influência sobre os demais.

Neste contexto, analisar alguns métodos de pré-dimensionamento existentes na bibliografia, torna-se interessante. Assim sendo, o presente trabalho visa analisar três métodos, o de Pinheiro, o de Aufieri e de Bacarji-Pinheiro. Para a escolha dos métodos levou-se em conta a sua empregabilidade e a disponibilidade de material acerca dos mesmos. Visando comparações entres os métodos, elaborou-se projetos de três edifícios em concreto armado com diferentes números de pavimentos: 5, 10 e 15.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. Ação do Vento

O vento é a principal ação horizontal ao qual edifícios comuns de concreto armado estão sujeitos. Sua consideração é obrigatória, devendo no Brasil ser seguida as recomendações da NBR 6123:1988 (ABNT, 1998).

Para a determinação dos esforços solicitantes causados pelo vento em estruturas reticuladas, as ações podem ser consideradas como concentradas no nível de cada laje. Para tanto, deve-se determinar a intensidade de carga em cada pórtico, que varia de acordo com sua rigidez (GIONGO, 2007).

As forças estáticas causadas pelo vento são determinadas considerando a velocidade básica deste, dado pela isopletas de velocidade básica (V_b), fornecida na NBR 6123:1988 ABNT (1988) e desenhada sobre o mapa do Brasil. O coeficiente S1 leva em consideração o fator topográfico, o coeficiente S2 representa a rugosidade do terreno, levando em conta as dimensões em planta da edificação e sua altura sobre o terreno e o fator S3 é estatístico, considerando o grau de segurança necessário e a vida útil da edificação (GIONGO, 2007).

Giongo (2007) ainda afirma que os coeficientes de arrasto (C_a) são determinados para elementos de seção constante ou de pouca variação e, são calculados em função das relações entre as medidas em planta da edificação e entre as alturas e estas.

A velocidade básica do vento adotada neste estudo é de 30 m/s, obtido no mapa da Isopletas contido na NBR 6123:1988 ABNT (1988), para a cidade de Sinop- MT e grande parte da porção norte do Estado de Mato Grosso.

2.2. Pilares

Os pilares são elementos de eixo reto dispostos geralmente na vertical, onde as forças normais e de compressão são as mais relevantes. Nas estruturas eles são encarregados de receber esforços, em sua maioria, de vigas e lajes, transmitindo-os para a fundação, principalmente, podendo ocorrer também a transmissão para outros elementos de apoio (BASTOS, 2015).

Quanto a suas solicitações os pilares podem ser classificados como sendo internos, de borda (extremidade) ou de canto. Os pilares internos são aqueles em que se pode admitir compressão simples, ou seja, as excentricidades iniciais são desprezadas. Para os pilares de borda, admitisse excentricidade inicial em uma direção (flexão composta normal). Já os pilares de canto são submetidos a flexão composta oblíqua (PINHEIRO, 2007).

Os pilares podem ser divididos em pilares curtos, moderadamente esbeltos e esbeltos, esta classificação é obtida com base em seu índice de esbeltez. De acordo com Araújo (2014) os pilares curtos são aqueles nos quais os efeitos de segunda ordem são pouco significativos. Nos pilares moderadamente esbeltos, os efeitos de segunda ordem são considerados através de processos simplificados. Nos pilares esbeltos, os efeitos de segunda ordem são tão importantes que não podem ser empregados métodos simplificados.

2.3. Pré-dimensionamento de Pilares

As dimensões mínimas dos elementos estruturais são preconizadas por normas nacionais e internacionais e devem ser seguidas na fase de anteprojeto. O projetista deve seguir as recomendações necessárias para estar respaldado pelo meio técnico.

Na literatura, existem diversos métodos de pré-dimensionamento de elementos em concreto armado, tanto para vigas e lajes como para pilares. Grande parte dos métodos de pré-dimensionamento destinados à pilares leva em conta uma aproximação relativa, supondo que o pilar esteja sujeito apenas a compressão centrada. Porém, segundo Giongo (2007) os pilares estão sujeitos a flexão composta e dependendo de sua posição ela pode ser oblíqua ou normal. Desta maneira, apenas os pilares de centro podem ser, simplificadaamente, considerados submetidos a compressão centrada.

Os métodos que serão detalhados nesta pesquisa são descritos por Pinheiro (2007), por Aufieri (1997) e por Bacarji-Pinheiro (1996). Para consideração das ações nos pilares ambos os métodos usam o conceito de áreas de influência.

2.3.1 Áreas de influência

Para estimar a carga nos pilares, deve-se iniciar separando o pavimento em figuras geométricas, no caso, retângulos. Eles podem ser obtidos dividindo-se a distância entre os eixos dos pilares em intervalos que variam entre 0,45l e 0,55l.

Sendo:

- 0,45l: adotado para pilares de extremidade e de canto na direção da menor dimensão do pilar;
- 0,55l: complemento do vão do caso anterior;

- 0,50l: adotado para pilares de extremidade e de canto na direção de sua maior dimensão.

2.3.2 Método de Pinheiro

Pinheiro (2007) utiliza a seguinte expressão para o cálculo da área da seção transversal dos pilares:

$$A_c = \frac{30 \alpha A_i (n + 0,7)}{f_{ck} + 0,01 (69,2 - f_{ck})} \quad (1)$$

Sendo:

A_c = área da seção de concreto b x h (cm²);

α = coeficiente que leva em conta as excentricidades de carga;

A_i = área de influência do pilar (m²);

n = número de pavimentos tipo acima do pilar que se deseja fazer o pré-dimensionamento;

$(n + 0,7)$ = número que considera a cobertura, com carga estimada em 70% da relativa ao pavimento-tipo;

f_{ck} = resistência característica do concreto (kN/cm²).

Sendo que:

$\alpha = 1,3$ para pilares internos;

$\alpha = 1,5$ pilares de extremidade;

$\alpha = 1,8$ pilares de canto.

2.3.3 Método de Aufieri

Aufieri (1997) utiliza-se da seguinte expressão para o cálculo da área da seção transversal dos pilares:

$$A_c = \frac{\varphi A_i (g + q) (n + 0,7)}{\sigma_{id}} \quad (2)$$

Sendo:

A_c = área da seção de concreto b x h (cm²);

φ = coeficiente que majora as ações axiais em virtude das solicitações nos pilares serem consideradas centradas;

A_i = área de influência do pilar (m²);

n = número de pavimentos tipo acima do pilar que se deseja fazer o pré-dimensionamento;

$(n + 0,7)$ = número que considera a cobertura, com carga estimada em 70% da relativa ao pavimento-tipo;

$(g + q)$ = carregamento uniformemente distribuído (peso próprio e carga acidental) (kN/m²);

σ_{id} = tensão ideal de cálculo do concreto.

A tensão ideal de cálculo σ_{id} é dada por:

$$\sigma_{id} = 0,85f_{cd} + \rho (f_{sd} - 0,85f_{cd}) \quad (3)$$

Sendo:

f_{sd} = resistência de cálculo do aço relativa a deformação de 0,2% (kN/cm²);

f_{cd} = resistência de cálculo do concreto (kN/cm²);

ρ = taxa de armadura (kN/cm²);

Sendo:

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{1,4} \quad (4)$$

E o coeficiente f_{sd} obtido através do Tabela 1.

Tabela 1. Coeficiente f_{sd}

Categoria do aço	f_{sd} (kN/cm ²)
CA-25	21,7
CA-50	42
CA-60	40

Fonte: Adaptado de Aufieri (1997)

O coeficiente φ pode ser obtido através do Tabela 2.

Tabela 2. Coeficiente φ

Pilar	φ
Interno	1,80
Extremidade	2,00
Canto	2,30

Fonte: Adaptado de Aufieri (1997)

2.3.4 Método de Bacarji-Pinheiro

Bacarji e Pinheiro (1996) utilizam o seguinte procedimento para o cálculo do pré-dimensionamento de pilares:

$$A_c = \frac{\alpha A_i p (n + 0,7)}{\sigma_{id}} \quad (5)$$

A_c = área da seção de concreto b x h (cm²);

α = coeficiente que leva em conta as excentricidades de carga;

A_i = área de influência do pilar (cm²);

p = carregamento uniformemente distribuído (peso próprio e carga acidental) (kN/cm²);

n = número de pavimentos tipo acima do pilar que se deseja fazer o pré-dimensionamento;

$(n + 0,7)$ = número que considera a cobertura, com carga estimada em 70% da relativa ao pavimento-tipo;

Sendo que:

$\alpha = 1,8$ para pilares internos;

$\alpha = 2,2$ pilares de extremidade;

$\alpha = 2,5$ pilares de canto.

A tensão ideal de cálculo σ_{id} é dada por:

$$\sigma_{id} = 0,85f_{cd} + \rho \sigma_{s2} \quad (6)$$

Sendo:

f_{cd} = resistência de cálculo do concreto (kN/cm²);

ρ = Taxa de armadura (kN/cm²);

σ_{s2} = resistência de cálculo do aço relativa a deformação de 0,2% (kN/cm²);

Para o aço CA-50: $\sigma_{s2} = 42$ kN/cm².

2.4 Estabilidade global de edifícios

Nos edifícios usuais de concreto armado, a atuação simultânea das ações verticais e horizontais provocam deslocamentos laterais nos nós da estrutura. Essa não-linearidade geométrica leva a estrutura a um estado de equilíbrio na posição deslocada, implicando no surgimento de esforços solicitantes adicionais de 2ª ordem (globais). A atuação dos esforços nos eixos das barras também faz com que eles não se mantenham retilíneos, surgindo nos mesmos esforços solicitantes locais de 2ª ordem (GIONGO, 2007).

As estruturas podem ser consideradas, para fim de cálculo, como de nós fixos, ou de nós móveis. As estruturas de nós fixos, são aquelas que possuem os deslocamentos horizontais dos nós pequenos e por consequência os efeitos de 2ª ordem são desprezíveis, inferiores a cerca de 10% dos respectivos efeitos de 1ª ordem. Em contrapartida nas estruturas de nós móveis, os efeitos de 2ª ordem são superiores 10% dos efeitos de 1ª ordem devendo, portanto, serem devidamente considerados, tanto os efeitos globais como locais de 2ª ordem NBR 6118:2014 (ABNT, 2014).

Para a classificação da estrutura como de nós fixos ou móveis, a NBR 6118:2014 ABNT (2014) preconiza a análise através do parâmetro de instabilidade α e do coeficiente γ_z .

Segundo Giongo (2007) o parâmetro α é dado por:

$$\alpha = H \sqrt{\frac{Nk}{(EI)_{eq}}} \quad (7)$$

Sendo:

H = altura total do edifício, medida a partir do topo da fundação ou de um nível muito

pouco deslocável do subsolo;

N_k = somatório de todas as ações verticais atuantes no edifício (a partir do nível considerado para o cálculo de H), com valor característico;

$(EI)_{eq}$ = módulo de rigidez da estrutura do edifício equivalente a um pilar de seção constante engastado na base e livre no topo.

A NBR 6118:2014 ABNT (2014) considera de nós fixos as estruturas que apresentam α com valor menor ou igual a 0,6. Já os valores do coeficiente γ^z são dados, por:

$$\gamma^z = \frac{1}{1 - \frac{\Delta M_{tot,d}}{M_{1,tot,d}}} \quad (8)$$

Sendo:

$M_{1,tot,d}$ = momento de tombamento, ou seja, a soma dos momentos de todas as forças horizontais da combinação considerada, com seus valores de cálculo, em relação à base da estrutura;

$\Delta M_{tot,d}$ = é a soma dos produtos de todas as forças verticais atuantes na estrutura, na combinação considerada, com seus valores de cálculo, pelos deslocamentos horizontais de seus respectivos pontos de aplicação, obtidos da análise de 1ª ordem.

Considera-se que a estrutura é de nós fixos se for obedecida a condição $\gamma^z \leq 1,1$.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização da modelagem e do cálculo das estruturas utilizou-se o software estrutural Eberick V9, que é um software de origem brasileira, desenvolvido pela empresa ALTOQI, e tem por finalidade a elaboração de projetos em concreto armado moldado in-loco e concreto pré-moldado, englobando as etapas de lançamento, análise da estrutura, dimensionamento e o detalhamento final dos elementos (ALTOQI, 2017).

Ainda segundo a empresa AltoQi (2017), o software calcula os pavimentos através de um modelo em analogia de grelha que integra as lajes e as vigas em uma estrutura única, obtendo assim resultados muito próximos da análise destes pavimentos pelo método dos elementos finitos. O software atende a norma Brasileira mais recente no aspecto de concreto armado, a NBR 6118:2014 (ABNT, 2014).

Para a organização dos resultados e elaboração de gráficos assim como a automatização de alguns cálculos, principalmente dos relacionados ao pré-dimensionamento, recorreu-se ao software Microsoft Excel 2016.

A pesquisa foi desenvolvida em cinco etapas, sendo elas:

- I. Elaboração do projeto arquitetônico;
- II. Concepção estrutural e definição das ações atuantes;
- III. Pré-dimensionamento dos pilares pelos métodos descritos;
- IV. Modelagem da estrutura, análise de estabilidade, dimensionamento e verificação dos elementos estruturais;
- V. Obtenção das dimensões finais dos pilares e comparativo com os métodos de pré-dimensionamento.

3.1 Elaboração do projeto arquitetônico

Elaborou-se um projeto arquitetônico hipotético de um edifício residencial, onde todos os pavimentos são iguais ao pavimento tipo, com algumas modificações, no pavimento inferior (térreo) e no pavimento superior (cobertura).

O projeto do pavimento tipo conta com quatro apartamentos simétricos em torno de um núcleo contendo dois elevadores e escada. A proporção em planta do pavimento tipo é 1:4 com dimensão aproximada de 11m x 44m e área total de 457 m². As paredes são de 15 cm e 20 cm. O pé direito tem três metros.

Foram analisados três casos:

- Caso A: Edifício com 15 pavimentos, sendo um térreo, 13 pavimentos tipo e um pavimento cobertura;
- Caso B: Edifício com 10 pavimentos, sendo um térreo, oito pavimentos tipo e um pavimento de cobertura;
- Caso C: Edifício com 5 pavimentos, sendo um térreo, três pavimentos tipo e um pavimento de cobertura;

A Planta Baixa do pavimento tipo pode ser observada na Figura 1.

3.2 Concepção Estrutural e Definição das Ações Atuantes

O primeiro passo na concepção estrutural foi o posicionamento dos pilares. Buscou-se posicioná-los a uma distância de 4 a 6 metros sempre que possível. Segundo Pinheiro (2007) distâncias muito maiores geram vigas com dimensões incompatíveis, acarretando em maiores custos na construção, assim como, pilares muito próximos podem acarretar interferência nos elementos de fundação e aumento no consumo de materiais, mão de obra entre outros recursos.

Os pilares foram dispostos a fim de gerar maior uniformidade no alinhamento e na distribuição dos vãos e das cargas, pois conforme Pinheiro (2007) esse arranjo gera maior precisão nos resultados de pré-dimensionamento. O contraventamento da estrutura também foi levado em consideração, com a disposição dos pilares de modo que formassem pórticos. A direção dos pilares foi concebida a fim de enrijecer a estrutura na direção de sua menor inércia, no eixo “x”. Todos os pilares utilizados têm seção quadrada ou retangular.

As vigas foram lançadas em sua maioria engastadas nos pilares, salvo algumas exceções de vigas no núcleo do prédio, onde foram verificadas suas ligações com pilares alongados. Nessas regiões foram flexibilizadas as ligações, pois de acordo com Kimura (2007) em tais situações é fundamental a consideração da flexibilização na modelagem via pórtico espacial. As dimensões das vigas variam.

As lajes foram engastadas quando se encontravam em continuidade com lajes vizinhas. Adotou-se para todos os pavimentos e em todos os casos, lajes maciças de 10 cm.

Não se realizou um estudo aprofundado do solo para fundações. O tipo de fundação escolhida foi de blocos sobre estacas. Para garantir resultados mais condizentes, estabeleceu-se que todos os pilares seriam rotulados nas fundações, a fim de que não transmitissem momento para o solo, devido ao desconhecimento de suas propriedades. Esse fato ocasionou maior suscetibilidade da estrutura a deslocamentos

horizontais.

A planta de forma do Pavimento Tipo para o caso A pode ser observada na Figura 2.

As cargas para o cálculo estrutural foram obtidas na NBR 6120:1980 ABNT (1980), tais como o peso específico do concreto armado de 25 kN/m^3 e o peso específico para parede de tijolos furados, 13 kN/m^3 . Para o revestimento das lajes (piso cerâmico e forro) utilizou-se o valor de $1,01 \text{ kN/m}^2$.

As ações variáveis também foram obtidas da NBR 6120:1980 ABNT (1980) para os ambientes, como $1,5 \text{ kN/m}^2$ -dormitórios, salas, cozinhas, banheiros e copa; 2 kN/m^2 – área de serviço, despensa, lavanderia e 3 kN/m^2 – escadas e corredores com acesso ao público.

As forças do vento foram calculadas pelo software Eberick, sendo que foram fornecidos ao programa as seguintes considerações de acordo com a NBR 6123:1988 (ABNT, 1988):

- Velocidade básica do vento = 30 m/s ;
- Fator topográfico $S1 = 1,00$;
- Rugosidade do terreno, dimensões da edificação e altura sobre terreno = Classe B, categoria III, sendo assim calculado o fator $S2$ automaticamente;
- Fator estatístico $S3 = 1,00$.

O pavimento térreo diferiu dos demais por não apresentar paredes internas e assim sendo, sem as cargas das mesmas. No pavimento cobertura utilizou-se a carga de $0,5 \text{ kN/m}^2$ - forros sem acesso a pessoas e terraços inacessíveis a pessoas, NBR 6120:1980 (ABNT, 1980). Além da ação variável, foi atribuído uma carga distribuída de $0,7 \text{ kN/m}^2$, estimada a fim de representar uma cobertura hipotética, e o peso do revestimento.

Utilizando a NBR 6118:2014 ABNT (2014), definiu-se: agressividade ambiental com Classe II; cobrimento das armaduras de $2,5 \text{ cm}$ para lajes, $3,0 \text{ cm}$ para vigas e pilares; diâmetro máximo do agregado de 19 mm ; f_{ck} do concreto, 35 MPa ; aço CA-50 (estrutura em geral) e CA-60 (estribos).

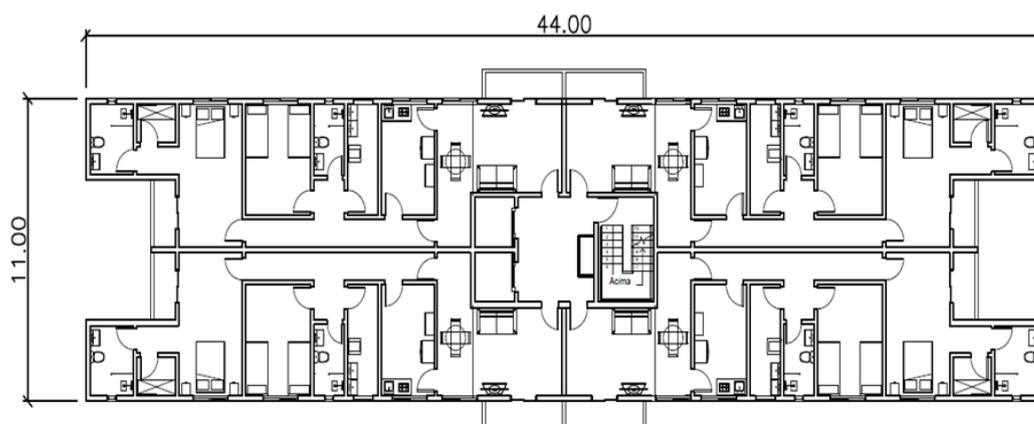


Figura 1: Planta baixa do pavimento tipo

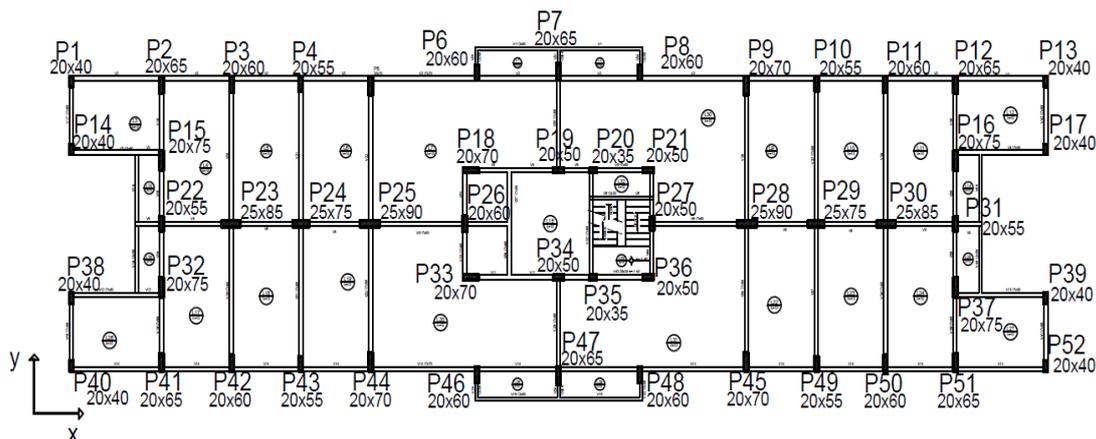


Figura 2: Planta de forma Caso A

3.3 Pré-dimensionamento dos Pilares pelos Métodos Descritos

A partir da posição dos pilares, pode-se obter suas respectivas áreas de influência. Com a definição do tipo do pilar (canto, extremidade, interno), o f_{ck} do concreto (35 MPa) e a categoria do aço (CA-50), realizou-se o pré-dimensionamento.

O carregamento uniformemente distribuído, necessário para os métodos de Aufferi e Bacarji-Pinheiro, foi de 12 kN/m² e a taxa de armadura considerada foi igual a 0,02, valores citados pelos autores dos métodos como usuais para os tipos de edificações analisados. Os demais coeficientes estão descritos nos métodos.

Definiu-se que os pilares teriam seção de concreto constante em todos os pavimentos. Portanto o pré-dimensionamento foi realizado apenas nos pilares do 1º pavimento, no qual sua área de seção seria maior e mantida assim em toda prumada. Manteve-se a posição dos pilares nos três casos analisados, variando apenas suas respectivas seções. A concepção estrutural resultou em 52 pilares.

Como alguns pilares são simétricos, suas áreas de influência, bem como sua posição, são apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3. Características dos Pilares

Pilar Nº	Área de influência (m ²)	Posição
01; 40; 13; 52;	2,72	Canto
14; 38; 17; 39;	2,76	Canto
02; 41; 12; 51;	4,84	Extremidade
03; 42; 11; 50;	8,82	Extremidade
04; 43; 10; 49;	8,03	Extremidade
05; 44; 09; 45;	10,76	Extremidade
15; 32; 16; 37	8,27	Extremidade
22; 31;	6,56	Interno
23; 30;	18,35	Interno
24; 29;	15,72	Interno
25; 28;	19,55	Interno
06; 46;	9,84	Extremidade
07; 47;	10,82	Interno

08; 48;	9,86	Extremidade
18; 33;	11,08	Canto
19; 34;	8,59	Extremidade
20; 35;	6,85	Extremidade
21;36;	8,44	Canto
27;	7,37	Extremidade
26;	10,16	Interno

Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

3.4 Modelagem da Estrutura, Análise de Estabilidade, Dimensionamento e Verificação dos Elementos Estruturais.

Para uma estimativa inicial da área de concreto dos pilares, optou-se por adotar no software Eberick, para cada pilar, uma área de seção que fosse a média dos três métodos de pré-dimensionamento. A seção adotada utilizou dimensões inteiras múltiplas de 5 cm, a fim de representar a realidade construtiva.

As vigas variaram as seções. Para os casos “A” e “B”, onde as ações do vento foram acentuadas, buscou-se enrijecer a estrutura, aumentando a seção das vigas, fazendo assim o mínimo de modificações nas seções dos pilares. Nestes casos obteve-se vigas principalmente com seções de 17x60 cm e 17x70 cm, além de algumas vigas de 12x50 cm. Já no caso “C”, onde os problemas de estabilidade não foram tão acentuados, utilizou-se em sua maioria vigas de 15x40 cm e algumas vigas de 12x50 cm.

A estabilidade de todos os casos foi garantida, sendo o coeficiente γ^2 menor que 1,10. Atribuiu-se assim as estruturas, a qualidade de nós fixos. Todos os elementos foram verificados, segundo a NBR 6118:2014 ABNT (2014), quanto ao Estado Limite Último (ELU) e ao Estado Limite de Serviço (ELS), atendendo assim os requisitos determinados. Por fim, os pilares foram otimizados, reduzindo o valor do coeficiente entre o momento resistente de cálculo e momento solicitante de cálculo (M_{rd}/M_{sd}) para valores próximos a 1,00.

3.5 Obtenção das dimensões finais dos pilares e comparativo com os métodos de pré-dimensionamento.

Após as estruturas terem sido calculadas, e atendendo aos requisitos de estabilidade e dos Estados Limites previstos nas normas brasileiras referentes ao concreto armado, comparou-se as dimensões obtidas pelos métodos de pré-dimensionamento com os valores obtidos pelo software Eberick.

As áreas encontradas pelos métodos de pré-dimensionamento foram utilizadas de forma que uma das dimensões dos pilares fosse fixada sendo de 15 cm, 20 cm ou 25 cm, dependendo do arranjo estrutural e da concepção arquitetônica. Dividindo-se a área obtida pelos métodos de pré-dimensionamento pela dimensão fixada, encontrou-se a segunda dimensão, que foi arredondada para cima e para múltiplos de 5 cm. Com posse das duas dimensões, recalculou-se a área da seção transversal do pilar, sendo essa a área adotada utilizada para o comparativo dos métodos.

De acordo com a NBR 6118:2014 ABNT (2014), a área da seção transversal do pilar deve ter no mínimo 360 cm². Portanto, para os pilares que obtiveram áreas menores que o mínimo estabelecido por norma em seu pré-dimensionamento, adotou-se

uma seção de 15x25 cm, referente a uma área de 375 cm², seguindo assim os critérios estabelecidos para dimensões dos pilares.

A comparação dos métodos de pré-dimensionamento com os valores obtidos pelo software Eberick foi realizada através do erro relativo, do erro percentual e do erro percentual absoluto médio, MAPE (mean absolute percentage error). Para defini-los, deve-se primeiro encontrar o erro absoluto, realizado da seguinte forma:

$$E_a = A_a - A_e \quad (9)$$

$$E_r = E_a/A_e \quad (10)$$

$$E_v = E_r * 100 \quad (11)$$

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |E_{v_i}| \quad (12)$$

Sendo:

E_a = erro absoluto;

E_r = erro relativo;

E_v = erro percentual;

n = número de pilares;

$MAPE$ = erro percentual absoluto médio;

A_a = área adotada para os métodos de pré-dimensionamento;

A_e = área encontrada através do software Eberick.

Analisou-se pilares de acordo com sua posição – canto, extremidade, interno – com sua função em relação ao vento nos dois eixos – contraventado ou de contraventamento – e de forma geral para os três casos.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Caso A

O comparativo dos métodos de pré-dimensionamento para o edifício de 15 pavimentos, através do MAPE, pode ser observado na Figura 3. Através da análise gráfica, percebe-se que o método de Bacarji-Pinheiro foi o mais eficiente para o caso A, considerando todos os pilares de forma geral, com um MAPE de 18,61%.

Quando considerado as posições dos pilares, nota-se que o método de Aufieri é mais efetivo para os pilares internos. Nos casos de pilares de extremidade e de canto, o método de Bacarji-Pinheiro obteve os melhores resultados.

Pode-se observar um MAPE elevado para os pilares de canto. Isso deve-se ao fato de que esses pilares tiveram áreas de influência pequenas, resultando em áreas reduzidas nos métodos de pré-dimensionamento. Porém, ao se analisar a estabilidade do conjunto, observou-se a necessidade do aumento da seção transversal desses elementos.

4.2 Caso B

A Figura 4 ilustra os resultados do caso B. Através dos dados, observou-se uma redução no MAPE dos pilares de forma geral em relação ao caso A. Essa redução se deve a princípio pela diminuição na ação do vento, visto que os métodos de pré-

dimensionamento levam em conta que os pilares estão submetidos apenas a compressão centrada e reduzir os esforços de flexão causados pelos ventos nos pilares aumenta a precisão dos métodos de pré-dimensionamento.

Nesta análise, novamente o método de Bacarji-Pinheiro se mostrou o mais efetivo, com um erro de 11,88% para os pilares como um todo. O método de Aufieri continuou sendo o melhor método para os pilares internos. Para os pilares de canto o método de Aufieri se mostrou mais efetivo, sendo que para esta tipologia de pilares, ocorreu os erros mais acentuados entre os métodos. Para os pilares de extremidade, Bacarji-Pinheiro continua sendo a melhor opção.

Os elevados erros nos pilares de canto se deram, assim como no caso anterior, devido a sua pequena área de influência e sua importância frente a estabilidade global da estrutura.

4.3 Caso C

Para o caso C, a redução nos erros também ocorreu com a diminuição do número de pavimentos, melhorando significativamente a precisão dos métodos, como pode ser observado na Figura 5.

Para essa edificação o método que melhor apresentou resultados foi o método de Aufieri, demonstrando ser o mais eficiente para todas as posições de pilares, sendo que no caso dos pilares internos, apresentou erro igual ao método de Bacarji-Pinheiro.

Para os pilares de canto, de acordo com a metodologia utilizada, o método estimou com precisão os pilares, não obtendo erros no pré-dimensionamento. Analisando os pilares em sua totalidade, também foi o que melhor estimou a área da seção transversal dos mesmos, com um MAPE de apenas 6,33%.

Os pilares de canto com área de influência pequena, menores que 5 m² resultaram em áreas no pré-dimensionamento menores que 360 cm², sendo assim arredondados para 375 cm². Tal fato produziu grande diminuição dos erros de pré-dimensionamento para tais elementos.

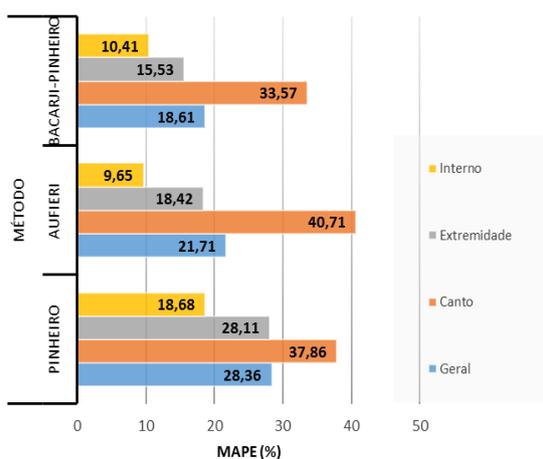


Figura 3: MAPE Edifício de 15 pavimentos.

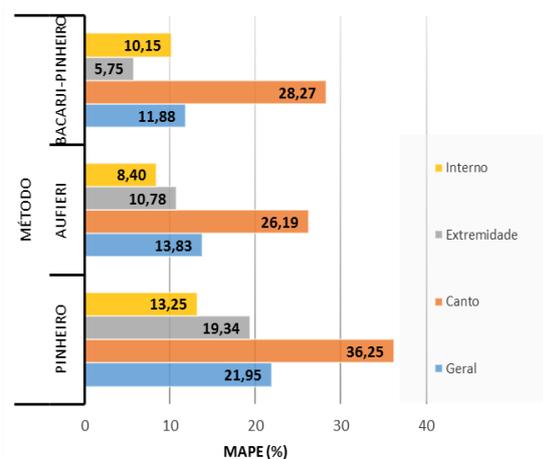


Figura 4: MAPE Edifício de 10 pavimentos.

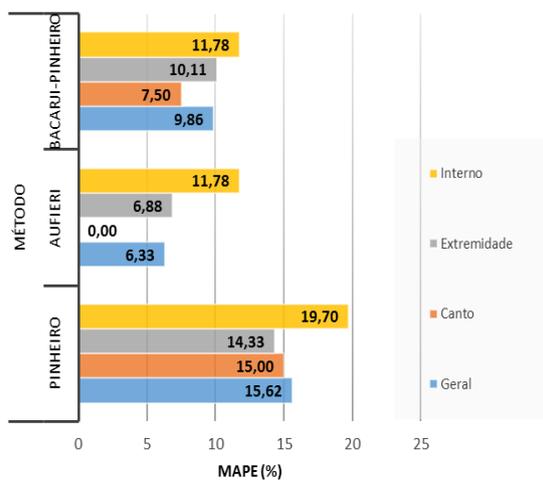


Figura 5: MAPE Edifício de 5 pavimentos.

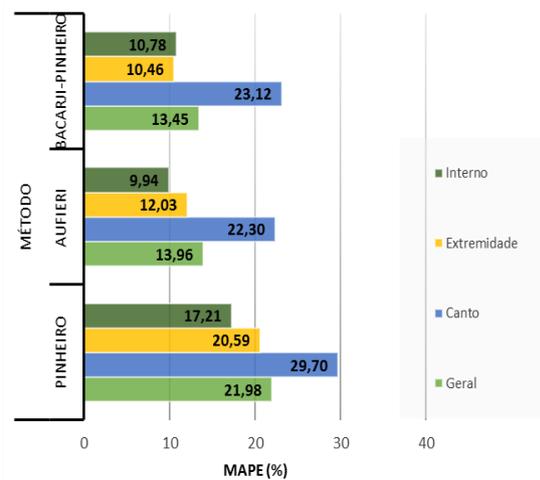


Figura 6: MAPE Todos os pilares

5. CONCLUSÕES

Esse trabalho confrontou três métodos de pré-dimensionamento de pilares para três edifícios com número de pavimentos distintos, com os dados obtidos através do software Eberick, para um total de 156 pilares. Pode-se inferir que o método que melhor estimou a área de concreto para os pilares considerando os três casos foi o de Bacarji-Pinheiro, com um MAPE de apenas 13,45%. O MAPE de todos os pilares pode ser visto na Figura 6.

Analisando a posição dos pilares, verifica-se que a melhor exatidão para os pilares internos e de canto foi de Aufieri. Os pilares de extremidade foram melhor estimados por Bacarji-Pinheiro. O método de Pinheiro se mostrou o mais impreciso.

Os métodos demonstraram pouca eficiência para pilares de canto nos casos A e B. Já no caso C a precisão para os pilares de canto foi melhor, porém ao observar os resultados de forma geral para os três casos, percebe-se que os pilares de canto representaram os maiores erros nos pré-dimensionamentos.

Verificou-se que a diminuição do número de pavimentos aumentou a precisão dos métodos, visto que a edificação na proporção analisada (1:4) apresenta considerável influência do vento. A diminuição dessa influência aumenta significativamente a precisão do pré-dimensionamento.

Para uma estimativa inicial da seção dos pilares os métodos se revelaram uma boa ferramenta, porém em alguns casos eles podem levar a resultados muito imprecisos, como é o caso dos pilares 18 e 33 no caso B para Pinheiro que apresentaram um erro de 100% na sua estimativa. A concepção estrutural, a altura da edificação, o alinhamento, a posição e a área de influência dos pilares foram fatores que influenciaram diretamente na acurácia dos métodos. Assim sendo, os pilares devem ter suas seções calculadas com todas as cargas reais da edificação, seguindo as normas brasileiras e internacionais, servindo os métodos apenas para se ter uma ideia inicial da área da seção de concreto dos pilares.

REFERÊNCIAS

- ALTOQI:** *Sobre o Altoqi Eberick v9. Disponível em: <<http://www.altoqi.com.br/software/projeto-estrutural/eberick-v9>>. Acesso em: 01 de abril de 2017.*
- ALTOQI:** *Comparação entre os sistemas de contraventamento através de pórticos e pilares-parede. Disponível em: <http://faq.altoqi.com.br/content/406/684/pt-br/compara%C3%A7%C3%A3o-entre-os-sistemas-de-contraventamento-atraves-de-p%C3%B3rticos-e-pilares_parede.html>. Acesso em: 04 de abril de 2017.*
- ARAÚJO, J. M.** *Curso de concreto armado*. Rio grande: Dunas, v.3, 4. ed, 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118 – Projeto de estruturas de concreto – Procedimento**. Rio de Janeiro, 2014.
- ____ **NBR 6120**. *Cargas para o cálculo de estruturas de edificações*. Rio de Janeiro, 1980.
- ____ **NBR 6123**. *Forças devidas ao vento em edificações*. Rio de Janeiro, 1988.
- ____ **NBR 7480**. *Aço destinado a armaduras para estruturas de concreto armado - Especificação*. Rio de Janeiro, mar. 2008.
- ____ **NBR 8681**. *Ações e segurança nas estruturas – Procedimento*. Rio de Janeiro, mar. 2003.
- ____ **NBR 14931**. *Execução de estruturas de concreto – Procedimento*. Rio de Janeiro, maio 2004.
- AUFIERI, F. A.** *Diretrizes para o Dimensionamento e Detalhamento de Pilares de Edifícios em Concreto Armado*. 1997.146f. Tese (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo 1997.
- BACARJI, E.; PINHEIRO, L. M.** *Concepção estrutural e pré-dimensionamento de pilares*. In: CONGRESSO TÉCNICO CIENTÍFICO DE ENGENHARIA CIVIL. Florianópolis, 1996.
- BASTOS, P. S. S.** *Pilares de Concreto Armado: Notas de aula*. Bauru, 2015.
- GIONGO, J. S.** *Concreto Armado: Projeto Estrutural de Edifícios*. São Carlos, 2007.
- DINIZ, J. Z. F.** *Concreto: Material Construtivo Mais Consumido no Mundo*. IBRACON, n.53, 2009.
- KIMURA, A.** *Informática Aplicada em Estruturas de Concreto Armado*. São Paulo: Pini, v. 1, 1ª. ed. 2007.
- PINHEIRO, L. M.** *Fundamentos do Concreto e Projeto de Edifícios*. São Carlos/SP, 2007. 380 p.