

## **ANÁLISE DO PRÉ-DIMENSIONAMENTO DE PILARES EM EDIFÍCIOS DE MÚLTIPLOS PAVIMENTOS EM CONCRETO ARMADO (RELAÇÃO GEOMÉTRICA EM PLANTA DE 1:3)**

ERICH HELMUTH GÖTZ ROMMEL<sup>1</sup>  
LETÍCIA REIS BATISTA ROSAS<sup>2</sup>  
BRUNO RODRIGUES DOS SANTOS<sup>2</sup>

**RESUMO:** A concepção estrutural de um projeto é o primeiro passo para um sistema estrutural de qualidade, sendo assim a estimativa das seções das peças estruturais, que por sua vez é obtido através de métodos de pré-dimensionamento. De modo a facilitar a escolha de um método mais eficiente para o pré-dimensionamento de pilares, foi comparada a eficiência de três métodos em edifícios de com 5, 10 e 15 pavimentos e proporção de 1:3, a partir do uso de um software estrutural. Com a comparação dos resultados foi possível obter que o método com as áreas mais eficientes foi o método de Bacarji-Pinheiro, também foi constatado que os métodos em questão possuem uma análise incompleta da influência do vento.

**PALAVRAS-CHAVE:** Concreto Armado; Pilares; Pré-dimensionamento.

## **PRE-DIMENSIONING ANALYSIS OF COLUMNS IN MULTIPLE FLOORS REINFORCED CONCRETE BUILDINGS (GEOMETRIC PROPORTIONS IN PLAN 1:3)**

**ABSTRACT:** *The structural design of a project is the first step for a structural system of quality, thus estimating the sections of structural parts, which in turn is obtained through pre-dimensioning methods. In order to facilitate the choice of a more efficient method for the pre-dimensioning of columns, the efficiency of three methods in 5, 10 and 15-storey buildings and proportions of 1:3 was compared using structural software. With the comparison of the results it was possible to obtain that the method with the most efficient areas was the Bacarji-Pinheiro method, it was also verified that the methods in question have an incomplete analysis of the influence of the wind.*

**KEYWORDS:** Columns; Pre-dimensioning; Reinforced Concrete.

---

<sup>1</sup> Engenheiro Civil, UNEMAT, Av. dois Ingás , 3001 , Sinop- MT, CEP 78555-000.

<sup>2</sup> Professor, Curso de Engenharia Civil, FACULDADE FASIFE, R. Carine, 11, Res. Florença, Sinop - MT. CEP: 78550-000. Endereço eletrônico: engenharia@fasipe.com.br

## 1. INTRODUÇÃO

A partir do desenvolvimento constante das tecnologias na área de engenharia civil, desde métodos, materiais e ferramentas, entre eles se encontra o concreto que segundo Pinheiro (2007) possui aplicações bem menos restritas que outros materiais. Uma das características que tornaram o concreto tão utilizado é sua alta resistência a compressão e alta maleabilidade, porém o mesmo possui baixa resistência a tração, levando ao desenvolvimento do concreto armado, com a associação entre o concreto e o aço.

A partir do concreto armado umas das ferramentas desenvolvidas que facilitaram a concepção estrutural de projetos foram os softwares estruturais, tornando a solução do cálculo estrutural iterativa como exemplifica Alva (2007) ao citar a necessidade de uma predefinição das dimensões das peças para então calcular se as mesmas são convenientes.

Para a decisão de que dimensões utilizar para dar início aos cálculos estruturais, é necessária uma quantidade considerável de experiência ou a utilização de métodos matemáticos para obter valores aproximados do que seria condizente com a necessidade da peça, sendo estes denominados de cálculos de pré-dimensionamento. Com o crescimento do mercado as exigências sobre o engenheiro se tornam cada vez maiores, de modo que para o profissional de qualidade a cobrança para com sua precisão e agilidade se tornam mais rigorosas, tendo como princípio na criação de projetos. Sendo que a criação de um projeto tem como um dos primeiros passos a concepção estrutural, esta se torna uma parte vital para qualidade do serviço prestado.

O objetivo deste trabalho é estudar a eficiência da aplicação de métodos de pré-dimensionamento disponíveis na literatura, para edifícios de concreto armado com múltiplos pavimentos. Sendo analisado três métodos, o de Fusco, o de Melo e de Bacarji-Pinheiro. Foram elaborados três edifícios em concreto armado com relação em planta de 1:3 e com número de pavimentos variados, de 5, 10 e 15 andares, com a intenção de fazer uma comparação da qualidade entre os métodos em questão.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

O trabalho proposto terá como base trabalhos e teses direcionados ao estudo de concreto armado, cálculos de pilares e utilização de softwares para o cálculo das peças.

### 2.1 Peças estruturais

Para a concepção de um projeto estrutural de um edifício de concreto armado é possível considerar três elementos estruturais com comportamentos distintos, sendo estes, laje, viga e pilar.

#### 2.1.1 Pilar

Elemento de barra vertical sujeito às forças transferidas das vigas e qualquer outro pilar que exista acima dele, e repassá-los para a estrutura que se encontra sob ele, podendo ser este outro pilar ou a fundação do edifício. São sujeitos predominantemente à flexo-compressão, causada por possíveis excentricidades existentes no pilar e ações horizontais efetivas das vigas.

É estabelecido pela ABNT (2014) que a dimensão mínima em um pilar deve ser de 14 cm, para diminuir a possibilidade de um baixo desempenho assim como permitir boas condições de execução.

No dimensionamento de pilares são utilizadas algumas classificações, que o separa entre quais cálculos serão necessários para chegar às dimensões aceitáveis pela norma. Os pilares podem ser divididos pela sua esbeltez, ou seja, a sua espessura em relação ao seu comprimento. Assim como ele pode ser classificado pela localização em que ele se encontra.

### 2.1.2 Classificação por esbeltez

Os pilares podem ser divididos em pilares curtos, moderadamente esbeltos e esbeltos, esta classificação é obtida com base em seu índice de esbeltez.

A ABNT (2014) considera o comprimento equivalente ( $l_e$ ) do pilar, suposto vinculado em ambas as extremidades, como a menor dos valores abaixo.

$$l_e \begin{cases} l_0 + h \\ l \end{cases} \text{ (Equação 1)}$$

$l_0$  = distância entre as faces horizontais da estrutura

$h$  = altura da seção transversal do pilar

$l$  = distância entre os eixos dos elementos em que o pilar está vinculado

Define-se o raio de giração ( $i$ ) como sendo:

$$i = \sqrt{\frac{I}{A}} \text{ (Equação 2)}$$

$I$  = inércia da peça

$A$  = área da seção

O índice de esbeltez é definido pela relação:

$$\lambda = \frac{l_e}{i} \text{ (Equação 3)}$$

De acordo com a ABNT (2014), o pilar pode ser dividido em três grupos, a partir do índice de esbeltez encontrado, sendo estes o curto  $\lambda \leq 50$ , o esbelto intermediário com  $50 < \lambda \leq 90$ , enquanto o pilar esbelto possui  $90 < \lambda \leq 200$ . Um pilar com a esbeltez superior a 200 não é aceito pela norma.

### 2.1.3 Classificação por localização

O método de classificação por localização se refere a existência de momentos no pilar vindos das vigas sobrepostas nele. A classificação é dividida em quantos sentidos o pilar está sofrendo momento, sendo que é considerado que o momento de duas vigas no mesmo eixo anulam a força da viga oposta. As classificações podem ser observadas nas figuras 1, 2 e 3.

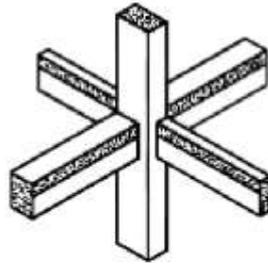


Figura 1:Pilar de centro.  
Fonte: Vergutz; Custódio, 2010.

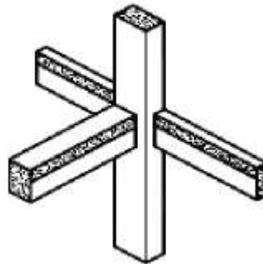


Figura 2:Pilar de extremidade.  
Fonte: Vergutz; Custódio, 2010.

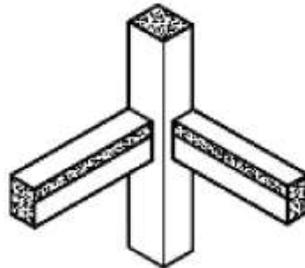


Figura 3:Pilar de canto.  
Fonte: Vergutz; Custódio, 2010.

## 2.2 Ações a considerar no projeto

As ações são as forças exercidas na peça que causam as deformações na peça estrutural. Na ABNT (2003) elas podem ser divididas entre ações permanentes, ações variáveis e ações excepcionais.

### 2.2.1 Ações permanentes

São aquelas que ocorrem na estrutura de modo constante ou com pequenas variações ao longo da vida útil do projeto (GIONGO, 2007). Elas são ainda divididas entre ações:

Permanentes diretas, sendo o peso próprio da estrutura e demais elementos permanentes da construção, peso de equipamentos fixos e empuxo da terra. Permanentes indiretas, sendo recalque, retração e fluência do concreto e imperfeições da peça (ARAÚJO, 2014).

### **2.2.2 Ações variáveis**

Ações variáveis são aquelas que variam consideravelmente no tempo de vida da estrutura, como as acidentais que representam a utilização do edifício, como o peso de pessoas e mobília (ARAÚJO, 2014).

Segundo Giongo (2007), elas ainda podem ser divididas entre as ações variáveis normais, que são as ações que ocorrem com frequência se tornando obrigatórias (as acidentais) e as ações variáveis especiais cargas de natureza especiais que devem ser especificadas em projeto, como ações sísmicas ou passagem de caminhões com carregamento pesado.

A ABNT (1980) normatiza a utilização das ações variáveis normais exercidas no edifício, repassando os valores mínimos a serem utilizados.

### **2.2.3 Ações excepcionais**

As ações excepcionais são aquelas com um período de duração muito curto e uma probabilidade de ocorrência pequena, porém devem ser consideradas no projeto em determinados casos, como batida de carros, explosões, abalos sísmicos, enchente, entre outros (Araújo, 2014).

### **2.2.4 Ações do vento**

O cálculo da ação de vento é baseado na ABNT (1988). É necessário calcular a atuação do vento separadamente nas estruturas de vedação, nas peças estruturais e na estrutura como um todo.

É requisitado que se encontre o valor das ações em cada face do edifício. Também é recomendado por Giongo (2007) que seja considerado concentrado em cada laje, sendo necessário determinar o quinhão de carga em cada laje.

## **2.3 Estados limites**

O estado limite se refere à quando uma peça estrutural se torna incapaz de exercer sua função, deixando de atender às condições de funcionamento exigidas (MORAES, 2013). Segundo Pinheiro (2007), os estados limites são divididos em duas categorias: o estado limite último e o de serviço; se tratando da ruína e de utilização, dividindo assim a segurança da capacidade de carga e da de utilização.

Se o valor de resistência calculado da estrutura for maior do que as solicitações de ambos os limites de segurança existentes, ela poderá ser considerada segura, visto que a margem de segurança já é considerada pela existência de coeficientes de ponderação nos cálculos (SANTOS, 2014).

### **2.3.1 Estados Limites Últimos**

Os estados limites últimos se relacionam com a segurança da estrutura, sendo referente ao colapso progressivo, perda de equilíbrio e esgotamento da capacidade resistente do edifício (MORAES, 2013).

### **2.3.2 Estados Limites de Serviço**

Eles representam a condição de serviço, tendo como limitante a ocorrência de efeitos estruturais que não respeitam as condições especificadas para o uso normal do edifício ou o compartimento da durabilidade do mesmo (PINHEIRO, 2007).

## 2.4 Pré-dimensionamento de pilares

O pré-dimensionamento é um dos primeiros passos a ser tomado ao fazer o projeto de um edifício, sendo feito logo após a decisão da localização das peças estruturais. Após ter o número de pilares e a localização deles, para que se possa fazer os cálculos estruturais, é necessário ter as dimensões iniciais dos pilares.

A estimativa da área inicial da seção dos pilares é feita a partir do conhecimento empírico do engenheiro ou por cálculos de pré-dimensionamento. Como a utilização do modo empírico para obter os valores é utilizável apenas com uma experiência considerável na área, o método mais eficiente é pelo cálculo de pré-dimensionamento.

Neste trabalho foi analisado a eficiência de três métodos, sendo estes o método de Fusco (1994), Bacarji-Pinheiro (1996) e Melo (2013), para a formulação dos métodos as áreas de influencias foram obtidas através do método de Giongo (2007).

### 2.4.1 Área de influência por Giongo

O método de pré-dimensionamento mais comum e amplo pode ser considerado o método das áreas de influência. Ele divide a área de influência de cada pilar no pavimento, para então obter uma aproximação da carga recebida, sendo que esta carga exerce uma compressão central (BACARJI, 1993).

As áreas de influência do pilar representam a região onde as forças e o peso da laje, paredes e outros são transmitidos para o pilar, as quais são consideradas como formas poligonais. Segundo Giongo (2007) essas formas são determinadas a partir da divisão dos vãos efetivos ( $l$ ) entre o centro dos pilares sendo que o valor desta divisão é baseado na posição do pilar como demonstrado na figura 4.

- $0,45 l$  – Utilizado no menor lado de pilares de canto ou em pilares internos cujo vão consecutivo e suas ações superam em 20% o valor correspondente do vão.
- $0,55 l$  – Complementação de vãos com  $0,45l$ .
- $0,5 l$  – Utilizado quando o pilar não se encaixa em nenhuma anterior

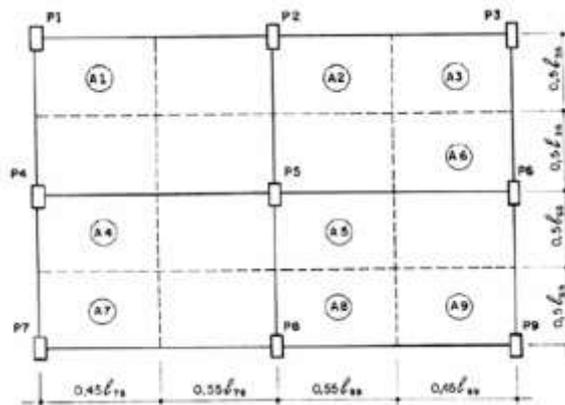


Figura 4: Comprimento das áreas de influência.  
Fonte: Giongo, 2007.

Com o valor das áreas de influência do pilar e o valor da ação exercida pela área, é obtido o valor da ação total ( $N_{ki}$ ).

$$N_{ki} = (n + 0,7) \cdot (g + q) \cdot A_i \text{ (Equação 4)}$$

n = número de andares acima do pilar a ser dimensionado

(g+q) = ação exercida (kN/m<sup>2</sup>)

$A_i$  = área de influência (m<sup>2</sup>)

A utilização do 0,7 representa a possibilidade de utilização do último pavimento como sauna, piscina, bar e outros, de modo que são adicionados 70% da ação de um pavimento-tipo.

#### 2.4.2 Método de Fusco

O método citado e simplificado por Bastos (2015), que foi desenvolvido por Fusco, é uma simplificação do pré-dimensionamento dos pilares, a qual chegou às seguintes equações.

Pilar intermediário e borda:

$$A_c = \frac{N_d}{0,5 \cdot f_{ck} + 0,4} \text{ (Equação 5)}$$

Pilar de canto:

$$A_c = \frac{1,5 \cdot N_d}{0,5 \cdot f_{ck} + 0,4} \text{ (Equação 6)}$$

Para a obtenção da carga de cálculo utilizada no método de Bastos, é multiplicado o valor da carga por dois coeficientes, sendo estes: o coeficiente referente a menor dimensão utilizada no pilar  $\gamma_{corr}$  e a ação exercida  $\gamma_{corr}$ .

Os coeficientes em questão são obtidos nas tabelas 1 e 2 na ABNT (2014).

Tabela 1. Coeficientes de correção segundo a menor dimensão do pilar

b cm	≥ 19	18	17	16	15	14	13	12
$\gamma_n$	1,00	1,05	1,10	1,15	1,20	1,25	1,30	1,35

Onde:  
 $\gamma_n = 1,95 - 0,05 b$ ;  
**b** é a menor dimensão da seção transversal do pilar.  
 NOTA O coeficiente  $\gamma_n$  deve majorar os esforços solicitantes finais de cálculo nos pilares, quando de seu dimensionamento.

Fonte: ABNT, 2014.

Tabela 2. Coeficientes de correção segundo o tipo de ação

Combinações de ações	Ações							
	Permanentes (g)		Variáveis (q)		Protensão (p)		Recalques de apoio e retração	
	D	F	G	T	D	F	D	F
Normais	1,4 <sup>1)</sup>	1,0	1,4	1,2	1,2	0,9	1,2	0
Especiais ou de construção	1,3	1,0	1,2	1,0	1,2	0,9	1,2	0
Excepcionais	1,2	1,0	1,0	0	1,2	0,9	0	0

Onde:  
D é desfavorável, F é favorável, G representa as cargas variáveis em geral e T é a temperatura.  
<sup>1)</sup> Para as cargas permanentes de pequena variabilidade, como o peso próprio das estruturas, especialmente as pré-moldadas, esse coeficiente pode ser reduzido para 1,3.

Fonte: ABNT, 2014

### 2.4.3 Método de Melo

Outro método é o elaborado por Melo (2013), que foi desenvolvido a partir de outros métodos existentes na literatura com a intenção de desenvolver um método mais econômico e eficiente.

$$A_c = \left( \frac{N_d}{\sigma_{id}} \right) \cdot \gamma_{corr} \text{ (Equação 7)}$$

Para os valores de  $\sigma_{id}$  e  $\gamma_{corr}$  é utilizado duas tabelas 3 e 4, as quais dependentes do  $f_{ck}$  do concreto e a localização do pilar.

Tabela 1. Valores de  $\sigma_{id}$  para aços CA-50 p=2%

$f_{ck}$ (MPa)	20	25	30	35	40	45	50
$\sigma_{id}$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	203	233	263	293	322	352	382

Fonte: Melo, 2013.

Tabela 2. Coeficientes de correção segundo localização dos pilares

Posição dos pilares	Coeficiente $\gamma_{corr}$
Centro	1,5
Borda	2
Canto	4

Fonte: Melo, 2013.

Para o valor de  $N_d$  Melo faz uso de uma formula específica baseada nas características construtivas da edificação sendo estas o  $q_T$  e o  $q_C$ .

$$N_d = 1,4 A_j \left[ q_T (n_p + 0,7) + q_C \right] \text{ (Equação 8)}$$

Tabela 3. Carga das lajes

Valores de $q_T$	
Laje maciça ou nervurada, blocos de concreto	1500 kgf/m <sup>2</sup>
Laje maciça ou nervurada, tijolos cerâmicos	1200 kgf/m <sup>2</sup>
Laje nervurada, blocos leves (EPS)	1000 kgf/m <sup>2</sup>
Lajes não maciças, gesso acantonado	1800 kgf/m <sup>2</sup>

Fonte: Melo, 2013.

Tabela 4. Carga da cobertura

Valores de $q_C$	
Com telhas de concreto, com madeiramento	150 kgf/m <sup>2</sup>
Com telhas cerâmicas, com madeiramento	120 kgf/m <sup>2</sup>
Com telhas de fibrocimento, com madeiramento	50 kgf/m <sup>2</sup>
Com telhas de alumínio e estrutura de aço	40 kgf/m <sup>2</sup>
Com telhas de alumínio e estrutura de alumínio	30 kgf/m <sup>2</sup>

Fonte: Melo, 2013.

#### 2.4.4 Método de Bacarji-Pinheiro

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

$$A_C = \frac{\alpha \cdot A_i \cdot p(n + 0,7)}{\sigma_{id}} \text{ (Equação 9)}$$

$A_C$  = área da seção de concreto b x h (cm<sup>2</sup>);

$\alpha$  = coeficiente que leva em conta as excentricidades de carga;

$A_i$  = área de influência do pilar (cm<sup>2</sup>);

$p$  = carregamento uniformemente distribuído (peso próprio e carga acidental) (kN/cm<sup>2</sup>);

$n$  = 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;

A tensão ideal de cálculo  $\sigma_{id}$  é dada por:

$$\sigma_{id} = 0,85.f_{cd} + \rho\sigma_{s2} \text{ (Equação 10)}$$

Onde:

$f_{cd}$  = resistência de cálculo do concreto (kN/cm<sup>2</sup>);

$\rho$  = Taxa de armadura (kN/cm<sup>2</sup>);

$\sigma_{s2}$  = resistência de cálculo do aço relativa à deformação de 0,2% (kN/cm<sup>2</sup>);

Para o aço CA-50:  $\sigma_{s2} = 42$  kN/cm<sup>2</sup>.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

O projeto utilizou uma metodologia normatizada para fazer a comparação entre os dados dos métodos de pré-dimensionamento em edifícios de múltiplos pavimentos. Para a obtenção dos valores necessários para a conclusão do projeto será utilizado como recurso alguns materiais em conjunto com os métodos em questão.

#### 3.1 Materiais

##### 3.1.1 Eberick

O Eberick V10 é um software lançado pela empresa AltoQI Tecnologia em informática Ltda, desenvolvida para ambiente MS-DOS, somente em 1996 foi lançado para a plataforma Windows.

É um software de projetos estruturais que engloba as etapas de lançamento, análise da estrutura, dimensionamento e o detalhamento final dos elementos estruturais de concreto armado. Possui a capacidade de analisar a estrutura em um modelo de pórtico espacial, e contém diversos recursos de dimensionamento e detalhamento dos elementos, de acordo com a ABNT (2014).

##### 3.1.2 Microsoft Office Excel

O Microsoft Office Excel é um editor de planilhas produzido pela Microsoft para computadores que utilizam o sistema operacional Windows, macOS, Android e iOS. Possui ferramentas de cálculo, gráficos, tabelas dinâmicas e uma linguagem de programação chamada Visual Basic for Applications, que foi desenvolvida pela Microsoft.

O programa é formado por uma grade de células, que são organizadas por linhas numeradas e colunas nomeadas por letras, onde são formadas as operações aritméticas. Possui um grupo de funções com utilizações áreas de estatísticas, engenharia e financeiras, possuindo também funções gráficas.

#### 3.2 Métodos

A pesquisa desenvolveu-se em seis etapas:

- I. Elaboração do projeto arquitetônico;

- II. Concepção estrutural e definição das ações atuantes;
- III. Pré-dimensionamento dos pilares pelos métodos descritos;
- IV. Obtenção das áreas iniciais dos pilares pela média das obtidas pelos métodos;
- V. Dimensionamento e verificação dos elementos estruturais;
- VI. Obtenção das dimensões finais dos pilares e comparativo com os métodos de pré-dimensionamento.

### 3.2.1 Caracterização

Foram analisados edifícios com uma variação no número de pavimentos de 5, 10 e 15, com a função de analisar a influência causada pela diferença de altura, sendo que o edifício possui um pavimento térreo, uma cobertura e os pavimentos restantes sendo pavimentos tipo. As demais características existentes entre os edifícios são as mesmas, tendo as proporções em planta de 1:3.

Foi elaborado um projeto de um edifício cujos pavimentos são considerados como pavimento tipo, possuindo todos os pilares alinhados de modo que os pórticos possam ser solicitados por ações horizontais.

O projeto do pavimento tipo conta com quatro apartamentos simétricos em torno de um núcleo contendo dois elevadores e uma escada, com dimensão aproximada de 13m x 39m e área total de 493,8 m<sup>2</sup>. As paredes são de 15 cm e 20 cm e a seção dos pilares se manterá em todos os pavimentos. A planta arquitetônica e a planta da concepção estrutural podem ser vistas nas figuras 5 e 6 respectivamente

Também será considerado que o edifício possui o pé esquerdo de 3 m, assim como vãos próximos de 4 m entre os pilares como solução viável para vãos econômicos.



Figura 5: Projeto arquitetônico.

Fonte: Autor, 2017.



Figura 6:Projecção dos pilares e vigas.  
Fonte: Autor, 2017.

Para as lajes foi adotada uma espessura de 11 cm sendo estas nervuradas, com exceção das lajes que dão suporte as caixas d'água. Para os prédios de 15, 10 e 5 andares foi utilizado respectivamente duas caixas com volume de aproximadamente, 15.000 L, 10.000 L e 5.000 L.

As vigas possuem a espessura equivalentes das paredes e altura de 50 cm sendo assim 20 x 50 cm para as vigas externas e da escada e do elevador e 15 x 50 cm nas demais.

As ações variáveis foram obtidas da ABNT NBR (1980) para os ambientes, como 1,5 kN/m<sup>2</sup> -dormitórios, salas, cozinhas, banheiros e copa; 2 kN/m<sup>2</sup>– área de serviço, despensa, lavanderia e 3 kN/m<sup>2</sup> – escadas e corredores com acesso ao público. As cargas para o cálculo estrutural obtidas para o peso específico do concreto armado foi de 25 kN/m<sup>3</sup> e o peso específico para parede de tijolos furados de 13 kN/m<sup>3</sup>. Para o revestimento das lajes ( piso cerâmico e forro) utilizou-se o valor de 1,01 kN/m<sup>2</sup>.

Os pilares e as vigas serão constituídos de concreto armado e as lajes serão nervuradas, o tipo de concreto e aço utilizado será escolhido de modo a se aproximarem dos valores usualmente utilizados em edifícios de múltiplos pavimentos:

- Aço CA-50 (longitudinal) e aço CA-60 (estribos)
- Concreto C-35

No projeto foi considerado que as características do solo não influenciam para com o estudo, sendo assim foi desconsiderado a fundação no projeto. O limite do  $\gamma_z$  para a estabilidade global do edifício de 1,3 foi garantido para os três edifícios.

Considera-se que o edifício estará em um ambiente com baixo nível de agressividade, sendo classificado como CAA-II, considerando que as peças serão devidamente revestidas. Para o cálculo da ação do vento feito pelo Eberick o valor utilizado na velocidade é de 30m/s, característico da região de Sinop MT, que é representado pela área rasurada no mapa das isopletas na figura 7. Os fatores do cálculo de vento utilizado no software serão de:

- 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.

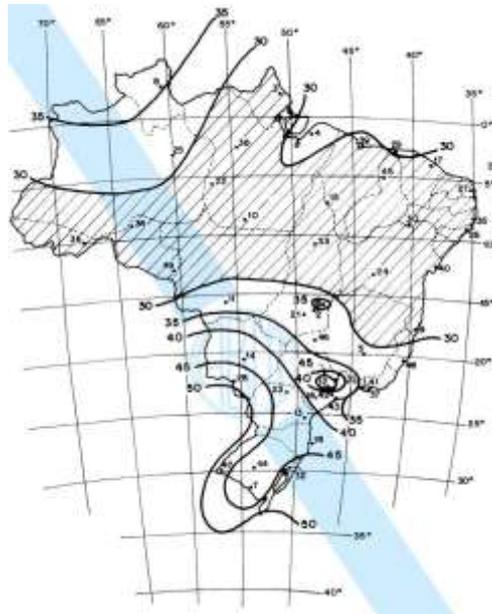


Figura 7: Mapa das isopletas.  
Fonte: ABNT, 1988.

### 3.2.2 Pré-dimensionamento dos pilares

Após a locação dos pilares foi obtida a área de influência e a classificação de sua localização, fazendo uso desses valores em conjunto das características da estrutura foi calculado as seções iniciais dos pilares para cada método.

A carga de peso utilizada para a obtenção do  $N_{ki}$  no método de Fusco foi de 10 kN/m<sup>2</sup>, sendo este o valor recomendado por Bastos (2015), para a obtenção dos coeficientes no método de Bastos a menor dimensão possível nos pilares utilizada foi de 15 cm, tendo o primeiro coeficiente de 1,2 e sendo uma carga de compressão o segundo coeficiente é de 1,4, sendo a configuração final de 1,68.

No método de Bacarji-Pinheiro foi utilizado 12 kN/m<sup>2</sup> para obtenção do carregamento. Enquanto para a obter a carga no método desenvolvido por Melo foi considerada como laje maciça ou nervurada, com tijolos cerâmicos e foi desconsiderada a carga da cobertura pela mesma estar inclusa nos pavimentos.

Para uma análise mais eficiente os pilares dimensionados foram os pilares do primeiro pavimento sendo que estes sofrem uma maior ação superior e possuem uma área de seção superior.

Após a obtenção das dimensões dos pilares em cada método foi feita uma média dos mesmos para a utilização na estrutura. Foram utilizadas seções com dimensões inteiras múltiplas de 5 cm.

De acordo com a ABNT NBR (2014), a área da seção transversal do pilar deve ter no mínimo 360 cm<sup>2</sup>. 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 cm.

### 3.2.3 Análise da estrutura

Por fim, os pilares foram otimizados, de modo que a sua porcentagem em área de aço fosse mantida entre 2% e 4% e seu  $M_{sd}/M_{rd}$  se mantenha mais próximo de 1,00, para obter uma estrutura mais econômica.

### 3.2.4 Comparação de resultados

Para a comparação da eficiência dos métodos de pré-dimensionamento foi utilizado o erro relativo, do erro percentual e do erro percentual absoluto médio, MAPE (mean absolute percentage error), entre os valores obtidos do Eberick e os obtidos pelos métodos.

O método utilizado para a obtenção do erro absoluto é feito da seguinte forma:

$$E_a = A_a - A_e \text{ (Equação 11)}$$

$$E_r = \frac{E_a}{A_e} \text{ (Equação 12)}$$

$$E_p = A_r \cdot 100 \text{ (Equação 13)}$$

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |E_{pi}| \text{ (Equação 14)}$$

Onde:

$E_a$  = erro absoluto;

$E_r$  = erro relativo;

$E_p$  = 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*.

A análise do erro foi dividida em quatro grupos sendo estes o geral, que representa todos os pilares, e os de canto, extremidade e interno. Para aumentar a eficiência na metodologia cada edifício recebeu uma nomenclatura própria sendo estas em ordem alfabética sendo assim, caso “A” de 15 pavimentos, caso “B” de 10 pavimentos e caso “C” de 5 pavimentos.

## 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 imagem 8.

A partir dos dados apresentados no gráfico é possível constatar que no caso “A” Bacarji-Pinheiro se mostra o método mais eficiente, de modo geral, possuindo um erro de 20,50%.

Analisando os pilares de acordo com sua classificação na localização é possível constatar que o método de Bacarji-Pinheiro se mostra superior aos outros dois nas três posições, demonstrando uma diferença em especial nos pilares de borda, assim como uma pequena vantagem sobre o método de Fusco nos pilares de canto.

Também é possível observar o erro elevado que os pilares de canto possuem no método de Melo em comparação com os outros dois métodos.

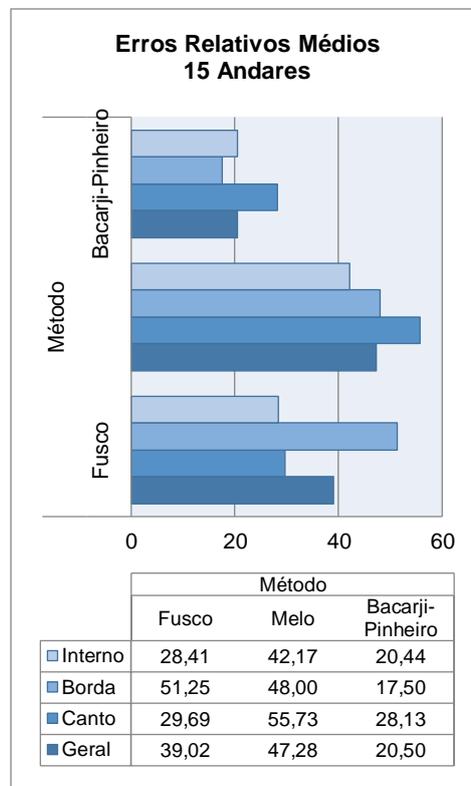


Figura 8:Gráfico do caso “A”.

Fonte: Autor, 2017.

#### 4.2 Caso “B”

Como é possível observar na figura 9, o MAPE do caso “B” existe uma pequena diminuição nos erros de modo geral.

Pela comparação das informações obtidas no gráfico é possível constatar que no caso “A” Bacarji-Pinheiro continua se mostrando como o método mais eficiente, possuindo um erro total de 14,21%.

Analisando os pilares de acordo com sua classificação de localização é possível constatar que o método de Bacarji-Pinheiro continua se mostrando superior aos outros dois e todas as posições.

O método de Melo continua a ter um erro consideravelmente elevado nos pilares de canto em comparação com os outros dois métodos, podendo se dar pelo fato de o mesmo possuir um valor de correção especialmente elevado nos pilares que se encontram nesta posição.

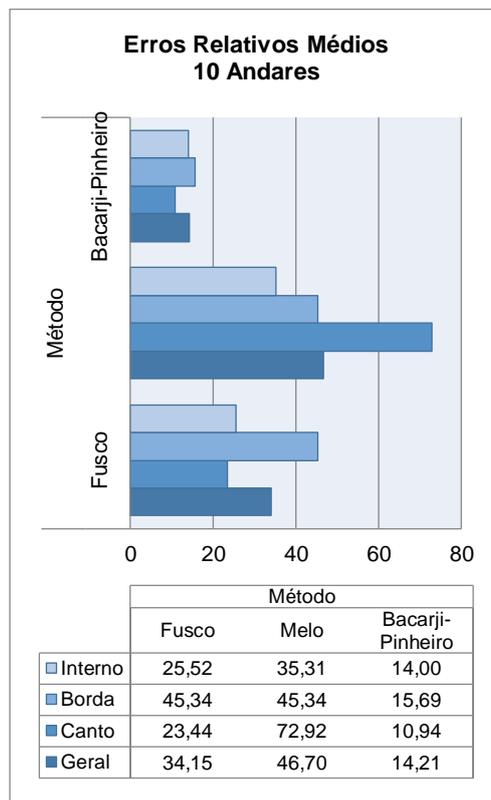


Figura 9:Gráfico do caso “B”.  
Fonte: Autor, 2017.

### 4.3 Caso “C”

No caso C é possível observar novamente pelo gráfico na figura 10 uma diminuição do MAPE, tendo como uma causa provável a influência do vento em edifícios de alto pavimento.

Neste edifício o método mais eficiente continua sendo o método de Bacarji-Pinheiro, sendo que ele possui um valor de 18,88% no MAPE dos pilares em geral. Também é visível que o método mantém uma vantagem nos pilares internos e de extremidade sendo o posterior mais acentuado, enquanto possui o mesmo valor que o de Fusco nos de canto.

De mesmo modo o método desenvolvido por Melo se demonstra o mais ineficiente dos três em especial nos pilares internos com uma elevação considerável dos erros nesta posição.

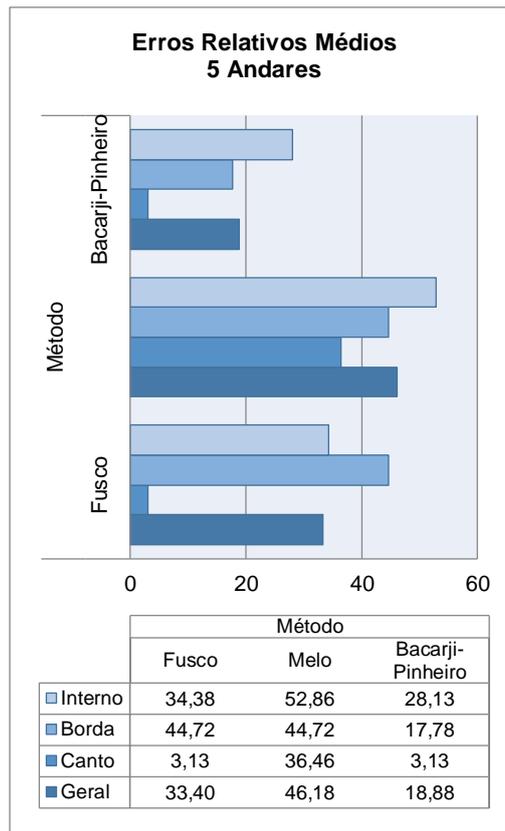


Figura 10:Gráfico do caso “C”.

Fonte: Autor, 2017.

#### 4.2 Caso Geral

A partir dos resultados obtidos é possível observar que o método que se mostra mais eficiente, entre os propostos, é o método de Bacarji-Pinheiro, com um MAPE médio de apenas 17,86%, o qual pode ser visto na Figura 11.

Enquanto o método de Melo se mostra superdimensionado, tendo um erro médio de 46,72%, sendo este substancialmente elevado, esse fato pode se dar pelo mesmo possuir um fator de correção consideravelmente elevado.

Para uma análise da variação da eficiência dos métodos, de acordo com a variação de número de pavimentos, pode ser utilizado o gráfico na figura 12.

A partir do gráfico é possível observar uma diminuição constante do número de erros gerais dos métodos, de acordo com a queda do número de pavimentos. Pela variação do MAPE nas localizações dos pilares é possível afirmar que a mesma é mais acentuada nos pilares de canto, seguida pelos de borda e finalmente uma falta de variação nos internos.

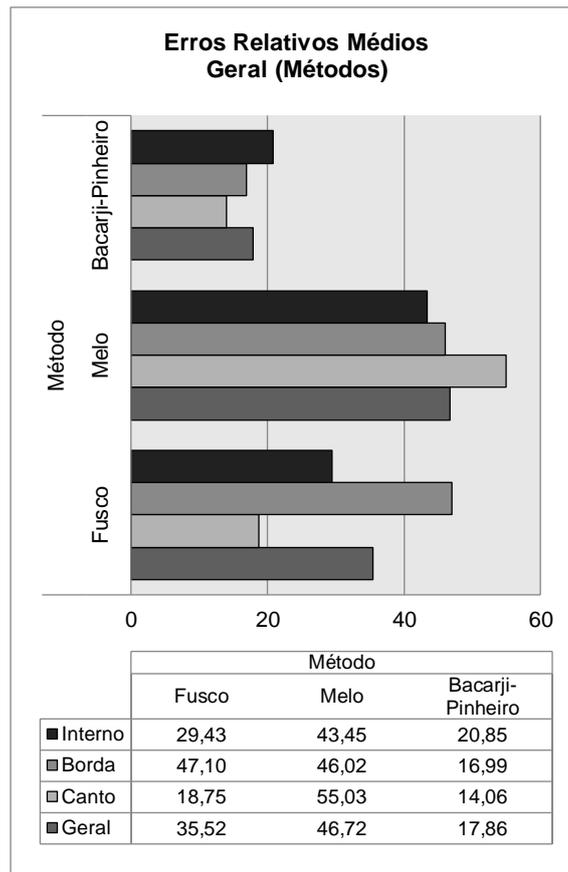


Figura 11:Gráfico geral.  
 Fonte: Autor, 2017.

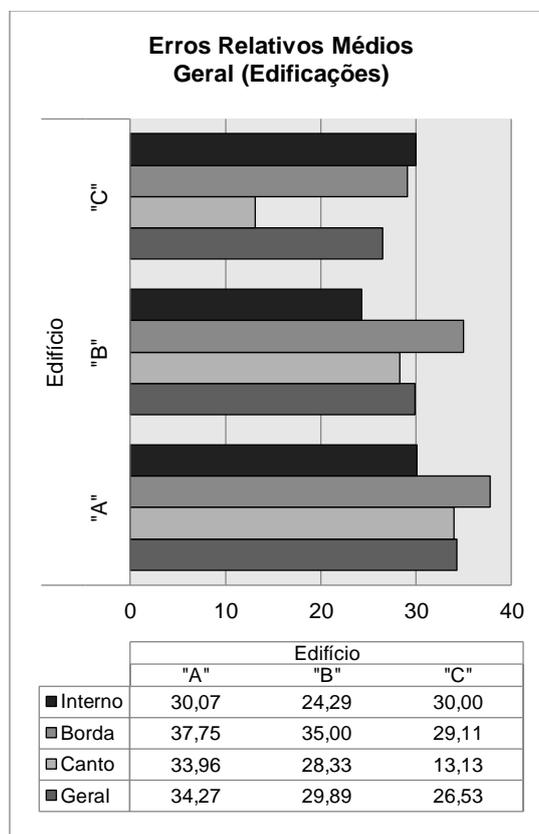


Figura 12:Gráfico geral.  
Fonte: Autor, 2017.

## 5. CONCLUSÃO

O desenvolvimento deste trabalho se deu pelo estudo da eficiência de três métodos de pré-dimensionamento de pilares, para três edifícios com número de pavimentos variados, fazendo uso da análise das estruturas a partir do software Eberick, tendo um total de 132 pilares estudados.

Foi obtido como resultado que o método de Bacarji-Pinheiro se mostrou o mais eficiente em todas as localizações dentre os três métodos analisados, enquanto por sua vez o método de Melo teve os piores resultados.

O método de Fusco demonstra um erro mais elevado nos pilares de canto, os quais elevaram a média de erros do mesmo, sendo que essa ocorrência pode se dar pelo fato de ser um método simplificado, que não desenvolve uma distinção mais precisa entre a localização das peças.

Uma das características que pode ser a maior causadora da diferença na eficiência dos métodos pode ser atribuída à influência do vento, pois o vento possui uma influência maior de acordo com a altura do edifício, assim como sua influência é superior em pilares de canto seguido pelo de borda. Outra observação é o fato de que os pilares com maior erro nos edifícios “A” e “B” se localizam nos cantos e bordas.

Uma das funções dos coeficientes de correção dos métodos é majorar o efeito do vento na estrutura, porém os mesmos possuem uma baixa precisão pela sua simplicidade.

Com os dados demonstrados, pode-se concluir que os métodos em questão não possuem uma análise específica da influência do vento na edificação, desde a variação da velocidade do mesmo até a variação de altura do edifício, e isso faz com que edifícios mais altos apresentem erros maiores, principalmente em pilares de canto e borda.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVA, G. M. (2007). **Concepção estrutural de edifícios em concreto armado**. Santa Maria: Universidade federal de santa maria.

ARAÚJO, J. M. (2014). **Curso de Concreto Armado** (4ª ed., Vol. I). Rio Grande, Rio Grande, Brasil: DUNAS.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6120: **Cargas para o cálculo de estruturas de edificações**. Rio de Janeiro, 1980

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118: **Projeto de estruturas de concreto - Procedimento**. Rio de Janeiro, 2014

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6123: **Forças devidas ao vento em edificações**. Rio de Janeiro, 1988

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7480: **Aço destinado a armaduras para estruturas de concreto armado** – Especificações, Rio de Janeiro, 2007

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8681: **Ações e segurança nas estruturas - Procedimento**. Rio de Janeiro, 2003

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8953 **Concreto para fins estruturais - Classificação por grupos de resistência**. Rio de Janeiro, 1990

BACARJI, E. (1993). **Análise de estruturas de edifício: projeto de pilares**. São Carlos: Universidade de São Paulo.

BACARJI, E.; PINHEIRO, L. M. **Concepção estrutural e pré-dimensionamento de pilares**. In: CONGRESSO TÉCNICO CIENTÍFICO DE ENGENHARIA CIVIL. Florianópolis, 1996.

BASTOS, P. S. (2015). **Pilares de concreto armado**. Bauru: Universidade Estadual Paulista.

GIONGO, J. S. (2007). **Concreto Armado: Projeto estrutural de edifícios**. São Carlos : USP.

MELO, P. R. (2013). **Pré-dimensionamento de estruturas de madeira, de aço e de concreto para auxílio à concepção de projetos arquitetônicos**. Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia.

MORAES, S. B. (2013). **Dimensionamento de pilares com concreto de alto desempenho em estruturas de edifícios**. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro.

PINHEIRO, L. M. (2007). **Fundamentos do concreto e projeto de edifícios**. São Carlos: USP.

SANTOS, P. R. (2014). **Análise e cálculo de elementos estruturais em concreto armado de um edifício residencial**. Florianópolis: Universidade Federal De Santa Catarina.

VERA, A. V. (2017). **Análise do pré-dimensionamento de pilares em edifícios de múltiplos pavimentos em concreto armado (relação geométrica em planta de 1:4)**. Sinop: Universidade Estadual do Mato Grosso