

ESTUDO COMPARATIVO DA INFLUÊNCIA DA DIREÇÃO DE MAIOR INÉRCIA DE PILARES EM EDIFÍCIO DE TRÊS PAVIMENTOS COM O AUXÍLIO DE FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS

Maria Laura de Sousa Santos¹

Kevin Reiny Rocha Mota²

RESUMO

Quando um engenheiro elabora determinado projeto, não significa somente desenhar pensando na arquitetura dos sonhos, com formas e acabamentos deslumbrantes, mas também em toda uma concepção que engloba uma construção segura e econômica. Em suas atribuições, se responsabiliza por todo o dimensionamento de pilares, vigas e lajes. De acordo com o seu conhecimento ele estipula qual a melhor posição de determinado elemento estrutural e sua direção para o lançamento do conjunto. Considerada uma das fases mais importantes do projeto, pois será a base de toda a estrutura e o mau posicionamento ou mesmo a má avaliação do dimensionamento pode ocasionar diversos problemas como estruturas pouco estáveis do ponto de vista global, estruturas que não atendem as condições de serviço ou até mesmo a um aumento no custo da estrutura. O engenheiro precisa assegurar a estabilidade e a segurança da edificação, devido aos esforços de cargas permanentes e acidentais e as ações do vento nas mudanças de direção dos pilares que sustentam toda a estrutura de concreto armado. A influência na direção dos pilares, pode causar um ganho muito grande na economia, a sua posição de forma correta, pode diminuir a quantidade de barras, que resistirá da mesma forma aos esforços solicitantes. Apresentou-se e levantou-se a quantidade de aço necessária para a execução do conjunto de pilares, expondo em tabelas e gráficos qual das concepções trará maior economia nas armaduras para a obra.

Palavras chave: Concepção estrutural; viga; pilar; laje.

¹ Graduando Engenharia Civil pelo Centro Universitário Mário Palmério - UNIFUCAMP

² Graduado em Engenharia Civil e Mestre em Recursos Hídricos e Saneamento pela Universidade Federal de Uberlândia – UFU

ABSTRACT

When an engineer prepares a project, it means not only designing with the dream architecture in mind, with stunning shapes and finishes, but also a whole design that encompasses a safe and economical construction. In its duties, it is responsible for all the design of pillars, beams and slabs. According to his knowledge he stipulates the best position of a given structural element and its direction for launching the set. Considered one of the most important phases of the project, as it will be the basis of the entire structure and poor positioning or even poor sizing assessment can cause various problems such as structures that are not stable from a global point of view, structures that do not meet the service conditions. or even an increase in the cost of the structure. The engineer needs to ensure the stability and safety of the building due to the efforts of permanent and accidental loads and the wind actions in the direction changes of the pillars that support the entire reinforced concrete structure. The influence on the direction of the pillars can cause a very big gain in the economy, their position correctly, can decrease the amount of bars, which will resist the requesting efforts in the same way. The amount of steel needed for the execution of the set of columns was presented and raised, exposing in tables and graphs which of the designs will bring greater savings in the reinforcement for the work.

Keywords: Structural design; beam; cornerstone; slab.

1 INTRODUÇÃO

A construção Civil é o ramo da engenharia que incorpora a concepção, projeto, construção e a manutenção de todos os tipos de infraestrutura necessários ao bem estar e desenvolvimento da sociedade, sem prejudicar o meio ambiente.

Desde o início da humanidade, os seres humanos construíam suas próprias moradias com materiais que eram encontrados na natureza, como por exemplo a pedra. Como todo material, ela possuía suas vantagens e desvantagens, quando utilizada como pilar, ela resistia bem aos esforços de compressão, porém quando usada como viga para vencer vãos não tão grandes, ela não resistia tão bem aos esforços de tração e então ela se rompia. Por esse motivo, determinados vãos não podiam ser vencidos com vigas de pedra.

Com o passar do tempo foi criado o concreto, um material de construção que se assemelha a uma pedra. Como o concreto e a pedra resistem bem a compressão, surgiu então a ideia do concreto armado (aço na parte inferior do concreto), que irá resistir tanto a tração quanto a compressão para pilares, vigas e lajes (CARVALHO, 2001).

Um dos principais aspectos da construção civil é engenharia estrutural. Ela obtém uma estrutura capaz de suportar seu peso próprio juntamente com cargas resistindo. Seus elementos estruturais são a parte mais importante de uma obra no que diz respeito à segurança. Para se alcançar uma estrutura segura, e econômica é indispensável uma concepção estrutural bem feita e que atenda às necessidades de cada edificação (CARVALHO, 2001).

Todo elemento estrutural possui uma propriedade geométrica em sua seção, que denomina-se momento de inercia de área. Na física o momento de inércia é uma relação entre as tensões e deformações que surgem por flexão no elemento. Uma determinada força aplicada a uma certa distância, invertendo a direção em dado eixo. Por exemplo, quando o momento fletor da menor dimensão (direção B) de um pilar é maior que o momento da maior dimensão (direção H), exige um número maior de barras no pilar pois o braço de alavanca na direção B é menor. Então, temos a opção de rotacionar esse pilar, de modo que o maior momento fletor passaria a atuar na direção de maior seção (KIRSTEN, 2017).

Dentro da concepção, não se pode deixar de citar o papel importantíssimo que o vento exerce sobre as edificações. Em construções baixas e pesadas o vento não é considerado um problema, visto que em construções esbeltas é um fator muito importante a ser analisado na hora de elaborar um projeto. É estabelecida uma norma (NBR 6123/1988) “Forças devido ao vento em edificações” que especifica os critérios para a determinação das forças devidas ao vento.

Em análise do conjunto, é possível unir todos os fatores que podem afetar um estrutura e assim criar um projeto com uma concepção segura e estável, de acordo com as exigências estabelecidas pela Norma.

1.1 Objetivo Geral

O artigo tem como objetivo comparar a influência da direção de maior inercia de pilares em edifícios com o auxílio das ferramentas computacionais Autocad 2018 e Eberick v8 Gold, analisando assim a economia da obra sem alterar na segurança da edificação e obedecendo as normas estabelecidas pela NBR 6118/2014.

1.1.1 Objetivos Específicos

- Elaborar um projeto de um edifício com três pavimentos para definir o posicionamento dos seus pilares.
- Analisar a influência na mudança de direção de pilares para comparação da economia de materiais em ambas as direções.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Concepção Estrutural

2.1.1 Sistemas e Elementos estruturais

É importante inicialmente, saber a diferença entre sistemas e elementos estruturais e analisar o comportamento de uma estrutura no que diz respeito a resistência de diversas ações e que garante o equilíbrio das edificações. Os elementos estruturais são as peças que compõem a estrutura (pilar, viga e laje) e sistema estrutural é o modo como elas são colocadas.

É dentro da concepção que definimos como e onde está a estrutura e determinaremos posições e dimensões das peças estruturais de acordo com o projeto arquitetônico e para iniciar determinada concepção a melhor forma é saber o conceito de cada elemento.

2.1.2 Conceitos de Pilar, Viga e Laje

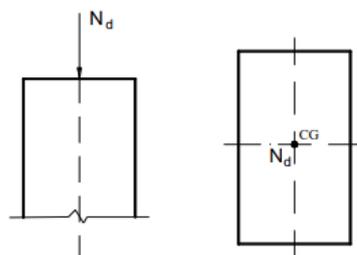
Pilar é um elemento estrutural vertical, que recebe cargas de compressão atuando sobre si, e que objetavam receber todas as cargas (principalmente a das vigas e a das lajes), que atuam sobre um pavimento, transmitidas pelas ações das vigas, sendo que seu peso próprio também fornece carga, mesmo que pequeno em relação as outras cargas atuantes (BASTOS, 2017).

Os pilares possuem o momento de inércia de área, que é uma propriedade geométrica da seção transversal de elementos estruturais, basicamente as forças aplicadas na área que variam com a distância, invertendo sua direção em determinado eixo (PORTO, 2017).

Para dimensionar um pilar deve se considerar os esforços a que estão submetidos (forças normais, compressivas, e em poucos casos a flexão) (BASTOS, 2017).

Na compressão simples, a força é aplicada no centro geométrico da seção transversal do pilar, cujas tensões são uniformes (Figura 1) (BASTOS, 2017).

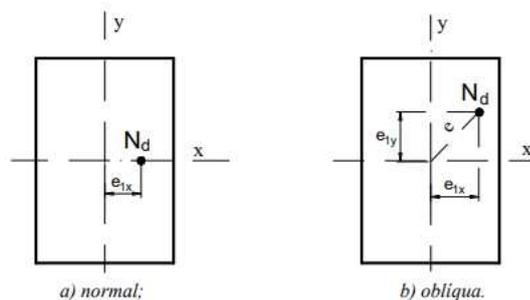
Figura 1 – Solicitação de compressão simples ou uniforme.



Fonte: Bastos. 2017

A flexão composta é o oposto da simples, a carga normal não atua sobre o centro de gravidade do pilar, é uma combinação da força normal com o momento fletor, obtida da excentricidade da mesma. Neste caso, temos a flexão composta normal que existe a força normal e um momento fletor em uma direção, e a flexão composta oblíqua que existe a força normal e dois momentos fletores, relativos às duas direções principais do pilar (Figura 2) (BASTOS, 2017).

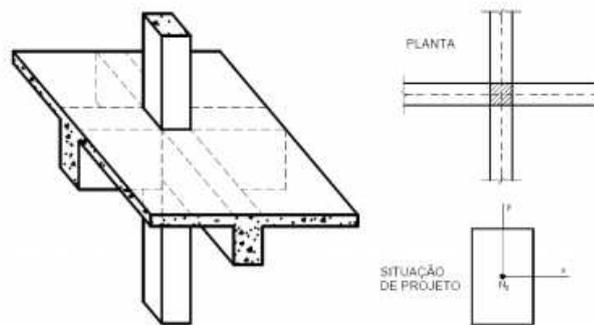
Figura 2 – Tipos de Flexão Composta



Fonte: Bastos. 2017

Dependendo a posição do pilar na estrutura ele pode ser classificado como intermediário, extremidade e de canto. Os intermediários são aqueles em que não possui excentricidade inicial de carga que considera a compressão centrada, pois como as lajes e vigas são contínuas sobre o pilar os momentos fletores podem ser desprezíveis por serem pequenos (Figura 3) (BASTOS, 2017).

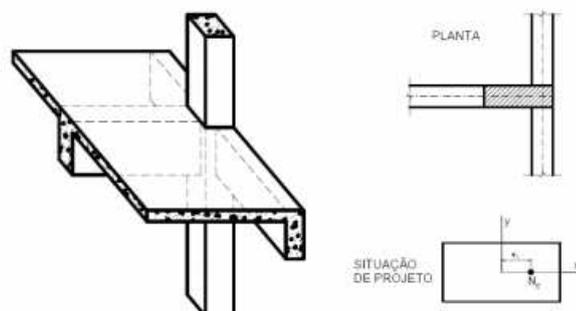
Figura 3 – Arranjo estrutural e situação de projeto dos pilares intermediários



Fonte: Bastos. 2017

Os pilares de extremidade geralmente são posicionados nas bordas dos edifícios, que são submetidos a flexão composta e atua juntamente com o momento fletor cuja ação coincide com o eixo principal do pilar. Momento Fletor é um esforço na qual tende a “curvar” um elemento estrutural. Estes pilares estão submetidos à flexão normal composta devido à interrupção da viga sobre o pilar que é perpendicular a extremidade conforme a Figura 4 (BASTOS, 2017).

Figura 4 – Arranjo estrutural e situação de projeto dos pilares de extremidade

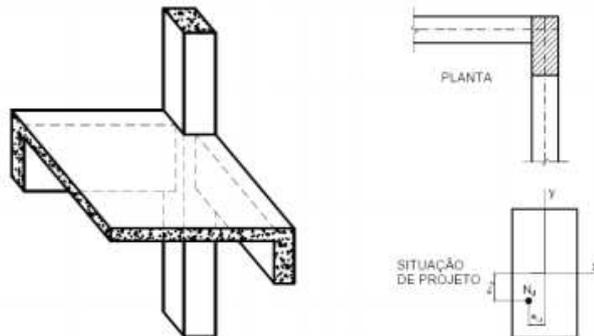


Fonte: Bastos. 2017

Os pilares de canto, de modo geral, encontram-se localizados no canto da estrutura, como mostrado na Figura 5 e estão submetidos à flexão composta oblíqua, que decorre da interrupção

das vigas perpendiculares às bordas do pilar. Nas seções do topo e da base dos pilares de canto ocorrem excentricidades de 1ª ordem nas duas direções do pilar gerando momentos de 1ª ordem nas extremidades do pilar, nas duas direções (BASTOS, 2017).

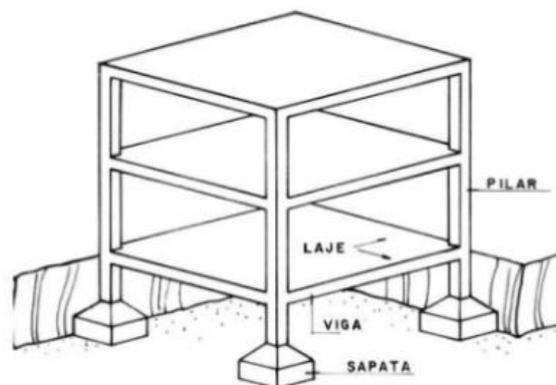
Figura 5 – Arranjo estrutural e situação de projeto dos pilares de canto



Fonte: Bastos. 2017

As Vigas são elementos na horizontal que dão apoio e recebem as cargas distribuídas e uniformes das lajes transmitindo para os pilares. Além de suportar seu peso próprio e das paredes, em alguns casos também temos o peso do pilar sobre a viga (transição). E as lajes são elementos estruturais que realizam a ligação entre os pavimentos podendo dar suporte ao contrapiso ou ser utilizada como teto. Usualmente apoiam-se em vigas, que apoiam em pilares e distribuem as cargas para a fundação (Figura 6) (ALVES, 2014).

Figura 6 – Representação de viga e laje.



Fonte: Alves. 2014

2.2 Ação do vento

Costa (2016) define o vento como a movimentação de massa de ar que é ocasionada devido as variações de temperatura e de pressão que ocorrem no ambiente. Essa massa se movimenta, possui energia cinética e apresenta inércia as mudanças do deslocamento e, para entender essas mudanças, existem dois fatores que mais predominam quando há ventos de grandes proporções, pela diferença de calor do equador e dos polos e a rotação do planeta.

O vento causa esforços denominados pressão (resume em tentar derrubar a parede. Não conseguindo derrubar a parede, ele desvia e sobe, destruindo o que ele encontrar pelo caminho) e sucção (puxa a estrutura para cima, geralmente coberturas) sempre de forma variada, contínua ou intermitente, que traz efeitos indesejáveis, se não forem considerados nas edificações. Os esforços ocasionados pelo vento dependem de alguns aspectos aerodinâmicos, formas, aspectos meteorológicos e velocidade e sempre devem ser considerados os efeitos que ocasionam em edifícios mais altos (ARAUJO, 2016).

Os edifícios precisam ser calculados levando em consideração as forças horizontais, provocadas pelo vento. Os pilares nas regiões próximas ao vento estarão sujeitas as trações devido o vento e as compressões devido as cargas da própria estrutura. O cálculo leva em consideração todas as cargas e a deformação da estrutura devido as essas forças horizontais.

A NBR 6123 (1988) – Forças devido ao vento em edificações (ABNT) estabelece um procedimento para o cálculo das forças devidas ao vento e os efeitos que ele causa na estrutura. As pressões dinâmicas que o vento ocasiona na estrutura são convertidas em forças estáticas, que agem sobre a superfície perpendicular à direção do vento.

No projeto estrutural de edifícios, o vento é fisicamente representado por um perfil de velocidade incidindo em uma edificação. Suas características e os efeitos por ele gerados em um edifício dependem da geometria da edificação, da região, do tipo de terreno e dos obstáculos entrepostos (ARAUJO, 2016).

Segundo Araújo (2016), é importante que sejam consideradas as características construtivas e estruturais da edificação que vai sofrer as ações do vento; essas características vão originar pouca ou nenhuma continuidade estrutural. Podem surgir em edificações que possuem juntas que separem a edificação em duas ou mais partes, são tornadas em estruturas independentes e edificações que apresentam pouca rigidez na direção perpendicular à direção que o vento atua sobre a estrutura.

A NBR 6123 (ABNT, 1988) faz uma divisão das edificações em três partes, considerando espaços de tempo para o cálculo da velocidade média entre 3, 5 e 10 segundos e com dimensões máximas na vertical e horizontal com 20, 50 e 80 metros:

- Classe A: Considera toda a edificação em que a maior dimensão vertical ou horizontal não ultrapasse 20 metros;
- Classe B: Considera toda a edificação em que a maior dimensão vertical ou horizontal da superfície frontal se enquadre entre 20 e 50 metros.
- Classe C: Deve ser considerado quando toda edificação em que a maior dimensão vertical ou horizontal da superfície frontal ultrapasse 50 metros (NBR 6123, ABNT, 1988).

Nas edificações é utilizado um sistema de proteção chamado de contraventamento, que são formados por pilares, vigas, lajes e paredes. Podem ser constituídos por porticos formados por pilares-vigas, pilares-paredes, enrijecedores inclinados formando treliças, núcleos rígidos formados pela associação de pilares-paredes ou ainda a utilização de sistemas tubulares, formados pela associação de elementos rígidos no contorno das fachadas (LONGO, 2019).

É muito importante que os elementos de contraventamento estejam bem definidos, de modo que as alterações sejam aplicadas sobre os pilares e vigas corretos. Desta maneira obtém-se um resultado mais satisfatório, sem a necessidade de grandes alterações na seção dos elementos (LONGO, 2019).

2.3 Efeitos locais de 1ª ordem em pilares

Os efeitos de 1ª ordem são aqueles cuja análise é feita considerando o equilíbrio da estrutura num determinado nível de solicitações com sua configuração geométrica inicial, não deformada (PINTO, 2017).

O exemplo a seguir, mostra com clareza e de uma forma simplificada os efeitos de 1ª ordem em uma estrutura. Um determinado pilar engastado na base, com uma carga aplicada no centro do topo. Em seguida, vamos aplicar uma carga horizontal também em seu topo, sendo que esta carga irá gerar um momento fletor de engastamento na base. Posteriormente a estrutura irá se deformar, e este é o efeito de primeira ordem. Figura 7 (PINTO, 2017).

Figura 7 Efeito de Primeira Ordem



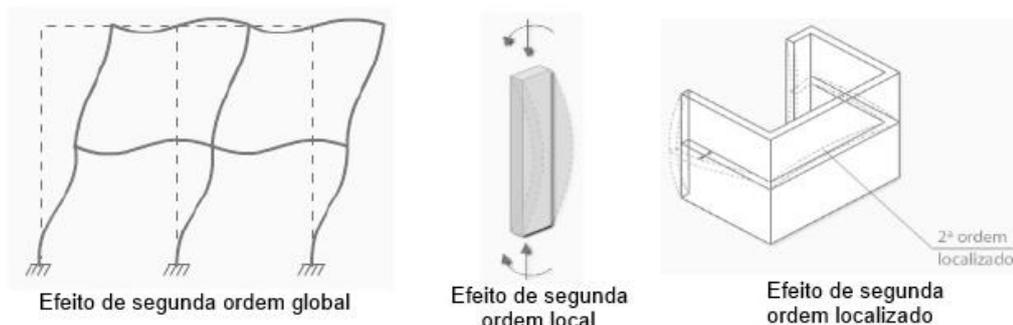
Fonte: AltoQi

2.4 Efeitos locais de 2ª ordem em pilares

Os efeitos de 2ª ordem são aqueles que se adicionam aos obtidos na análise de 1ª ordem. Esse acréscimo de momento é um efeito de segunda ordem, pois é um esforço que surgiu na análise da estrutura já deformada. A avaliação do equilíbrio passa a ser efetuada considerando a configuração deformada. Esses efeitos podem ser desprezados quando não representem acréscimos superiores a 10% dos efeitos de 1ª ordem. Para elementos isolados, os efeitos de 2ª ordem podem ser desprezados também quando o índice de esbeltez (medida utilizada para estimar com que facilidade um pilar irá encurvar) for menor do que o valor de esbeltez limite ($\lambda \leq \lambda_1$). Segundo a NBR 6118:2003, a análise com efeitos de 2ª ordem deve ser feita de modo a assegurar que, para as combinações mais desfavoráveis das ações de cálculo, não ocorra perda de estabilidade, nem esgotamento da capacidade resistente de cálculo (PINTO, 2017).

Os efeitos de segunda ordem podem ser classificados em global, local e localizados conforme a Figura 8.

Figura 8 Efeitos de segunda ordem global, local e localizados



Fonte: AltoQi

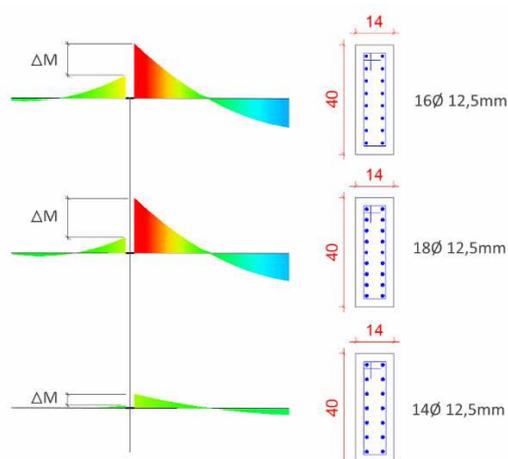
Em algumas situações, o momento de segunda ordem local (M2d) em um pilar pode ter influência considerável no seu dimensionamento. Dependem basicamente do índice de esbeltez do pilar analisado e da compressão a que ele está submetido. Quanto maior for a esbeltez de um pilar, maior é o valor de M2d. Quando um pilar não está travado em sua direção de menor inércia o comprimento de flambagem destes pilares é maior do que se os mesmos fossem travados em suas duas direções, desta forma a esbeltez dos mesmos também é maior e consequentemente os momentos de segunda ordem que atuam sobre estes pilares tem maior influência no dimensionamento dos mesmos (KIRSTEN, 2017).

Uma forma de otimizar o dimensionamento deste pilar é lançar vigas de travamento para ele. Deste modo reduz-se o comprimento de esbeltez do pilar e consequentemente reduz-se o momento de segunda ordem local dele (M2d) e consequentemente o mesmo pôde ser dimensionado com um número muito menor de barras (KIRSTEN, 2017).

2.5 Modificação e otimização do posicionamento do pilar

A Primeira coisa a se fazer, é analisar os momentos fletores do pilar. Determinado pilar se situa no meio de duas vigas, se uma viga for maior que a outra, analisando os diagramas de momento fletor nessa região, vemos a diferença entre os vãos da viga, que causam uma descontinuidade sobre os momentos flettores sobre este pilar. A somatória dos momentos em relação a um nó da estrutura deve ser sempre igual a zero, para uma condição de equilíbrio. Entao, a estratégia consiste em mudar a posição do pilar para reduzir o mometo fletor de cálculo. Observe na Figura 9 (PINTOS, 2019).

Figura 9



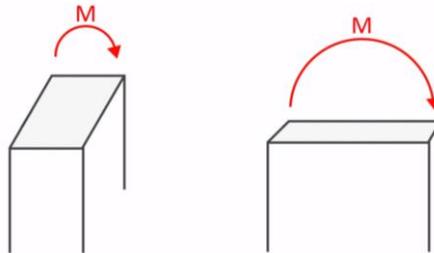
Fonte: AltoQi

A parcela Δm é transmitida para o pilar, nesse caso se reposicionarmos o pilar no meio exato, entre duas vigas, fazendo a estrutura tornar simétrica. O resultado reflete no dimensionamento do pilar onde a quantidade de barras diminuirá (PINTOS, 2019).

2.6 Rotação da seção do pilar

Quando momentos elevados atuam na menor direção (menor inércia) do pilar, a área de aço calculada pode dar valores mais elevados se comparado que esse momento fosse aplicados na outra direção (maior inércia), como mostra a Figura 10 (PINTOS, 2019).

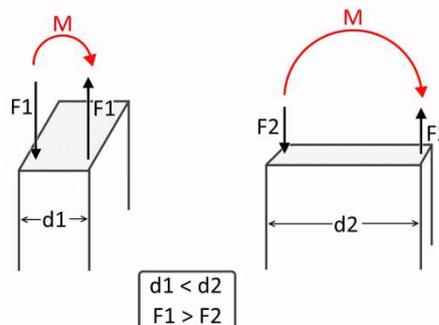
Figura 10 Momento em ambas direções do pilar



Fonte: AltoQi

Isso acontece, porque para resistir ao esforço de momento fletor, o braço da alavanca seria menor, assim usando o mesmo valor de momento, a força necessária para obter o equilíbrio seria maior, o que conseqüentemente precisaríamos de mais barras de aço, como é mostrado na Figura 11 (PINTOS, 2019).

Figura 11 Forças aplicadas ao pilar



Fonte: AltoQi

2 METODOLOGIA

3.1 Área de estudo

A edificação será implantada na cidade de Abadia dos Dourados - MG, (Figura 12), localizada na bacia do Rio Paranaíba, fazendo divisa com Coromandel (Leste), Douradoquara (Oeste), Estado de Goiás (Norte) e Monte Carmelo (Sul). Conhecida pela festa de Nossa Senhora d'Abadia, a cidade recebe muitos fiéis e visitantes no mês de agosto.

Abadia dos Dourados possui aproximadamente 6.427 habitantes, segundo estimativas de 2018 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e está situada a uma altitude de 660 a 989 metros. Seu relevo é 45% montanhoso, 35% ondulado e apenas 20% plano, com altitude média de 741m. Características essas importantes para os estudos das ações do vento sobre a estrutura.

Figura 12 Vista Aérea de Abadia dos Dourados – MG



Fonte: Google Earth, 2019

As construções em Abadia são do tipo alvenaria convencional (utilizada para vedar e separar ambientes) onde toda a carga da estrutura é absorvida pelas lajes, vigas, pilares e fundação que é o sistema mais utilizado em construções no país. Isso por que essa técnica construtiva pode ser utilizada em diversos tipos de projetos, incluindo edificações muito altas.

O sistema adotado para a elaboração da tese seguirá o mesmo padrão visando a melhor concepção e locação dos pilares.

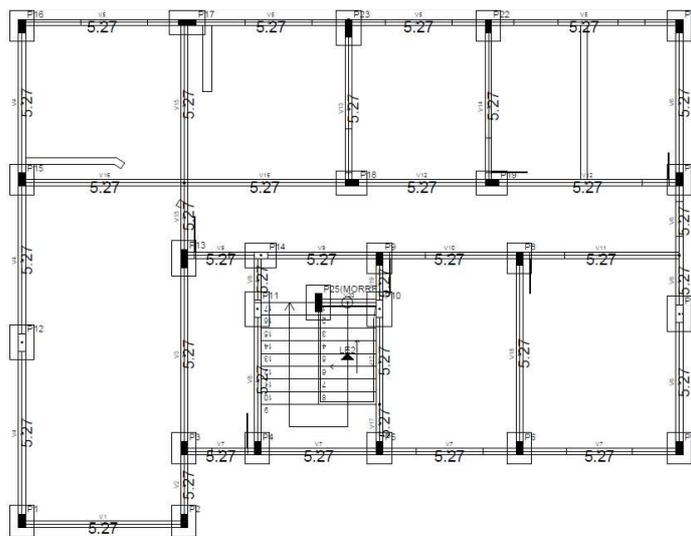
3.2 Objeto de Estudo

Foi desenvolvido um projeto de um edifício residencial de três pavimentos, sendo dois tipos, um térreo e cobertura, para fazer uma análise do posicionamento de pilares para verificar se ao alterar sua posição sua taxa de armadura diminuirá. Todos os pavimentos tipos seguiram a mesma medida do terreo.

A Edificação será construída de concreto armado com ligações rígidas, possui pé direito de 3 m, em uma área total construída de 125,96 m². As lajes terão 8 cm de espessura. E em sua fundação será utilizada sapatas, pois as características do solo resitirá bem a sua capacidade de carga.

A Figura 13 apresenta a planta com os pilares locados no modelo A, que possui dimensões de 15 x 30 e 15 x 40. Os pilares em negrito são os que irão ser rotacionados.

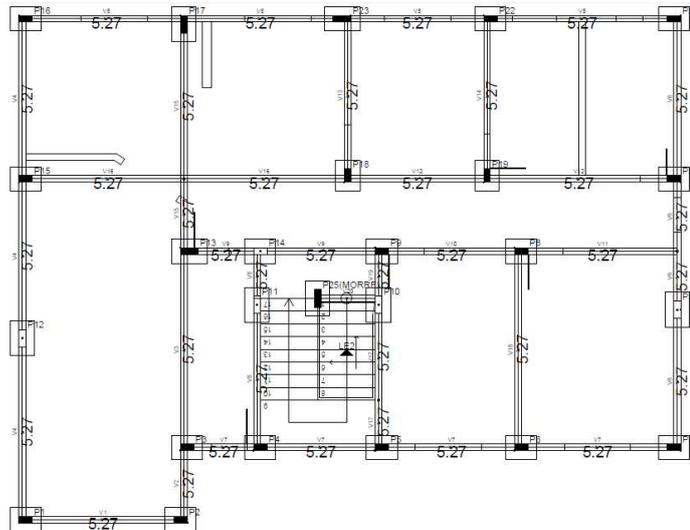
Figura 13 Posicionamento dos pilares no Modelo A



Fonte: O pesquisador (2019)

O modelo B, com o posicionamento dos pilares modificado está representa na Figura 14, e com as mesmas dimensões do modelo A.

Figura 14 Posicionamento dos pilares no Modelo B



Fonte: O pesquisador (2019)

Os carregamentos na estrutura são considerados no projeto de acordo com a NBR 6120 - Cargas para o cálculo de estruturas de edificações, como mostra a Tabela 1.

Tabela 1 Carregamentos das lajes no Pavimento Térreo e Pavimento 1

LAJE TÉRREO E PAVIMENTO 1		
	ACIDENTAL (KN/m²)	REVESTIMENTO (KN/m²)
DORMITÓRIOS E SALAS	1,5	1,125
COPA E COZINHA	1,5	1,185
BANHEIRO E ÁREA DE SERVIÇO	2,0	1,185
HALL	2,0	1,545

Fonte: O pesquisador (2019)

A laje do reservatório possui as cargas de acordo com a Tabela 2.

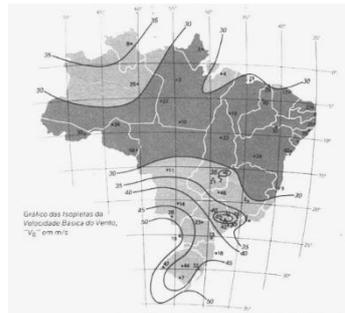
Tabela 2 Carregamento da laje do Reservatório

LAJE DO RESERVATÓRIO	
ACIDENTAL (KN/m²)	REVESTIMENTO (KN/m²)
0,5	1,185

Fonte: O pesquisador (2019)

A velocidade básica da região (V_0) foi obtida através do mapa de isopletas de vento (Figura 15), para a região de Abadia dos Dourados.

Figura 15 Mapa de isopletas de vento



Fonte: NBR 6123 (ABNT, 1988)

O fator topográfico (S_1) foi definido pela característica do terreno ser plano, com pouca irregularidade. E o fator de rugosidade (S_2), foi determinado de acordo com as dimensões da edificação, sua categoria de acordo com a NBR6123 como mostra a Tabela 3.

Tabela 3 Categorias de terreno

Definição de categorias de terreno segundo NBR6123/1988	
Categoria	Descrição do ambiente
I	mar calmo, lagos, rios, pântanos
II	campos de aviação, fazendas
III	casas de campo, fazendas com muros, subúrbios, com altura média dos obstáculos de 3,0m
IV	cidades pequenas, subúrbios densamente construídos, áreas industriais desenvolvidas, com muros, subúrbios, com altura média dos obstáculos de 10,0m
V	florestas com árvores altas, centros de grandes cidades, com altura média igual ou superior a 25,0m

Fonte: Fonte: NBR 6123 (ABNT, 1988)

E as classes através da dimensão da edificação de acordo com a Tabela 4.

Tabela 4 Classe da edificação

Classe	Descrição
A	Maior dimensão da superfície frontal menor ou igual a 20 metros
B	Maior dimensão da superfície frontal entre 20 e 50 metros
C	Maior dimensão da superfície frontal que 50 metros

Fonte: Fonte: NBR 6123 (ABNT, 1988)

O parâmetro z é a altura total da edificação. E o Fator s_2 e obtido na Tabela 5 através dos dados das Tabela 3 e 4.

Tabela 5 Fator S2

z (m)	Categoria														
	I			II			III			IV			V		
	Classe			Classe			Classe			Classe			Classe		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
≤ 5	1,06	1,04	1,01	0,94	0,92	0,89	0,88	0,86	0,82	0,79	0,76	0,73	0,74	0,72	0,67
10	1,10	1,09	1,06	1,00	0,98	0,95	0,94	0,92	0,88	0,86	0,83	0,80	0,74	0,72	0,67
15	1,13	1,12	1,09	1,04	1,02	0,99	0,98	0,96	0,93	0,90	0,88	0,84	0,79	0,76	0,72
20	1,15	1,14	1,12	1,06	1,04	1,02	1,01	0,99	0,96	0,93	0,91	0,88	0,82	0,80	0,76
30	1,17	1,17	1,15	1,10	1,08	1,06	1,05	1,03	1,00	0,98	0,96	0,93	0,87	0,85	0,82
40	1,20	1,19	1,17	1,13	1,11	1,09	1,08	1,06	1,04	1,01	0,99	0,96	0,91	0,89	0,86
50	1,21	1,21	1,19	1,15	1,13	1,12	1,10	1,09	1,06	1,04	1,02	0,99	0,94	0,93	0,89
60	1,22	1,22	1,21	1,16	1,15	1,14	1,12	1,11	1,09	1,07	1,04	1,02	0,97	0,95	0,92
80	1,25	1,24	1,23	1,19	1,18	1,17	1,16	1,14	1,12	1,10	1,08	1,06	1,01	1,00	0,97
100	1,26	1,26	1,25	1,22	1,21	1,20	1,18	1,17	1,15	1,13	1,11	1,09	1,05	1,03	1,01
120	1,28	1,28	1,27	1,24	1,23	1,22	1,20	1,20	1,18	1,16	1,14	1,12	1,07	1,06	1,04
140	1,29	1,29	1,28	1,25	1,24	1,24	1,22	1,22	1,20	1,18	1,16	1,14	1,10	1,09	1,07
160	1,30	1,30	1,29	1,27	1,26	1,25	1,24	1,23	1,22	1,20	1,18	1,16	1,12	1,11	1,10
180	1,31	1,31	1,31	1,28	1,27	1,27	1,26	1,25	1,23	1,22	1,20	1,18	1,14	1,14	1,12
200	1,32	1,32	1,32	1,29	1,28	1,28	1,27	1,26	1,25	1,23	1,21	1,20	1,16	1,16	1,14
250	1,34	1,34	1,33	1,31	1,31	1,31	1,30	1,29	1,28	1,27	1,25	1,23	1,20	1,20	1,18
300	-	-	-	1,34	1,33	1,33	1,32	1,32	1,31	1,29	1,27	1,26	1,23	1,23	1,22
350	-	-	-	-	-	-	1,34	1,34	1,33	1,32	1,30	1,29	1,26	1,26	1,26
400	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,34	1,32	1,32	1,29	1,29	1,29
420	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,35	1,35	1,33	1,30	1,30	1,30
450	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,32	1,32	1,32
500	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,34	1,34	1,34

Fonte: NBR 6123 (ABNT, 1988)

A Tabela 6 representa os valores da ação do vento na estrutura encontrados nas tabelas anteriores.

Tabela 6 Ação dos ventos na estrutura

AÇÃO DOS VENTOS	
VELOCIDADE BÁSICA DA REGIÃO (V_0)	35
FATOR TOPOGRÁFICO (S_1)	1
FATOR RUGOSIDADE (S_2)	1,13
FATOR PROBABILÍSTICO (S_3)	1

Fonte: O pesquisador (2019)

Ouro fator muito importante são as Classes de agressividade normativas. A norma NBR 6118:2014 possui diversas considerações e prescrições com o objetivo de garantir durabilidade das estruturas de concreto armado. Tais considerações dizem respeito a critérios de projeto a

serem adotados em função da classificação de agressividade do ambiente à estrutura, que visam proteger os elementos estruturais e garantir seu desempenho durante a vida útil de projeto. Esta série de artigos apresenta as principais prescrições normativas referentes à durabilidade das estruturas. (FRANCESCHI, 2019)

De acordo com o item 6.4.2 da norma NBR 6118:2014, a agressividade ambiental de uma estrutura em projeto deve ser classificada de acordo com a Tabela 7. Esta classificação está relacionada às ações físicas e químicas que atuam sobre as estruturas de concreto, independente das ações mecânicas, das variações volumétricas de origem térmica, da retração hidráulica e outras previstas no dimensionamento das estruturas de concreto. (FRANCESCHI, 2019)

Tabela 7 Classe de Agressividade Ambiental (CCA)

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fraca	Rural	Insignificante
		Submersa	
II	Moderada	Urbana ^{a, b}	Pequeno
III	Forte	Marinha ^a	Grande
		Industrial ^{a, b}	
IV	Muito forte	Industrial ^{a, c}	Elevado
		Respingos de maré	

^a Pode-se admitir um microclima com uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) para ambientes internos secos (salas, dormitórios, banheiros, cozinhas e áreas de serviço de apartamentos residenciais e conjuntos comerciais ou ambientes com concreto revestido com argamassa e pintura).

^b Pode-se admitir uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) em obras em regiões de clima seco, com umidade média relativa do ar menor ou igual a 65 %, partes da estrutura protegidas de chuva em ambientes predominantemente secos ou regiões onde raramente chove.

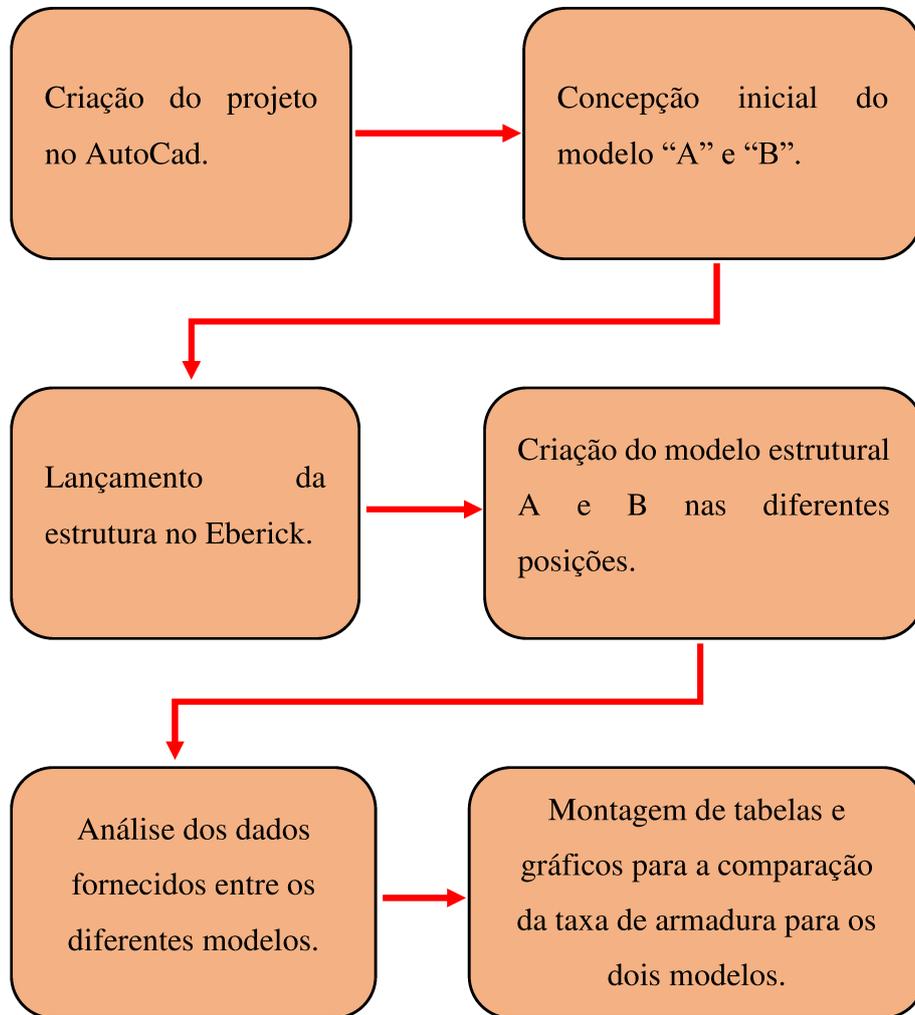
^c Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas.

Fonte: AltoQi

3.3 Fluxograma de Pesquisa

Os resultados foram obtidos de acordo com o fluxograma da Figura 16:

Figura 16 Fluxo dos resultados



Fonte: O pesquisador (2019)

3.4 Ferramentas utilizadas

Foram utilizadas as seguintes ferramentas:

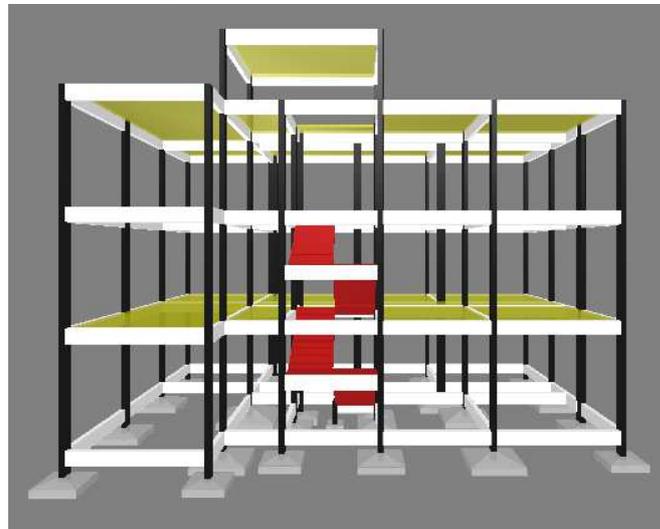
- **AUTOCAD** - Software para a criação e representação da planta baixa do edifício para análise estrutural (viga e pilar): O AutoCad é um programa de software de Desenho, utilizado para a criação de projectos para edifícios, pontes e outros projectos de engenharia e a sua representação em 3D.
- **EBERICK V8 GOLD** – Software para a elaboração de projeto estrutural: O Eberick possui recursos ágeis de modelagem, realiza a análise da estrutura, o dimensionamento

das peças estruturais, a compatibilização com as demais disciplinas de projeto e a geração das pranchas finais contendo detalhamentos das armaduras, planta de formas e demais desenhos do projeto.

4 Resultados e Discussão

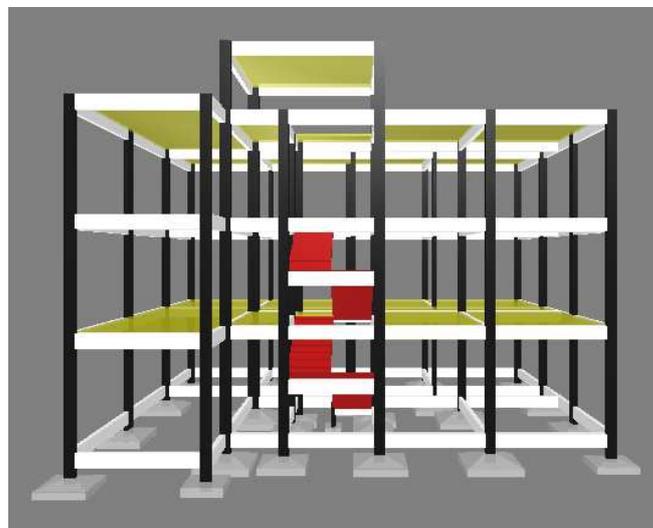
Como foi discutido, o edifício foi desenvolvido para realizar a análise de pilares em diferentes posições como mostra a Figura 17 e 18, em sua dimensão 3D.

Figura 17 Estrutura em 3D do Modelo A



Fonte: O pesquisador (2019)

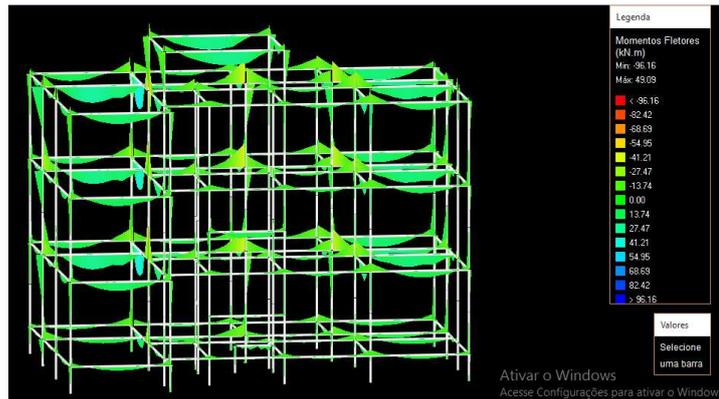
Figura 18 Estrutura em 3D do Modelo B



Fonte: O pesquisador (2019)

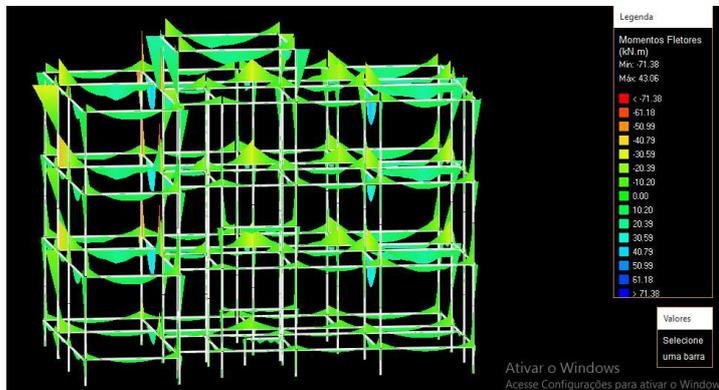
Com o auxílio do Eberick, depois de lançado a locação dos elementos estruturais (viga, pilar e laje), processamos toda a estrutura, com os pilares em ambas direções. Após ser processado, diagnosticado e corrigido os erros, nos foi fornecido porticos unifilar de seus momentos, de acordo com a Figura 19 e 20.

Figura 19 Portico Unifilar dos Momento Fletores da estrutura Modelo A



Fonte: O pesquisador (2019)

Figura 20 Portico Unifilar dos Momento Fletores da estrutura Modelo B



Fonte: O pesquisador (2019)

A Tabela 8 e o Gráfico 1 apresenta dados sobre a quantidade de barras e sua area efetiva. Foram especificados todos os pilares que foram rotacionados dentro do pavimento térreo. Os valores positivos, significa um aumento na armadura e os valores negativos uma diminuição.

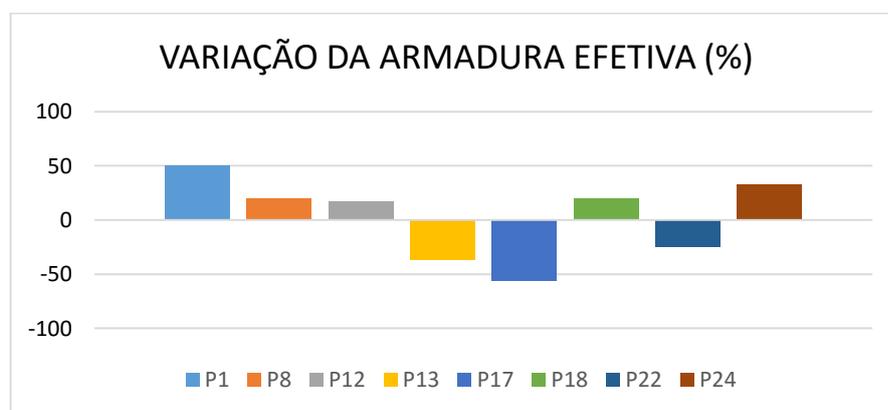
Tabela 8 Quantidade de barras e variação da armadura efetiva

VARIACÃO DA ARMADURA EFETIVA					
	MODELO A		MODELO B		
	BARRAS	ÁREA EFETIVA	BARRAS	ÁREA EFETIVA	VARIACÃO PERCENTUAL
P1	4 \varnothing 10.0	3,14	6 \varnothing 10.0	4,71	50%
P2	4 \varnothing 10.0	3,14	4 \varnothing 10.0	3,14	Não houve alteração
P3	6 \varnothing 10.0	4,71	6 \varnothing 10.0	4,71	Não houve alteração
P4	4 \varnothing 10.0	3,14	4 \varnothing 10.0	3,14	Não houve alteração
P5	4 \varnothing 10.0	3,14	4 \varnothing 10.0	3,14	Não houve alteração
P6	14 \varnothing 12.5	17,18	14 \varnothing 12.5	17,18	Não houve alteração
P7	4 \varnothing 10.0	3,14	4 \varnothing 10.0	3,14	Não houve alteração
P8	10 \varnothing 12.5	12,27	12 \varnothing 12.5	14,73	20%
P9	4 \varnothing 10.0	3,14	4 \varnothing 10.0	3,14	Não houve alteração
P12	8 \varnothing 10.0	6,28	6 \varnothing 12.5	7,36	17%
P13	16 \varnothing 12.5	19,63	10 \varnothing 12.5	12,27	-37%
P15	14 \varnothing 12.5	17,18	14 \varnothing 12.5	17,18	Não houve alteração
P16	4 \varnothing 10.0	3,14	4 \varnothing 10.0	3,14	Não houve alteração
P17	18 \varnothing 10.0	14,14	8 \varnothing 10.0	6,28	-56%
P18	10 \varnothing 10.0	7,85	12 \varnothing 10.0	9,42	20%
P19	14 \varnothing 12.5	17,18	14 \varnothing 12.5	17,18	Não houve alteração
P20	6 \varnothing 10.0	4,71	6 \varnothing 10.0	4,71	Não houve alteração
P21	4 \varnothing 10.0	3,14	4 \varnothing 10.0	3,14	Não houve alteração
P22	8 \varnothing 10.0	6,28	6 \varnothing 10.0	4,71	-25%
P23	6 \varnothing 10.0	4,71	6 \varnothing 10.0	4,71	Não houve alteração
P24	6 \varnothing 10.0	4,71	8 \varnothing 10.0	6,28	33%

Fonte: O pesquisador (2019)

O gráfico 1, representa a porcentagem da variação da armadura efetiva dos pilares que foram modificados a sua posição.

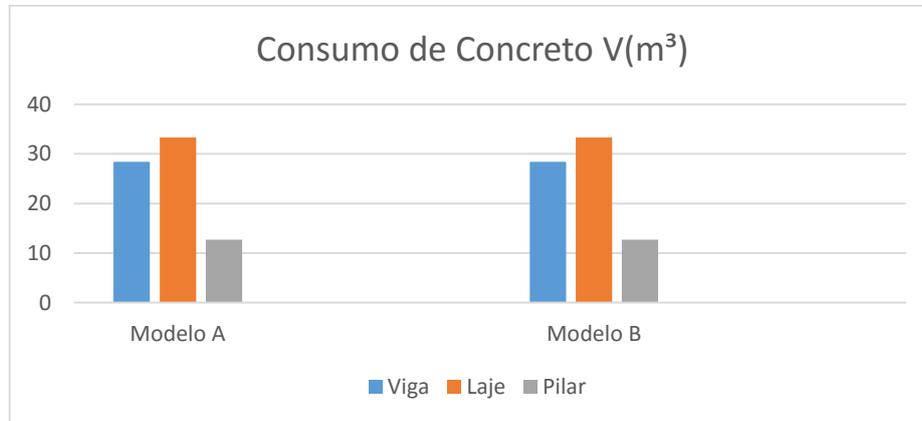
Gráfico 1 Variação da armadura efetiva



Fonte: O pesquisador (2019)

O Gráfico 2 representa o consumo de concreto para a estrutura do Modelo A e Modelo B.

Gráfico 2 Consumo total de concreto da estrutura

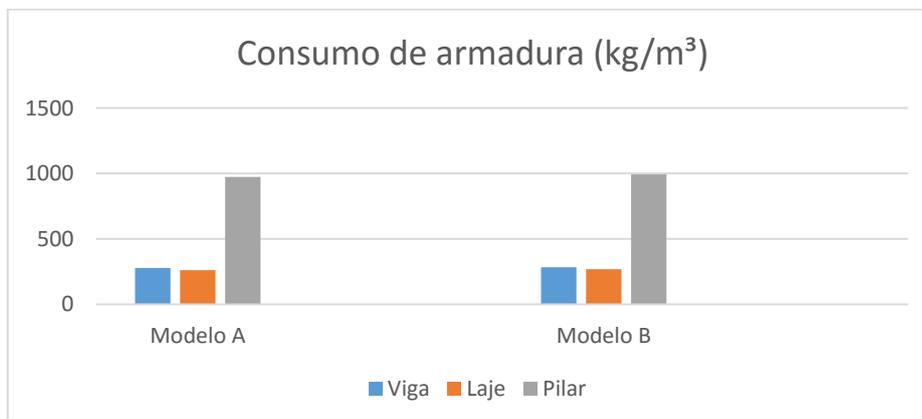


Fonte: O Pesquisador (2019)

O Consumo de concreto se mantém o mesmo valor no Modelo A e no Modelo B.

O Gráfico 3 apresenta o consumo de aço para as estruturas do Modelo A e Modelo B.

Gráfico 3 Consumo total de armadura da estrutura



Fonte: O Pesquisador (2019)

O gráfico nos mostra que o consumo de armadura para o Modelo A é menor que no Modelo B

CONCLUSÃO

Em qualquer projeto que um engenheiro civil executar, ele precisa ter como foco principal a segurança e a economia da obra. Seguindo o raciocínio, podemos notar que a escolha da

melhor concepção para o lançamento de pilares é um item de extrema importância para uma construção com menor custo e sem afetar a resistência aos esforços. A partir deste artigo, analisando os pilares do pavimento térreo, conforme a Tabela 8, pode-se notar que a concepção do Modelo A em relação ao Modelo B, depende muito dos esforços em questão. Em alguns casos o Modelo A apresenta uma economia ao rotacionar o pilar, como por exemplo nos pilares P13 P17 e P22. Já em outros casos, quando rotacionados os pilares P1, P8 e P18, não houve nenhuma redução em sua armadura, e sim um aumento que então, não seria necessário alterar a sua direção. Esse aumento se deve ao momento de inércia. Quanto maior for o momento de inércia maior será a quantidade de armaduras. Os pilares P12 E P24 não foram rotacionados, porém estão com valores diferentes, isso se deve porque os esforços mudaram um pouco por causa das mudanças nos vãos e na mudança da rigidez global que também pode alterar.

Agora, analisando todo o conjunto da estrutura, como mostrado no Gráfico 3, o consumo de armadura para os pilares do Modelo A é menor que a quantidade do modelo B.

Conclui-se então, após analisar o gráfico final 3, que o Modelo A é mais econômico que o Modelo B, porém todos atendem muito bem os parâmetros de segurança, isso se deve porque diminuiu sua taxa de armadura em alguns pilares. Neste caso, quando um projeto está finalizado deve avaliar seus esforços e ver se realmente o posicionamento do pilar está correto ou se precisam alterar a sua direção de maior inércia. Se for necessário faz-se essa mudança, caso contrário altere apenas os pilares que irão gerar economia com a quantidade de barras. Porém, ao analisar a estrutura como um todo, opção de rotacionar o pilar gera sim, economia na taxa de armadura, basta analisar qual realmente deveria ser rotacionado.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a DEUS, aquele que é meu maior Mestre, por ter me dado saúde e forças para superar todos os momentos difíceis que eu me deparei ao longo da minha graduação, por ter me dado a grande oportunidade de estudar e ter a chance de realizar grandes conquistas. Aos meus pais, por serem essenciais para mim, e que me incentivaram de todas as maneiras para nunca parar de estudar e sempre me apoiaram em todos os momentos, acreditando nos meus sonhos e objetivos. E que sempre me ajudaram a superar as dificuldades da vida.

Aos professores que me acompanharam na busca pelo conhecimento, os seus ensinamentos foram muito além dos conteúdos do currículo. Obtive aprendizados importantes para a vida e sua missão vai muito além da missão de um professor, você é um verdadeiro mestre. Muito obrigado pela sua dedicação, paciência e carinho ao longo desses anos em que estive presente. Agradeço a Universidade que abriu portas para que este sonho se tornasse realidade.

Ao meu Orientador Msc Kevin Reiny Rocha Mota, e ao professor Leandro Reis pela ajuda, muito obrigado.

É chegado ao fim um ciclo de muitas risadas, choros, felicidades e frustrações. Sendo assim dedico este trabalho também aos meus amigos que a Engenharia me deu e que tornaram essa caminhada mais leve, obrigada pelos maravilhosos momentos que passamos juntos, levarei para sempre em meu coração.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT- Associação Brasileira de Normas Técnicas; Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. Disponível em:
<https://docente.ifrn.edu.br/valtencirgomes/disciplinas/construcao-de-edificios/ABNT-6118-projeto-de-estruturas-de-concreto-procedimento>. Acesso em: 29 Nov. 2019.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas; NBR 6120 Cargas para o cálculo de estruturas de edificações. Disponível em: Disponível em:
https://rotaacessivel.com.br/_files/200000332-9e3c79f36d/nbr6120.pdf. Acesso em: 29 Nov. 2019.
- ABNT- Associação Brasileira de Normas Técnicas; NBR 6123 (1988) – Forças devido ao vento em edificações. Disponível em:
http://www.professormendoncaenf.com.br/crr_nbr_6123_forcasvento.pdf. Acesso em: 29 Nov. 2019.
- ADÃO, Francisco Xavier; HEMERLY, Adriano Chequetto. Concreto Armado Novo Milênio Calculo Pratico e Econômico. 2. ed. Interciência.
- ALVES, Valdir A. Estruturas de Concreto Armado. 2014. 15 slides.
- ARAÚJO, José Milton. Projeto estrutural de edifícios concreto armado. Disponível em: <http://www.editoradunas.com.br/dunas/V5.pdf>. Acesso em: 2 Nov. 2019.
- CARVALHO, Roberto Chust; DE FIGUEIREDO FILHO, Jasson Rodrigues. Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de Concreto Armado segundo a NBR 6118:2014. 4. ed. EduFscar, 2001.
- DOS SANTOS BASTOS, PAULO SÉRGIO. PILARES DE CONCRETO ARMADO. 2017. Disponível em: <http://www.feb.unesp.br/pbastos/concreto2/Pilares.pdf>. Acesso em: 10 Dez. 2019.

- FRANCESCHI, Lucas. Classes de agressividade normativas. 2019. Disponível em: <https://suporte.altoqi.com.br/hc/pt-br/articles/115004556014-Classes-de-agressividade-normativas>. Acesso em: 7 Out. 2019.

- GONÇALVES, Jennifer. ANÁLISE NUMÉRICA DOS EFEITOS DAS AÇÕES DO VENTO EM EDIFÍCIOS INDUSTRIAIS METÁLICOS. 2016. Disponível em: https://www.abcem.org.br/construmetal/2016/downloads/apresentacao/5_ANALISE-NUMERICA-DOS-EFEITOS-DAS-ACOES-DO-VENTO-EM-EDIFICIOS-INDUSTRIAIS-METALICOS.pdf. Acesso em: 1 Out. 2019.

- KIRSTEN, André Egon. Importância dos pilares no comportamento de uma estrutura. 2017. Disponível em: <https://maisengenharia.altoqi.com.br/estrutural/pilares-no-comportamento-de-uma-estrutura/>. Acesso em: 7 Out. 2019.

- KIRSTEN, André Egon. 2017. Disponível em: <http://maisengenharia.altoqi.com.br/estrutural/principais-fatores-que-interferem-no-dimensionamento-de-um-pilar>. Acesso em: 2 Nov. 2019.

- KIRSTEN, André Egon. 2017. Disponível em: <http://www.soarquitetura.com.br/a-importancia-do-concreto-em-obras-de-grande-porte/>. Acesso em: 10 Out. 2019.

- KRU, Thiago. 2016. Disponível em: <https://andaimesbrasil.wordpress.com/2016/03/05/breve-introducao-a-construcao-civil/>. Acesso em: 2 Nov. 2019.

- LONGO, Luis Filipe. Como contraventar uma estrutura. 2019. Disponível em: <https://suporte.altoqi.com.br/hc/pt-br/articles/115001186613-Como-contraventar-uma-estrutura->. Acesso em: 7 Out. 2019.

- PINTO, VINICIUS SLOMPO. Dimensionamento de pilares de concreto com seção transversal retangular usando envoltórias de momentos. SÃO CARLOS, 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (ENGENHARIA DE ESTRUTURAS) - UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO.

- PINTOS, Fábio de Marchi. Reduzir a armadura de pilares modificando sua posição. 2019. Disponível em: <https://suporte.altoqi.com.br/hc/pt-br/articles/115001279653-Reduzir-a-armadura-de-pilares-modificando-sua-posição>. Acesso em: 7 Out. 2019.
- PORTO, Fernando. Mecânica Geral - Estática. 2017. 36 slides.