

ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO TIPO DE LAJE NA ESTABILIDADE DA ESTRUTURA DE CONCRETO ARMADO

Magno Leandro da Silva¹

Manoel Honório Filho²

Marcello Silva e Santos³

Resumo

Com a necessidade de se projetar edifícios sofisticados, a área de Engenharia Civil vem passando por um desenvolvimento tecnológico e econômico, intensificando os estudos que avaliam a estabilidade destes edifícios. Além de ser uma das etapas iniciais mais importantes para a execução de um projeto estrutural, tal avaliação permite analisar o comportamento estrutural através da estabilidade global da edificação, a partir do parâmetro γ_z . No que diz respeito a softwares, existe uma grande variedade de programas que automatizam o processo de cálculo, análise e desenho, com uma enorme rapidez e precisão, apresentando ainda detalhamento completo dos elementos estruturais. O domínio dessa ferramenta pelos projetistas, é de grande importância perante um mercado cada vez mais exigente e seletivo. Este trabalho busca estabelecer uma relação entre cinco tipos de lajes e sua influência na estabilidade da edificação, a partir do software Eberick.

Palavras-chave: Laje. Estabilidade. Gama Z. Eberick.

ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF THE TYPE OF LAJE IN THE STABILITY OF THE ARMED CONCRETE STRUCTURE

Abstract

With the need to design sophisticated buildings, the Civil Engineering area has undergone a technological and economic development, intensifying the studies that evaluate the stability of buildings. Besides being one of the most important steps for the execution of a structural project, the evaluation allows analyzing the structural behavior through the overall stability of the building, from the parameter γ_z . With regards to software, there is a great variety of programs that automate the process of calculation, analysis and design, with great speed and precision, also presenting complete details of the structural elements. The domain of this tool, by the designers, is of great importance before an increasingly demanding and selective market. This work seeks to establish the relationship between five types of slabs and their influence on building stability, based on Eberick software.

Keywords: Slab. Stability. Gamma Z. Eberick.

¹Engenheiro Civil pelo Centro Universitário Geraldo Di Biase.

²Docente do Curso de Engenharia Civil no Centro Universitário Geraldo Di Biase.

³Docente do Curso de Engenharia Civil no Centro Universitário Geraldo Di Biase.

Introdução

O engenheiro, ao iniciar um projeto estrutural deve avaliar alguns aspectos gerais como: manter a estética e a funcionalidade do projeto arquitetônico, ideia aproximada dos esforços atuantes na estrutura, métodos construtivos e custos.

Segundo Albuquerque (2010), a escolha do sistema estrutural de um edifício, em geral, é influenciada por imposições arquitetônicas, por rotinas construtivas ou ainda pela infraestrutura da região. Mesmo assim, o engenheiro de estruturas deve buscar, entre todas as possibilidades, a estruturação mais econômica e segura para o seu projeto.

De acordo com Martha (2010), para se garantir a segurança e qualidade de um projeto, a análise estrutural tem um importante papel, com a determinação de esforços internos e externos, deslocamentos e as correspondentes deformações da estrutura.

A estrutura é o principal componente que garante a estabilidade da edificação, as cargas de diferentes intensidades provocam reações. É através de um projeto estrutural que as reações são analisadas, para se encontrar uma melhor solução, que seja capaz de resistir aos esforços atuantes, garantindo o equilíbrio da estrutura.

Para Carvalho (2015), antes de se iniciar o estudo do concreto armado, é importante que seja feita a distinção entre sistema estrutural e elemento estrutural. Os elementos estruturais são peças, geralmente com uma ou duas dimensões preponderantes que compõem uma estrutura, tais como vigas, lajes, pilares, etc; O modo como são arrançadas pode ser chamado de sistema estrutural.

Contraventamento é um sistema indispensável para minimizar os efeitos das ações horizontais, tendo ainda a função de aumentar a rigidez da estrutura, reduzindo os deslocamentos e a magnitude dos efeitos de 2ª ordem. Em edificações mais altas e esbeltas, um sistema de contraventamento ineficiente pode gerar instabilidade para algumas combinações de ações. No caso de estruturas de concreto, os próprios elementos estruturais, ou seja, os pilares, as vigas e as lajes funcionam como estruturas de contraventamentos. A combinação destes elementos forma os pórticos resistentes para dar estabilidade na estrutura para ações horizontais.

Os sistemas de contraventamento podem ser obtidos através de vários modelos estruturais como pórticos planos, painéis tipo parede, pórtico parede, núcleos rígidos em concreto armado, etc.

Objetivo

O presente trabalho tem como objetivo, avaliar as condições de estabilidade da edificação a partir da determinação do coeficiente γ_z (Gama-z), com a utilização do software Eberick. Serão comparados os valores do coeficiente γ_z considerando cinco tipos de lajes em uma mesma edificação, mantendo os demais elementos estruturais inalterados.

Justificativa

Verificar se o tipo de laje pode influenciar na estabilidade da edificação, destacando-se aqui que as conclusões que serão apresentadas, não estabelecem uma regra geral, pois, cada estrutura possui um tipo de arranjo estrutural diferente e uma diferente sensibilidade aos efeitos de 2ª ordem.

Há casos excepcionais em que não se deve aplicar esse processo simplificado, por exemplo: quando se tem vigas de transição, estruturas que já possuem deslocamentos devidos a carregamentos verticais, entre outros (VASCONCELOS, 2000).

Metodologia

Inicialmente foi feita uma revisão bibliográfica em livros e em meios digitais sobre os assuntos relacionados ao tema, e nas normas da ABNT para garantir a segurança da edificação. Será demonstrado ao longo da pesquisa, o tipo de software utilizado e descrito os tipos de lajes usadas no trabalho. Após a revisão

bibliográfica, foi elaborado um projeto de arquitetura no software AutoCAD e importado para o software Eberick. Para a modelagem da estrutura, na qual foi feito o lançamento dos elementos e, também, uma alteração nos tipos de lajes para verificar a variação do parâmetro de estabilidade global.

Fundamentações Teóricas

Problemática

Com a necessidade em aumentar a demanda de moradias nos centros urbanos, as construções tornaram-se mais altas e esbeltas, aumentando a necessidade de uma avaliação criteriosa das condições de estabilidade.

- a. ABNT NBR 6118:2014: projeto de estruturas de concreto – procedimentos;
- b. ABNT NBR 6120:1980: cargas para cálculo de estruturas de edificações – procedimentos;
- c. ABNT NBR 8681:2003: ações de segurança nas estruturas – procedimentos;
- d. ABNT NBR 6123:1988: forças devidas ao vento em edificações – procedimentos;
- e. ABNT NBR 14931:2004: execução de estrutura de concreto – procedimentos;
- f. ABNT NBR 9062:2006: projeto e execução de estrutura de concreto pré-moldado;
- g. ABNT NBR 15200:2012: projetos de estrutura de concreto em situação de incêndio;
- h. ABNT NBR 7480:2007: aço destinado para estrutura de concreto armado.

Normas

Para padronizar e garantir a segurança e qualidade do produto final, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) regulamenta os procedimentos a serem empregados por meio de normas, das quais citamos as principais, relacionadas ao dimensionamento das estruturas de concreto.

Ações

Segundo Carvalho (2015), Denomina-se ação, qualquer influência, ou conjunto de influências, capaz de produzir estado de tensão ou de deformação em uma estrutura.

Ações Permanentes

Ações permanentes são as que ocorrem com valores constantes durante toda vida da construção, podem ser diretas ou indiretas. Diretas quando constituídas pelo peso próprio da estrutura e pelos pesos próprios dos elementos construtivos fixos das instalações permanentes. Indiretas quando são constituídas pelas deformações impostas por retração e fluência do concreto, deslocamentos de apoios, imperfeições geométricas e proteção (CARVALHO, 2015).

Ações Variáveis

As ações variáveis são classificadas como diretas e indiretas, as variáveis diretas são constituídas pelas cargas acidentais, ações do vento e da água, já as indiretas são devidas a choques, vibração e por variações uniformes e não uniformes de temperatura (CARVALHO, 2015).

Ações Horizontais

As forças horizontais oriundas da ação do vento são as mais importantes no estudo da estabilidade global de uma estrutura. Apesar de constituir uma ação dinâmica, o vento é tratado de maneira simplificada como carga estática segundo a NBR 6123/1988.

Outras forças horizontais são forças fictícias, devidas ao desaprumo. Entretanto, segundo a NBR 6118/2014, nas considerações de cálculo, não há necessidade que uma seja superposta a outra. Deve ser considerada apenas a situação mais desfavorável. Para as considerações de cálculo, é levada em conta a probabilidade de ocorrência simultânea de ambos os efeitos.

As ações horizontais também estão presentes nas estruturas que funcionam como sistema de contenção, estas ações têm como origem os empuxos de terra e água.

Solicitações

Denomina se solicitação qualquer esforço ou conjunto de esforços decorrentes das ações e aplicados a uma ou mais seções de um elemento da estrutura (CARVALHO, 2015).

Efeitos Globais, Locais e Localizados de 2ª Ordem

Estabilidade Global

A estabilidade global tem a finalidade de garantir a segurança da estrutura. Este parâmetro avalia a mudança geométrica quando esta se deforma pelas ações aplicadas; Situação que pode representar a perda da capacidade de resistência, e a deformação pode criar esforços antes não existentes, chamados de efeitos de 2º ordem.

Efeitos de 2ª ordem

Quando os elementos de uma estrutura estão sujeitos a esforços, e a deformação ocorre, o eixo das barras não se mantém retilíneo. Esta mudança de posição no espaço gera um momento, chamado momento de 2ª ordem, que em princípio, aumenta os valores dos esforços solicitantes ao longo delas (NBR 6118/2014, item 15.4.1).

Fatores que Influenciam a Estabilidade

Temos vários fatores que influenciam na estabilidade de uma edificação. Estes fatores podem ser trabalhados para obter uma melhor resposta aos efeitos de 2ª ordem. A avaliação dos parâmetros de instabilidade deve ser realizada na fase inicial do projeto, permitindo possíveis alterações nas características da estrutura.

Os elementos mais importantes para a estabilidade da estrutura são os pórticos, que podem ser definidos como um arranjo estrutural, formado por colunas e vigas.

Para melhorar a estabilidade da estrutura, podem-se utilizar também núcleos rígidos, como, pilares-parede de grandes dimensões, em geral em formato de “U”. Estes elementos possuem elevada rigidez à flexão e contribuem de maneira significativa para a estabilidade.

Coefficiente Υ_z

Trata-se de um parâmetro que avalia a estabilidade global de um edifício em concreto armado de forma simples, rápida e eficiente para estruturas com mais de quatro pavimentos.

Além da capacidade de "medir" o grau de instabilidade, o parâmetro Υ_z possibilita, em certos casos, estimar os efeitos globais de segunda ordem atuantes

em um edifício e assim dimensioná-lo com a presença destes esforços adicionais.

O valor de γ_z para cada combinação de carregamento é dado pela equação 1: NBR 6118/2014 (item 15.5.3):

$$\gamma_z = \frac{1}{1 - \frac{\Delta M_{tot,d}}{M_{1,tot,d}}}$$

Eq. [1]

Onde:

$M_{1,tot,d}$ é o momento de tombamento;

$\Delta M_{tot,d}$ é a soma dos produtos de todas as forças verticais atuantes na estrutura.

Franco e Vasconcelos (1991), Pinto (1997) apud MONCAYO (2011) chegaram um limite de 1,2 para o valor de γ_z .

Pinto, Corrêa e Ramalho (2005) apud MONCAYO (2011) chegaram a um limite do coeficiente γ_z próximo a 1,25 a 1,3; devendo ser evitados valores acima disso.

Carmo (1995) apud MONCAYO (2011), concluiu que majorar os esforços horizontais de primeira ordem somente por γ_z é satisfatório. Pinto (1997) apud MONCAYO (2011), também obteve resultados de que a majoração dos esforços por γ_z gera resultados satisfatórios até o limite de 1,2.

Lima (2001) apud MONCAYO (2011), concluiu que a majoração por 0,95. γ_z não conduz a bons resultados, principalmente nos pavimentos inferiores, pois a variação dos efeitos de segunda ordem é bastante significativa ao longo da altura da edificação. Por outro lado, a majoração com γ_z , mostrou-se bastante satisfatória e mais eficiente. Igualmente, Pinto, Corrêa e Ramalho (2005) apud MONCAYO (2011) concluíram também que o uso do valor integral de γ_z como majorador resulta melhores estimativas para os efeitos de segunda ordem.

A estrutura é considerada de nós fixos se for satisfeita a condição de $\gamma_z \leq 1,1$ e de nós móveis quando o coeficiente estiver no intervalo $1,1 < \gamma_z \leq 1,3$.

De acordo com a NBR 6118/2014 (item 15.7.2), caso a estrutura seja considerada de nós móveis, tal que valor de γ_z esteja dentro do intervalo de 1,1 a 1,3 podemos estimar o valor dos esforços finais (esforços de 1ª e 2ª ordem), multiplicando os esforços horizontais de 1ª ordem, da combinação de carregamento, por 0,95.

O sistema Eberick calcula automaticamente o coeficiente γ_z para todas as combinações ELU (Estado Limite Último) e gera um relatório chamado "Parâmetros de Estabilidade", possibilitando ao engenheiro uma análise completa da estabilidade global da estrutura e dos esforços finais para o dimensionamento das vigas e pilares.⁴

A estabilidade de uma estrutura com três andares ou menos pode ser avaliada, de acordo com o Comitê Europeu do Betão, pela seguinte equação 2 (BOTELHO, 2011).

$$E.G.E = H \sqrt{\frac{N_k}{E_c \cdot \Sigma I}} \leq 0,2 + 0,1n \quad \text{Eq.[2]}$$

Onde:

H = altura total do edifício;

N_k = soma total das cargas verticais;

E_c = módulo inicial de elasticidade do concreto; n = número de andares;

E.G.E. = estabilidade global do edifício; ΣI = soma das inércias.

Tipos de Vínculos

Segundo Martha (2010), as estruturas podem ser hipostáticas quando esta não possui vínculos o suficiente para manter sua total imobilidade. Isostática, se possui vínculos o suficiente para manter sua total imobilidade e seus esforços determinados pela equação de equilíbrio e, hiperestática, ao possuir vínculos o suficiente para manter sua total imobilidade e esforços sem ser determinado

apenas pela equação de equilíbrio.

Eberick Versão 8 – Software Utilizado nas Análises

O Eberick é desenvolvido e comercializado pela Alto QI, atualmente encontra-se na versão V10. É um software para projeto estrutural em concreto armado moldado in-loco, e concreto pré-moldado que engloba as etapas de lançamento, análise da estrutura, dimensionamento e o detalhamento final dos elementos.

Possui um poderoso sistema gráfico de entrada de dados, associado à análise da estrutura em um modelo de pórtico espacial, e a diversos recursos de dimensionamento e detalhamento dos elementos, de acordo com a NBR 6118/2014, além da visualização tridimensional da estrutura modelada.

Trata-se de um programa diferenciado, com diversos recursos que proporcionam alta produtividade na elaboração dos projetos e no estudo de diferentes soluções para um mesmo projeto.

⁴<http://faq.altoqi.com.br/faq/category/253/coeficiente-gama-z.html>. Acesso em: 12/04/2016.

O Eberick pode ainda ser complementado por diversos módulos, conforme o tipo e a necessidade dos seus projetos.⁵

Tipos de Lajes Utilizadas nas Edificações

Segundo Carvalho (2015), as lajes são elementos planos bidimensionais, nas quais duas dimensões, o comprimento e a largura, são da mesma ordem de grandeza e maiores que a terceira dimensão, a espessura. As lajes são também chamadas elementos de superfície ou placas. A norma define placas de concreto como sendo elementos de superfície plana sujeitos a ações normais a seu plano recebendo cargas verticais em suas estruturas e, portanto, transmitindo para os respectivos apoios, vigas localizadas em seus bordos ou pilares. Essas placas de concreto são denominadas de lajes.

Quando a ligação dos pilares é feita por uma laje que possui extrema rigidez esta vai se comportar como um diafragma rígido que será capaz de unir todos os pilares fazendo com que as ações sejam divididas entre todos os elementos verticais assim é possível determinar as ações em todos os elementos de contraventamento. Considerar o pavimento como um diafragma rígido equivale a considerar que a distância entre dois pontos do pavimento, após a deformação decorrente da ação lateral, não se altera (CARVALHO, 2015).

Lajes Nervuradas

A NBR6118/14 (item 14.7.7) define laje nervurada, como a laje moldada no local ou com nervuras pré-moldadas, cuja zona de tração para momentos positivos está localizada nas nervuras entre as quais pode ser colocado material inerte. A resistência do material inerte não é considerada, não contribui para aumentar a resistência da laje nervurada. São as nervuras, que proporcionam a necessária resistência e rigidez.

Segundo Carvalho (2015), a laje nervurada é particularmente indicada quando há necessidade de se vencer grandes vãos ou resistir a altas ações verticais.

⁵<http://faq.altoqi.com.br/faq/category/253/coeficiente-gama-z.html>. Acesso em: 12/04/2016

Utiliza-se pouco concreto e aço no fundo da laje em relação às lajes convencionais e maciças por este método, no qual o consumo é de até 30% menos materiais e mão de obra. Entretanto, as nervuras comprimidas possuem baixa resistência à flexão para os momentos negativos nos apoios. Há também desvantagens, pois as lajes nervuradas moldadas no local aumentam a altura total de uma edificação; o que, conseqüentemente, aumentam também as dificuldades de compatibilização com outros subsistemas, tais como instalações e vedações que exigem maiores cuidados durante a concretagem para evitar os vazios nas nervuras, entre outros gargalos.

Segundo a NBR 6118/2014 (item 13.2.4.2), a espessura da mesa deve ser de 1/15 da distância entre as faces das nervuras e não menor que 4 cm, e de 5 cm quando existirem tubulações embutidas de diâmetro menor ou igual a 10mm.

Quando maior que 10 mm usar 4 cm + diâmetro da tubulação. A espessura das nervuras não pode ser inferior a 5 cm.

Lajes Pré-Fabricadas

De acordo com Carvalho (2015), lajes pré-fabricadas são aquelas que são usadas como reforço e suporte para as lajes, cujas partes constituintes são fabricadas em larga escala por indústrias, podem ser do tipo Vigota tavela ou treliçada. Os elementos de enchimento são componentes também pré-fabricados, podendo ser de materiais cerâmico vazado ou EPS. Este material tem a função de reduzir o volume de concreto e o peso próprio da laje, permitindo a redução de esforços nas estruturas e fundações. Além de servir como fôrma para o concreto de capeamento e utilizadas para vencer pequenos e médios vãos e cargas não muito elevadas. Seu uso reduz custos com mão de obra, transporte e volume de concreto. As lajes treliçadas podem ser encontradas em três tipos:

- a. Lajes treliçadas EPS, lajes cujo material inerte é o EPS;
- b. Lajes treliçadas cerâmica, lajes cujo material inerte é o tijolo cerâmico;
- c. Lajes treliçadas-bi-direcional EPS, é indicada em casos nos quais é possível armar a laje nas duas direções, pois possuem altura relativamente baixa em relação à laje unidirecional;
- d. Laje tipo vigotas de concreto tem formato de um “T” invertido, com armadura englobada pelo concreto da vigota.

Carvalho et al. (2015), explica que entre as vantagens do uso da laje pré-fabricada destaca-se a possibilidade de se criar, sem dificuldade, lajes bidirecionais com baixo consumo de concreto, economia no escoramento, não sendo necessária forma de fundo das nervuras no sentido transversal, devido a própria placa de EPS possuir um sistema de aba lateral, o qual na própria montagem se forma o canal necessário para nervura em outra direção, menor deformação e maior rigidez, redução do tempo de execução, pela facilidade da montagem. De acordo com Carvalho (2015), as desvantagens apresentadas são: a fragilidade dos enchimentos que podem quebrar na hora da concretagem e a dificuldade em dar um bom acabamento na face inferior nesse tipo de laje.

Lajes Maciças

Segundo Carvalho (2010), lajes maciças são elementos estruturais na qual sua espessura total é composta por concreto, contendo armaduras ativas ou passivas, longitudinais de flexão e eventualmente armaduras transversais, podendo ser, apoiada em vigas ou paredes ao longo de suas bordas.

As lajes maciças de concreto são projetadas para os mais diversos tipos de construção, como edifícios de múltiplos pavimentos tanto residenciais, comerciais, industriais, muros de arrimo, escadas, reservatórios, escolas, hospitais, pontes de grandes vãos, etc. (Carvalho, 2010). Esse tipo de laje vence grandes vãos e permite um acabamento liso na parte de baixo, entretanto, apresenta desvantagens como o grande consumo de madeiras para fabricação de formas, maior peso na estrutura, consumo aproximado de 50% do consumo total de concreto da obra.

Segundo a NBR 6118/2014 (item 13.2.4.1), as lajes maciças devem ser respeitadas às seguintes espessuras:

- a. 7 cm para cobertura não em balanço;
- b. 8 cm para lajes de piso não em balanço;
- c. 10 cm para lajes em balanço;
- d. 10 cm para lajes que suportem veículos de peso total menor ou igual a 30 KN;
- e. 12 cm para lajes que suportem veículos de peso total maior que 30 KN;
- f. 15 cm para lajes em protensão apoiadas em vigas, com o mínimo de $L/42$ para lajes de piso biapoiadas e $L/50$ para lajes de piso contínuas;
- g. 16 cm para lajes lisas e 14 cm para lajes-cogumelo, fora do capitel.

Lajes Lisas e Lajes Cogumelos

Segundo Carvalho (2010), lajes cogumelos são estruturas constituídas por placas de concreto armado, isoladas ou não, apoiadas diretamente sobre pilares, no topo do quais podem existir capitéis ou não. Ao se apoiarem sobre os pilares passam a ser denominadas de lajes lisas.

Suas vantagens incluem maior racionalização, rapidez na execução, montagem das fôrmas, confecção das armaduras, concretagem, execução das instalações; Nos aspectos arquitetônicos temos melhor condição estética, presença de tetos lisos, melhor definição dos espaços, maior esbeltez, melhores condições de ventilação e iluminação (CARVALHO, 2010).

Conforme Mello (2005) registra três problemas em trabalhar com lajes planas advindos da ausência das vigas: punção da laje pelo pilar, deslocamentos transversais excessivos das lajes e pequena rigidez às ações laterais.

Laje Tipo PI

As Lajes do tipo PI são lajes pré-fabricadas de concreto armado protendido, com nervuras longitudinais com formato de duplo T. Possuem diversas alturas e comprimentos determinados através da sobrecarga necessária para cada tipo de obra. São utilizados em grandes vãos, mezaninos ou pavimentos superiores, sendo usadas como entrespisos, coberturas e fechamentos laterais e para muros de contenção, além de obras comerciais, industriais, colégios, depósitos. Também podem ser montadas tanto em estruturas pré-fabricadas como em estruturas moldadas in loco.

Suas maiores vantagens são a rapidez de execução e montagem, excelente acabamento inferior, dispensando forro ou reboco, pois não necessita de escoramento para a concretagem e não necessita de cura, possibilitando o uso em vãos acima de quinze metros de comprimento. São autoportantes e admitem sobrecarga imediata após a montagem, obra limpa e silenciosa, economia de formas e escoramento, custo previsto assegurado.

Laje como Grelha

As grelhas constituem estruturas planas, no entanto, estão submetidas apenas a carregamentos perpendiculares ao plano. Assim, designamos o plano da estrutura por X e Y. Os componentes de força devem ser paralelos à direção Z, não provocando rotação em torno de um eixo (CARVALHO, 2015).

Para ser considerada grelha, as vigas devem ter espaçamento maior que um metro e dez centímetros entre eixos, segundo a NBR6118/2014, podendo o piso não ser colaborante na resistência das vigas.

Conforme Bellei (2003), em função das três condições de equilíbrio a serem atendidas, uma grelha isostática deve despertar apenas três reações, o que resulta em um número pequeno de possíveis vinculações. Desta forma, a grelha de interesse prática possui alto grau hiperestático.

Segundo Carvalho (2014), as cargas podem ser consideradas uniformemente distribuídas ao longo dos elementos ou, dentro de certa aproximação, concentrada nos nós. As cargas concentradas atuantes na estrutura devem ser aplicadas nos nós da malha.

O sistema de laje usa 55% menos concreto que uma laje tradicional, o que a torna significativamente menos agressiva ao meio ambiente que os sistemas mais comuns, além disso, as lajes são também mais finas permitindo um maior número de pavimentos em edifícios em altura (BELLEI, 2003).

Desenvolvimento do Estudo

Inicialmente, foi elaborado um projeto de arquitetura utilizando o software AutoCAD. Este projeto é de uma edificação residencial com pé direito de 2,8 m, cinco pavimentos, com quatro apartamentos por andar, sendo o piso térreo garagem, pé direito de 2,8m, totalizando 2720 m² construído.

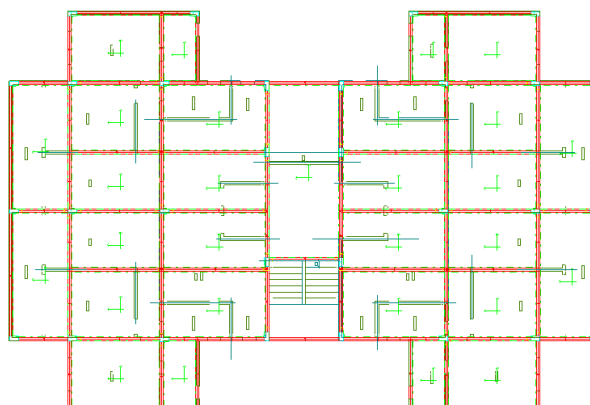
Para análise do estudo foram considerados cinco tipos de lajes, maciça, nervurada, pré-moldada, treliçada em uma direção e treliçada em duas direções, totalizando desta forma cinco modelos de estudo. Os pilares foram lançados do tipo retangular, os mesmos foram convertidos para fundação do tipo blocos engastados

aos pilares, as vigas foram lançadas do tipo retangular e engastadas aos pilares, conforme figura 1. Este modelo foi copiado para o nível superior no qual foi criado um nível intermediário com altura 1,4 m para lançamento do patamar da escada, e, a partir deste patamar, foi lançada a escada do nível superior pra o nível inferior, onde então, este nível foi copiado para os níveis superiores até o tipo cobertura conforme figura.

2. Com este projeto pronto foram substituídas as lajes e processada a estrutura para cada tipo de laje proposta. Os elementos estruturais foram pré-dimensionados:

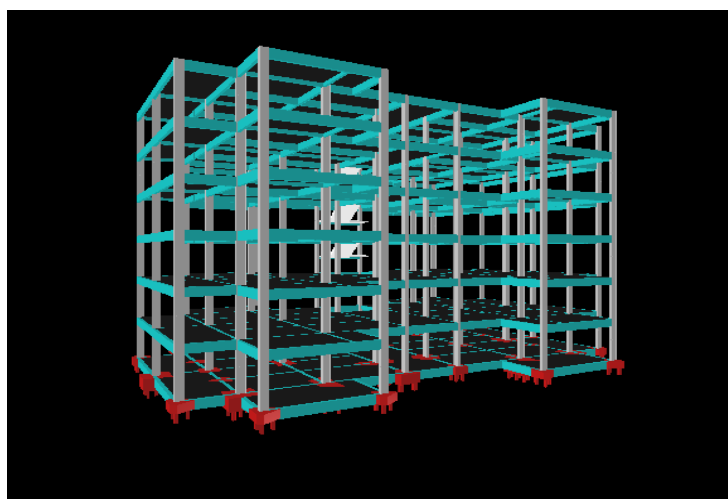
- a. Vigas com $h=L_0/10$;
- b. Pilares com dimensões mínimas de 360cm^2 . Laje maciça $d=L/\Psi_2\Psi_3$;
- c. Laje pré-moldada tabela da página 95, quadro 2.4 (cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado);
- d. Laje nervurada com mesa maior ou igual $1/15$ da distância entre as nervuras e não menor que 4 cm, espessura das nervuras não inferior a 5 cm, espaçamento entre eixos das nervuras menor ou igual a 65 cm para não verificação das flexões;
- e. Escada obedecendo a fórmula de Blondel ($2h+P=64$), para definir as dimensões do piso e espelho;
- f. Velocidade do vento 32m/s;
- g. Concreto F_{ck} 30 Mpa;
- h. Aço CA 50.

Figura 1. Garagem, tipo1, tipo 2, tipo 3, tipo 4, tipo 5 e Cobertura



Fonte: Acervo Pessoal

Figura 2. Modelo estrutural 3D - Vista 3D no Software Alto QI – Eberick V8



Fonte: Print screen, elaborado pelo autor/Software –Eberick V8

Conclusão

Conforme apresentado no quadro 1.

Quadro 1. Comparação do γ_z nos diferentes tipos de laje do trabalho

COEFICIENTE GAMA Z(γ_z)				
TIPO DE LAJE	Gama z – eixo X	Gama z – eixo Y	Momento 2 ^a ordem X	Momento 2 ^a ordem Y
MACIÇA	1,08	1,06	16,46	8,65
NERVURADA	1,09	1,07	17,13	9,08
PRÉ-MOLDADA	1,09	1,07	17,39	9,48
RELIÇADA 1D	1,08	1,07	16,63	9,00
RELIÇADA 2D	1,09	1,07	16,86	8,93

Fonte: Elaborado pelo autor

Podemos observar que os valores do γ_z permaneceram praticamente os mesmos para os diferentes tipos de lajes adotados para o estudo. O que nos leva a concluir que no modelo avaliado, o tipo de laje não influencia de maneira significativa no valor de γ_z , o que não é regra geral, pois dependendo do sistema estrutural adotado, adição de combinações das ações, dentre outros diversos fatores a estrutura pode se comportar de forma diferente.

Referências

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**. Projeto de estruturas de concreto. Rio de Janeiro, 2014
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6123**. Forças devidas ao vento em edificações. Rio de Janeiro, 2013
- ALBUQUERQUE, A. T. **Análise de alternativas estruturais para edifícios em concreto armado**. Dissertação (mestrado). USP.
- ALTOQI**. Disponível em: <http://faq.altoqi.com.br/faq/category/253/coeficiente-gama-z.html>. Acesso em: 12 abr. 2016
- BELLEI, **Edifícios de Múltiplos Pavimentos Em Aço**, 2 ed. Rio de Janeiro: Pini, 2003.
- BOTELHO, C. H. M.; MARCHETTI O. **Concreto Armado Eu Te Amo**, V.2, 3 ed. São Paulo: Blucher, 2011.
- CARVALHO, ROBERTO. **Calculo e Detalhamento de Estruturas Usuais de Concreto Armado**, v.1, 4ª ed. São Paulo: Pini, 2015.
- CARVALHO, ROBERTO. **Calculo e Detalhamento de Estruturas Usuais de Concreto Armado**, v.2,2ª ed. São Paulo: Pini, 2010.
- LAJE PI (TT) PARA GRANDES VÃOS. Disponível em <https://www.lajespatoquia.com/servico/3/9/laje-pi-tt-para-grandes-vaos>. Acesso em: 23 ago. 2016.
- MARTHA, F. L. **Análise de Estruturas Conceitos e Métodos Básicos**, V1, 1 ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2010.
- MELLO, C.H.P. **Modelo para projeto e desenvolvimento de serviço**. Tese de doutorado. Universidade de São Paulo, 2005.
- MONCAYO, W. Z, **Análise de segunda ordem global em edifícios com estrutura de concreto armado**. Dissertação (mestrado). EESC-USP, 2011.
- Procedimentos Suporte**. Disponível em <http://www.altoqi.com.br>. Acesso em: 16 de abr. 2016.
- VASCONCELOS, A. C. **Em que casos não se deve aplicar o processo simplificado do gama z para determinação dos efeitos de 2ª Ordem?** Artigo Biblioteca Digital TQS, São Paulo, 2000.