



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

ANA EMÍLIA VINAGRE DIAS

**TRÊS OPÇÕES DE ESTRUTURA PARA UM PROJETO ARQUITETÔNICO:
ANÁLISE ESTRUTURAL E AVALIAÇÃO DE QUANTITATIVOS**

JOÃO PESSOA

2020

ANA EMÍLIA VINAGRE DIAS

**TRÊS OPÇÕES DE ESTRUTURA PARA UM PROJETO ARQUITETÔNICO:
ANÁLISE ESTRUTURAL E AVALIAÇÃO DE QUANTITATIVOS**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à
Coordenação do Curso de Engenharia Civil da
Universidade Federal da Paraíba, como um dos
requisitos obrigatórios para obtenção do título
de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Enildo Tales Ferreira

JOÃO PESSOA

2020

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

D541t Dias, Ana Emilia Vinagre.

Três opções de estrutura para um projeto arquitetônico:
análise estrutural e avaliação de quantitativos / Ana
Emilia Vinagre Dias. - João Pessoa, 2020.
56 f. : il.

Orientação: Enildo Tales Ferreira.
TCC (Graduação) - UFPB/CT.

1. Estrutura, Concreto Armado, Lajes, Deslocamentos. I.
Ferreira, Enildo Tales. II. Título.

UFPB/BS/CT

CDU 62(043.2)

FOLHA DE APROVAÇÃO

ANA EMÍLIA VINAGRE DIAS

**TRÊS OPÇÕES DE ESTRUTURA PARA UM PROJETO ARQUITETÔNICO:
ANÁLISE ESTRUTURAL E AVALIAÇÃO DE QUANTITATIVOS**

Trabalho de Conclusão de Curso em 08/12/2020 perante a seguinte Comissão Julgadora:

Enildo Tales Ferreira

Prof. Dr. Enildo Tales Ferreira - Orientador
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

APROVADO

Carlos A. Taurino de Lucena

Prof. Dr. Carlos Antonio Taurino de Lucena
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

APROVADO

José Márcio Filgueiras Cruz

Prof. Dr. José Márcio Filgueiras Cruz
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

APROVADO

ABSilva

Profª. Andrea Brasiliano Silva
Matricula Siape: 1549557
Coordenadora do Curso de Graduação em Engenharia Civil

Dedico este trabalho a Deus, aos familiares e amigos que me deram suporte para buscar os meus sonhos. Gratidão.

AGRADECIMENTOS

Diante de um momento especial, após cinco anos de extrema dedicação, eu não poderia deixar de agradecer a todos que estiveram comigo nessa caminhada.

Agradeço, primeiramente, a Deus por me permitir a concretização desse sonho, sempre iluminando meus caminhos na vida acadêmica, profissional e pessoal.

Agradeço aos meus pais, Palowa e Paulo Sérgio, que vivenciaram todas as dificuldades ao meu lado, sempre acreditando no meu potencial, me incentivando e comemorando minhas conquistas. Essa vitória, sem dúvidas, também é deles.

Agradeço aos meus irmãos, Andressa, Maria Paula e João Paulo, que estiveram ao meu lado diariamente, sempre transmitindo amor e força nessa caminhada.

A Evandro, que esteve comigo me doando amor, carinho e incentivo, sobretudo nos momentos difíceis para chegar até aqui.

Ao meu professor orientador, Enildo, por aceitar este convite, pela dedicação, empenho e ensinamentos durante a preparação desse trabalho.

Às minhas amigas de infância, Tayná, Ana Beatriz, Alícia e Ana Clara, que vivenciaram comigo vários momentos de angústia e felicidade desde a decisão do meu curso.

Aos meus amigos Alan e Rachel que contribuíram no início da minha vida acadêmica e tornaram-se verdadeiros amigos.

Aos amigos que a universidade me presenteou: Luanna, Rayanne, Paula, Larissa e Alexandre, por todos os momentos vividos nesses cinco anos.

A todos os professores que contribuíram para a minha formação. Particularmente aos professores Marcílio e Taurino, que se dispuseram a participar da banca examinadora.

RESUMO

Inerente à construção civil está a demanda por sistemas construtivos mais econômicos e eficientes. Os custos e os quantitativos de materiais para a execução do projeto de uma edificação relaciona-se diretamente com a escolha do seu sistema estrutural. No presente estudo, foi analisado uma edificação em concreto armado, com três opções para sua estrutura. Com o auxílio do software Ebérick 2018 Gold, analisou-se a estrutura nos seus dimensionamentos e nos deslocamentos e gerou-se o resumo de materiais para o comparativo dos insumos. O cálculo e o dimensionamento das estruturas respeitaram as recomendações normativas da NBR 6118/2014 – Projeto de estruturas de concreto. Desse modo, obteve-se resultados indicativos dos modelos estruturais sobre o consumo dos insumos aço, concreto e formas para sua execução e sobre o comportamento dos deslocamentos das lajes apresentados nos diagramas das grelhas.

Palavras Chaves: Estrutura, Concreto Armado, Lajes, Deslocamentos.

ABSTRACT

Inherent to civil construction is the demand for more economical and efficient construction systems. The costs and quantitative materials for the execution of the project of a building relates directly to the choice of its structural system. In the present study, a reinforced concrete building was analyzed, with three options for its structure. With the help of the Ebérick 2018 Gold software, the structure was analyzed in its dimensions and displacements and the summary of materials for the comparison of the materials was generated. The calculation and dimensioning of the structures respected the normative recommendations of NBR 6118/2014 - Concrete structures design. Thus, we obtained indicative results of the structural models on the consumption of steel, concrete and shapes for their execution on the behavior of the displacements of the slabs presented in the grid diagrams.

Key Words: Structure, Reinforced Concrete, Slabs, Displacements.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Viga reta de concreto	19
Figura 2 - Trecho da armadura da viga no pilar interno	20
Figura 3 - Esquema típico de laje maciça convencional	21
Figura 4- Laje nervurada apoiada sobre os pilares	22
Figura 5- Gráfico para cargas nos pilares	24
Figura 6- Gráfico para flambagem	24
Figura 7 – Gráfico para pré-dimensionamento de laje nervurada	27
Figura 8- Modelo estrutural adotado	29
Figura 9- Exemplo de carregamento na laje	31
Figura 10- Exemplo de carregamento na viga	31
Figura 11- Isopletras da velocidade básica V_o (m/s)	32
Figura 12- Exemplo de configuração de vento	33
Figura 13- Configuração para os materiais no software Ebérick	34
Figura 14- Classes C-25 do concreto com suas características	35
Figura 15- Gráfico para cargas nos pilares	35
Figura 16- Gráfico para flambagem	36
Figura 17 – Gráfico para pré-dimensionamento de laje nervurada	38
Figura 18- Deformações na laje da cobertura	39
Figura 19- Especificações da laje maciça	42
Figura 20- Forma: Modelo 01	42
Figura 21- Deslocamentos da laje: Modelo 01	43
Figura 22- Especificações da laje maciça	45
Figura 23- Forma: Modelo 02	45
Figura 24- Deslocamentos: Modelo 02	46
Figura 25 – Especificações da laje nervurada	48
Figura 26- Forma: Modelo 03	48
Figura 27- Deslocamentos na laje: Modelo 03	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1– Classe de agressividade ambiental (CAA)	17
Tabela 2– Correspondência entre classe de agressividade ambiental e o cobrimento mínimo	17
Tabela 3– Relação entre os tipos de carga e o ambiente a ser construído	25
Tabela 4– Valores mínimos das cargas verticais.....	30
Tabela 5– Correspondência entre a classe de agressividade e a qualidade do concreto	34
Tabela 6 - Consumo de materiais: Modelo 1.....	44
Tabela 7 - Consumo de materiais: Modelo 2.....	47
Tabela 8 - Consumo de materiais: Modelo 3.....	50
Tabela 9 – Comparativo de materiais entre os três modelos	50
Tabela 10 – Deslocamentos das lajes em cada modelo	54

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Comparativo do peso do aço	50
Gráfico 2 – Comparativo de área de forma (m ²)	51
Gráfico 3 – Comparativo de volume de concreto (m ³).....	52

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
1.1	OBJETIVOS	13
1.1.1	Objetivo geral.....	13
1.1.2	Objetivo específicos.....	13
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	14
2.1	ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO	14
2.1.1	Qualidade e durabilidade das estruturas de concreto armado.....	15
2.2	ELEMENTOS E SISTEMAS ESTRUTURAIS.....	18
2.2.1	Viga	19
2.2.2	Laje.....	20
2.2.3	Laje maciça tradicional.....	20
2.2.4	Laje nervurada.....	22
2.3	PRÉ-DIMENSIONAMENTO DOS ELEMENTOS ESTRUTURAIS EM CONCRETO ARMADO.....	23
2.3.1	Pilares.....	24
2.3.2	Vigas.....	25
2.3.3	Lajes	26
2.4	SOFTWARE DE CÁLCULO EBÉRICK.....	28
3	METODOLOGIA	29
3.1	MODELO ESTRUTURAL	29
3.2	PARÂMETROS DE PROJETO	29
3.2.1	Cargas adotadas.....	30
3.2.2	Ação do vento	32
3.2.3	Cobrimento e materiais	33
3.3	PRÉ-DIMENSIONAMENTO DOS ELEMENTOS ESTRUTURAIS	35
3.3.1	Pilares.....	35
3.3.2	Vigas.....	36
3.3.3	Lajes	37
3.4	LANÇAMENTO E PROCESSAMENTO DA ESTRUTURA	38
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	41
4.1	MODELO 01 – LAJES MACIÇAS COM ÁREA (7,5 X 7,5) M ²	41
4.2	MODELO 02 – LAJES MACIÇAS COM VIGAS SECUNDÁRIAS	44
4.3	MODELO 03 – LAJES NERVURADAS	47
4.4	COMPARATIVO ENTRE O CONSUMO DE MATERIAIS DOS TRÊS MODELOS	
	50	
5	CONCLUSÃO	53
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	55

1 INTRODUÇÃO

Na construção civil existe a competitividade de mercado que demanda o emprego de soluções mais econômicas, com menor tempo de execução e que garantam uma vida útil mais duradoura do produto, atendendo à segurança e ao bem estar dos seus usuários.

Na engenharia, esses desafios são inicialmente enfrentados pelos projetistas pois exigem uma análise precisa das particularidades de cada projeto para chegar à escolha do método construtivo mais adequado naquela situação, atendendo aos curtos prazos e custos determinados pelo mercado, consequentes da mão de obra especializada, dos equipamentos e da estrutura em geral.

Além dos aspectos citados acima, ao dimensionar uma edificação em concreto armado, o projetista vai de encontro a desafios técnicos tal qual a necessidade de solucionar os erros de dimensionamento da estrutura como deslocamentos em lajes e vigas fora dos limites impostos pelas normas vigentes.

Tempos atrás, estes processos de cálculo eram realizados manualmente pelos profissionais, tornando o tempo de elaboração de projeto mais longo. Com a tecnologia atual, foram desenvolvidos softwares evoluídos capazes de fornecer a modelagem, a análise, o dimensionamento e o detalhamento de estruturas em concreto armado automaticamente, além de gerar uma realidade aumentada com a visualização tridimensional dos elementos estruturais. Um destes softwares conhecidos é o Ebérick, o qual foi utilizado para o andamento do trabalho em questão.

Diante do exposto, o presente estudo aborda um caso específico de um edifício de 10 pavimentos, para uso de depósito com cargas acidentais elevadas. É realizada uma comparação entre os quantitativos dos materiais empregados para a sua construção através de três opções de estruturas compatíveis com o projeto arquitetônico.

O estudo é composto por um referencial teórico sobre dimensionamento de estruturas de concreto armado, e a utilização dos procedimentos disponíveis no software Ebérick, através das suas ferramentas auxiliares para o cálculo dos modelos estruturais utilizados.

Em seguida, é retratada a metodologia desenvolvida para o andamento do trabalho, os resultados obtidos e as considerações finais em relação aos objetivos iniciais.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

O presente trabalho tem por objetivo calcular as estruturas das três opções compatíveis com o projeto arquitetônico adotado e mostrar a importância das soluções consideradas em relação aos quantitativos de insumos das superestruturas por meio dos resultados obtidos através do uso de software de cálculo estrutural, Ebérick V8 Gold.

1.1.2 Objetivo específicos

- Estudar os procedimentos operacionais de cálculo para dimensionar as estruturas em concreto armado consideradas, utilizando as orientações do programa Ebérick para solucionar os eventuais erros apresentados durante o processamento da estrutura.
- Comparar quantitativamente e individualmente o volume de concreto, peso do aço e área das formas em cada opção estudada e apresentar as melhores avaliadas na utilização de cada material.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A concepção estrutural, também chamada de lançamento da estrutura, consiste em escolher um sistema estrutural que constitua a parte resistente do edifício. Essa etapa, uma das mais importantes no projeto estrutural, implica em escolher os elementos a serem utilizados e definir suas posições, de modo a formar um sistema estrutural eficiente, capaz de absorver os esforços oriundos das ações atuantes e transmiti-los ao solo da fundação. É primordial que essa concepção leve em conta a finalidade da edificação e atenda, tanto quanto possível, às condições impostas pela arquitetura. (PINHEIRO 2007).

2.1 ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO

O concreto armado é um material obtido pela associação de um material resistente à compressão, o concreto, com um material resistente à tração, o aço. Para que seja um material eficiente, é necessário que o aço tenha uma ligação perfeita com o concreto, que é denominada aderência. (REBELLO, 2007).

Ele é um material que dispensa mão de obra especializada e possui uma ampla empregabilidade, destacando-se as estruturas de barragens, pontes e de edificações, desde simples casas a grandes obras. Por essa razão, a maior parte das construções utiliza esse sistema como solução estrutural.

O concreto armado, assim como todo material, apresenta vantagens e desvantagens. Entre elas, Carvalho e Figueiredo (2017) destacam:

➤ Vantagens

- Boa resistência à maioria das solicitações;
- Boa trabalhabilidade, se adaptando a várias formas;
- Técnicas de execução dominadas em todo o país;
- Durabilidade e resistência ao fogo superiores em relação à madeira e ao aço;
- Possibilita a utilização da pré-moldagem, proporcionando maior rapidez e facilidade de execução;
- É resistente a choques e vibrações, efeitos térmicos, atmosféricos e desgastes mecânicos;

➤ Desvantagens:

- Peso próprio elevado por resultar em elementos com maiores dimensões que o aço, limitando seu uso em determinadas situações ou aumentando seu custo;
- Dificuldade de execução de reformas e adaptações;
- É um bom condutor de calor e de som, exigindo em alguns casos, associação com outros materiais para sanar esses problemas;
- Faz necessário o uso de sistema de fôrmas e a utilização de escoramentos.

2.1.1 Qualidade e durabilidade das estruturas de concreto armado

Para uma estrutura ser satisfatória, além da economia e facilidade de execução, ela precisa atender a critérios de segurança, qualidade e durabilidade.

A segurança que todos os tipos de estruturas devem apresentar envolve dois aspectos principais. O primeiro, e mais importante, é que uma estrutura não pode, obviamente, nunca alcançar a ruptura. O segundo aspecto é relativo ao conforto, à tranquilidade do usuário na utilização da construção. A NBR 6118:2014 (itens 3.2 e 10.4) trata esses dois aspectos da segurança apresentando os “Estados Limites”, que são situações limites que as estruturas não devem ultrapassar. A segurança da estrutura contra o colapso relaciona-se ao chamado “Estado Limite Último”, e a segurança do usuário na utilização da estrutura relaciona-se aos “Estados Limites de Serviço”. (BASTOS, 2006)

De acordo com a NBR 6118:2014, a segurança das estruturas de concreto deve sempre ser verificada em relação aos seguintes estados limites últimos:

- a) estado limite último da perda do equilíbrio da estrutura, admitida como corpo rígido;
- b) estado limite último de esgotamento da capacidade resistente da estrutura, no seu todo ou em parte, por efeitos de solicitações normais e tangenciais; admitindo-se, em geral, verificações separadas dessas solicitações;
- c) estado limite último de esgotamento da capacidade resistente da estrutura, em seu todo ou em parte, considerando os efeitos de segunda ordem;
- d) estado limite último provocado por solicitações dinâmicas;
- e) estado limite último de colapso progressivo;

- f) estado limite último de esgotamento da capacidade resistente da estrutura, no seu todo ou em parte, considerando exposição ao fogo, conforme a ABNT NBR 15200;
- g) estado-limite último de esgotamento da capacidade resistente da estrutura, considerando ações sísmicas, de acordo com a ABNT NBR 15421;
- h) outros estados limites últimos que, eventualmente, possam ocorrer em casos especiais.

Para os estados limites de serviço, a segurança das estruturas de concreto pode exigir a verificação de alguns dos seguintes itens estabelecidos na NBR 6118:2014:

- a) formação de fissuras (ELS-F): estado em que se inicia a formação de fissuras;
- b) abertura das fissuras (ELS-W): estado em que as fissuras se apresentam com aberturas iguais aos valores máximos especificados na norma;
- c) deformação excessiva (ELS-DEF): estado em que as deformações atingem os limites estabelecidos na norma para a utilização normal da estrutura;
- d) descompressão (ELS-D), descompressão parcial (ELS-DP) e compressão excessiva (ELS-CE): verificações usuais nos casos de utilização de estruturas em concreto protendido;
- e) vibração excessiva (ELS-VE): estado em que as vibrações atingem os limites estabelecidos na norma para a utilização normal da construção;

Segundo a ABNT NBR 6118:2014, em seu item 5.1.1, as estruturas de concreto devem atender aos seguintes requisitos mínimos de qualidade durante a sua construção e serviço, classificados em três grupos, indicados no item 5.1.2 da norma:

- Capacidade resistente: consiste basicamente na segurança à ruptura.
- Desempenho em serviço: consiste na capacidade da estrutura manter-se em condições plenas de utilização durante sua vida útil, não podendo apresentar danos que comprometam em parte ou totalmente o uso para o qual foi projetada;
- Durabilidade: consiste na capacidade de a estrutura resistir às influências ambientais previstas e definidas em conjunto pelo autor do projeto estrutural e pelo contratante, no início dos trabalhos de elaboração do projeto.

Quanto às condições de durabilidade, a ABNT NBR 6118:2014, em seu item 6.1, diz que as estruturas de concreto devem ser projetadas e construídas de modo que, sob as condições ambientais previstas na época do projeto e quando utilizadas conforme preconizado em projeto, conservem sua segurança, estabilidade e aptidão em serviço durante o prazo correspondente à sua vida útil.

Uma das principais responsáveis pela perda de qualidade e durabilidade das estruturas é a agressividade do meio ambiente, que segundo o item 6.4 da ABNT NBR 6118:2014 está relacionada às ações físicas e químicas que atuam sobre as estruturas de concreto. (CARVALHO, 2017).

A classificação da agressividade é definida de acordo com Tabela 1. No presente trabalho, foi utilizada a classe de agressividade ambiental II – Moderada, pois a edificação considerada é localizada em zona urbana.

Tabela 1– Classe de agressividade ambiental (CAA)

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: NBR 6118:2014 – Tabela 6.1

Com relação à proteção das armaduras, é exigida outra consideração que estabelece o cobrimento mínimo para as mesmas. Na Tabela 2 é apresentada a correspondência entre a classe de agressividade ambiental e este cobrimento nominal.

Tabela 2– Correspondência entre classe de agressividade ambiental e o cobrimento mínimo

Tipo de estrutura	Componente ou elemento	Classe de agressividade ambiental (Tabela 6.1)			
		I	II	III	IV ^c
		Cobrimento nominal mm			
Concreto armado	Laje ^b	20	25	35	45
	Viga/pilar	25	30	40	50
	Elementos estruturais em contato com o solo ^d	30		40	50
Concreto protendido ^a	Laje	25	30	40	50
	Viga/pilar	30	35	45	55

^a Cobrimento nominal da bainha ou dos fios, cabos e cordoalhas. O cobrimento da armadura passiva deve respeitar os cobrimentos para concreto armado.

^b Para a face superior de lajes e vigas que serão revestidas com argamassa de contrapiso, com revestimentos finais secos tipo carpete e madeira, com argamassa de revestimento e acabamento, como pisos de elevado desempenho, pisos cerâmicos, pisos asfálticos e outros, as exigências desta Tabela podem ser substituídas pelas de 7.4.7.5, respeitado um cobrimento nominal ≥ 15 mm.

^c Nas superfícies expostas a ambientes agressivos, como reservatórios, estações de tratamento de água e esgoto, condutos de esgoto, canaletas de efluentes e outras obras em ambientes química e intensamente agressivos, devem ser atendidos os cobrimentos da classe de agressividade IV.

^d No trecho dos pilares em contato com o solo junto aos elementos de fundação, a armadura deve ter cobrimento nominal ≥ 45 mm.

Fonte: NBR 6118:2014 – Tabela 7.2

2.2 ELEMENTOS E SISTEMAS ESTRUTURAIS

Uma estrutura é a parte da construção que resiste às diversas ações e as transmite ao solo garantindo o equilíbrio das edificações. Os elementos desta estrutura, também chamados de elementos estruturais são as peças que compõem a estrutura. O modo como estes elementos estruturais são arranjados é conhecido como sistema estrutural. Os principais elementos estruturais em edificações convencionais de concreto armado são as lajes, vigas e pilares. (AUGUSTO e VELOIS, 2019)

Para iniciar a elaboração de um projeto estrutural satisfatório, é imprescindível que se disponha de conhecimentos teóricos sobre estruturas, seus elementos básicos, e se defina o sistema estrutural a ser empregado em cada caso, conforme a exigência do projeto arquitetônico, pois a sua escolha está diretamente ligada à distribuição dos esforços ao longo da edificação, da disponibilidade de materiais, mão de obra capacitada, equipamentos utilizados e verba para sua execução.

No Brasil, o sistema estrutural mais comum é o sistema laje-viga-pilar, o qual é o objeto do presente trabalho. Nele, os esforços são determinados na seguinte ordem de cálculo: lajes, vigas e pilares, pois as cargas verticais são absorvidas pelas lajes, conduzidas às vigas por serem apoiadas nas mesmas e, finalmente, transmitidas para os pilares.

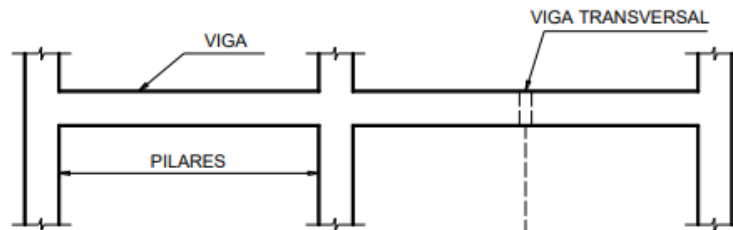
Neste trabalho foram avaliados dois modelos básicos de sistemas estruturais para o mesmo projeto arquitetônico, diferenciados apenas pelo tipo de laje empregado, e um terceiro em lajes maciças, porém com áreas menores devido a adoção de vigas secundárias:

- a) Laje maciça (7,5 x 7,5) m² apoiadas sobre vigas e essas apoiadas sobre pilares;
- b) Laje nervurada (7,5 x 7,5) m² com cubetas e vigas apoiadas sobre vigas e essas apoiadas sobre pilares;
- c) Laje maciças (3,75 x 3,75) m² apoiadas sobre vigas principais e secundárias e essas apoiadas sobre pilares.

2.2.1 Viga

As vigas são os elementos estruturais que delimitam as lajes, suportando seu próprio peso, as cargas das paredes e, por vezes, as de outras vigas, transmitindo a soma de todas elas para seus apoios, normalmente os pilares, sendo esta sua principal função, além de ser utilizada simultaneamente para vencer grandes vãos, como mostra a Figura 1.

Figura 1 - Viga reta de concreto

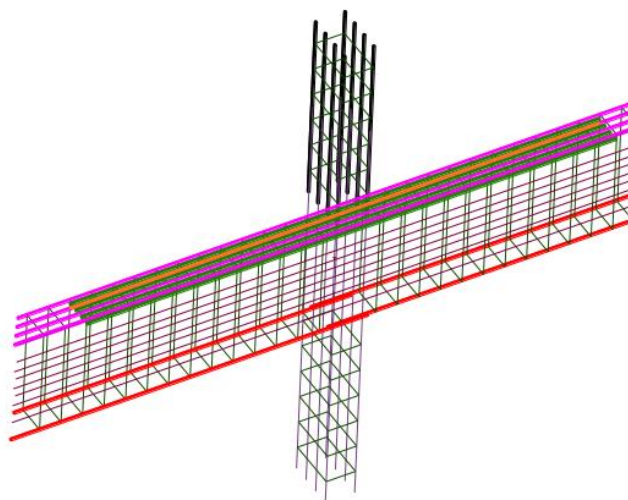


Fonte: Bastos, 2019, p.73.

Ainda, segundo a NBR 6118:2014 em seu item 14.4.1.1, as vigas são elementos lineares em que a flexão é preponderante, mas é importante citar que também podem ocorrer momentos de torção e forças normais de compressão ou de tração, na direção do eixo longitudinal.

Por fim, Bastos (2019) menciona que as vigas, juntamente com os pilares, compõem a estrutura de contraventamento responsável por proporcionar a estabilidade global dos edifícios às ações verticais e horizontais. As armaduras longitudinais e transversais que compõem a estrutura da viga e do pilar estão mostradas na Figura 2.

Figura 2 - Trecho da armadura da viga no pilar interno



Fonte: Bastos, 2019, p.74.

2.2.2 Laje

As lajes são elementos planos e bidimensionais que se destinam a receber as ações perpendiculares ao seu plano, podendo estas serem cargas distribuídas na área, distribuídas linearmente ou cargas concentradas.

Elas possuem uma ampla diversificação em sua tipologia e é escolhida em cada caso pelo conhecimento técnico e econômico a ser tratado, mas a semelhança entre elas é que as suas ações geralmente são transmitidas para as vigas de apoio nas bordas da laje, podendo eventualmente serem transmitidas diretamente aos pilares.

Dentre seus tipos, pode-se citar: lajes maciças, nervuradas, lisas e pré-moldadas.

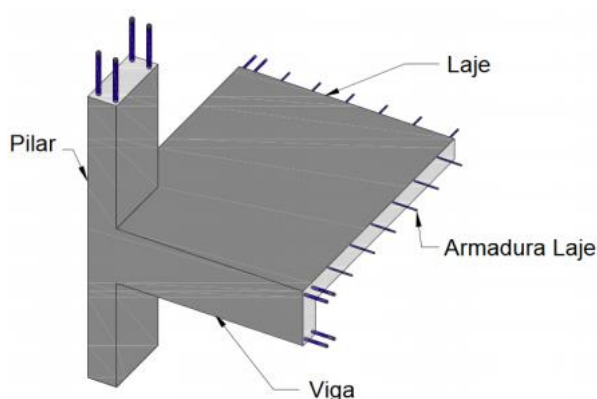
2.2.3 Laje maciça tradicional

Lajes maciças são aquelas com a espessura totalmente preenchida com concreto – sem vazios, contendo armaduras embutidas no concreto, e apoiadas ao longo de todo ou parte do perímetro. No caso de lajes com quatro bordas, a situação mais comum é a laje apoiar-se nas

quatro bordas, mas as lajes podem também ter bordas não apoiadas, chamadas borda livre. Assim tem-se a laje com uma ou duas bordas livres. (BASTOS, 2019)

Ainda segundo Bastos (2019), as lajes maciças de concreto são comuns em edifícios de pavimentos e em construções de grande porte, como escolas, indústrias, hospitais e pontes, mas de modo geral, não são aplicadas em construções residenciais e outras de pequeno porte, pois nesses tipos de construção as lajes nervuradas pré-fabricadas apresentam vantagens nos aspectos custo e facilidade de construção.

Figura 3 - Esquema típico de laje maciça convencional



Fonte: Spohr, 2008, p. 30.

A seguir, tem-se uma lista de vantagens e desvantagens do sistema de lajes maciças tradicionais:

➤ Vantagens

- Boa rigidez à estrutura garantida pelos pórticos formados devido à grande quantidade de vigas (SPOHR, 2008);
- Mão de obra bem treinada por ser um dos sistemas estruturais mais utilizados nas construções de concreto armado (SPOHR, 2008);

➤ Desvantagens:

- Não é adequada a vencer grandes vãos (SPOHR, 2008);
- Grande volume de concreto;
- Elevado gasto com fôrmas, o qual pode ser minimizado a partir da repetição dos pavimentos, uma vez que é possível a reutilização delas, desde que tenha havido o correto uso no momento da montagem, do escoramento e da

desmoldagem. (CARVALHO E FIGUEIREDO, 2017);

- Diminuição da produtividade e do reaproveitamento das formas devido à grande quantidade de vigas que deixa as formas dos pavimentos bastante recortadas. (SPOHR, 2008)

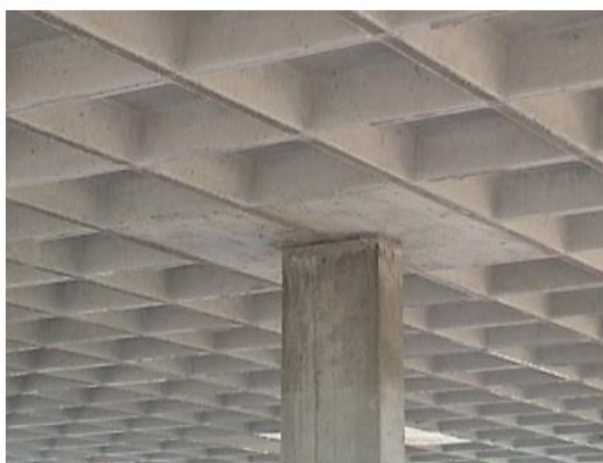
2.2.4 Laje nervurada

A NBR 6118:2014, em seu item 14.7.7, define as lajes nervuradas como as lajes moldadas no local ou com nervuras pré-moldadas, cuja zona de tração para momentos positivos esteja localizada nas nervuras entre as quais pode ser colocado material inerte.

As lajes nervuradas são normalmente empregadas em estruturas nas quais é necessário vencer grandes vãos que, para as maciças, torna-se inviável devido à grande espessura imposta para atender ao dimensionamento, mas que inviabiliza a sua escolha. Para as lajes nervuradas, a retirada do concreto que se encontra nas nervuras proporciona a diminuição do peso próprio da laje.

Nesse sistema a zona de tração não se encontra na mesa da laje e sim nas nervuras. Entre essas nervuras podem-se utilizar diversos materiais, entre os quais: blocos cerâmicos, EPS (poliestireno expandido) ou cubetas para servir de forma para o concreto da mesa da laje, tornando a estrutura mais leve, ARAÚJO (2010b).

Figura 4- Laje nervurada apoiada sobre os pilares



Fonte: Spohr, 2008, p. 36.

A seguir, tem-se uma lista de vantagens e desvantagens do sistema de lajes nervuradas citadas por Carvalho e Pinheiro (2009):

➤ Vantagens

- Permitem vencer grandes vãos, liberando espaços, o que é vantajoso em locais como garagens, onde os pilares dificultam as manobras e podem ocupar regiões que serviriam para vagas;
- Podem ser construídas com a mesma tecnologia empregadas nas lajes maciças;
- Tem grande versatilidade de aplicações, podendo ser utilizadas em pavimentos de edificações comerciais, residenciais, educacionais, garagens, etc;
- São também adequadas ao sistema de lajes sem vigas, em que podem ser necessárias regiões maciças apenas nas regiões dos pilares, onde há grande concentração de tensões;
- Consomem menos concreto e aço que outros sistemas similares, diminuindo o peso próprio e aliviando as fundações;
- Pelas suas características (grande altura e pequeno peso próprio), podem suportar cargas mais elevadas que as demais.

➤ Desvantagens

- Dificuldade de passagem de tubulações;
- Demanda por alturas maiores do edifício e de cada andar.

2.3 PRÉ-DIMENSIONAMENTO DOS ELEMENTOS ESTRUTURAIS EM CONCRETO ARMADO

Conceitualmente, o pré-dimensionamento requer um grande número de informações, pois a análise deve ser feita para cada peça da estrutura. Algumas das variáveis que podem influenciar no pré-dimensionamento de uma peça são: material, geometria, carregamento, condição de apoio, vão, procedimentos e restrições normativas. (MELO, 2013)

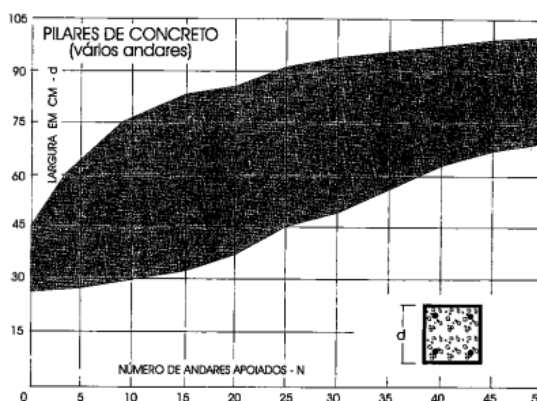
É uma etapa que pode ser realizada por fórmulas empíricas, gráficos, ábacos, por critérios e recomendações de alguns autores da literatura específica, além da experiência do projetista.

O presente trabalho respeitou os valores mínimos estabelecidos na norma brasileira ABNT NBR 6118:2014 e utilizou os referidos métodos de Rebello (2007) no pré-dimensionamento de pilares, vigas e lajes. Vale salientar que para o pré-dimensionamento não foi considerado a exposição da estrutura ao fogo, conforme a ABNT NBR 15200.

2.3.1 Pilares

O pré-dimensionamento dos pilares, segundo Rebello (2007), pode ser feito através do método que utiliza dois gráficos. O primeiro (Figura 5) considera as cargas atuantes nos pilares e o número de pavimentos da estrutura. Assim, através do número de pavimento da edificação e da intensidade de carga do pavimento, determina-se uma medida de largura “d” em cm, correspondente a um pilar quadrado.

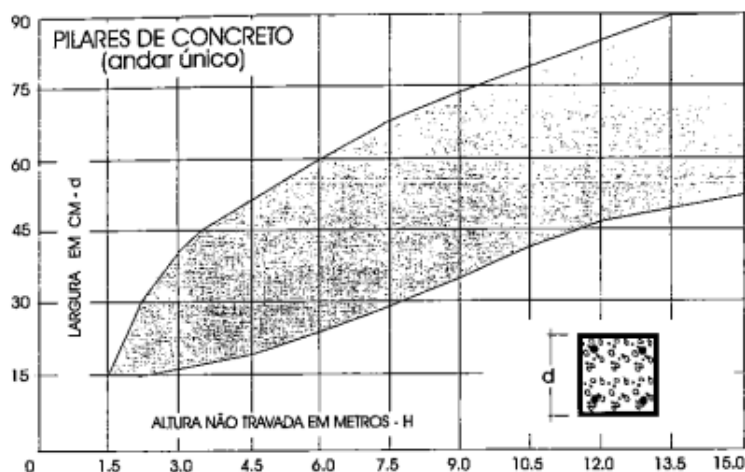
Figura 5- Gráfico para cargas nos pilares



Fonte: Rebello, 2007, p.199.

O segundo gráfico (Figura 6) analisa os efeitos de flambagem no pilar através das cargas e da altura de cada pavimento da edificação não travada em metros dos pilares, determinando em centímetro um lado do pilar quadrado. Ainda de acordo com Rebello, a menor dimensão da seção do pilar, numa direção, não poderá ser inferior ao valor da altura livre do pilar dividida por 25. Os dois gráficos utilizados atendem a intensidade de cargas atuantes no pavimento. As cargas de intensidade maiores ficam próximas a linha superior da figura central e as menores, próximas a linha inferior.

Figura 6- Gráfico para flambagem



Fonte: Rebello, 2007, p.200.

Segundo a ABNT NBR 6118:2014, a seção transversal de pilares e pilares-parede maciços, qualquer que seja a sua forma, não pode apresentar dimensão menor que 19 cm e, ainda, em qualquer caso, não se permite pilar com seção transversal de área inferior a 360 cm². Estes limites impostos pela norma brasileira foram atendidos no presente estudo.

2.3.2 Vigas

Para o pré-dimensionamento das vigas, também foi adotado o método de Rebello (2007) mas, utilizando a classificação de intensidade de carga no pavimento (pequena, média ou grande) recomendada por Melo (2013) e mostrada na Tabela 3.

Tabela 3– Relação entre os tipos de carga e o ambiente a ser construído

Cargas	Local	Valores de carga (kN/m ²)
Pequenas	Sala de leitura; Corredores sem ao acesso público; Depósitos; Edifícios residenciais; Escada sem acesso ao público; Escolas; Escritórios; Dormitórios, sala de cirurgia, raio X, banheiros e enfermarias de hospitais.	1,5 a 2,5
Médias	Escada com acesso ao público; Garagens e estacionamentos; Corredores de hospitais; Lojas; Restaurantes; Sala para depósito de livros; Corredores com ao acesso público; Depósitos.	3 a 4
Grandes	Casa de máquinas; Sala com estantes de livros; Depósitos.	4,5 a 7,5

Fonte: Melo, 2013, p.23.

Assim, segundo Rebello (2007), para o pré-dimensionamento da altura de vigas contínuas sem balanço, tem-se:

- Cargas pequenas: $h = 6\%$ do vão
- Cargas médias: $h = 8\%$ do vão
- Cargas grandes: $h = 10\%$ do vão

Em relação a largura das vigas o citado autor sugere que o valor esteja entre $1/4$ e $1/3$ da altura e a norma ABNT NBR 6118:2014, considera que a seção transversal não pode apresentar largura menor que 12 cm e a das vigas-parede, menor que 15 cm.

Di Pietro (2000), recomenda que no pré-dimensionamento das alturas das vigas contínuas em concreto armado para cargas médias e grandes, a altura deve estar entre os valores ($L/12$ a $L/16$), sendo L o vão da viga.

2.3.3 Lajes

2.3.3.1 Lajes maciças

Considerando o pré-dimensionamento de lajes maciças segundo Rebello (2007), as suas espessuras variam em função da simetria entre seus lados, dos seus vínculos e dos materiais constituintes.

Para as lajes maciças, tem-se:

- Laje armada em duas direções: $h = 2\% \frac{L+l}{2}$
- Laje armada em uma direção: $h = 2\% l$
- Laje em balanço: $h = 4\%$ do balanço

Sendo: L o maior vão e l o menor.

Ainda no pré-dimensionamento das lajes, foram atendidas neste trabalho as espessuras mínimas definidas no item 13.2.4.1 da ABNT NBR 6118:2014, e citadas abaixo:

- 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 com protensão apoiadas em vigas, com o mínimo de $\frac{l}{42}$ para lajes de piso biapoiadas e $\frac{l}{50}$ para lajes de piso contínuas;
- g) 16 cm para lajes lisas e 14 cm para lajes-cogumelo, fora do capitel.

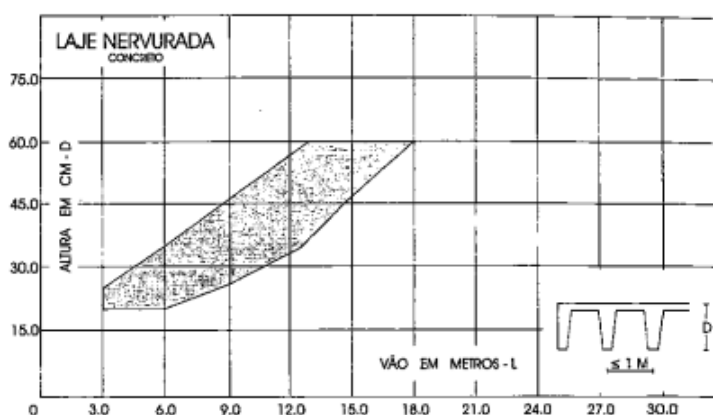
2.3.3.2 Lajes nervuradas

Rebello (2007) afirma que, para as lajes nervuradas, deve-se estabelecer primeiramente o espaçamento entre as nervuras para depois determinar suas altura e largura, pois as dimensões das nervuras dependem do seu espaçamento. Ainda assegura que os espaçamentos normalmente utilizados para as nervuras estão próximos de 50cm ou de 100cm e que, para esses espaçamentos, adota-se as seguintes alturas de nervuras:

- Espaçamento em torno de 100cm: $h = 4\%$ do vão das nervuras;
- Espaçamento em torno de 50cm: $h = 3\%$ do vão das nervuras;
- A largura das nervuras, para ambos os casos, é de $\frac{1}{4}$ a $\frac{1}{3}$ da altura.

Rebello (2007) ainda sugere o uso de gráficos para o pré-dimensionamento da altura de lajes nervuradas em função do seu vão (Figura 7).

Figura 7 – Gráfico para pré-dimensionamento de laje nervurada



Fonte: Rebello, 2007, p.171.

2.4 SOFTWARE DE CÁLCULO EBÉRICK

Para o estudo em questão, escolheu-se o software de cálculo Ebérick, na sua versão V8 Gold, para elaboração dos projetos estruturais e obtenção dos relatórios de quantitativos de materiais referentes a cada opção de estrutura.

O Ebérick calcula projetos em concreto armado moldado in-loco, pré-moldado, alvenaria estrutural e estruturas híbridas, com recursos que abrangem todas as etapas do projeto. Ele fornece a modelagem, a análise, o dimensionamento, o detalhamento de estruturas, planta de forma, locação de pilares e fundações automaticamente, além de gerar uma realidade aumentada com a visualização tridimensional dos elementos estruturais.

Através deste software é possível dimensionar a estrutura obedecendo às normas brasileiras, verificando o estado limite último e estado limite de serviço, calculando os esforços em cada elemento estrutural e suas deformações.

Por fim, o programa emite um relatório conhecido no meio técnico como memorial de cálculo, com análise global da estrutura, seus esforços, resultado dos dimensionamentos e o resumo dos materiais necessários para a execução da edificação, como formas, aço e volume de concreto.

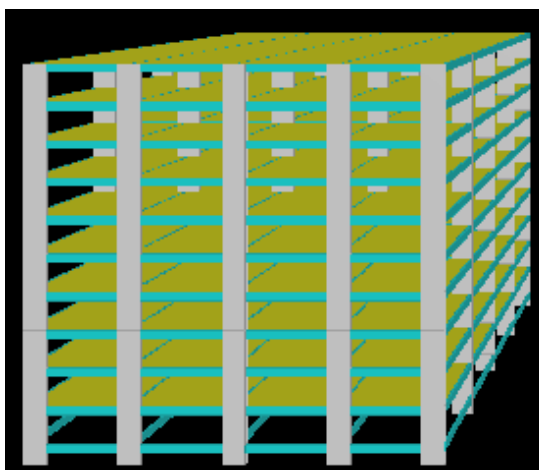
3 METODOLOGIA

3.1 MODELO ESTRUTURAL

Para o desenvolvimento do presente estudo, foi adotado um projeto arquitetônico genérico com modulação de pilares distanciados em 7,5m entre seus eixos e pé esquerdo de 2,70 metros. O projeto foi planejado para ter 10 pavimentos com plantas baixas iguais com a finalidade de ser utilizado para depósito de materiais, sem a subdivisão de ambientes.

A Figura 08 apresenta o modelo estrutural criado no software Ebérick. Neste estudo foi adotado o método de análise das lajes através de grelhas e pórtico espacial, utilizando o processo P-delta.

Figura 8- Modelo estrutural adotado



Fonte: Autor.

3.2 PARÂMETROS DE PROJETO

Os critérios de escolha dos parâmetros de cálculo para o projeto citados abaixo foram utilizados em comum para os três modelos estruturais analisados. Eles foram editados na interface do Ebérick e os parâmetros não mencionados nos tópicos a seguir foram mantidos na condição padrão (default) para todos os modelos, de acordo com as normas vigentes sem ocasionar interferência em seus resultados.

3.2.1 Cargas adotadas

Um edifício está sob a atuação dos carregamentos verticais e horizontais. A norma NBR 6120:2019 subdivide essas cargas em permanentes e acidentais, sendo as permanentes constituídas pelo peso próprio da estrutura e o peso de todos os elementos construtivos fixos e instalações permanentes, e as acidentais toda aquela que pode atuar sobre a estrutura de edificações em função do seu uso (pessoas, móveis, materiais diversos, veículos etc.).

Sendo assim, para o estudo em questão, as cargas adotadas para o dimensionamento da estrutura obedeceram às recomendações estabelecidas na NBR 6120: 2019, que estabelece valores a serem considerados em cada tipologia de projeto, como mostra a Tabela 4.

Tabela 4– Valores mínimos das cargas verticais

Local		Carga uniformemente distribuída kN/m ²	Carga concentrada kN
Cozinhas não residenciais ^a	Validar caso a caso, respeitando o valor mínimo indicado nesta Tabela	3	–
	Câmara fria	5	–
Depósitos de uso geral ^a As cargas devem ser validadas caso a caso, porém com os valores mínimos indicados nesta Tabela.	Validar caso a caso, respeitando o valor mínimo indicado nesta Tabela	7,5 kN/m ² até 2,5 m de altura de estoque + 3 kN/m ² por metro de altura de estoque excedente ^p	q
	Locais sujeitos ao acúmulo de mercadorias, incluindo zonas de acesso Materiais de armazenagem (ver 6.9) Supermercados (ver item nesta Tabela)	7,5	q

Fonte: NBR 6120:2019 – Tabela 10.

O software de cálculo utilizado, Ebérick V8, possibilita a escolha do tipo da laje, a espessura (h) e os valores das cargas acidentais e permanentes distribuídas por unidade de área, conforme mostra a figura 9. Em seguida, o programa determina a carga correspondente ao peso próprio do elemento estrutural.

De acordo com as orientações da norma NBR 6120: 2019 para avaliação de cargas na estrutura foi adotada para as lajes deste projeto estrutural o valor da carga acidental de 800

kgf/m², considerando que a tabela 4 da citada norma estabelece para lajes destinadas a depósitos um valor a ser determinado em cada caso, sendo o mínimo de 7,5 KN/m² até 2,5m de altura de estoque + 3 KN/m² por metro de altura de estoque excedente. Conforme Melo (2013), o valor adotado de 800 kgf/m², se enquadra no caso “cargas grandes”. Ver Figura 9.

Figura 9- Exemplo de carregamento na laje

Laje

Nome Tipo Grelha...

Cargas

Acidental kgf/m² Revestimento kgf/m²

Extra kgf/m²

Vigota protendida

Grupo ...

Arranjo Altura

Enchimento

Tipo

Dimensão

Seção

Espessura cm Elevação cm

ec cm

ee cm

enx cm

eny cm

Fonte: Autor.

Por fim, para o carregamento linear, sobre as vigas, adotou-se a carga de parede apenas no contorno da edificação. Sendo assim, de acordo com a Figura 10, as cargas de parede sobre as vigas de contorno da edificação foram inseridas para o cálculo no Eberick considerando: espessura de 15cm, altura de 270cm e peso específico de 1300 Kgf/m³, totalizando 526,50 Kgf/m.

Figura 10- Exemplo de carregamento na viga

Parede

Dimensões

Altura cm

Espessura cm

Peso kgf/m³

Carga total kgf/m

Aberturas

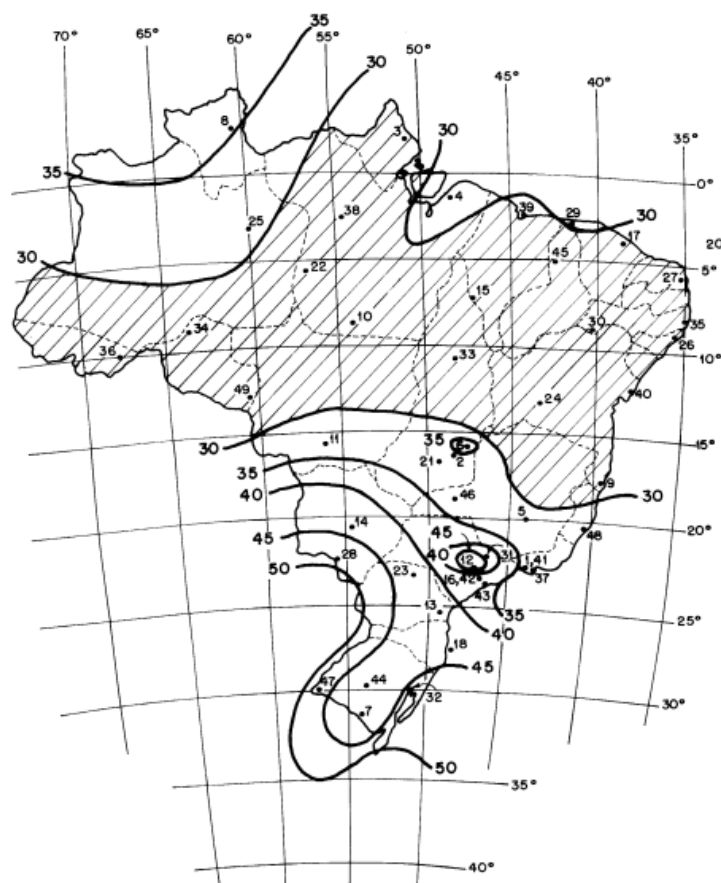
Fonte: Autor.

3.2.2 Ação do vento

No Brasil, as cargas provenientes da ação do vento são definidas de acordo a NBR 6123:1988 que, segundo a mesma, fixa as condições exigíveis na consideração das forças devidas à ação estática e dinâmica do vento, para efeitos de cálculo de edificações.

Para o cálculo da estrutura em estudo, simulou-se a sua localização no estado da Paraíba, assim, a velocidade básica do vento de 30m/s, foi definida de acordo com as isopletras fornecidas pela norma citada e está demonstrada na Figura 11 das Isopletras da velocidade básica do vento, para todo o território brasileiro.

Figura 11- Isopletras da velocidade básica V_0 (m/s)



Fonte: NBR 6123:1988 – Figura 1.

Assim, o valor definido foi lançado no software de cálculo para dimensionamento da estrutura, como mostra a Figura 12.

Figura 12- Exemplo de configuração de vento

Fonte: Autor.

3.2.3 Cobrimento e materiais

Outro item importante na configuração dos dados para o cálculo da estrutura no programa Eberick é a definição da classe de agressividade ambiental, desta forma, diminui a possibilidade de perda de qualidade aumentando a vida útil da estrutura. Assim sendo, no presente trabalho, foi utilizada a classe de agressividade ambiental II – Moderada, pois a edificação considerada está localizada em zona urbana. Por consequência, essa classe de agressividade ambiental caracteriza o cobrimento de 2,5 cm para lajes e 3,0 cm vigas e pilares, como explícito na Tabela 2 citada anteriormente.

Para os elementos estruturais dos três modelos adotados, considerou-se a resistência a compressão característica do concreto $f_{ck} = 25$ Mpa, com a exceção dos elementos de fundação, pois não foram objeto de estudo. Esta consideração atendeu ao quesito da NBR 6118:2014, que relaciona a classe de agressividade e a qualidade do concreto, como mostra a Tabela 5. Na Figura 13, mostra a classe do concreto adotada e a dimensão máxima do agregado graúdo.

Tabela 5– Correspondência entre a classe de agressividade e a qualidade do concreto

Concreto ^a	Tipo ^{b, c}	Classe de agressividade (Tabela 6.1)			
		I	II	III	IV
Relação água/cimento em massa	CA	≤ 0,65	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,45
	CP	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,50	≤ 0,45
Classe de concreto (ABNT NBR 8953)	CA	≥ C20	≥ C25	≥ C30	≥ C40
	CP	≥ C25	≥ C30	≥ C35	≥ C40

^a O concreto empregado na execução das estruturas deve cumprir com os requisitos estabelecidos na ABNT NBR 12655.
^b CA corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto armado.
^c CP corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto protendido.

Fonte: NBR 6118:2014 – Tabela 7.1

Figura 13- Configuração para os materiais no software Ebérick

Materiais e durabilidade

Aplicação
 Projeto inteiro
 Por pavimento

Pavimento
 coberta
 Pavimento 9
 Pavimento 8
 Pavimento 7
 Pavimento 6
 Pavimento 5
 Pavimento 4
 Pavimento 3
 Pavimento 2
 Teto
 Galerias

Ávisos
 Todas as informações estão definidas corretamente
 Detalhes...

OK Cancelar Ajuda Fluência... Barras... Classes...

Geral
 Classe de agressividade II (moderada) ...
 Dimensão do agregado 19 mm
 Controle rigoroso nas dimensões dos elementos

Abertura máxima das fissuras
 Contato com o solo 0,2 mm
 Contato com a água 0,1 mm
 Demais peças 0,3 mm

Elementos

	Concreto	Cobrimento (peças externas)	Cobrimento (peças internas)	
Vigas	C-25	3 cm	3 cm	Bitolas...
Pilares	C-25	3 cm	3 cm	Bitolas...
Lajes	C-25	2,5 cm		Bitolas...
Reservatórios	C-25	3 cm		Bitolas...
Blocos	C-25	3 cm		Bitolas...
Sapatas	C-25	3 cm		Bitolas...
Tubulões	C-20	3 cm		Bitolas...
Muros	C-25	3 cm		Bitolas...
Radier	C-25	3 cm		Bitolas...

Fonte: Autor.

O peso específico considerado para os elementos de concreto armado foi de 2500 kgf/m³ e para as paredes de alvenaria 1300 kgf/m³. Para o aço, utilizou-se a categorias CA-50 e CA-60, com massa específica de 7850 kgf/m³, módulo de elasticidade de 2100000 kgf/cm² e resistências características ao escoamento (fyk) de 50 Mpa (para o CA-50) e 60 Mpa (para o CA-60).

A Figura 14 apresenta os valores determinados no software para o concreto de 25 Mpa com relação à resistência característica à compressão do concreto (f_{ck}), ao módulo de elasticidade secante do concreto (E_{cs}), à resistência do concreto à tração direta (f_{ct}) e ao abatimento utilizados nos projetos.

Figura 14- Classes C-25 do concreto com suas características

Classes de concreto

Classes de resistência C-20 C-25 C-30 C-35 C-40 C-45 C-50	Identificação	C-25	Módulo de elasticidade	<input checked="" type="checkbox"/> Obter a partir do f_{ck}
	Resistência à compressão		Módulo secante (E_{cs})	238000 kgf/cm ²
	Resistência característica (f_{ck})	250 kgf/cm ²	Módulo inicial (E_{ci})	280000 kgf/cm ²
	Coefficiente de minoração (γ_c)	1.4	Resistência à tração	<input checked="" type="checkbox"/> Obter a partir do f_{ck}
	Resistência de cálculo (f_{cd})	178.57 kgf/cm ²	Resistência média (f_{ctm})	25.65 kgf/cm ²
	Peso específico	2500 kgf/m ³	Característica inferior ($f_{ctk,inf}$)	17.95 kgf/cm ²
	Abatimento (slump)	5 cm	Característica superior ($f_{ctk,sup}$)	33.34 kgf/cm ²
Tipo de agregado	granito	Resistência de cálculo (f_{ctd})	12.82 kgf/cm ²	
		OK	Cancelar	Ajuda

Fonte: Autor.

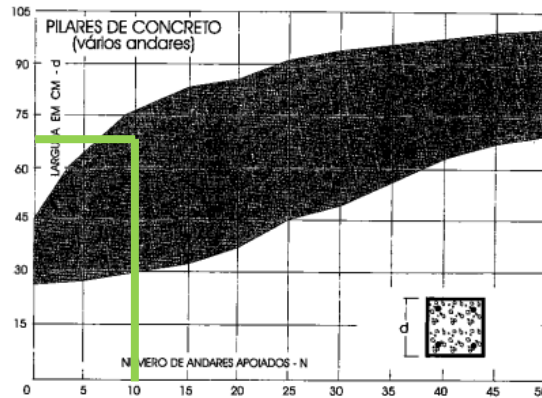
3.3 PRÉ-DIMENSIONAMENTO DOS ELEMENTOS ESTRUTURAIS

3.3.1 Pilares

O pré-dimensionamento dos pilares foi realizado através da metodologia de Rebello (2007), a qual faz uso de dois gráficos explicados na fundamentação teórica presente.

O edifício em questão possui 10 pavimentos e, de acordo com o primeiro gráfico para avaliação das cargas nos pilares, adotou-se o valor de 800 kgf/m² que de acordo com Melo (2013) é classificada como “grande”, acima do valor médio, justificando no gráfico um valor próximo a linha superior. Em consequência desses dois fatores, adotou-se a princípio uma seção de (70 x 70) cm², como mostra a Figura 15, equivalendo a uma área total de seção de pilar igual a 4900 cm².

Figura 15- Gráfico para cargas nos pilares

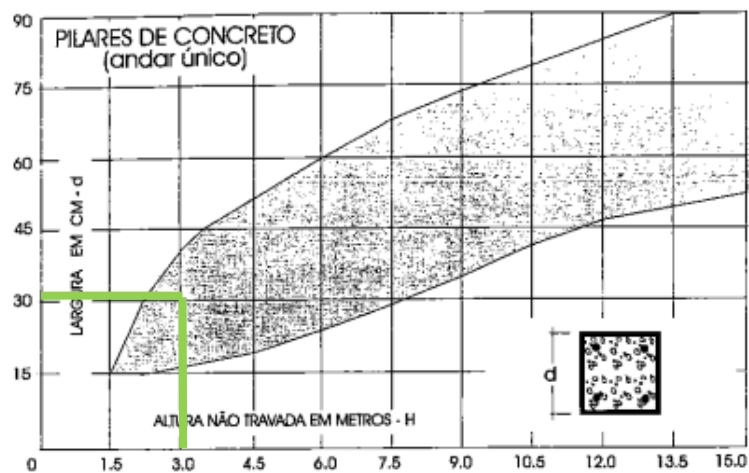


Fonte: Rebello, 2007, p.199.

Em seguida, considerou-se no gráfico para flambagem uma altura não travada de 3 m, determinando assim, o valor mínimo das dimensões da seção do pilar em 30cm, como mostra a Figura 16.

Fixou-se então o valor de 30 cm para o menor lado da seção quadrada e obteve-se uma seção retangular equivalente de (30 x 165) cm² para os pilares correspondente a 4950 cm², atendendo aos critérios de pré-dimensionamento de Rebello (2007) e às normas vigentes.

Figura 16- Gráfico para flambagem



Fonte: Rebello, 2007, p.200.

3.3.2 Vigas

Para o pré-dimensionamento das vigas segundo Rebello (2007), tem-se:

Altura de vigas contínuas sem balanço

- Cargas pequenas: $h = 6\%$ do vão
- Cargas médias: $h = 8\%$ do vão
- Cargas grandes: $h = 10\%$ do vão

Considerou-se 8% do vão, ou seja, 8% de 750 cm, obteve-se assim, uma altura inicial estimada por esse critério, para as vigas de 60 cm., próximo ao valor recomendado por Di Pietro (L/12).

Para a largura das vigas, Rebello (2007) diz que é ideal estar entre $\frac{1}{4}$ e $\frac{1}{3}$ da sua altura, ou seja, no presente estudo, deve localizar-se entre 15 cm e 20 cm. Assim, adotou-se uma largura de 20 cm para as vigas.

Com a seção de 20 x 60 cm adotada, foi respeitado o limite imposto pela ABNT NBR 6118:2014 com relação às dimensões das vigas, a qual considera que a seção transversal não pode apresentar largura menor que 12 cm.

3.3.3 Lajes

3.3.3.1 Lajes maciças

Para as lajes maciças, também foi considerado o pré-dimensionamento estabelecido nos critérios de Rebello (2007), definindo que as espessuras variam em função da simetria entre seus lados, dos seus vínculos e dos materiais constituintes. Assim, esse critério estabelece que a espessura da laje é determinada por 2% da média entre o menor e o maior vão, para lajes armadas em duas direções, justamente o caso das lajes do projeto que possuem as dimensões de 7,5m x 7,5m. Desta forma, obteve-se a espessura da laje o valor de 15cm.

3.3.3.2 Laje nervurada

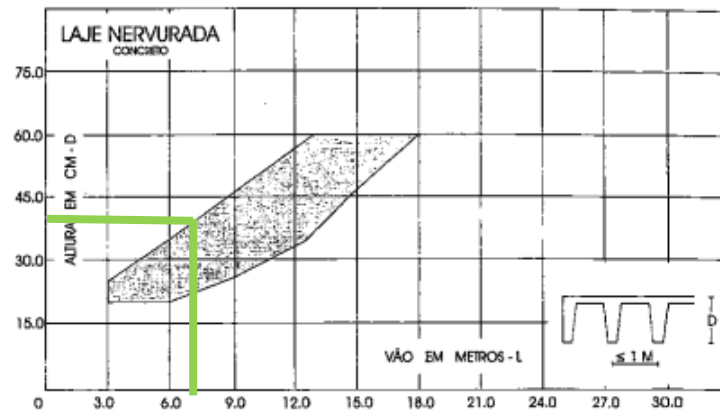
O pré-dimensionamento das lajes nervuradas do presente estudo também seguiu as orientações de Rebello (2007) e, como o vão da laje apresentava 750cm, a sua altura estaria no intervalo de 22,5cm e 30cm, a depender do espaçamento adotado.

- Espaçamento em torno de 100cm: $h = 4\%$ de 750cm = 22,5cm;

- Espaçamento em torno de 50cm: $h = 3\%$ de $750\text{cm} = 30\text{cm}$;

De acordo com os gráficos de Rebello (2007), para o pré-dimensionamento da altura de lajes nervuradas em função do seu vão (Figura 17), apresentou-se aproximadamente uma altura de 30cm.

Figura 17 – Gráfico para pré-dimensionamento de laje nervurada



Fonte: Rebello, 2007, p.171.

3.4 LANÇAMENTO E PROCESSAMENTO DA ESTRUTURA

Após a etapa de pré-dimensionamento dos elementos, é preciso criar a estrutura e inserir os dados no Eberick, correspondentes a quantidade de pavimentos e a cota do pé esquerdo, para o programa poder importar as plantas baixa de cada nível desenvolvida no AutoCad e assim, esboçar a estrutura criada pelo calculista. Em seguida, nos níveis dos desenhos da estrutura, lançar os pilares e as vigas com as suas respectivas seções e cargas atuantes dos elementos estruturais.

Com o lançamento da estrutura finalizado, iniciou-se a etapa de processamento dos dados, para verificação da sua estabilidade global e do dimensionamento para os Estados Limites último (ELU) e de Serviço (ELS). Nessa etapa, o programa vai notificar ao calculista os erros encontrados inerentes as deficiências iniciais de pré-dimensionamentos ou de lançamento de estrutura. Após essas correções e não havendo mais erros de dimensionamento (ELU), começa a etapa de eliminar também, os erros de deslocamento apresentado durante a fase do processamento da estrutura. Assim, notou-se que foram apresentados deslocamentos em lajes, acima de $L/250$, valor esse, definido pela NBR6118:2014, como sendo o limite das flechas

máximas para as lajes. Na Figura 18, o Ebérick notifica os erros de deslocamentos ocorridos nas lajes do nível (Coberta) para serem resolvidos.

Figura 18- Deformações na laje da cobertura



Fonte: Autor.

Para solucionar os erros de deslocamentos ocorridos nas lajes de forma econômica, foram testadas nas três opções de modelos estruturais e utilizadas as sugestões de procedimentos do tutorial do programa para solucionar os deslocamentos excessivos apresentados. São esses citados abaixo:

a) Modelo 1 – Lajes maciças com área de (7,5 x 7,5) m²:

Considerando alturas mínimas definidas inicialmente no pré-dimensionamento, tentou-se solucionar os erros apresentados no processamento relativos aos deslocamentos excessivos nas lajes maciças, engastando-as e ajustando suas espessuras de 15cm para 14cm;

b) Modelo 2 – Lajes maciças com área de (3,75 x 3,75) m²:

Idem, tentou-se solucionar os erros apresentados no processamento relativos aos deslocamentos excessivos nas lajes maciças, com a diminuição dos vãos projetados para elas, inserindo mais vigas no pavimento;

c) Modelo 3 – Lajes nervuradas com área de (7,5 x 7,5) m²:

Idem, adotando lajes nervuradas com cubetas apoiadas em vigas em vez de adotar lajes maciças.

Para cada solução adotada, foram realizadas as devidas modificações em projeto, e em seguida, o reprocessamento da estrutura e o dimensionamento de cada elemento sem nenhum erro incondizente com a norma.

A seguir serão apresentados os resultados de dimensionamento de cada solução considerada no presente trabalho, juntamente com os resumos de materiais para cada caso, e assim, efetivar os comparativos em termos de consumo de cada material.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Durante os procedimentos de cálculo verificado nas três opções estruturais para avaliar qual o modelo apresenta os quantitativos dos insumos menores e que esteja com os elementos estruturais dimensionados de acordo com as normas, foram necessários, algumas vezes, acrescentar outras vigas, alterar a espessura da laje ou a dimensão da cubeta, no caso da laje nervurada, a fim de minimizar as flechas até encontrar um dimensionamento que garanta a segurança da estrutura de acordo com os requisitos normativos. Para todos os modelos foram utilizadas as orientações indicadas pelo programa para solucionar os erros de deslocamentos.

O software de cálculo disponibiliza o relatório de resumo de materiais da edificação, tornando-se viável a comparação dos quantitativos de concreto, aço e formas nas três opções adotadas. Este estudo comparativo será mais detalhado nos itens a seguir.

4.1 MODELO 01 – LAJES MACIÇAS COM ÁREA (7,5 X 7,5) M²

Para o modelo 01, considerando alturas mínimas de 15cm definidas inicialmente no pré-dimensionamento, as lajes maciças apresentaram erros relativos aos deslocamentos com valores superiores ao máximo de $L/250$, estabelecido pela norma NBR6118/2014.

Para solucionar esses erros demonstrado pelo programa foram alteradas as lajes simplesmente apoiadas para o engastamento de todas as lajes entre si e ajustada as espessuras para 14cm, em seguida reprocessada.

A correção dos erros apontados pelo software, após essas interferências, foi obtida com sucesso ao engastar as lajes, pois seus momentos são redistribuídos e seus valores minimizados, o que explica a diminuição na espessura de 15cm para 14cm sem apresentar flechas excessivas, apenas deslocamentos, com valores máximos de 2,68cm, conforme se percebe no gráfico da Figura 21, correspondendo ao valor de $(L/280)$, menor que o limite da norma $(L/250)$.

Assim, obteve-se o dimensionamento com as seguintes seções adotadas:

- Lajes: $h = 14$ cm;
- Vigas: (20×60) cm²;
- Pilares: (30×165) cm².

Figura 19- Especificações da laje maciça

Laje

Nome Tipo Grelha...

Cargas

Acidental kgf/m² Revestimento kgf/m²

Extra kgf/m²

Vigota protendida

Grupo ...

Arranjo Altura

Enchimento

Tipo

Dimensão ...

Seção

Espessura cm Elevação cm

ec cm

ee cm

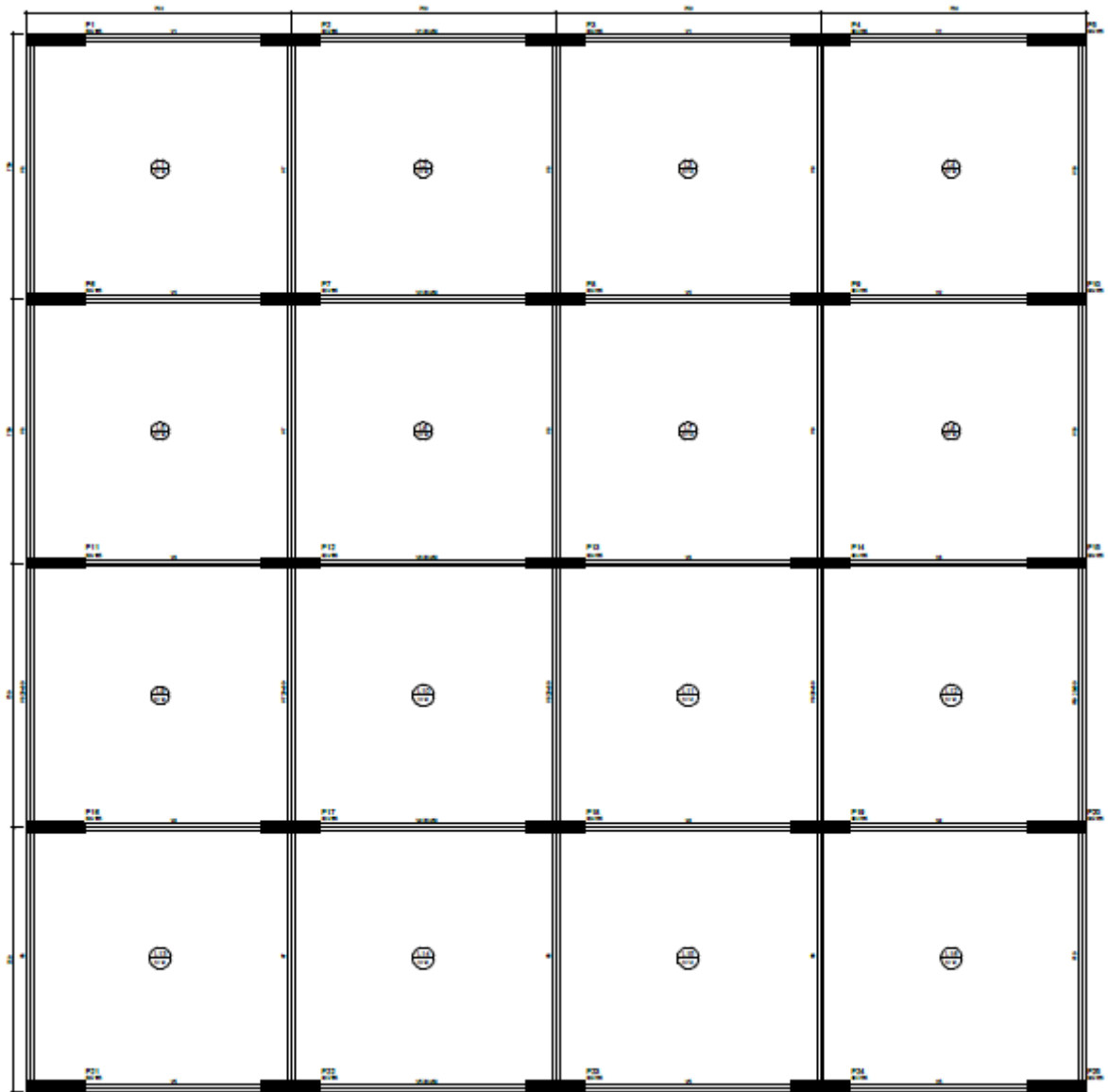
enx cm

eny cm

espessura

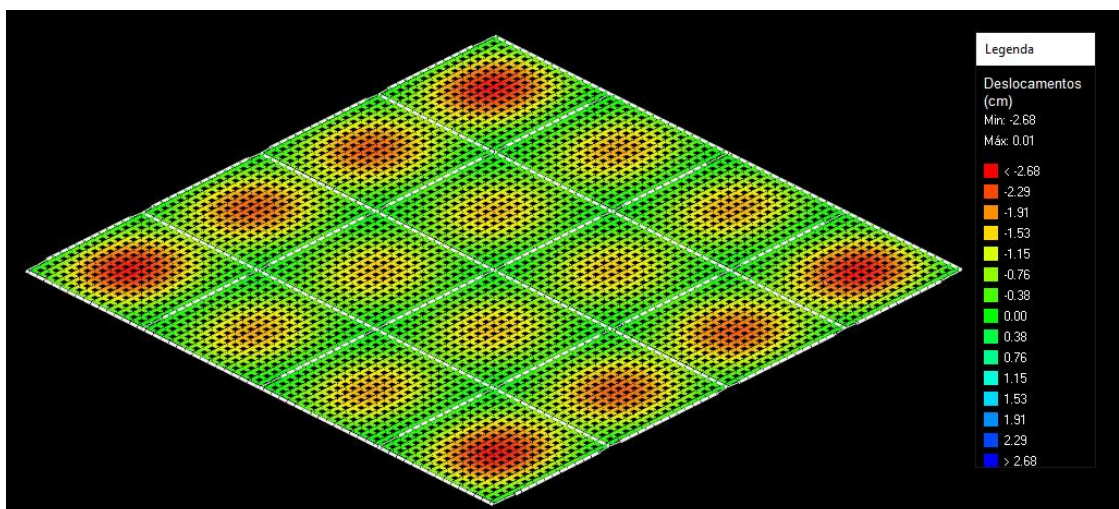
Fonte: Autor.

Figura 20- Forma: Modelo 01



Fonte: Autor.

Figura 21- Deslocamentos da laje: Modelo 01



Fonte: Autor.

Por fim, gerou-se o consumo de aço, concreto e forma através do Eberick, apresentados na Tabela 6 abaixo:

Tabela 6 - Consumo de materiais: Modelo 1

		Vigas	Pilares	Lajes	Total
Peso total de aço + 10% (kg)	CA50	55595.8	29108.0	208060.0	292763.8
	CA60	3526.1	5085.2	23886.7	32498.0
	Total	59121.9	34193.2	231946.7	325261.9
Volume concreto (m ³)	C-25	384.8	352.7	1184.9	1922.4
Área de forma (m ²)		4489.1	2778.8	8463.7	15731.5
Consumo de aço (kgf/m ³)		153.7	97.0	195.7	169.2

Fonte: Autor.

4.2 MODELO 02 – LAJES MACIÇAS COM VIGAS SECUNDÁRIAS

Para o Modelo 02, tentou-se solucionar os erros apresentados no processamento, relativos aos deslocamentos excessivos nas lajes maciças, com a diminuição dos vãos projetados para elas, inserindo vigas secundárias no pavimento. Desta forma, conseqüentemente, houve a diminuição dos vãos das lajes, necessitando de um novo pré-dimensionamento, o qual foi realizado seguindo as orientações de Rebello (2007), como citado na fundamentação teórica, determinando assim, a altura das lajes de 10cm.

Como resultado, chegou-se ao dimensionamento final atendendo aos requisitos da norma, no qual seu deslocamento máximo na laje foi de 1,12 cm, correspondendo a $(L/670)$, menor que o valor limite da norma, $(L/250)$, conforme pode ser visto no gráfico da Figura 24.

Assim, obteve-se o dimensionamento dos elementos do modelo 02 com as seguintes seções adotadas:

- Lajes: $h = 10$ cm;
- Vigas: (20×60) cm²;
- Pilares: (30×165) cm².

Figura 22- Especificações da laje maciça

Laje

Nome Tipo

Cargas

Acidental kgf/m² Revestimento kgf/m²

Extra kgf/m²

Vigota protendida

Grupo ...

Arranjo Altura

Enchimento

Tipo

Dimensão ...

Seção

Espessura cm Elevação cm

ec cm

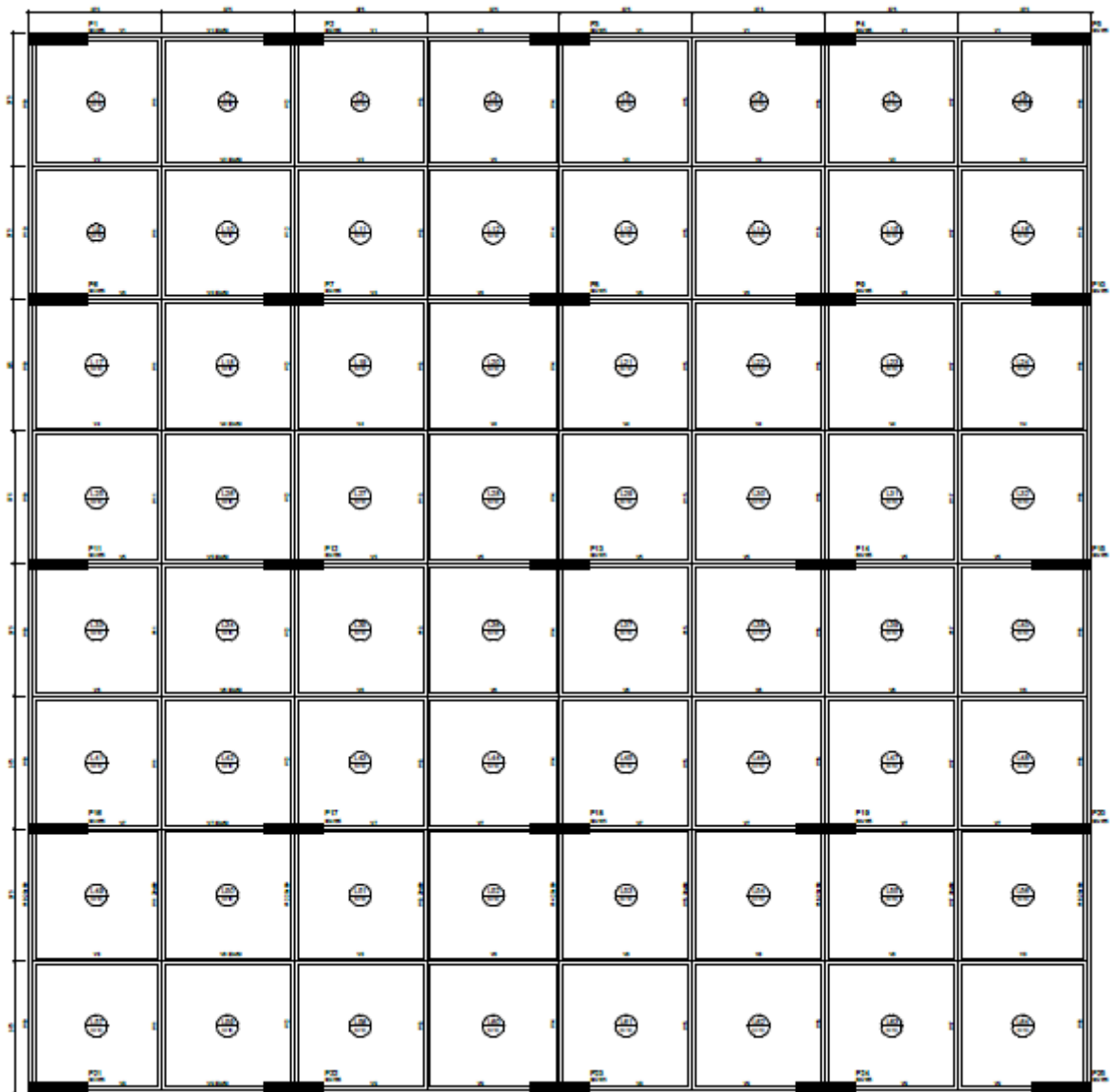
ee cm

enx cm espessura

eny cm

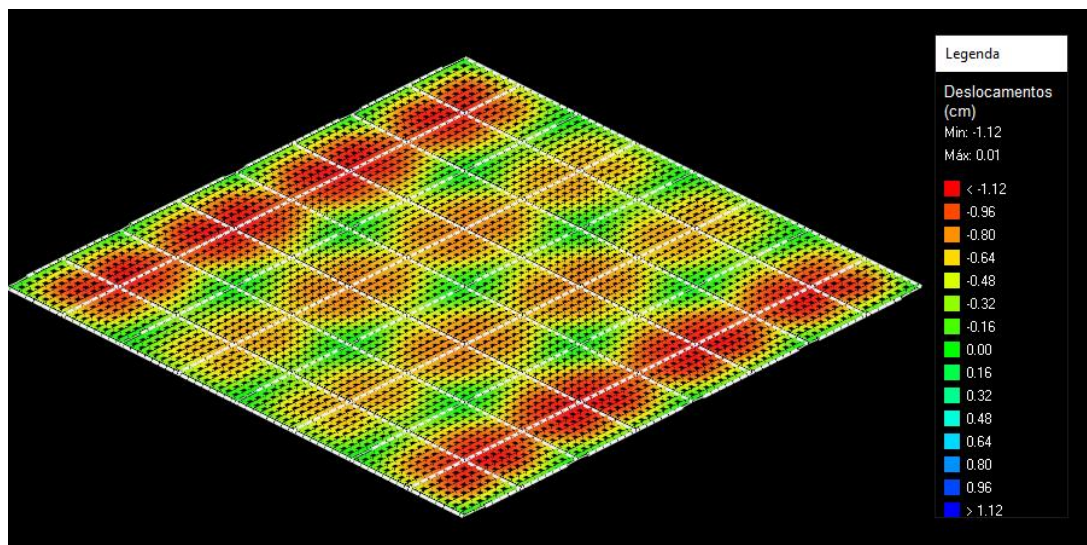
Fonte: Autor.

Figura 23- Forma: Modelo 02



Fonte: Autor.

Figura 24- Deslocamentos: Modelo 02



Fonte: Autor.

Por fim, gerou-se o consumo de aço, concreto e forma através do Ebérick, apresentados na Tabela 7 abaixo:

Tabela 7 - Consumo de materiais: Modelo 2

		Vigas	Pilares	Lajes	Total
Peso total de aço + 10% (kg)	CA50	85659.6	27617.7	76020.9	189298.3
	CA60	9567.0	4895.1	11023.4	25485.5
	Total	95226.6	32512.9	87044.3	214783.7
Volume concreto (m ³)	C-25	701.6	352.7	800.6	1854.9
Área de forma (m ²)		8185.1	2778.8	8006.1	18969.9
Consumo de aço (kgf/m ³)		135.7	92.2	108.7	115.8

Fonte: Autor.

4.3 MODELO 03 – LAJES NERVURADAS

Para o Modelo 03, tentou-se solucionar os erros apresentados no processamento relativos aos deslocamentos excessivos nas lajes maciças, adotando lajes nervuradas com cubetas em vez de lajes maciças.

Após algumas tentativas adotando dimensões variadas de cubetas, obteve-se o dimensionamento da estrutura com erros de deslocamento inferiores aos limites impostos por norma com as seções adotadas abaixo. Para este modelo, o deslocamento máximo na laje foi de

1,13 cm, correspondendo a $L/664$, menor que o valor limite da norma, ($L/250$). Em resumo, as dimensões das seções utilizadas para os elementos estruturais no modelo 3 foram:

- Lajes: Cubetas B25/80/80, $ec = 5$ cm e espessura de 30cm.
- Vigas: (20 x 65) cm^2 ;
- Pilares: (30 x 165) cm^2 .

Figura 25 – Especificações da laje nervurada

Laje

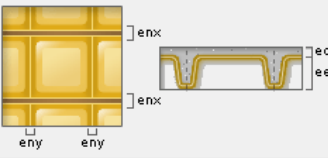
Nome Tipo Grelha...

Cargas
 Acidental kgf/m^2 Revestimento kgf/m^2
 Extra kgf/m^2

Vigota protendida
 Grupo ...
 Arranjo Altura

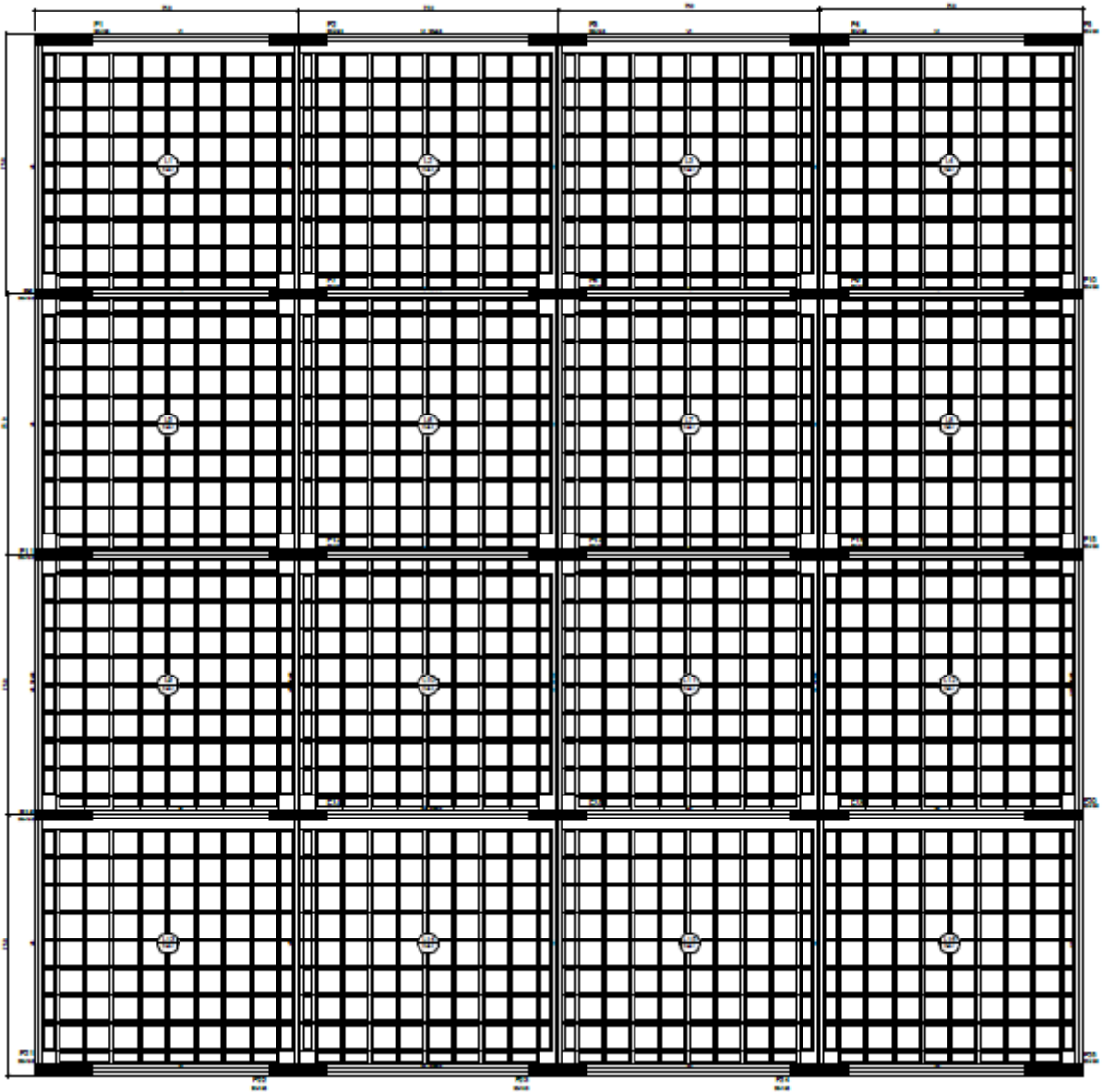
Enchimento
 Tipo
 Dimensão ...

Seção
 Espessura cm Elevação cm
 ec cm
 ee cm
 enx cm
 eny cm



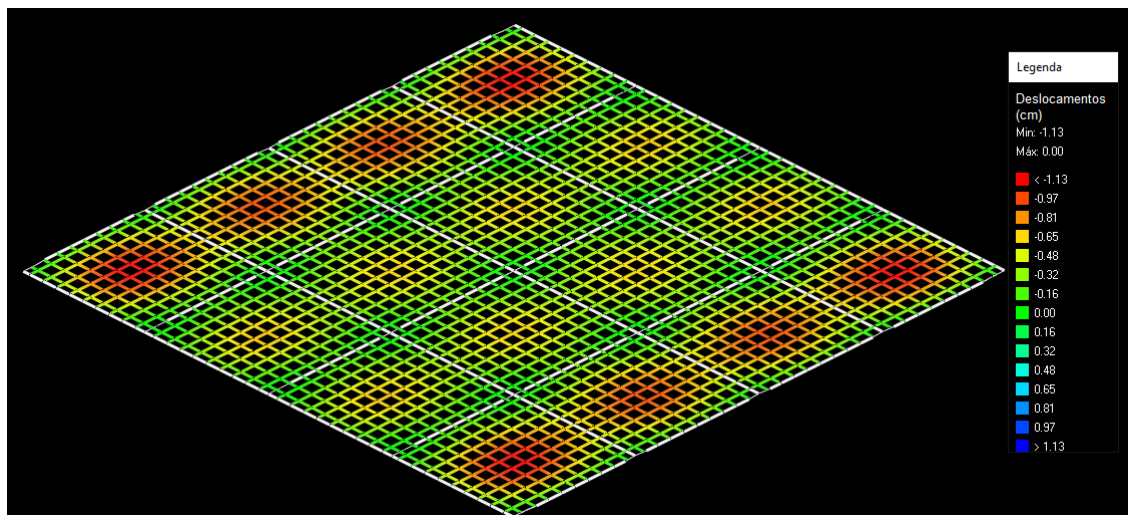
Fonte: Autor.

Figura 26- Forma: Modelo 03



Fonte: Autor.

Figura 27- Deslocamentos na laje: Modelo 03



Fonte: Autor.

Por fim, gerou-se o consumo de aço, concreto e forma através do Ebérick, apresentados na Tabela 8 abaixo:

Tabela 8 - Consumo de materiais: Modelo 3

		Vigas	Pilares	Lajes	Total
Peso total de aço + 10% (kg)	CA50	45180.0	28459.2	93003.4	166642.6
	CA60	4457.4	5059.8	11160.8	20677.9
	Total	49637.3	33519.0	104164.2	187320.5
Volume concreto (m ³)	C-25	413.9	352.7	1154.1	1920.7
Área de forma (m ²)		4780.6	2778.8		7559.4
Consumo de aço (kgf/m ³)		119.9	95.0	90.3	97.5

Fonte: Autor.

4.4 COMPARATIVO ENTRE O CONSUMO DE MATERIAIS DOS TRÊS MODELOS

Com os quantitativos de materiais de cada modelo adotado, fez-se a Tabela 9 abaixo, que mostra o comparativo dos insumos entre o uso do Modelo 01 (laje maciça de (7,5 x 7,5) m²), do Modelo 02 (laje maciça (3,75 x 3,75) m² com vigas secundárias) e do Modelo 03 (laje nervurada (7,5 x 7,5) m²).

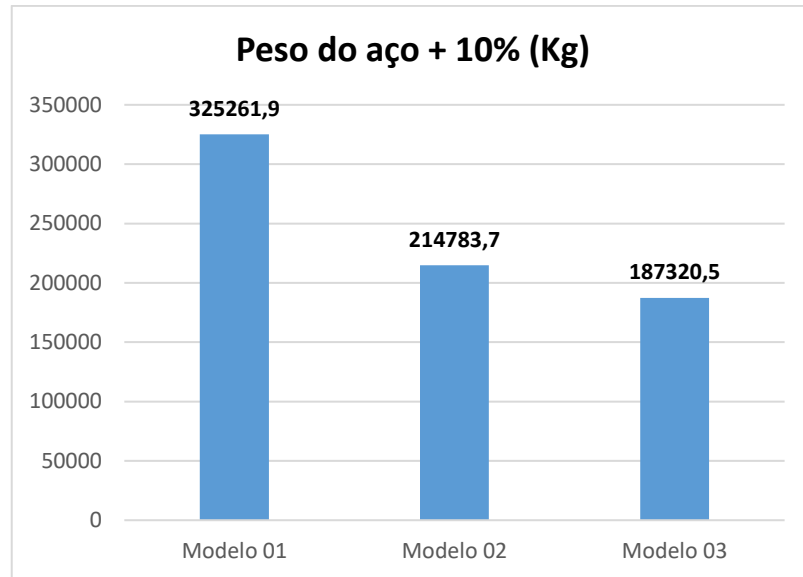
Tabela 9 – Comparativo de materiais entre os três modelos

MODELO	PESO DO AÇO (Kg)	CONSUMO AÇO (Kg/m ³)	VOLUME CONCRETO (m ³)	ÁREA FORMA (m ²)
Modelo 01	325261,9	169,2	1922,4	15731,5
Modelo 02	214783,7	115,8	1854,9	18969,9
Modelo 03	187320,5	97,5	1920,7	7559,4

Fonte: Autor.

Quanto ao peso do aço, é notório que a solução adotada através do Modelo 03 foi a que obteve melhor resultado visando os aspectos econômicos, pois possuiu menor consumo do material citado. O Gráfico 1 mostra as variações do peso de aço para os diferentes modelos.

Gráfico 1 – Comparativo do peso do aço



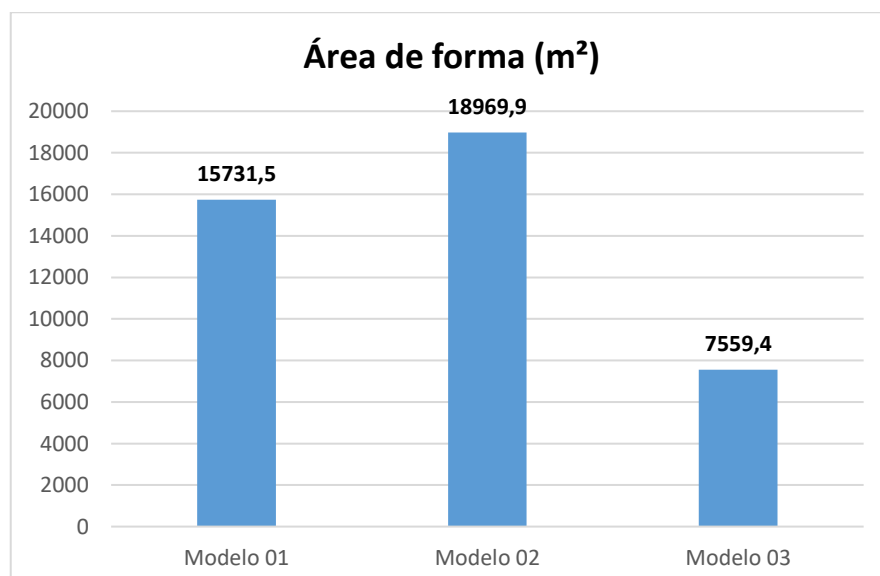
Fonte: Autor.

No caso das áreas de formas, o Modelo 03 também obteve melhor desempenho econômico, porém ressalva-se que o quantitativo deste modelo é apenas das formas para execução de vigas e pilares, pois para o específico caso, as formas das lajes são em cubetas de polipropileno, as quais podem ser alugadas ou compradas. Para os modelos 01 e 02, o quantitativo desse insumo inclui a execução de vigas, pilares e lajes.

O modelo 02 apresentou maior consumo desse item dentre os analisados. Isso se deve ao fato da inserção de vigas secundárias na estrutura, necessitando de área de forma para executá-las também.

O Gráfico 2 mostra as variações da área de forma para os diferentes modelos.

Gráfico 2 – Comparativo de área de forma (m²)

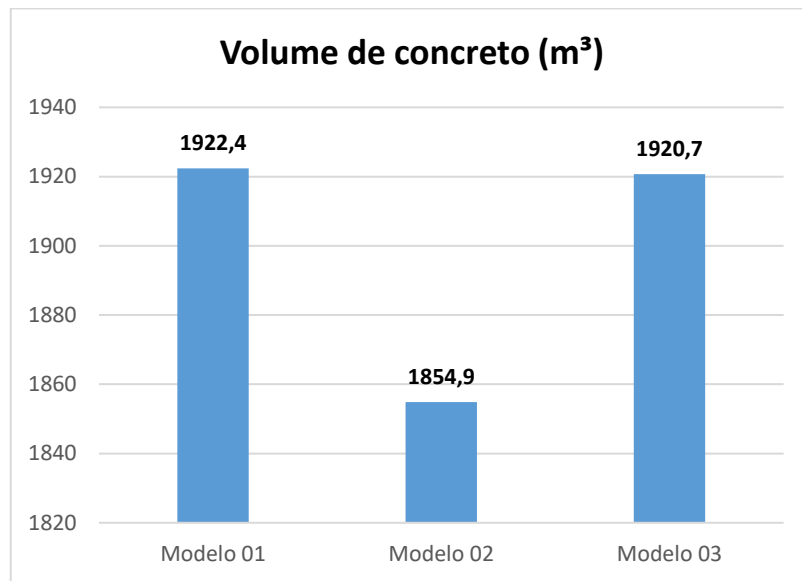


Fonte: Autor.

O volume de concreto apresentou menor consumo para o modelo 02, em consequência da diminuição das áreas das lajes maciças (3,75 x 3,75) m², obtendo menor espessura, o que torna bastante relevante no quantitativo total da estrutura, mesmo havendo a adoção de vigas secundárias. A laje maciça do modelo 01 foi a que apresentou maior consumo de concreto.

O Gráfico 3 mostra as variações do volume de concreto para os diferentes modelos.

Gráfico 3 – Comparativo de volume de concreto (m³)



Fonte: Autor.

5 CONCLUSÃO

O presente trabalho contribui para o desenvolvimento profissional do estudante de engenharia na percepção da relevância do estudo das opções de modelos estruturais compatíveis com o projeto arquitetônico considerado. É o instante que requer do profissional, conhecimentos acadêmicos, criatividade e a contribuição de experiências anteriores. É bom deixar claro que nessa hora o software de cálculo, muito pouco contribui. Essa é a etapa decisiva para encontrar o modelo estrutural mais adequado ao projeto arquitetônico para proporcionar maior economia a construção da edificação, atendendo as exigências das normas vigentes do país. Entende-se que são muitas as opções de estruturas possíveis, mas nesse trabalho foram calculados três modelos para o projeto arquitetônico adotado com a finalidade de comparar os resultados individuais dos quantitativos de concreto, aço e forma para no final apresentar os melhores avaliados em relação a cada um dos insumos.

A comparação entre o modelo 1, em laje maciça de $(7,5 \times 7,5) \text{ m}^2$ e o modelo 2, em lajes maciças de $(3,75 \times 3,75) \text{ m}^2$ com inserção de vigas secundárias, em relação ao consumo de aço e de concreto foi maior em consequência das dimensões da área da laje do modelo 1 ser bem maior do que a do modelo 2, provocando nela, esforços de flexão maiores e em decorrência, apresentando maior consumo de concreto e de aço entre as duas opções. No modelo 1 a laje precisou de uma espessura de 14cm enquanto o modelo 2, 10cm. Entretanto, o modelo 2 devido a adoção de vigas secundárias para diminuir a área da laje proporcionou um consumo maior de forma entre os dois modelos avaliados.

O modelo 03, em laje nervurada, embora tenha apresentado o menor consumo de área de forma em madeira entre os modelos, não contabilizou as formas de cubetas para execução das lajes. Ele apontou menor consumo de aço e volume de concreto em relação ao modelo 01, que tem área igual. Esses resultados estão coerentes com a afirmação de Rebello (2007), o qual afirma que a laje nervurada possui menor consumo de concreto em relação a lajes maciças. Apesar disso, há estudos que apontam uma quantidade maior de uso de concreto nas lajes nervuradas em comparação com as maciças, como é o caso de Amorim (2018) e Souza (2018).

Do ponto de vista estrutural, todos os elementos foram dimensionados no estado limite último e de serviço, apresentando os seguintes valores para o gama z, considerando a análise rigorosa através do P-delta: modelo 1 (eixo x = 1,07 e eixo y = 1,33); modelo 2 (eixo x = 1,06

e eixo $y = 1,30$) e modelo 3 (eixo $x = 1,06$ e eixo $y = 1,27$). Assim todas as seções adotadas no pré-dimensionamento para os pilares e para as vigas resultaram deslocamentos aceitáveis.

Entretanto, comparando o modelo 01 (laje maciça) e o modelo 03 (laje nervurada) de mesma área de laje, mas por ser nervurada é caracterizada pela sua maior rigidez por conta das suas nervuras. Assim, observa-se que os deslocamentos no modelo 03 (laje nervurada) foram menores que os do modelo 01 (laje maciça). No modelo 02 (laje maciça com vigas secundárias), as lajes possuem menores áreas, portanto, mesmo com uma menor espessura, obteve-se o deslocamento de $L/670$ conforme os dados abaixo:

Tabela 10 – Deslocamentos das lajes em cada modelo

DESLOCAMENTOS DAS LAJES			
Modelo	Flecha máxima (cm)	Flecha máxima	Flecha Limite – NBR 6118:2014
Modelo 1	2,68 cm	$L/280$	$L/250$
Modelo 2	1,12 cm	$L/670$	$L/250$
Modelo 3	1,13 cm	$L/664$	$L/250$

Fonte: Autor.

Por fim, conclui-se que a escolha do método construtivo mais adequado precisa de estudo específico em cada edificação para atender ao menor custo possível de construção, considerando a disponibilidade de mão de obra especializada e dos equipamentos. É de importância lembrar que cada projeto possui suas particularidades, sem existir fórmula genérica para a decisão da melhor solução estrutural, torna-se necessário o estudo prévio acerca das diversas opções de escolha.

Sugestões para pesquisas futuras:

- Levar em consideração os custos de cada insumo utilizado;
- Fazer um estudo comparativo para as soluções adotadas no projeto, englobando as fundações;
- Fazer um estudo considerando o reaproveitamento de fôrmas e quantitativos de cubetas.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

_____. **NBR 6120:2019.** Ações para o cálculo de estruturas de edificações. Rio de Janeiro, 2019.

_____. **NBR 6123:1988.** Forças devidas ao vento. Rio de Janeiro, 1988.

_____. **NBR 6118:2014.** Projeto de estruturas de concreto — Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.

_____. **NBR 15200:2012.** Projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio. Rio de Janeiro, 2012.

_____. **NBR 15421:2006.** Projeto de estruturas resistentes a sismos – Procedimento. Rio de Janeiro, 2006.

AMORIM, D. S. **Estudo comparativo entre projetos estruturais de um edifício em concreto armado com o emprego de lajes treliçadas, maciças e nervuradas com cubetas em termos de quantitativo de insumos e custos totais.** 2018. 62p. Trabalho de conclusão de curso, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa. 2018.

ARAÚJO, J.M. **Curso de concreto armado.** 3 ed. Rio Grande: Dunas, 2010b. v.4.

AUGUSTO, E. VELOIS, Q. **Concreto armado 1.** Notas de aula, Disciplina Estruturas de Concreto I, Vitória da conquista/BA, Colegiado de Engenharia Civil – Centro universitário - UNIFTC, 2019, 7p. Disponível em: < www.emilioqueiroz.com.br>. Acesso em: 07 nov. 2020.

BASTOS, P. S. S. **Fundamentos do concreto armado.** Notas de aula, Disciplina Estruturas de Concreto I, Bauru/SP, Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia – Universidade Estadual Paulista – UNESP, 2006, 98p. Disponível em: < www.feb.unesp.br/pbastos>. Acesso em: 11 nov. 2020.

BASTOS, P. S. S. **Fundamentos do concreto armado.** Notas de aula, Disciplina Estruturas de Concreto I, Bauru/SP, Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia – Universidade Estadual Paulista – UNESP, 2019, 83p. Disponível em: < www.feb.unesp.br/pbastos>. Acesso em: 11 nov. 2020.

CARVALHO, R. C. FIGUEIREDO, J. R. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado: segundo a NBR 6118:2014.** 4 ed. São Carlos: EdUFSCAR, 2017.

CARVALHO, R. C. PINHEIRO, L. M. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado: vol. 2.** São Paulo: Pini, 2009.

DI PIETRO, J. E. **O conhecimento qualitativo das estruturas das edificações na formação do arquiteto e do engenheiro.** Tese de doutorado – Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2000.

MELO, P.R. **Pré-dimensionamento de estruturas de madeira, de aço e de concreto para auxílio à concepção de projetos arquitetônicos.** 2013. 113p. Qualificação de mestrado, Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2013.

PINHEIRO, L. M. **Fundamentos do concreto e projeto de edifícios.** 2007.

REBELLO, Y. C. P. **A concepção estrutural e a arquitetura.** 1 ed. São Paulo: Zigate, 2000.

REBELLO, Y. C. P. **Bases para projeto estrutural na arquitetura**. 1 ed. São Paulo: Ziguarte, 2007.

SOUZA, L. G. **Estudo comparativo de sistemas estruturais – Estudo de caso**. 2018. 68p. Trabalho de conclusão de curso, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa. 2018.

SPOHR, V.H. **Análise comparativa: sistemas estruturais convencionais e estruturas de lajes nervuradas**. 2008. 108p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria. Rio Grande do Sul, Santa Maria. 2008.