



**CISNE FACULDADE DE QUIXADÁ
ENGENHARIA CIVIL**

JUVINO SOARES COSTA

**ANÁLISE COMPARATIVA DE DIFERENTES
CONCEPÇÕES ESTRUTURAIS PARA EDIFICAÇÕES EM CONCRETO
ARMADO DE MÉDIO PORTE**

**QUIXADÁ
2019**

JUVINO SOARES COSTA

ANÁLISE COMPARATIVA DE DIFERENTES
CONCEPÇÕES ESTRUTURAIS PARA EDIFICAÇÕES EM CONCRETO ARMADO
DE MÉDIO PORTE

Artigo Científico apresentado ao Curso de Engenharia Civil da CISNE - Faculdade de Quixadá, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. MSc. Bergson da Silva Matias

QUIXADÁ

2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
CISNE - Faculdade de Quixadá
Biblioteca Rachel de Queiroz
Mayra Helena de Sousa Oliveira CRB-3/1624

- C873a Costa, Juvino Soares.
Análise comparativa de diferentes concepções estruturais para edificações em concreto armado de médio porte / Juvino Soares Costa. – 2019.
40 f. : il. color.
Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – CISNE - Faculdade de Quixadá, Curso de Engenharia Civil, Quixadá, 2019.
Orientação: Prof. Me. Bergson da Silva Matias.
1. Concreto armado. 2. Concepção estrutural. 3. Projeto estrutural.
I. Título.

CDD 615.82

JUVINO SOARES COSTA

ANÁLISE COMPARATIVA DE DIFERENTES CONCEPÇÕES ESTRUTURAIS PARA
EDIFICAÇÕES EM CONCRETO ARMADO DE MÉDIO PORTE

Artigo científico apresentado ao Curso de Engenharia Civil da CISNE Faculdade de Quixadá, como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovado em: 09/12/19

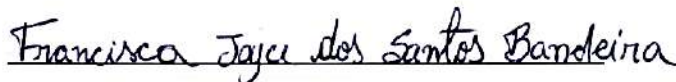
BANCA EXAMINADORA



Prof (a) Me. Bergson da Silva Matias (orientador(a))
CISNE Faculdade de Quixadá



Prof (a) Esp. Evangelista Miranda de Sousa (Membro)
CISNE Faculdade de Quixadá



Prof (a) Esp. Francisca Joyce dos Santos Bandeira (Membro)
IFECE- Campus Quixadá/CE

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. MSc. Bergson da Silva Matias, pela excelente orientação, dúvidas tiradas e ter acreditado em mim.

Aos professores participantes da banca examinadora Prof. Esp Evangelista Miranda de Sousa e a Profa. Esp. Francisca Joyce dos Santos Bandeira a pelo tempo, pelas valiosas colaborações e sugestões.

Aos professores entrevistados, pelo tempo concedido nas entrevistas.

Aos colegas da turma de graduação, pelas reflexões, críticas e sugestões recebidas.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	9
2. REFERENCIAL TEÓRICO	10
2.1 CARACTERÍSTICAS DO CONCRETO.....	10
2.1.1 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO	10
2.1.2 MÓDULO DE ELASTICIDADE.....	11
2.1.3 CARACTERÍSTICAS MECÂNICAS DO AÇO	11
2.1.4 MÓDULO DE ELASTICIDADE.....	12
2.2 AÇÕES NA ESTRUTURA	12
2.2.1 AÇÕES PERMANENTES.....	12
2.2.2 AÇÕES VARIÁVEIS.....	12
2.2.3 AÇÕES EXCEPCIONAIS	13
2.2.4 VENTO	13
2.3 ESTADOS LIMITES.....	13
2.3.1 ESTADO LIMITE ÚLTIMO (ELU).....	13
2.3.2 ESTADO LIMITE DE SERVIÇO (ELS).....	14
2.3.3 COEFICIENTE DE PONDERAÇÃO DAS AÇÕES NOS ESTADOS LIMITES ÚLTIMOS E SERVIÇO.	14
2.3.4 COMBINAÇÕES DAS AÇÕES	14
2.3.5 COMBINAÇÕES ÚLTIMAS.....	15
2.3.6 COMBINAÇÕES DE SERVIÇO.....	15
2.4 ELEMENTOS ESTRUTURAIS.....	15
2.4.1 LAJE	15
2.4.2 PRÉ-DIMENSIONAMENTO LAJE – RECOMENDAÇÕES PRÁTICAS	15
2.4.3 VIGA.....	17
2.4.4 PRÉ-DIMENSIONAMENTO E DIMENSÕES MÍNIMAS.....	17
2.4.5 PILAR.....	18
2.4.6 PRÉ-DIMENSIONAMENTO E DIMENSÕES MÍNIMAS.....	18
2.5 CONCEPÇÃO ESTRUTURAL.....	19
2.6 ANÁLISE ESTRUTURAL.....	19
2.6.1 ANÁLISE LINEAR.....	20
2.6.2 MODELO PÓRTICO MAIS GRELHA.....	20

2.6.3 MODELO INTEGRADO.....	20
2.7 DIMENSIONAMENTO SEGUNDO NBR 6118 (ABNT, 2014)	21
2.7.1 HIPÓTESES PARA CÁLCULO.....	21
2.7.2 DOMÍNIOS DE DEFORMAÇÃO.....	22
3 METODOLOGIA.....	23
3.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA.....	23
3.2 ETAPAS DA PESQUISA	23
4 RESULTADOS E DISCURSSÕES.....	24
4.1 ARQUITETURA ANALISADA	24
4.2 CONCEPÇÃO ESTRUTURAL.....	27
4.3 LEVANTAMENTO DAS AÇÕES.....	30
4.4 MODELAGEM DA ESTRUTURA NO SOFTWARE.....	30
4.5 RESUMO DOS MATERIAIS	31
5 CONCLUSÕES	35
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	36
ANEXO A – PLANTAS DE FORMA	37
ANEXO B – DIAGRAMAS VIGA 33	39

ANÁLISE COMPARATIVA DE DIFERENTES CONCEPÇÕES ESTRUTURAIS PARA EDIFICAÇÕES EM CONCRETO ARMADO DE MÉDIO PORTE

Juvino Soares Costa¹

Bergson da Silva Matias²

RESUMO

Com o avanço da tecnologia e surgimento de *softwares* para cálculo estrutural, se tornou viável o estudo para vários modelos diferentes, que antes eram extremamente trabalhosos sendo feito à mão, tendo isso como auxílio esse projeto tem como objetivo avaliar duas concepções estruturais diferentes para a mesma arquitetura e o consumo de material. Foi utilizado o *software* da Eberick para modelagem análise e dimensionamento, e a partir dele também foi possível extrair os resultados, fazendo uma comparação final de materiais utilizados. De maneira geral os resultados finais foram bem parecidos, tendo cada estrutura suas vantagens e desvantagens, gerando um equilíbrio em relação a outra.

Palavras-chave: Concreto armado. Concepção estrutural. Projeto estrutural.

ABSTRACT

With the advancement of technology and the emergence of structural calculation software, it has become feasible to study several different models, which were previously extremely laborious by hand, having as this aid this project evaluates two different structural concepts for the same architecture and material used. Eberick software was used for modeling analysis and sizing, and from it it was also possible to extract the results, making a final comparison of materials used. In general, the final results were very similar, with each structure having some advantages over each other.

Keywords: Reinforced concrete; Structural conception; Structural design

¹ Juvino Soares costa, graduando do curso de Engenharia Civil na Faculdade CISNE de Quixadá. E-mail: engjuvino@gmail.com

² Prof. Me. Bergson da Silva Matias, docente do curso de Engenharia Civil na Faculdade CISNE de Quixadá. E-mail: bergson.matias@faculdadecisne.edu.br

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, com a alta competitividade no mercado de trabalho, é de suma importância que o profissional de engenharia consiga reduzir os custos, mantendo-se a alta qualidade esperada do produto, em quesitos de segurança e conforto. O cálculo, ou dimensionamento, de estrutura deve garantir que ela suporte todos os esforços nela aplicados, dessa forma, o dimensionamento consiste em impedir que a estrutura vá a falha (CARVALHO E FIGUEIREDO, 2014)

Segundo Vargas *et al.* (2010), a estrutura de concreto armado chega a custar 20% do total da obra e pode ser bem vantajoso sendo imprescindível a avaliação dos modelos, nos quais devem ser profundamente estudados, assim adotando a solução mais viável economicamente.

As quantidades de materiais empregados na estrutura, como concreto, aço e formas do edifício são definidas pelo projeto estrutural, deve-se então adotar a solução estrutural que atenda aos requisitos de segurança estabelecidos por norma, como também os requisitos para qual foi projetada, seja ele uso residencial ou comercial e também esteja em harmonia com a arquitetura.

Através desse trabalho analisaremos e dimensionaremos diferentes arranjos dos elementos estruturais, de um edifício em concreto armado de médio porte, obedecendo critérios normativos de cálculo, de forma a obter uma estrutura segura, durável e econômica.

Para prosseguir com o trabalho, elaboramos referencial teórico para embasamento do estudo proposto, verificando normas e autores relacionados, especificamente pode ser destacado o *software* Eberick, que por meio dele modelaremos a estrutura, tentando simular uma situação real, assim depois analisar os esforços e finalmente dimensionar de acordo com a NBR 6118/2014.

O engenheiro de estruturas, por sua vez, não será substituído pelo *software*, o programa apenas irá facilitar seu trabalho, onde ele fará todo o processamento de cálculo e de análise estrutural. Cabe a nós saber interpretar esse resultado e tomar a melhor decisão, ficando assim ele o responsável pelo projeto estrutural.

Foi Elaborado referencial teórico para embasamento do estudo proposto, verificando normas e autores relacionados. Modelarmos dois arranjos diferentes, a

partir deste analisaremos e dimensionaremos a estrutura conforme com a NBR 6118 (ABNT, 2014).

Com todo o modelo já dimensionado, analisamos os consumos de materiais empregados, tal como peso do aço, volume do concreto e área de formas, extraíndo a partir deste a melhor solução estrutural.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

O concreto é uma mistura composta por água, cimento, agregado miúdo e graúdo, esquematicamente podemos classificar que pasta é uma mistura do cimento com água, argamassa provém da mistura da pasta com o agregado miúdo e o concreto da mistura da argamassa com o agregado graúdo. (PINHEIRO, 2007).

Depois de endurecido, o concreto apresenta boa resistência a compressão, mas baixa resistência a tração, conseqüentemente, é importante associar um material que resista bem à tração, sendo mais comum o uso do aço. Essa interação concreto/aço é possível devido às forças de aderência e é facilitada pelo fato dos materiais terem coeficientes de dilatação térmica parecidos (em torno de $1,0 \cdot 10^{-5} \text{°C}^{-1}$ para o concreto e $1,2 \cdot 10^{-5} \text{°C}^{-1}$ para o aço). (CARVALHO E FIGUEIREDO, 2017).

2.1 CARACTERÍSTICAS DO CONCRETO

Segundo Pinheiro (2007), São considerados os concretos de massa específica normal, entre o valor de 2000 kg/m^3 e 2800 kg/m^3 , e para efeito de cálculo pode-se adotar o valor 2400 kg/m^3 para concreto simples e 2500 kg/m^3 para concreto armado.

A NBR 6118 (ABNT, 2014) no seu item: 8.2.2, fala quando é desconhecida a massa específica do concreto utilizado, pode ser utilizada a massa do concreto simples acrescida de 100 kg/m^3 a 150 kg/m^3 .

2.1.1 Resistência à compressão

A resistência à compressão do concreto é obtida através de ensaios de corpo de prova cilíndricos, conforme NBR 5738 (ABNT, 2003), e realizados de acordo NBR 5739/2007. No Brasil são utilizados corpos de provas com 15 cm de base e 30 cm de altura, e também com 10 cm de base e 20 cm de altura.

Os concretos para fins estruturais são divididos em classes I e II, conforme sua resistência que variam de C20 à C50, essa nomenclatura corresponde a sua resistência à compressão em megapascal, O concreto geralmente utilizado em obras residenciais, são o C20 E C30.

2.1.2 Módulo de Elasticidade

O modulo de elasticidade inicial (E_{ci}), deve ser obtido com métodos de ensaios explícitos na ABNT NBR 8522 (ABNT, 2017). Quando não se há ensaios, o valor do módulo de elasticidade é dado pela expressão (1.0):

$$E_{ci} = \alpha_E \cdot 5600 \sqrt{f_{ck}} \text{ para } f_{ck} \text{ de 20 MPa a 50 MPa; (1.0)}$$

Sendo $\alpha_E = 1,0$ para granito e gnaiss com E_{ci} e F_{ck} dados em megapascal (MPa). O modulo de elasticidade secante pode ser estimado pela expressão (1.1):

$$E_{cs} = \alpha_i \cdot E_{ci} \quad (1.1)$$

$$\alpha_i = 0,8 + 0,2 \cdot \frac{f_{ck}}{80} \leq 1,0 \quad (1.2)$$

A tabela 8.1 da NBR 6118/2014 apresenta valores estimados de acordo com a classe do concreto.

2.1.3 Características mecânicas do aço

A NBR 7480 (ABNT, 2007) estabelece os tipos de aço usados nas estruturas de concreto armado no Brasil, classifica como barra os produtos de diâmetro nominal 6,3mm ou superior, obtidos exclusivamente a laminação a quente. Classificam como fios aqueles com diâmetro inferior à 10mm.

De acordo com a mesma norma, as barras de aço são classificadas nas categorias CA-25 e CA-50, e os fios CA-60 (a sigla CA significa concreto armado, e o número, a categoria do concreto, ou seja, a resistência de escoamento mínima, em kN/cm²).

O aço para armadura passiva tem massa específica de 7850 kg/m³, coeficiente de dilatação térmica $\alpha = 1,2 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ para $-20^\circ\text{C} < T < 150^\circ\text{C}$.

2.1.4 Módulo de Elasticidade

Caso não haja ensaios para o aço, a NBR 6118 (ABNT, 2014), diz que o módulo de elasticidade do aço pode ser admitido igual à 210GPa.

2.2 AÇÕES NA ESTRUTURA

Segundo Carvalho e Figueiredo (2017), “denomina-se ação qualquer influência, ou conjunto de influências, capaz de produzir estados de tensão ou de deformação em uma estrutura”.

A NBR 6118 (ABNT, 2014) no seu capítulo 11, fala que durante a etapa de análise estrutural, deve ser considerada a influência de todas e quaisquer ações que possam produzir efeitos significativos para segurança da estrutura levando em conta os estados limites últimos e de serviço.

As ações podem ser classificadas segundo sua variabilidade com o tempo, sendo divididas em permanentes, variáveis e excepcionais.

2.2.1 Ações permanentes

São aquelas que ocorrem com o valor praticamente constante durante toda sua vida útil, essas ações devem ser consideradas com seus valores mais desfavoráveis para a segurança da estrutura. (PINHEIRO, 2007)

O mesmo autor também fala que podem ser subdivididas em ações diretas, e indiretas, diretas estão o peso próprio, peso dos elementos fixos, e indiretos, retração do concreto, fluência, deslocamento do apoio.

2.2.2 Ações variáveis

Ocorrem devido às cargas acidentais de acordo com o uso da edificação. Também são divididas em diretas e indiretas. Podemos citar direta a ação do vento, cargas acidentais previstas para o uso da edificação, e as indiretas são dadas pela variação uniforme e não uniforme da temperatura.

A norma NBR 6120 (ABNT, 1980) define os pesos específicos dos materiais de construção assim como os valores das cargas acidentais de conforme seu uso.

2.2.3 Ações excepcionais

O item 11.5 da NBR 6118 (ABNT, 2014), diz:

“No projeto de estruturas sujeitas a situações excepcionais de carregamento, cujos efeitos não possam ser controlados por outros meios, devem ser consideradas ações excepcionais com os valores definidos, em cada caso particular, por Normas Brasileiras específicas.”

2.2.4 Vento

A norma NBR 6123 (ABNT, 1988) fixa as condições na consideração das forças devidas à ação estática e dinâmica do vento para efeitos de cálculo de edificações.

2.3 ESTADOS LIMITES

Além dos aspectos estéticos e econômicos, a estrutura de concreto armado deve seguir os seguintes requisitos de qualidade.

- 1) Segurança: a estrutura deve suportar as ações que serão submetidas;
- 2) Bom desempenho em serviço: nas condições normais de uso, as deformações devem ser suficientemente pequenas, para não causar danos a elementos não estruturais e nem afetar seu uso ou aparência.
- 3) Durabilidade: a estrutura deve se manter em bom estado de conservação ao longo da vida útil.

Os estados limites considerados nas estruturas de concreto armado são os estados limites últimos e os estados limites de serviço. A NBR 6118 (ABNT, 2014) determina em seu item 10.3, que a estrutura sempre deve ser verificada aos seguintes estados limites últimos.

2.3.1 Estado Limite último (ELU) Item 10.3 NBR 6118 (ABNT, 2014).

- a) Da perda do equilíbrio da estrutura, considerada como corpo rígido;
- b) Esgotamento da capacidade resistente, em seu todo ou parte, devido a solicitações normais e tangenciais;
- c) De colapso progressivo;

- d) Esgotamento da capacidade resistente, em seu todo ou parte, devido efeitos de segunda ordem;
- e) Provocado por ações sísmicas;
- f) Provocado por solicitações dinâmicas;

2.3.2 Estado Limite de Serviço (ELS)

Os estados limites de serviço, são relacionados à durabilidade das estruturas, à aparência, conforto e boa utilização. As verificações usuais são de deslocamentos excessivos, abertura de fissuras e limite de vibração.

2.3.3 Coeficiente de ponderação das ações nos estados limites últimos e serviço.

A norma de concreto diz que as ações devem ser majoradas pelo coeficiente de ponderação γ_f , que no ELU é obtido pelo produto de três outros:

$$\gamma_f = \gamma_{f1} \cdot \gamma_{f2} \cdot \gamma_{f3} \quad (1.3)$$

Em que:

γ_{f1} – considera a variabilidade de ações

γ_{f2} – considera a simultaneidade das ações

γ_{f3} – considera os possíveis desvios e erros nas construções e aproximações.

As tabelas 11.1 e 11.2 determina os valores para os coeficientes acima.

Para o ELS, o coeficiente γ_f é igual ao γ_{f2} descrita na tabela 11.2 – Valores do coeficiente γ_{f2} da NBR 6118 (ABNT, 2014)

2.3.4 Combinações das ações

A combinação das ações deve acontecer de forma que seja aplicado o efeito mais desfavorável à estrutura, em todas as suas combinações, a carga devido a ação permanente deve ser usada em sua totalidade, já das ações variáveis devem ser tomada parcelas (CARVALHO E FIGUEIREDO, 2017).

2.3.5 Combinações últimas

Uma combinação última pode ser classificada como normal, especial ou de construção e excepcional.

2.3.6 Combinações de Serviço

A NBR 6118 (ABNT, 2014) classifica as combinações de serviço em:

- a) Quase permanente. Atuam durante um grande período na vida útil da estrutura;
- b) Frequentes. Repetem-se muitas vezes na vida útil da estrutura;
- c) Raras. Ocorrem algumas vezes na estrutura.

A tabela 11.4 na NBR 6118 (ABNT, 2014) apresenta combinações de serviço usuais.

2.4 ELEMENTOS ESTRUTURAIS

Elementos estruturais são peças que geralmente possuem uma ou mais dimensões bem maiores que as demais (vigas, pilares, laje), que compõe a estrutura.

2.4.1 Laje

Laje é uma estrutura laminar, apoiada em suas extremidades por vigas, por vezes colunas, constitui o pavimento e teto das edificações. Além das cargas permanentes, as lajes recebem as cargas de uso e os transmitem para os apoios. Também tem como função o travamento dos pilares, e distribuição das cargas horizontais nos elementos de contraventamento.

A laje deve ser dimensionada e fabricadas de acordo com as especificações de cada projeto, como tamanho de vão livre, cargas, mas também por disponibilidade material no mercado, aqui abordaremos a laje maciça e treliçada, já que são mais comuns em nossa região. (CARVALHO E FIGUEIREDO, 2017).

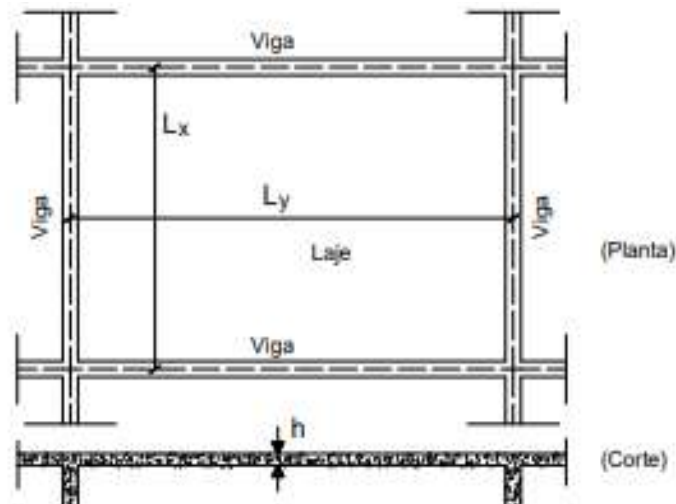
2.4.2 Pré-dimensionamento laje – Recomendações práticas segundo Pinheiro (2007)

Lajes maciças: espessura (h)

$$H \cong \frac{Lx}{40} \quad (1.4)$$

L_x = menor vão da laje

Figura1 – Pré-dimensionamento laje.



Fonte: Notas de aula Prof. Gerson Moacyr.

Devem ser respeitados valores mínimos descritos no item 13.2.4.1 da NBR 6118 (ABNT, 2014).

- 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 bi apoiadas e $\frac{L}{50}$ para lajes de piso contínuas;
- g) 16 cm para lajes lisas e 14 cm para lajes-cogumelo, fora do capitel.

Laje Trelaçada: espessura (h) (PINHEIRO, 2009)

$$H \cong \frac{L}{25} (1.5)$$

2.4.3 VIGA

Segundo a NBR 6118(ABNT, 2014) define que as vigas são elementos lineares em que a flexão é preponderante. A norma ainda diz que os elementos lineares são aqueles tem o comprimento longitudinal maior em pelo menos três vezes a maior dimensão da seção transversal.

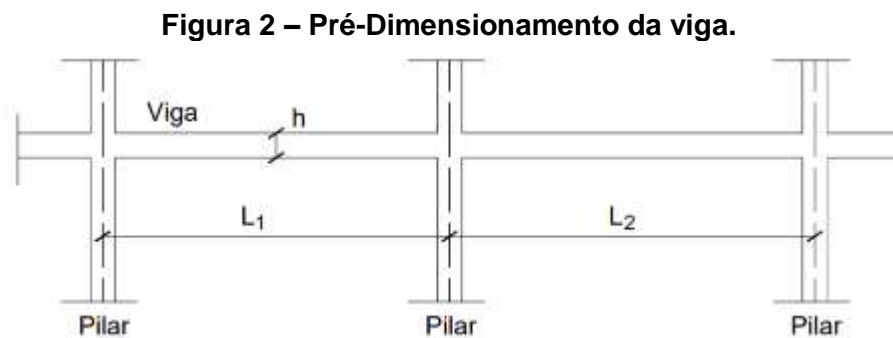
A viga tem como principal função receber os esforços da laje e transmitir para os pilares.

2.4.4 Pré-Dimensionamento e Dimensões Mínimas. (PINHEIRO, 2009).

Uma estimativa grosseira para a altura das vigas é dada por:

$$H \cong \frac{L}{10} \text{ a } \frac{L}{12} \quad (1.6)$$

L= Vão do trecho



Fonte – Notas de aula Prof. Gerson Moacyr.

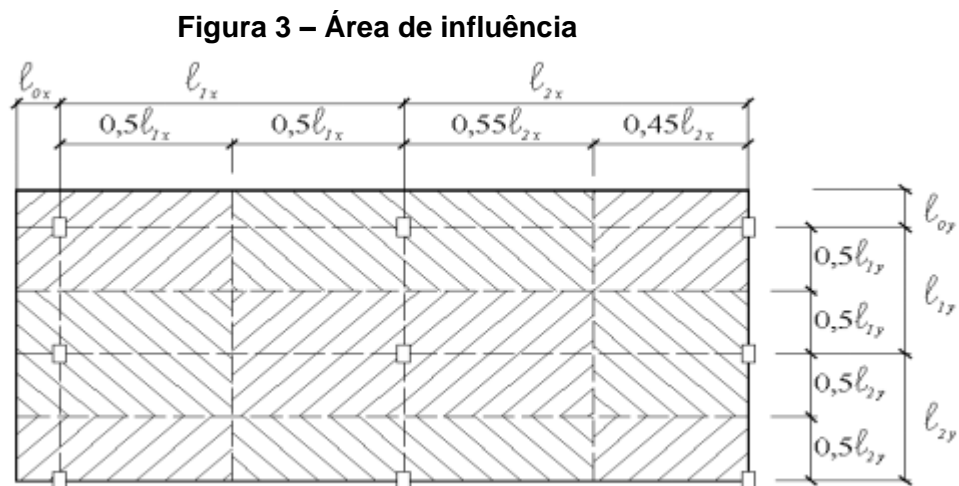
No item 13.2.2 da norma NBR 6118 (ABNT, 2014) impõe que vigas e vigas-paredes não podem apresentar largura menor que 12cm e 15cm respectivamente, este limite pode ser reduzido para um mínimo absoluto de 10cm desde que sejam respeitados o cobrimento do elemento e possua espaçamento adequado para lançamento e vibração do concreto.

2.4.5 Pilar

Segundo Pinheiro (2007), pilares são barras verticais que recebem os esforços das vigas ou diretamente das lajes, no caso de laje lisa e transmite para os apoios inferiores ou para fundação. São elementos sujeitos principalmente a forças de compressão, podendo também sofrer flexão composta ou oblíqua. Carvalho e Pinheiro (2009), em seu capítulo 5 classifica os pilares quanto à sua posição e também quanto à sua esbeltez e também traz expressões para cálculo e definição das mesmas.

2.4.6 Pré-Dimensionamento e Dimensões mínimas

O pré-dimensionamento dos pilares se inicia estimando sua carga, através do processo de área de influência, é necessário ter uma ideia de carga vertical (esforço normal) por unidade de área, na figura abaixo mostra como determinar as áreas de influência (A_i).



Fonte: Pinheiro (2009)

- 0,45l: pilar de extremidade e de canto, na direção da sua menor dimensão;
- 0,55l: complementos dos vãos do caso anterior;
- 0,50l: pilar de extremidade e de canto, na direção da sua maior dimensão.

Após avaliar a força nos pilares pelo processo das áreas de influência, é determinado o coeficiente de majoração da força normal (α) que leva em conta as excentricidades da carga, sendo considerados os valores:

$\alpha = 1,8$ para pilar central

$\alpha = 2,2$ para pilar lateral

$\alpha = 2,5$ para pilar de canto

$$A_C = \frac{30 \times \alpha \times A \times (n + 0,7)}{f_{ck} + 0,01 \times (69,2 - f_{ck})} \quad (1.8)$$

A NBR 6118 (ABNT, 2014) no item 13.2.3 limita a menor seção do pilar à 19cm podendo em casos especiais usar pilares de 14cm desde que os esforços solicitantes na peça sejam majorados por um coeficiente γ_n descrito na tabela 13.1 da norma. Em qualquer caso não é permitido uma área de seção transversal menor que 360cm²

A norma NBR 6118 (ABNT, 2014) seu item 17.3.5 Armaduras longitudinais máximas e mínimas, traz os valores de área de aço em relação à área de concreto.

2.5 CONCEPÇÃO ESTRUTURAL

É uma das etapas que mais tem influência no resultado final do projeto de estruturas de concreto armado, a forma como locaremos cada elementos é chamada de concepção estrutural Kimura (2007), é nesta etapa que faremos a combinação dos vários elementos estruturais citados acima e fim de conceber um sistema estrutural, fala que os esforços solicitantes na estrutura estão diretamente ligada à sua concepção, não importa o seu tipo material usado.

Esta é a etapa chave, onde aplicaremos bons métodos de concepção estrutural a fim de obter uma estrutura com esforços bem distribuídos, assim evitando grande consumo de material.

A fim de uma concepção estrutural limpa e econômica, recomenda-se procurar alinhar vigas com paredes e pilares, Pinheiro (2009) diz que a concepção primordialmente deve levar em conta a finalidade para que a estrutura está sendo construída, os pilares devem sempre que possível alinhados a fim de formar vigas contínuas nas qual contribuem significativamente na estabilidade global do edifício.

2.6 ANÁLISE ESTRUTURAL

A análise estrutural consiste em verificar como a estrutura se comporta como um todo ou parte dela, é através dela obteremos os esforços solicitantes em cada

elemento estrutural para posteriormente calcular os esforços resistentes de cada elemento e efetuar verificações dos estados limites últimos e de serviço, (KIMURA, 2007). A fim de facilitar essa etapa, existem várias ferramentas computacionais no mercado, apesar disso, o conhecimento do engenheiro e o sentimento estrutural são insubstituíveis.

Nesse trabalho foi utilizada a ferramenta computacional Eberick, no qual é usado o método dos deslocamentos e da análise linear, com modelos de pórtico mais grelha e modelo integrado.

2.6.1 Análise Linear

Na análise linear, admite-se o comportamento elástico-linear para os materiais, a elasticidade do material está ligada à sua tendência de voltar a configuração inicial após ter sofrido deformações. Esse tipo de análise tem uma relação com os índices de tensão e deformação de estrutura. (KIMURA, 2007)

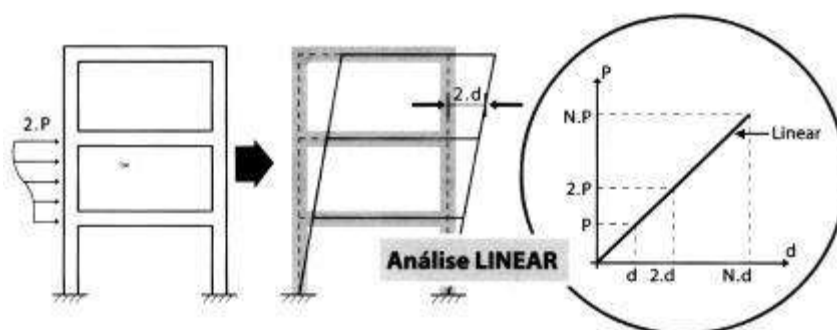


Figura 1 – Análise Linear

Fonte: Kimura (2007)

2.6.2 Modelo pórtico mais grelha.

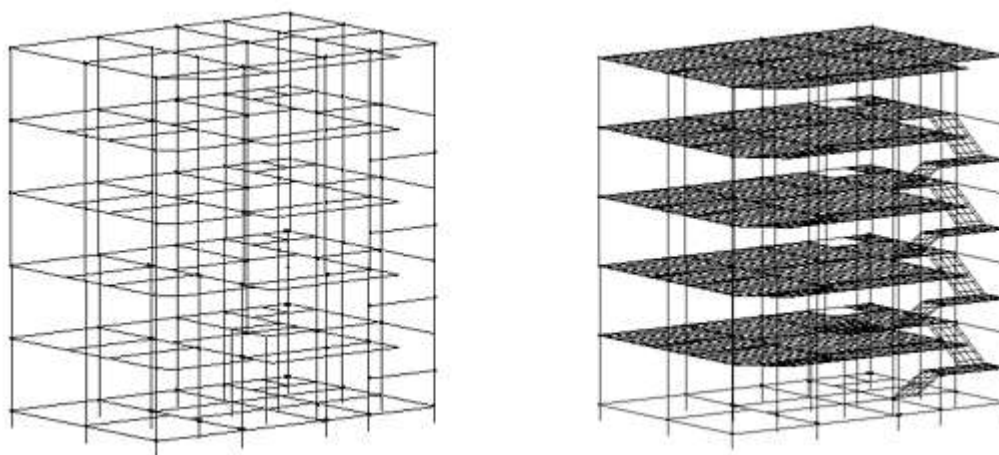
Nesse modelo as grelhas são calculadas separadamente do pórtico, os painéis de lajes são analisados primeiro, com um modelo bidimensional de grelha, e as reações das lajes nas vigas são adicionadas a um modelo separado de pórtico espacial, no qual são representados apenas os pilares e vigas. (FRANCESCHI 2019)

2.6.3 Modelo integrado.

Conforme o mesmo autor, o modelo integrado, por sua vez, calcula todos os elementos estruturais em um único modelo espacial, esse modelo permite considerar

a presença das lajes na análise global da estrutura, aumentando sua estabilidade global.

Figura 5 – Modelo Pórtico mais grelha e Modelo Integrado.



Fonte: AltoQi FAQ. (2018)

2.7 DIMENSIONAMENTO SEGUNDO NBR 6118 (ABNT, 2014)

No cálculo, ou dimensionamento da estrutura deve se garantir que ela suporte forma segura, estável e com pequenas deformações para todos os esforços solicitantes obtidos a partir da análise estrutural. A fim de garantir essa segurança, norma prescreve a minoração das resistências com a majoração das ações.

Segundo a norma NBR 6118 (ABNT, 2014), determina que para a segurança da estrutura, as resistências dos elementos não podem ser menores que as solicitações na estrutura e que devem ser verificadas para todos os estados limites, a norma também define em seu item 12.2 que os valores característicos para as resistências devem ser transformados em valores de cálculo, cujo é aplicado um coeficiente de minoração γ_m .

$$F_d = \frac{f_k}{\gamma_m} \quad (1.9)$$

Em condições normais, adota $\gamma_m = 1,4$ para concreto e $\gamma_m = 1,15$ para o aço.

2.7.1 Hipóteses para cálculo

As hipóteses para o cálculo nos estados limites últimos de elementos lineares sujeitos à solicitação normais estão no item 17.2.2 da NBR 6118 (ABNT, 2014)

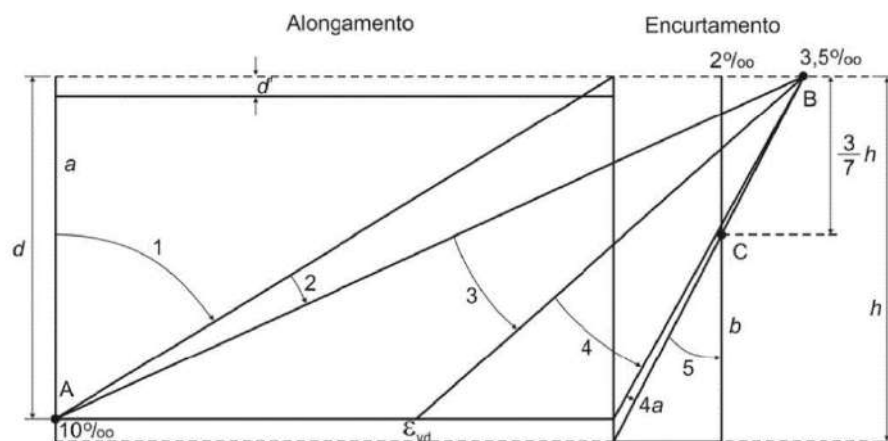
A ruína da seção transversal, para qualquer tipo de flexão no estado limite último fica caracterizada pelas deformações específicas do aço e do concreto, aqui serão usados os módulos de elasticidades de ambos materiais. Os diversos casos possíveis de distribuição das deformações definem os domínios de deformação. (CARVALHO E FIGUEIREDO, 2017).

2.7.2 Domínios de Deformação

Os domínios de deformação representam diversas possibilidades quanto à ruína da seção estudada. São situações em que pelo menos um dos materiais atinge seu limite de deformação. (PINHEIRO, 2007)

Na NBR 6118 (ABNT, 2014) no item 17.2.2 caracteriza os domínios e os dividem em 5 domínios.

Figura 6 - Domínios de deformação



Fonte –
NBR
6118
(ABNT,
2014).

Para vigas e lajes, a linha neutra pode ser calculada usando o método de equilíbrio das forças explícitos no capítulo 3 item 7 no livro de Carvalho & Figueiredo (2017)

A norma NBR 6118/2014, no item 14.6.4.3 limita a $x/d = 0,45$ (linha neutra dividido pela altura útil) a fim de garantir o comportamento dúctil em vigas.

Com base no tipo de esforço preponderante encontrado em cada elemento estrutural, Carvalho & Figueiredo diz que é interessante o dimensionamento de vigas e lajes no domínio 2 e 3, restringindo-se a $x/d = 0,45$. E para pilares, onde os principais esforços serão flexo-compressão reta ou oblíqua, raramente são encontrados esforços de compressão pura. é interessante desenvolver expressões nos domínios 3, 4, 4a e 5.

3 METODOLOGIA

3.1 Caracterização da Pesquisa

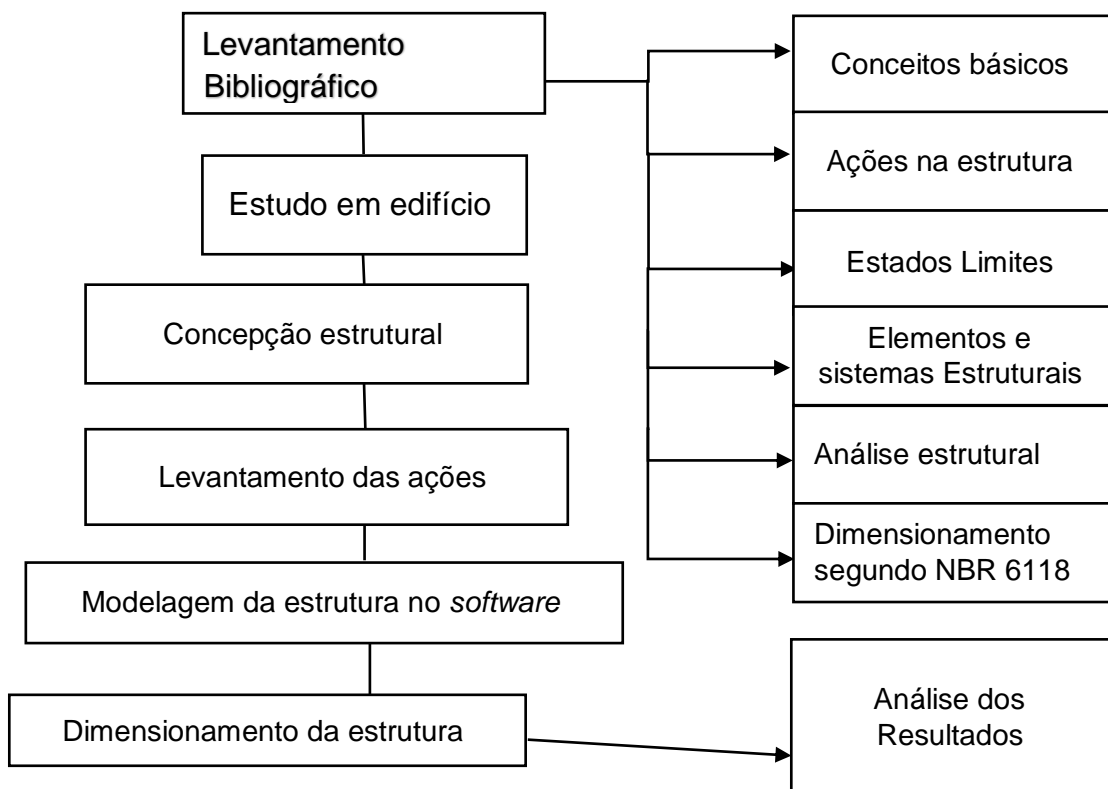
Nesse capítulo serão apresentados os procedimentos para se alcançar os objetivos do trabalho.

A pesquisa é de caráter quantitativos e qualitativos, pesquisa quantitativa é a forma de atribuir números e propriedades e qualitativa por atribuir aspectos que podem ser descritos, não somente mensurados. Como o estudo também envolve pesquisa bibliográfica, podemos classificar como pesquisa exploratória. (FACHIN, 2011).

O presente trabalho visa compara os resultados entre concepções estruturais diferentes.

3.2 Etapas da pesquisa

Para melhor visualização das etapas desenvolvidas, o fluxograma abaixo mostra o caminho tomado para seja atingido os objetivos do trabalho.



Como observado no fluxograma, primordialmente foi feito um levantamento bibliográfico abordando os principais assuntos para o dimensionamento de estruturas de concreto armado, depois prosseguimos com a concepção estrutural para dois modelos diferentes, posteriormente o levantamento das ações e pré-dimensionamento para só depois fazer o lançamento, análise e dimensionamento conforme NBR 6118 (ABNT, 2014) com auxílio do programa AltoQi Eberick.

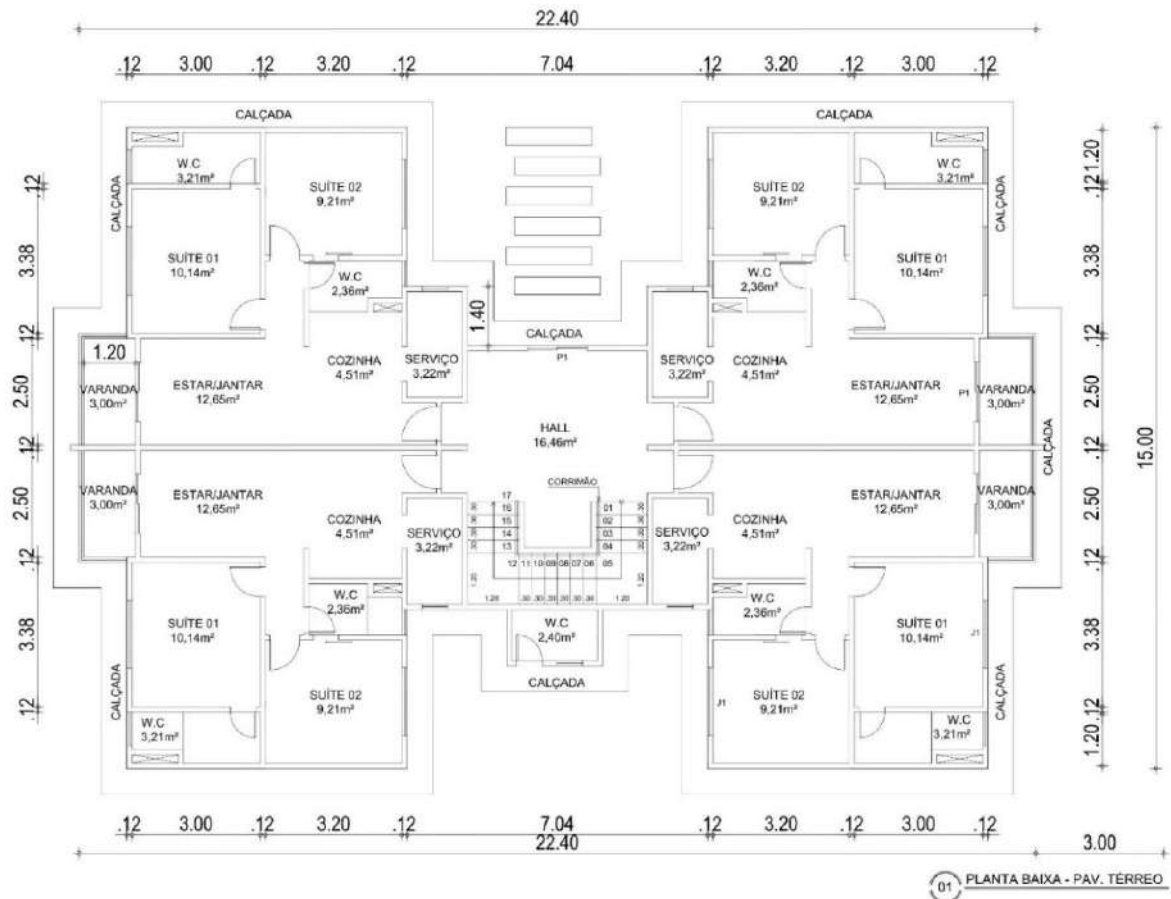
Depois de coletados os resultados do dimensionamento para os dois modelos em estudos, faremos comparação entre consumo de materiais, tais como aço, concreto e formas.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Arquitetura analisada

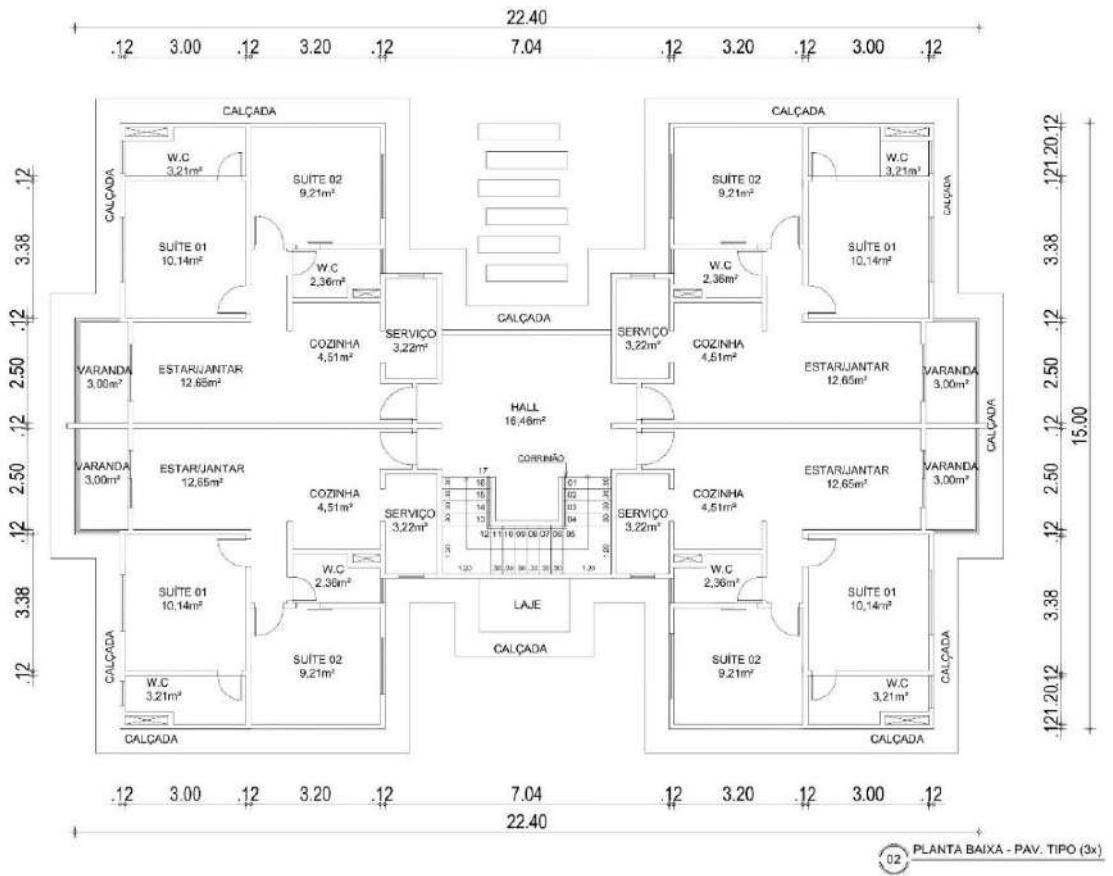
Foi utilizado um edifício residencial de 4 andares com quatro apartamentos por andar. O projeto estrutural provém de uma arquitetura já existente, contendo térreo (figura 8), 3 pavimentos tipos (figura 9) e coberta (figura 10), a área do primeiro pavimento térreo é de 259,15m² e dos demais pavimentos, tipo 1,2,3 e coberta de 254,84m².

Figura 8: Planta baixa pavimento térreo.



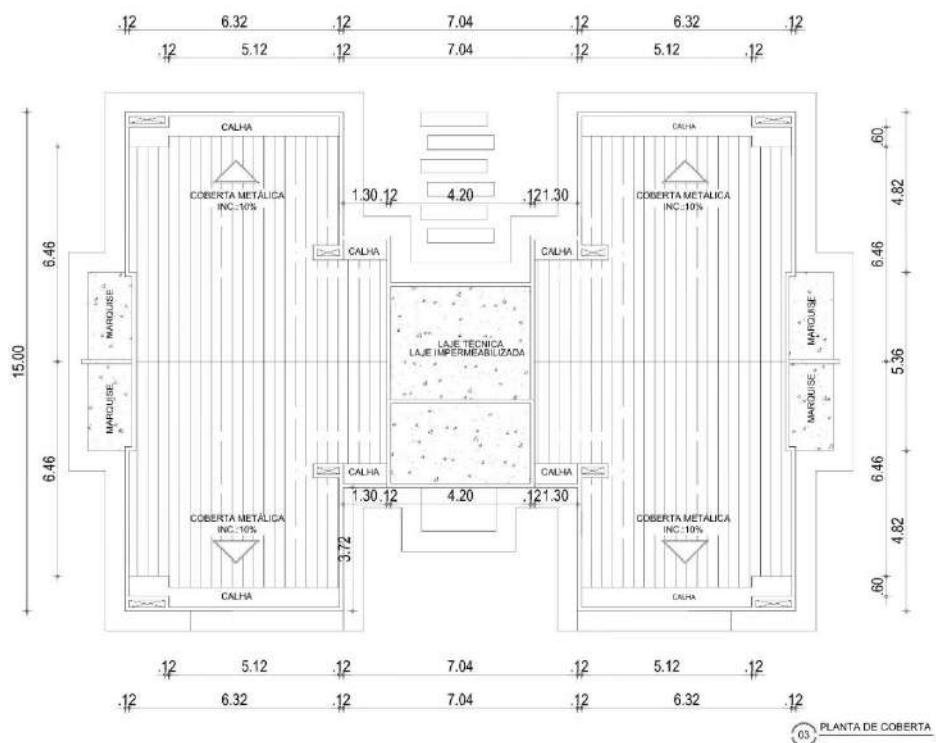
Fonte: Autor, 2019.

Figura 2: Planta baixa pavimento tipo.



Fonte: Autor, 2019.

Figura 10: Planta de Coberta



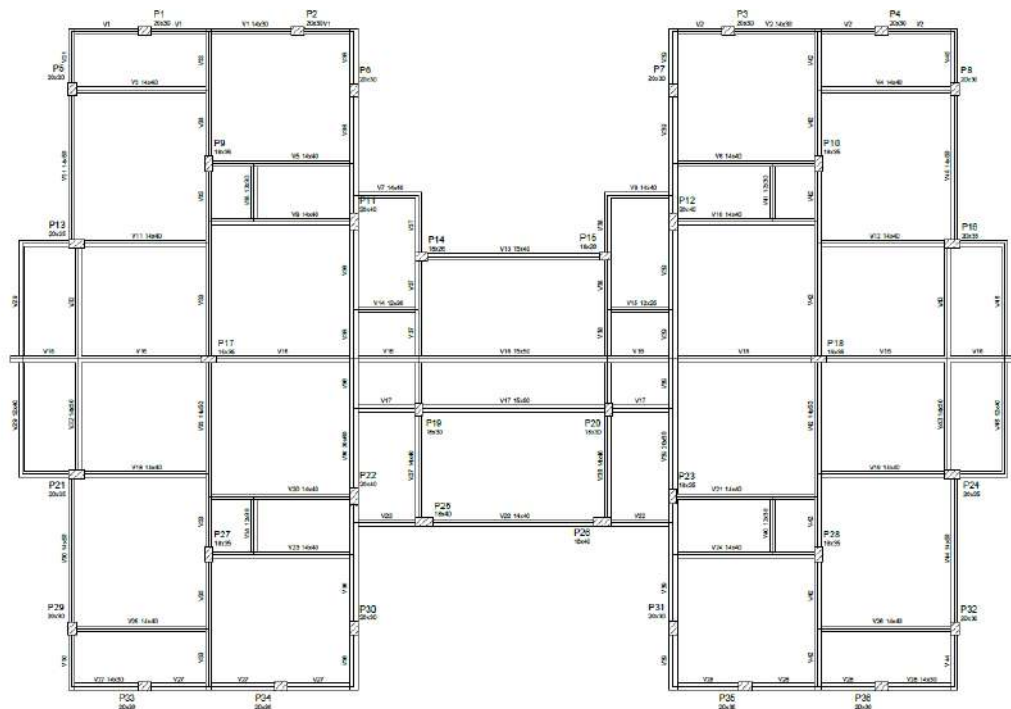
Fonte: Autor, 2019.

Para o dimensionamento dos elementos será considerado um concreto com $f_{ck} = 30$ Mpa para a superestrutura e $f_{ck} = 25$ para fundações. Visando garantir a durabilidade da estrutura com adequada segurança, estabilidade e aptidão em serviço durante o período correspondente a vida útil da estrutura, foram adotados critérios em relação à classe de agressividade ambiental e valores de cobrimentos das armaduras, consideramos no projeto classe de agressividade ambiental II (moderada), e para cobrimento, utilizamos 3cm para vigas pilares e sapatas e 2,5cm para lajes.

4.2 Concepção Estrutural

Para dar prosseguimento ao trabalho, foram dadas duas concepções estruturais diferentes, o modelo um foi concebido visando a introdução de balanços nas vigas, assim esses momentos negativos gerados pelos balanços venham a aliviar o momento positivo nas mesmas, a primeira estrutura foi locada com 36 pilares no total. Na estrutura 1 a ordem de locação dos pilares começou com os centrais depois laterais, com poucos pilares de canto.

Figura 11 – Posicionamento pilares estrutura 1



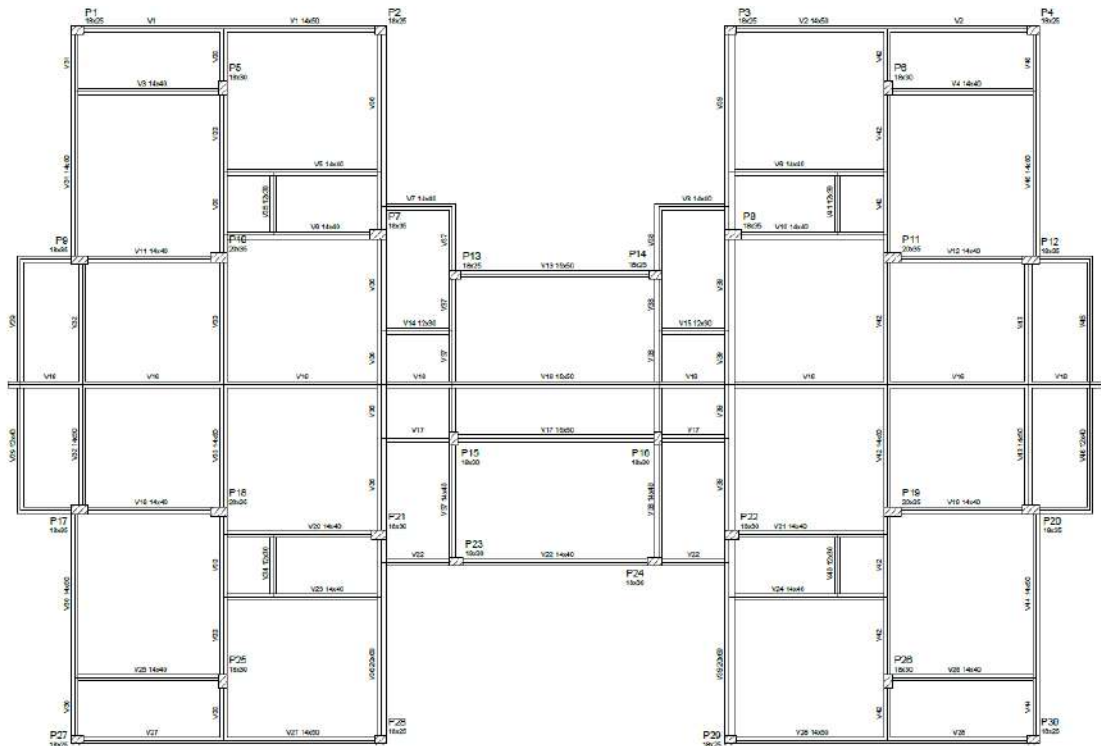
Forma do pavimento TIPO2

Fonte: Autor, 2019.

Na segunda estrutura fizemos o contrário, primeiro foi locado os pilares de canto depois laterais e centrais respectivamente, formando assim uma estrutura com

pórticos bem definidos com a maioria das vigas sendo bi apoiadas diferentemente da primeira estrutura. Foram locados no total de 30 pilares, com sessões diferentes. E no total foram locadas 46 vigas para ambas estruturas. Encontra-se anexada o posicionamento dos pilares das duas concepções. Abaixo encontra o quadro com as dimensões de pilares e vigas adotadas em cada estrutura.

Figura 12 – Posicionamento pilares estrutura 2



Forma do pavimento TIPO2

Fonte: Autor, 2019.

Tabela 1: Dimensões adotadas para pilares

Pilares	Dimensão (cm)	Pilares	Dimensão (cm)
	Estrutura 1		Estrutura 2
P1=P2=P3=P4	20x30	P1=P4=P27=P30	18x25
P5=P6=P7=P8	20x30	P2=P3=P28=P29	18x25
P29=P30=P31=P32	20x30	P5=P6=P25=P26	18x30
P33=P34=P35=P36	20x30	P7=P8=P21=P22	18x35
P9=P10=P27=P28	18x35	P9=P12=P17=P20	18x35
P11=P12=P22=P23	20x40	P10=P11=P18=P19	20x35

P13=P16=P21=P24	20x35	P13=P14	18x25
P14=P15	18x26	P15=P16	18x30
P17=P18	15x35	P23=P24	18x30
P19=P20	18x30		
P25=P26	18x40		

Fonte: Autor, 2019.

Tabela 2: Dimensões adotadas das Vigas

Vigas	Dimensão (cm)	Vigas	Dimensão (cm)
	ESTRUTURA 2		ESTRUTURA 1
V1=V2	14X50	V1=V2=V27=V28	14x50
V3=V4=V5=V6=V7=V8=V9=V10=V11=V12	14X40	V3=V4=V25=V26	14x40
V13=V16=V17	15X50	V5=V6=V7=V8=V23=V24	14x40
V14=V15	12X30	V9=V10=V20=V21	14x40
V18=V19=V20=V21=V22=V23=V24=V25=V26=V37=V38	14X40	V11=V12=V18=V19	14x40
V27=V28=V30=V31=V32=V33	14X50	V13=V16=V17	14x50
V29=V46	12X40	V14=V15	14x30
V34=V35=V40=V41	12X30	V22=V29=V46	14x40
V36=V39	20X60	V34=V35=V40=V41	12X30
V42=V43=V44=V45	14X50	V30=V31=V44=V45	14x50
		V32=V33=V42=V43	14x50
		V36=V39	20x60
		V37=V38	14x40

Fonte: Autor, 2019.

4.3 Levantamento Das Ações

Foram previstos todos os carregamentos atuantes na estrutura, para carga permanente e carga accidental, 30m/s para vento, os valores utilizados na estrutura se encontram na tabela 3.

Tabela 3: Carregamentos da estrutura.

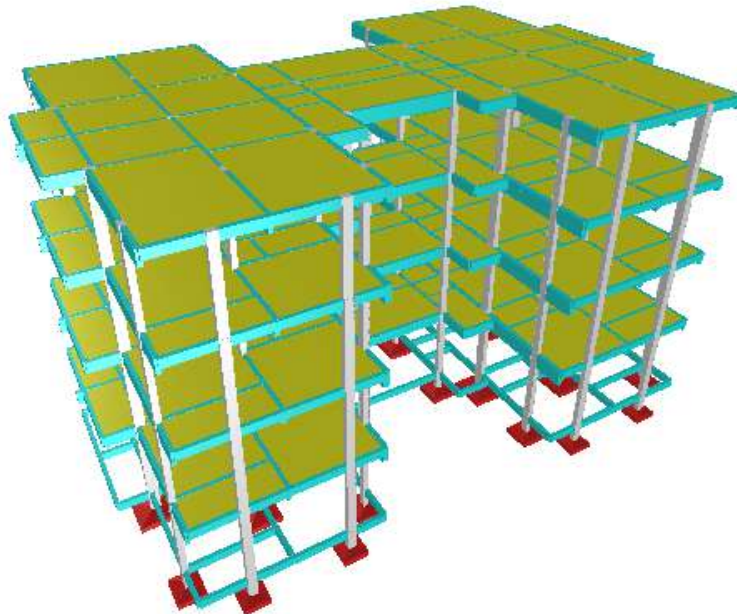
Pavimento	Carga Permanente (kN/m ²)	Carga Accidental (kN/m ²)	Carga parede (kN/m ²)
Coberta	0,5	1	0,156
Tipo	0,5	1	0,437
Térreo	0	0	0

Fonte: Autor, 2019.

4.4 Modelagem da estrutura no Software

Após serem levantadas todas as variáveis para introdução do modelo no *software*, foi feito a modelagem da estrutura, começando pela estrutura 2, cuja solução seria mais complexa e logo após se fez o lançamento da estrutura 1.

Figura 13 – Representação 3D Estrutura 1.

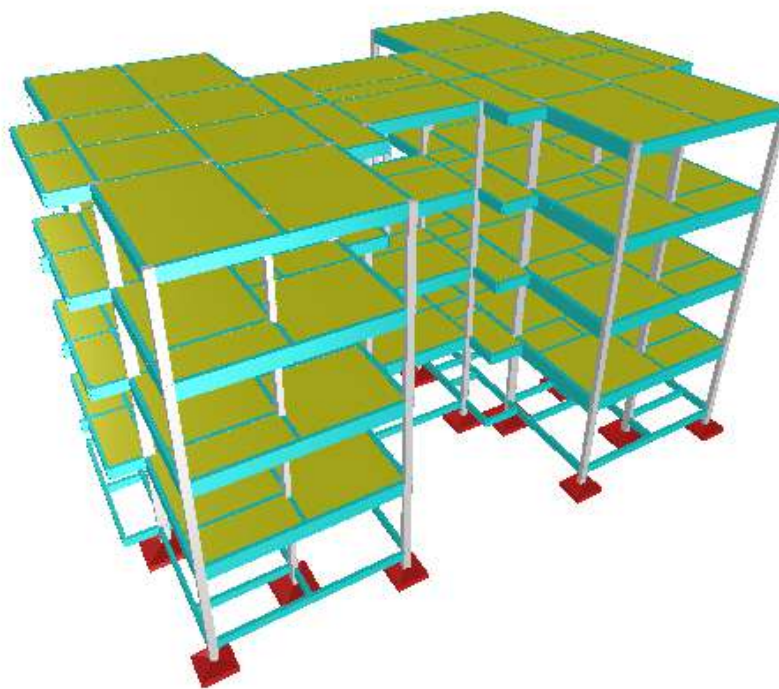


Fonte: Autor, 2019

A figura 13 mostra o modelo 3d da estrutura 1, onde é possível observar o posicionamento dos pilares, 36 ao total com poucos pilares de canto fazendo assim a

estrutura com maior número de vigas em balanço. Já no segundo modelo, como mostra a figura 14, foi usado o sistema mais comum de locação de pilares, começando pelos de canto depois laterais e centrais totalizando 30 pilares, 6 a menos que a primeira estrutura.

Figura 14: Representação 3D estrutura 2.



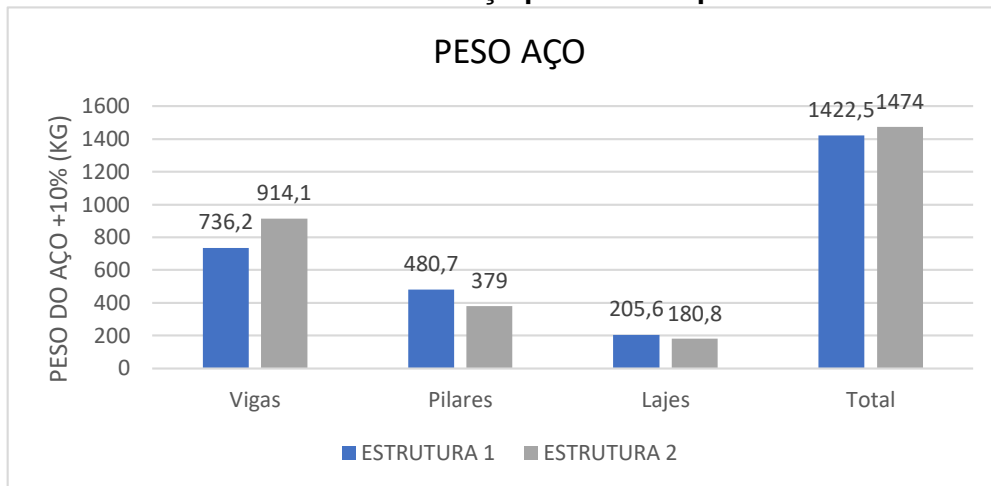
Fonte: Autor, 2019.

4.5 Resumo dos materiais

Neste capítulo serão apresentados todos gráficos e tabelas referentes ao trabalho, tais como volume de concreto, peso de aço e área de forma para o pavimento tipo 2 total geral da estrutura, também comparamos os carregamentos e resultantes de cada elemento estrutural, tal como momento fletor, carregamento e flechas.

Após toda estrutura ser processada e todos os erros e avisos de lançamento terem sido corrigidos, foram retirados os quantitativos de materiais para cada estrutura, obtivemos a área de forma, volume de concreto peso de aço total.

Para apresentação do resumo dos materiais, serão mostrados todos os resumos referentes a estrutura, aço, forma e concreto por meio de gráficos e tabelas e com base neles faremos as discussões.

Gráfico 1: Resumo de aço pavimento tipo 2.

Fonte: Autor, 2019.

No primeiro modelo obtivemos um ganho de 24,16% em peso de aço nas vigas, mas sofremos uma perda nos pilares de 21,16%, mostrando assim que uma estrutura não pode ser totalmente eficiente em todos os quesitos, e sim deve haver um equilíbrio entre ganhos e perdas.

GRÁFICO 2: Peso total de aço na estrutura

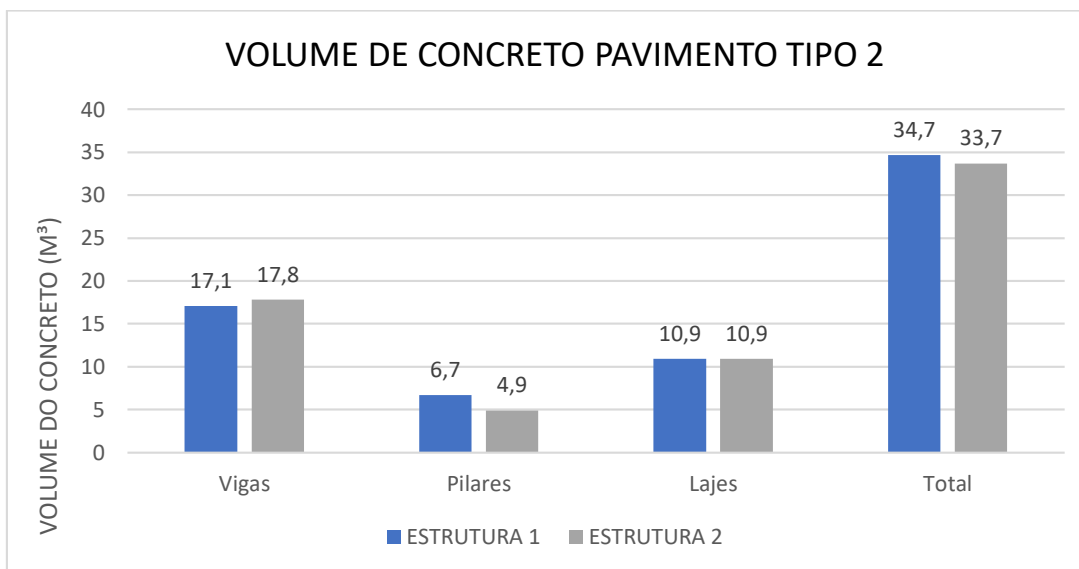
Fonte: Autor, 2019.

Como é possível observar nos gráficos acima, a estrutura 1 foi mais eficiente nos quantitativos de vigas e no total de aço do pavimento, isso devido a primeira estrutura ter muitos balanços assim aliviando os momentos fletores positivos, gerando assim uma peça com os esforços resultantes mais homogêneos, com a introdução dos balanços na estrutura 1 também houve significativa redução no deslocamento das mesmas, resultando em flechas menores. Para melhor visualização

dos ganhos reais nas vigas, segue anexada os diagramas da V33, sendo possível a análise mais aprofundada.

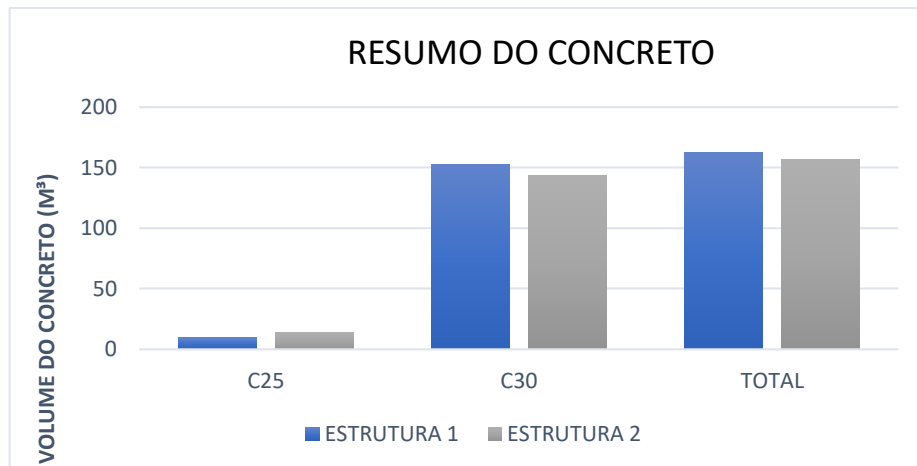
Em contrapartida, o modelo 2 obteve vantagens em relação ao aço dos pilares, isso devido a segunda estrutura conter 6 pilares a mais. Apesar da estrutura 1 conter mais pilares, a mesma teve uma concentração menor de kg de aço por m³ de concreto.

GRÁFICO 3: Volume de concreto



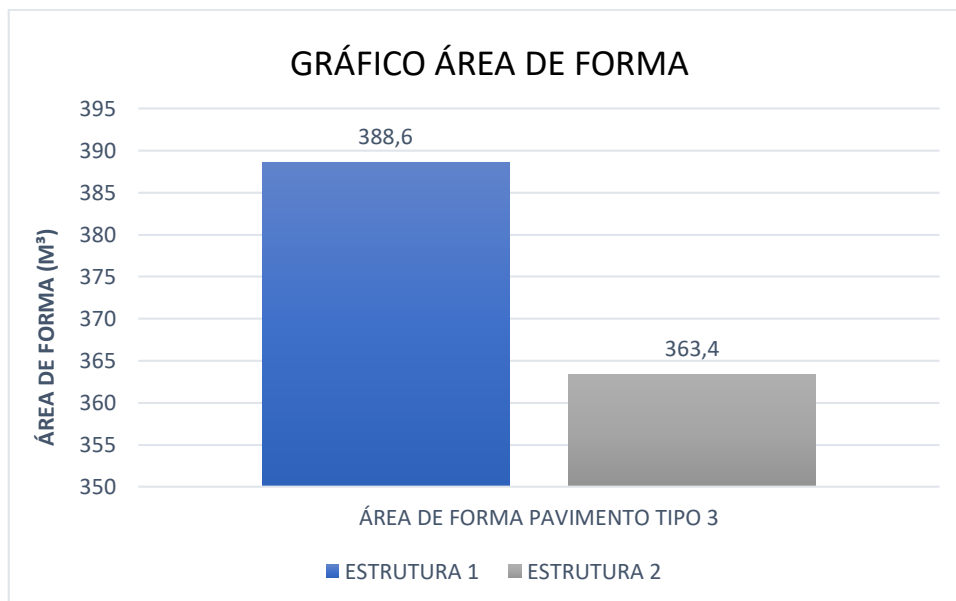
Fonte: Autor, 2019.

O gráfico mostra que os consumos de concreto no pavimento tipo 2 obtiveram pouca variação, teve um significativo aumento no concreto das vigas pelo motivo delas terem sessões diferentes, e o aumento de concreto nos pilares se deu pelo acréscimo de 6 pilares na estrutura 1.

Gráfico 4: Volume total do concreto

Fonte: Autor, 2019.

O volume de concreto reflete nos outros pavimentos, sendo a principal vantagem da estrutura 1 a redução de concreto nas sapatas, devido as mesmas serem menores que no modelo 2, isso devido a melhor distribuição dos esforços entre os pilares, gerando uma carga menor. Para área de forma, a estrutura 1 teve um ganho devido suas vigas serem de menor sessão e um ganho na área de forma do pilar. Segue abaixo gráfico de área de forma.

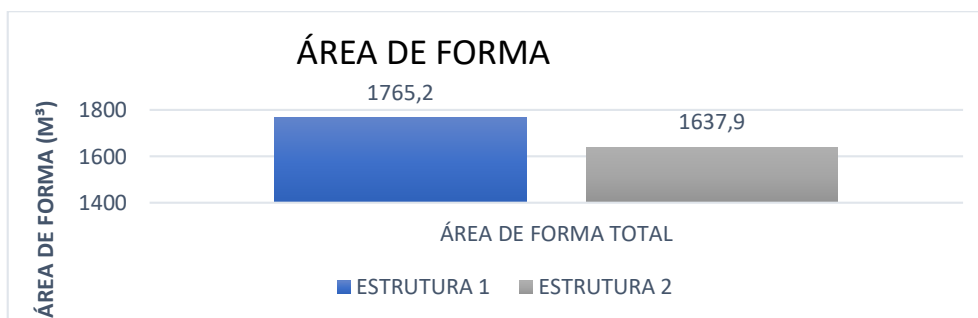
Gráfico 5: Área de forma do pavimento tipo 2

Fonte: Autor, 2019.

Para vigas obtivemos um aumento de 4,26% na área de forma em relação a segunda estrutura, e uma redução de 22,34% para área de forma de pilares, embora

a área de formas de vigas da estrutura 1 ter sido menor que na segunda, para pilares a estrutura 2 sai na vantagem, chegando num resultado final de 3,66% de ganho de forma.

Gráfico 6: Área total de formas.



Fonte: Autor, 2019.

No geral, a estrutura 2 teve uma maior economia de formas e volume de concreto, tendo apenas desvantagem no peso de aço, valor que reflete as resultantes das vigas, onde a primeira estrutura saiu em vantagem.

5 CONCLUSÕES

Através do desenvolvimento deste trabalho foi possível o aprimoramento dos conhecimentos adquiridos durante a graduação, tendo assim um olhar mais crítico ao analisar uma estrutura.

Apesar de o resultado dos materiais serem bem parecidos, cada estrutura teve suas vantagens, a primeira obteve um ganho nas vigas, devido à diminuição dos vãos e momentos fletores, e já a segunda estrutura teve um ganho em relação à armadura e cargas nos pilares.

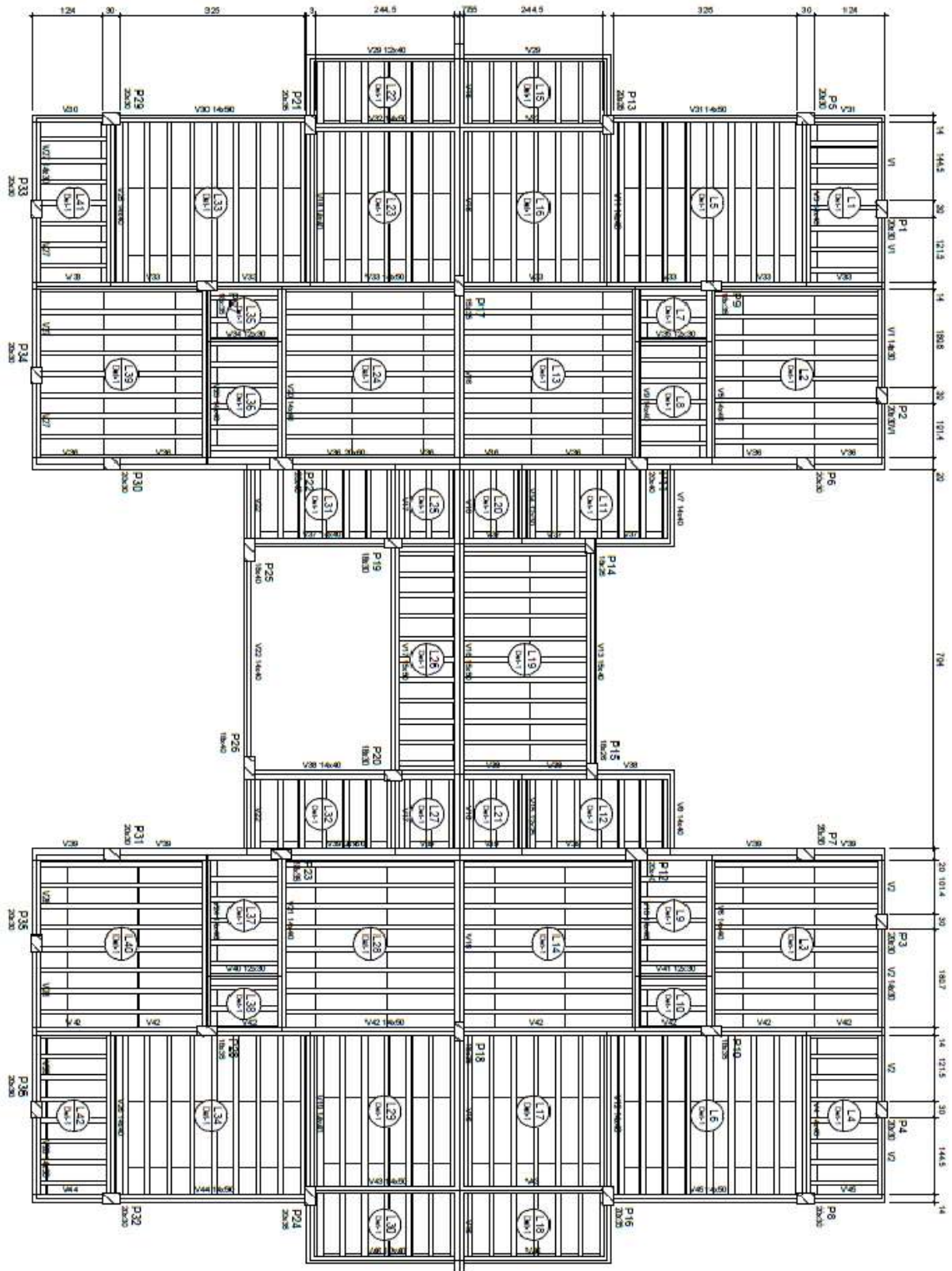
Nesse projeto foi feito um exaustivo processo de otimização da estrutura, reduzindo as seções dos elementos estruturais de forma rápida e prática. Recurso esse que pode ser feito de forma dinâmica, obtendo resultados de forma instantânea. Graças a velocidade de processamentos do *software*.

A utilização de um programa de computador em situações reais de projeto de estruturas implica em muita responsabilidade e experiência por parte do usuário. Nenhum programa de computador, por mais sofisticado que seja, é capaz de substituir totalmente o trabalho, as considerações e o julgamento do engenheiro.

REFERÊNCIAS

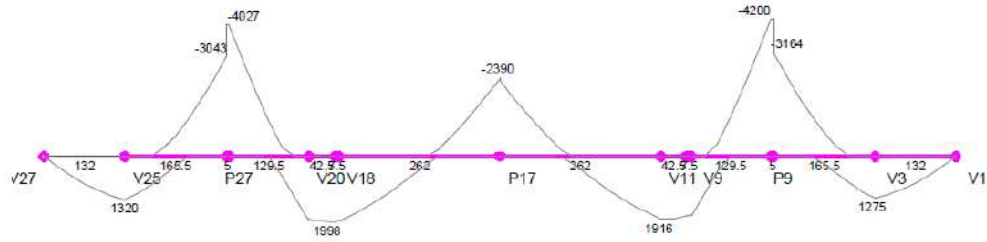
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Projetos de estrutura de concreto - Procedimento**, NBR 6118:2014, Rio de Janeiro, RJ: 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Cargas para o cálculo de estrutura de edificações**. NBR 6120:1980. Rio de Janeiro, RJ, 1980.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Forças devidas ao vento em edificações**. NBR 6123:1988. Rio de Janeiro, RJ, 1988.
- CARVALHO, Roberto Chust; FIGUEIREDO FILHO, Jasson Rodrigues de. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado** – segundo a NBR 6118:2014. 4. ed. São Carlos/SP: EdUFSCar, 2017.
- CARVALHO, R. C e PINHEIRO L. M. **Cálculo e Detalhamento de Estruturas usuais de Concreto Armado**, v. 2, Pini, São Paulo, 2009.
- FRANCESCHI, LUCAS. **Efeito da escolha do modelo de análise na estabilidade global da estrutura**. [S. l.], 2019. Disponível em: <https://suporte.altoqi.com.br/hc/pt-br/articles/360002182574-Efeito-da-escolha-do-modelo-de-analise-na-estabilidade-global-da-estrutura>. Acesso em: 12 jun. 2019.
- GIONGO, J.S. (1996). **Concreto Armado: Projeto Estrutural de Edifícios**. EESC-USP, São Carlos.
- GIL, Antônio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4 o ed. São Paulo: Atlas, 2002.
- KIMURA, Alio. **Informática aplicada em estruturas de concreto armado: cálculos de edifícios com o uso de sistemas computacionais**. 1o Ed. São Paulo: Editora PINI LTDA, 2007.
- SIAS, FRANCESCO MAYER. **DIMENSIONAMENTO ÓTIMO DE PILARES DE CONCRETO ARMADO**. 2014. Tese (PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL) - UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO, Vitória - ES, 2014. Disponível em: [.repositorio.ufes.br/bitstream/10/3973/1/tese_8304_Francesco%20Mayer%20Sias.pdf](https://repositorio.ufes.br/bitstream/10/3973/1/tese_8304_Francesco%20Mayer%20Sias.pdf). Acesso em: 5 jun. 2019.
- PINHEIRO, Libânio Miranda. **Fundamentos do concreto e projeto de edifícios**. Apostila – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, 2007.
- VARGAS, Carlos Luciano Sant'Ana et al. **Custos médios dos serviços em edificações baseados em série histórica de orçamentos reais**. 5º encontro de engenharia e tecnologia dos campos gerais, Ponta Grossa - PR, 2010. Disponível em: http://www.5eetcg.uepg.br/Anais/artigospdf/50003_vf1.pdf. Acesso em: 28 maio 2019.

ANEXO A – PLANTAS DE FORMA



ANEXO B – DIAGRAMAS VIGA 33

MOMENTOS FLETORES DE CÁLCULO (Mdx) [kgf.m;cm]



DESLOCAMENTOS [cm;cm]

