

UNIEVANGÉLICA

CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

**DIEGO SANTANA DA SILVA COSTA
JOÃO HENRIQUE SAMPAIO DE FREITAS**

**IMPACTOS ESTRUTURAIS E ECONÔMICOS DO USO DE PILARES COM
GEOMETRIA ESPECIAL**

ANÁPOLIS / GO

2021

**DIEGO SANTANA DA SILVA COSTA
JOÃO HENRIQUE SAMPAIO DE FREITAS**

**IMPACTOS ESTRUTURAIS E ECONÔMICOS DO USO DE PILARES COM
GEOMETRIA ESPECIAL**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO CURSO DE
ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA**

ORIENTADORA: AGNALDO ANTÔNIO MOREIRA TEODORO DA SILVA

ANÁPOLIS / GO: 2021

FICHA CATALOGRÁFICA

SILVA, DIEGO SANTANA/ SAMPAIO, JOÃO HENRIQUE

IMPACTOS ESTRUTURAIS E ECONÔMICOS DO USO DE PILARES COM GEOMETRIA ESPECIAL

48P, 297 mm (ENC/UNI, Bacharel, Engenharia Civil, 2021).

TCC - UniEVANGÉLICA

Curso de Engenharia Civil.

1. Concreto Armado

2. Geometria Especial

3. Pilares

4. Projeto de estruturas de concreto

I. ENC/UNI

II. Bacharel

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

SILVA, Diego Santana; SAMPAIO, João Henrique. IMPACTOS ESTRUTURAIS E ECONÔMICOS DO USO DE PILARES COM GEOMETRIA ESPECIAL. TCC, Curso de Engenharia Civil, UniEVANGÉLICA, Anápolis, GO, 48p. 2021.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Diego Santana Da Silva Costa

João Henrique Sampaio de Freitas

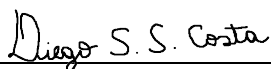
TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO:

IMPACTOS ESTRUTURAIS E ECONÔMICOS DO USO DE PILARES COM GEOMETRIA ESPECIAL

GRAU: Bacharel em Engenharia Civil

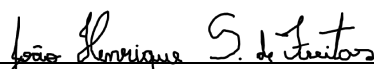
ANO: 2021

É concedida à UniEVANGÉLICA a permissão para reproduzir cópias deste TCC e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste TCC pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.



Diego Santana Da Silva Costa

E-mail: alldido@hotmail.com



João Henrique Sampaio De Freitas

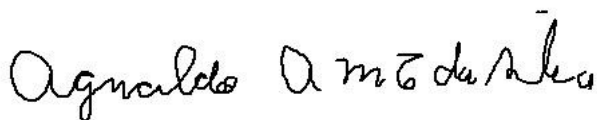
E-mail: j.h.g.sampaio@gmail.com

DIEGO SANTANA DA SILVA COSTA
JOÃO HENRIQUE SAMPAIO DE FREITAS


**IMPACTOS ESTRUTURAIS E ECONÔMICOS DO USO DE PILARES COM
GEOMETRIA ESPECIAL**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO CURSO DE
ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA COMO PARTE DOS REQUISITOS
NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL**


APROVADO POR:



AGNALDO ANTÔNIO MOREIRA TEODORO DA SILVA,
Mestre (UniEVANGÉLICA)
(ORIENTADOR)



VANESSA HONORATO DOMINGOS, Mestra
(UniEVANGÉLICA)
(EXAMINADOR INTERNO)



PAULO ALEXANDRE DE OLIVEIRA, Mestre
(UniEVANGÉLICA)
(EXAMINADOR INTERNO)

DATA: ANÁPOLIS/GO, 29 de novembro de 2021.

AGRADECIMENTOS

Plano de Deus é como eu poderia descrever a minha trajetória para chegar até aqui, então começo meus agradecimentos citando Ele o todo poderoso, agradeço também a minha esposa e meus filhos que me dão todo o apoio que necessito para superar os desafios que vem pelo caminho, agradeço aos meus pais por me ensinarem seus valores e por todo o suporte que tem me dado até aqui, não poderia deixar também aos grandes homens e mulheres que passaram por minha vida acadêmica me ensinando, Ms. Agnaldo Teodoro, Ms. Carlos Eduardo, Ms. Wanessa Godoi, D.r. Leandro Porfiro.

Diego Santana Da Silva Costa

AGRADECIMENTOS

Com muito suor e esforço cheguei na fase final que é a conclusão da minha graduação. É clichê afirmar que essa trajetória não foi fácil e não foi mesmo. Porém como diria Napoleon Hill em seu livro a lei do triunfo “Sou muito grato às adversidades que apareceram na minha vida, pois elas me ensinaram a tolerância, a simpatia, o autocontrole, a perseverança e outras qualidades que, sem essas adversidades, eu jamais conheceria”.

Porém eu nunca teria chegado até aqui sem a ajuda dos gigantes que me apoiaram, sendo o maior de todos Deus, que me deu a vida e a capacidade intelectual para executar estas tarefas e mesmo eu não sendo merecedor de tanto ele ainda me abençoou em toda jornada e permanece abençoando até hoje. Agradeço a meus pais que apesar das dificuldades que a vida os impôs sempre priorizaram minha educação e nunca mediram esforços para me proporcionar um estudo de qualidade muitas vezes até sacrificando suas vontades e prazeres para que alcançasse meu objetivo, espero poder recompensa-los em cada gota de suor investida em mim. Agradeço a minha avó madrinha que sempre esteve presente na minha vida me orientando e aconselhando para sempre trilhar um caminho de graça e sabedoria me ajudando a ter claro meus objetivos e valorizar os esforços dos meus pais. Agradeço a minhas irmãs pela admiração, força e cumplicidade sempre me ajudando quando possível. Agradeço a minha namorada que esteve presente na maioria das noites que eu estendia trabalhando ou estudando me dando força para concluir minhas tarefas e sempre me motivou a crescer e reconhecer meus limites e supera-los. Agradeço também a todos meus professores por me auxiliarem a ter o conhecimento que tenho hoje em especial ao meu orientador Agnaldo Antônio (com quem tive o prazer de ter aula desde o ensino médio), Ms Eduardo Toledo, Ms João Belém, D.r. Leandro Porfiro, Ms. Wanessa Godoi estes professores são referência para mim como profissionais e pessoas, graças a luz de conhecimento que eles me passaram hoje tenho uma paixão pela área de engenharia civil. Por fim agradeço a meus amigos e colegas que fizeram parte desta trajetória e que muitas vezes eram as pessoas com que mais tinha contato durante o dia, em especial meu amigo e companheiro neste trabalho Diego Santana, homem batalhador que admiro muito e é para mim umas das referências de vida espero poder encontra-los na vida e no mercado de trabalho.

João Henrique Sampaio de Freitas

RESUMO

O concreto armado teve início em meados de 1892 e desde então vem sendo diversamente estudado em muitos aspectos, criando assim uma série de bibliografias muito completas que vem ajudando os profissionais da engenharia a encararem desafios maiores a cada dia, sendo assim os arquitetos e engenheiros vem buscando novas formas geométricas para acrescentar em suas obras e buscando bibliografia para estudo de pilares com geometria especial não se pode encontrar artigos e trabalhos voltados ao mesmo, então pela falta de bibliografia e necessidade do mercado este trabalho tem como objetivo a analisar o dimensionamento dos pilares com geometria especial, ou seja, aqueles pilares que fogem do convencional pilar retangular, quadrado, circular e esses modelos convencionais, toda essa análise feita por comparativo entre um modelo estrutural convencional e um modelo com pilar com geometria especial, analisando diversos pontos em seu dimensionamento e análise estrutural por software. Com esse estudo foi possível demonstrar o comportamento da estrutura através do Software de análise e modelagem estrutural, focando nas implicações que a mudança de geometria traz para a estrutura, seus pontos positivos e negativos, assim auxiliando os profissionais aos seus estudos de caso e contribuindo para a evolução das pesquisas no âmbito de estruturas não convencionais.

PALAVRAS-CHAVE:

Concreto armado. Pilares. Geometria Especial. Análise Estrutural.

ABSTRACT

Reinforced concrete began in mid-1892 and since then it has been studied in many ways, creating a series of very complete bibliographies that have helped engineering professionals to face greater challenges every day, so architects and engineers come looking for new geometric shapes to add in his works and looking for bibliography to study pillars with special geometry, articles and works focused on the same cannot be found, so due to the lack of bibliography and market needs, this work aims to analyze the dimensioning of pillars with special geometry, that is, those columns that deviate from the conventional rectangular, square, circular column and these conventional models, all this analysis is done by comparing a conventional structural model and a column model with special geometry, analyzing several points in its dimensioning and structural analysis by software. With this study, it was possible to demonstrate the behavior of the structure through the analysis and structural modeling software, focusing on the implications that the change in geometry brings to the structure, its strengths and weaknesses, thus helping professionals with their case studies and contributing to the evolution of research in the scope of unconventional structures.

KEYWORDS:

Reinforced concrete. Pillars. Special Geometry. Structural analysis..

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Vista isométrica de um pilar retangular	16
Figura 2 - Classificação de pilares conforme locação.....	17
Figura 3 - Tipos de formas de pilares	19
Figura 4 - Detalhamento dos componentes dos pilares.....	21
Figura 5 - Seção transversal do pilar.....	21
Figura 6 - Fluxograma de dimensionamento de pilares	22
Figura 7 – Planta de locação da edificação	26
Figura 8 – Planta baixa do pavimento tipo	27
Figura 9 - Vista isométrica do modelo estrutural.....	28
Figura 10 - Projeto modelo - Pilares retangulares.....	29
Figura 11 - Projeto estrutural - Modelo 01	30
Figura 12 - Projeto estrutural - Modelo 02	31
Figura 13 - Projeto estrutural - Modelo 03	32
Figura 14 - Projeto estrutural - Modelo 04	33
Figura 15 - Comparativo do processamento	34
Figura 16 - Comparativo com modelo 04	35
Figura 17 - Comparativo pilar 01.....	36
Figura 18 - Comparativo pilar 12.....	36

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Comparativo Uso de aço por Bitola - Caso 01	37
Gráfico 2 - Comparativo de Preço do aço entre os casos estudados.....	38
Gráfico 3 - Volume de concreto utilizado nos pilares	39
Gráfico 4 - Comparativo de preço do concreto.....	39
Gráfico 5 - Demonstrativo da área de forma dos pilares	40
Gráfico 6 - Estimativa de Custo das formas entre os casos	40
Gráfico 7 - Consumo de aço entre os casos	41
Gráfico 8 - Comparativo do uso de aço no caso 3	42
Gráfico 9 - Consumo de aço no caso 4	43
Gráfico 10 - Comparativo econômico geral.....	44

LISTA DE TABELA

Tabela 1 - Valores do coeficiente adicional γ_n para pilares e pilares-parede	20
Tabela 2 - Divisão dos casos estudados	25

LISTA DE ABREVIATURA E SIGLA

ABCP	Associação Brasileira Cimento Portland
ABESC	Associação Brasileira de Serviços de Concretagem
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
BNH	Banco Nacional da Habitação
CAA	Concreto auto adensável
CCV	Concreto convencional
CP	Corpo-de-prova
IBTL	Instituto Brasileiro de tela soldada
IBTS	Instituto Brasileiro de telas soldadas
NBR	Norma Brasileira
SCC	Self Compacting Concrete
T500	Tempo para o concreto alcançar um diâmetro de 50 cm

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	Justificativa	14
1.2	Objetivos	14
1.2.1	Objetivo geral	14
1.2.2	Objetivos específicos	14
2	PILARES	15
2.1	Definição	15
2.2	Tipologias de pilares	16
2.3	Tipos de geometrias nos pilares	18
2.4	Dimensionamento e partes de pilares	20
2.5	Importancia da geometria	23
3	Estudo da edificação	25
3.1	Apresentação modelo de referência	28
3.2	Apresentação Caso 01 – pilares em L	29
3.3	Apresentação Caso 02 – pilares em t	30
3.4	Apresentação Caso 03 – pilares em l & t	31
3.5	Apresentação caso 04 - PILARES EM L,T & U	32
4	RESULTADO DOS PROCESSAMENTOS	34
4.1	Modelo Padrão x Caso 01 (pilares em L)	37
4.2	Modelo Padrão x Caso 02 (pilares em T)	40
4.3	Modelo Padrão x Caso 03 (pilares em L e T)	41
4.4	Modelo Padrão x Caso 04 (pilares em L, T e U)	42
4.5	Comparativo econômico geral	43
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	45
	REFERÊNCIAS	46

1 INTRODUÇÃO

Construção é uma das tarefas mais antigas da humanidade e desde os primórdios ela vem em constante evolução, seja ela estrutural ou no âmbito arquitetônico. As estruturas vieram se modernizando cada vez mais com os avanços da tecnologia, grandes construções foram desenvolvidas com os mais diversos materiais utilizados em suas estruturas, houveram épocas onde as estruturas de madeira predominavam, estruturas de pedras esculpidas foram amplamente utilizadas por diversos povos no mundo, criando belas obras de arte da engenharia antiga como as pirâmides do Egito, que figuraram entre as estruturas mais altas na humanidade por muito tempo. Outro material amplamente utilizado em estruturas foi o concreto simples, que protagonizou com maestria na cúpula do panteão de Roma e em outras diversas obras, concreto esse que posteriormente iria sofrer uma grande evolução até se tornar concreto armado.

Foi em 1824 que Joseph Aspdin que em homenagem a uma ilha britânica por nome portland batizou sua descoberta, essa que por sua vez se tornou o principal composto do material mais utilizado no mundo contemporâneo, o concreto armado.

Não muito tempo se passou até que François Hennebique, um francês que tinha por profissão a construção civil, levou ao mundo um novo modelo construtivo chamado concreto armado, esse tinha por sua vez a utilização não só de concreto, mas também era composto por aço disposto ao longo da estrutura, o aço já era amplamente utilizado nas grandes edificações da época, mas nunca fora usado de tal forma. Hennebique provou ao mundo que sua descoberta tinha validade ao construir um edifício de 7 andares com toda sua estrutura e lajes em concreto armado juntamente com alvenaria de vedação.

Os anos se passaram e cada vez mais as edificações modernas foram se tornando mais exigentes com a estrutura, a estabilidade dos edifícios e os problemas construtivos foram se agravando à medida que os prédios foram ficando maiores. Consequência disso é que os elementos que garantem a estabilidade das estruturas que são os pilares foram ficando cada vez mais robustos e a solução que os engenheiros estão buscando é a criação de pilares com Geometrias diferentes das retangulares, quadradas e circulares utilizadas até então, geometrias essas que permitem o projetista lidar com diversos problemas de forma criativa, assertiva, econômica e segura, otimizando seu tempo, custo de obra e segurança da edificação.

A literatura ainda não aborda esse tema com o devido apreço, não tendo esse tema disseminado na academia, nas pesquisas acadêmicas sobre estrutura e tão pouco nos cursos de

engenharia civil, assim perdendo um precioso tempo para mais um salto que as estruturas podem dar na sua linha de evolução.

1.1 Justificativa

Com a constante evolução dos sistemas estruturais do mundo moderno, a grande exigência dos modelos estruturais de ser cada vez mais maleáveis e adaptáveis à arquitetura das edificações e principalmente tendo em vista o impacto que o estudo de pilares com geometrias especiais pode causar no projeto de estruturas despertou a necessidade de contribuir com a literatura, que por sua vez neste tema é bem defasada, assim ajudando a disseminar o conhecimento e importância nos cursos de engenharia civil, nas matérias estruturais e também nos colegas acadêmicos.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

A pesquisa visa expor quatro estudos de casos com diferentes características através do software Eberick v8 Gold, assim podendo abordar os impactos mecânicos gerados na estrutura e também os aspectos econômicos devido a utilização dos pilares com geometria especial.

1.2.2 Objetivos específicos

- Analisar os elementos estruturais das diferentes edificações.
- Explicar o dimensionamento de pilares com geometria convencional.
- Dimensionar os pilares de concreto armado com geometria especial.
- Expor e comparar os aspectos e implicações que a mudança geométrica dos pilares causa na estrutura.

2 PILARES

2.1 Definição

A NBR 6118 (ABNT, 2014) em seu item 14.4.1.2 define pilares como elementos lineares de eixo reto, usualmente dispostos na vertical, em que as forças normais de compressão são preponderantes.

Os pilares são os elementos estruturais de maior importância nas estruturas, tanto do ponto de vista da capacidade resistente dos edifícios quanto no aspecto de segurança. Além da transmissão das cargas verticais para os elementos de fundação, os pilares podem fazer parte do sistema de contraventamento responsável por garantir a estabilidade global dos edifícios às ações verticais e horizontais. (BASTOS, 2011)

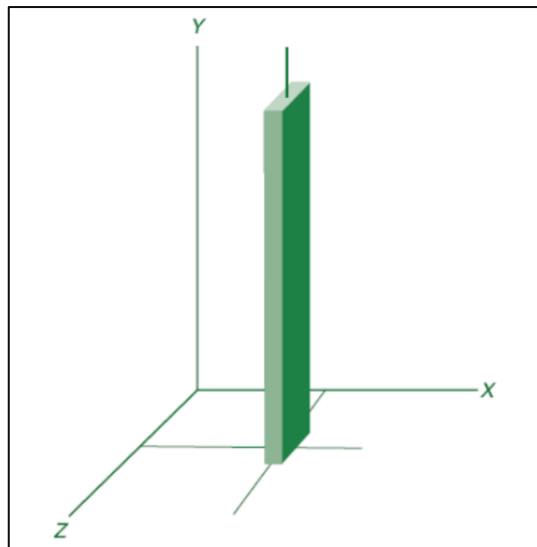
Pilares são elementos estruturais lineares de eixo reto, usualmente dispostos na vertical, em que as forças normais de compressão são preponderantes e cuja função principal é receber as ações atuantes nos diversos níveis e conduzi-las até as fundações. Junto com as vigas, os pilares formam os pórticos, que na maior parte dos edifícios são os responsáveis por resistir às ações verticais e horizontais e garantir a estabilidade global da estrutura. As ações verticais são transferidas aos pórticos pelas estruturas dos andares, e as ações horizontais decorrentes do vento são levadas aos pórticos pelas paredes externas (PINHEIRO, 2007)

Pilares de concreto armado são elementos estruturais indispensáveis numa estrutura convencional de uma edificação e são responsáveis por suportar as forças verticais oriundas das lajes e vigas, forças laterais de vento na estrutura e por transmitir estas forças para as fundações. (MELO, 2009)

Em uma estrutura de edificação convencional, as lajes se apoiam em vigas, e estas se apoiam nos pilares. No sistema estrutural de lajes lisas, as lajes se apoiam diretamente sobre os pilares, dispensando as vigas. (SANTOS, 2018)

Pilar é a denominação genérica de uma peça prismática de eixo longitudinal reto, na qual a maior dimensão é posicionada verticalmente, e no topo do qual é aplicada uma carga geradora de um esforço de compressão simples ou de compressão com flexão, dependendo da posição da carga. (PILOTTO NETO, 2018)

Figura 1 - Vista isométrica de um pilar



Fonte: Adaptado de PILOTTO NETO, 2018, p. 23.

Independentemente de ser realizado com programa de computador, ou na ponta do lápis, o cálculo dos pilares tem como objetivo o reconhecimento das informações básicas referentes aos três pontos que interferem no seu comportamento:

- a geometria da seção do pilar;
- o comprimento de flambagem;
- as características do material do qual é composto.

2.2 Tipologias de pilares

Pravia (2001) divide os pilares em 3 classificações os pilares quanto a sua resistência dos esforços transversais, sua posição no pavimento e esbeltez.

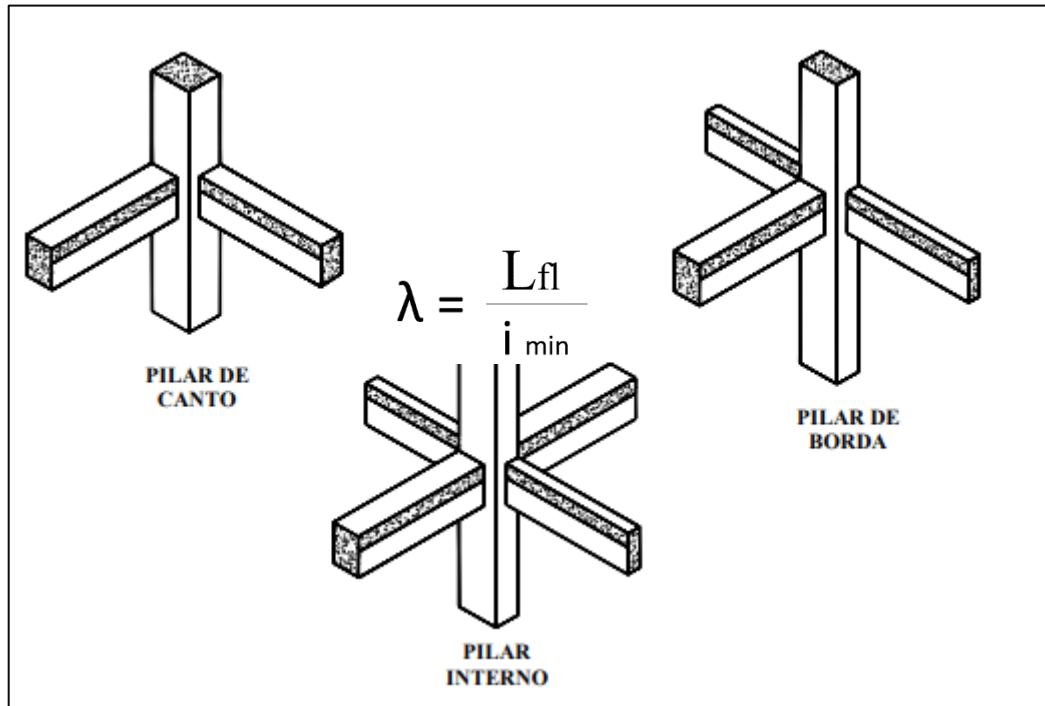
Pilares de Contraventamento: são responsáveis pela estabilidade global da estrutura e devem ser dimensionados para resistir aos esforços globais de vento, desaprumo, etc. e aos esforços provenientes da análise local (esforços introduzidos pelas vigas dos pavimentos, momentos de 2ª ordem localizados). **Pilares Contraventados:** são contraventados pelos primeiros. É necessário apenas efetuar sua análise local. (PRAVIA, 2001)

Serão considerados internos os pilares em que se pode admitir compressão simples, ou seja, em que as excentricidades iniciais podem ser desprezadas. Nos pilares de borda, as solicitações iniciais correspondem a flexão composta normal, ou seja, admite-se excentricidade inicial em uma direção. Para seção quadrada ou retangular, a excentricidade inicial é

perpendicular à borda. Pilares de canto são submetidos a flexão oblíqua. As excentricidades iniciais ocorrem nas direções das bordas. (PINHEIRO, 2007)

Fonte: Adaptado de Pinheiro, L. M-Estruturas de concreto - Capítulo 16, 2005.

Figura 2 - Classificação de pilares conforme locação



Quanto a esbeltez Pilotto Neto (2018) explica que índice de esbeltez é representado pela letra grega λ . Esse valor é adimensional e é obtido em função de dois parâmetros: seu menor raio de giração (i_{\min}) e seu comprimento de flambagem, que, por sua vez, está ligado ao comprimento real do pilar e ao modo de fixação na base e no topo do pilar. A fórmula de cálculo é a seguinte:

Tal que:

λ = Índice de esbeltez

L_{fl} = comprimento equivalente ou comprimento de flambagem (m)

i_{\min} = raio de giração da peça (m)

De acordo com o índice de esbeltez (λ), Pinheiro, (2007) diz que os pilares podem ser classificados em:

- pilares robustos ou pouco esbeltos $\rightarrow \lambda \leq \lambda_1$
- pilares de esbeltez média $\rightarrow \lambda_1 < \lambda \leq 90$
- pilares esbeltos ou muito esbeltos $\rightarrow 90 < \lambda \leq 140$
- pilares excessivamente esbeltos $\rightarrow 140 < \lambda \leq 200$

A NBR6118:2014 no item 15.8.2 explica os parâmetros para o cálculo de λ_1 sendo este o valor-limite para índice de esbeltez. A mesma norma não admite, pilares com λ superior a 200.

2.3 Tipos de geometrias nos pilares

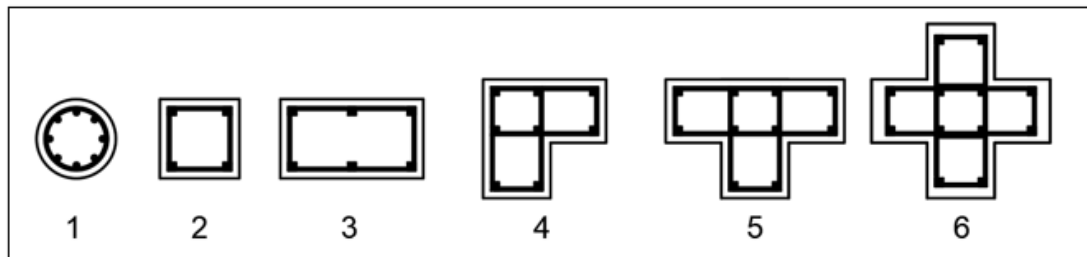
Uma área que vem avançando no estudo de otimização estrutural é o dimensionamento de pilares de acordo com a ABNT NBR 6118:2014 que atenda a uma gama maior de geometrias possíveis. (SIAS, 2014)

Inúmeras são as geometrias (formas e dimensões) das seções transversais e distribuições de armações que satisfazem cada situação. Em geral são selecionadas seções que causam menos incompatibilidades com as definições arquitetônicas que, por sua vez, exigem estruturas cada vez mais esbeltas. Em alguns casos, a arquitetura pode exigir que um pilar específico ou todo um pavimento possua pé-direito elevado. Nesses casos, são demandadas seções mais 20 rígidas para manter o índice de esbeltez adequado ou, então, devem ser adotados critérios mais rigorosos para o cálculo dos momentos de segunda ordem. (SOUZA, 2017)

A geometria da seção transversal do pilar é determinante para o comportamento estável da estrutura, uma vez que a forma é referencial para o momento de inércia, do qual resulta o raio de giração. (PILOTTO NETO, 2018)

E complementa o autor com citando alguns tipos de pilares sendo eles: Pilar quadrado, Pilar retangular, Pilar em L, Pilar em T, Pilar em cruz.

Figura 3 - Tipos de formas de pilares



Legenda:

- 1 - Pilar Circular
- 2 - Pilar quadrado
- 3 - Pilar Retangular
- 4 - Pilar L
- 5 - Pilar T
- 6 - Pilar em cruz

Fonte: Elaborado pelo autor

Pilares podem ser feitos de muitos materiais. As famosas colunas ou pilastras gregas, por exemplo, eram compostas de blocos de pedra. Também se podem fazer pilares de madeira e metal. Mas o material mais utilizado para estruturas assim, sem dúvidas, é o concreto – com cimento, areia, agregados e aço. E, nesta linha, temos vários tipos diferentes de estruturas. Pra começar, aquelas com formatos circulares; retangulares maciços ou retangulares vazados; e em seção de cruz, ‘L’, ‘U’, ‘I’ ou ‘T’. (TAGLIANI, 2021)

Pilares em forma de “U” são muito utilizados em torno de elevadores e escadas principalmente com o objetivo de auxiliar no contraventamento da estrutura, sendo recorrentes em edifícios altos. Por outro lado, devido às definições arquitetônicas, pode ser necessária a utilização de outras geometrias de seções, como pilares hexagonais, octogonais e em “L”, por exemplo. Assim, é fundamental o desenvolvimento de formulações para o dimensionamento de seções com essas geometrias. (SOUZA, 2017)

Já a variação da geometria dos pilares pode estar associada a imposições arquitetônicas e funcionais, no caso de edifícios residenciais e comerciais. Do mesmo modo, a forma geométrica dos pavimentos ou tipo de utilização podem conduzir a um dimensionamento com taxas de armadura de flexão diferentes nas direções ortogonais. (OLIVEIRA, 2013)

A seção transversal de pilares e pilares-parede maciços, qualquer que seja a sua forma, não pode apresentar dimensão menor que 19 cm. (NBR 6118:2014 item 13.2.3)

Em casos especiais, permite-se a consideração de dimensões entre 19 cm e 14 cm, desde que se multipliquem os esforços solicitantes de cálculo a serem considerados no

dimensionamento por um coeficiente adicional γ_n , de acordo com o indicado na Tabela 13.1 e na Seção 11. Em qualquer caso, não se permite pilar com seção transversal de área inferior a 360 cm². (NBR 6118:2014 item 13.2.3).

Tabela 1 - Valores do coeficiente adicional γ_n para pilares e pilares-parede

b (cm)	≥ 19	18	17	16	15	14
γ_n	1,00	1,05	1,1	1,15	1,2	1,25

Fonte: Adaptado NBR6118:2014, tabela 13.1

onde:

$$\gamma_n = 1,95 - 0,05 b$$

$b = \acute{E}$ a menor dimensão da seção transversal expressa em centímetros (cm)

γ_n = coeficiente de ajuste de γ_f , que considera o aumento de probabilidade de ocorrência de desvios relativos significativos na construção (aplicado em pilares, pilares-paredes e lajes em balanço com dimensões menores que certos valores) (NBR6118:2014, tabela 13.1)

NOTA: O coeficiente γ_n deve majorar os esforços solicitantes finais de cálculo de seu dimensionamento

2.4 Dimensionamento e partes de pilares

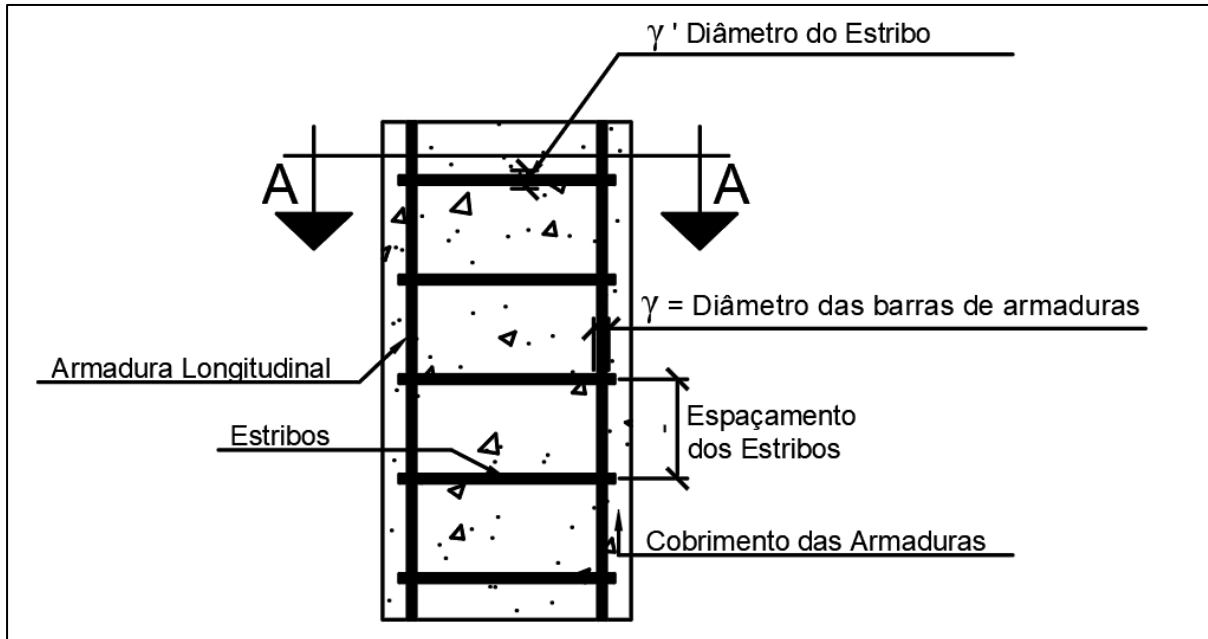
Pilotto Neto (2018) afirma que para saber como calcular, torna-se necessário conhecer o que calcular. Sendo assim ele explica alguns elementos que fazem parte da composição de um pilar de concreto que estão listados a seguir:

- Armadura longitudinal: as barras longitudinais são ligadas transversalmente entre si pelos estribos colocados ao longo do pilar, conforme um distanciamento mantido por igual e dentro de certos limites.
- Bitola das barras longitudinais: a bitola e a quantidade das barras a serem adotadas resultam de cálculos da resistência do material e devem ser compatíveis com as necessidades.
- Estribos: são armações que envolvem as barras longitudinais e absorvem, por tração, o esforço de compressão do concreto.
- Diâmetro dos estribos: em geral, as bitolas utilizadas para estribo são de 6,3 mm ou 8 mm.
- Cobrimento: é a camada de concreto que protege a armadura. Sua espessura é estabelecida em função da agressividade do ambiente.

- Seção de ferros: é determinada dentro de uma porcentagem da área da seção do pilar, devendo se situar no limite mínimo de 0,008 e limite máximo de 0,06 ou 0,03 quando houver emenda da armadura.

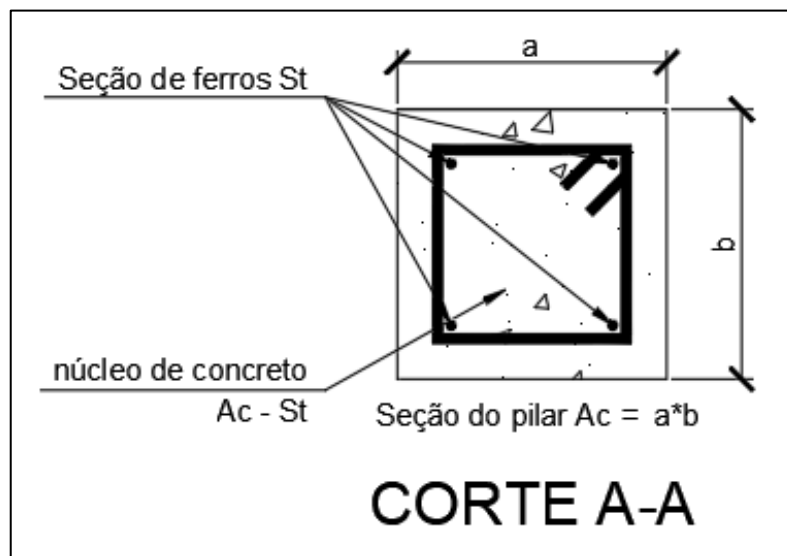
- Área útil de concreto: corresponde ao total da seção do pilar, subtraindo dela a área ocupada pela ferragem.

Figura 4 - Detalhamento dos componentes dos pilares



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 5 - Seção transversal do pilar



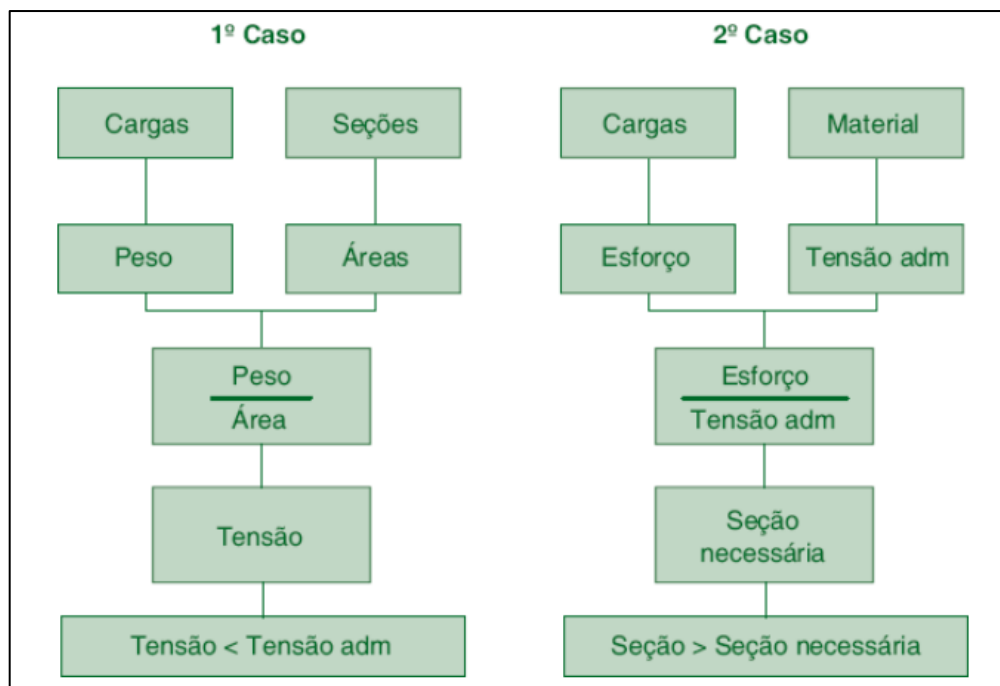
Fonte: Elaborado pelo autor

As estruturas de concreto armado devem ser projetadas de modo que apresentem segurança satisfatória. Esta segurança está condicionada à verificação dos estados limites, que

são situações em que a estrutura apresenta desempenho inadequado à finalidade da construção, ou seja, são estados em que a estrutura se encontra imprópria para o uso. Os estados limites podem ser classificados em estados limites últimos ou estados limites de serviço, conforme sejam referidos à situação de ruína ou de uso em serviço, respectivamente. Assim, a segurança pode ser diferenciada com relação à capacidade de carga e à capacidade de utilização da estrutura. (PINHEIRO, 2007)

O cálculo de pilar é feito em função dos dados conhecidos. Assim, conforme os dados disponíveis, existem dois casos a serem considerados: No primeiro caso, conhecida a carga aplicada no pilar e a seção disponível, a questão é determinar a tensão desenvolvida para verificação da condição imposta pela resistência do material do qual o pilar é feito. No segundo caso, conhecida a carga e o material a ser utilizado, cabe determinar as medidas da seção do pilar. (PILOTTO NETO, 2018)

Figura 6 - Fluxograma de dimensionamento de pilares



Fonte: Adaptado de PILOTTO NETO, 2018, p. 36.

De posse dessas informações, nos habilitamos para o início do cálculo relativamente complexo e que exige o emprego de métodos numéricos iterativos e incrementais, particularmente para os pilares, que apresentam certo grau de esbeltez capaz de colocar em risco a estrutura. (PILOTTO NETO, 2018)

2.5 Importancia da geometria

A elaboração de um projeto arquitetônico deve considerar a interação com a estrutura. Na maioria dos casos isto é feito superficialmente pelo profissional. Para conceber um projeto consistente é necessário considerar o arranjo estrutural, assim como as dimensões das peças, mesmo que de forma aproximada, o que constitui o pré-dimensionamento, pois a estrutura pode interferir de maneira significativa na arquitetura. (MELO, 2013)

A Arquitetura se manifesta pela materialização de sólidos geométricos, nos seus mais variados aspectos, formas e proporções. Isso se apresenta não só no seu resultado final, na sua síntese volumétrica, como também com relação às suas partes e componentes, constituídos por inúmeras figuras geométricas. (SOUZA, 2006)

Os pilares de concreto são pré-dimensionados a partir do cálculo da área da seção transversal. Bacarji (2003) considera a peça sob compressão uniforme, acrescentando um coeficiente de majoração da carga de acordo com o posicionamento do pilar (intermediário, extremidade e canto). Pinheiro, Muzardo e Santos (2003) também se utilizam da expressão da área da seção transversal, porém com outros valores para os coeficientes. (FARIA, 2017)

Existem, no entanto, diferentes técnicas para se encontrar a solução ótima de um determinado problema, dependendo das variáveis que estão sendo estudadas, do tipo de restrições e das características do problema em si. Podem-se destacar basicamente duas vertentes dos processos de otimização conhecidos atualmente. São eles: os métodos heurísticos e a programação matemática. (SIAS, 2014)

Rath et al. (1999) desenvolveram uma formulação para otimização de uma seção de concreto armado, inicialmente retangular subdividida em várias faixas. Foram adotadas como variáveis de projeto além do diâmetro e posicionamento das armaduras, as dimensões de cada faixa da discretização da seção transversal. O algoritmo genético foi utilizado para otimizar o número de barras da armadura e a forma da seção transversal ao longo do comprimento do elemento. Os resultados mostraram uma economia significativa de material, 40 a 56%, e de custos, além de estruturas esteticamente mais agradáveis. (FARIA, 2017)

Para o engenheiro o pré-dimensionamento é uma etapa do cálculo estrutural, enquanto que para o arquiteto ele deve ser uma etapa do projeto arquitetônico. Isto ocorre porque a estrutura tem influência na concepção dos espaços arquitetônicos, podendo em alguns casos, arquitetura e estrutura se confundirem, ou seja, é a estrutura que define a distribuição dos cômodos, dos vãos, das coberturas, dos acessos e da circulação, além de determinar o aspecto estético da edificação. (MELO, 2013)

É importante possibilitar ao engenheiro escolher a seção que melhor resolve determinado problema, sem ter de se restringir às seções com métodos aproximados conhecidos, principalmente face às crescentes exigências arquitetônicas e estruturais. (JÚNIOR, 1997).

Desta forma, existe necessidade de se abordar o problema do dimensionamento de estruturas em concreto armado, especificamente no caso de pilares, de uma forma abrangente, aplicável a todas as situações possíveis de serem encontradas no projeto de estruturas em concreto armado. Esta necessidade se torna mais urgente, quando observamos que nas últimas décadas, o desenvolvimento de tecnologias para a produção de concretos de alto desempenho ampliou o campo de utilização do concreto armado, tornando muitas vezes o seu uso economicamente viável, em países desenvolvidos, como alternativa à estrutura metálica. Porém a melhoria das características do material, nos conduz a concepção de estruturas cada vez mais esbeltas, onde as simplificações usuais nos conduzem a resultados na maioria das vezes distantes da realidade. (CAMPOS, 1994)

Chaves e Debs (2008) desenvolveram um programa computacional para a determinação da seção transversal de pilares de concreto armado com o custo mínimo e a determinação do índice de confiabilidade desta estrutura para um estado limite. As variáveis de otimização são a largura, altura, posição da linha neutra e área do aço da seção transversal do pilar. A função custo é o custo total por metro linear considerando o concreto, o aço e as fôrmas. Foram incluídas restrições para garantir que o dimensionamento esteja no domínio 5 além das restrições em função na NBR 6118:2014. (FARIA, 2017)

Tendo-se a seção e o comprimento do pilar, teremos reunido as informações que nos permitem estabelecer o comprimento de flambagem e o raio de giração. Consequentemente, teremos condições de calcular o índice de esbeltez do pilar, que permite verificar se o pilar é classificado como curto ou longo. (PILOTTO NETO, 2018)

O estudo das seções de concreto armado tem por finalidade verificar se sob a ação das solicitações majoradas (solicitações de cálculo) a peça não supera cada um dos estados limites, admitindo que os materiais (concreto e aço) tenham como resistência real a resistência minorada (resistência de cálculo). Neste texto, se estabelecem as bases de cálculo de seções de concreto armado submetidas a solicitações normais nos estados limites de deformação plástica excessiva e de ruptura. (FERNANDES, 2006)

3 ESTUDO DA EDIFICAÇÃO

Ao analisar o estudo de caso foi buscado uma metodologia que exemplificasse bem a diferença entre a edificação com pilares convencionais em comparação com a mesma edificação exposta aos mesmos riscos, mas com alguns pilares com geométrica especial, visando analisar o impacto dessa mudança no orçamento, projeto e execução final.

Foi adotado a metodologia de estudo comparativo, uma vez que a mesma consegue demonstrar as diferenças de forma clara e também suas semelhanças, o que proporciona um rápido entendimento dos resultados obtidos pela análise computacional. Será analisado alguns pontos como o impacto no estado limite último, estado limite de serviço, uso de aço, variações nos esforços dos pilares, volume de concreto, impactos orçamentários e também executivos dessa mudança na geometria dos pilares.

A escolha do projeto de arquitetura a ser utilizado passou por alguns pontos a serem analisados, buscando um projeto bem elaborado a fim de não gerar interferências da estrutura na arquitetura, sendo uma arquitetura que pudesse atender tanto a modelagem com pilares convencionais tanto com os novos pilares especiais.

Foi selecionado o projeto de arquitetura de uma edificação habitacional coletiva, em um terreno de 1080m² onde fica disposto o prédio principal que é composto por 16 pavimentos, área de cobertura e caixa d'água, guarita e estacionamento aberto. Para o estudo foi analisado somente o prédio principal.

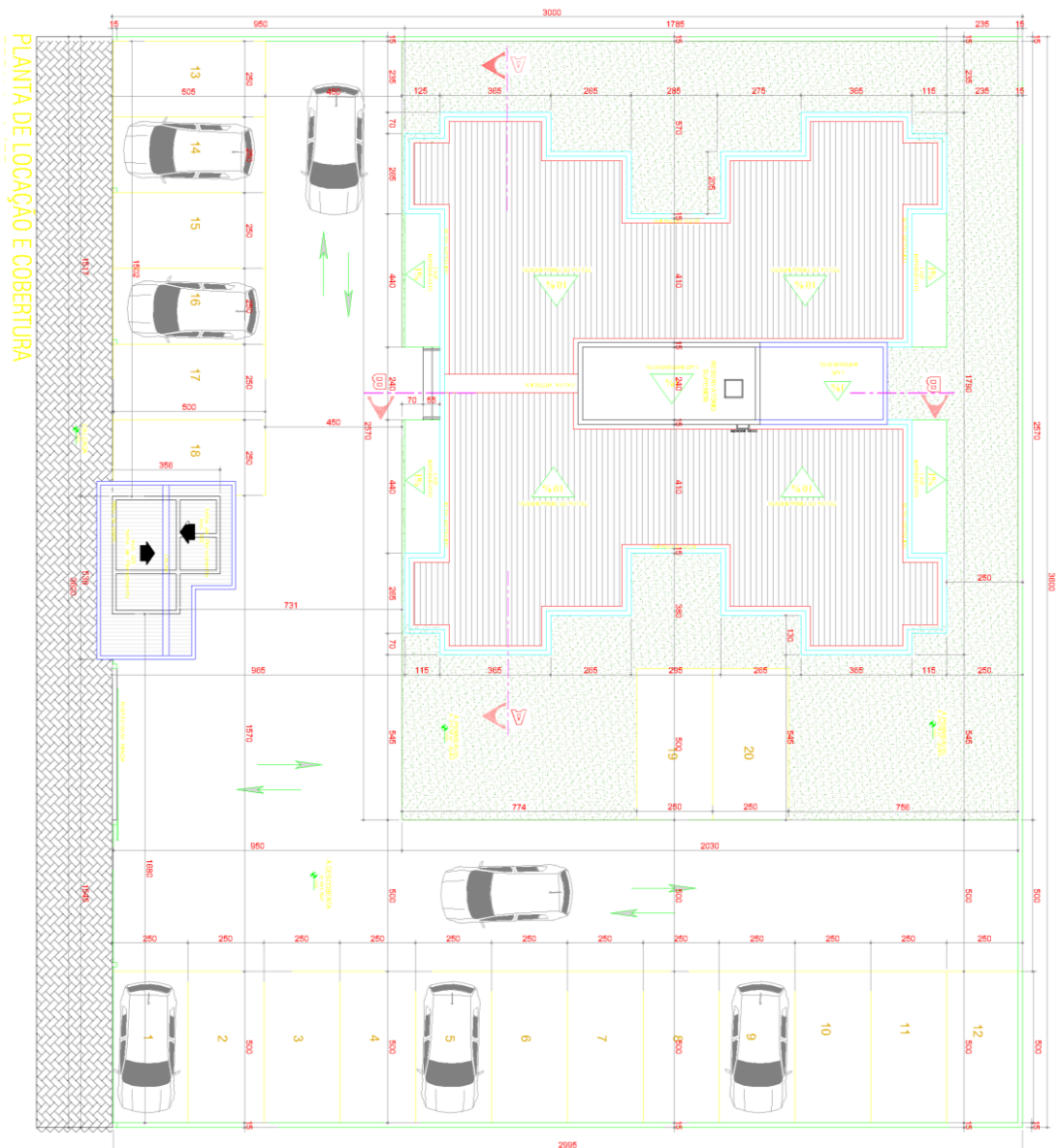
O prédio em questão foi dimensionado por Xavier (2021), este fez o dimensionamento do prédio utilizando para os pilares geometrias retangulares. Com sua autorização para uso do material, foi criado baseado no modelo estrutural que ele concebeu, quatro modelos estruturais conforme a Tabela 3:

Tabela 2 - Divisão dos casos estudados

Caso 1	Pilares de canto retangulares se transformam em pilares “L”
Caso 2	Pilares de Extremidade retangulares se transformam em pilares “T”
Caso 3	Pilares de Canto e de Extremidade retangulares se transformam respectivamente em pilares em “L” e “ T”
Caso 4	Pilares na região do elevador viram pilares em “U”

Fonte: Elaborado pelo autor

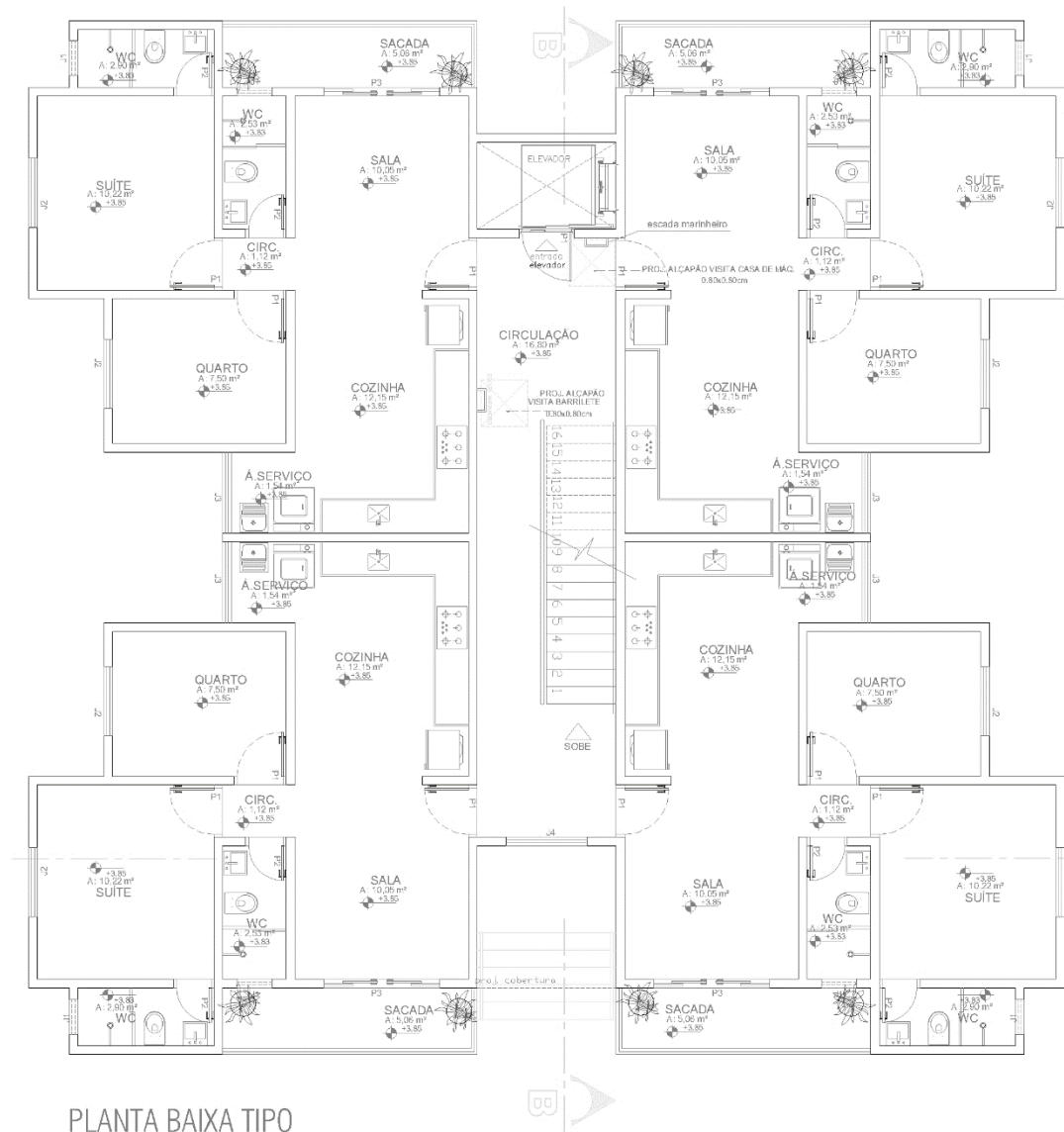
Figura 7 – Planta de locação da edificação



Fonte: Xavier (2021).

O prédio principal tem 64 apartamentos de 60m², apartamentos que são compostos por sala, cozinha, área de serviço, um quarto, uma suíte, dois banheiros sendo um desses o banheiro da suíte e uma área de sacada.

Figura 8 – Planta baixa do pavimento tipo



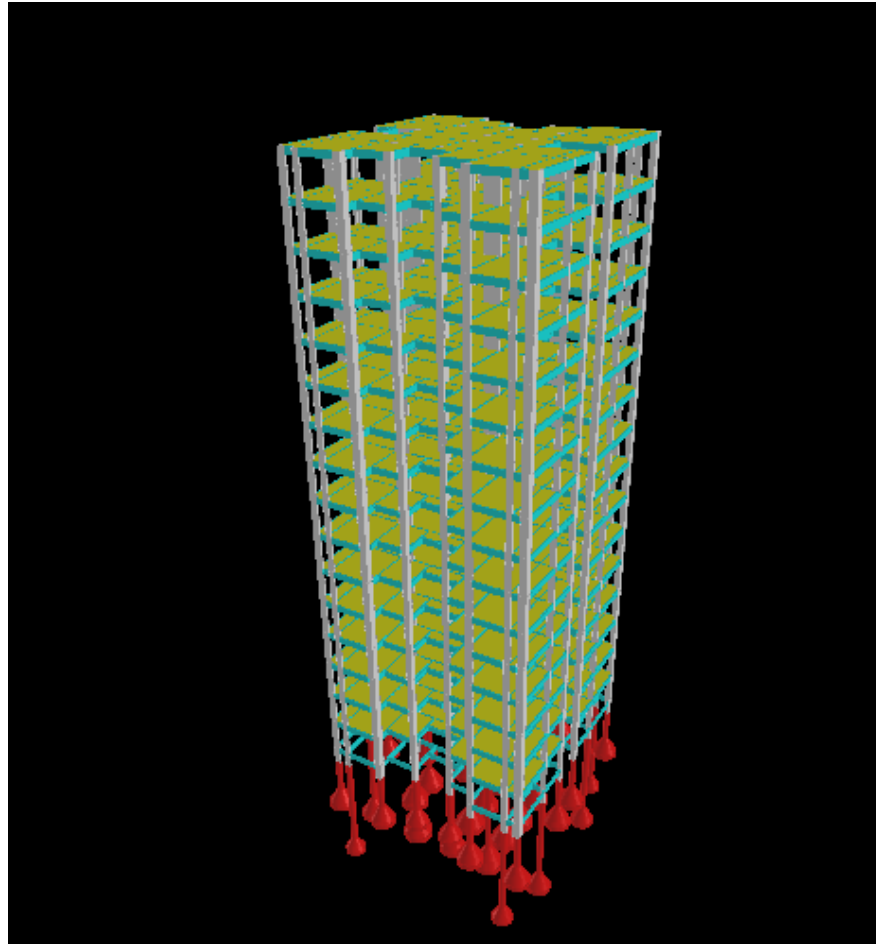
Fonte: Xavier (2021).

Para esta análise foi utilizado o software Eberick V8 Gold para efetuar a modelagem estrutural de todos os modelos, programa este desenvolvido e distribuído pela empresa AltoQi, totalmente licenciado e rigorosamente dentro dos padrões exigidos pelos órgãos responsáveis para garantir a confiabilidade e segurança que é exigido de um software para projetos estruturais.

Na Figura à seguir é possível observar uma vista isométrica 3D do modelo estrutural gerado pelo software mencionado aqui que serve para um melhor entendimento do layout estrutural que foi utilizado como estudo de caso deste trabalho.

Para todo o projeto foram utilizados os padrões e diretrizes das normas técnicas brasileiras (NBR), sendo a principal delas a NBR 6118 em sua revisão do ano de 2014.

Figura 9 - Vista isométrica do modelo estrutural

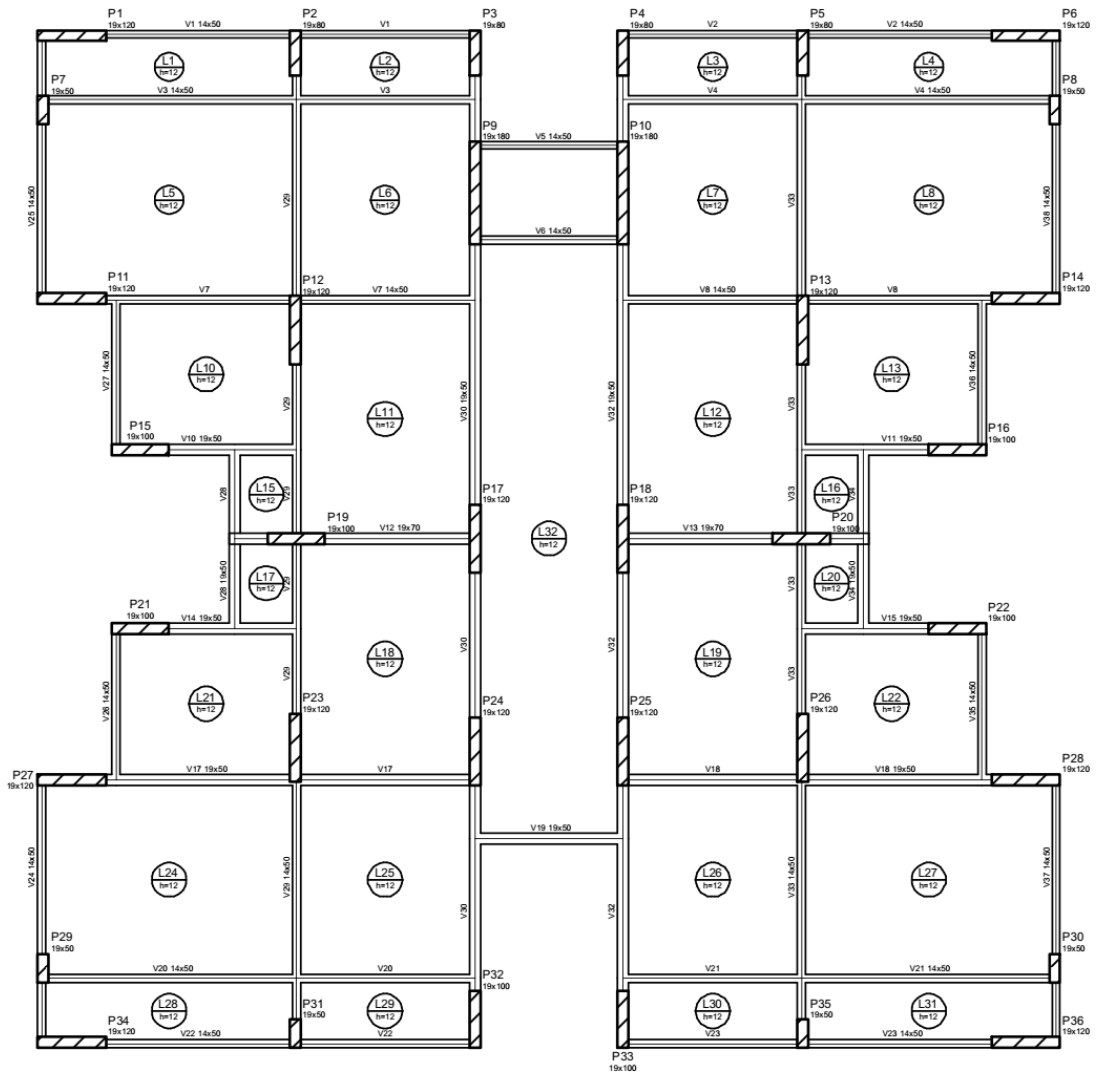


Fonte: Elaborado pelo autor

3.1 APRESENTAÇÃO MODELO DE REFERÊNCIA

Iniciando pelo modelo padrão com pilares retangulares, nesta estrutura foram utilizados trinta e seis pilares, trinta e cinco vigas e vinte e nove lajes por pavimento, todas sendo lajes maciças de concreto, após a definição do modelo padrão e modelagem foram executados todos os devidos processamentos a fim de verificar a integridade da estrutura, passando em todos os testes seguiu-se para a modelagem de quatro casos diferentes para a eventual comparação e conclusões.

Figura 10 - Projeto modelo - Pilares retangulares

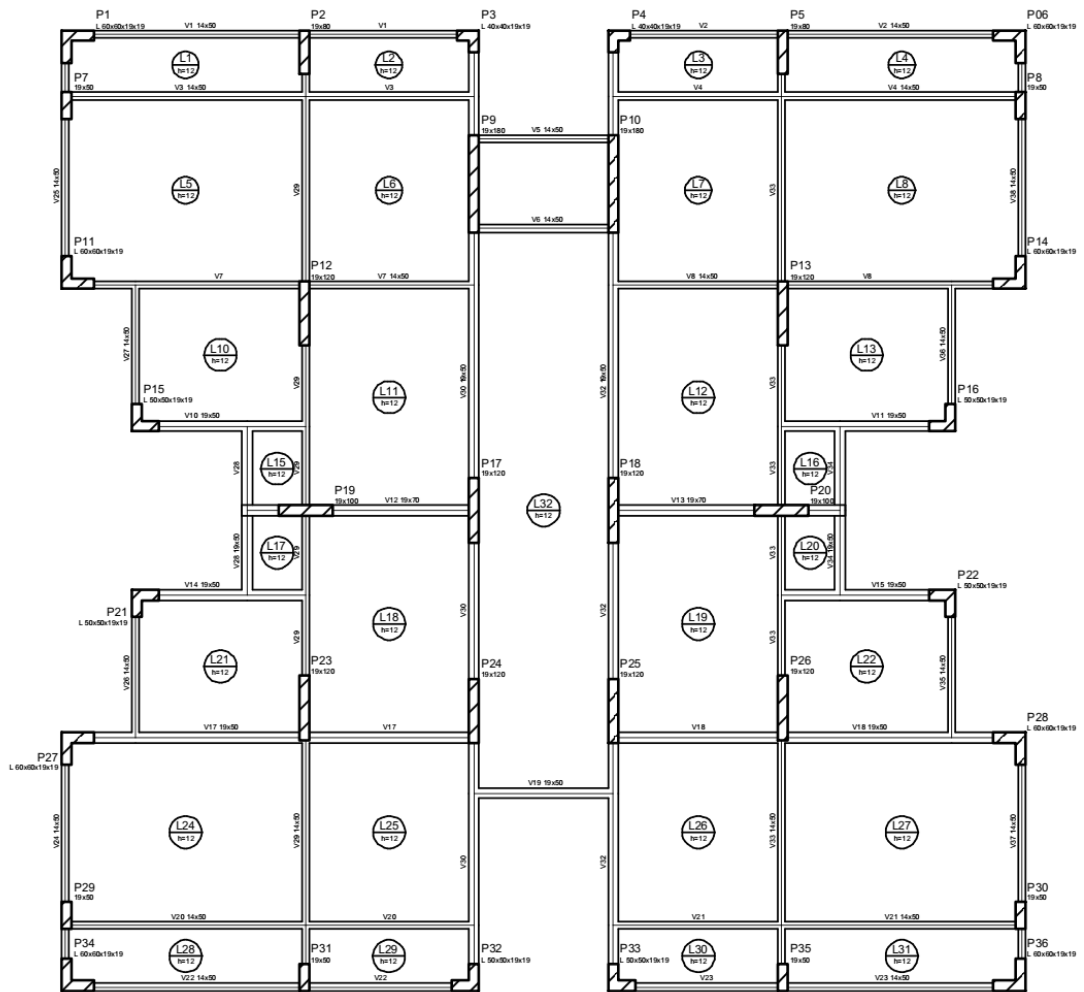


Fonte: Projeto estrutural feito pelo próprio Autor.

3.2 APRESENTAÇÃO CASO 01 – PILARES EM L

Buscando casos onde os pilares precisariam de ter uma rigidez maior nas duas direções adotou-se para o primeiro modelo comparativo os pilares com seção transversal em L, no intuito de entender como a implementação desse modelo atua sobre a estrutura como um todo mesmo que não sejam pilares tão utilizados pelo seu grau de dificuldade na execução de formas in loco.

Figura 11 - Projeto estrutural - Caso 01

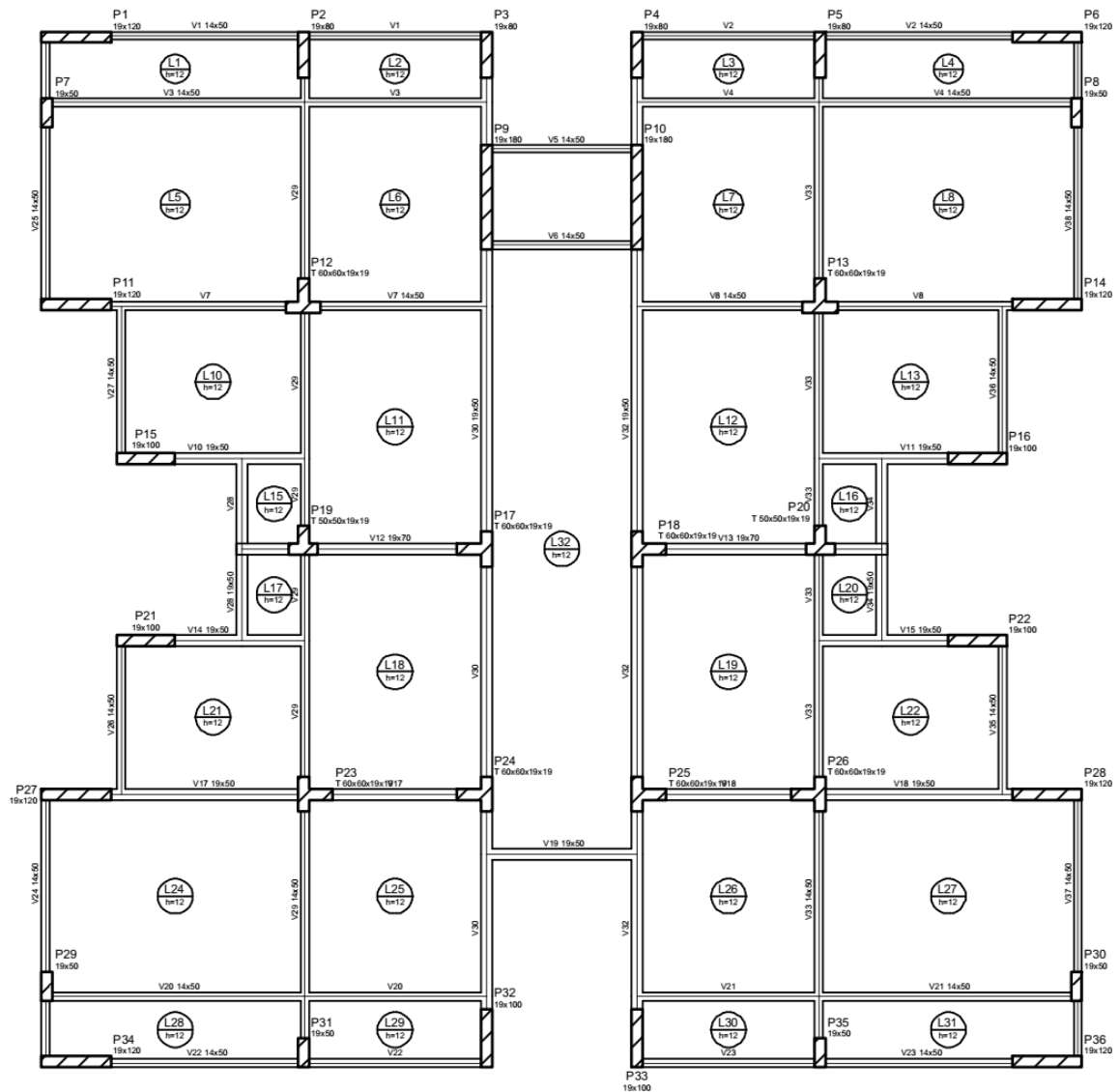


Fonte: Projeto estrutural feito pelo próprio Autor.

3.3 APRESENTAÇÃO CASO 02 – PILARES EM T

Para o segundo modelo adotou-se outro tipo de pilar com um grau de complexidade executiva alto, que são os pilares em T, esse tipo foi adotado para verificarmos como a flambagem atua em relação ao modelo padrão e ao primeiro modelo em L, pois a seção em L tem um raio de giração maior o que ocasiona algumas peculiaridades em relação a flambagem.

Figura 12 - Projeto estrutural - Caso 02

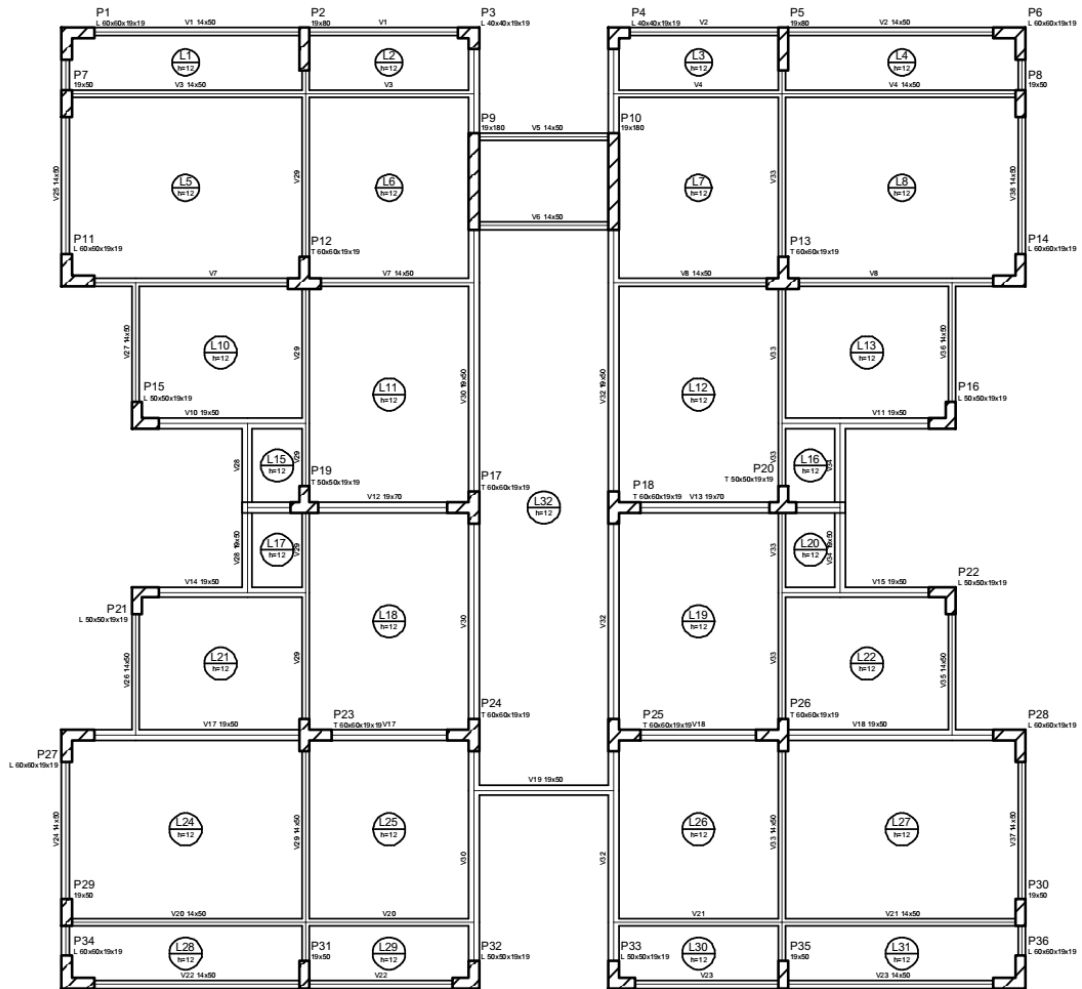


Fonte: Projeto estrutural feito pelo próprio Autor.

3.4 APRESENTAÇÃO CASO 03 – PILARES EM L & T

O terceiro caso de comparação é justamente a combinação entre os dois primeiros casos, visando assim entender os aspectos da utilização simultânea dos mesmos.

Figura 13 - Projeto estrutural - Caso 03

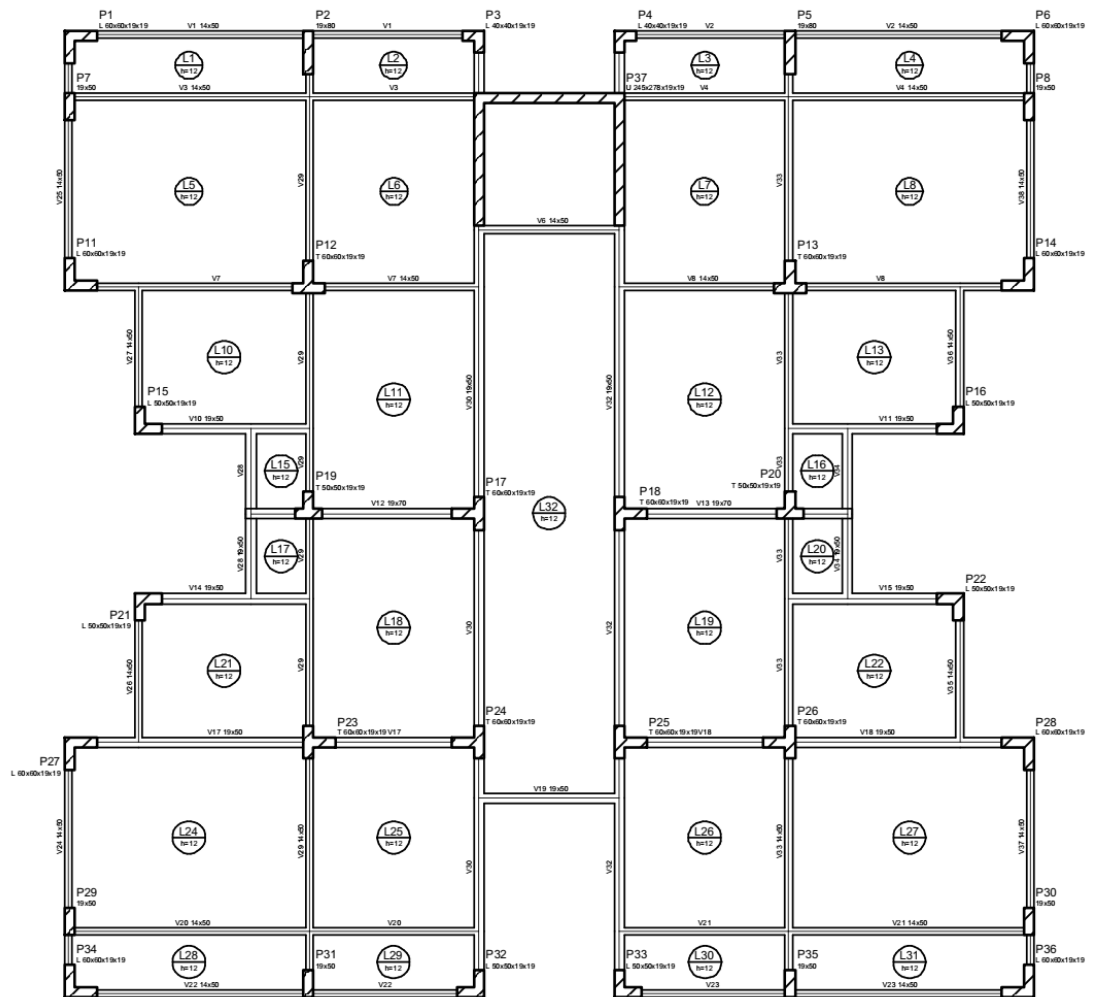


Fonte: Projeto estrutural feito pelo próprio Autor.

3.5 APRESENTAÇÃO CASO 04 - PILARES EM L, T & U

E por fim o quarto caso são com pilares em U, esse caso de pilar é mais utilizado em poço de elevador, onde as cargas são muito altas o que resultaria pilares retangulares ou quadrados muito robustos e muito próximos um do outro o que pode ser inviável em muitos casos.

Figura 14 - Projeto estrutural - Caso 04



Fonte: Projeto estrutural feito pelo próprio Autor.

Todos esses casos são voltados para edificações de grande porte com uma altura considerável, pois a utilização desses tipos de pilares não é viável em edificações baixas.

4 RESULTADO DOS PROCESSAMENTOS

Ao executar o processamento global da edificação em seu modelo padrão pode-se tirar alguns parâmetros e tem-se uma diferença na análise de primeira ordem quando observamos os deslocamentos horizontais. Tem-se no modelo padrão os deslocamentos em $x = 2.30\text{cm}$ e $y = 1.55\text{cm}$, ainda dentro dos limites permitidos em norma, porém nota-se uma diminuição para $x = 2.00\text{cm}$ e $y = 1.79\text{cm}$ quando se comparado ao caso 2 com pilares em T, pois os pilares em T tem uma rigidez maior no sentido X e também no Y, conseqüentemente diminuindo assim os deslocamentos horizontais sofridos pelos pilares, então em casos onde os pilares retangulares seriam solicitados ao extremo em seus deslocamentos horizontais podemos optar por pilares em T ou em L dependendo da ocasião, na Figura 15 encontra-se um comparativo dos relatórios do modelo padrão com o caso 02.

Figura 15 - Comparativo do processamento

Modelo Padrão	Modelo 02
<p>Análise de 1ª ordem: Processo de pórtico espacial</p> <p>Cargas verticais: Peso próprio = 2803.72 tf Adicional = 1292.05 tf Acidental = 808.96 tf Total = 4904.73 tf Área aproximada = 4175.29 m² Relação = 1174.70 kgf/m²</p> <p>Deslocamento horizontal: Direção X = 2.30 cm (limite 2.97) Direção Y = 1.55 cm (limite 2.97)</p> <p>Coefficiente Gama-Z: Direção X = 1.13 (limite 1.10) Direção Y = 1.10 (limite 1.10)</p> <p>Análise de 2ª ordem: Processo P-Delta Deslocamentos no topo da edificação: Acidental: 0.13 » 0.13 (+6.26%) Vento X+: 6.90 » 7.67 (+11.19%) Vento X-: 6.90 » 7.67 (+11.19%) Vento Y+: 4.81 » 5.17 (+7.46%) Vento Y-: 4.81 » 5.17 (+7.46%) Desaprumo X+: 0.76 » 0.85 (+11.32%) Desaprumo X-: 0.76 » 0.85 (+11.32%) Desaprumo Y+: 0.52 » 0.56 (+7.54%) Desaprumo Y-: 0.52 » 0.56 (+7.54%)</p>	<p>Análise de 1ª ordem: Processo de pórtico espacial</p> <p>Cargas verticais: Peso próprio = 2768.33 tf Adicional = 1327.72 tf Acidental = 808.93 tf Total = 4904.98 tf Área aproximada = 4175.29 m² Relação = 1174.76 kgf/m²</p> <p>Deslocamento horizontal: Direção X = 2.00 cm (limite 2.97) Direção Y = 1.79 cm (limite 2.97)</p> <p>Coefficiente Gama-Z: Direção X = 1.11 (limite 1.10) Direção Y = 1.12 (limite 1.10)</p> <p>Análise de 2ª ordem: Processo P-Delta Deslocamentos no topo da edificação: Acidental: 0.14 » 0.15 (+4.90%) Vento X+: 6.27 » 6.67 (+6.30%) Vento X-: 6.27 » 6.67 (+6.30%) Vento Y+: 5.66 » 5.98 (+5.61%) Vento Y-: 5.66 » 5.98 (+5.61%) Desaprumo X+: 0.69 » 0.73 (+6.44%) Desaprumo X-: 0.69 » 0.73 (+6.44%) Desaprumo Y+: 0.62 » 0.65 (+5.76%) Desaprumo Y-: 0.62 » 0.65 (+5.76%)</p>

Fonte: Projeto estrutural feito pelo próprio Autor.

Observa-se também a redução nos deslocamentos no topo da edificação na análise de segunda ordem com a utilização dos pilares em L, T e U também, deslocamentos esses que em alguns casos foram reduzidos drasticamente como no caso do caso 04 em relação ao modelo referência como pode-se ver no comparativo da figura 15.

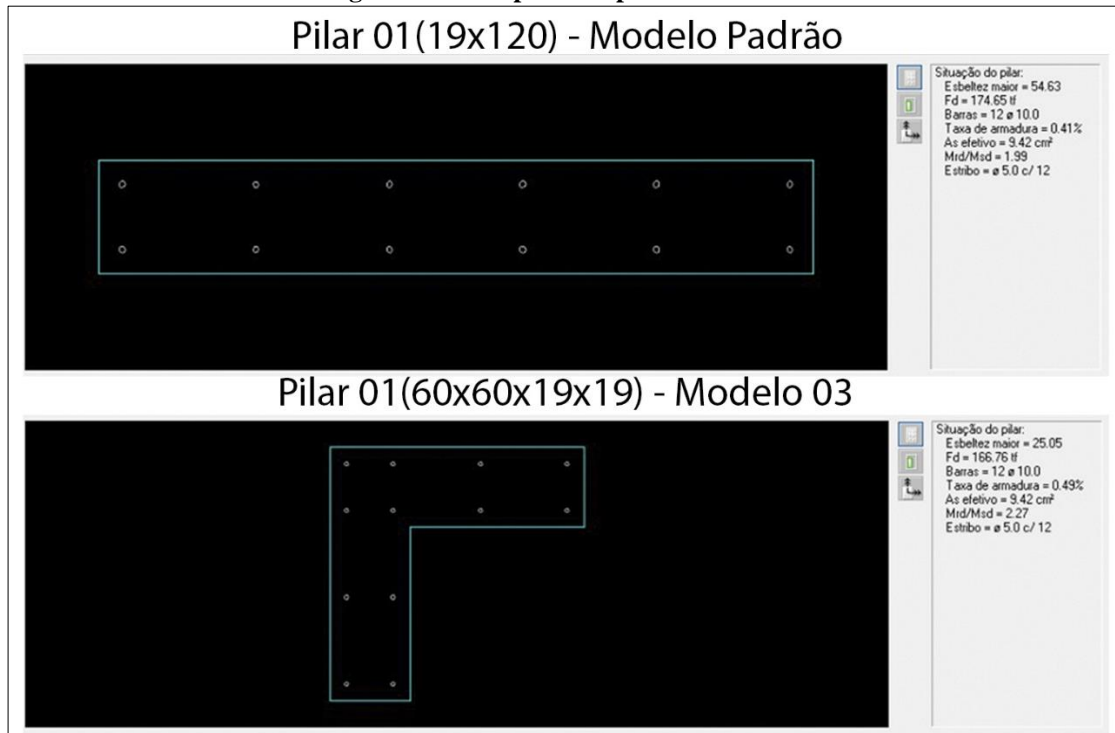
Figura 16 - Comparativo com caso 04

Modelo Padrão	Modelo 04
<p>Análise de 1ª ordem: Processo de pórtico espacial</p> <p>Cargas verticais: Peso próprio = 2803.72 tf Adicional = 1292.05 tf Acidental = 808.96 tf Total = 4904.73 tf Área aproximada = 4175.29 m² Relação = 1174.70 kgf/m²</p> <p>Deslocamento horizontal: Direção X = 2.30 cm (limite 2.97) Direção Y = 1.55 cm (limite 2.97)</p> <p>Coefficiente Gama-Z: Direção X = 1.13 (limite 1.10) Direção Y = 1.10 (limite 1.10)</p> <p>Análise de 2ª ordem: Processo P-Delta Deslocamentos no topo da edificação: Acidental: 0.13 »» 0.13 (+6.26%) Vento X+: 6.90 »» 7.67 (+11.19%) Vento X-: 6.90 »» 7.67 (+11.19%) Vento Y+: 4.81 »» 5.17 (+7.46%) Vento Y-: 4.81 »» 5.17 (+7.46%) Desaprumo X+: 0.76 »» 0.85 (+11.32%) Desaprumo X-: 0.76 »» 0.85 (+11.32%) Desaprumo Y+: 0.52 »» 0.56 (+7.54%) Desaprumo Y-: 0.52 »» 0.56 (+7.54%)</p>	<p>Análise de 1ª ordem: Processo de pórtico espacial</p> <p>Cargas verticais: Peso próprio = 2797.73 tf Adicional = 1390.08 tf Acidental = 835.37 tf Total = 5023.18 tf Área aproximada = 4177.16 m² Relação = 1202.54 kgf/m²</p> <p>Deslocamento horizontal: Direção X = 1.92 cm (limite 2.97) Direção Y = 1.65 cm (limite 2.97)</p> <p>Coefficiente Gama-Z: Direção X = 1.12 (limite 1.10) Direção Y = 1.14 (limite 1.10)</p> <p>Análise de 2ª ordem: Processo P-Delta Deslocamentos no topo da edificação: Acidental: 0.27 »» 0.27 (+1.13%) Vento X+: 6.32 »» 6.40 (+1.26%) Vento X-: 6.32 »» 6.40 (+1.26%) Vento Y+: 5.44 »» 5.50 (+1.03%) Vento Y-: 5.44 »» 5.50 (+1.03%) Desaprumo X+: 0.72 »» 0.73 (+1.45%) Desaprumo X-: 0.72 »» 0.73 (+1.45%) Desaprumo Y+: 0.61 »» 0.62 (+1.22%) Desaprumo Y-: 0.61 »» 0.62 (+1.22%)</p>

Fonte: Projeto estrutural feito pelo próprio Autor.

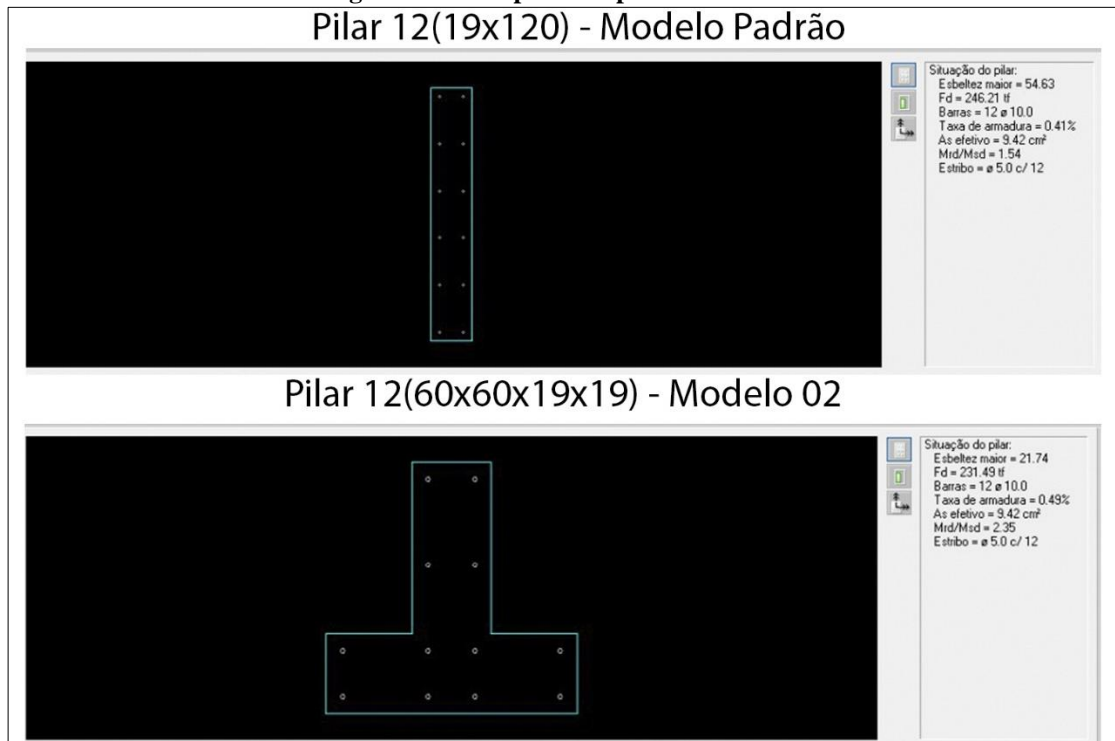
O índice de esbeltez é um fator de extrema importância no dimensionamento estrutural, observado o pilar 01 com seção retangular de 19x120cm no modelo padrão encontra-se um índice de 54.63, mesmo que dentro dos limites permitidos por norma notamos quão agressiva é a diminuição deste índice quando se troca a seção por uma em L, caindo para 25.05 no caso 3, esta variação nos indica a viabilidade de uma seção diferente de pilar em situações onde a esbeltez excede o limite de 200 e não podemos utilizar pilares com maiores espessuras para não causar grandes interferências arquitetônicas. O mesmo acontece com o pilar em T, reduzindo sua esbeltez mais ainda e caindo para 21.74 como pode-se ver nas figuras 16 e 17.

Figura 17 - Comparativo pilar 01



Fonte: Projeto estrutural feito pelo próprio Autor.

Figura 18 - Comparativo pilar 12



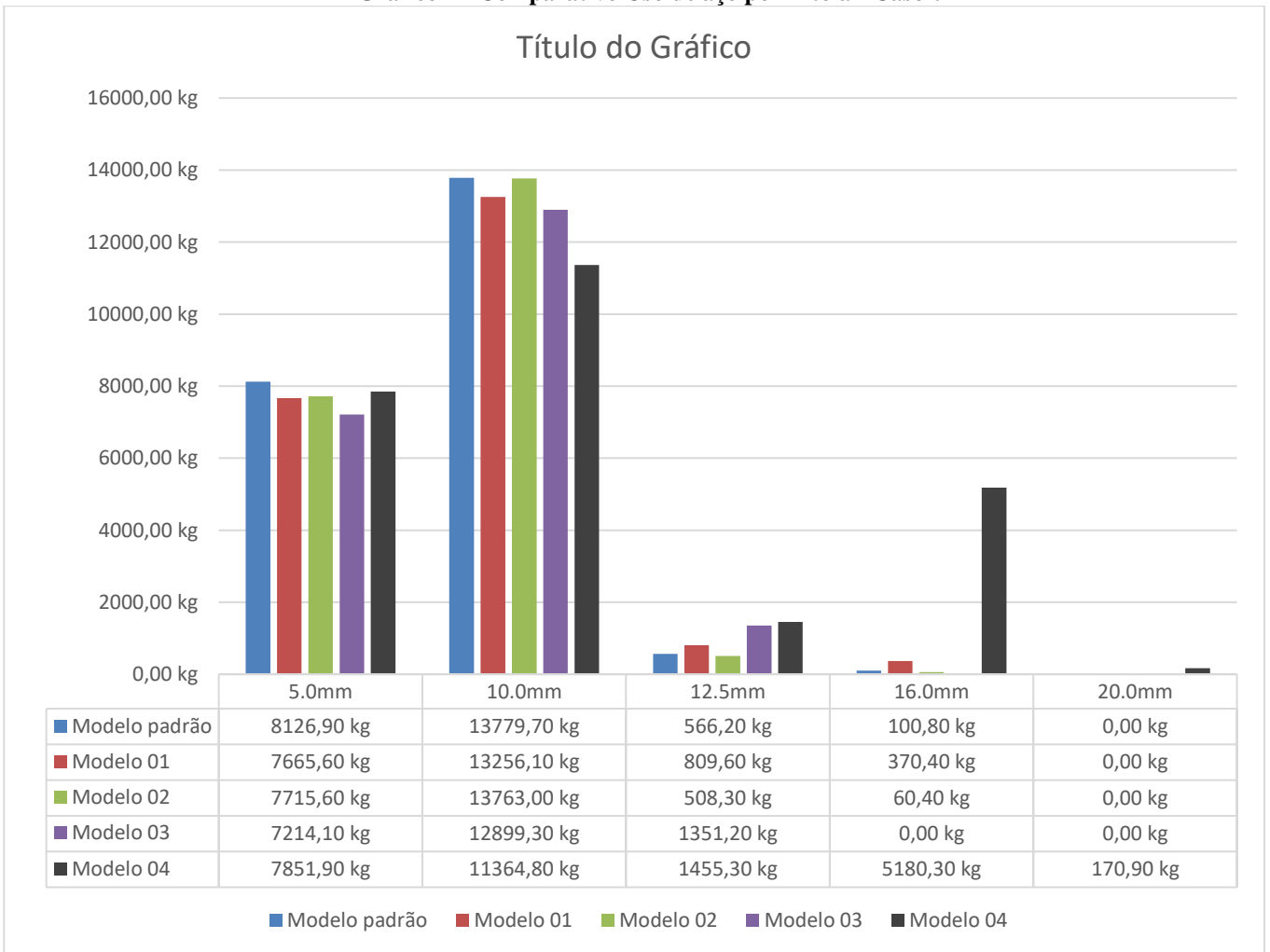
Fonte: Projeto estrutural feito pelo próprio Autor.

4.1 Modelo Padrão x Caso 01 (pilares em L)

Iniciando com o caso 01, esse que por sua vez foram adotados os pilares com seção transversal em L.

Segue no Gráfico 01 um comparativo entre a o consumo de aço gerado pela adoção dos pilares retangulares em comparação com o mesmo cenário, mas com os pilares em L nos locais onde podemos ver na Figura 10 citada acima.

Gráfico 1 - Comparativo Uso de aço por Bitola - Caso 01

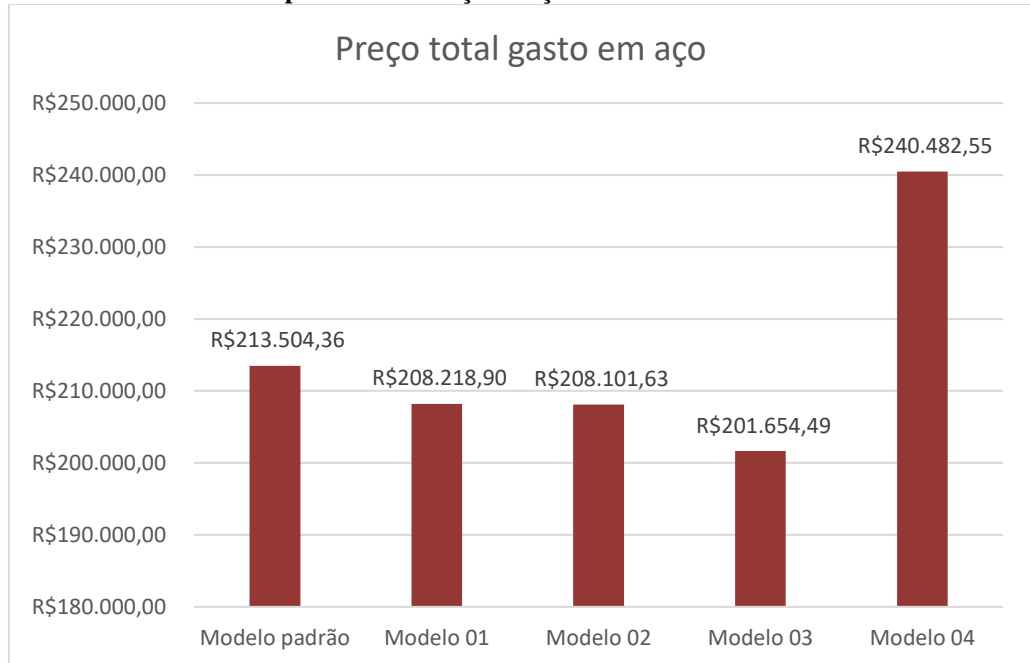


Fonte: Feito pelo próprio Autor.

Pode-se notar que há uma diferença entre o uso de aço como era de se esperar, pois o Caso 4 por utilizar um pilar em U tem uma taxa de aço maior, conseqüentemente utilizando mais aço de uma bitola maior com a de 20mm, em contra partida temos o caso 3 que utilizou menos aço da bitola de 10mm que é a bitola mais cara por quilograma de aço, então quando analisa-se o custo que essa alteração teve pode-se notar que essa pequena diferença se reflete

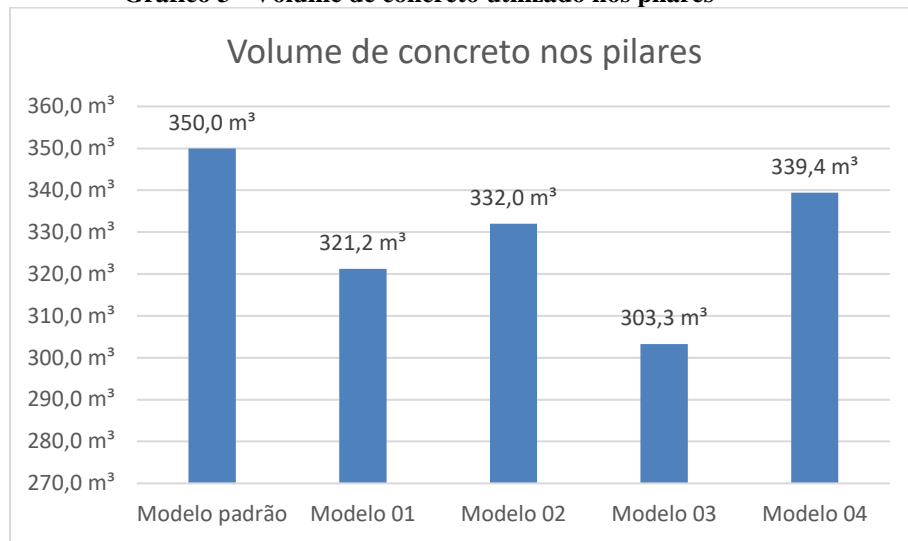
em aproximadamente R\$ 5.000,00 reais de diferença no custo do aço como pode-se notar no Gráfico 02, este cálculo é uma estimativa de preço utilizando o preço das barras de aço segundo o catálogo e preços da Arcelormittal em novembro de 2021.

Gráfico 2 - Comparativo de Preço do aço entre os casos estudados

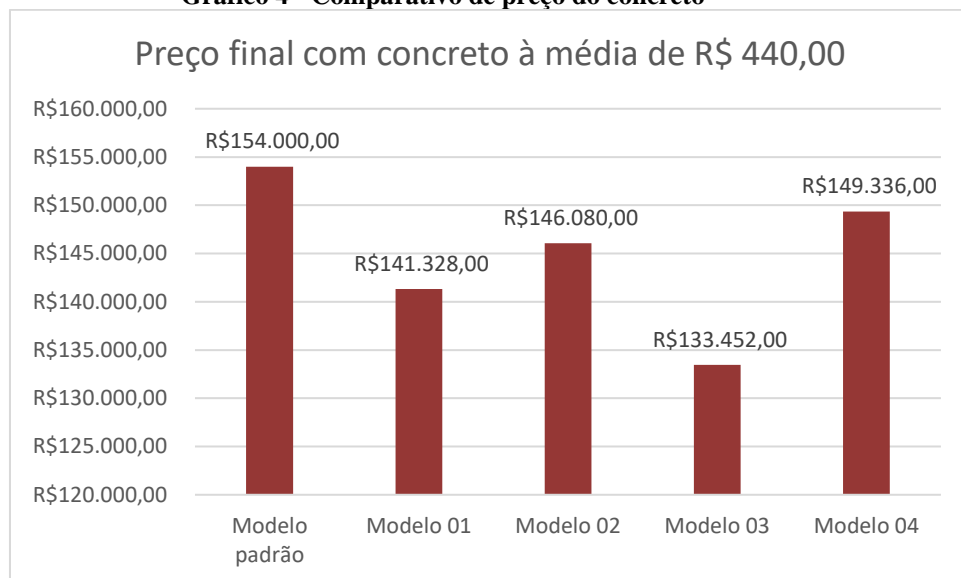


Fonte: Feito pelo próprio Autor.

Quando se trata do uso de concreto a discrepância aumenta, no modelo padrão temos a utilização de 350 metros cúbicos de concreto para a concretagem dos pilares em seção retangular, porém pode-se observar que o caso 01 com alguns pilares em L gerou uma economia de quase 30 metros cúbicos de concreto, o que reflete em uma economia de mais de R\$ 12.000,000 como podemos ver no gráfico 04, estimativa essa calculada utilizando a média de preço do concreto usinado na região de Goiás, que varia entre R\$ 320,00 a R\$ 560,00 e sem contabilizar o custo com bombeamento, o que geraria mais economia ainda.

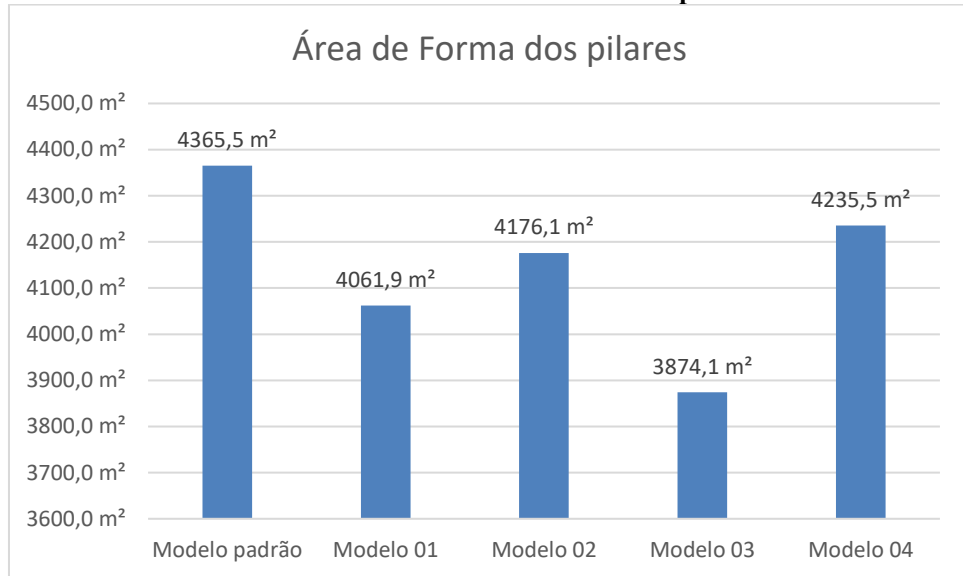
Gráfico 3 - Volume de concreto utilizado nos pilares

Fonte: Feio pelo próprio Autor.

Gráfico 4 - Comparativo de preço do concreto

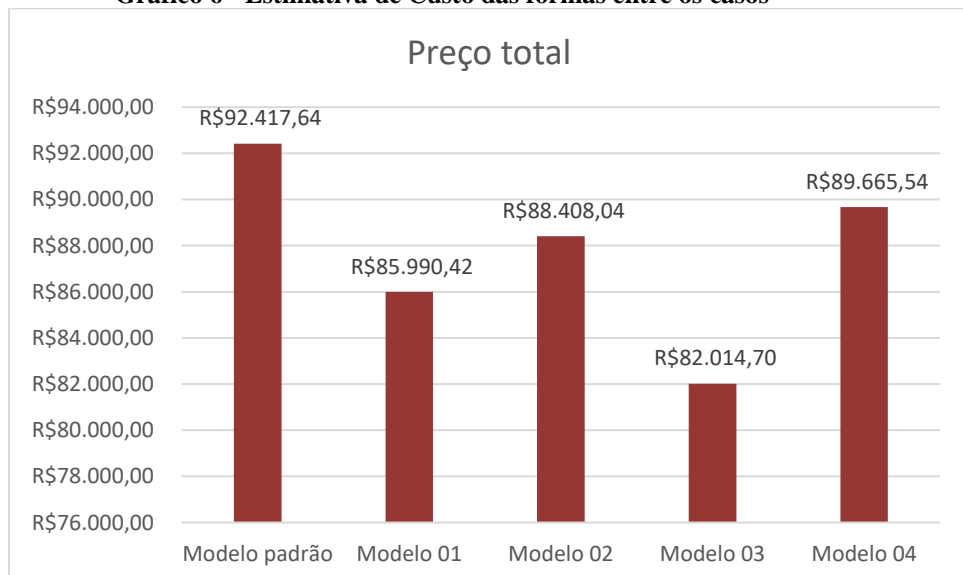
Fonte: Feio pelo próprio Autor.

Indo para as formas temos outra diferença considerável que chega a ser mais de 300m² de forma em toda a edificação, essa é uma mudança que impacta muito na agilidade do processo quando se tem uma equipe treinada, mas também tem que levar em consideração que com um edifício de muitos pavimentos tipo como essa a equipe se acostuma a fazer a forma dos pilares de uma forma melhor a cada pavimento que vão avançando.

Gráfico 5 - Demonstrativo da área de forma dos pilares

Fonte: Feito pelo próprio Autor.

Como podemos ver no Gráfico 06 a diferença nas formas foi de aproximadamente R\$ 6.000,00, utilizando o preço de R\$ 21,17 por metro quadrado de forma já contabilizando a mão de obra, para chegar nesse valor utilizou-se uma ferramenta de estimativa de preço da CYPE Ingenieros. S.A.

Gráfico 6 - Estimativa de Custo das formas entre os casos

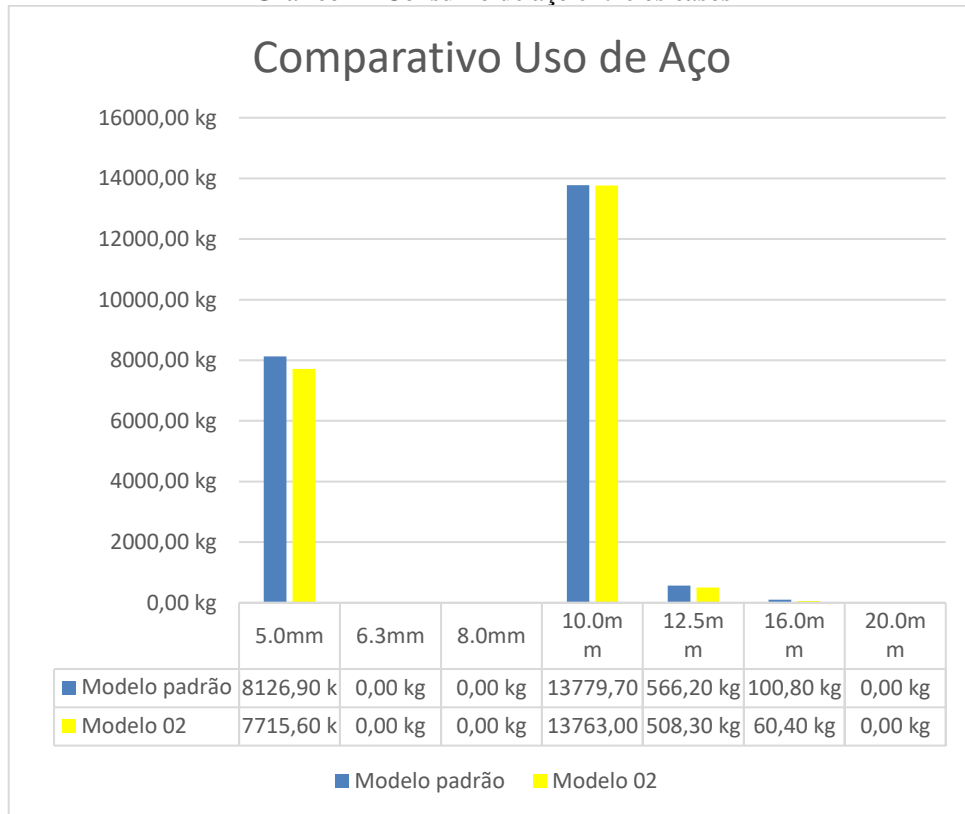
Fonte: Feito pelo próprio Autor.

4.2 Modelo Padrão x Caso 02 (pilares em T)

No segundo caso as diferenças nas quantidades de aço, volume de concreto e área de forma diminuem quando se coloca ao lado do caso 01 de pilares em L, porém em consideração ao modelo padrão ainda tem-se uma diminuição no uso como podemos notar no gráfico 7 de consumo de aço e nos gráficos 5 e 3 já apresentados posteriormente.

Assim como as diferenças nos materiais foram menores o impacto orçamentário também foi menor, podemos verificar nos gráficos 2, 4 e 6 essas diferenças reduzindo.

Gráfico 7 - Consumo de aço entre os casos



Fonte: Feio pelo próprio Autor.

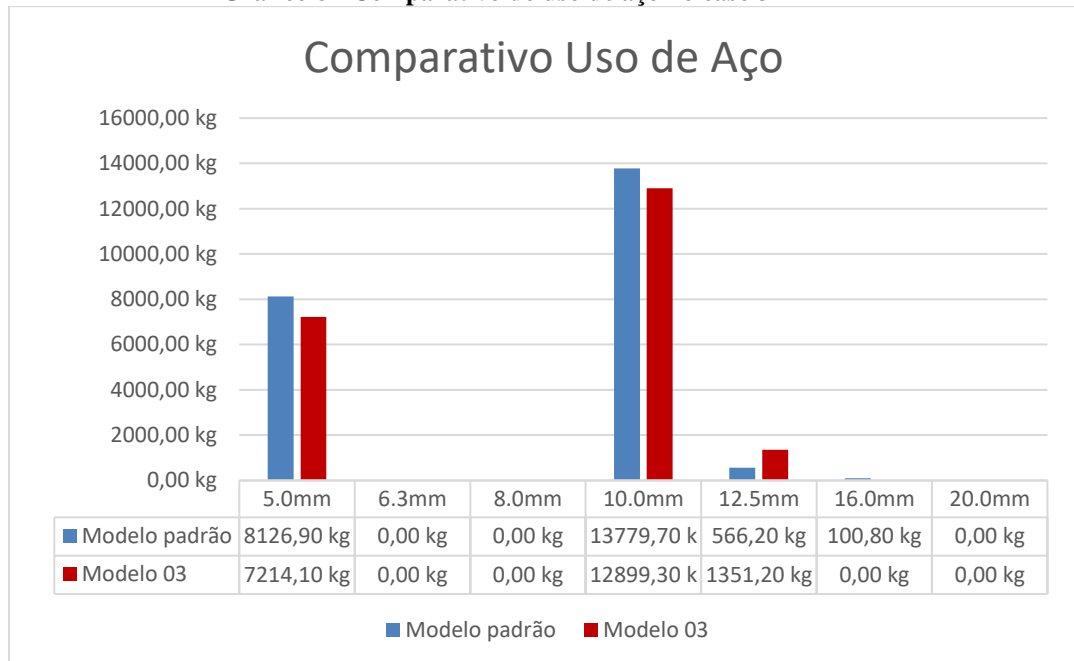
4.3 Modelo Padrão x Caso 03 (pilares em L e T)

Este caso é uma incrementação dos dois já apresentados, trazendo a junção dos pilares em L em determinados lugares e os pilares em T em outros podemos notar como uma boa análise da situação e escolha da seção certa do pilar, assim como sua orientação, podem gerar uma economia significativa para a obra sem colocar em risco a integridade da estrutura e muitas vezes até melhorando a mesma.

Pode-se notar no gráfico 08 uma redução de quase uma tonelada na utilização do aço com bitola de 10 mm, que no momento é o aço com o maior custo por Kg o que ocasiona uma economia significativa, porém por outro lado se tem um aumento na utilização das barras de

aço de 12.5mm, porém essas com um custo por Kg menor o que ainda deixa um saldo positivo de quase R\$ 12.000,00 na balança do orçamento como descrito pelo gráfico 02.

Gráfico 8 - Comparativo do uso de aço no caso 3



Fonte: Feio pelo próprio Autor.

Olhando para os gráficos 3 e 4 podemos notar a severa diferença do volume necessário no modelo padrão para o caso 3, com quase 50 metros cúbicos a menos no volume o caso 3 gera uma economia de aproximadamente R\$ 20.000,00 no orçamento.

Essa mesma diferença podemos notar no comparativo de formas nos gráficos 5 e 6, onde obteve-se uma economia de R\$10.000,00 em decorrência da diminuição de quase 500 metros quadrados de forma a ser executada.

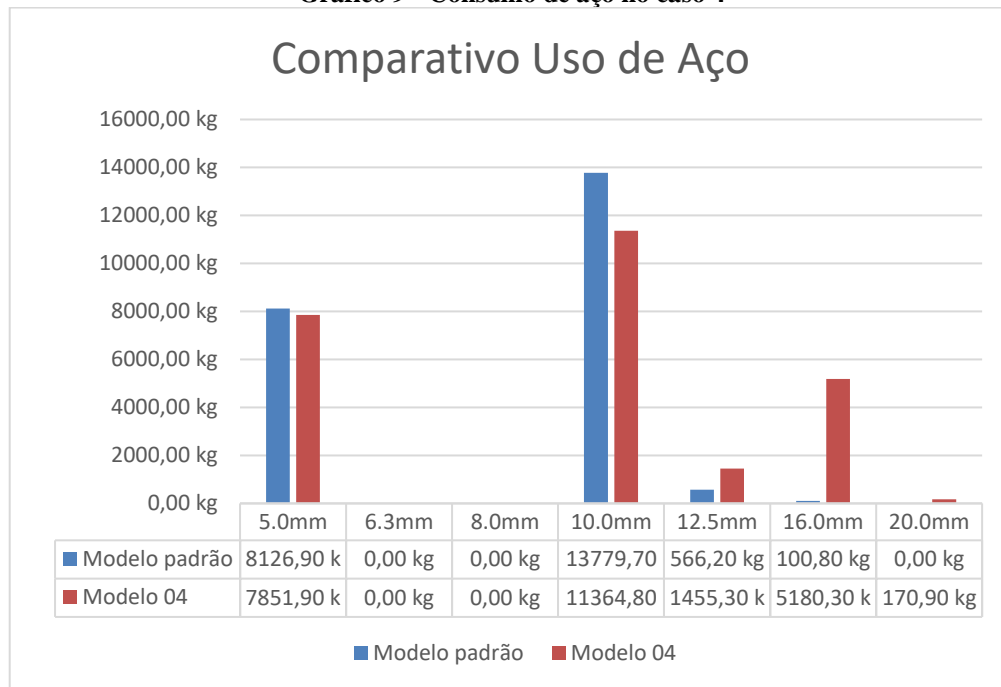
4.4 Modelo Padrão x Caso 04 (pilares em L, T e U)

O caso 4 apesar de conter todos os tipos de pilares analisados não se mostrou tão eficiente quanto os demais, o pilar em U ocasionou um grande aumento no custo do aço, pois passou a utilizar as bitolas de 16mm e 20mm que nos outros pilares não eram solicitadas.

Aumentando a taxa de aço consequentemente abaixou o consumo de concreto, porém está não é uma mudança tão significativa quanto a anterior.

Em termos de área de forma também foi reduzida, porém também não se justifica financeiramente pelo custo excessivo com o aço como podemos notar no gráfico a seguir.

Gráfico 9 - Consumo de aço no caso 4



Fonte: Feio pelo próprio Autor.

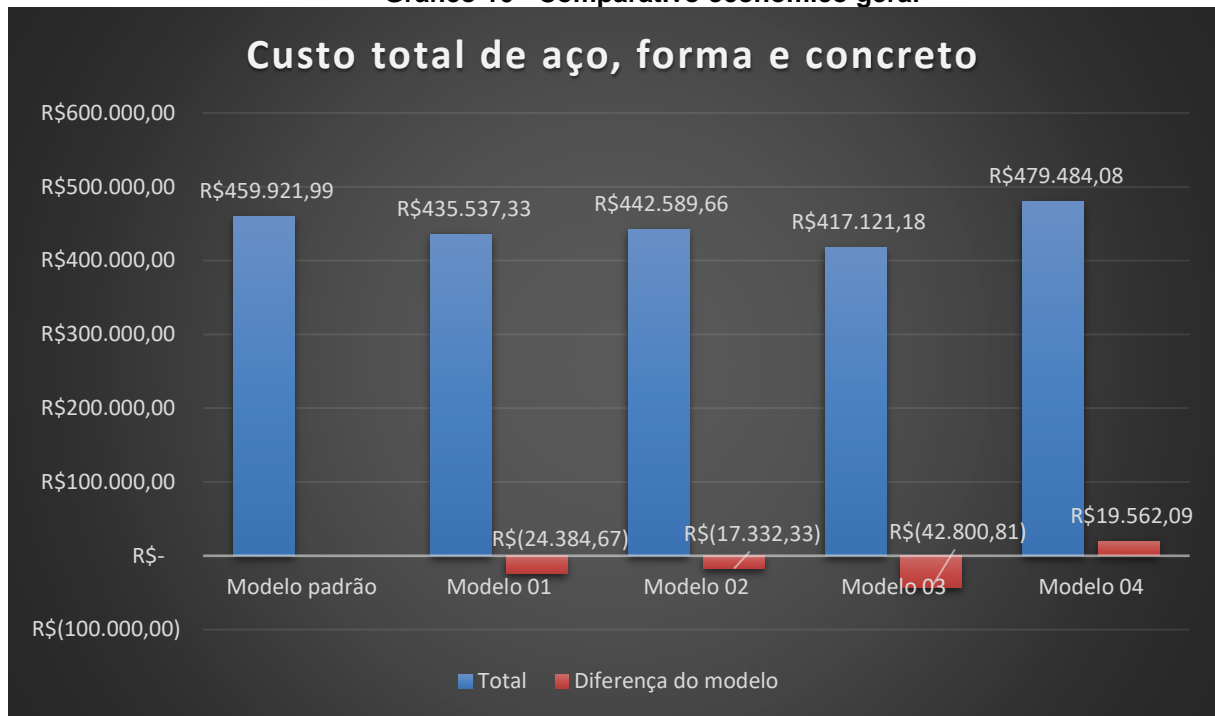
4.5 Comparativo econômico geral

Analisando todos os pontos expostos tem-se que alguns casos se destacam por sua economia e outros por sua eficácia em aspectos estruturais.

O caso que mais se destacou em resultados mecânicos foi o caso 4, pois o pilar em U gera um núcleo rígido a edificação que traz bastante estabilidade para a estrutura, então este caso se aplica aqueles projetos onde o engenheiro deve abrir mão até um certo ponto da economia pois o pilar em U gera mais custo, em troca de mais estabilidade para a estrutura da edificação.

Por outro lado, o caso que se destacou em custo benefício foi o caso 3, este contempla tanto os pilares convencionais como os pilares em T e em L, este modelo obteve um desempenho mecânico muito satisfatório também, superando o modelo padrão, mas não só isso, este caso gerou uma grande economia de material ao custo da edificação como pode-se notar no gráfico 10, economizando quase R\$ 43.000,00 no custo total, economia essa advinda da redução do uso de aço nas bitolas mais caras por quilograma, na redução do uso de concreto e na metragem quadrada de forma a ser feita.

Gráfico 10 - Comparativo econômico geral



Fonte: Feio pelo próprio Autor.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Analisando os objetivos propostos e as conclusões expostas o propósito da pesquisa foi alcançado, demonstrando a importância da utilização dos pilares com geometria especial para a evolução dos projetos estruturais. Com este trabalho foi possível ter uma breve noção sobre como podemos otimizar financeiramente e estruturalmente os projetos das edificações. Foram demonstrados diversos benefícios não só em termos de dimensionamento e soluções para possíveis obstáculos estruturais que o profissional de engenharia possa enfrentar em seus projetos, mas também soluções mais viáveis em termos de orçamento, demonstrando através dos quantitativos gerados através do software de modelagem e cálculo estrutural Eberick V8 Gold.

Demonstrou-se a capacidade de combater índices de esbeltez altos com pilares em seções em T, L e U, garantindo assim mais estabilidade para estruturas que não poderiam ser executadas com pilares retangulares ou quadrados sem que os mesmos ficassem muito robustos a ponto de interferirem significativamente na arquitetura do edifício. A geometria é um fator de extrema importância quando o assunto é otimização de estrutura já que a mudança da geometria sem alteração do material ou da seção equivalente já criam uma grande interferência no projeto.

Outro ponto a se reforçar é o quanto os pilares com geometria especial contribuem para a diminuição tanto dos deslocamentos horizontais quanto do desaprumo do edifício. Sendo assim para os próximos estudos na área para verificar o dimensionamento e um comparativo de estrutural com mais profundidade nas informações.

Uma dificuldade foi identificada em relação ao mercado para identificar softwares que tivessem a capacidade de executar esse dimensionamento e que fossem legalizados sendo assim para estudos futuros recomendamos um aprofundamento em metodologias de cálculo de pilares com geometrias especiais.

Contribuir para a bibliografia deste assunto é de suma importância e para pesquisas futuras pode-se abordar quanto a viabilidade da diminuição da seção transversal desses pilares especiais e comparar sua resistência com pilares convencionais de mesma espessura.

O estudo nessa área é promissor e pode ser de grande aproveitamento na área da construção civil principalmente nas questões envolvendo cálculos. A bibliografia sobre esse tema precisa de muito crescimento e popularização a consequência disso será um dimensionamento mais otimizado e econômico das edificações. A ciência sempre foi construída a partir do crescimento contínuo da popularização de um determinado assunto e por isso para modernização nos dimensionamentos estruturais necessita da difusão do tema deste trabalho.

REFERÊNCIAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Projeto de estruturas de concreto - Procedimento: NBR6118**. 2014

BASTOS, Paulo Sérgio dos Santos. **FUNDAMENTOS DO CONCRETO ARMADO**. 2011. 92 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2011. Cap. 2. Disponível em: <https://docente.ifrn.edu.br/valtencirgomes/disciplinas/construcao-de-edificios/formas-e-elementos-de-concreto/notas-de-aula-_fundamentos-do-concreto-armado.> Acesso em: 01 jun. 2021.

CADAMURO JÚNIOR, Ismael Wilson. **DIMENSIONAMENTO DE PILARES ESBELTOS DE CONCRETO ARMADO COM SEÇÃO QUALQUER SOLICITADOS POR FLEXÃO COMPOSTA OBLÍQUA**. 1997. 207 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 1997. Cap. 2. Disponível em: http://sistemas.set.eesc.usp.br/static/media/producao/1997ME_IsmaelWilsonCadamuraJunior.pdf. Acesso em: 01 jun. 2021.

CAMPOS, Nivaldo Benedito Ferreira. **CONTRIBUIÇÃO AO ESTUDO DE PILARES EM CONCRETO ARMADO COM SEÇÃO QUALQUER SUBMETIDOS A FLEXÃO COMPOSTA OBLÍQUA**. 1994. 149 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 1994. Cap. 2. Disponível em: http://web.set.eesc.usp.br/static/media/producao/1994ME_NivaldoBeneditoFerreiraCampos_1.pdf. Acesso em: 01 jun. 2021.

FERNANDES, Gilson B.. **SOLICITAÇÕES NORMAIS CÁLCULO NO ESTADO LIMITE ÚLTIMO**. 2006. 74 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Estruturas, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2006. Cap. 1. Disponível em: <http://www.fec.unicamp.br/~almeida/ec702/APOSTILA-EC702-v2006.pdf>. Acesso em: 01 jun. 2021.

MELO, Carlos Eduardo Luna de. **ANÁLISE EXPERIMENTAL E NUMÉRICA DE PILARES BIRROTULADOS DE CONCRETO ARMADO SUBMETIDOS A FLEXO-COMPRESSÃO NORMAL**: tese de doutorado em estruturas e construção civil departamento de engenharia civil e ambiental. 2009. 441 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 2009. Cap. 1. Disponível em: <<http://www.pecc.unb.br/wp-content/uploads/teses/D09-6A-Carlos-de-Melo.pdf>>. Acesso em: 30 maio 2021.

MELO, Paula Rodrigues de. **PRÉ-DIMENSIONAMENTO DE ESTRUTURAS DE MADEIRA, DE AÇO E DE CONCRETO PARA AUXÍLIO À CONCEPÇÃO DE PROJETOS ARQUITETÔNICOS**. 2013. 113 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2013. Cap. 2.

OLIVEIRA, Marcos Honorato de. **PUNÇÃO EM LAJES LISAS COM ARMADURA DE CISALHAMENTO SUBMETIDAS A CARREGAMENTO EXCÊNTRICO E APOIADAS SOBRE PILARES RETANGULARES**. 2013. 250 f. Tese (Doutorado) -

Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 2013. Cap. 2. Disponível em: <<http://www.pecc.unb.br/wp-content/uploads/teses/D13-2A-Marcos-de-Oliveira.pdf>> Acesso em: 01 jun. 2021.

PILARES DE CONCRETO: SAIBA O QUE ESTES ELEMENTOS SIGNIFICAM PARA A ENGENHARIA E ARQUITETURA. Fortaleza: Revista Construa, 11 jan. 2014. Mensal. Disponível em: <<https://revistaconstrua.com.br/noticias/engenharia/pilares-de-concreto-saiba-o-que-estes-elementos-significam-para-a-engenharia-e-arquitetura/>> Acesso em: 01 jun. 2021.

PILOTTO NETO, Egidio. **Caderno de receitas de concreto armado - Pilares.** Rio de Janeiro: Ltc — Livros Técnicos e Científicos Editora Ltda, 2018. 2 v.

PINHEIRO, Libânio M.. **FUNDAMENTOS DO CONCRETO E PROJETO DE EDIFÍCIOS.** 2007. 380 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia de Estruturas, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007. Cap. 16. Disponível em: <http://coral.ufsm.br/decc/ECC1006/Downloads/Apost_EESC_USP_Libanio.pdf> Acesso em: 31 maio 2021.

PRAVIA, Zacarias Martin Chamberlain. **Exemplo de um Projeto Completo de um Edifício de Concreto Armado.** 2001. 5 v. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Curso de Especialização em Concreto, São Paulo, 2001. Cap. 4. Disponível em: <http://usuarios.upf.br/~zacarias/Cap-4-Pilares-de-Edificios.pdf>. Acesso em: 01 jun. 2021.

SANTOS, Eduardo Veloso dos. **PUNÇÃO EM LAJES LISAS: MÉTODOS DE CÁLCULO, PRESCRIÇÕES NORMATIVAS E EXEMPLOS DE APLICAÇÃO.** 2018. 267 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 2009. Cap. 1. Disponível em: <<https://repositorio.unb.br/handle/10482/33011>> Acesso em: 30 maio 2021.

SIAS, Francesco Mayer. **DIMENSIONAMENTO ÓTIMO DE PILARES DE CONCRETO ARMADO.** 2014. 153 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2014. Cap. 1. Disponível em: <<http://repositorio.ufes.br/bitstream/10/1239/1/Dissertacao.%20Francesco%20Mayer%20Sias.%20Texto%20completo.pdf>> Acesso em: 01 jun. 2021.

SOUZA, Edison Eloy. **AS FORMAS ARQUITETÔNICAS E SUAS GEOMETRIAS: análise de obras da arquitetura moderna contemporânea.** 2006. 100 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade de São Judas Tadeu, São Paulo, 2006. Cap. 1. Disponível em: https://usjt.br/biblioteca/mono_disser/mono_diss/023_001a100.pdf. Acesso em: 01 jun. 2021.

SOUZA, Paula Mayer dos Santos. **DIMENSIONAMENTO OTIMIZADO DE PILARES DE CONCRETO ARMADO DE ACORDO COM A NBR 6118:2014.** 2017. 191 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2017. Cap. 3. Disponível em: <http://portais4.ufes.br/posgrad/teses/tese_11662_Disserta%E7%E3o.pdf> Acesso em: 31 maio 2021.

SOUZA, Paula Mayer dos Santos. **DIMENSIONAMENTO OTIMIZADO DE PILARES DE CONCRETO ARMADO DE ACORDO COM A NBR 6118:2014**. 2017. 191 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2017. Cap. 3. Disponível em: <http://portais4.ufes.br/posgrad/teses/tese_11662_Disserta%E7%E3o.pdf> Acesso em: 31 maio 2021.

TAGLIANI, Simone. Pilares de concreto: saiba o que estes elementos significam para a Engenharia e Arquitetura. **Engenharia 360**, Fortaleza, v. 1, n. 1, p. 1-1, 11 jan. 2021. Mensal. Disponível em: <<https://engenharia360.com/pilares-de-concreto-na-engenharia-e-arquitetura>> Acesso em: 01 jun. 2021.