

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE
SANTA CATARINA - CAMPUS FLORIANÓPOLIS
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL
CURSO SUPERIOR DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL**

KAROLINE ANGÉLICA MARTINS

**INFLUÊNCIA DA CONCEPÇÃO ESTRUTURAL NO QUANTITATIVO DE
MATERIAIS DE PROJETOS EM CONCRETO ARMADO**

FLORIANÓPOLIS, 2022.

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE
SANTA CATARINA - CAMPUS FLORIANÓPOLIS
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL
CURSO SUPERIOR DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL**

KAROLINE ANGÉLICA MARTINS

**INFLUÊNCIA DA CONCEPÇÃO ESTRUTURAL NO QUANTITATIVO DE
MATERIAIS DE PROJETOS EM CONCRETO ARMADO**

Trabalho de Conclusão de Curso
submetido ao Instituto Federal de
Educação, Ciência e Tecnologia de Santa
Catarina como parte dos requisitos para
obtenção do título de Engenheira Civil.

Orientador:

Prof. Dr. André Puel

FLORIANÓPOLIS, 2022.

FICHA CATALOGRÁFICA

Martins, Karoline Angélica

INFLUÊNCIA DA CONCEPÇÃO ESTRUTURAL NO QUANTITATIVO

DE MATERIAIS DE PROJETOS EM CONCRETO ARMADO / Karoline Angélica

Martins; orientação de André Puel. - Florianópolis,
SC, 2022.

89 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) - Instituto Federal
de Santa Catarina, Câmpus Florianópolis. Bacharelado
em Engenharia Civil. Departamento Acadêmico
de Construção Civil.

Inclui Referências.

1. Projeto estrutural. 2. Modelagem numérica. 3.
Dimensionamento. 4. Orçamento. I. Puel, André. II. Instituto
Federal de Santa Catarina. III. INFLUÊNCIA DA CONCEPÇÃO
ESTRUTURAL NO QUANTITATIVO DE MATERIAIS DE
PROJETOS EM CONCRETO ARMADO.

INFLUÊNCIA DA CONCEPÇÃO ESTRUTURAL NO QUANTITATIVO DE MATERIAIS DE PROJETOS EM CONCRETO ARMADO

KAROLINE ANGÉLICA MARTINS

Este trabalho foi julgado adequado para obtenção do título de Engenheiro em 2022 e aprovado na sua forma final pela banca examinadora do Curso Engenharia Civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina.

Florianópolis, 15 de março, 2022.

Banca Examinadora:



André Puel, Doutor

Marcia Maria Machado Steil, Mestre
IFSC



David Guillermo Esteche Pedrozo, Mestre
NovaEngevix Engenharia

AGRADECIMENTOS

Ao professor André Puel que me orientou no desenvolvimento deste trabalho, dando apoio e contribuições com paciência e compreensão.

A Eng.^a. Rebeca Heredia que me ajudou com minhas diversas dúvidas sobre o programa Eberick.

A professora Marcia pela contribuição para o amadurecimento de ideias no desenvolvimento deste trabalho.

Ao Eng.º David por ter me ensinado tantas coisas sobre projeto estrutural na prática.

Ao Eng.º Rogério Philipsen por ter disponibilizado as plantas arquitetônicas para esse estudo e pelas ideias para o TCC.

Ao Rafael, meu marido, pelo carinho e compreensão nas noites e finais de semana de estudo.

A todos meus amigos, amigas e colegas, os quais me acompanharam durante toda a faculdade. Com eles foi muito mais leve ir nas aulas de noite depois de um dia de trabalho!

RESUMO

A concepção estrutural consiste em uma das principais etapas do projeto de um edifício, pois compreende a escolha dos modelos estruturais que irão distribuir e absorver todas as cargas da edificação. Este estudo apresenta os quantitativos de concreto, aço e formas empregando duas concepções estruturais distintas, uma com um número mínimo de pilares na estrutura, e outra com mais pilares. O estudo de caso analisado é um projeto de um edifício multifamiliar com 4 pavimentos. As duas concepções estruturais foram avaliadas utilizando o modelo de pórticos espaciais integrados com lajes, considerando somente as ações de cargas verticais. Foram quantificados os pilares, vigas, lajes e as fundações do tipo sapatas isoladas. O dimensionamento final e o levantamento de quantitativos foram realizados com auxílio do software Eberick, que é um programa para desenvolver projetos estruturais em concreto armado, com recursos de modelagem, análise e dimensionamento de estruturas. O dimensionamento com menor número de pilares resultou em maiores quantitativos de material para execução da obra, ou seja, menos econômico. O orçamento final simplificado, gerado no mesmo software, também mostrou que a concepção com mais pilares é mais econômica. Esse trabalho mostrou que em algumas situações a diminuição de pilares para obter vãos livres maiores pode acarretar custos extras para o projeto.

Palavras-Chave: Projeto estrutural. Modelagem numérica. Dimensionamento. Orçamento.

ABSTRACT

The structural design is one of the most important stages of building design. In this phase is defined the structural models that will distribute and absorb the loads of the entire building. This project presents a methodology to analyze different structural proposals regarding the amount of material (concrete, steel, and formwork) required to implement the work. To assess it, was evaluated two different structural designs, one with a minimum number of pillars in the structure, and a design with all beams supported on pillars in a case study of a multifamily building with 4 floors. The designs were evaluated throughout spatial portal model integrated with slabs, considering the effects of vertical forces. The final dimensioning and materials survey were conducted with Eberick, a software designed to develop structural projects of reinforced concrete, with resources for modeling and analysis. The design with more pillars proved to be cheaper than the other simulation. The design with a smaller number of pillars resulted in greater amounts of material to build, that is, less economical. This work showed that the reduction of columns to obtain larger free spans can lead to extra costs for the project.

Keywords: Structural design. Numerical modeling. Construction budget.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Exemplo do modelo Pórtico Espacial com Lajes (modelo integrado).....	2
Figura 2 – Principais elementos estruturais de um edifício	5
Figura 3 – Exemplo de um esquema estático e diagrama de momentos fletores de uma viga contínua	5
Figura 4 – Flambagem em pilar comprimido	6
Figura 5 – Laje maciça apoiada sobre vigas	7
Figura 6 – Sapata isolada	9
Figura 7 – Cravação de estaca pré-moldada	10
Figura 8 – Fluxo das ações nos elementos estruturais em edifícios	12
Figura 9 – Exemplos de sistemas estruturais em concreto armado	17
Figura 10 – Modelo estrutural de pórtico plano e espacial	18
Figura 11 – Graus de liberdade de um nó de pórtico espacial	19
Figura 12 – Modelo de pórtico espacial com cargas da laje como grelha do pavimento e como um modelo integrado	20
Figura 13 – Exemplo da concepção com mínimo de pilares, máximo de vigas apoiadas em vigas	26
Figura 14 – Exemplo da concepção com todas as vigas apoiadas em pilares	26
Figura 15 – Vista do edifício residencial.....	27
Figura 16 – Planta do pavimento tipo do edifício residencial	28
Figura 17 – Planta do pavimento tipo do edifício residencial adaptado.....	30
Figura 18 – Início do projeto no software de dimensionamento estrutural	32
Figura 19 – Definição das unidades de medidas adotadas no projeto	33
Figura 20 – Configurações do projeto – classe de agressividade ambiental.....	34
Figura 21 – Configurações do projeto – Classes de concreto	34
Figura 22 – Configurações do projeto – Barras de aço	35
Figura 23 – Configurações do projeto – Dados das paredes	36
Figura 24 – Configurações do projeto – Carga de parede	36
Figura 25 – Configurações do projeto – Cargas na laje	37
Figura 26 – Configurações do projeto – Processamento da análise	38
Figura 27 – Configurações do projeto – Critérios da análise global estrutural	39
Figura 28 – Detalhe da Concepção estrutural 1	41
Figura 29 – Detalhe da Concepção estrutural 2	42

Figura 29 – Detalhe da viga 23 (a figura da direita mostra a C1 e esquerda C2).....	44
Figura 30 – Área de influência dos pilares – CONCEPÇÃO 1	46
Figura 31 – Área de influência dos pilares – CONCEPÇÃO 2	46
Figura 32 – Pórtico 3D – CONCEPÇÃO 1	48
Figura 33 – Pórtico 3D – CONCEPÇÃO 2	49
Figura 34 – Croqui do pavimento tipo com cargas de parede – CONCEPÇÃO 1	50
Figura 35 – Croqui do pavimento tipo com cargas de parede – CONCEPÇÃO 2	51
Figura 36 – Exemplo de erro no dimensionamento dos pilares.....	52
Figura 37 – Exemplo de correção no dimensionamento dos pilares	52
Figura 38 – Distribuição percentual das cargas verticais	53
Figura 39 – Área de formas.....	54
Figura 40 – Peso de aço	55
Figura 41 – Volume de concreto	56
Figura 42 – Custo de formas.....	58
Figura 43 – Distribuição do custo da estrutura por origem e elemento – CONCEPÇÃO 1	58
Figura 44 – Distribuição do custo da estrutura por origem e elemento – CONCEPÇÃO 2	59

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Sistemas estruturais para edifícios.....	8
Tabela 2 – Peso específico dos materiais de construção.	13
Tabela 3 – Valores mínimos das cargas verticais.	14
Tabela 4 – Coeficiente de majoração de esforços γ_f	15
Tabela 5 – Classes de agressividade ambiental.	16
Tabela 6 – Cobrimento nominal para estrutura de concreto armado.	16
Tabela 7 – Pré-dimensionamento das lajes	43
Tabela 8 – Estimativa de cargas nas lajes	43
Tabela 9 – Pré-dimensionamento das vigas	45
Tabela 10 – Pré-dimensionamento dos pilares no pavimento térreo – CONCEPÇÃO 1	47
Tabela 11 – Pré-dimensionamento dos pilares – CONCEPÇÃO 2	48
Tabela 12 – Carregamentos da estrutura.....	53
Tabela 13 – Resumo do quantitativo por material e por elemento – CONCEPÇÃO 1	57
Tabela 14 – Resumo do quantitativo por material e por elemento – CONCEPÇÃO 2	57
Tabela 15 – Relação custo por elemento (R\$) – CONCEPÇÃO 1	59
Tabela 16 – Relação custo por elemento (R\$) – CONCEPÇÃO 2.....	59

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Justificativa.....	3
2	OBJETIVO	4
2.1	Objetivos específicos.....	4
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	4
3.1	Elementos	4
3.2	Esforços, estados limites, e combinações	11
3.3	Concepção e lançamento de estruturas.....	16
3.3.1	Modelo de pórticos espaciais	17
3.3.2	Lançamento da estrutura	20
3.4	Pré-dimensionamento	21
3.5	Software de dimensionamento estrutural	24
4	METODOLOGIA	25
4.1	Estudo de caso	26
4.2	Lançamento e pré-dimensionamento das estruturas	30
4.2.1	Pré-dimensionamento das lajes	30
4.2.2	Pré-dimensionamento das vigas	31
4.2.3	Pré-dimensionamento dos pilares.....	31
4.3	Dimensionamento da estrutura.....	31
4.3.1	Escolha e propriedades dos materiais	33
4.3.2	Ações atuantes na estrutura	35
4.3.3	Análise da estrutura	37
4.4	Quantitativo de materiais.....	39
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	40
5.1	Concepção estrutural.....	40
5.2	Pré-dimensionamento.....	42

5.3	Dimensionamento dos elementos	48
5.4	Quantitativo de materiais.....	54
5.4.1	Quantitativo de formas	54
5.4.2	Quantitativo de aço	54
5.4.3	Quantitativo de concreto	55
5.4.4	Quantitativo geral	56
5.4.5	Custos	57
5.5	Pré-dimensionamento x dimensionamento	60
6	CONCLUSÕES	61
	REFERÊNCIAS.....	62
	APÊNDICES	65

1 INTRODUÇÃO

O concreto é um material de alta resistência aos esforços de compressão e baixa resistência a tração, já o aço é um material com alta resistência a tração. A combinação destes dois materiais forma o concreto armado, onde as tensões de tração são absorvidas pela armadura e as tensões de compressão são absorvidas principalmente pelo concreto (Araújo, 2010).

A estrutura de um edifício em concreto armado pode ser dividida em superestrutura e infraestrutura. A infraestrutura, ou fundação, é a parcela responsável por transmitir ao solo todos os esforços atuantes na edificação; e a superestrutura, composta por pilares, vigas e lajes transmitem os esforços para a fundação (Borba, 2020).

O projeto de uma estrutura deve garantir a segurança da edificação, e a manutenção das suas condições de funcionalidade em serviço. Existem várias possibilidades de projetos diferentes que podem atender às características da obra, com diferentes custos e qualidades. Para que seja encontrada a melhor solução o processo de elaboração de um projeto estrutural em concreto armado, passa pelas etapas de concepção da estrutura, levantamento de cargas, pré-dimensionamento dos elementos, verificação dos parâmetros de instabilidade, detalhamento e finalmente de verificação dos consumos de materiais (Polizel, 2018).

A etapa inicial de concepção da estrutura e sua qualidade, posteriormente irá influenciar nos custos e no desempenho da estrutura. Pois é a partir do resultado da concepção que serão determinados os materiais a serem utilizados e a disposição dos elementos que compõe a estrutura (González, 2008).

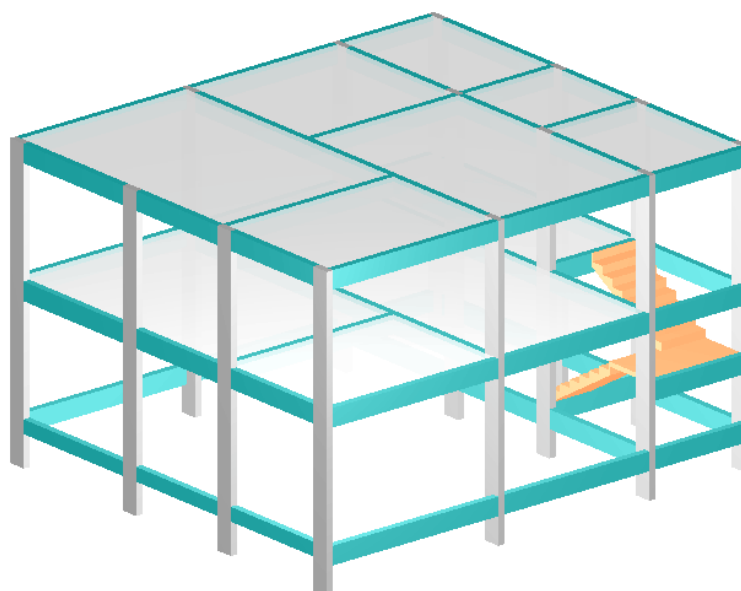
Tradicionalmente, cabe à experiência e intuição do projetista, a escolha da concepção que melhor se adapte às condições exigidas. Apesar deste processo se mostrar eficaz, ele não garante a melhor alternativa para o projeto. Muitas vezes este trabalho é exaustivo, e a limitação de tempo, faz com que a alternativa escolhida nem sempre seja a mais econômica. A utilização de softwares faz com que esta tarefa de busca do projeto otimizado se torne mais acessível, de forma que os projetistas possam passar mais tempo se dedicando à parte de concepção do projeto (Vianna, 2006).

Uma maneira de avaliar a estabilidade de uma estrutura é por meio de modelos que buscam representar graficamente a estrutura real. Um destes modelos é o pórtico espacial.

O modelo de pórtico espacial consiste num modelo tridimensional, composto por elementos lineares (barras), que possibilita a avaliação do comportamento global de todo o edifício, considerando a atuação de ações verticais e horizontais (Barboza, 2008) (Figura 1). Cada nó do pórtico espacial possui 6 graus de liberdade, possibilitando a obtenção dos deslocamentos e esforços (força normal, cortantes, momentos fletores e torsor) em cada extremidade de um elemento. O modelo de pórtico espacial pode ser usado, por exemplo, para:

- Obter os esforços para o dimensionamento de lajes, vigas e pilares;
- Obter as solicitações transmitidas para os elementos de fundação;
- Verificar a estabilidade global do edifício;
- Verificar os deslocamentos laterais provocados pelas ações horizontais, como por exemplo o vento.

Figura 1 – Exemplo do modelo Pórtico Espacial com Lajes (modelo integrado)



Fonte: <http://faq.altoqi.com.br/>

Na análise das ações horizontais, destaca-se a necessidade de modelar as lajes no pórtico espacial, também chamado de modelo integrado. Dessa forma é

possível quantificar com maior precisão os deslocamentos horizontais da estrutura (Fontes e Pinheiro, 2006).

Neste estudo foram elaboradas duas configurações de pórticos espaciais e analisada a influência que essas variações podem gerar no quantitativo de materiais que seria necessário para executar o projeto. A partir de um edifício residencial multifamiliar de exemplo, foram elaboradas duas concepções estruturais, uma composta por um número mínimo de pilares na edificação, e outra com o maior número de pilares.

Cada uma das concepções foi dimensionada com o auxílio do software Eberick. No dimensionamento da estrutura foram consideradas somente as ações de cargas verticais. Após o dimensionamento da estrutura, foi gerado no mesmo software os quantitativos de materiais e um orçamento simplificado com base no banco de dados SINAPI. Para o quantitativo foram consideradas as lajes, vigas, pilares, e as fundações (sapatas isoladas).

1.1 Justificativa

Estima-se que o custo de execução da estrutura de edificações corresponde a cerca de 30% do valor total da obra (Santos, 2019). A padronização das características geométricas dos elementos estruturais gera maior produtividade e menor tempo de execução, o que pode levar a diminuição de custos (Polizel, 2018).

Além da diminuição de custos, outra questão importante a ser abordada na concepção estrutural é a compatibilização com o projeto arquitetônico. Cada vez mais os projetos pedem a existência de grandes vãos livres, buscando maior flexibilidade de uso para os ambientes (Pilz *et al.*, 2018).

Como a etapa de execução das superestruturas consome uma parcela significativa do orçamento total de obras de edifícios convencionais, é importante que o projeto estrutural seja eficiente, ou seja, que atenda aos critérios de segurança com o menor custo possível. A hipótese a ser testada neste projeto é que as escolhas iniciais do projeto, relacionadas à concepção estrutural, influenciam no custo final da obra.

2 OBJETIVO

Avaliar o quantitativo de aço, concreto e formas de duas concepções estruturais para um estudo de caso de um edifício residencial. Considerando apenas cargas verticais nas estruturas, calculadas com o modelo de pórticos espaciais formados por vigas e pilares com lajes maciças, e fundações do tipo sapatas isoladas.

2.1 Objetivos específicos

- Elaborar duas concepções estruturais a partir do projeto arquitetônico do estudo de caso;
- Pré-dimensionar lajes, vigas e pilares;
- Aprender os princípios básicos do software Eberick;
- Lançar e dimensionar a estrutura no software Eberick;
- Gerar quantitativos de materiais para cada caso no software Eberick das lajes, vigas, pilares e sapatas;
- Analisar e comparar os quantitativos e custos associados, obtidos em cada uma das concepções estruturais dos estudos de caso.

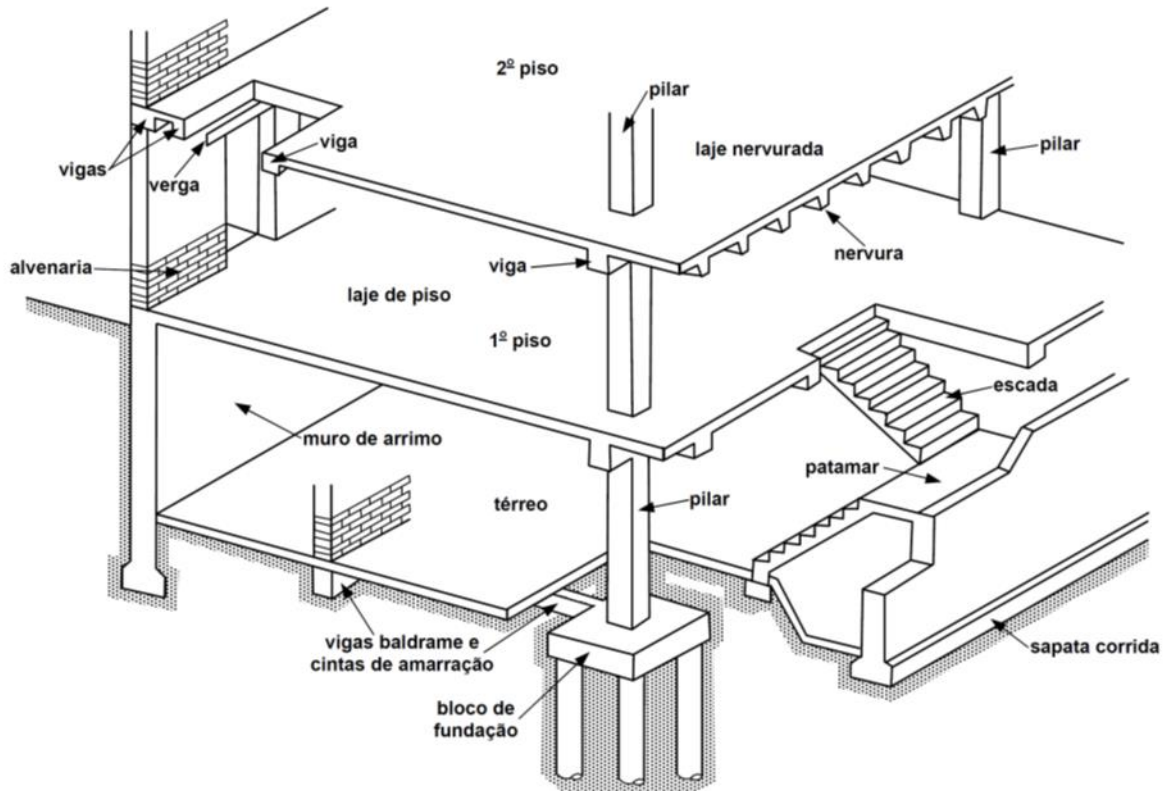
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

No Brasil os projetos de estruturas em concreto armado devem garantir a segurança mínima prevista na NBR 6118:2014 – Projeto de estruturas de concreto – Procedimento (Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, 2014). A Norma Brasileira define os critérios gerais que orientam a elaboração de projetos de estruturas de concreto armado, como edifícios, pontes, obras hidráulicas, portos, entre outros (ABNT, 2014).

3.1 Elementos

Os elementos estruturais podem ser classificados de acordo com sua função estrutural e forma geométrica (Figura 2):

Figura 2 – Principais elementos estruturais de um edifício

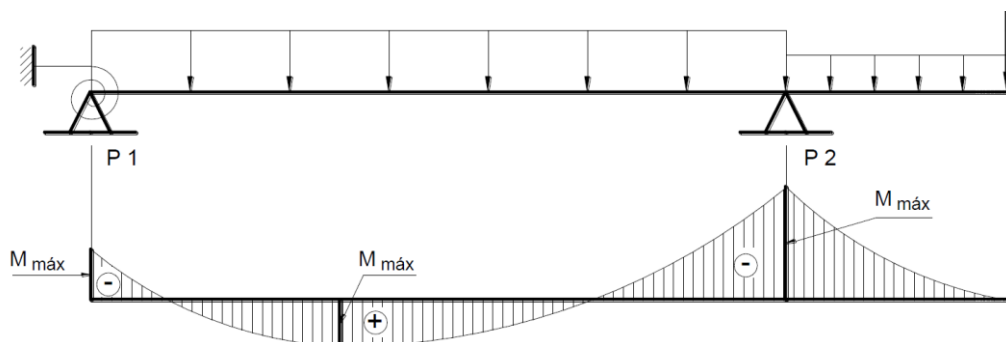


Fonte: (Alva, 2007).

- Elementos lineares: vigas, pilares, tirantes e arcos.

Elementos com o comprimento três vezes superior a maior dimensão da sua seção transversal. Os exemplos de elementos lineares mais conhecidos são as vigas que possuem a função principal de resistir a esforços de flexão e cisalhamento (Figura 3), e os pilares que resistem majoritariamente a esforços normais de compressão (Pinheiro, Muzardo e Santos, 2003a).

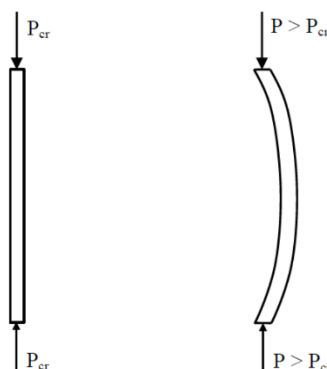
Figura 3 – Exemplo de um esquema estático e diagrama de momentos fletores de uma viga contínua



Fonte: (Bastos, 2020).

A Figura 4 mostra como um pilar sob carga axial sofre flambagem em torno do eixo principal da seção transversal de menor momento de inércia. Para evitar a flambagem, pode-se buscar manter os momentos de inércia em todas as direções, como tubos circulares ou quadrados (Bastos, 2020).

Figura 4 – Flambagem em pilar comprimido



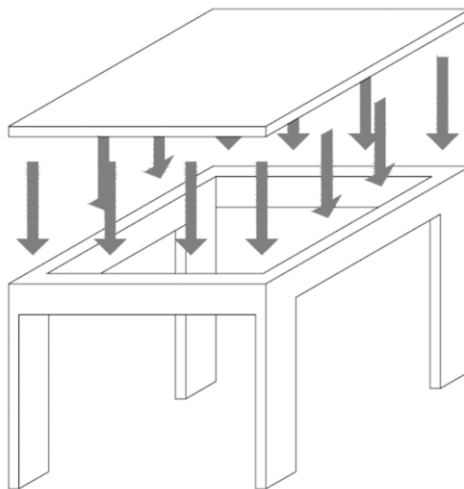
Fonte: (Bastos, 2020).

- Elementos de superfície: placas, chapas, cascas e pilares-parede.

Estes possuem uma das suas dimensões muito inferior as demais. Por exemplo as lajes maciças, que são placas orientadas no plano bidimensional que constituem os pisos dos compartimentos. Devido a sua elevada rigidez, as lajes também distribuem os esforços horizontais de vento entre os elementos de contraventamento (Alva, 2007).

Lajes maciças possuem toda a espessura composta por concreto, contendo armaduras longitudinais de flexão e eventualmente armaduras transversais, e apoiadas em vigas ou paredes ao longo das bordas (Figura 5). Lajes com bordas livres são casos particulares das lajes apoiadas nas bordas (Barboza, 2008). As lajes correspondem a cerca de 50% do total de concreto consumido na edificação (Giongo, 2007).

Figura 5 – Laje maciça apoiada sobre vigas



Fonte: (Barboza, 2008).

Os sistemas estruturais formados por lajes, vigas e pilares são os mais comuns na prática, tanto para as construções de pequeno porte, como casas e sobrados, como as de grande porte, como edifícios de múltiplos pavimentos, escolas e hospitais.

As cargas de utilização das construções geralmente são aplicadas sobre as lajes do pavimento, por onde devem “caminhar” até as bordas para serem transmitidas para as vigas de apoio, geralmente dispostas nas quatro bordas das lajes retangulares ou quadradas. As vigas transmitem aos pilares as ações que nelas atuam diretamente, além daquela proveniente das lajes que estão nela apoiada. Os pilares transmitem os carregamentos verticalmente até as fundações, e estas, por sua vez, ao solo.

A existência de muitas vigas torna a obra mais cara devido à existência de muitas formas recortadas, que aumenta o consumo de madeira e reduz o reaproveitamento. Em contrapartida ao custo ocasionado pela grande quantidade de formas, o maior número de vigas aumenta o número de pórticos, aumentando a rigidez do edifício. O maior número de vigas encurta o caminho que a carga percorre até o solo, possibilitando aplicar elementos de concreto armado mais esbeltos (Barboza, 2008).

Para os edifícios com arquitetura convencional de até 15 pavimentos, é possível adotar um sistema estrutural constituído por lajes maciças, vigas e pilares. Conforme a altura da edificação aumenta além de pórticos é necessário contar com

paredes estruturais com a finalidade de absorver as ações horizontais de vento (Giongo, 2007). A Tabela 1 apresenta uma indicação de sistemas estruturais que se adequam a edifícios de diferentes alturas.

Tabela 1 – Sistemas estruturais para edifícios.

SISTEMA	NÚMERO DE PAVIMENTOS						
	0	20	40	60	80	100	120
Laje plana e pilares	█						
Laje plana, pilares e paredes	█	█					
Treliça interpavimento	█	█					
Pórtico	█	█	█				
Núcleo rígido	█	█	█	█			
Pórtico com reforço diagonal	█	█	█	█	█		
Paredes e pórticos associados	█	█	█	█	█	█	
Treliça passante	█	█	█	█	█	█	█
Tubo externo	█	█	█	█	█	█	█
Tubo externo e núcleo interno	█	█	█	█	█	█	█
Tubos modulares	█	█	█	█	█	█	█
Mega estrutura em tubos treliçados	█	█	█	█	█	█	█

Fonte: (Giongo, 2007).

– Fundações diretas

De acordo com a NBR 6122:2019, é o elemento de fundação em que a carga é transmitida ao terreno pelas tensões distribuídas sob a base da fundação, e a profundidade de assentamento em relação ao terreno adjacente à fundação é inferior a duas vezes a menor dimensão da fundação.

Sapatas

Segundo a NBR 6122:2019, as sapatas são elementos de fundação superficial, de concreto armado, dimensionadas de modo que as tensões de tração resultantes sejam resistidas pelo emprego de armadura especialmente disposta para esse fim.

A sapata isolada é um dos tipos mais simples de fundação superficial. Ela é dimensionada para suportar a carga de um pilar e pode se apresentar em formato retangular, quadrado, circular, entre outros, pois são moldadas in loco. A sapata isolada é construída em concreto armado e as armaduras são responsáveis por suportar os possíveis esforços de tração e flexão.

Figura 6 – Sapata isolada



Fonte: <https://cimentomontesclaros.com.br/sapata-isolada/>

As sapatas podem ser subdivididas em rígidas e flexíveis. De acordo com a NBR 6118:2014, quando se verifica a expressão a seguir, nas duas direções, a sapata é considerada rígida. Caso contrário, a sapata é considerada flexível.

$$h \geq \frac{(a - a_p)}{3} \quad \text{Eq. 1}$$

Onde:

h – é a altura da sapata;

a – é a dimensão da sapata em uma determinada direção;

a_p – é a dimensão do pilar na mesma direção.

– Fundações indiretas

Fundações indiretas são elementos que transmitem a carga ao terreno ou pela base (resistência de ponta) ou por sua superfície lateral (resistência de fuste) ou por uma combinação das duas, devendo sua ponta ou base estar assentada em profundidade superior ao dobro de sua menor dimensão em planta, e no mínimo 3 m (ABNT, 2019).

Estacas

Um tipo de fundação indireta é a estaca. As estacas podem ser reunidas em dois grupos: As pré-moldadas e as moldadas in loco.

As fundações profundas são muito utilizadas em obras de grande porte por possuírem uma maior capacidade de carga e funcionarem também em solos de baixa resistência. Nas fundações profundas, o elemento de fundação transmite a carga ao solo pela base (resistência de ponta), e por sua face perimetral (resistência de fuste) ou por ambos, sendo aplicada a profundidade superior ao dobro de sua menor dimensão em planta, a norma salienta o mínimo de 3 metros (Sousa e Souza, 2016).

A NBR 6122:2019, define que as estacas pré-moldadas de concreto são constituídas de segmentos de concreto pré-moldados ou pré-fabricados e introduzidos no terreno por golpes de martelo de gravidade, de explosão, hidráulico ou vibratório (Figura 7).

Figura 7 – Cravação de estaca pré-moldada



Fonte: <https://sotef.com.br/>

Um método comumente empregado para dimensionar a carga admissível das estacas é o método de Aoki-Velloso. Por este método a capacidade de carga é dada pela soma da Resistência de Ponta (P_p) com a Resistência do Atrito Lateral (P_l):

$$P_p = A_p * \frac{K * N_{SPT}}{F_1} \quad e \quad P_L = \sum A_L * \frac{\alpha * K * N_{SPT}}{F_2} \quad \text{Eq. 2}$$

Onde:

A_p – é a área da base da estaca;

A_L – é a área lateral ao longo de todo o comprimento da estaca;

K e α – são valores tabelados que variam de acordo com a natureza do solo;

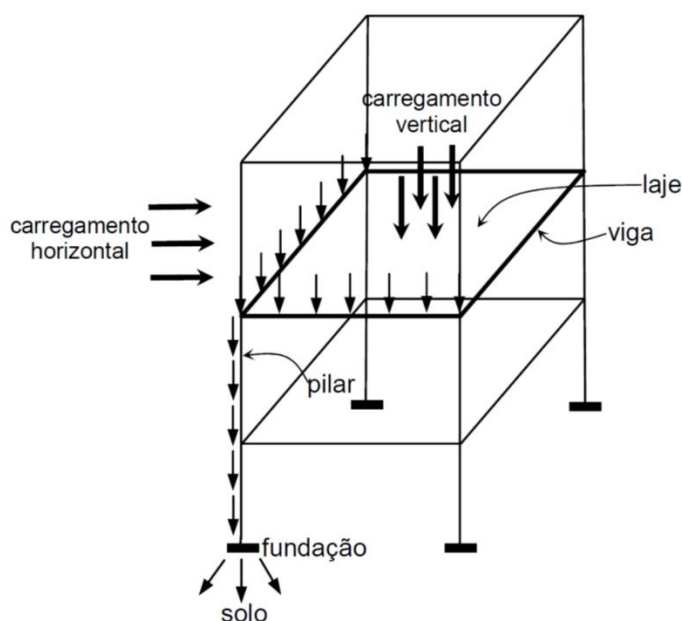
F_1 e F_2 – são valores tabelados que variam de acordo com o tipo de estaca;

A avaliação deve ser feita a cada metro, ou então considerando a espessura total de uma mesma camada de solo. A resistência lateral é cumulativa, enquanto a de ponta é referente apenas à camada em que se encontra. A resistência da ponta não pode ser considerada superior ao acumulado da resistência lateral. No caso do resultado $PP > PL$, deve-se adotar para PP o mesmo valor de PL . O coeficiente de segurança utilizado neste método é aplicado na capacidade de carga final ($CS = 2$).

3.2 Esforços, estados limites, e combinações

O sistema estrutural de concreto armado convencional distribui os esforços da edificação através das lajes, vigas e pilares. A laje transfere as cargas do piso para as vigas de apoio. As vigas transferem para os pilares o peso da parede apoiada diretamente sobre ela e as reações das lajes. Finalmente os pilares transferem as cargas para as fundações, que irão descarregar-las no solo (Pinheiro, Muzardo e Santos, 2003a) (Figura 8).

Figura 8 – Fluxo das ações nos elementos estruturais em edifícios



Fonte: (Alva, 2007).

O conceito de estado limite de estruturas de concreto armado é utilizado para definir a qualidade do projeto, a fim de que seja garantido a segurança, bom desempenho em serviço e durabilidade prevista da estrutura (Araújo, 2010). Existem duas categorias de estado limite: estado limite último e estado limite de serviço.

O estado limite último (ELU) está relacionado ao colapso da estrutura. Exemplos desta situação incluem formação de rótulas plásticas, momentos solicitantes excessivos, esmagamento de bielas comprimidas no concreto, perda de estabilidade, escoamento de armaduras, entre outros (Oliveira, 2017).

O estado limite de serviço (ELS), está relacionado com o conforto do usuário e aspectos visuais dos elementos estruturais. O ELS delimita as deformações máximas da edificação através de deslocamentos excessivos, vibrações excessivas, deformações permanentes, abertura de fissuras e fadiga (Oliveira, 2017).

As ações que atuam como esforços solicitando a resistência da estrutura podem ser classificadas como do tipo permanente, variável ou excepcional (ABNT, 2003). As ações permanentes diretas correspondem ao peso próprio da estrutura, elementos de construção. As ações variáveis são as cargas acidentais, como o peso das pessoas, móveis, veículos, entre outros. Além dos efeitos do vento, variação de

temperatura, e as pressões hidrostáticas e hidrodinâmicas. Já as ações excepcionais têm duração curta e pequena probabilidade de ocorrência, como explosões, choques de veículos, incêndios, enchentes e sismos.

Os principais carregamentos a serem considerados no dimensionamento da estrutura de acordo com a NBR 6120:2019 são:

- As cargas permanentes são compostas pelo peso próprio dos elementos estruturais e das instalações construtivas permanentes, como paredes e divisórias. Os pesos específicos aparentes de alguns dos materiais da construção civil comumente utilizados encontram-se na Tabela 2.

Tabela 2 – Peso específico dos materiais de construção.

Materiais	Peso específico aparente (kN/m³)
Basalto	30
Granito	28
Mármore	28
Lajotas cerâmicas	18
Tijolos furados	13
Tijolos maciços	18
Argamassa de cal, cimento e areia	19
Argamassa de cimento e areia	21
Concreto simples	24
Concreto armado	25
Aço	78,5

Fonte: (ABNT, 2019).

- Carga acidental: aquela em que não se consegue estimar sua posição fixa na edificação e que atuam em relação ao seu uso, como pessoas, veículos e móveis (Tabela 3).

Tabela 3 – Valores mínimos das cargas verticais.

Local de ação das cargas		Carga (kN/m ²)
Casas de máquinas	Incluindo o peso das máquinas, com o valor mínimo	7,5
Corredores	Com acesso ao público	3
	Sem acesso ao público	2
Edifícios residenciais	Dormitórios, sala, copa, cozinha e banheiro	1,5
	Despensa, área de serviço e lavanderia	2
Escadas	Com acesso ao público	3
	Sem acesso ao público	2,5
Escritórios	Salas de uso geral e banheiro	2
Galerias de lojas e galerias de arte	A ser determinada em cada caso, porém com o valor mínimo	3
Garagens e estacionamentos	Para veículos de passageiros ou semelhantes com carga máxima de 25 kN por veículo.	3
Laboratórios	Incluindo equipamentos, com o valor mínimo	3
Lavanderias	Incluindo equipamentos	3
Terraços	Sem acesso ao público	2
	Com acesso ao público	3
	Inacessível a pessoas	0,5

Fonte: (ABNT, 2019).

- Carga de vento: Para o estudo dos carregamentos provocados pela ação do vento na estrutura, a NBR 6123:1988 recomenda levar em consideração características sobre o terreno em que a estrutura está inserida, como o fator topográfico do relevo, a rugosidade do terreno, bem como os aspectos da estrutura como suas dimensões e sua finalidade (para ciência do grau de segurança requerido) (ABNT, 1988).

Um carregamento é definido pela combinação de ações que tem a probabilidade de ocorrerem simultaneamente na estrutura. Diversas combinações devem ser avaliadas a fim de identificar a situação mais desfavorável para a estrutura. Na NBR 6118:2014 recomenda-se majorar os esforços atuantes nos elementos estruturais através do coeficiente γ_f (Tabela 4), transformando o esforço característico em esforço de cálculo (ABNT, 2014).

Tabela 4 – Coeficiente de majoração de esforços γ_f .

Combinações de ações	Ações							
	Permanentes (g)		Variáveis (q)		Protensão (p)		Recalques de apoio e retração	
	D	F	G	T	D	F	D	F
Normais	1,4 ¹	1,0	1,4	1,2	1,2	0,9	1,2	0,0
Especiais ou de construção	1,3	1,0	1,2	1,0	1,2	0,9	1,2	0,0
Excepcionais	1,2	1,0	1,0	0,0	1,2	0,9	0,0	0,0

Onde
D é desfavorável, F é favorável, G representa as cargas variáveis em geral e T é a temperatura.

¹ Para as cargas permanentes de pequena variabilidade, como o peso próprio das estruturas, especialmente as pré-moldadas, esse coeficiente pode ser reduzido para 1,3.

Fonte: (ABNT, 2014).

Em cada combinação devem ser consideradas as ações permanentes, a ação variável principal, admitindo-se que ela atue com seu valor característico e as demais ações variáveis secundárias, admitindo-se que elas atuem com seus valores reduzidos de combinação. A combinação normal para o estado limite último de esgotamento da capacidade resistente para elementos estruturais de concreto armado, é definida pela equação 3, todos os coeficientes podem ser encontrados na seção 11 da NBR 6118:2014 (ABNT, 2014).

$$F_d = \gamma_g * F_{gk} + \gamma_{eg} * F_{egk} + \gamma_q * (F_{q1k} + \sum \Psi_{oj} * F_{qjk}) + \gamma_{eq} * \Psi_{oe} * F_{eqk} \quad \text{Eq. 3}$$

Onde:

F_d – é o valor de cálculo das ações para combinação última;

F_{gk} – Representa as ações permanentes diretas;

F_{ek} – Representa as ações indiretas permanentes como a retração (F_{egk}) e variáveis como a temperatura (F_{eqk});

F_{qk} – Representa as ações variáveis diretas das quais F_{q1k} é escolhida principal;

γ_g – Coeficiente de ponderação das ações permanentes no ELU;

γ_q – Coeficiente de ponderação das ações variáveis no ELU;

Ψ_o – Coeficiente redutor das ações variáveis secundárias, sendo que Ψ_{oe} corresponde à retração e temperatura.

O cobrimento nominal da armadura nos elementos estruturais depende da classe de agressividade ambiental (CAA) (Tabela 5 e Tabela 6).

Tabela 5 – Classes de agressividade ambiental.

CAA	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fraca	Rural	Insignificante
		Submersa	
II	Moderada	Urbana	Pequeno
III	Forte	Marinha	Grande
		Industrial	
IV	Muito forte	Industrial	Muito grande
		Respingos de maré	

Fonte: (ABNT, 2014).

Tabela 6 – Cobrimento nominal para estrutura de concreto armado.

Elemento	CAA I	CAA II	CAA III	CAA IV
	Cobrimento nominal (mm)			
Laje	20	25	35	45
Viga / Pilar	25	30	40	50

Fonte: (ABNT, 2014).

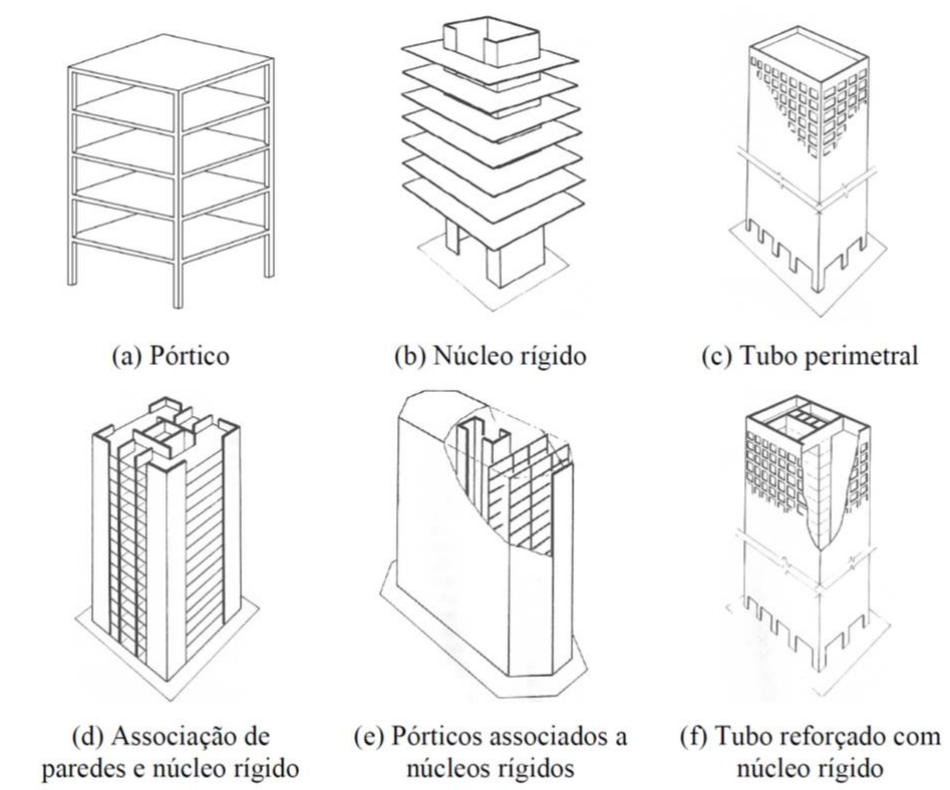
3.3 Concepção e lançamento de estruturas

A concepção da estrutura de um edifício consiste no estabelecimento de um arranjo dos diversos elementos estruturais existentes e definição das ações a serem consideradas, com o objetivo de atender simultaneamente os requisitos de segurança, durabilidade, estética, funcionalidade, entre outras especificações que as construções devem apresentar. Esta etapa é influenciada pela experiência do profissional, entretanto existem teorias que podem ser seguidas para projetar um sistema estrutural eficiente (Rebello, 2000).

A concepção estrutural pode partir de diversas abordagens, dependendo do porte do edifício ou daquilo que se pretende priorizar, como vãos livres, enrijecimento, economia, estética, entre outros. Portanto a ordem de posicionamento dos elementos pode ter início pelos pilares, seguindo com as vigas; ou, pode partir dos vãos que se pretende adotar para as lajes e fazer o caminho inverso (Pereira Filho, 2019).

Em edificações de múltiplos pavimentos é preciso garantir a estabilidade da estrutura. Para isso, os sistemas mais utilizados são os pórticos (formados por pilares e vigas), sistemas de núcleos rígidos, pilares-parede, pilares perimetrais, e os sistemas treliçados (Pereira Filho, 2019) (Figura 9).

Figura 9 – Exemplos de sistemas estruturais em concreto armado

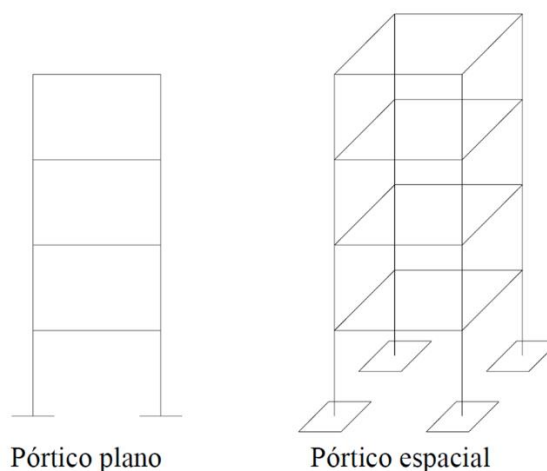


Fonte: (Silva, 2014).

3.3.1 Modelo de pórticos espaciais

Um dos sistemas estruturais mais eficazes para edifícios são os pórticos, pois distribuem de forma eficiente os esforços aos quais a estrutura está submetida (Figura 10). Quando avaliados em associação com as lajes, também apresentam boa resistência às ações horizontais devido a sua forma geométrica (Silva, 2014).

Figura 10 – Modelo estrutural de pórtico plano e espacial

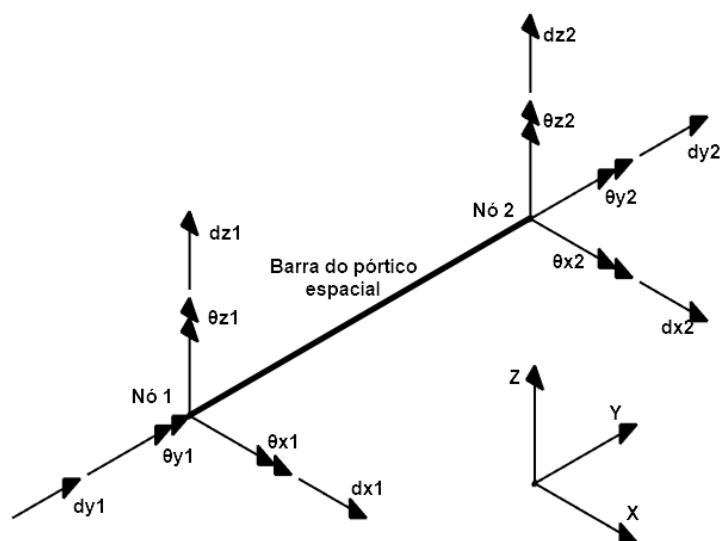


Fonte: (Vianna, 2006).

O modelo de pórtico espacial possibilita a análise estrutural dos elementos da estrutura em um plano tridimensional, permitindo a análise de lajes, vigas e pilares, ao mesmo tempo. Isso permite que esta análise seja mais realista, admitindo simultaneamente a influência das ações horizontais e verticais em todos os elementos estruturais (Vianna, 2006).

Por se tratar de um modelo espacial, cada nó entre os elementos lineares possui seis graus de liberdade: três translações (nas direções x , y e z) e três rotações (em torno dos eixos x , y e z) (Figura 11). Os graus de liberdade possibilitam a obtenção dos esforços (força normal, força cortante e momento fletor) em cada barra do pórtico.

Figura 11 – Graus de liberdade de um nó de pórtico espacial

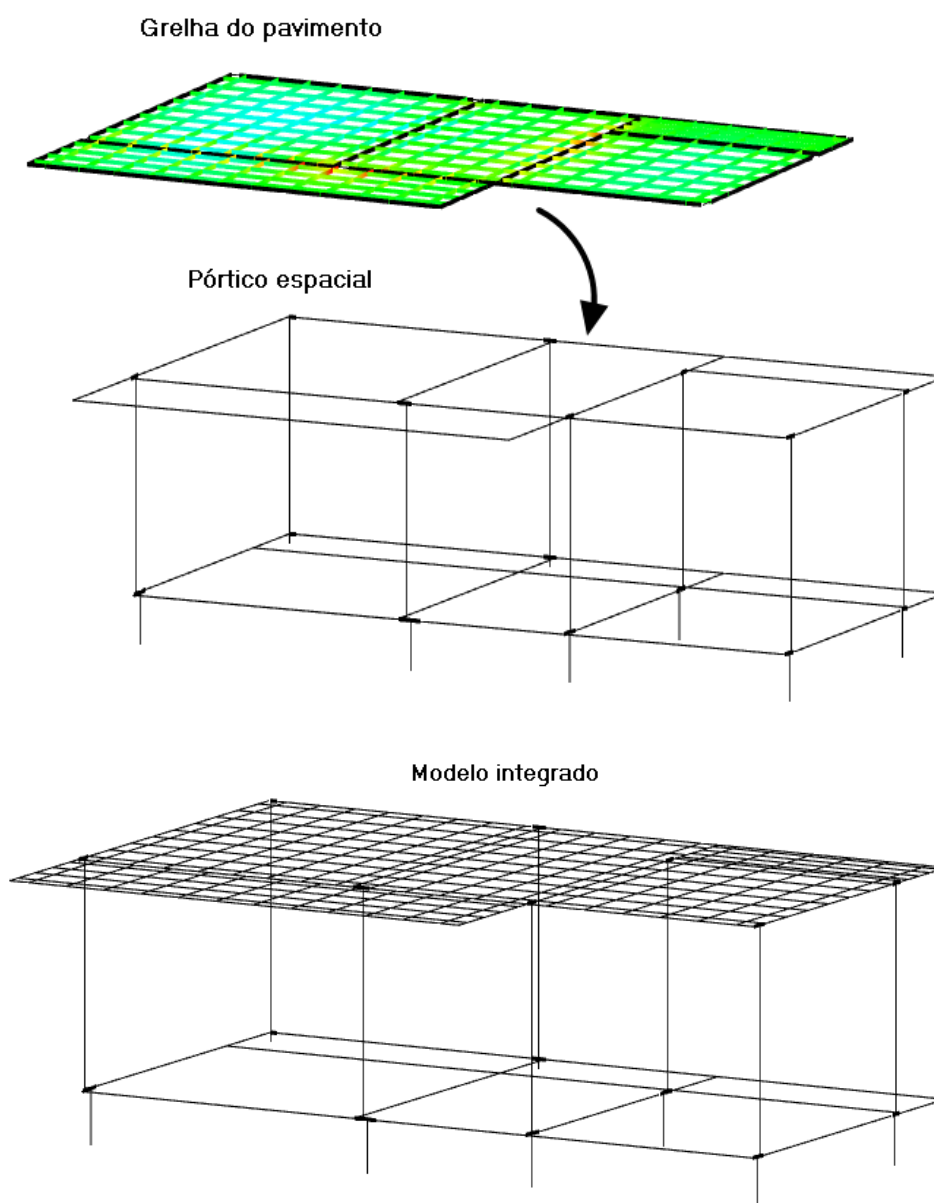


Fonte: <https://suporte.altoqi.com.br/>

As ações horizontais são recebidas pelos elementos de fechamento e transmitidas para os elementos do pórtico (vigas e pilares). As lajes compatibilizam os efeitos, fazendo com que as ações sejam distribuídas por todas as barras e nós contidos em seu plano.

Um modelo muito utilizado na análise de edifícios de concreto armado é a combinação de grelha do pavimento com o modelo de pórtico espacial. O modelo de grelha do pavimento é utilizado para o cálculo dos esforços e deslocamentos no pavimento, sem levar em conta as ações horizontais (Figura 12). Dessa forma, obtêm-se as ações verticais sobre as vigas e a interação do pavimento com o restante da estrutura. Após o cálculo dos esforços do pavimento, analisa-se a estrutura de forma global pelo modelo de pórtico espacial, onde são consideradas as ações verticais sobre as vigas e as ações horizontais (Barboza, 2008).

Figura 12 – Modelo de pórtico espacial com cargas da laje como grelha do pavimento e como um modelo integrado



Fonte: <https://suporte.altoqi.com.br/>

3.3.2 Lançamento da estrutura

O conjunto da estrutura deve atender tanto quanto possível a forma, a estética, e as condições impostas pelo projeto arquitetônico. Deve-se procurar embutir as vigas e os pilares nas paredes de alvenaria de vedação. Em edifícios com garagens o posicionamento dos pilares deve ser feito cuidadosamente

buscando possibilitar o maior número possível de vagas e facilitar o fluxo dos veículos (Rebello, 2000).

Pinheiro, Muzardo e Santos (2003) sugerem que os primeiros elementos estruturais a serem lançados nos projetos sejam os pilares de canto, seguidos dos pilares comuns a todos os pavimentos, e então, posiciona-se os pilares de extremidades e internos. Sempre que possível é interessante que os pilares sejam alinhados, a fim de formarem pórticos que contribuem para a estabilidade global do edifício.

No caso de edifícios multipavimentos, deve-se iniciar o lançamento dos pilares no pavimento-tipo e posteriormente readequá-los para os outros pavimentos caso haja interferências (Pinheiro, Muzardo e Santos, 2003a).

Além disso, os pilares deverão ser dispostos com distâncias de eixo a eixo entre 4 m e 6 m, pois distâncias maiores que 6 m geram vigas com dimensões elevadas, o que acarreta maior custo à obra. Enquanto que pilares com distância menor que 4 m geram maior consumo de materiais e mão-de-obra, e problemas no projeto de fundações (Giongo, 2007).

Com os pilares posicionados, os próximos elementos a serem lançados nos pavimentos são as vigas. Além das vigas necessárias para ligarem os pilares formando pórticos, pode-se fazer necessário outras posições de vigas. Estas vigas têm a função de dividir um painel de laje com grandes vãos, ou suportar uma parede divisória prevista pelo projeto arquitetônico, para que esta não se apoie diretamente na laje. Por questões econômicas, as vigas devem ser dispostas formando panos de laje cuja menor dimensão tenha entre 3 m e 5 m (Pinheiro, Muzardo e Santos, 2003a).

A transmissão das cargas deve ser feita de forma mais direta possível, pelo caminho mais curto. Deve-se evitar, sempre que possível, transmitir as cargas de vigas sobre outras vigas (apoios indiretos), e apoio de pilares sobre vigas (chamadas vigas de transição) (Rebello, 2000).

3.4 Pré-dimensionamento

Fazer o pré-dimensionamento de uma estrutura de concreto armado possibilita ter uma estimativa inicial das dimensões das seções transversais dos elementos estruturais, obtendo assim dados mais precisos para o lançamento

destes (Colluci, 2019). Para fazer o pré-dimensionamento, podem ser utilizados modelos de cálculos simplificados, conforme será apresentado na sequência.

De acordo com Pinheiro, Muzardo e Santos (2003b), o pré-dimensionamento pode ser calculado através do seguinte roteiro:

A espessura das lajes pode ser obtida com a equação 4:

$$h = d + \frac{\varnothing}{2} + c \quad \text{Eq. 4}$$

d - altura útil da laje

\varnothing - diâmetro das barras

c - cobertura nominal da armadura

Para lajes com bordas apoiadas ou engastadas, a altura útil pode ser estimada equação 5:

$$d_{est} = \frac{(2,5 - 0,1 * n) * l^*}{100} \quad \text{Eq. 5}$$

$$l^* \leq \begin{cases} l_x \\ 0,7 * l_y \end{cases}$$

n - número de bordas engastadas

l_x - menor vão

l_y - maior vão

A NBR 6118:2014 define as espessuras mínimas de lajes maciças em:

- 5 cm para lajes de cobertura não em balanço;
- 7 cm para lajes de piso ou de cobertura em balanço;
- 10 cm para lajes que suportem veículos de peso total menor ou igual a 30 kN;
- 12 cm para lajes que suportem veículos de peso total maior que 30 kN.

Para elementos com parede apoiada sobre a laje foi considerado um acréscimo de 25 % na espessura estimada.

O pré-dimensionamento das vigas pode ser dado por:

- Tramos internos (equação 6):

$$h_{est} = \frac{l_0}{12} \quad \text{Eq. 6}$$

- Tramos externos ou vigas bi-apoiadas (equação 7):

$$h_{est} = \frac{l_0}{10} \quad \text{Eq. 7}$$

- Vigas em balanço (equação 8)

$$h_{est} = \frac{l_0}{5} \quad \text{Eq. 8}$$

l_0 – distância entre pilares

O pré-dimensionamento dos pilares inicia-se estimando sua carga através das áreas de influência. Este processo consiste em dividir a área total do pavimento em áreas de influência, relativas a cada pilar e, a partir daí, estimar a carga que eles irão absorver.

As áreas de influência são aquelas que, quando carregadas, influem nas forças de projeto de um determinado elemento da estrutura. A defini

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:

$\alpha = 1,3$ - pilares internos ou de extremidade, na direção da maior dimensão;

$\alpha = 1,5$ - pilares de extremidade, na direção da menor dimensão;

$\alpha = 1,8$ - pilares de canto.

A seção abaixo do primeiro andar-tipo é estimada, então, considerando-se compressão simples com carga majorada pelo coeficiente α (equação 9).

$$A_c = \frac{30 * \alpha * A * (n + 0,7)}{f_{ck} + 0,01 * (69,2 - f_{ck})} \quad \text{Eq. 9}$$

$A_c = b * h$ - área da seção de concreto (cm²);

α - coeficiente que leva em conta as excentricidades da carga;

A - área de influência do pilar (m²);

n - número de pavimentos-tipo;

$(n+0,7)$ - número que considera a cobertura, com carga estimada em 70% da relativa ao pavimento-tipo;

f_{ck} - resistência característica do concreto (kN/cm²).

3.5 Software de dimensionamento estrutural

A análise estrutural é a etapa do cálculo de uma estrutura em que é feita uma previsão do comportamento da estrutura concebida (Oliveira, 2008). A concepção e o dimensionamento são processos iterativos entre cálculos e reavaliação do lançamento estrutural, que buscam encontrar a concepção estrutural mais eficaz (Polizel, 2018). Os softwares facilitam a obtenção dos resultados, otimizam o tempo e evitam simplificações de cálculo na realização de um projeto estrutural (França Júnior, 2015).

O software Eberick, da empresa AltoQI, sediada em Florianópolis – Santa Catarina, é um programa de análise e detalhamento de estruturas de concreto armado e é, atualmente, um dos programas mais utilizados nos escritórios de cálculo no Brasil (Carneiro, 2007). O AltoQI Eberick possui um sistema gráfico de entrada de dados, associado à análise da estrutura através de um modelo de pórtico espacial e a diversos recursos de dimensionamento e detalhamento dos elementos estruturais, como lajes, vigas, pilares, blocos sobre estacas e sapatas (Koerich *et al.*, [s.d.]).

O Eberick verifica os elementos para o Estado Limite Último e de Serviço (ELU e ELS), de acordo com as normas brasileiras. Fornecendo resultados de dimensionamento, esforços e os resultados de armadura. (ALTOQI, 2020).

De acordo com o Tutorial Básico do AltoQI Eberick (Koerich *et al.*, [s.d.]), a estrutura da edificação é definida no software através de pavimentos, que representam os diferentes níveis existentes no projeto arquitetônico. O lançamento dos elementos é feito de forma gráfica, diretamente sobre a planta arquitetônica, permitindo definir diversas hipóteses na análise do modelo. O modelo estrutural de cada pavimento é associado a uma arquitetura importada em formato DWG/DXF.

O programa possibilita a visualização da estrutura em 3D e os resultados são fornecidos através de janelas de dimensionamento em forma de planilha. O detalhamento dos elementos segue as diretrizes da NBR 6118:2014.

É possível definir vínculos entre elementos estruturais, através de rótulas, engastes e nós semirrígidos. Para a ligação entre vigas e pilares, por exemplo, é possível definir nós semirrígidos, liberar vinculações e reduzir a torção. Para as lajes, pode-se definir a existência de engastamento (continuidade) entre lajes adjacentes ou mantê-las simplesmente apoiadas nos bordos.

Através das configurações são definidos os processos de análise, as propriedades dos materiais, as ações, os coeficientes de ponderação das ações e as combinações últimas e de serviço, e casos de carregamentos

O programa permite calcular lajes em formato não retangular, considerando sua rigidez real, através de um modelo de grelha. As vigas e os pilares da edificação constituem um sistema reticulado de pórtico espacial, do qual se obtém os esforços internos resultantes, que são utilizados para o dimensionamento dos elementos estruturais.

O tutorial do programa descreve o processo de análise das lajes por grelhas isoladas como sendo um processo simplificado, em que cada uma das lajes é discretizada em forma de grelha e calculada isoladamente, considerando-se as vigas como apoios ideais (indeformáveis). Assim, o processo de grelha isolada não leva em consideração a deformação dos apoios.

Lajes usuais em edifícios, submetidas a cargas uniformemente distribuídas, normalmente não necessitam de armadura de cisalhamento. O Eberick detecta a situação em que a tensão de cisalhamento máxima pode ser resistida pelas lajes sem a necessidade de armadura transversal (de acordo com a NBR6118:2003), porém não calcula ou detalha lajes com estribos.

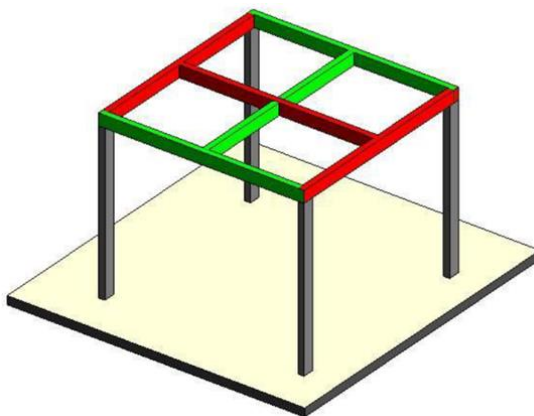
O instituto Federal de Santa Catarina, Campus Florianópolis, possui licença de uso do software de engenharia Eberick V11 Basic. A licença permite aplicação em estruturas de até 5 pavimentos, 8.000 m² de área e 120 elementos por pavimento.

4 METODOLOGIA

Para avaliar a influência da concepção estrutural no orçamento da obra foram elaboradas duas concepções estruturais. As duas concepções empregam diferentes números de pilares em cada caso, um com o mínimo de pilares na

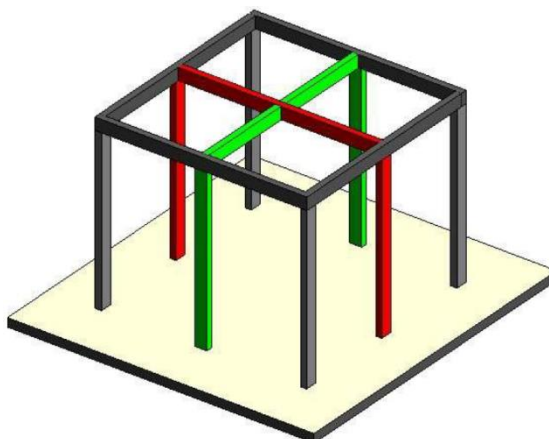
edificação e conseqüentemente um máximo de vigas apoiadas em vigas (Figura 13), o outro caso com maior número de pilares (Figura 14).

Figura 13 – Exemplo da concepção com mínimo de pilares, máximo de vigas apoiadas em vigas



Fonte: (Polizel, 2018).

Figura 14 – Exemplo da concepção com todas as vigas apoiadas em pilares



Fonte:(Polizel, 2018).

Cada alternativa elaborada foi dimensionada e detalhada com auxílio do software Eberick. Após o dimensionamento, foram geradas planilhas com quantitativos de materiais para avaliar o custo de cada concepção.

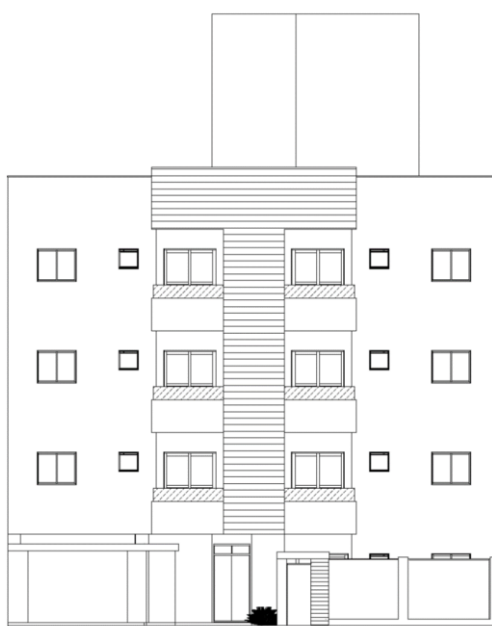
4.1 Estudo de caso

- Edifício Residencial Multifamiliar¹ (Figura 15 e Figura 16):

¹ Projeto arquitetônico disponibilizados pela Attitude Engenharia e Consultoria LTDA. <<http://www.attitudeengenharia.com>>

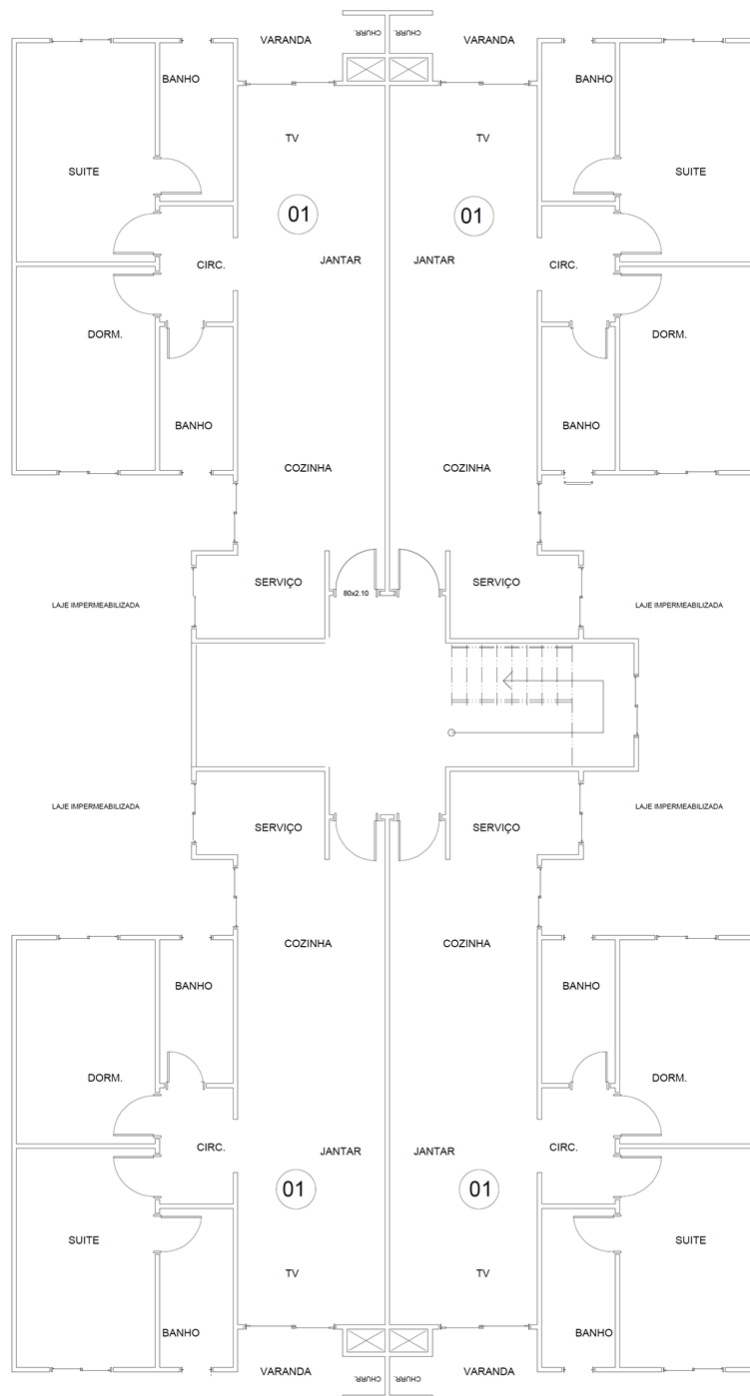
- Área total do empreendimento 1.376,00 m².
- Área do pavimento térreo/garagem = 373,00 m².
- O 1º, 2º e 3º pavimento possuem 4 apartamentos idênticos e simétricos, de 77 m² cada.
- Área do 1º, 2º e 3º pavimento = 330,00 m² cada.
- Área da cobertura = 13,00 m².

Figura 15 – Vista do edifício residencial



Fonte: a autora.

Figura 16 – Planta do pavimento tipo do edifício residencial



Fonte: a autora.

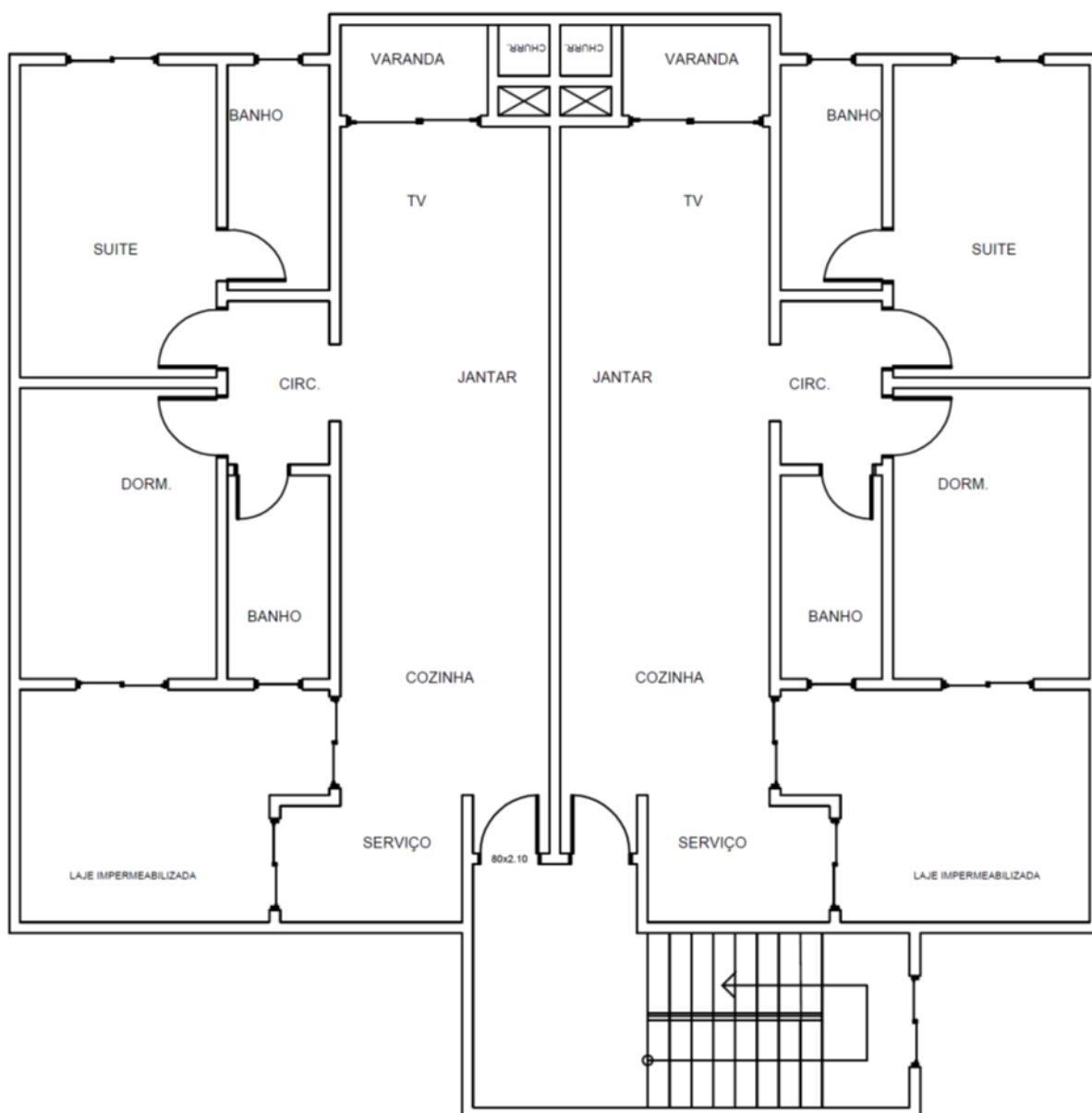
Por limitações da licença do software de dimensionamento estrutural, o estudo de caso de quantitativo de material foi baseada na análise de uma adaptação do edifício apresentado anteriormente. Quando utilizado a dimensão total do edifício, resultou em um número de elementos por pavimento superior a 120, que é o limite

permitido para inserir no programa com a licença do Instituto Federal de Santa Catarina.

Por esse motivo o presente estudo considerou metade do prédio nas análises. A adaptação do projeto não permite que o quantitativo de material seja replicado para a outra metade do edifício não analisada no dimensionamento. Isso porque o comportamento da estrutura não é linear. Portanto as características do edifício adaptado são as seguintes (Figura 17):

- Área total do empreendimento 985 m².
- O pavimento térreo possui um apartamento e área comum e os 1º, 2º e 3º pavimento possuem 2 apartamentos idênticos e simétricos, de 77 m² cada.
- Área de cada pavimento 197 m².

Figura 17 – Planta do pavimento tipo do edifício residencial adaptado



Fonte: a autora.

4.2 Lançamento e pré-dimensionamento das estruturas

O lançamento dos elementos estruturais e o pré-dimensionamento foram realizadas seguindo as recomendações apresentadas no trabalho de Pinheiro, Muzardo e Santos (2003b).

4.2.1 Pré-dimensionamento das lajes

Foram consideradas lajes maciças em todo o projeto. O pré-dimensionamento foi feito conforme as diretrizes apresentadas no item 3.4.

considerando um cobrimento de 3 cm, barras de aço de 12 mm e todas as bordas engastadas.

4.2.2 Pré-dimensionamento das vigas

Considerando que todas as vigas do pórtico são bi-apoiadas, a altura h foi definida dividindo-se o vão livre por 10 ($L/10$), padronizando as alturas em valores múltiplos de 5. A largura b_w definida com base na NBR 6118:2014 e seção transversal dos pilares.

4.2.3 Pré-dimensionamento dos pilares

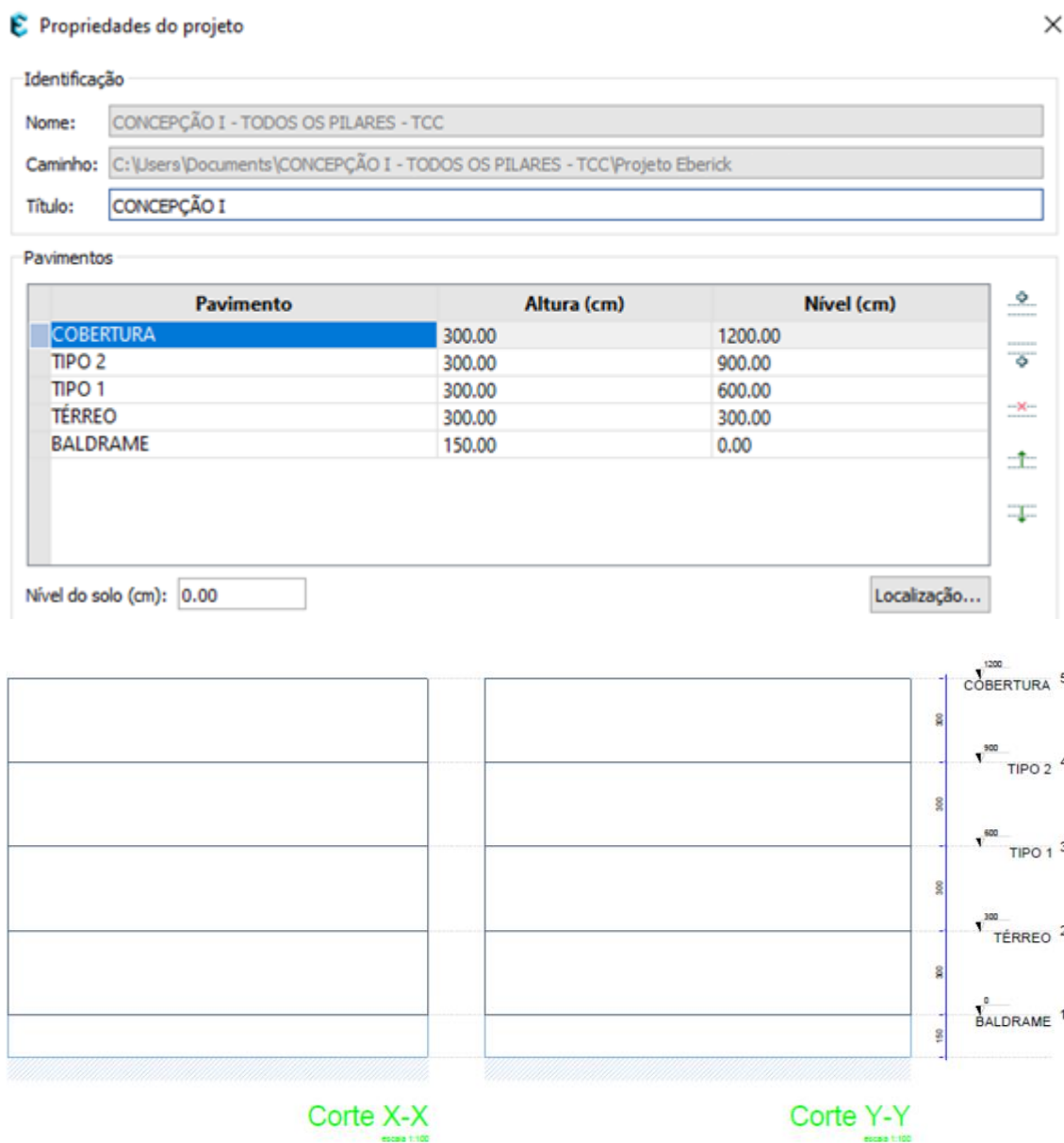
Para o dimensionamento dos pilares, primeiramente foi realizado o levantamento das áreas de influência de cada pilar, seguindo o processo de Pinheiro, Muzardo e Santos (2003b), chegando-se à área de concreto através da equação 9.

Foi necessário realizar mais de uma verificação para atender a NBR 6118:2014, quanto à seção transversal mínima dos pilares.

4.3 Dimensionamento da estrutura

No software, o lançamento e dimensionamento das estruturas foram realizados com base nas instruções do manual do usuário do software Eberick e no Tutorial Básico do AltoQI Eberick. Para lançar a estrutura, primeiramente foi definida a distância entre o nível do primeiro pavimento e a cota de assentamento da fundação, e o nível dos demais pavimentos (Figura 18 e Figura 19).

Figura 18 – Início do projeto no software de dimensionamento estrutural



Fonte: a autora.

Figura 19 – Definição das unidades de medidas adotadas no projeto

Sistema

Unidades de medida

Cargas		Reações	
Concentrada	kN	Concentrada	kN
Distribuída linear	kN/m	Distribuída linear	kN/m
Distribuída por área	kN/m ²	Distribuída por	kN/m ²
Pressão e tensão		Momento	
Pressão admissível e coesão	MPa	Comprimento	kN.m
Coeficiente de recalque	kN/m ²	Seção	cm
Peso específico	kN/m ³	Armadura	mm

SI MK*S Sist. Europeu Sist. Inglês

Fonte: a autora.

4.3.1 Escolha e propriedades dos materiais

Primeiramente foram definidas as resistências dos materiais a serem utilizados na estrutura. Para projetos em concreto armado, é necessário definir o local de construção para a simulação e análise, e assim aplicar os critérios da NBR 6118:2014.

Utilizando o bairro centro da cidade de Florianópolis para simular a execução do projeto, a NBR 6118:2014 define que a classe de agressividade ambiental é moderada, classificada como CAA II, desde que o edifício seja revestido com argamassa e pintura. Com base nessa informação, a classe de concreto escolhida foi C25, concreto com resistência característica $f_{ck} = 25$ MPa aos 28 dias de idade. Sendo considerado $\alpha E = 1,0$ para granito e gnaiss, agregado do concreto (Figura 20 e Figura 21).

Figura 20 – Configurações do projeto – classe de agressividade ambiental

Materiais e durabilidade

Aplicação
 Projeto inteiro
 Por pavimento

Pavimento
 COBERTURA
 TIPO 2
 TIPO 1
 TERREO
 BALCÃO

Avisos
 Todas as informações estão definidas corretamente
 Detalhes...

Geral
 Classe de agressividade: II (moderada) ...
 Dimensão do agregado: 19 mm
 Controle rigoroso nas dimensões dos elementos
 Considerar redução no cobrimento para peças com fck acima do requerido para a classe de agressividade

Abertura máxima das fissuras
 Contato com o solo: 0.2 mm
 Contato com a água: 0.1 mm
 Demais peças: 0.3 mm
 Combinações: Frequentes

Elementos	Concreto	Cobrimento (peças externas)	Cobrimento (peças internas)	Cobrimento (contato com o solo)	
Vigas	C-25	3 cm	3 cm	3 cm	Bitolas...
Pilares	C-25	3 cm	3 cm	4.5 cm	Bitolas...
Lajes	C-25	2.5 cm		3 cm	Bitolas...
Reservatórios	C-30	3.5 cm			Bitolas...
Blocos	C-30			4.5 cm	Bitolas...
Sapatas	C-30			4.5 cm	Bitolas...
Tubulões	C-40			4.5 cm	Bitolas...
Muros	C-30			4.5 cm	Bitolas...
Radier	C-30			4.5 cm	Bitolas...

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

Fonte: a autora.

Figura 21 – Configurações do projeto – Classes de concreto

Classes de concreto

Classes de resistência
 C-20
 C-25
 C-30
 C-35
 C-40
 C-45
 C-50

Identificação: C-25

Resistência à compressão
 Resistência característica (fck): 250 kgf/cm²
 Coeficiente de minoração (γ_c): 1.4
 Resistência de cálculo (fcd): 178.57 kgf/cm²

Peso específico: 2500 kgf/m³
 Abatimento (slump): 5 cm
 Coeficiente de dilatação térmica: 0.00001 /°C
 Tipo de agregado: granito

Módulo de elasticidade
 Obter a partir do fck
 Módulo secante (Ecs): 241500 kgf/cm²
 Módulo inicial (Eci): 280000 kgf/cm²

Resistência à tração
 Obter a partir do fck
 Resistência média (fctm): 25.65 kgf/cm²
 Característica inferior (fctk,inf): 17.95 kgf/cm²
 Característica superior (fctk,sup): 33.34 kgf/cm²
 Resistência de cálculo (fctd): 12.82 kgf/cm²

Custo
 Material: 244.37 R\$/m³
 Execução: 95.11 R\$/m³

OK Cancelar Ajuda

Fonte: a autora.

Para os aços, foi escolhido o CA-50 para armadura longitudinal, limitando ao uso das bitolas 6,3; 8; 10; 12,5; 16; 20; e 22 mm e CA-50 para armadura transversal, limitando ao uso da bitola 6,3 mm (Figura 22).

Figura 22 – Configurações do projeto – Barras de aço

Armadura

	Bitola	Ativa	Aço	Fabricação	Comprimento (cm)	Peso do rolo(kg)	Emenda	Custo do material (R\$/kg)	Custo de execução (R\$/kg)
2	3.4	<input type="checkbox"/>	CA60	rolo	1200.00	170	nenhuma	4.96	3.99
3	4.0	<input type="checkbox"/>	CA60	rolo	1200.00	170	nenhuma	4.96	3.99
4	4.2	<input type="checkbox"/>	CA60	rolo	1200.00	170	nenhuma	4.96	3.99
5	4.6	<input type="checkbox"/>	CA60	rolo	1200.00	170	nenhuma	4.82	3.19
6	5.0	<input type="checkbox"/>	CA60	rolo	1200.00	170	nenhuma	4.82	3.19
7	6.0	<input type="checkbox"/>	CA60	rolo	1200.00	170	nenhuma	4.00	4.88
8	6.3	<input checked="" type="checkbox"/>	CA50	barra	1200.00	0	traspasse	4.82	4.88
9	7.0	<input type="checkbox"/>	CA60	rolo	1200.00	170	nenhuma	4.07	4.88
10	8.0	<input checked="" type="checkbox"/>	CA50	barra	1200.00	0	traspasse	5.50	3.92
11	10.0	<input checked="" type="checkbox"/>	CA50	barra	1200.00	0	traspasse	4.69	2.99
12	12.5	<input checked="" type="checkbox"/>	CA50	barra	1200.00	0	traspasse	4.44	1.98
13	16.0	<input checked="" type="checkbox"/>	CA50	barra	1200.00	0	traspasse	4.41	0.70
14	20.0	<input checked="" type="checkbox"/>	CA50	barra	1200.00	0	traspasse	4.22	0.41
15	22.2	<input checked="" type="checkbox"/>	CA50	barra	1200.00	0	traspasse	4.84	0.20
16	25.0	<input type="checkbox"/>	CA50	barra	1200.00	0	traspasse	4.84	0.20
17	32.0	<input type="checkbox"/>	CA50	barra	1200.00	0	traspasse	4.84	0.20
18	40.0	<input type="checkbox"/>	CA50	barra	1200.00	0	solda	4.84	0.20

OK Cancelar Ajuda

Fonte: a autora.

4.3.2 Ações atuantes na estrutura

Para definir as forças solicitantes da estrutura, foram consideradas apenas ações permanentes.

No peso próprio da estrutura NBR 6120:2019 foi considerado o peso da laje de concreto armado; revestimento de contrapiso nas lajes composto por argamassa e areia; revestimento de teto nas lajes composto por argamassa de cal, cimento e areia; revestimento de piso e impermeabilizações de edifícios residenciais e comerciais; peso da parede composta por alvenaria de vedação (bloco cerâmico vazado).

O carregamento de parede foi lançado com as próprias configurações do programa, assim como a distribuição das cargas da laje para as vigas (Figura 23, Figura 24 e Figura 25).

Figura 23 – Configurações do projeto – Dados das paredes

Cargas típicas

Lejes Patamares Lances de escada Rampas Paredes

Parede

02 - Bl. vedação cerâmico vazado 1
 03 - Bl. vedação cerâmico vazado 1
 04 - Bl. vedação cerâmico vazado 1
 05 - Bl. vedação cerâmico vazado 1
 06 - Bl. vedação cerâmico vazado 1
 07 - Bl. vedação cerâmico vazado 1
 08 - Bl. vedação cerâmico vazado 1
 09 - Bl. vedação cerâmico vazado 1
 10 - Bl. vedação cerâmico vazado 2
 11 - Bl. vedação cerâmico vazado 2
 12 - Tijolo cerâmico maciço 9cm
 13 - Tijolo cerâmico maciço 11cm (9
 14 - Tijolo cerâmico maciço 13cm (9
 15 - Tijolo cerâmico maciço 11,5cm
 16 - Tijolo cerâmico maciço 13,5cm |
 17 - Tijolo cerâmico maciço 15,5cm |
 18 - Tijolo cerâmico maciço 14cm
 19 - Tijolo cerâmico maciço 16cm (1.
 20 - Tijolo cerâmico maciço 18cm (1.
 21 - Tijolo cerâmico maciço 19cm

Dados

Nome 06 - Bl. vedação cerâmico vazado 14cm

Cargas

Parede 1.12 kN/m²

Revestimento

Revestimento	Espessura	Peso específico
Revestimento 01	0 cm	19 kN/m ³
Revestimento 02	0 cm	19 kN/m ³
Enchimento	14 cm	8 kN/m ³
Revestimento 03	0 cm	19 kN/m ³
Revestimento 04	0 cm	19 kN/m ³

Obter a carga de parede a partir dos revestimentos

OK Cancelar Ajuda

Fonte: a autora.

Figura 24 – Configurações do projeto – Carga de parede

Parede

Dimensões

Grupo 06 - Bl. vedação cerâmico vazado 1

Altura 300 cm Espessura 14 cm

Carga 3.36 kN/m Peso 8.00 kN/m³

Aberturas

Inserir Editar Excluir

OK Cancelar Ajuda

Carga linear

Cargas

Parede 3.36 kN/m Editar... Remover

Adicional 0 kN/m

Lançar

definindo dois pontos
 selecionando barras

OK Cancelar Desenho... Ajuda

Fonte: a autora.

Figura 25 – Configurações do projeto – Cargas na laje

Cargas típicas

Lajes Patamares Lances de escada Rampas Paredes

Ambiente

- 000 - Residencial - Academia
- 001 - Residencial - Área de serviço
- 002 - Residencial - Áreas de uso comum
- 003 - Residencial - Copa e cozinha
- 004 - Residencial - Corredores de us
- 005 - Residencial - Corredores dentr
- 006 - Residencial - Depósitos
- 007 - Residencial - Despensa
- 008 - Residencial - Dormitórios
- 009 - Residencial - Forros acessíveis
- 010 - Residencial - Lavanderia
- 011 - Residencial - Quadras esportiv
- 012 - Residencial - Sala
- 013 - Residencial - Salão de festas e
- 014 - Residencial - Sanitários
- 015 - Residencial - Sótão
- 016 - Garagens (Categoria I)
- 017 - Garagens (Categoria II)
- 018 - Garagens (Categoria III)
- 019 - Garagens (Categoria IV)

Dados

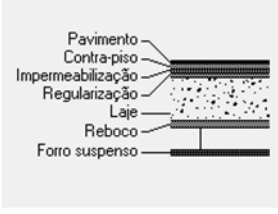
Nome 002 - Residencial - Áreas de uso comum

Cargas

Acidental 3 kN/m² Revestimento 1.545 kN/m²

Revestimento

	Espessura	Peso específico
Pavimento	1 cm	18 kN/m ²
Contra-piso	5 cm	21 kN/m ²
Impermeabilização	0 cm	12 kN/m ²
Regularização	0 cm	21 kN/m ²
Reboco	1.5 cm	21 kN/m ²
Forro suspenso	0 cm	12.5 kN/m ²



OK Cancelar Ajuda

Fonte: a autora.

Na sequência, a carga de parede igual a 3,36 kN/m já calculada pelo Eberick mais o carregamento adicional da laje e sobrecarga de utilização foram lançadas trecho a trecho de viga.

4.3.3 Análise da estrutura

A edificação foi analisada considerando a análise de estado-limite último (Figura 26).

Figura 26 – Configurações do projeto – Processamento da análise

Análise da estrutura

Estado-limite último (ELU)

Análise estática linear

Verificação das etapas construtivas

Dimensionamento dos elementos

Dimensionar todos os elementos

Dimensionar elementos selecionados ...

Estado-limite de deformações excessivas (ELS-DEF)

Determinação dos deslocamentos do pórtico

Adotar rigidez configurada

Calcular rigidez fissurada

Determinação dos deslocamentos das lajes

Adotar rigidez configurada

Calcular rigidez fissurada

Estado-limite de vibrações excessivas (ELS-VE)

Análise dinâmica do pórtico

Análise dinâmica das lajes

Verificar todos os pavimentos

Verificar pavimentos selecionados ...

OK Cancelar Configurar... Ajuda

Fonte: a autora.

Os valores obtidos da NBR 6120:2019 para o peso próprio da estrutura e sobrecarga de utilização. O peso total de cada item foi obtido com o produto entre o peso específico do material e a espessura adotada.

A combinação das ações atuantes foi definida dentro do Eberick. Para isso, foram estabelecidos os coeficientes de ponderação no programa, conforme diretrizes da NBR 6118:2014. Utilizando a relação:

$$1,4G1+1,4G2+1,1A+0,7Q$$

Sendo G1 corresponde ao carregamento de parede, G2 carregamento da laje, A carga acidental e Q a carga vertical para edifício residencial de 1,5 kN/m², relativo ao carregamento de dormitórios, sala, copa, cozinha e banheiro. Para realizar a análise global da estrutura, foram adotados os valores de redução de rigidez dos elementos, conforme NBR 6118:2014 (Figura 27).

Figura 27 – Configurações do projeto – Critérios da análise global estrutural

Análise

Geral		Não linearidade geométrica	
Redução no engaste para nós semirrígidos	15 %	<input checked="" type="checkbox"/> Utilizar o processo P-Delta	
Redução na torção para os pilares	0 %	Número máximo de iterações	10
Redução na torção para as vigas	95 %	Precisão mínima	1 %
Aumento na rigidez axial dos pilares	1 ...	Combinação vertical de cálculo	1.4G1+1.4G2+1.1A+1.4Q ...
<input type="checkbox"/> Salvar automaticamente o projeto após o processamento		Imperfeições globais	
Ligação viga-pilar		Tipo de estrutura:	
<input checked="" type="checkbox"/> Flexibilizar ligação com pilar equivalente		Estruturas usuais	
Aplicar para relação h/b maior que	5 ...	Combinação vertical característica	
Não linearidade física		G1+G2+A+Q ...	
Rigidez das vigas	0.4 Ec.Ic	Processo	
Rigidez dos pilares	0.8 Ec.Ic	<input checked="" type="radio"/> Grelhas + pórtico espacial	
Rigidez das lajes	0.3 Ec.Ic	<input type="radio"/> Modelo integrado	
Rigidez das estacas	0.8 Ec.Ic	Painéis de lajes...	
Rigidez alvenaria estrutural	0.8 Ea.I	Modelo da fundação...	
		Modelo ELS...	
		Avançado...	
		Análise dinâmica...	
		OK Cancelar Ajuda	

Fonte: a autora.

4.4 Quantitativo de materiais

Para elaboração do quantitativo dos projetos estruturais em análise, foram utilizados os resumos de materiais fornecidos pelo software de dimensionamento. O Eberick, fornece o peso do aço em kg, CA-50 e CA-60 total e por bitolas, o volume de concreto em m³ e a área de forma em m².

Com as plantas de forma e plantas de detalhamento dos elementos estruturais (pilares, vigas e lajes), foram organizados os quantitativos de aço, concreto e forma de cada projeto estrutural analisado.

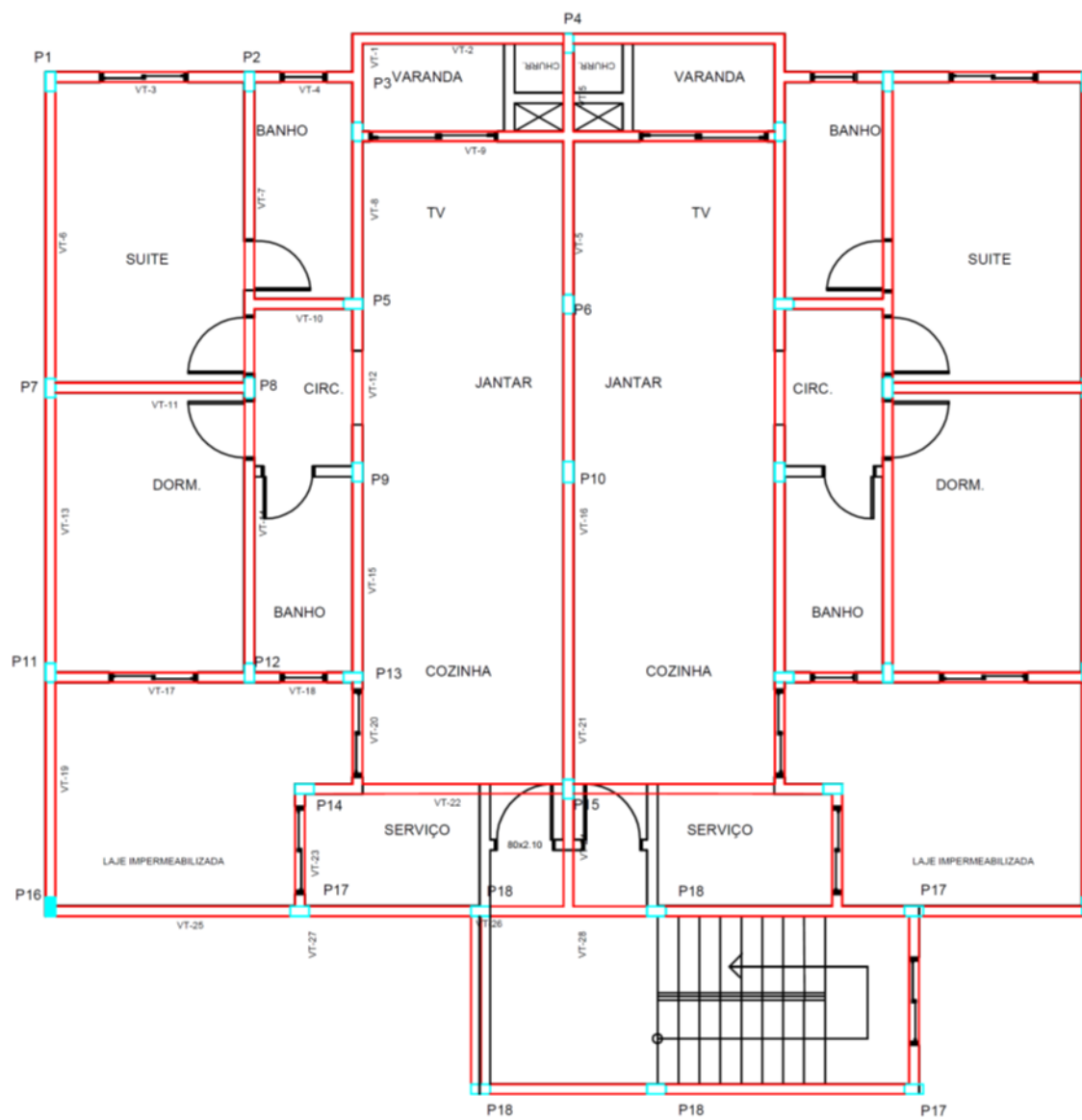
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Concepção estrutural

Conforme descrito na metodologia a Concepção 1 (C1) foi lançada buscando que todas as vigas fossem apoiadas em pilares, a fim de evitar vigas em balanço. Neste modelo foram projetados 35 pilares, que apoiam 52 vigas e 18 lajes por pavimento tipo. A Concepção 2 (C2) possui 22 pilares, que apoiam o mesmo traçado de vigas da C1 e o mesmo número de lajes.

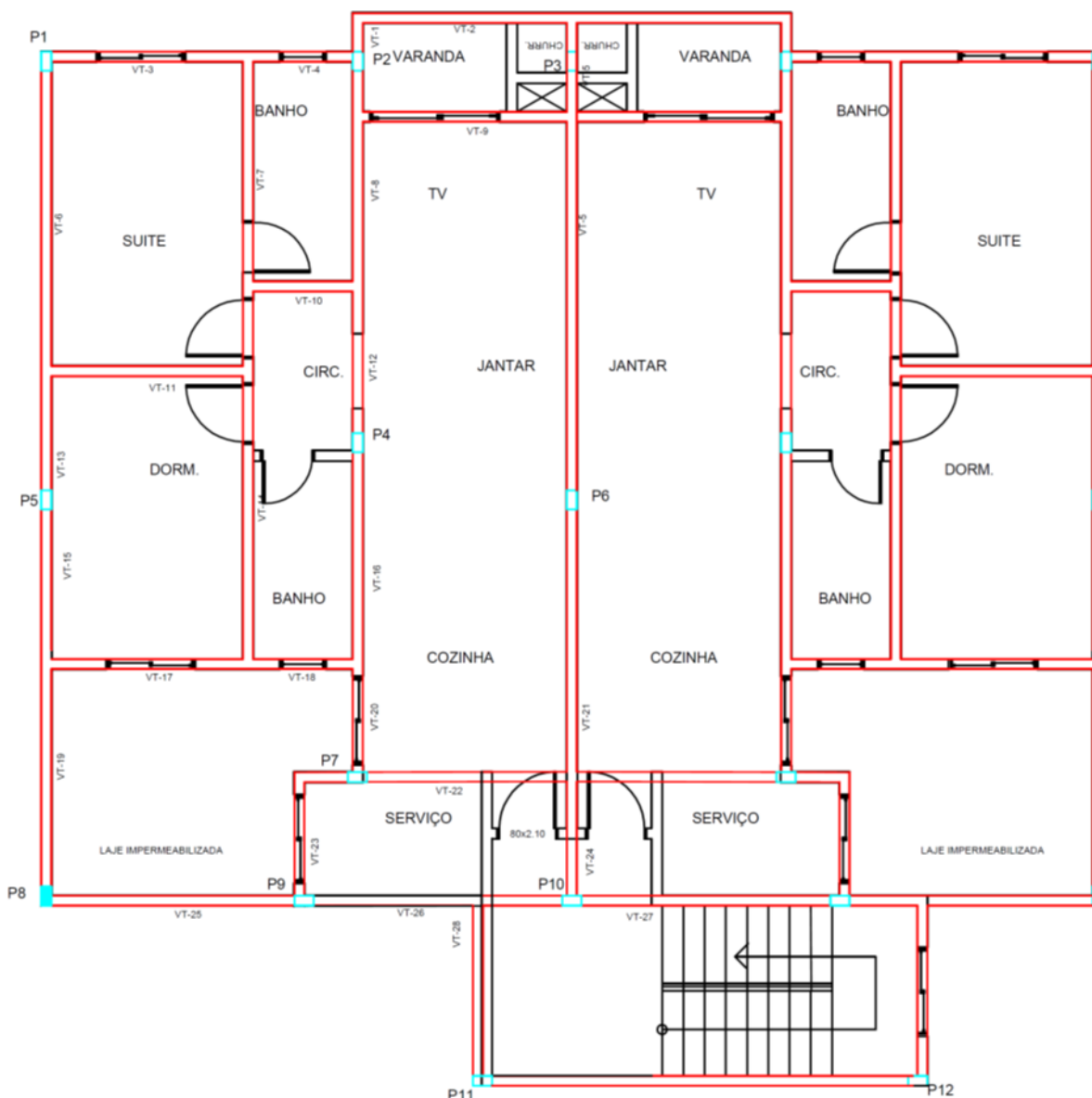
A Figura 28 mostra o projeto do pavimento tipo com a Concepção 1, e a Figura 29 com a Concepção 2.

Figura 28 – Detalhe da Concepção estrutural 1



Fonte: a autora.

Figura 29 – Detalhe da Concepção estrutural 2



Fonte: a autora.

5.2 Pré-dimensionamento

O pré-dimensionamento das lajes e vigas é comum às duas concepções, uma vez que a distribuição das vigas foi mantida constante. A Tabela 7 mostra os resultados do pré-dimensionamento das vigas. A Tabela 8 mostra a estimativa de cargas nas lajes. As tabelas mostram os resultados para os elementos de 1 apartamento, que, por serem idênticos, foram espelhadas para o 2º apartamento. Para padronizar o dimensionamento, foi adotado a espessura de 10 cm para todas as lajes, o que está de acordo com o mínimo estipulado da norma (NBR 6118:2014).

Tabela 7 – Pré-dimensionamento das lajes

Nome	Menor vão (lx) (cm)	Maior vão (ly) (cm)	ly/lx (cm)	Tipo Arm.	0,7ly (cm)	Vão efetivo (L*) (cm)	Parede na laje	h estimada (cm)	h adotada (cm)
L-1	120	302	2,52	1 direção	211	120	sim	7,34	10
L-2	285	422	1,48	2 direções	295	285	não	9,59	10
L-3	155	297	1,92	2 direções	208	155	não	6,86	10
L-4	285	391	1,37	2 direções	274	274	não	9,35	10
L-5	155	520	3,35	1 direção	364	155	sim	8,23	10
L-6	302	920	3,05	1 direção	644	302	não	9,94	10
L-7	355	425	1,20	2 direções	298	298	não	9,85	10
L-8	160	370	2,31	1 direção	259	160	sim	8,35	10
L-9	240	370	1,54	2 direções	259	240	não	8,64	10

Fonte: a autora.

Tabela 8 – Estimativa de cargas nas lajes

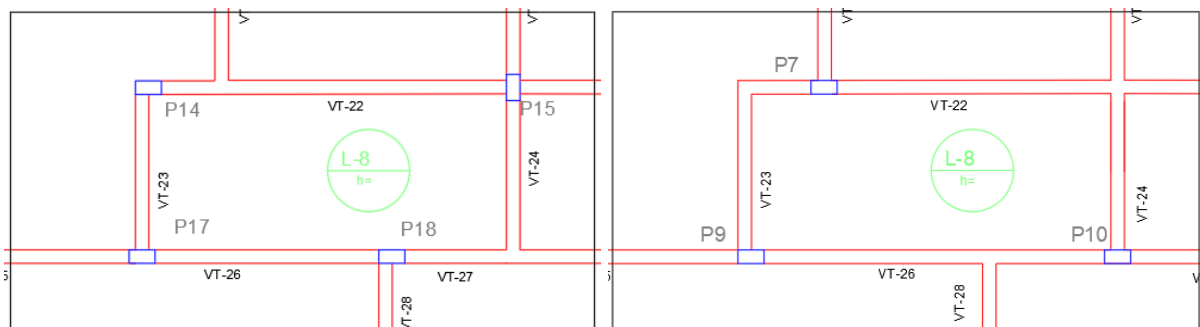
Nome	Revestimento (kN/m ²)	Peso próprio (kN/m ²)	Sobrecarga Acidental (kN/m ²)	Carga Total (kN/m ²)	Área (m ²)	Carga na laje (kN)
L-1	1,50	2,50	3,00	7,00	3,62	25,4
L-2	1,50	2,50	3,00	7,00	12,03	84,2
L-3	1,50	2,50	3,00	7,00	4,60	32,2
L-4	1,50	2,50	3,00	7,00	11,14	78,0
L-5	1,50	2,50	3,00	7,00	8,06	56,4
L-6	1,50	2,50	3,00	7,00	27,78	194,5
L-7	1,50	2,50	3,00	7,00	15,09	105,6
L-8	1,50	2,50	3,00	7,00	5,92	41,4
L-9	1,50	2,50	3,00	7,00	8,88	62,2

Fonte: a autora.

Utilizando os critérios apresentados na metodologia Item-4.2.2, a altura das vigas foi definida dividindo o vão livre de cada trecho considerando face a face dos pilares de apoio, a largura foi definida levando em consideração os critérios da norma, assim como a seção adotada para os pilares, e largura da parede (Tabela 9).

No pré-dimensionamento das vigas as duas concepções possuem resultados similares, pois a disposição destes elementos foi mantida constante. A exceção de uma viga que passou a estar em balanço, o que altera o pré-dimensionamento, a V-23 que passa de 14 x 20 para 14 x 60 cm (Figura 30).

Figura 30 – Detalhe da viga 23 (a figura da direita mostra a C1 e esquerda C2).



Fonte: a autora.

Apesar de o traçado das vigas ter sido mantido idêntico, no dimensionamento final foi observado que as vigas da C1 e C2 são diferentes, pois na C2 há mais vigas apoiadas em vigas, o que requer elementos mais robustos para resistir aos esforços. Os resultados do dimensionamento final estão apresentados na sequência no Item-5.3.

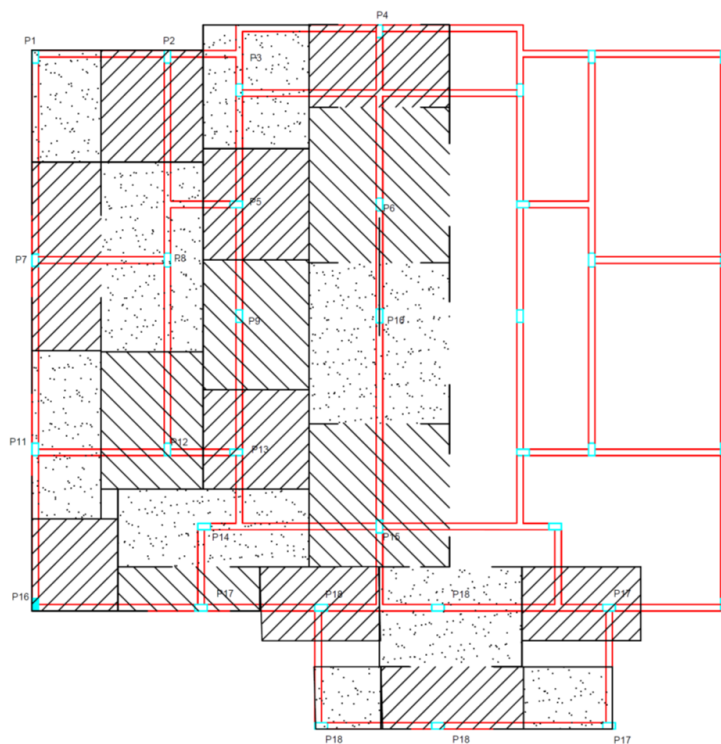
Tabela 9 – Pré-dimensionamento das vigas

Nome	bw (m)	L centro a centro (m)	Balanço	h (m)	h adotado (cm)	Altura livre (m)
V-1	0,14	0,60	sim	0,40	40	2,60
V-2	0,14	3,02	sim	0,60	60	2,40
V-3	0,14	2,85	não	0,29	30	2,70
V-4	0,14	1,55	não	0,16	20	2,80
V-5	0,14	4,90	não	0,49	50	2,50
V-6	0,14	4,20	não	0,42	45	2,55
V-7	0,14	4,10	não	0,41	45	2,55
V-8	0,14	3,00	não	0,30	30	2,70
V-9	0,14	3,02	não	0,30	35	2,65
V-10	0,14	1,40	não	0,14	15	2,85
V-11	0,14	2,85	não	0,29	30	2,70
V-12	0,14	2,40	não	0,24	25	2,75
V-13	0,14	3,92	não	0,39	40	2,60
V-14	0,14	3,92	não	0,39	40	2,60
V-15	0,14	2,70	não	0,27	30	2,70
V-16	0,14	3,92	não	0,39	40	2,60
V-17	0,14	2,85	não	0,29	30	2,70
V-18	0,14	1,26	não	0,13	15	2,85
V-19	0,14	3,35	não	0,34	35	2,65
V-20	0,14	1,60	não	0,16	20	2,80
V-21	0,14	1,60	não	0,16	20	2,80
V-22	0,14	3,84	não	0,38	40	2,60
V-23	0,14	1,52	não	0,15	20	2,80
V-24	0,14	1,60	não	0,16	20	2,80
V-25	0,14	3,57	não	0,36	40	2,60
V-26	0,14	2,87	não	0,29	30	2,70
V-27	0,14	1,52	não	0,15	20	2,80
V-28	0,14	1,60	não	0,16	20	2,80

Fonte: a autora.

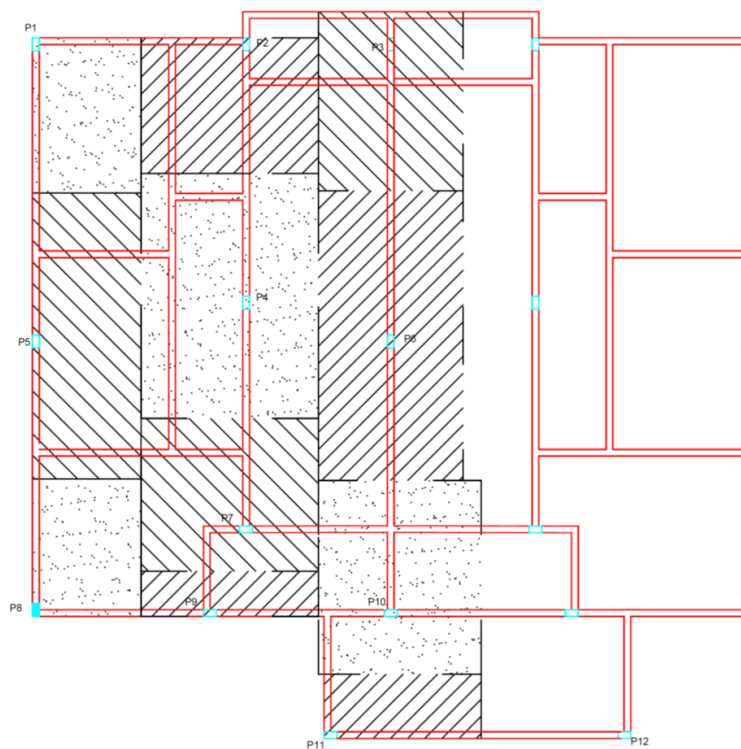
O desenho esquemático das Figura 31 e Figura 32 mostra a área de influência delimitada para cada pilar.

Figura 31 – Área de influência dos pilares – CONCEPÇÃO 1



Fonte: a autora.

Figura 32 – Área de influência dos pilares – CONCEPÇÃO 2



Fonte: a autora.

Definida a configuração da área de influência, obteve-se o N'sd com o produto entre a área de influência de cada pilar e a carga vertical usual de 12 kN/m², apresentada na Tabela 10, para na sequência calcular a área de concreto do elemento, conforme descrito no item 4.2.3. A área da seção transversal dos pilares buscou sempre que possível respeitar as dimensões mínimas para pilares com largura de 14 cm, que é a espessura da parede do edifício.

A seção de concreto foi estimada para o pavimento térreo e manteve-se constante até a cobertura do edifício. No caso de prédios mais altos do que o do presente estudo de caso (com 12 m), é interessante projetar redução da seção dos pilares conforme a carga vertical diminui, a fim de reduzir o peso próprio da estrutura e conseqüentemente diminuir custos da obra.

Tabela 10 – Pré-dimensionamento dos pilares no pavimento térreo – CONCEPÇÃO 1

Pilar	Posição	Ai (m ²)	Força normal no pilar (kN)	Carga N'sd (kN)	Correção N'sd para pilar <19 cm (kN)	b (cm)	h (cm)	Ac necessária (cm ²)	Ac efetiva (cm ²)
P1	Canto	3,6	172,8	432,0	540,0	14,0	27,0	229,0	378,0
P2	Extremidade	5,3	254,4	559,7	699,6	14,0	27,0	296,7	378,0
P3	Meio	5,7	273,6	492,5	615,6	14,0	27,0	261,1	378,0
P4	Extremidade	5,3	254,4	559,7	699,6	14,0	27,0	296,7	378,0
P5	Extremidade	5,5	264,0	580,8	726,0	14,0	27,0	307,9	378,0
P6	Meio	10,0	480,0	864,0	993,6	16,0	30,0	421,4	480,0
P7	Meio	6,0	288,0	518,4	648,0	14,0	27,0	274,8	378,0
P8	Extremidade	9,0	432,0	950,4	1093,0	16,0	32,0	463,5	512,0
P9	Meio	6,5	312,0	561,6	702,0	14,0	27,0	297,7	378,0
P10	Meio	10,5	504,0	907,2	1043,3	16,0	30,0	442,5	480,0
P11	Extremidade	5,5	264,0	580,8	726,0	14,0	27,0	307,9	378,0
P12	Extremidade	6,5	312,0	686,4	858,0	14,0	27,0	363,9	378,0
P13	Extremidade	4,9	235,2	517,4	646,8	14,0	27,0	274,3	378,0
P14	Canto	6,9	331,2	828,0	952,2	16,0	30,0	403,8	480,0
P15	Meio	9,3	446,4	803,5	924,0	16,0	30,0	391,9	480,0
P16	Canto	4,5	216,0	540,0	675,0	14,0	27,0	286,3	378,0
P17	Meio	5,5	264,0	475,2	594,0	14,0	27,0	251,9	378,0
P18	Meio	6,6	316,8	570,2	712,8	14,0	27,0	302,3	378,0

Fonte: a autora.

Tabela 11 – Pré-dimensionamento dos pilares – CONCEPÇÃO 2

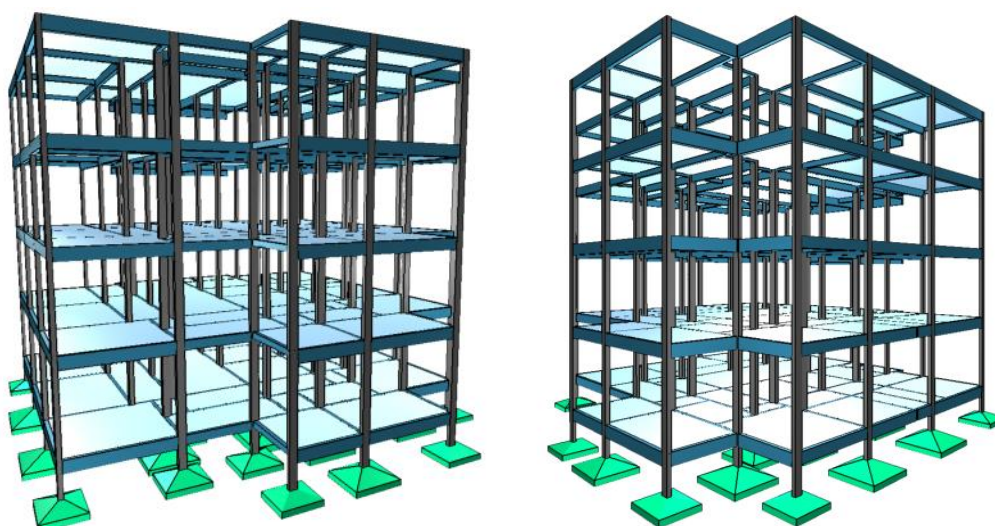
Pilar	Posição	Ai (m ²)	Cargas pav. N'sd (kN)	Cargas N'sd acumulada (kN)	Correção N'sd para pilar <19 cm (kN)	b (cm)	h (cm)	Ac necessária (cm ²)	Ac efetiva (cm ²)
P1	Canto	7,3	350,4	876,0	1095,0	14,0	40,0	464,4	560,0
P2	Extremidade	10,5	504,0	1108,8	1164,2	18,0	30,0	493,8	540,0
P3	Meio	11,3	542,4	976,3	1220,4	14,0	40,0	517,6	560,0
P4	Meio	19,0	912,0	1641,6	1641,6	19,0	40,0	696,2	760,0
P5	Meio	13,6	652,8	1175,0	1351,3	16,0	40,0	573,1	640,0
P6	Meio	18,3	878,4	1581,1	1660,2	18,0	40,0	704,1	720,0
P7	Extremidade	11,6	556,8	1225,0	1408,7	16,0	40,0	597,5	640,0
P8	Canto	6,5	312,0	780,0	975,0	14,0	30,0	413,5	420,0
P9	Extremidade	3,5	168,0	369,6	462,0	14,0	27,0	195,9	378,0
P10	Extremidade	13,8	662,4	1457,3	1530,1	18,0	40,0	649,0	720,0
P11	Canto	4,4	211,2	528,0	660,0	14,0	27,0	279,9	378,0

Fonte: a autora.

5.3 Dimensionamento dos elementos

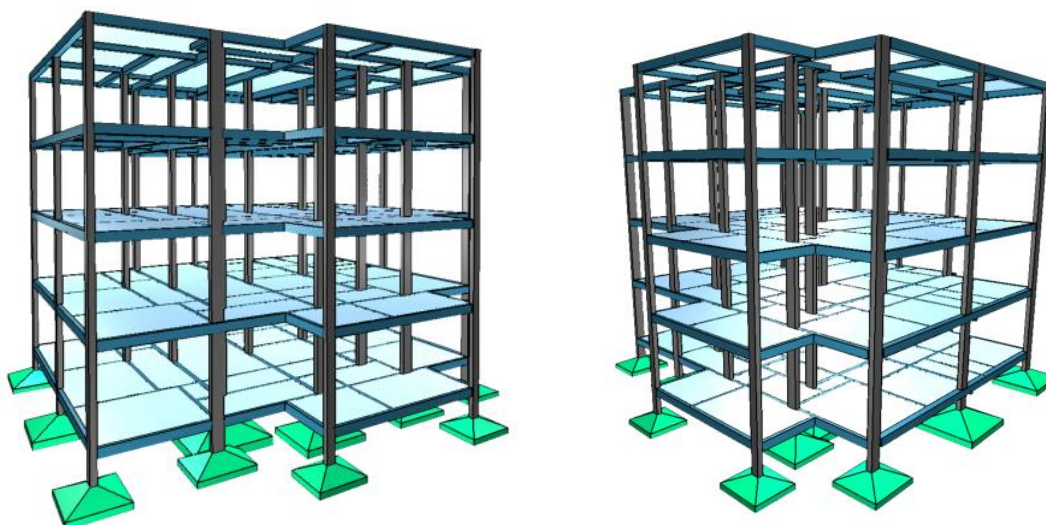
Depois de definido o novo layout do edifício, o desenho da estrutura em *dwg foi importado no Eberick, onde os elementos estruturais foram lançados conforme as dimensões estimadas no pré-dimensionamento e os pórticos ganharam forma 3D (Figura 33 e Figura 34).

Figura 33 – Pórtico 3D – CONCEPÇÃO 1



Fonte: a autora.

Figura 34 – Pórtico 3D – CONCEPÇÃO 2

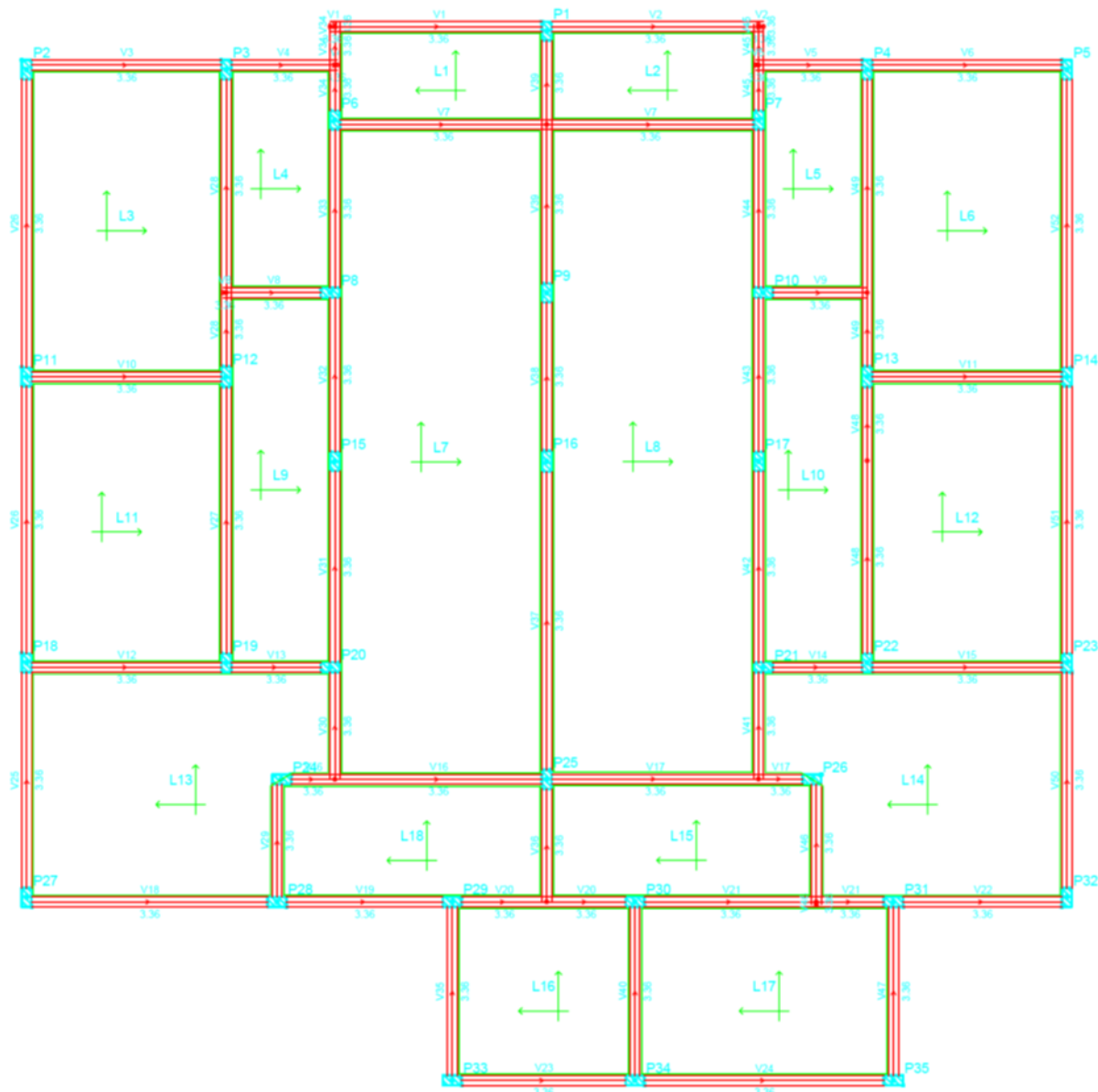


Fonte: a autora.

As Figura 35 e Figura 36 apresentam as plantas do pavimento tipo e os respectivos trechos de viga, com nomenclatura genérica e as cargas de parede lançadas nas vigas.

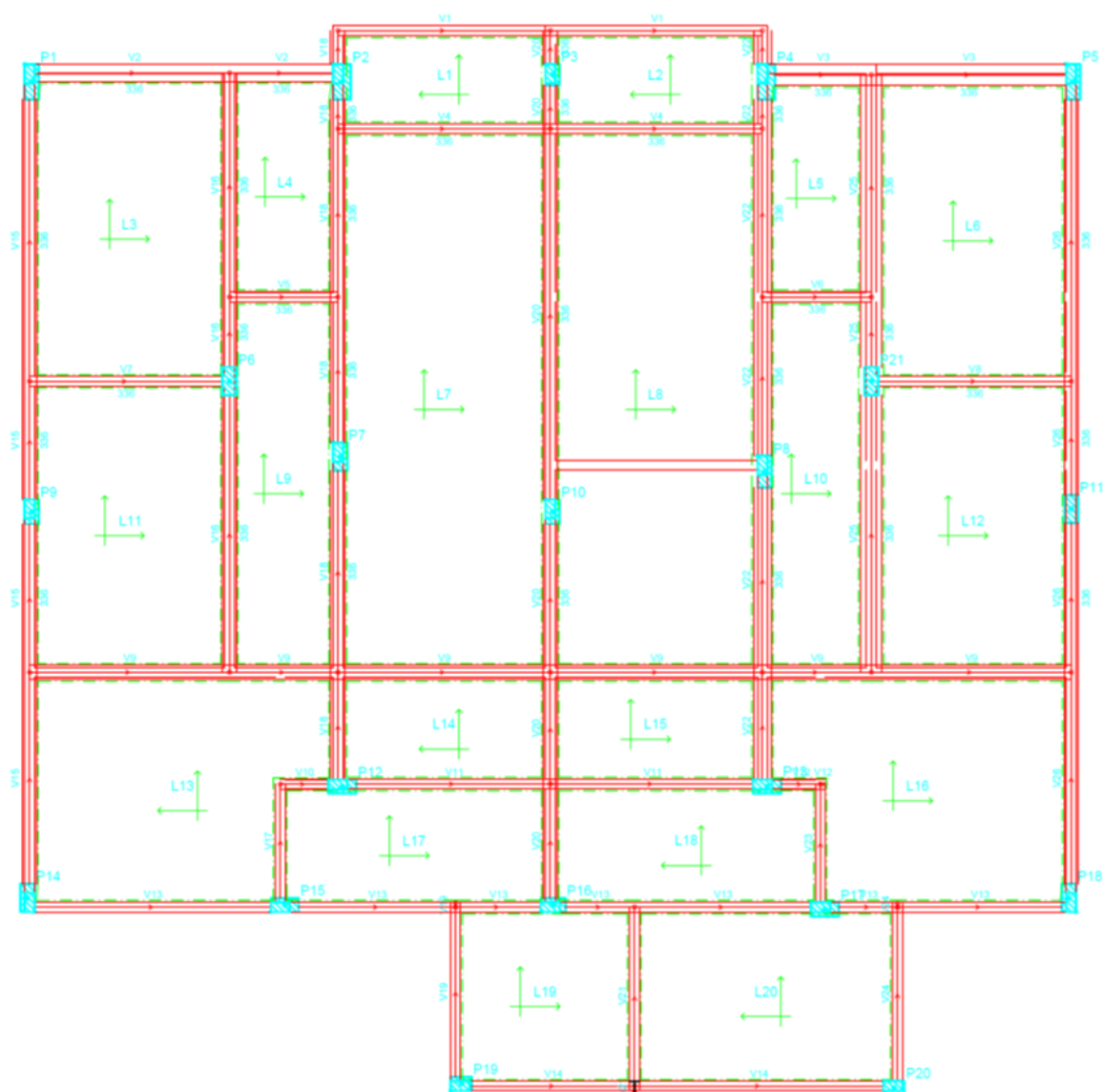
No lançamento da estrutura no software alguns elementos foram subdivididos em tramos não observados no pré-dimensionamento. Por esse motivo, no dimensionamento o número de elementos considerados foram os seguintes: na concepção 1 foram projetados 35 pilares, que apoiam 52 vigas e 20 lajes por pavimento tipo; a Concepção 2 possui 20 lajes e 26 vigas em cada pavimento tipo, e 21 pilares, que vão nascem no pavimento baldrame e continuam até a cobertura.

Figura 35 – Croqui do pavimento tipo com cargas de parede – CONCEPÇÃO 1



Fonte: a autora.

Figura 36 – Croqui do pavimento tipo com cargas de parede – CONCEPÇÃO 2



Fonte: a autora.

As ligações entre as barras do modelo espacial, assim como do modelo plano, foram definidas como ligações rígidas, ou seja, com vínculo de ligação engastado.

A Figura 37 mostra um erro no dimensionamento dos elementos estruturais, no exemplo da figura está apresentado um pilar. Quando utilizado a dimensão estimada no pré-dimensionamento, o programa apresenta um erro informando que não existe nenhuma bitola definida no projeto que atenda às necessidades da armadura longitudinal. A Figura 38 mostra o pilar com dimensões corrigidas de 20x30 cm para 20x50 cm, e com isso a mensagem de erro não é mais

exibida. No lugar da mensagem de erro, passa a ser exibido o detalhamento da armadura do elemento.

Figura 37 – Exemplo de erro no dimensionamento dos pilares

	Nome	Lance	Seção	b (cm)	h (cm)	b1 (cm)	h1 (cm)	bertur (°)	Altura (cm)	Elevação (cm)	Nível (cm)
1	P1	1	L5 retangula	20.00	30.00	0.00	0.00	90.00	300.00	0.00	1200.00
2	P2	2	L4 retangula	20.00	30.00	0.00	0.00	90.00	300.00	0.00	900.00
3	P3	3	L3 retangula	20.00	30.00	0.00	0.00	90.00	300.00	0.00	600.00
4	P4	4	L2 retangula	20.00	30.00	0.00	0.00	90.00	300.00	0.00	300.00
5	P5	5	L1 retangula	20.00	30.00	0.00	0.00	90.00	159.00	0.00	0.00
6	P6	6									
7	P7	7									
8	P8	8									
9	P9	9									
10	P10	10									

Fonte: a autora.

Figura 38 – Exemplo de correção no dimensionamento dos pilares

	Nome	Lance	Seção	b (cm)	h (cm)	b1 (cm)	h1 (cm)	bertur (°)	Altura (cm)	Elevação (cm)	Nível (cm)
1	P1	1	L5 retangula	20.00	50.00	0.00	0.00	90.00	300.00	0.00	1200.00
2	P2	2	L4 retangula	20.00	50.00	0.00	0.00	90.00	300.00	0.00	900.00
3	P3	3	L3 retangula	20.00	50.00	0.00	0.00	90.00	300.00	0.00	600.00
4	P4	4	L2 retangula	20.00	50.00	0.00	0.00	90.00	300.00	0.00	300.00
5	P5	5	L1 retangula	20.00	50.00	0.00	0.00	90.00	159.00	0.00	0.00
6	P6	6									
7	P7	7									
8	P8	8									
9	P9	9									
10	P10	10									

Fonte: a autora.

Os elementos de fundação não foram pré-dimensionados. Para estimar o quantitativo de material necessário para a execução destes elementos no programa, a base dos pilares em contato com o solo foi convertida em fundação do tipo sapata com vínculo engastado. As plantas de fundação estão apresentadas nos apêndices deste documento.

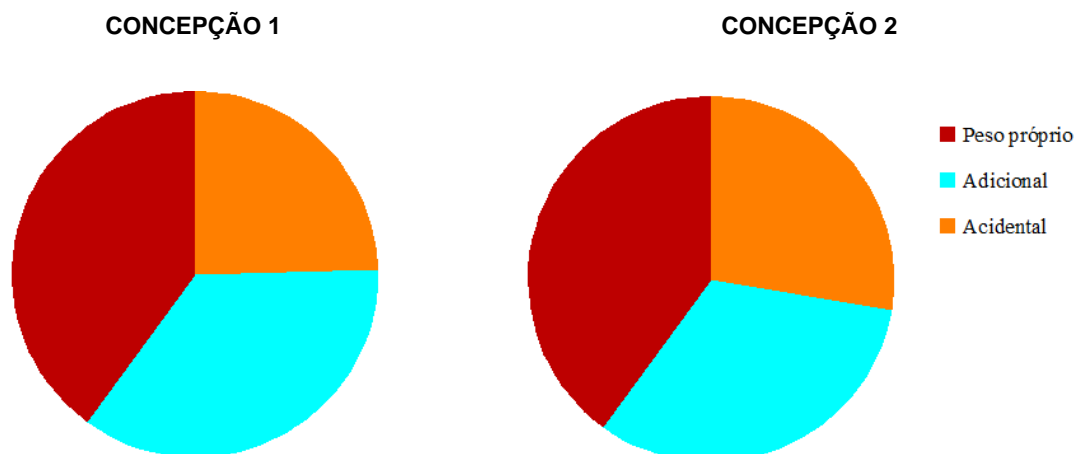
As cargas da estrutura estão apresentadas na Tabela 12 e Figura 39. O peso próprio da estrutura na Concepção 1 representa 36% das cargas da edificação, enquanto na Concepção 2 representa 40%. O acréscimo no peso da estrutura na Concepção 2 é principalmente devido ao aumento na dimensão das vigas.

Tabela 12 – Carregamentos da estrutura

Ação	Concepção 1		Concepção 2	
	Carregamentos (kN)	Percentual (%)	Carregamentos (kN)	Percentual (%)
Peso próprio	3906	36,2	4193	40,1
Adicional	3979	36,9	3378	32,3
Acidental	2894	26,8	2889	27,6
TOTAL	10779	100,0	10461	100,0

Fonte: a autora.

Figura 39 – Distribuição percentual das cargas verticais



Fonte: a autora.

5.4 Quantitativo de materiais

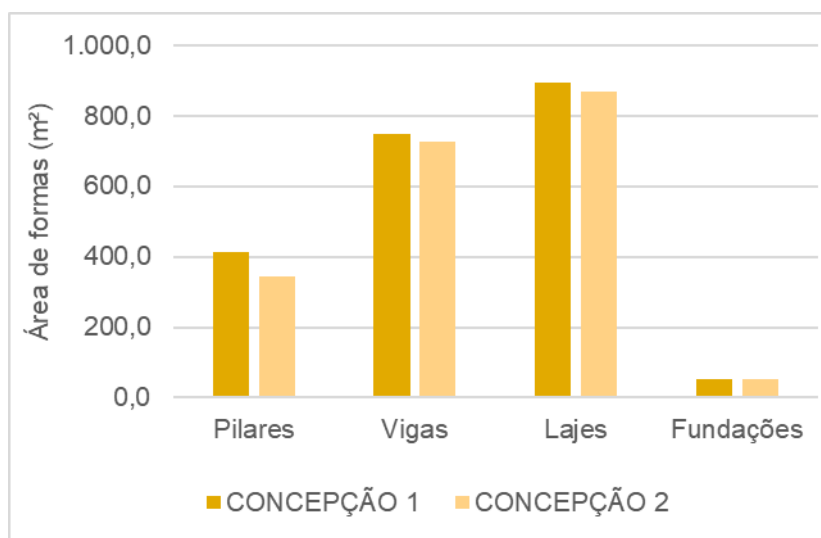
5.4.1 Quantitativo de formas

As formas são um elemento importante na análise de quantitativos e orçamento de obras. As perdas de formas podem ser altas, devido a prumos e nivelamentos equivocados, logo um aumento de concreto e a armadura serão distribuídos de maneira não alinhada. Para estimar a área de formas necessárias para executar o projeto estrutural foi adotado um total de perdas equivalente a 10%.

A Figura 40 mostra a área de formas por elementos. No gráfico é possível observar que as lajes são os elementos que mais consomem formas, em decorrência da maior relação área x volume delas.

A quantidade de formas necessária para os pilares é cerca de metade do necessário para lajes. Isso gera menor diferença na comparação final entre a Concepção 1 e 2, uma vez que as lajes são muito parecidas nos dois projetos. A área total de formas foi 5% menor na Concepção 2 em relação a Concepção 1.

Figura 40 – Área de formas



Fonte: a autora.

5.4.2 Quantitativo de aço

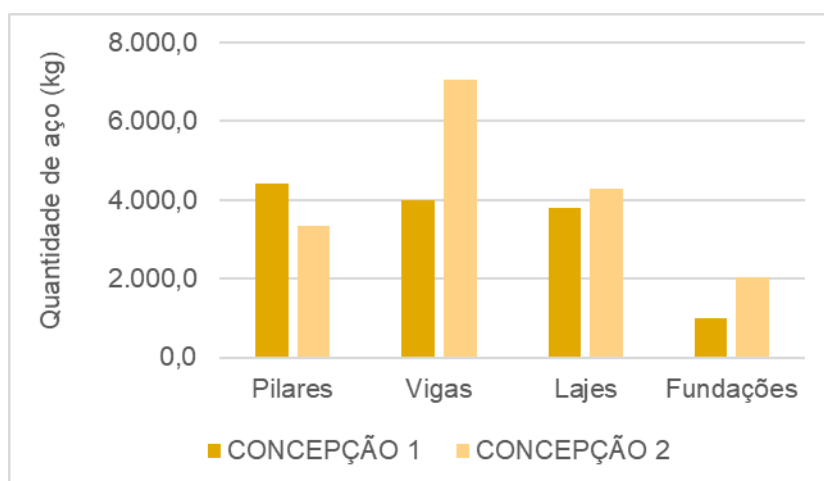
Foi adotado um acréscimo de 10% referente a perdas de aço proveniente de emendas, erros de montagens, dobras, cortes e afins. A Figura 41 mostra uma

diferença de 76% entre a quantitativo de aço nas vigas, sendo que a Concepção 2 resultou no maior quantitativo.

Esse resultado é esperado, uma vez que os vão livres entre apoios foi mantido igual ao da Concepção 1 com maior número de pilares, entretanto, na Concepção 2, com menos pilares, algumas vigas passaram a estar apoiadas em vigas. Isso explica a maior taxa de armadura necessária para resistir a distribuição das cargas até os pilares.

Por outro lado, o consumo de aço para os pilares foi cerca de 25% maior na C1.

Figura 41 – Peso de aço



Fonte: a autora.

5.4.3 Quantitativo de concreto

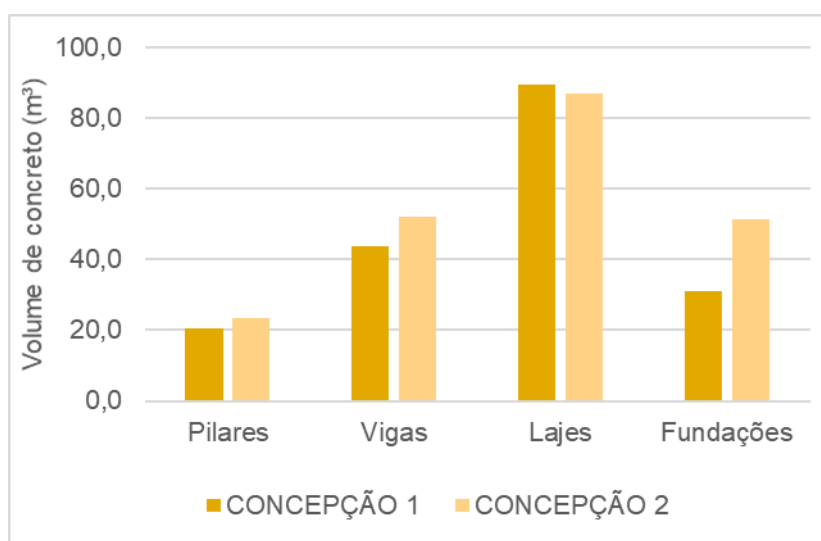
O conhecimento do volume de concreto é fundamental para evitar perdas ou falta de concreto. Foi aplicado o valor padrão do software para o lastro de concreto conforme instalação padrão de 5 cm para sapatas.

O tipo de concreto definido no software para calcular a resistência, foi o usinado com controle rigoroso ($f=1,3$). O lastro de concreto magro é dado pela área da sapata com a espessura de nivelamento para o projeto.

A Figura 42 mostra, por elemento, o volume de concreto necessário para executar o projeto estrutural. Novamente as lajes representam a maior parte da demanda de concreto, enquanto os pilares são os elementos de menor volume na estrutura.

Na Concepção 2 os elementos são mais robustos, com exceção das lajes que possuem espessura de 10 cm em ambas as concepções. A C2 possui um menor número de pilares e ainda assim requer maior volume de concreto. Isso porque a seção transversal dos pilares na C2 é maior. A área da seção dos pilares na C2 é maior para atingir a estabilidade, mas também para apoiar as vigas de maior dimensão desta concepção.

Figura 42 – Volume de concreto



Fonte: a autora.

5.4.4 Quantitativo geral

As Tabela 13 e Tabela 14 mostram um resumo do quantitativo de material necessário para a execução das duas concepções projetadas para o edifício do estudo de caso.

Na C2 foram projetados 21 pilares, 40% a menos que os 35 pilares da C1. O consumo de aço/m³ e o volume de concreto refletem na mesma proporção do número de pilares. Entretanto o consumo de aço das vigas apresenta um comportamento inverso. Ou seja, quanto maior o número de pilares, menor o consumo de aço/m³.

Isso gera ao final valores semelhantes entre as duas concepções de volume de concreto e área de forma. Enquanto a taxa de armadura necessária na C2 é 10% superior a C1.

Tabela 13 – Resumo do quantitativo por material e por elemento – CONCEPÇÃO 1

		Vigas	Pilares	Lajes	Fundações	Total
Peso total + 10% (kg)	CA50	4.003	4.426	3.787	1.006	13.222
Volume concreto (m ³)	C-25	44	20	89	0	153
	C-30	0	0	0	31	31
	Total	44	20	89	31	184
Área de forma (m ²)		747	412	894	52	2.105
Consumo de aço (kg/m ³)		82	215	37	33	92

Fonte: a autora.

Tabela 14 – Resumo do quantitativo por material e por elemento – CONCEPÇÃO 2

		Vigas	Pilares	Lajes	Fundações	Total
Peso total + 10% (kg)	CA50	7.039	3.357	4.291	2.045	16.732
Volume concreto (m ³)	C-25	52	24	87	0	163
	C-30	0	0	0	50	50
	Total	52	24	87	50	213
Área de forma (m ²)		726	345	868	73	1.989
Consumo de aço (kg/m ³)		135	143	49	41	77

Fonte: a autora.

5.4.5 Custos

Os custos de material e execução foram calculados pelo software Eberick considerando os valores pré-cadastrados pelo programa, retirados do banco de dados do AltoQi Visus, referencial de custos SINAPI. Os valores estão apresentados nas Figura 21, para concreto; Figura 22 para aço; e Figura 43 para formas.

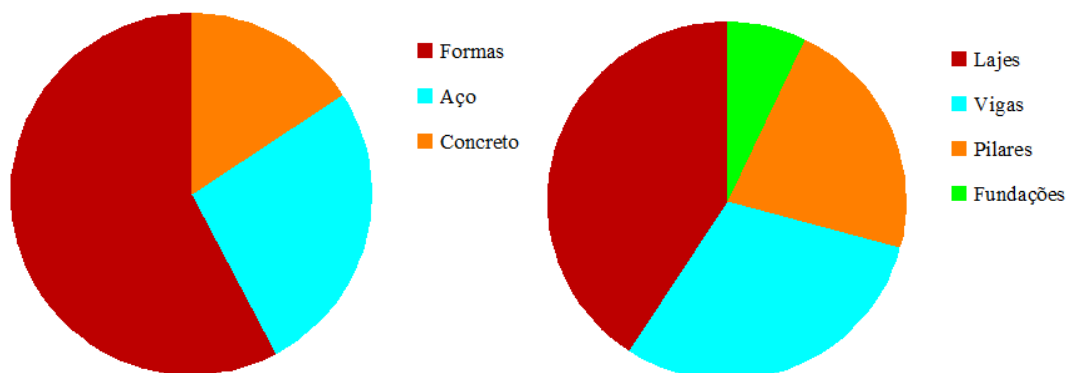
Figura 43 – Custo de formas

Custo de forma			
Custo	Custo		
	Material	Execução	
Vigas	46.70	55.93	R\$/m ²
Pilares	51.65	78.67	R\$/m ²
Lajes	44.27	73.53	R\$/m ²
Escadas	44.27	73.53	R\$/m ²
Fundações	69.56	73.52	R\$/m ²
Reservatórios	2.89	9.93	R\$/m ²
Muros	69.56	73.52	R\$/m ²

Fonte: a autora.

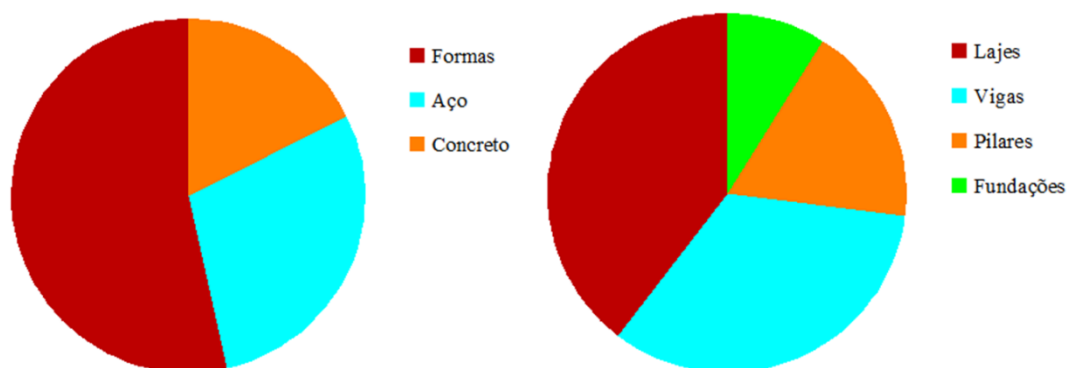
As Figura 44 e Figura 45 mostram a distribuição do custo por origem em relação as formas, aço e concreto; e pelos elementos estruturais avaliados. As formas são a parte mais custosa de ambos os projetos. Com relação aos elementos, as lajes e vigas representam a maior parte dos custos. Nos gráficos de custos é possível observar que o menor custo percentual com pilares na C2, em relação a C1, leva a um gasto maior com as vigas e fundações.

Figura 44 – Distribuição do custo da estrutura por origem e elemento – CONCEPÇÃO 1



Fonte: a autora.

Figura 45 – Distribuição do custo da estrutura por origem e elemento – CONCEPÇÃO 2



Fonte: a autora.

As Tabela 15 e Tabela 16 mostram a relação de custos por elemento. Com os resultados obtidos, pode-se notar um custo inferior do projeto com mais pilares. Na Concepção 1 o custo da estrutura por m² do edifício, de acordo com os valores adotados no programa, é de R\$ 424,00. Enquanto na Concepção 2 o custo da estrutura por m² é R\$ 442,00.

Polizel (2018), realizou uma análise similar à do presente estudo, e obteve a mesma conclusão. No estudo citado anteriormente, foi analisado uma progressão de número de pilares na mesma edificação, e concluído que há uma significativa redução no consumo de materiais à medida que mais pilares foram inseridos nas edificações dos estudos de caso avaliados no trabalho.

Tabela 15 – Relação custo por elemento (R\$) – CONCEPÇÃO 1

Elemento	Material	Execução	Total
Vigas	R\$ 64.887,00	R\$ 60.873,00	R\$ 125.760,00
Pilares	R\$ 46.561,00	R\$ 46.077,00	R\$ 92.638,00
Lajes	R\$ 80.922,00	R\$ 90.662,00	R\$ 171.583,00
Fundações	R\$ 16.577,91	R\$ 10.973,73	R\$ 27.551,64
TOTAL	R\$ 208.947,30	R\$ 208.586,32	R\$ 417.533,62

Fonte: a autora.

Tabela 16 – Relação custo por elemento (R\$) – CONCEPÇÃO 2

Elemento	Material	Execução	Total
Vigas	R\$ 79.367,00	R\$ 63.382,00	R\$ 142.749,00
Pilares	R\$ 39.116,00	R\$ 38.383,00	R\$ 77.499,00
Lajes	R\$ 80.356,00	R\$ 88.798,00	R\$ 169.154,00
Fundações	R\$ 27.430,46	R\$ 15.069,85	R\$ 42.500,31
TOTAL	R\$ 227.394,29	R\$ 207.253,31	R\$ 434.647,60

Fonte: a autora.

5.5 Pré-dimensionamento x dimensionamento

No momento do dimensionamento, foram constatados diversos erros nas estruturas simuladas que as tornavam instáveis. Como por exemplo pilares com esbelteza maior do que a NBR 6118:2014 permite e vigas com dimensão superior ao apoio.

A seção transversal de diversos pilares teve que ser aumentada para resolver os erros de elementos que não possuíam espaço suficiente para acomodar a armadura calculada. Isso acarretou maior quantitativo de volume de concreto. Considerando as dimensões estimadas no pré-dimensionamento, o volume de concreto necessário para executar os pilares da obra na Concepção 1 seria de 15,4 m³. Enquanto no dimensionamento do Eberick o volume calculado foi de 20,4 m³.

Na Concepção 2 o volume de concreto pré-dimensionado para os pilares foi de 12,8 m³, enquanto no dimensionamento foi de 23,5 m³.

Com relação as vigas, o volume de concreto necessário com base nas dimensões estimadas no pré-dimensionamento, na Concepção 1 seria de 18 m³, enquanto no dimensionamento o volume calculado foi de 44 m³.

Na Concepção 2 o volume de concreto pré-dimensionado para as vigas foi de 19 m³, enquanto no dimensionamento foi de 52 m³.

A diferença de valores é maior do que 50%, o que no custo final da obra poderia impactar negativamente o orçamento. Com base nesse resultado, pode-se concluir que a utilização de um pré-dimensionamento simplificado para avaliação de custos da obra não é uma prática confiável, pois pode apresentar grandes variações com relação ao custo real da obra.

Outra possibilidade é que o projeto dimensionado no software pode estar superdimensionado, isso porque o processo considera muitas variáveis, e a análise e o dimensionamento de estruturas em concreto armado precisam ser otimizadas por meio de aproximações sucessivas para se obter o resultado desejado. Devido ao fato deste procedimento ser iterativo, os valores adotados inicialmente para as variáveis dependem tanto da sensibilidade como da experiência prévia do projetista (KRIPKA, 2002).

No presente estudo não foi realizada otimização do dimensionamento. Entretanto para fins de comparação entre as duas concepções considerou-se aceitável o uso dos resultados não otimizados.

6 CONCLUSÕES

A elaboração deste trabalho baseou-se em um estudo de caso de um edifício residencial multifamiliar de 4 pavimentos. Os procedimentos adotados foram baseados nas diretrizes da NBR 6118:2014. O objetivo principal foi avaliar a influência do número de pilares projetados para a edificação no quantitativo de material necessário para a execução da obra. O dimensionamento estrutural foi realizado com auxílio de do software Eberick.

Ao final do comparativo elaborado, pode afirmar-se que o projeto com maior número de pilares apresenta um custo inferior ao projeto com menos pilares. Apesar do maior número de elementos, a menor área de seção transversal dos pilares e vigas compensam a diferença. Portanto o projeto com maior número de pilares é o layout mais interessante economicamente para o estudo de caso avaliado neste trabalho.

Com base nisso, conclui-se que a concepção estrutural de um edifício interfere no orçamento de uma obra, podendo acarretar economias ou prejuízos a empresa responsável pela execução.

Para futuros trabalhos, sugere-se avaliar também opções de fundações profundas e a opção de radier para a superficial, para balizar as decisões dos profissionais da área. Além de analisar as diferenças de custos considerando projetos com vigas de transição, que muitas vezes são necessárias para compatibilizar o projeto estrutural com o projeto arquitetônico. Outro ponto que pode ser explorado em trabalhos futuros é a avaliação da deformação da estrutura para cada projeto de concepção.

REFERÊNCIAS

ABNT. **NBR 6123 - Forças devidas ao vento em edificações** Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, 1988.

_____. **NBR 8681 - Ações e segurança nas estruturas - Procedimento** Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, 2003.

_____. **NBR 6118 - Projeto de Estruturas de Concreto - Procedimento** Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, 2014.

_____. **NBR 6122 - Projeto e execução de fundações. Associação Brasileira de Normas Técnicas**, 2019.

ALVA, G. M. S. **Concepção Estrutural de Edifícios em Concreto Armado**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <<http://coral.ufsm.br/>>.

ARAÚJO, J. M. DE. **Curso de Concreto Armado**. 3. ed. [s.l.] Editora Dunas, 2010. v. 1

BARBOZA, M. R. **Concepção e análise de estruturas de edifícios em concreto armado** Relatório Final de Iniciação Científica - FAPESP. [s.l: s.n.]. Disponível em: <http://professor.pucgoias.edu.br/SiteDocente/admin/arquivosUpload/14280/material/2008IC_Marcos.pdf>.

BASTOS, P. S. DOS S. **Flexão composta e pilares de concreto armado** Universidade Estadual Paulista, , 2020. Disponível em: <<http://wwwp.feb.unesp.br/pbastos/concreto2/Pilares.pdf>>

BORBA, N. M. DE F. **Estudo de caso: Comparativo de custos entre projetos estruturais e análise do seu impacto no orçamento final da obra**. [s.l.] Instituto Federal Goiano, 2020.

CARNEIRO, F. P. **Avaliação crítica dos resultados obtidos com o “software” Eberick para vigas e lajes em concreto armado**. [s.l.] Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2007.

COLLUCI, P. **Pré-dimensionamento de estruturas de concreto armado**. São Paulo: [s.n.]. Disponível em: <<https://www.linkedin.com/pulse/pré-dimensionamento-estrutura-de-concreto-armado-pietro-colucci/?originalSubdomain=pt>>. Acesso em: 29 jan. 2022.

FONTES, F. F.; PINHEIRO, L. M. Análise de um edifício por vários modelos estruturais. **Simpósio EPUSP sobre Estruturas de Concreto**, p. 233–250, 2006.

FRANÇA JÚNIOR, D. D. O. **Análise estrutural de um edifício em concreto armado com quatro pavimentos: estudo de caso para diferentes modelos estruturais**. [s.l.] Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2015.

GIONGO, J. S. **Concreto Armado: Projeto Estrutural de Edifícios**. [s.l: s.n.].

GONZÁLEZ, M. **Noções de orçamento e planejamento de obras** Notas de aula. [s.l: s.n.]. Disponível em: <<http://www.engenhariaconcursos.com.br>>.

KOERICH, M. M. M. *et al.* **Sistema Para Projeto de Edificações em Concreto Armado - Tutorial Básico do AltoQI Eberick**. Disponível em: <http://help.altoqi.com.br/Tutorial_EB_Basico>.

KRIPKA, M. **Otimização do custo de estruturas de concreto armado analisadas pelo modelo de grelha** V Simpósio EPUSP sobre Estruturas de Concreto. **Anais...**2002

OLIVEIRA, C. R. DE. Considerações sobre Modelos Estruturais. **Ciência et Praxis**, v. 1, n. 1, p. 33–38, 2008.

OLIVEIRA, H. L. **Modelos numéricos aplicados à análise viscoelástica linear e à otimização topológica probabilística de estruturas bidimensionais: uma abordagem pelo Método dos Elementos de Contorno**. [s.l.] Universidade de São Paulo, 2017.

PEREIRA FILHO, J. T. **Influência da Concepção Estrutural na Estabilidade Global de Edifícios em Concreto Armado**. [s.l.] Universidade Federal de Santa Catarina, 2019.

PILZ, S. E. *et al.* Índices Estruturais E a Evolução Da Concepção Estrutural Em 136 Edifícios De Concreto Armado. **Revista Gedecon. Revista Gestão e desenvolvimento em contexto**, v. 6, n. 2, p. 148–167, 2018.

PINHEIRO, L. M.; MUZARDO, C. D.; SANTOS, S. P. Estruturas de concreto. *In*: **Fundamentos do concreto e projeto de edifícios**. [s.l.] USP – EESC, 2003a. p. 7.

_____. Pré-dimensionamento. *In*: **Fundamentos do concreto e projeto de edifícios**. [s.l.] USP – EESC, 2003b. p. 1–6.

POLIZEL, A. M. **Análise comparativa da relação entre a concepção estrutural e os quantitativos resultantes no dimensionamento de edificações multipavimentos com o auxílio de sistemas computacionais integrados**. [s.l.] Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2018.

REBELLO, Y. **A concepção estrutural e a arquitetura**. [s.l.] Editora Zigurate, 2000.

SANTOS, A. **Estrutura da obra é 30% do custo e 100% da segurança**. Disponível em: <www.cimentoitambe.com.br>.

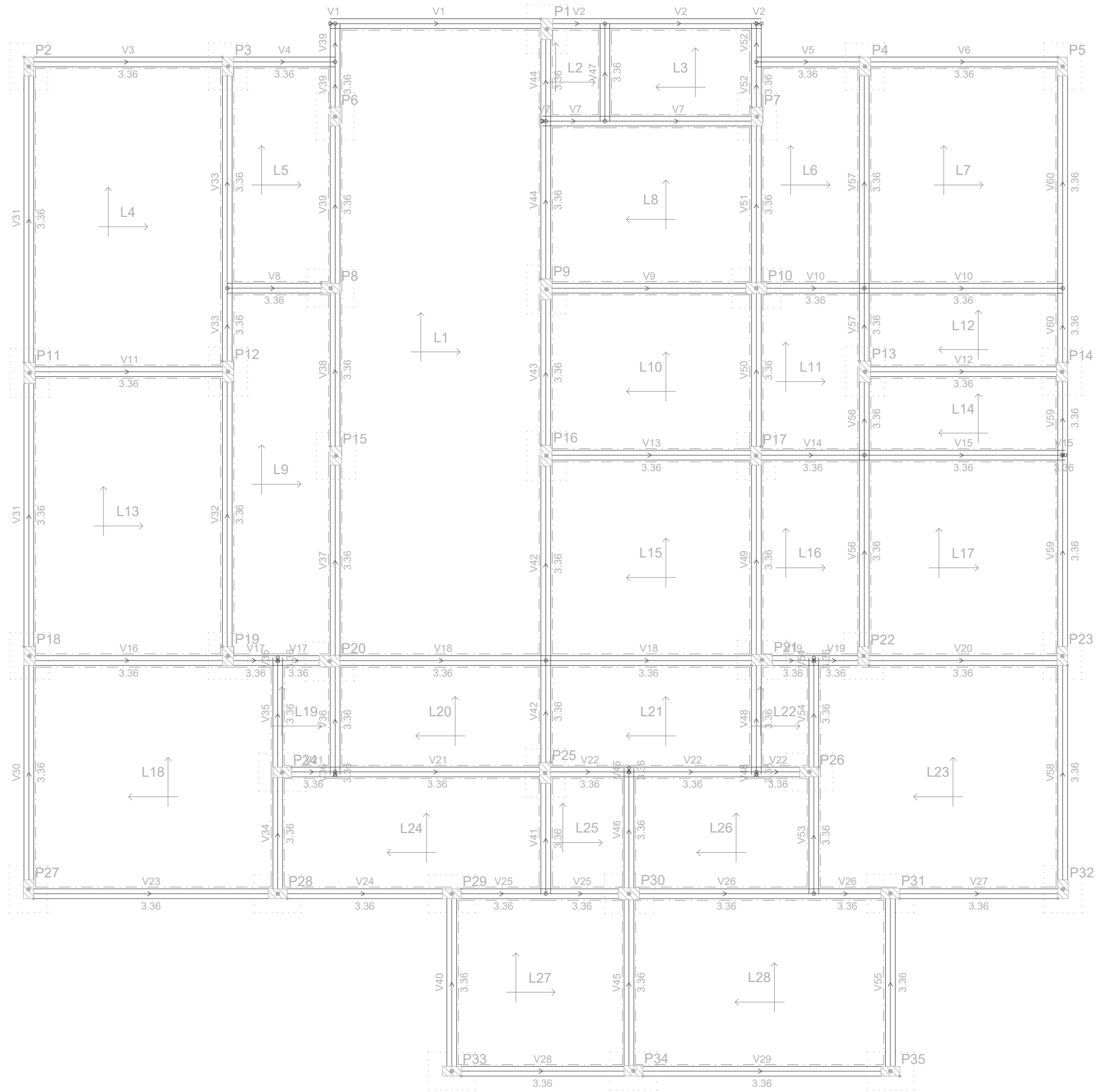
SILVA, W. Q. **Sobre análise não linear geométrica de edifícios considerando o empenamento dos núcleos estruturais e a interação solo-estrutura**. [s.l.] Universidade de São Paulo, 2014.

SOUSA, D. L. DE; SOUZA, O. R. DE. **Estudo comparativo entre fundações do tipo sapata e bloco com estacas pré-moldadas estudo de caso em Caratinga - MG.** [s.l.] Instituto Tecnológico De Caratinga, 2016.

VIANNA, L. C. C. **Otimização de seções transversais de concreto armado: aplicação a pórticos.** [s.l.] Universidade de São Paulo, 2006.

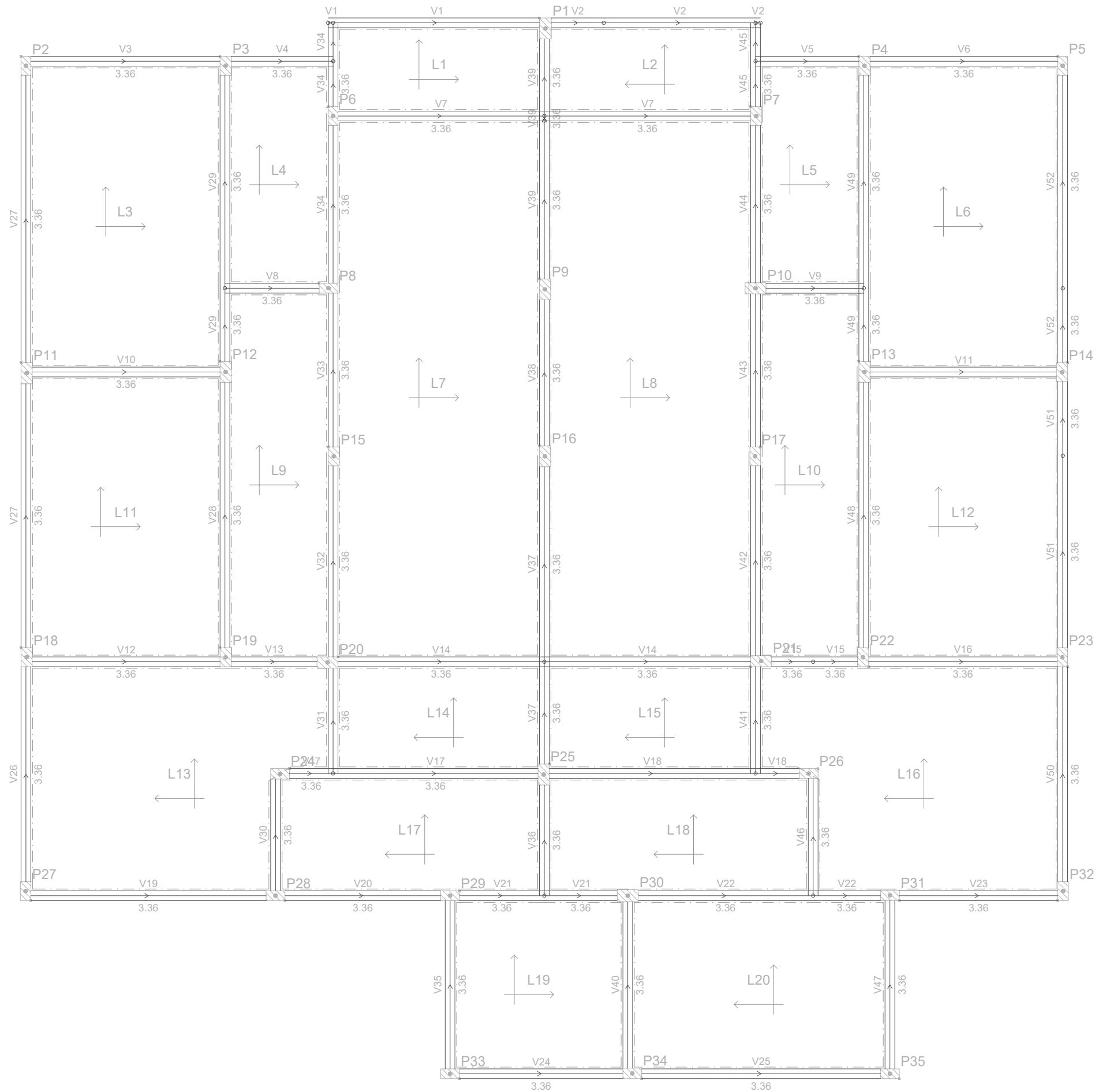
APÊNDICES

**APÊNDICE 1 -
PLANTAS PROJETO ESTRUTURAL:
CONCEPÇÃO 1**



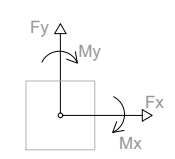
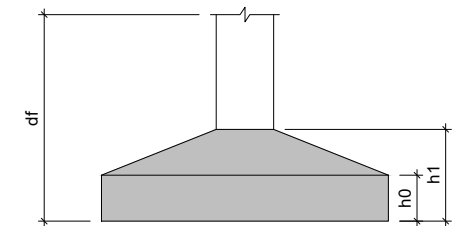
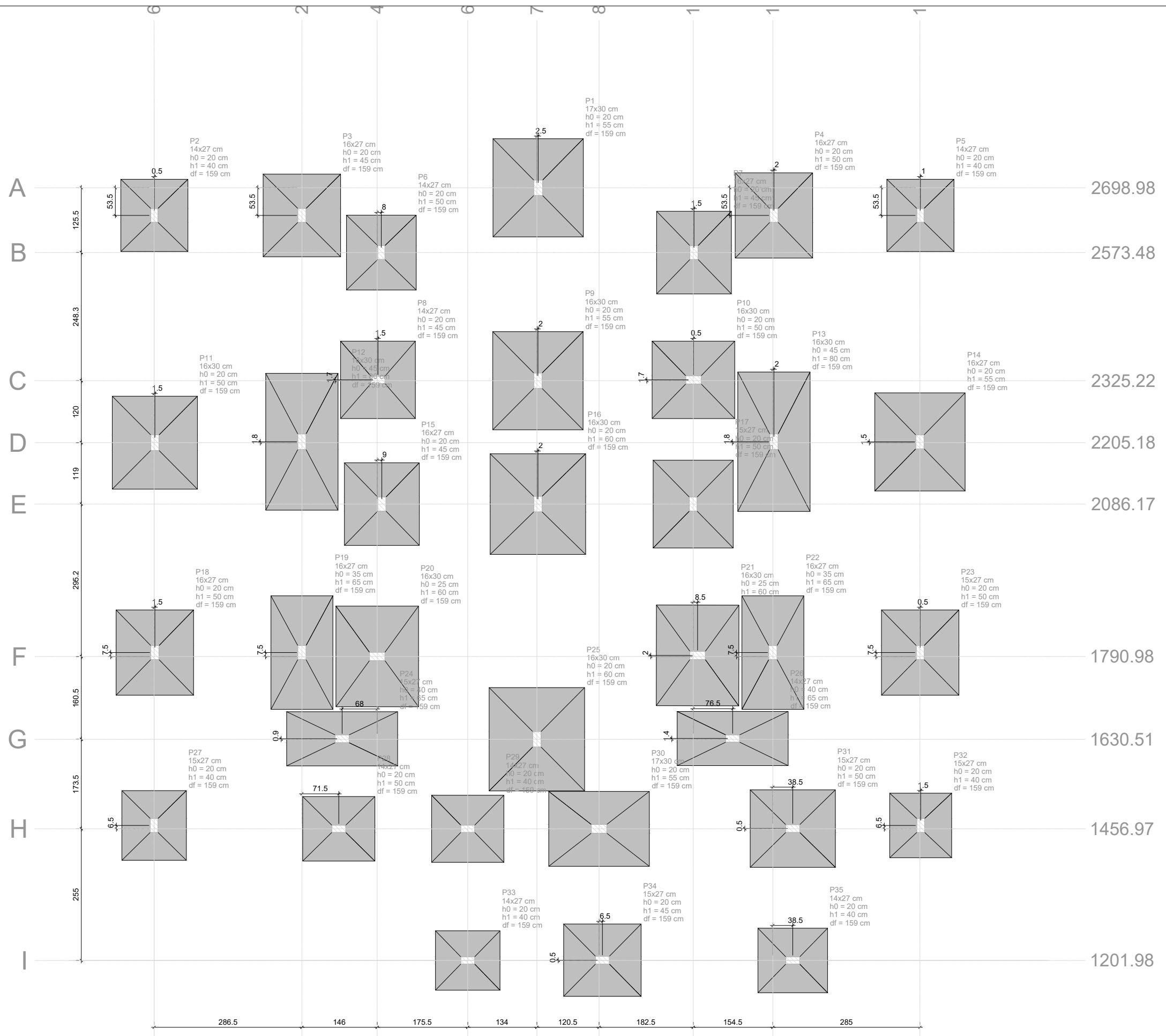
REVISÃO	DATA	DESCRIÇÃO
0	10/02/2022	Planta inicial

PROJETO ESTRUTURAL - CONCEPÇÃO 1	
RESPONSÁVEL TÉCNICO - PROJETO	RESPONSÁVEL TÉCNICO - EXECUÇÃO
KAROLINE ANGÉLICA MARTINS	
PROPRIETÁRIO	
IFSC - Intituto Federal de Santa Catarina CPF. 111.111.111-11	
OBRA / ENDEREÇO	ESCALA
DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL EDIFÍCIO RESIDENCIAL	1:50
	ARQUIVO
	PROJ/ESTRU - 001
DENOMINAÇÃO DO DESENHO	DATA
PLANTA ESTRUTURAL PAVIMENTO TÉRREO	MAR/2022
	FOLHA/TOTAL
	01/01
FASE	
APROVAÇÃO	

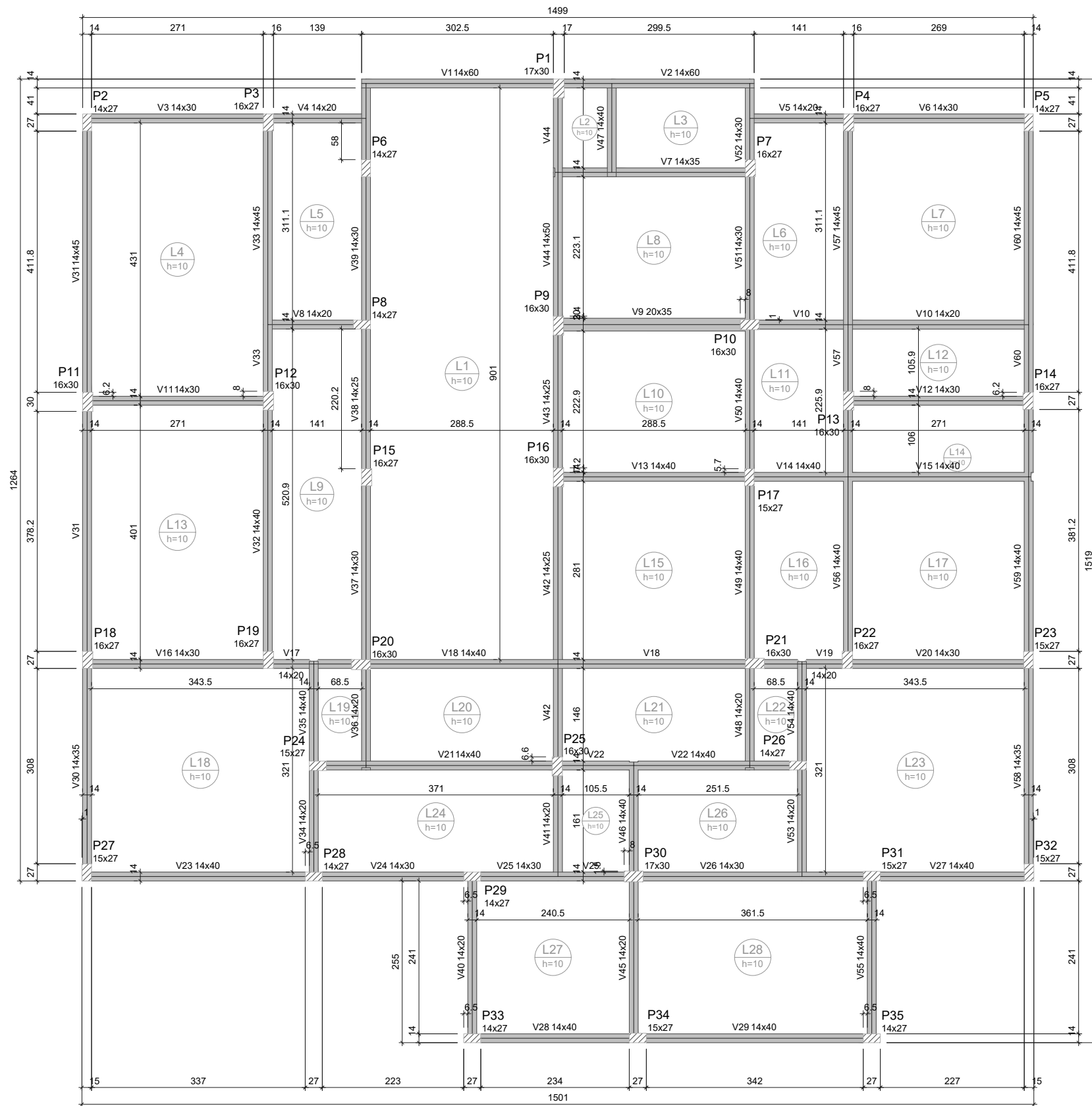


REVISÃO	DATA	DESCRIÇÃO
0	10/02/2022	Planta inicial

PROJETO ESTRUTURAL - CONCEPÇÃO 1	
RESPONSÁVEL TÉCNICO - PROJETO	RESPONSÁVEL TÉCNICO - EXECUÇÃO
KAROLINE ANGÉLICA MARTINS	
PROPRIETÁRIO	
IFSC - Intituto Federal de Santa Catarina CPF. 111.111.111-11	
OBRA / ENDEREÇO	ESCALA
DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL EDIFÍCIO RESIDENCIAL	1:50
	ARQUIVO
	PROJ/ESTRU - 001
DENOMINAÇÃO DO DESENHO	DATA
PLANTA ESTRUTURAL PAVIMENTO TIPO X3	MAR/2022
	FOLHA/TOTAL
	01/01
FASE	
APROVAÇÃO	



0	10/02/2022	Planta Inicial
REVISÃO	DATA	DESCRIÇÃO
PROJETO ESTRUTURAL - CONCEPÇÃO 1		
RESPONSÁVEL TÉCNICO - PROJETO		RESPONSÁVEL TÉCNICO - EXECUÇÃO
KAROLINE ANGÉLICA MARTINS		
PROPRIETÁRIO		
IFSC - Instituto Federal de Santa Catarina CPF. 111.111.111-11		
OBRA / ENDEREÇO		ESCALA
DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL EDIFÍCIO RESIDENCIAL		1:100
		ARQUIVO
		PROJ/ESTRU - 001
DENOMINAÇÃO DO DESENHO		DATA
PLANTA DE LOCAÇÃO		MAR/2022
		FOLHA/TOTAL
		01/01
FASE		APROVAÇÃO



Forma do pavimento TÉRREO (Nível 300)
escala 1:50

Vigas	
Nome	Seção (cm)
V1	14x60
V2	14x60
V3	14x30
V4	14x20
V5	14x20
V6	14x30
V7	14x35
V8	14x20
V9	20x35
V10	14x20
V11	14x30
V12	14x30
V13	14x40
V14	14x40
V15	14x40
V16	14x30
V17	14x20
V18	14x40
V19	14x20
V20	14x30
V21	14x40
V22	14x40
V23	14x40
V24	14x30
V25	14x30
V26	14x30
V27	14x40
V28	14x40
V29	14x40
V30	14x35
V31	14x45
V32	14x40
V33	14x45
V34	14x20
V35	14x40
V36	14x20
V37	14x30
V38	14x25
V39	14x30
V40	14x20
V41	14x20
V42	14x25
V43	14x25
V44	14x50
V45	14x20
V46	14x40
V47	14x40
V48	14x20
V49	14x40
V50	14x40
V51	14x30
V52	14x30
V53	14x20
V54	14x40
V55	14x40
V56	14x40
V57	14x45
V58	14x35
V59	14x40
V60	14x45

Pilares	
Nome	Seção (cm)
P1	17x30
P2	14x27
P3	16x27
P4	16x27
P5	14x27
P6	14x27
P7	16x27
P8	14x27
P9	16x30
P10	16x30
P11	16x30
P12	16x30
P13	16x30
P14	16x27
P15	16x30
P16	16x30
P17	15x27
P18	16x27
P19	16x27
P20	16x30
P21	16x30
P22	16x27
P23	15x27
P24	15x27
P25	16x30
P26	14x27
P27	15x27
P28	14x27
P29	14x27
P30	17x30
P31	15x27
P32	15x27
P33	14x27
P34	15x27
P35	14x27

Lajes						
Dados			Sobrecarga (kN/m²)			
Nome	Tipo	Altura (cm)	Peso próprio (kN/m²)	Adicional	Acidental	Localizada
L1	Maciça	10	2.50	1.54	3.00	-
L2	Maciça	10	2.50	1.54	3.00	-
L3	Maciça	10	2.50	1.54	3.00	-
L4	Maciça	10	2.50	1.55	3.00	-
L5	Maciça	10	2.50	1.54	3.00	-
L6	Maciça	10	2.50	1.54	3.00	-
L7	Maciça	10	2.50	1.54	3.00	-
L8	Maciça	10	2.50	1.54	3.00	-
L9	Maciça	10	2.50	1.54	3.00	-
L10	Maciça	10	2.50	1.54	3.00	-
L11	Maciça	10	2.50	1.55	3.00	-
L12	Maciça	10	2.50	1.54	3.00	-
L13	Maciça	10	2.50	1.55	3.00	-
L14	Maciça	10	2.50	1.54	3.00	-
L15	Maciça	10	2.50	1.55	3.00	-
L16	Maciça	10	2.50	1.55	3.00	-
L17	Maciça	10	2.50	1.54	3.00	-
L18	Maciça	10	2.50	1.54	3.00	-
L19	Maciça	10	2.50	1.54	3.00	-
L20	Maciça	10	2.50	1.54	3.00	-
L21	Maciça	10	2.50	1.54	3.00	-
L22	Maciça	10	2.50	1.54	3.00	-
L23	Maciça	10	2.50	1.54	3.00	-
L24	Maciça	10	2.50	1.55	3.00	-
L25	Maciça	10	2.50	1.54	3.00	-
L26	Maciça	10	2.50	1.54	3.00	-
L27	Maciça	10	2.50	1.55	3.00	-
L28	Maciça	10	2.50	1.55	3.00	-

Legenda dos pilares

Pilar que passa

Legenda das vigas e paredes

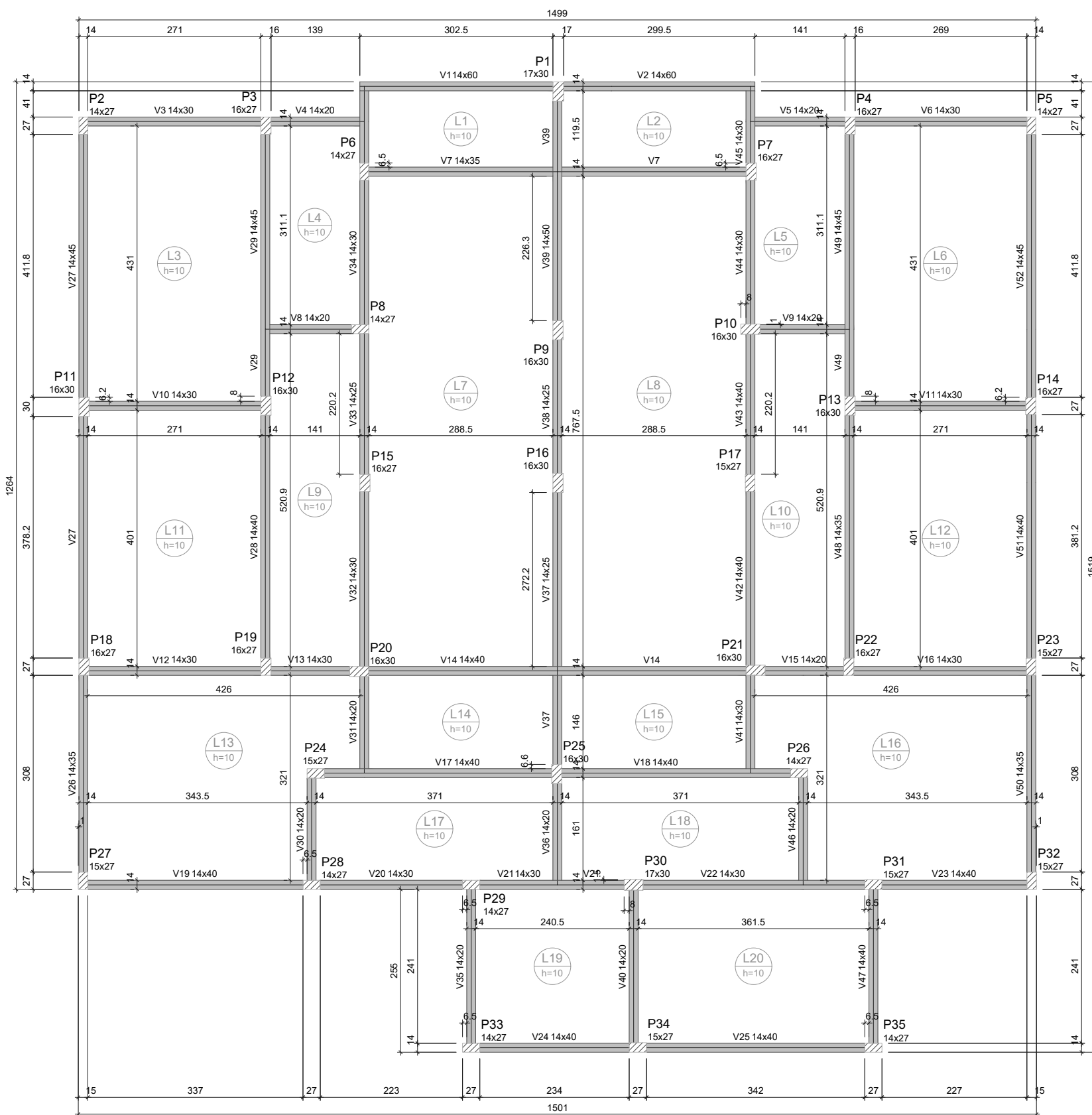
Viga

Características dos materiais

fck (MPa)	Ecs (MPa)
25	24150

Dimensão máxima do agregado = 19 mm

0	10/02/2022	Planta inicial
REVISÃO	DATA	DESCRIÇÃO
PROJETO ESTRUTURAL - CONCEPÇÃO 1		
RESPONSÁVEL TÉCNICO - PROJETO		RESPONSÁVEL TÉCNICO - EXECUÇÃO
KAROLINE ANGÉLICA MARTINS		
PROPRIETÁRIO		
IFSC - Instituto Federal de Santa Catarina CPF. 111.111.111-11		
OBRA / ENDEREÇO		ESCALA
DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL EDIFÍCIO RESIDENCIAL		1:100
DENOMINAÇÃO DO DESENHO		ARQUIVO
PLANTA DE FORMAS PAVIMENTO TÉRREO		PROJ/ESTRU - 001
FASE		DATA
APROVAÇÃO		MAR/2022
		FOLHA/TOTAL
		01/01



Forma do pavimento TIPO 1 (Nível 600)

escala 1:50

Vigas	
Nome	Seção (cm)
V1	14x60
V2	14x60
V3	14x30
V4	14x20
V5	14x20
V6	14x30
V7	14x35
V8	14x20
V9	14x20
V10	14x30
V11	14x30
V12	14x30
V13	14x30
V14	14x40
V15	14x20
V16	14x30
V17	14x40
V18	14x40
V19	14x40
V20	14x30
V21	14x30
V22	14x30
V23	14x40
V24	14x40
V25	14x40
V26	14x35
V27	14x45
V28	14x40
V29	14x45
V30	14x20
V31	14x20
V32	14x30
V33	14x25
V34	14x30
V35	14x20
V36	14x20
V37	14x25
V38	14x25
V39	14x50
V40	14x20
V41	14x30
V42	14x40
V43	14x40
V44	14x30
V45	14x30
V46	14x20
V47	14x40
V48	14x35
V49	14x45
V50	14x35
V51	14x40
V52	14x45

Pilares	
Nome	Seção (cm)
P1	17x30
P2	14x27
P3	16x27
P4	16x27
P5	14x27
P6	14x27
P7	16x27
P8	14x27
P9	16x30
P10	16x30
P11	16x30
P12	16x30
P13	16x30
P14	16x27
P15	16x27
P16	16x30
P17	16x30
P18	16x27
P19	16x27
P20	16x30
P21	16x30
P22	16x27
P23	15x27
P24	15x27
P25	16x30
P26	14x27
P27	15x27
P28	14x27
P29	14x27
P30	17x30
P31	15x27
P32	15x27
P33	14x27
P34	15x27
P35	14x27

Lajes						
Dados			Sobrecarga (kN/m²)			
Nome	Tipo	Altura (cm)	Peso próprio (kN/m²)	Adicional	Acidental	Localizada
L1	Maciça	10	2.50	1.54	3.00	-
L2	Maciça	10	2.50	1.54	3.00	-
L3	Maciça	10	2.50	1.55	3.00	-
L4	Maciça	10	2.50	1.54	3.00	-
L5	Maciça	10	2.50	1.54	3.00	-
L6	Maciça	10	2.50	1.54	3.00	-
L7	Maciça	10	2.50	1.54	3.00	-
L8	Maciça	10	2.50	1.54	3.00	-
L9	Maciça	10	2.50	1.54	3.00	-
L10	Maciça	10	2.50	1.54	3.00	-
L11	Maciça	10	2.50	1.55	3.00	-
L12	Maciça	10	2.50	1.54	3.00	-
L13	Maciça	10	2.50	1.54	3.00	-
L14	Maciça	10	2.50	1.54	3.00	-
L15	Maciça	10	2.50	1.54	3.00	-
L16	Maciça	10	2.50	1.54	3.00	-
L17	Maciça	10	2.50	1.55	3.00	-
L18	Maciça	10	2.50	1.54	3.00	-
L19	Maciça	10	2.50	1.55	3.00	-
L20	Maciça	10	2.50	1.55	3.00	-

Legenda dos pilares	
	Pilar que passa

Legenda das vigas e paredes	
	Viga

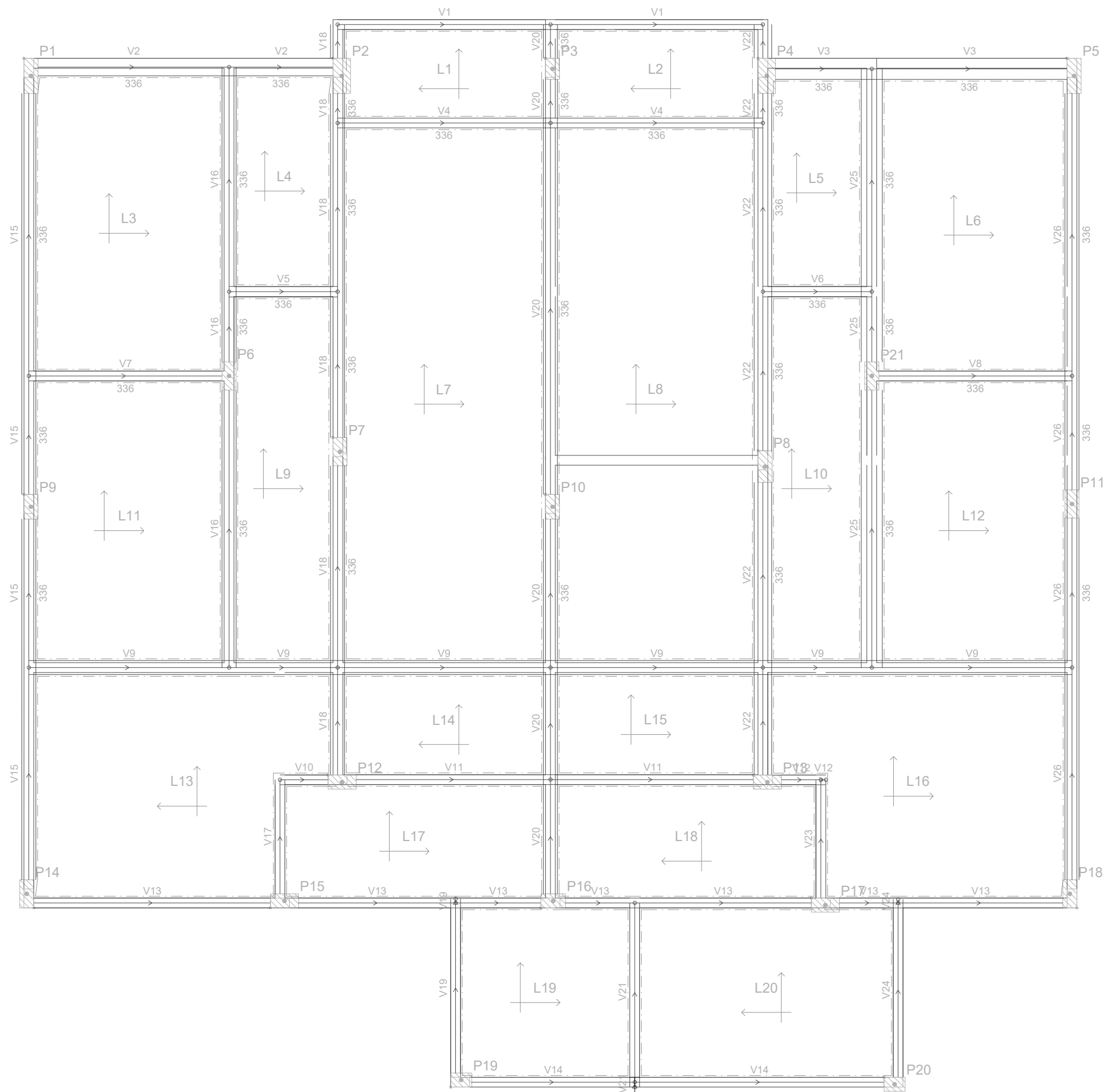
Características dos materiais

fck (MPa)	Ecs (MPa)
25	24150

Dimensão máxima do agregado = 19 mm

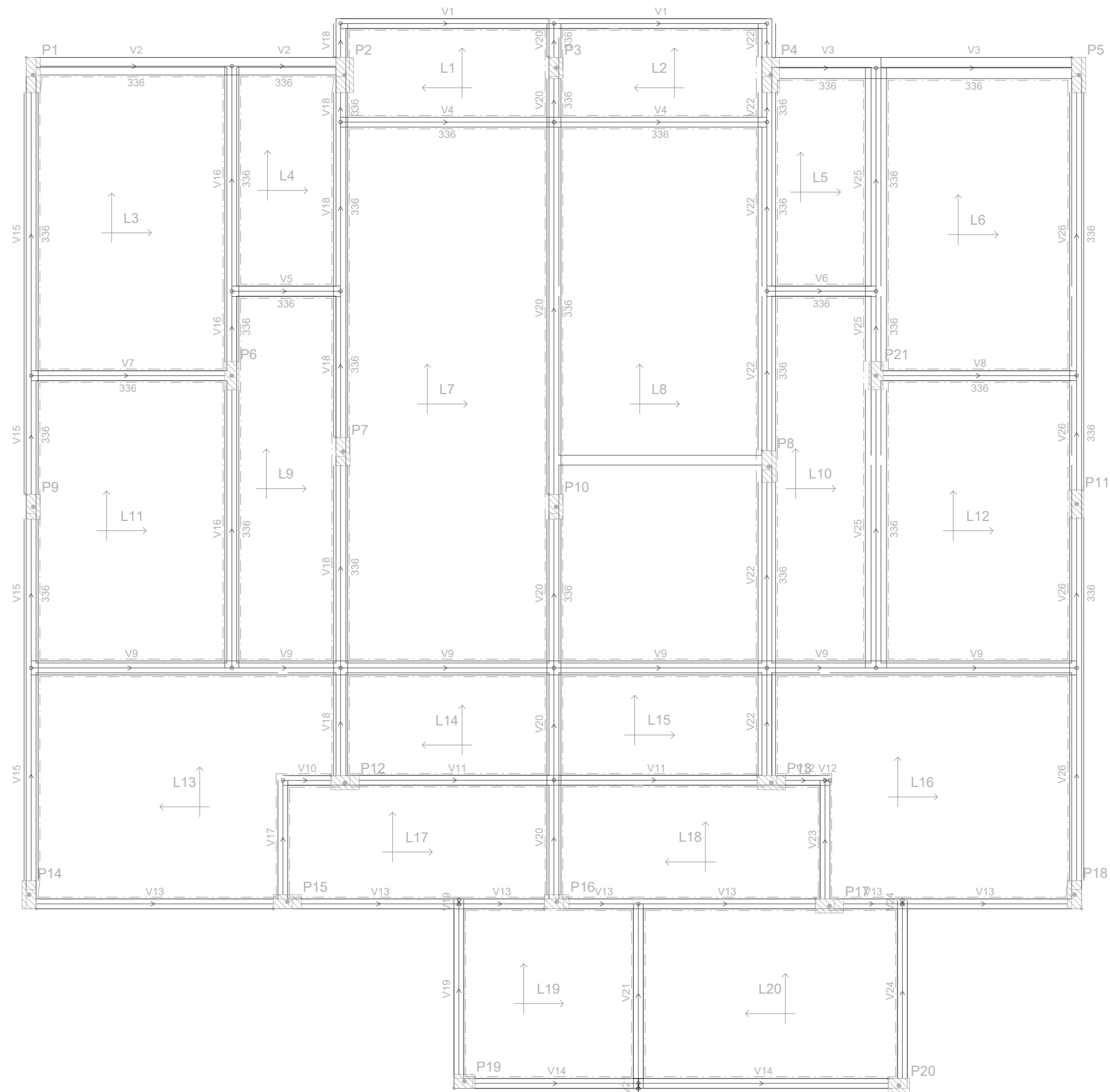
0	10/02/2022	Planta inicial
REVISÃO	DATA	DESCRIÇÃO
PROJETO ESTRUTURAL - CONCEPÇÃO 1		
RESPONSÁVEL TÉCNICO - PROJETO		RESPONSÁVEL TÉCNICO - EXECUÇÃO
KAROLINE ANGÉLICA MARTINS		
PROPRIETÁRIO		
IFSC - Instituto Federal de Santa Catarina CPF. 111.111.111-11		
OBRA / ENDEREÇO		ESCALA
DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL EDIFÍCIO RESIDENCIAL		1:100
		ARQUIVO
		PROJ/ESTRU - 001
DENOMINAÇÃO DO DESENHO		DATA
PLANTA DE FORMAS PAVIMENTO TIPO x3		MAR/2022
		FOLHA/TOTAL
		01/01
FASE		
APROVAÇÃO		

**APÊNDICE 2 -
PLANTAS PROJETO ESTRUTURAL:
CONCEPÇÃO 2**



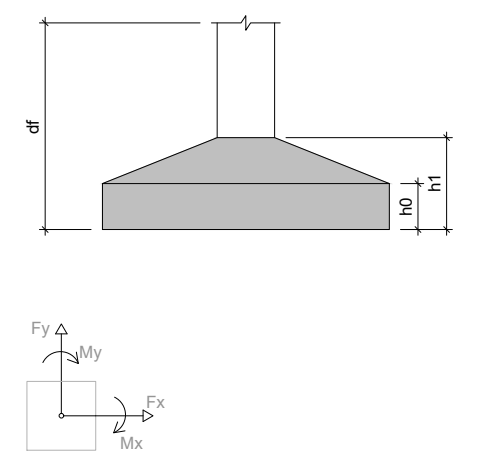
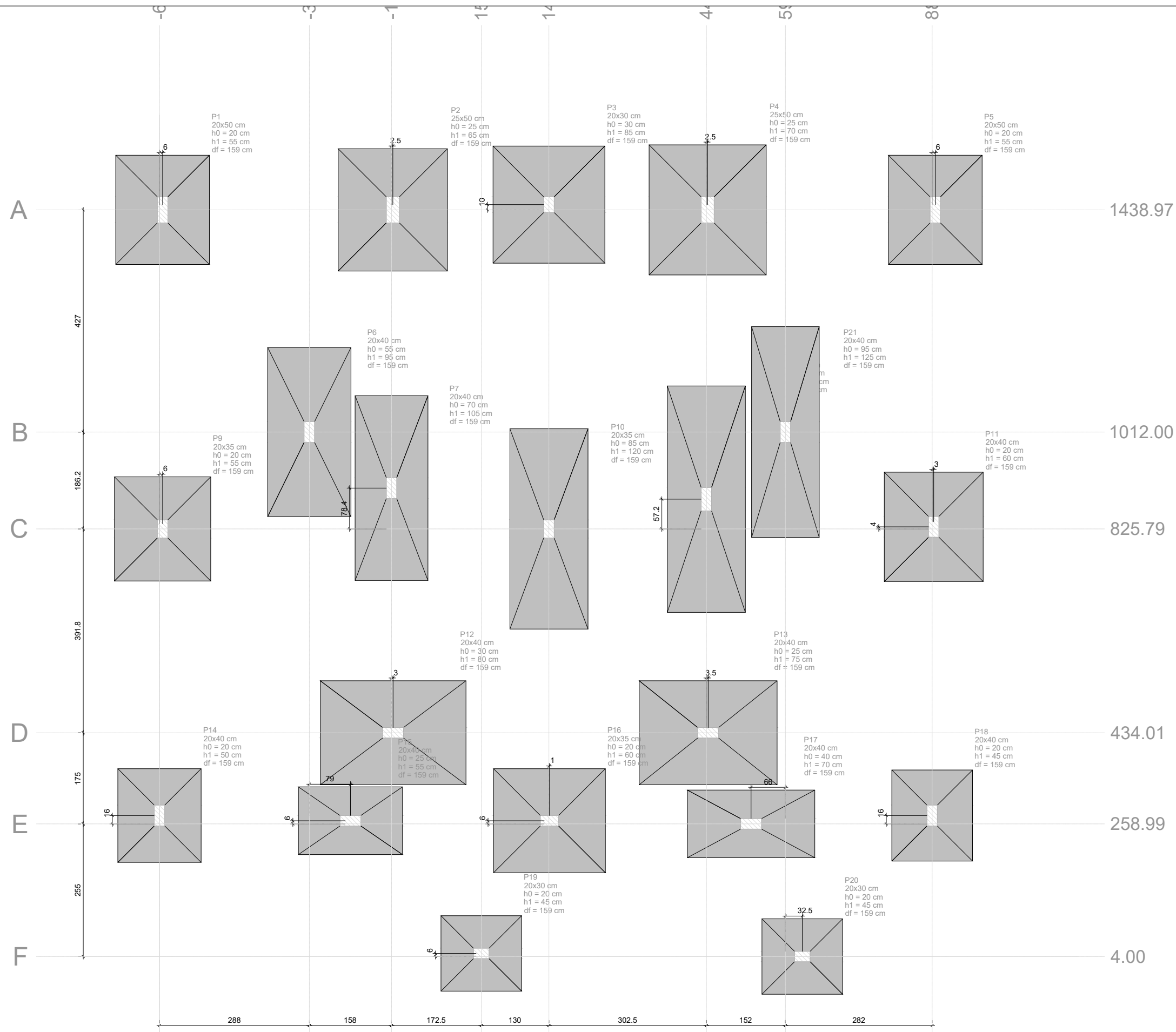
REVISÃO	DATA	DESCRIÇÃO
0	10/02/2022	Planta inicial

PROJETO ESTRUTURAL - CONCEPÇÃO 2	
RESPONSÁVEL TÉCNICO - PROJETO	RESPONSÁVEL TÉCNICO - EXECUÇÃO
KAROLINE ANGÉLICA MARTINS	
PROPRIETÁRIO	
IFSC - Instituto Federal de Santa Catarina CPF. 111.111.111-11	
OBRA / ENDEREÇO	ESCALA
DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL	1:50
EDIFÍCIO RESIDENCIAL	ARQUIVO
	PROJ/ESTRU - 001
DENOMINAÇÃO DO DESENHO	DATA
PLANTA ESTRUTURAL PAVIMENTO TÉRREO	MAR/2022
	FOLHA/TOTAL
	01/01
FASE	
APROVAÇÃO	

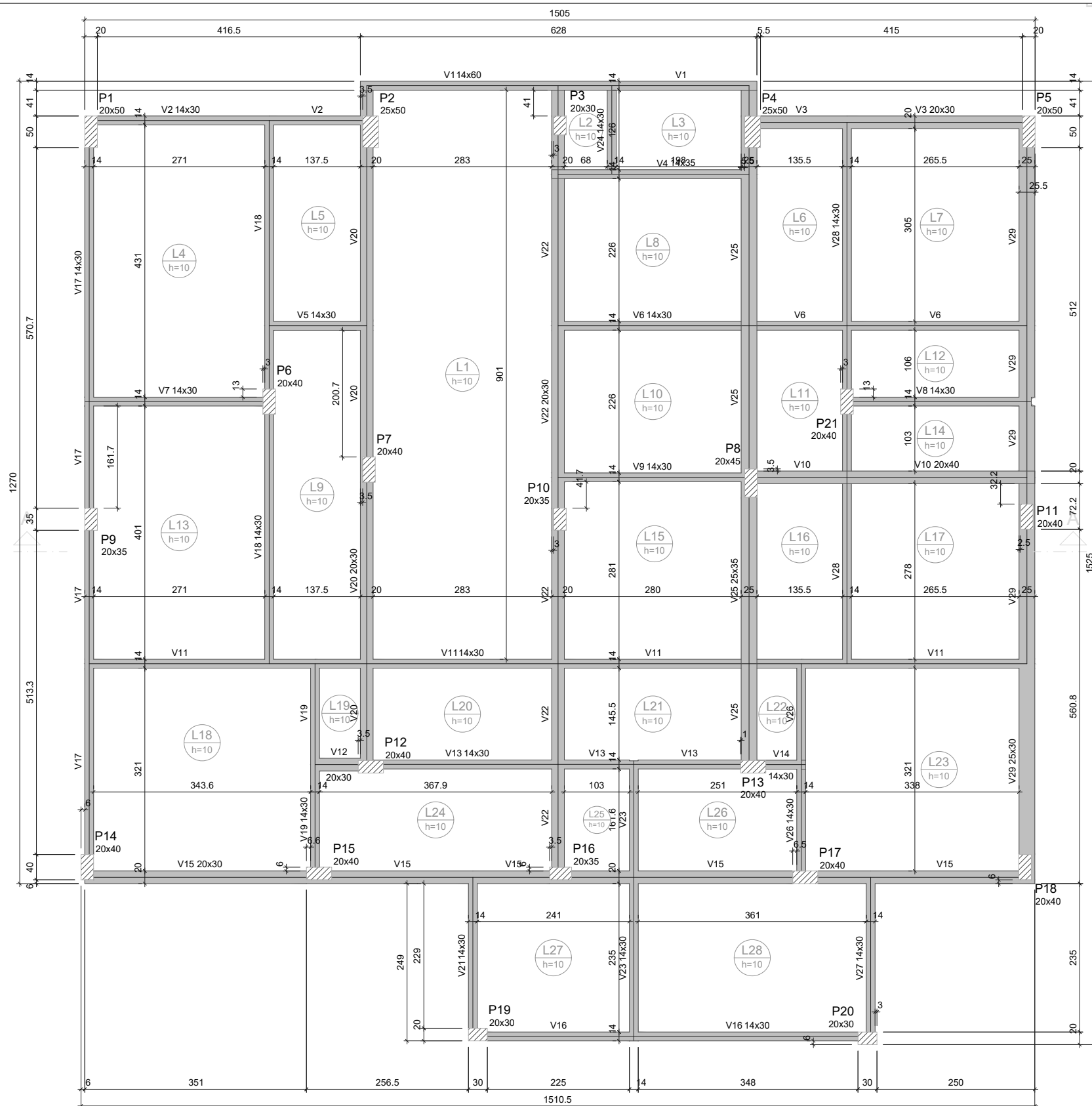


REVISÃO	DATA	DESCRIÇÃO
0	10/02/2022	Planta inicial

PROJETO ESTRUTURAL - CONCEPÇÃO 2	
RESPONSÁVEL TÉCNICO - PROJETO	RESPONSÁVEL TÉCNICO - EXECUÇÃO
KAROLINE ANGÉLICA MARTINS	
PROPRIETÁRIO	
IFSC - Instituto Federal de Santa Catarina CPF. 111.111.111-11	
OBRA / ENDEREÇO	ESCALA
DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL	1:50
EDIFÍCIO RESIDENCIAL	ARQUIVO
	PROJ/ESTRU - 001
DENOMINAÇÃO DO DESENHO	DATA
PLANTA ESTRUTURAL PAVIMENTO TIPO X3	MAR/2022
	FOLHA/TOTAL
	01/01
FASE	
APROVAÇÃO	



0	10/02/2022	Planta inicial
REVISÃO	DATA	DESCRIÇÃO
PROJETO ESTRUTURAL - CONCEPÇÃO 2		
RESPONSÁVEL TÉCNICO - PROJETO		RESPONSÁVEL TÉCNICO - EXECUÇÃO
KAROLINE ANGÉLICA MARTINS		
PROPRIETÁRIO		
IFSC - Instituto Federal de Santa Catarina CPF. 111.111.111-11		
OBRA / ENDEREÇO	ESCALA	1:100
DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL	ARQUIVO	PROJ/ESTRU - 001
EDIFÍCIO RESIDENCIAL	DATA	MAR/2022
DENOMINAÇÃO DO DESENHO	FOLHA/TOTAL	01/01
PLANTA DE LOCAÇÃO	APROVAÇÃO	
FASE		



Vigas	
Nome	Seção (cm)
V1	14x60
V2	14x30
V3	20x30
V4	14x35
V5	14x30
V6	14x30
V7	14x30
V8	14x30
V9	14x30
V10	20x40
V11	14x30
V12	20x30
V13	14x30
V14	14x30
V15	20x30
V16	14x30
V17	14x30
V18	14x30
V19	14x30
V20	20x30
V21	14x30
V22	20x30
V23	14x30
V24	14x30
V25	25x35
V26	14x30
V27	14x30
V28	14x30
V29	25x30

Pilares	
Nome	Seção (cm)
P1	20x50
P2	25x50
P3	20x30
P4	25x50
P5	20x50
P6	20x40
P7	20x40
P8	20x45
P9	20x35
P10	20x35
P11	20x40
P12	20x40
P13	20x40
P14	20x40
P15	20x40
P16	20x35
P17	20x40
P18	20x40
P19	20x30
P20	20x30
P21	20x40

Lajes						
Nome	Tipo	Dados		Sobrecarga (kgf/m²)		
		Altura (cm)	Peso próprio (kgf/m²)	Adicional	Acidental	Localizada
L1	Maciça	10	250	155	300	-
L2	Maciça	10	250	155	300	-
L3	Maciça	10	250	155	300	-
L4	Maciça	10	250	155	300	-
L5	Maciça	10	250	155	300	-
L6	Maciça	10	250	155	300	-
L7	Maciça	10	250	155	300	-
L8	Maciça	10	250	155	300	-
L9	Maciça	10	250	155	300	-
L10	Maciça	10	250	155	300	-
L11	Maciça	10	250	155	300	-
L12	Maciça	10	250	155	300	-
L13	Maciça	10	250	155	300	-
L14	Maciça	10	250	155	300	-
L15	Maciça	10	250	155	300	-
L16	Maciça	10	250	155	300	-
L17	Maciça	10	250	155	300	-
L18	Maciça	10	250	155	300	-
L19	Maciça	10	250	155	300	-
L20	Maciça	10	250	155	300	-
L21	Maciça	10	250	155	300	-
L22	Maciça	10	250	155	300	-
L23	Maciça	10	250	155	300	-
L24	Maciça	10	250	155	300	-
L25	Maciça	10	250	155	300	-
L26	Maciça	10	250	155	300	-
L27	Maciça	10	250	155	300	-
L28	Maciça	10	250	155	300	-

Legenda dos pilares	
	Pilar que passa

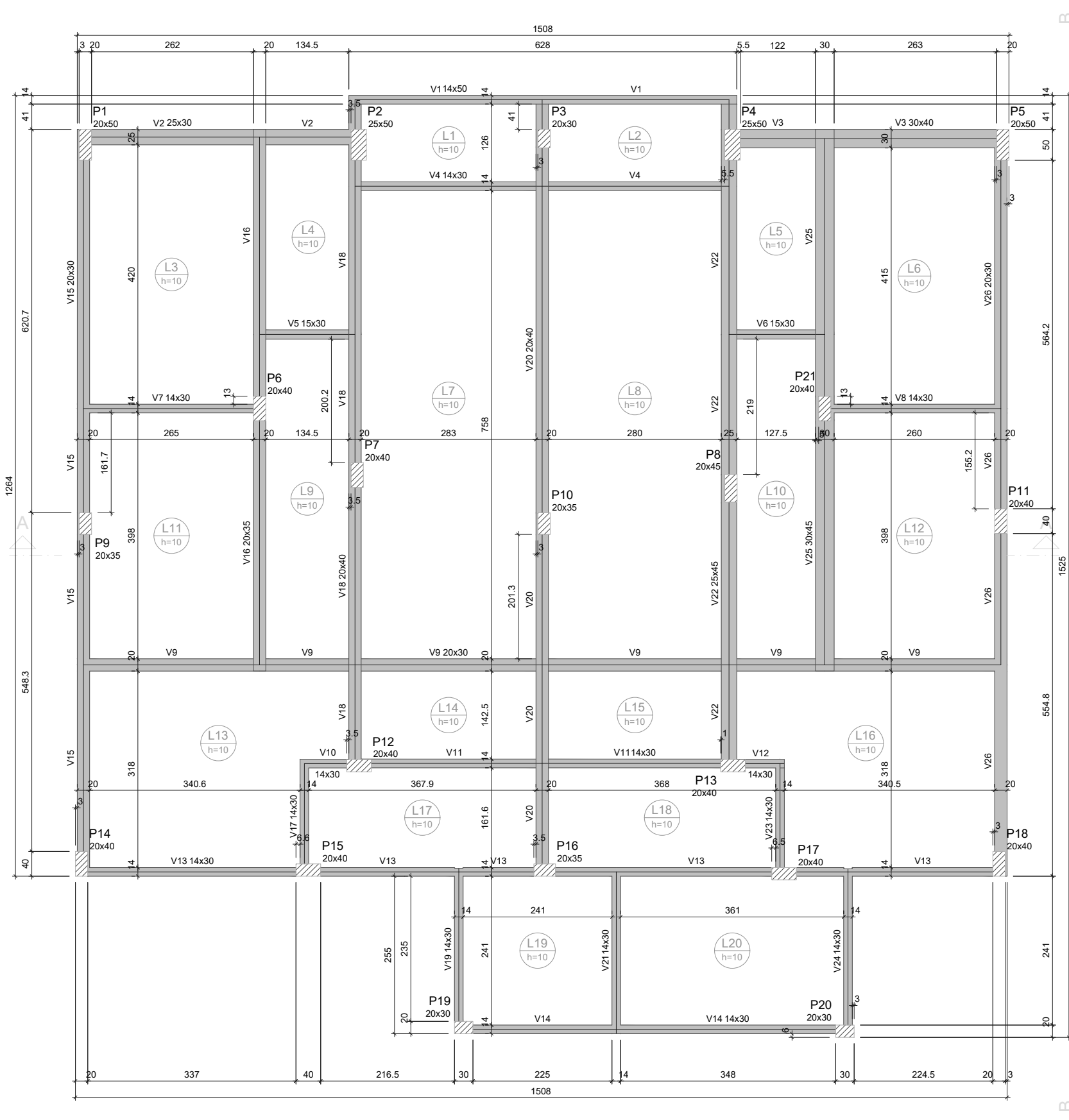
Legenda das vigas e paredes	
	Viga

Características dos materiais	
fck (kgf/cm²)	Ecs (kgf/cm²)
250	241500

Dimensão máxima do agregado = 19 mm

0	10/02/2022	Planta inicial
REVISÃO	DATA	DESCRIÇÃO
PROJETO ESTRUTURAL - CONCEPÇÃO 2		
RESPONSÁVEL TÉCNICO - PROJETO		RESPONSÁVEL TÉCNICO - EXECUÇÃO
KAROLINE ANGÉLICA MARTINS		
PROPRIETÁRIO		
IFSC - Intituto Federal de Santa Catarina CPF. 111.111.111-11		
OBRA / ENDEREÇO		ESCALA
DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL EDIFÍCIO RESIDENCIAL		1:100
		ARQUIVO
		PROJ/ESTRU - 001
DENOMINAÇÃO DO DESENHO		DATA
PLANTA DE FORMAS PAVIMENTO TÉRREO		MAR/2022
		FOLHA/TOTAL
		01/01
FASE		APROVAÇÃO

Forma do pavimento TÉRREO (Nível 300)
escala 1:50



Forma do pavimento TIPO 1 (Nível 600)

escala 1:50

Vigas	
Nome	Seção (cm)
V1	14x50
V2	25x30
V3	30x40
V4	14x30
V5	15x30
V6	15x30
V7	14x30
V8	14x30
V9	20x30
V10	14x30
V11	14x30
V12	14x30
V13	14x30
V14	14x30
V15	20x30
V16	20x35
V17	14x30
V18	20x40
V19	14x30
V20	20x40
V21	14x30
V22	25x45
V23	14x30
V24	14x30
V25	30x45
V26	20x30

Pilares	
Nome	Seção (cm)
P1	20x50
P2	25x50
P3	20x30
P4	25x50
P5	20x50
P6	20x40
P7	20x40
P8	20x45
P9	20x35
P10	20x35
P11	20x40
P12	20x40
P13	20x40
P14	20x40
P15	20x40
P16	20x35
P17	20x40
P18	20x40
P19	20x30
P20	20x30
P21	20x40

Lajes						
Nome	Tipo	Altura (cm)	Sobrecarga (kgf/m ²)			
			Peso próprio (kgf/m ²)	Adicional	Acidental	Localizada
L1	Maiça	10	250	155	300	-
L2	Maiça	10	250	155	300	-
L3	Maiça	10	250	155	300	-
L4	Maiça	10	250	155	300	-
L5	Maiça	10	250	155	300	-
L6	Maiça	10	250	155	300	-
L7	Maiça	10	250	155	300	-
L8	Maiça	10	250	155	300	-
L9	Maiça	10	250	155	300	-
L10	Maiça	10	250	155	300	-
L11	Maiça	10	250	155	300	-
L12	Maiça	10	250	155	300	-
L13	Maiça	10	250	154	300	-
L14	Maiça	10	250	155	300	-
L15	Maiça	10	250	155	300	-
L16	Maiça	10	250	155	300	-
L17	Maiça	10	250	155	300	-
L18	Maiça	10	250	155	300	-
L19	Maiça	10	250	155	300	-
L20	Maiça	10	250	155	300	-

Legenda dos pilares	
	Pilar que passa

Legenda das vigas e paredes	
	Viga

Características dos materiais	
fck (kgf/cm ²)	Ecs (kgf/cm ²)
250	241500

Dimensão máxima do agregado = 19 mm

0	10/02/2022	Planta inicial
REVISÃO	DATA	DESCRIÇÃO
PROJETO ESTRUTURAL - CONCEPÇÃO 2		
RESPONSÁVEL TÉCNICO - PROJETO		RESPONSÁVEL TÉCNICO - EXECUÇÃO
KAROLINE ANGÉLICA MARTINS		
PROPRIETÁRIO		
IFSC - Instituto Federal de Santa Catarina CPF. 111.111.111-11		
OBRA / ENDEREÇO		ESCALA
DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL EDIFÍCIO RESIDENCIAL		1:100
		ARQUIVO
		PROJ/ESTRU - 001
DENOMINAÇÃO DO DESENHO		DATA
PLANTA DE FORMAS PAVIMENTO TIPO		MAR/2022
		FOLHA/TOTAL
		01/01
APROVAÇÃO		