

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
COMISSÃO DE GRADUAÇÃO DO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

Júlia Bastos Mariante

**COMPARAÇÃO ENTRE DIFERENTES ALTERNATIVAS
VISANDO A REDUÇÃO DE CARGA E CUSTOS A SEREM
EXPLORADOS AO SE CRIAR UM PROJETO ESTRUTURAL:
ESTUDO DE CASO**

Porto Alegre
Dezembro 2019

JÚLIA BASTOS MARIANTE

**COMPARAÇÃO ENTRE DIFERENTES ALTERNATIVAS
VISANDO A REDUÇÃO DE CARGA E CUSTOS A SEREM
EXPLORADOS AO SE CRIAR UM PROJETO ESTRUTURAL:
ESTUDO DE CASO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Comissão de Graduação do Curso de Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro Civil

Orientador: João Ricardo Masuero

Porto Alegre
Dezembro 2019

JÚLIA BASTOS MARIANTE

**COMPARAÇÃO ENTRE DIFERENTES ALTERNATIVAS
VISANDO A REDUÇÃO DE CARGA E CUSTOS A SEREM
EXPLORADOS AO SE CRIAR UM PROJETO ESTRUTURAL:
ESTUDO DE CASO**

Este Trabalho de Diplomação foi julgado adequado como pré-requisito para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL e aprovado em sua forma final pela Banca Examinadora, pelo Professor Orientador e pela Comissão de Graduação do Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, 18 de dezembro de 2019

BANCA EXAMINADORA

Prof. João Ricardo Masuero (UFRGS)

Dr. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Orientador

Prof. Alexandre Rodrigues Pacheco (UFRGS)

Dr. pela Pennsylvania State University

Prof. Ronald José Ellwanger (UFRGS)

Dr. pela Universidade Federal do Rio de Janeiro

Dedico este trabalho a meus pais, Rosana e Denilson, que sempre me apoiaram e me auxiliaram durante minha trajetória.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu orientador, Professor João Ricardo Masuero, pelo auxílio e dedicação ao longo deste trabalho.

Agradeço à minha mãe Rosana por sempre me apoiar, principalmente durante este período, e por me auxiliar neste início de trajetória profissional.

Agradeço ao meu pai Denilson por tentar sempre me ajudar e me aconselhar.

Agradeço a todos os meus amigos e familiares que de alguma forma me auxiliaram nesta conquista.

Os que se encantam com a prática sem a ciência são como os timoneiros que entram no navio sem timão nem bússola, nunca tendo certeza do seu destino.

Leonardo da Vinci

RESUMO

Um bom engenheiro projetista deve sempre ter em mente as diversas alternativas disponíveis para se compor um projeto estrutural, tendo sempre como base o funcionamento técnico de cada uma delas bem como suas vantagens e desvantagens executivas e em termos de custos. Este trabalho se propõe a isto: trazer 6 diferentes alternativas estruturais e comparar seus quantitativos e custos totais a fim de dissertar sobre as vantagens e desvantagens de cada uma. Para isto, utilizou-se do software TQS como ferramenta de cálculo para a modelagem das estruturas, tendo como base um projeto arquitetônico de um edifício residencial de 5 pavimentos. Após a modelagem de cada uma das estruturas, retirou-se os resultados quantitativos das mesmas e, utilizando como base a tabela de composições do SINAPI, transformou-se estes valores em custos totais. Assim, concluiu-se que a alternativa com maior custo foi a de laje maciça com contrapiso e parede de gesso, pois apesar da redução da carga permanente trocando as paredes de alvenaria por de gesso, isto não foi suficiente para diminuir seu custo devido ao fato das paredes de gesso serem mais caras e do custo das lajes maciças, principalmente, de suas fôrmas ser maior do que quando comparado com as lajes nervuradas. Também viu-se que a alternativa com o menor custo foi a de laje nervurada com contrapiso e parede de alvenaria, pois, como mencionado anteriormente, a laje nervurada tem um custo menor do que a laje maciça, principalmente devido ao fato de que no caso da primeira, suas fôrmas são alugadas, enquanto que no caso da segunda, as mesmas são fabricadas na própria obra normalmente. Por fim, também se concluiu que a retirada do contrapiso nas alternativas não gerou ganho relevante para a estrutura, apenas se reduziu o custo do contrapiso.

Palavras-chave: NBR 6118. Laje maciça. Laje nervurada. Parede de gesso. Redução de carga permanente.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Diferença entre laje acabada e laje nivelada.....	21
Figura 2: Croqui representativo da edificação base	22
Figura 3: Planta baixa pavimento tipo edificação base	23
Figura 4: Valores de ψ_2	27
Figura 5: Planta de fôrmas pavimento tipo com lajes maciças	30
Figura 6: Planta de fôrmas da cobertura com lajes maciças.....	31
Figura 7: Deslocamentos laterais para alternativa 1.....	35
Figura 8: Deslocamentos entre pisos para a alternativa 1	35
Figura 9: Gráfico γz	37
Figura 10: Gráfico de α	38
Figura 11: Deslocamentos laterais para a alternativa 2.....	41
Figura 12: Deslocamentos entre pisos para a alternativa 2	41
Figura 13: Gráfico de γz para a alternativa 2.....	42
Figura 14: Gráfico de α para a alternativa 2.....	42
Figura 15: Deslocamentos laterais para a alternativa 3.....	46
Figura 16: Deslocamentos entre pisos para a alternativa 3	46
Figura 17: Gráfico de γz para a alternativa 3.....	47
Figura 18: Gráfico de α para a alternativa 3.....	47
Figura 19: Características fôrma alternativa 4	48
Figura 20: Alinhamento cubetas lajes nervuradas.....	50
Figura 21: Deslocamentos laterais para a alternativa 4.....	52
Figura 22: Deslocamentos entre pisos para a alternativa 4	52
Figura 23: Gráfico de γz para a alternativa 4.....	53
Figura 24: Gráfico de α para a alternativa 4.....	53
Figura 25: Deslocamentos laterais para a alternativa 5.....	56
Figura 26: Deslocamentos entre pisos para a alternativa 5	57
Figura 27: Gráfico do γz para a alternativa 5.....	57
Figura 28: Gráfico de α para a alternativa 5.....	58
Figura 29: Deslocamentos laterais para a alternativa 6.....	61
Figura 30: Deslocamentos entre pisos para a alternativa 6	61
Figura 31: Gráfico de γz para a alternativa 6.....	62
Figura 32: Gráfico de α para a alternativa 6.....	62
Figura 33: Gráfico comparativo consumo total de concreto	69
Figura 34: Gráfico comparativo do consumo total de aço	70
Figura 35: Taxas de peso de aço por volume de concreto.....	71
Figura 36: Custos totais para as alternativas	73
Figura 37: Variação do custo total a partir do aumento do custo do aço para cada alternativa.....	75

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Valores de γ_n para lajes em balanço	17
Quadro 2: Valores de ψ_3	27
Quadro 3: Valores das alturas das vigas em centímetros para o pré-dimensionamento	28
Quadro 4: Consumo de concreto e fôrmas para a alternativa 1.....	33
Quadro 5: Consumo de aço para a alternativa 1.....	34
Quadro 6: Resumo de consumo e taxas para a alternativa 1	34
Quadro 7: Consumo de aço por bitola para a alternativa 1	34
Quadro 8: Limites para deslocamentos	36
Quadro 9: Consumo de concreto e fôrmas para a alternativa 2.....	40
Quadro 10: Consumo de aço para a alternativa 2.....	40
Quadro 11: Resumo de consumo e taxas para alternativa 2.....	40
Quadro 12: Consumo de aço por bitola para alternativa 2.....	40
Quadro 13: Consumo de concreto e fôrmas para a alternativa 3.....	44
Quadro 14: Consumo de aço para a alternativa 3.....	45
Quadro 15: Resumo do consumo e taxas para a alternativa 3.....	45
Quadro 16: Consumo de aço por bitola para a alternativa 3	45
Quadro 17: Consumo de concreto e fôrmas para a alternativa 4.....	51
Quadro 18: Consumo de aço para a alternativa 4.....	51
Quadro 19: Resumo do consumo e taxas para a alternativa 4.....	51
Quadro 20: Consumo de aço por bitola para a alternativa 4	51
Quadro 21: Consumo de concreto e fôrmas para a alternativa 5.....	55
Quadro 22: Consumo de aço para a alternativa 5.....	55
Quadro 23: Resumo do consumo e taxas para a alternativa 5.....	55
Quadro 24: Consumo de aço por bitola para a alternativa 5	56
Quadro 25: Consumo de concreto e fôrmas da alternativa 6	59
Quadro 26: Consumo de aço para a alternativa 6.....	60
Quadro 27: Resumo do consumo e taxas para a alternativa 6.....	60
Quadro 28: Consumo de aço por bitola para a alternativa 6	60
Quadro 29: Preços unitários para cada composição.....	64
Quadro 30: Cálculo do preço unitário por kg de aço por bitola	65
Quadro 31: Custos totais para a alternativa 1	66
Quadro 32: Custo total para a alternativa 2	66
Quadro 33: Custo total para a alternativa 3	67
Quadro 34: Custo total para a alternativa 4	67
Quadro 35: Custo total para a alternativa 5	68
Quadro 36: Custo total para a alternativa 6	68
Quadro 37: Consumo de concreto e fôrmas para a alternativa 7.....	73
Quadro 38: Custo total para a alternativa 7	74
Quadro 39: Custo de aço para cada alternativa e projeções de aumento	75
Quadro 40: Custos totais para cada alternativa e projeções com aumento do custo do aço	75
Quadro 41: Custo aço e concreto para alternativa 1	76
Quadro 42: Custo aço e concreto para alternativa 2.....	76
Quadro 43: Custo aço e concreto para alternativa 3.....	77
Quadro 44: Custo aço e concreto para a alternativa 4	77
Quadro 45: Custo aço e concreto para a alternativa 5	77
Quadro 46: Custo aço e concreto para a alternativa 6.....	78
Quadro 47: Custo aço e concreto para a alternativa 7	78

LISTA DE SIGLAS

UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

SINAPI – Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil

EE – Escola de Engenharia

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

NBR – Norma Técnica Brasileira

LISTA DE SÍMBOLOS

V_0 – Velocidade básica do vento (m/s)

S_1 – Fator topográfico

S_2 – Fator que considera a rugosidade do terreno, as dimensões da edificação e a altura sobre o terreno

S_3 – Fator probabilístico

f_{ck} – Resistência característica do concreto à compressão (MPa)

γ – Peso específico (kN/m³)

γ_z – Coeficiente de majoração dos esforços globais de 1ª ordem

ϕ – Diâmetro (mm)

H – Altura total do edifício (m)

α – Parâmetro de instabilidade

$E_{cs}I_c$ – somatório dos valores de rigidez de todos os pilares na direção considerada (kNm²)

H_{tot} – Altura total da estrutura (m)

N_k – Somatório de todas as cargas verticais atuantes na estrutura (kN)

α_1 – Valor de referência para o parâmetro de instabilidade

$\Delta M_{tot,d}$ - Somatório dos produtos das forças verticais atuantes por suas distâncias com relação ao ponto de aplicação na análise de 1ª ordem (kNm)

$M_{1,tot,d}$ - Momento de tombamento da estrutura (kNm)

d – Altura útil, distância do centro geométrico da armadura à borda comprimida da seção da estrutura (cm)

SUMÁRIO

1.INTRODUÇÃO.....	13
2.SISTEMAS CONSTRUTIVOS VISANDO A REDUÇÃO DO PESO E DOS CUSTOS...	16
2.1.LAJES MACIÇAS	16
2.2.LAJES NERVURADAS	18
2.3.PAREDE DE GESSO.....	19
2.4.LAJE ZERO	20
3.METODOLOGIA DE ANÁLISE	22
3.1.DESCRICÃO DA EDIFICAÇÃO	22
3.2.PARÂMETROS DE CÁLCULO	24
3.3.CARGAS.....	24
3.3.1.Cargas Permanentes.....	25
3.3.2.Cargas Acidentais.....	25
3.3.3.Carga de Vento	26
3.4.PRÉ-DIMENSIONAMENTO	26
4.DIMENSIONAMENTO DAS ALTERNATIVAS ESTUDADAS	32
4.1.LAJE CONVENCIONAL COM CONTRAPISO E PAREDE DE ALVENARIA	32
4.2.LAJE CONVENCIONAL COM CONTRAPISO E PAREDE DE GESSO.....	38
4.3.LAJE CONVENCIONAL SEM CONTRAPISO E COM PAREDE DE GESSO.....	43
4.4.LAJE NERVURADA COM CONTRAPISO E PAREDE DE ALVENARIA.....	48
4.5.LAJE NERVURADA COM CONTRAPISO E PAREDE DE GESSO	54
4.6.LAJE NERVURADA SEM CONTRAPISO E COM PAREDE DE GESSO	58
5.ESTIMATIVA DE CUSTOS	64
6.RESULTADOS E ANÁLISE.....	69
7.CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS	79
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	80
APÊNDICE A – Detalhamento de vigas.....	82
APÊNDICE B – Detalhamento de pilares.....	85
APÊNDICE C – Plantas baixas lajes maciça e nervurada.....	87
APÊNDICE D – Armaduras horizontais positivas e negativas para lajes maciças.....	92
APÊNDICE E – Armaduras horizontais positivas e negativas para lajes nervuradas.....	95

1. INTRODUÇÃO

Ao se criar um projeto estrutural é de suma importância entender como a estrutura da futura edificação vai funcionar e também quais são as opções disponíveis para serem exploradas dentro de tal projeto. A constante busca de inovações arquitetônicas e de diferentes métodos construtivos leva a uma cobrança cada vez maior do engenheiro ter a capacidade de explorar da melhor maneira possível as opções estruturais disponíveis para se executar uma edificação. Também há a demanda pelo melhor sistema que interaja com as diversas disciplinas de um projeto, tanto arquitetônico, elétrico, hidráulico, quanto o planejamento da obra e gestão de custos.

A busca pela otimização estrutural e redução de custos passa não somente por sistemas construtivos diferenciados, capazes de viabilizar estruturas mais esbeltas, como também pela redução do peso dos demais componentes que se apoiam sobre a estrutura. Três alternativas aos sistemas construtivos tradicionais, de estrutura e vedações, têm sido propostas com frequência nos últimos anos para a obtenção de edificações mais leves e econômicas: lajes nervuradas, capazes de vencer vãos maiores que as lajes maciças com um peso próprio supostamente reduzido; a chamada “laje zero”, caracterizada pelo nivelamento e regularização das lajes durante a concretagem de forma a permitir o assentamento do piso diretamente sobre as lajes, sem a necessidade de um contrapiso ou camada de nivelamento ou regularização, reduzindo cargas e o custo do próprio contrapiso; e as paredes de gesso acartonado em substituição às alvenarias de blocos de vedação cerâmicos ou de concreto em paredes divisórias internas, com peso próprio bastante inferior às alvenarias tradicionais.

Assim, este trabalho tem como objetivo principal testar em uma dada edificação a influência sobre os custos das três alternativas descritas anteriormente. Para isto será utilizado o software TQS para o dimensionamento da estrutura de concreto armado da edificação escolhida, para as diversas configurações de lajes, paredes e contrapiso elencadas, tendo como base o projeto arquitetônico que será apresentado no capítulo 3. A opção pelo emprego do software TQS deve-se a sua ampla utilização pelo mercado, à disponibilidade de versão estudantil sem custos e à velocidade proporcionada à atividade de projeto pelo seu uso, permitindo que a otimização do projeto estrutural para cada alternativa testada pudesse ser realizada dentro do tempo de

desenvolvimento deste trabalho de conclusão. Este trabalho tem como objetivo secundário proporcionar à sua autora maior experiência na atividade de projeto de estruturas de concreto armado com o software TQS, melhorando sua capacitação para realizar atividades de projeto estrutural profissionalmente.

As alternativas de sistemas construtivos foram combinadas nos seguintes casos:

- I. Lajes maciças com contrapiso e paredes de alvenaria de blocos cerâmicos;
- II. Lajes maciças com contrapiso e paredes de gesso;
- III. Lajes maciças sem contrapiso (laje zero) e com paredes de gesso;
- IV. Lajes nervuradas com contrapiso e paredes de alvenaria de blocos cerâmicos;
- V. Lajes nervuradas com contrapiso e paredes de gesso;
- VI. Lajes nervuradas sem contrapiso (laje zero) e com paredes de gesso.

A versão estudantil do software TQS apresenta limitações, algumas citadas abaixo presentes no Pacotes dos sistemas TQS (2019), as quais serão limitantes para o desenvolvimento deste trabalho.

- a) Máximo de 5 pavimentos;
- b) Máximo de 600m² de área em planta do pavimento;
- c) Máximo de 3000m² de área total do edifício;
- d) Limite de 6000 nós na grelha e de 6400 no pórtico linear;
- e) Não realiza análise não linear geométrica (P-Delta);
- f) Não permite editar regras de combinação de cargas;
- g) Não permite o dimensionamento de estruturas de nós móveis;
- h) Não permite a aplicação das cargas de vento de forma excêntrica, conforme NBR 6123 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1988)

Assim, este trabalho está organizado da seguinte forma: no capítulo 2, é feita uma descrição dos sistemas construtivos de lajes maciças e lajes nervuradas, paredes de gesso e laje zero, elencando suas características e vantagens de execução. No capítulo 3, é apresentada uma descrição da edificação objeto do estudo, dos parâmetros de cálculo, cargas utilizadas e método de análise. No capítulo 4 é descrito o dimensionamento estrutural de cada uma das alternativas estudadas. No capítulo 5, a forma como foi feita a estimativa dos custos é descrita. No capítulo 6, é feita uma comparação dos custos de cada uma das alternativas estudadas e considerações sobre a viabilidade econômica do seu emprego. Por fim, no capítulo 7, são apresentadas as conclusões e considerações finais.

Em função do grande número de citações das normas técnicas da Associação Brasileira de Normas Técnicas e com vistas a tornar a leitura do texto mais confortável, as normas da ABNT serão doravante referenciadas no texto da forma ABNT NBR NNNN:AAAA, onde NNNN é o número da norma e AAAA é o ano da revisão considerada. Além disto, para a consideração das cargas acidentais verticais, foi utilizada a ABNT NBR 6120:1980, uma vez que a última revisão da norma entrou em vigor em outubro de 2019, quando o desenvolvimento deste trabalho estava em fase final.

2. SISTEMAS CONSTRUTIVOS VISANDO A REDUÇÃO DO PESO E DOS CUSTOS

Existem diversos métodos construtivos de lajes, como maciças, nervuradas, protendidas, lisas, alveolares, pré-moldadas. A escolha do tipo de laje a ser aplicado decorre do diálogo entre as diversas disciplinas (arquitetos, projetistas, construtores) ao iniciar um empreendimento. Esta escolha depende das características que esta edificação terá, como pé-direito, cargas aplicadas, vãos livres, entre outras. Dentre os sistemas de lajes mais utilizados atualmente para estruturas de edificações moldadas in loco encontram-se as lajes maciças (sistema convencional) e as lajes nervuradas, que prometem a capacidade de vencer vãos maiores com maior leveza e economia, dentro de certas configurações. Ambos os tipos de lajes podem ser executadas de forma a não necessitar de contrapiso, técnica usualmente chamada de “laje zero”, permitindo uma redução das cargas e, por consequência, do peso próprio da estrutura.

Complementando as medidas elencadas acima, a substituição das alvenarias por divisórias mais leves como as paredes de gesso acartonado permitiria a redução das cargas permanentes em lajes, quando as paredes divisórias estão aplicadas diretamente sobre esses elementos estruturais.

2.1. LAJES MACIÇAS

É a solução mais tradicional entre os tipos de lajes. É definida como uma placa de concreto armado de espessura uniforme, sendo responsável por vencer os vãos entre vigas, suportando as cargas verticais decorrentes do uso dos espaços e ambientes da edificação e transmitindo-as às vigas ou elementos de apoio. São componentes estruturais submetidos fundamentalmente à flexão. Seu uso é recomendado para vãos pequenos a médios (em torno de 6m), pois se usadas em vãos maiores, sua espessura aumenta bastante, levando a custos maiores quando comparadas a outros sistemas estruturais.

Segundo o item 13.2.4.1 da ABNT NBR 6118:2014, nas lajes maciças devem ser respeitados os seguintes limites mínimos para espessura:

- a) 7 cm para cobertura não em balanço;

- b) 8 cm para lajes de piso não em balanço;
- c) 10 cm para lajes em balanço;
- d) 10 cm para lajes que suportem veículos de peso total menor ou igual a 30 kN;
- e) 12 cm para lajes que suportem veículos de peso total maior que 30 kN;
- f) 15 cm para lajes com protensão apoiadas em vigas, com o mínimo de 1/42 para lajes de piso biapoiadas e 1/50 para lajes de piso contínuas;
- g) 16 cm para lajes lisas e 14 cm para lajes-cogumelo, fora do capitel.

O mesmo item da ABNT NBR 6118:2014 também indica que para o dimensionamento de lajes em balanço, as quais neste trabalho se localizam nos quatro cantos da planta baixa de cada pavimento, os esforços solicitantes de cálculo devem ser majorados por um coeficiente γ_n apresentados no quadro a seguir.

Quadro 1: Valores de γ_n para lajes em balanço

h cm	≥ 19	18	17	16	15	14	13	12	11	10
γ_n	1,00	1,05	1,10	1,15	1,20	1,25	1,30	1,35	1,40	1,45
<p>onde</p> $\gamma_n = 1,95 - 0,05 h;$ <p>h é a altura da laje, expressa em centímetros (cm).</p> <p>NOTA O coeficiente γ_n deve majorar os esforços solicitantes finais de cálculo nas lajes em balanço, quando de seu dimensionamento.</p>										

(fonte: ABNT NBR 6118:2014)

Com relação ao sistema construtivo de lajes maciças, a execução possui a mesma lógica das lajes nervuradas: colocação das fôrmas e escoramento, montagem das armaduras, concretagem dos elementos estruturais e posterior desforma e retirada do escoramento. No entanto, este sistema acaba sendo mais artesanal do que o de lajes nervuradas, pois as fôrmas normalmente são feitas na própria obra, de madeira, sem muito controle de qualidade e com pouco aproveitamento (número baixo de reutilizações). Além disto, o escoramento é independente, podendo ser de madeira também ou de aço, sendo o de madeira normalmente feito na obra e o de aço, usualmente locado.

2.2. LAJES NERVURADAS

A ABNT NBR 6118:2014 descreve lajes nervuradas como as lajes moldadas no local ou com nervuras pré-moldadas, cuja zona de tração para momentos positivos esteja localizada nas nervuras entre as quais pode ser colocado material inerte. Suas diretrizes de cálculo estão localizadas no item 13.2.4.2 da mesma norma e afirmam que quando não existirem tubulações embutidas na mesa, a mesma deve ter espessura maior ou igual a $1/15$ da distância entre as faces das nervuras e não menor que 4 cm.

Além disto, tem-se que o valor mínimo absoluto da espessura da mesa deve ser 5 cm, quando existirem tubulações embutidas de diâmetro menor ou igual a 10 mm. Para tubulações com diâmetro ϕ maior que 10 mm, a mesa deve ter a espessura mínima de $4\text{ cm} + \phi$, ou $4\text{ cm} + 2\phi$ no caso de haver cruzamento destas tubulações, com os diâmetros em cm. A norma coloca também que a espessura das nervuras não pode ser inferior a 5 cm. Nervuras com espessura menor que 8 cm não podem conter armadura de compressão.

A ABNT NBR 6118:2014 salienta que para o projeto das lajes nervuradas, devem ser obedecidas as seguintes condições:

- a) para lajes com espaçamento entre eixos de nervuras menor ou igual a 65 cm, pode ser dispensada a verificação da flexão da mesa, e para a verificação do cisalhamento da região das nervuras, permite-se a consideração dos critérios de laje;
- b) para lajes com espaçamento entre eixos de nervuras entre 65 cm e 110 cm, exige-se a verificação da flexão da mesa, e as nervuras devem ser verificadas ao cisalhamento como vigas; permite-se essa verificação como lajes se o espaçamento entre eixos de nervuras for até 90 cm e a largura média das nervuras for maior que 12 cm;
- c) para lajes nervuradas com espaçamento entre eixos de nervuras maior que 110 cm, a mesa deve ser projetada como laje maciça, apoiada na grelha de vigas, respeitando-se os seus limites mínimos de espessura.

Apesar das lajes nervuradas dificultarem a passagem da tubulação e afetarem o pé-direito da edificação por apresentarem uma espessura total maior que as lajes maciças, elas apresentam uma grande vantagem geométrica ao combinarem o comportamento das lajes maciças com o

das vigas de flexão, possuindo assim pequeno peso próprio e grande inércia, distribuindo melhor desta forma as tensões aplicadas. Segundo Carvalho e Pinheiro (2013) as principais vantagens deste sistema construtivo são:

- a) a possibilidade de se ter uma grande distância entre pilares, podendo chegar a ordem de 10 metros;
- b) a execução pode ser feita com a mesma tecnologia das lajes maciças;
- c) são adequadas ao sistema de lajes sem vigas;
- d) diminuem o peso próprio da estrutura, consumindo menos concreto e aço, característica que será a mais explorada neste trabalho;
- e) suportam maiores cargas aplicadas quando comparadas as lajes maciças, pois têm a vantagem de aliarem baixo peso próprio a grande altura;

Com relação ao método de construção, o sistema é similar ao da laje maciça, porém ao ser menos artesanal que a maciça, acaba sendo mais eficiente. Existem fôrmas de lajes nervuradas feitas de diversos materiais, contudo as mais utilizadas são as de EPS e as de polipropileno. O processo construtivo constitui-se basicamente na montagem das fôrmas e seu escoramento, a montagem das armaduras, a concretagem e a retirada das fôrmas e escoramento posteriormente. A retirada ou não das fôrmas está atrelada ao material com que elas são feitas. No caso deste trabalho, são consideradas fôrmas de polipropileno, as quais podem ser reutilizadas e dão um aspecto com um melhor acabamento para a face inferior das lajes. No caso deste tipo de lajes, todo sistema é, em geral, locado, escoramento e fôrmas.

2.3. PAREDE DE GESSO

Segundo a ABNT NBR 15758-1:2009, paredes de gesso são um conjunto de componentes formados por chapas de gesso para *drywall*, estrutura de perfis de aço, acessórios de fixação e insumos, destinados a atender determinadas funções de compartimentação. Existem diversos tipos de *drywall*, como resistente à umidade, ao fogo. No entanto, optou-se por utilizar o chamado tipo standard, mais comumente utilizado e que confere a possibilidade de ser aplicado

em áreas secas, segundo a mesma norma. Além disto, a ABNT NBR 15758-1:2009 estabelece como devem ser executadas as paredes, tendo como pré-requisitos para montagem das mesmas o apresentado a seguir:

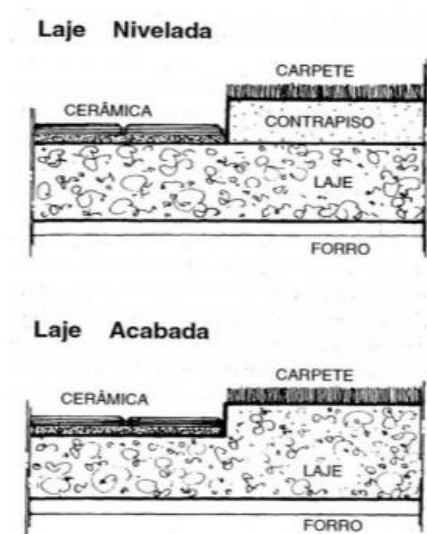
- a) Locação, em cada ambiente, dos eixos das paredes;
- b) Compatibilidade do projeto entre a estrutura, vedações e as várias instalações etc.;
- c) Proteção contra umidade excessiva e impedimento da entrada de chuva pelas aberturas;
- d) Execução dos revestimentos conforme projeto das vedações verticais externas e internas que não forem em drywall;
- e) Nivelamento e, de preferência, acabamento da laje do piso;
- f) Resistência e homogeneidade do piso e da laje;
- g) Posicionamento, de acordo com o projeto, das saídas das várias instalações;
- h) Compatibilidade entre os dispositivos de fixação e os suportes;

Vale ressaltar que tais paredes não podem ser sujeitas às intempéries e não têm funções estruturais, desta forma são utilizadas apenas em locais internos à edificação. Além disto, uma das vantagens da parede de gesso que pode ser interessante para o planejamento da obra é o instante em que a sua instalação é feita, sendo em momento posterior quando comparado às paredes em alvenaria, entrando no cronograma financeiro da obra também em momento posterior. Outra vantagem é a diminuição das cargas permanentes que são transferidas para as lajes, vigas, pilares e fundações, aliviando-as. No entanto, estas paredes necessitam de um controle de qualidade maior e de uma mão de obra mais qualificada que as de alvenaria.

2.4. LAJE ZERO

A laje zero, também chamada de laje acabada, consiste na eliminação da camada de contrapiso da superfície da laje. Esta retirada tem por objetivo obter resultados como economia, padronização de serviços e redução de desperdícios. A figura abaixo mostra a diferença entre os dois tipos de laje, sendo a “laje nivelada” correspondente à técnica comum de construção com a presença do contrapiso.

Figura 1: Diferença entre laje acabada e laje nivelada



(fonte: SOUZA; MELHADO, 2002)

Como pode-se ver na figura acima, no caso da laje acabada a mesma assume tanto as funções de contrapiso quanto de isolamentos acústico e térmico e criação de diferentes níveis no pavimento. Devido a isto, esta técnica exige um controle de nivelamento mais rígido, bem como cuidados com as fôrmas, as quais, segundo Souza e Melhado (2002) têm de estar planas e não podem sair do lugar, podendo, para auxiliar nesta tarefa, serem utilizados aparelhos eletrônicos de alta precisão como nível laser.

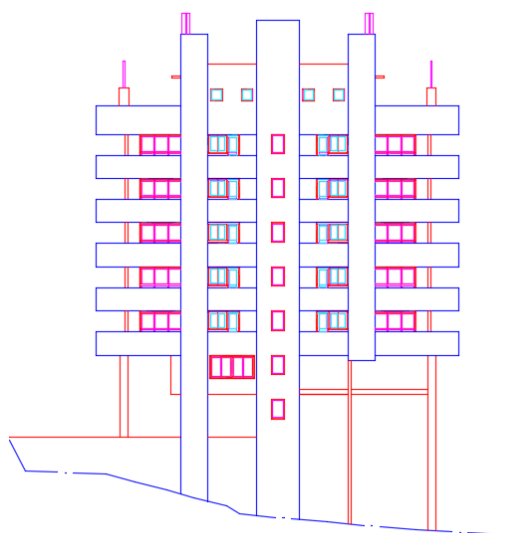
O controle geométrico e dimensional deste tipo de laje precisa ser bastante rigoroso, pois a ausência de contrapiso não permite a correção de desníveis de concretagem, de cobertura insuficiente e do posicionamento de eletrodutos ou canalizações que resultem salientes em relação à superfície superior da laje. A ocorrência desses problemas muitas vezes exige a execução de contrapiso em uma laje que foi projetada para não o tê-lo, e desníveis de execução em uma laje têm muitas vezes como consequência a necessidade de enchimento ou contrapiso em todo o pavimento, por uma questão de nivelamentos dos ambientes internos. A execução do enchimento ou contrapiso, nestes casos, não estava prevista nem nas cargas nem nos custos, com consequências econômicas e na segurança da edificação.

3. METODOLOGIA DE ANÁLISE

3.1. DESCRIÇÃO DA EDIFICAÇÃO

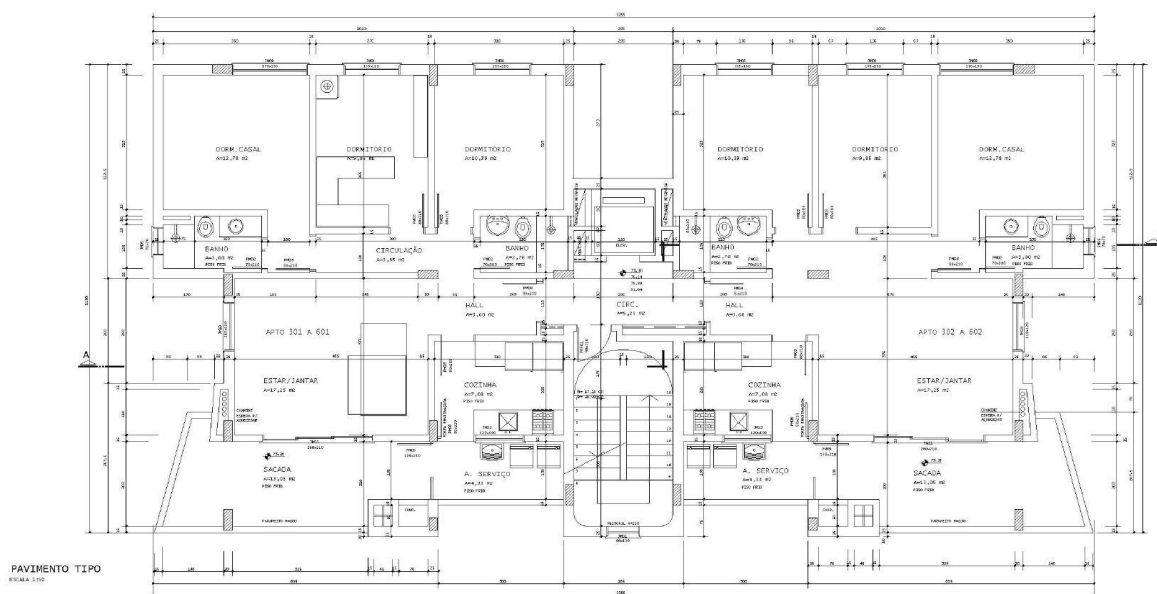
Será usada como base para este trabalho um projeto arquitetônico de um edifício residencial de 5 pavimentos tipo com 2 apartamentos por andar, cobertura, térreo, apartamento para o zelador logo acima do térreo e estacionamento em pilotis. A figura 2 abaixo contém um croqui representativo da edificação-base e a figura 3 contém a planta baixa usada como base. A mesma foi modificada de acordo com as restrições do software ficando assim com 4 pavimentos tipo e uma cobertura, dois apartamentos por andar, pé-direito de 2,60 metros, dimensões em planta de 22,75 metros por 11,15 metros. A planta original possuía recortes nas fachadas menores, dando um ar arquitetônico diferenciado na região das sacadas, porém para facilitar o desenvolvimento deste trabalho sem afetar os resultados, optou-se por linearizar as fachadas, resultando assim, nas plantas baixas apresentadas nas figuras 5 e 6 do subitem 3.4 – Pré-dimensionamento.

Figura 2: Croqui representativo da edificação base



(fonte: Julio Dalton Arquitetura)

Figura 3: Planta baixa pavimento tipo edificação base



(fonte: Julio Dalton Arquitetura)

Seis alternativas construtivas foram utilizadas neste trabalho, elencadas a seguir:

1. laje maciça com contrapiso e paredes de alvenaria,
2. laje maciça com contrapiso e paredes de gesso acartonado,
3. laje maciça sem contrapiso (“laje zero”) e paredes de gesso acartonado,
4. laje nervurada com contrapiso e paredes de alvenaria,
5. laje nervurada com contrapiso e paredes de gesso acartonado,
6. laje nervurada sem contrapiso (“laje zero”) e paredes de gesso acartonado.

A primeira delas, considerada mais tradicional, serviu como comparação às demais em termos de quantitativos dos respectivos projetos estruturais e de custos.

As lajes utilizadas neste trabalho se encaixam nas alíneas a, b e c, do item 13.2.4 da ABNT NBR 6118:2014, pois todas as lajes maciças utilizadas têm espessura de 10 cm, respeitando assim os mínimos exigidos de 7cm para lajes de cobertura não em balanço, 8cm para lajes de piso não em balanço e 10cm para lajes em balanço.

3.2. PARÂMETROS DE CÁLCULO

Nesta seção são apresentados os parâmetros utilizados para o dimensionamento das estruturas correspondentes à edificação descrita acima para cada uma das alternativas construtivas, sendo que todas as considerações realizadas estão embasadas na ABNT NBR 6118:2014. As estruturas foram projetadas em concreto armado com resistência característica (f_{ck}) de 30MPa. Escolhendo como localização da estrutura Porto Alegre, Rio Grande do Sul. A estrutura se enquadra na Classe II de agressividade ambiental, por se tratar de uma região urbana.

Além disto, estabeleceu-se que a edificação se comportaria como uma estrutura de nós fixos e que se comportaria como um corpo único, sem juntas ou torres separadas. Estabeleceu-se também um cobrimento de 3 cm para vigas e pilares e de 2,5 cm para lajes, seguindo assim as especificações da ABNT NBR 6118:2014.

Também, decidiu-se que não seriam editadas as armaduras geradas pelo software em cada alternativa para manter, desta forma, o critério programado de dimensionamento do TQS. Com isto, decidiu-se que para cada alternativa seriam analisados os diagramas de esforços dos elementos estruturais para ver se havia coerência nos mesmos e também para, de certa forma, conferir o dimensionamento do software.

Por fim, determinou-se que o modelo de análise usado seria formado por um pórtico espacial composto apenas por barras que simulam as vigas e pilares da estrutura, com as lajes modeladas como grelhas para os efeitos das cargas verticais e como diafragma rígido.

3.3. CARGAS

As cargas aplicadas à estrutura dependem da alternativa construtiva analisada. Por isto, neste capítulo, são apresentadas todas as cargas aplicadas para a realização deste trabalho, sendo que, na apresentação de cada alternativa, são especificadas quais destas foram utilizadas. Além disto, é importante ressaltar que todas as cargas utilizadas foram embasadas na ABNT NBR 6120:1980, pois este trabalho já havia sido iniciado quando a nova versão de 2019 entrou em vigor.

3.3.1. Cargas Permanentes

A ABNT NBR 6120:1980 classifica cargas permanentes como uma constituição do peso próprio da estrutura e do peso de todos os elementos construtivos fixos e instalações permanentes. Desta forma foram aplicadas como cargas permanentes, além do peso próprio da estrutura, as apresentadas a seguir:

- a) Contrapiso com $\gamma = 21 \text{ kN/m}^3$ (argamassa de cimento e areia)
- b) Reboco com $\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$ (argamassa de cal, cimento e areia)
- c) Piso cerâmico com $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$
- d) Blocos cerâmicos furados com $\gamma = 13 \text{ kN/m}^3$
- e) Parede de gesso acartonado (drywall) com peso de $0,5 \text{ kN/m}^2$
- f) Forro de gesso acartonado com peso de $0,25 \text{ kN/m}^2$ incluindo a estrutura de suporte
- g) Telhado com telhas de alumínio com espessura de até $0,8 \text{ mm}$ e estrutura metálica de alumínio com peso total de $0,2 \text{ kN/m}^2$
- h) Impermeabilização em coberturas com manta asfáltica e proteção mecânica, sem revestimento ($\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$) com 10 cm de espessura e peso de $1,8 \text{ kN/m}^2$

3.3.2. Cargas Acidentais

A ABNT NBR 6120:1980 classifica carga acidental como toda aquela que pode atuar sobre a estrutura de edificações em função do seu uso (pessoas, móveis, materiais diversos, veículos etc.). Assim, utilizou-se dos valores apresentados pela mesma para o dimensionamento da estrutura, sendo que para a área dos apartamentos dos pavimentos foi utilizado um valor de $1,5 \text{ kN/m}^2$, sendo que na área de serviço utilizou-se um valor de $2,0 \text{ kN/m}^2$, para o corredor entre os apartamentos de cada pavimento foi aplicado um valor de $3,0 \text{ kN/m}^2$ e para coberturas sem acesso a pessoas aplicou-se o valor de $0,5 \text{ kN/m}^2$.

3.3.3. Carga de Vento

Os parâmetros para determinação da ação do vento sobre a edificação estão apresentados abaixo e estão embasados pela ABNT NBR 6123:1988.

- a) $V_0=45\text{m/s}$
- b) $S_1=1,0$ (terreno plano)
- c) Categoria IV de rugosidade do terreno e Classe B da edificação
- d) $S_3=1,0$
- e) Coeficiente de Arrasto para ventos paralelos à maior dimensão da edificação = 0,82
- f) Coeficiente de Arrasto para ventos paralelos à menor dimensão da edificação = 1,18

Sendo que V_0 é a velocidade básica do vento, sendo esta a velocidade de uma rajada de 3 s, excedida na média uma vez em 50 anos, a 10 m acima do terreno, em campo aberto e plano, segundo a NBR 6123:1988, e dada pelo valor apresentado acima para a região de Porto Alegre de acordo com o mapa de isopleias apresentado em norma. S_1 é o fator topográfico e o valor apresentado acima é dado para terreno plano ou fracamente acidentado. A categoria e a classe da edificação apresentadas no item “c” acima são utilizadas para calcular o fator S_2 que, segundo a mesma norma, considera a influência da rugosidade do terreno, das dimensões da edificação ou parte da edificação em estudo, e de sua altura sobre o terreno, sendo que a categoria IV é aplicada para zonas urbanizadas e a classe B é aplicada para edificações em que a maior dimensão esteja entre 20 e 50 metros, caso desta edificação, a qual tem sua maior dimensão com 22,75 metros. Já o fator S_3 é o fator estatístico, sendo o valor 1,0 dado para edificações residenciais. Também se determinou uma cota inicial para aplicação do vento de 0 metros (vento aplicado a partir do terreno) e 4 ângulos de incidência do vento: 0° , 90° , 180° e 270° .

3.4. PRÉ-DIMENSIONAMENTO

Para a construção do modelo deste trabalho, inicialmente realizou-se um pré-dimensionamento

da estrutura com o objetivo de diminuir o número de iterações necessárias para a otimização do sistema. Desta forma utilizou-se a fórmula a seguir, bem como do quadro e da figura abaixo, encontrada na ABNT NBR 6118:1980:

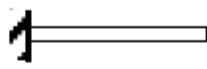
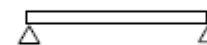

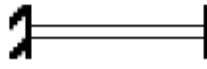
$$d \geq \frac{l}{\psi_2 \psi_3} \quad (1)$$

Quadro 2: Valores de ψ_3

VALORES DE ψ_3		
AÇO	VIGAS E LAJES NERVURADAS	LAJES MACIÇAS
CA-25	25	35
CA-32	22	33
CA-40	20	30
CA-50	17	25
CA-60	15	20

(fonte: ABNT NBR 6118:1980)

Figura 4: Valores de ψ_2

Vigas e Lajes armadas em uma direção		Valores de ψ_2
Em balanço		0,5
Simplemente apoiadas		1,0
Contínua		1,2
Duplamente Engastada		1,7

(fonte: ABNT NBR 6118:1980)

O h das vigas foi obtido adicionando-se ao valor de d uma estimativa do valor $h-d$ de 6cm, de forma a contemplar o cobrimento, uma estimativa do diâmetro do estribo e a possibilidade de uma segunda camada de armadura longitudinal.

Assim, a partir das informações acima, chegou-se aos resultados do Quadro a seguir para as alturas das vigas do pavimento tipo por vão entre pilares. Os valores estão aproximados para o inteiro mais próximo.

Quadro 3: Valores das alturas das vigas em centímetros para o pré-dimensionamento

	Trecho 1	Trecho 2	Trecho 3	Trecho 4	Trecho 5	Trecho 6	Trecho 7
V1	19	28	35	-	-	-	-
V2	25	35	27	-	-	-	-
V3	19	28	35	-	-	-	-
V4	33	35	-	-	-	-	-
V5	33	35	-	-	-	-	-
V6	19	28	35	-	-	-	-
V7	19	28	35	-	-	-	-
V8	27	35	25	-	-	-	-
V9	27	35	25	21	25	35	27
V10	35	-	-	-	-	-	-
V11	35	-	-	-	-	-	-
V12	42	35	-	-	-	-	-
V13	42	35	-	-	-	-	-
V14	27	35	25	-	-	-	-
V15	21	-	-	-	-	-	-
V16	25	35	27				
V17	21	-	-	-	-	-	-

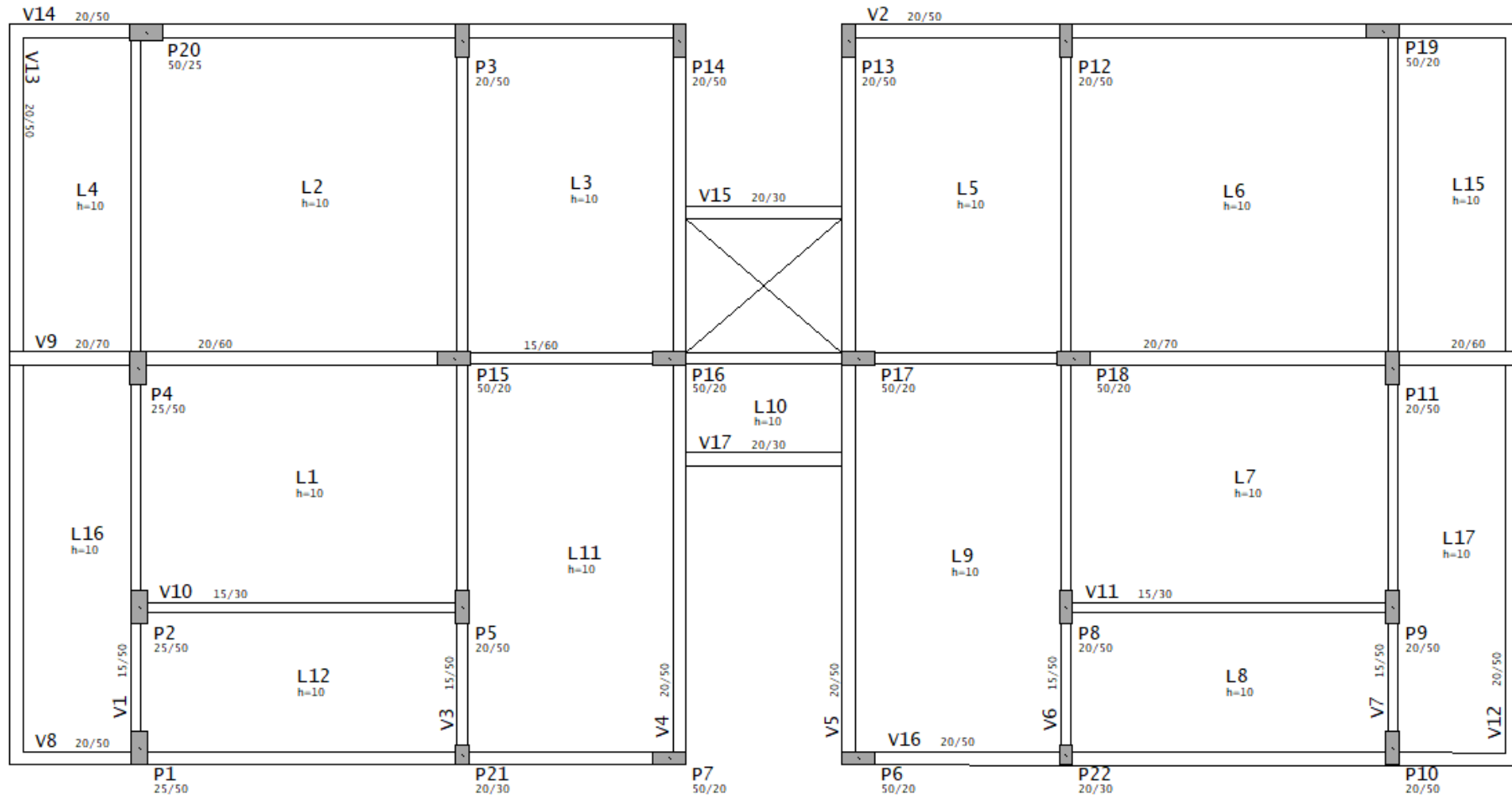
(fonte própria do autor)

Após isto, decidiu-se pela utilização de seções constantes ao longo do comprimento de cada viga, a qual será a maior calculada, e por manter as dimensões das seções como múltiplos de 5cm. Vale ressaltar que houve uma tentativa inicial de se embutir as vigas nas paredes, porém isto acabou não sendo possível, pois as mesmas acabaram ficando com alturas excessivas, tornando necessário assim, aumentar a base da seção transversal das mesmas. Com isto obteve-se as primeiras seções para o processamento da estrutura, sendo que após diversas iterações obteve-se os resultados mostrados nas plantas baixas da cobertura e pavimento tipo apresentadas nas figuras abaixo.

O controle para a obtenção de uma estrutura viável foi realizado através da observação do atendimento ao Estado Limite Último e Estado Limite de Serviço para a estrutura, observando sempre aos valores limites apresentados em norma de taxa de armadura, flecha máxima, deslocamentos máximos, gama z, parâmetro de instabilidade α , entre outros. Isto foi realizado através da decisão de adotar como critério no ato do processamento não haver nenhum erro ou aviso grave, sendo que temos como exemplos de erros o desaprumo global considerável, sendo os esforços estimados devido à imperfeição geométrica global maiores que 30% dos esforços gerados pelo vento, a incapacidade de dimensionamento das lajes ao cisalhamento, tensão de

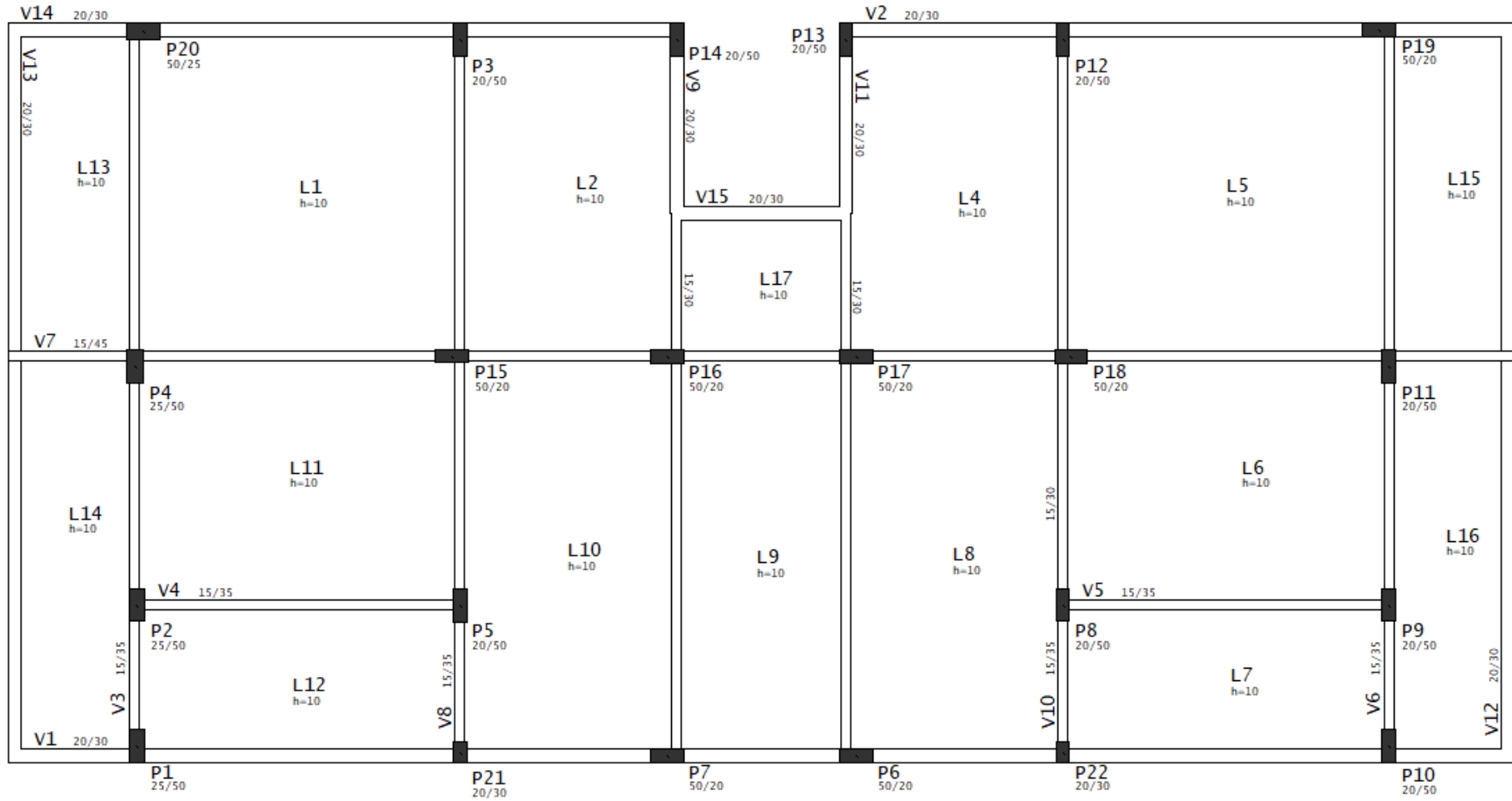
compressão máxima maior que a admissível, entre outros.

Figura 5: Planta de fôrmas pavimento tipo com lajes maciças



(fonte própria do autor)

Figura 6: Planta de fôrmas da cobertura com lajes maciças



(fonte própria do autor)

4. DIMENSIONAMENTO DAS ALTERNATIVAS ESTUDADAS

Optou-se pela utilização do programa TQS versão 21 para a modelagem do edifício, pois o mesmo é amplamente utilizado para o dimensionamento e detalhamento estrutural. Como foi utilizada a versão estudantil, a qual limita a estrutura a 5 pavimentos, o projeto arquitetônico original foi modificado para 4 pavimentos tipo e uma cobertura. Além da adaptação com relação ao número de pavimentos, o arquitetônico original também passou por um ajuste em sua planta-baixa para facilitar a execução deste trabalho e sem prejudicar a análise feita. Como o mesmo tinha diversos recortes nos locais das sacadas, optou-se por simplificar o projeto nesses locais, facilitando a modelagem.

Para este trabalho foram formulados 6 tipos diferentes de alternativas construtivas, porém resolvidas com a mesma estrutura: mesma disposição dos pilares, mesmo sistema de viga. Foi opção de desenvolvimento deste trabalho que as seções da estrutura seriam definidas e otimizadas para a alternativa 1 de laje convencional com contrapiso e paredes divisórias de alvenaria, pois, por se tratar da alternativa com maior peso próprio, as seções teriam capacidade de suportar as cargas das outras alternativas, mais leves. Assim, as diferenças entre as diversas alternativas são as taxas de armadura e a quantidade de aço total, facilitando assim a comparação.

4.1. LAJE CONVENCIONAL COM CONTRAPISO E PAREDE DE ALVENARIA

As cargas permanentes consideradas são as descritas abaixo:

a) Pavimento-Tipo:

4 cm de contrapiso com $\gamma = 21 \text{ kN/m}^3$ resultando em $0,84 \text{ kN/m}^2$

1 cm de piso cerâmico com $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$ resultando em $0,18 \text{ kN/m}^2$

1 cm de reboco com $\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$ resultando em $0,19 \text{ kN/m}^2$

b) Cobertura:

10 cm de impermeabilização com manta asfáltica e proteção mecânica, sem revestimento com $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$ resultando em $1,8 \text{ kN/m}^2$

Telhado com telhas alumínio e estrutura metálica de alumínio com peso total de $0,2 \text{ kN/m}^2$

1 cm de reboco com $\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$ resultando em $0,19 \text{ kN/m}^2$

Portanto, as cargas permanentes totais utilizadas para o dimensionamento do pavimento tipo são de $1,21 \text{ kN/m}^2$ distribuídas nas lajes e as cargas de paredes distribuídas linearmente com carga total (já incluso o revestimento) de $1,8 \text{ kN/m}^2$ para paredes de 15 cm e de $3,0 \text{ kN/m}^2$ para paredes de 25 cm. Já para a cobertura são apenas $2,19 \text{ kN/m}^2$ distribuídas nas lajes, sem a adição de cargas de paredes.

Já as cargas acidentais utilizadas foram para os pavimentos tipo de $1,5 \text{ kN/m}^2$ na área dos apartamentos, sendo que na área de serviço utilizou-se $2,0 \text{ kN/m}^2$, de $3,0 \text{ kN/m}^2$ para o corredor e de $0,5 \text{ kN/m}^2$ para o pavimento de cobertura.

Tendo sido a estrutura otimizada para esta alternativa, foi feita a análise ponto a ponto das características do comportamento da estrutura, as quais serão apresentadas abaixo. Com relação ao consumo de materiais, o próprio software TQS gera Quadros com resumos de quantitativos por pavimento, sendo que na linha do pavimento tipo estão considerados os 4 pavimentos somados.

Quadro 4: Consumo de concreto e fôrmas para a alternativa 1

Consumo de concreto e fôrmas

Pavimento	Concreto (m ³)					Fôrmas (m ²)				
	Pilares	Vigas	Lajes	Fundações	Outros	Pilares	Vigas	Lajes	Fundações	Outros
Cobertura	5.8	8.6	21.9	0.0	0.0	79.0	103.4	218.8	0.0	0.0
Tipo	23.1	55.0	80.9	0.0	0.0	316.2	626.3	809.2	0.0	0.0
Fundacao	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Sapatas/Blocos	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
TOTAL	28.9	63.6	102.8	0.0	0.0	395.2	729.8	1028.0	0.0	0.0

(fonte relatório resumo estrutural TQS)

Quadro 5: Consumo de aço para a alternativa 1

Consumo de aço

Pasta	Aço (kg)				
	Pilares	Vigas	Lajes	Fundações	Outros
Cobertura	361.9	639.9	1387.3	0.0	0.0
Tipo	1710.3	3677.1	5668.8	0.0	0.0
TOTAL	2072.1	4317.0	7056.1	0.0	0.0

0 consumo de aço nas escadas está incluso na coluna Outros.

(fonte relatório resumo estrutural TQS)

Quadro 6: Resumo de consumo e taxas para a alternativa 1

Resumo do consumo e taxas

Pavimento/Pasta	Concreto		Fôrmas		Aço		
	Consumo (m ³)	Taxa (m ³ /m ²)	Consumo (m ²)	Taxa (m ² /m ²)	Consumo (kg)	Taxa (kg/m ²)	Taxa (kg/m ³)
Cobertura	36.2	0.15	401.3	1.6	2389.1	9.7	65.9
Tipo	159.0	0.17	1751.7	1.9	11056.1	11.9	69.5
Fundacao	0.0		0.0		0.0		
TOTAL	195.2	0.17	2153.0	1.8	13445.3	11.4	68.9

Os valores /m² são divididos pela área do pavimento e o /m³ pelo volume de concreto.

(fonte relatório resumo estrutural TQS)

Quadro 7: Consumo de aço por bitola para a alternativa 1

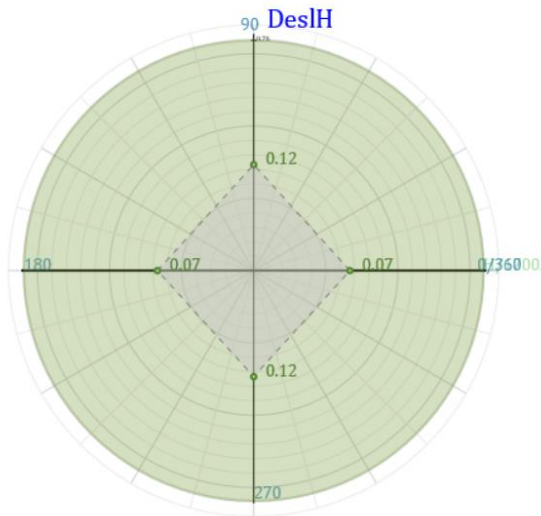
Consumo de aço por bitola (kg)

Pasta	Bitola (mm)												
	3.2	4.2	5.0	6.3	8.0	10.0	12.5	16.0	20.0	22.0	25.0	32.0	40.0
Cobertura	0.0	0.0	366.6	1308.3	2.0	559.1	75.8	77.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Tipo	0.0	0.0	1488.1	5321.5	364.9	2699.5	447.0	435.7	299.4	0.0	0.0	0.0	0.0
TOTAL	0.0	0.0	1854.7	6629.8	366.9	3258.5	522.9	513.1	299.4	0.0	0.0	0.0	0.0

(fonte relatório resumo estrutural TQS)

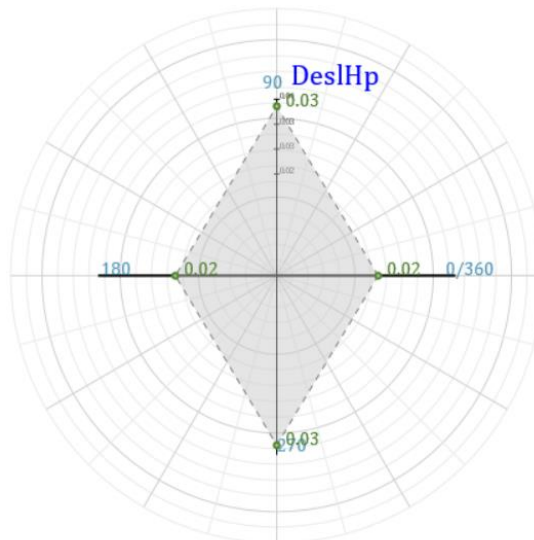
Com relação ao deslocamento do topo do edifício e entre pisos devido a ação do vento sobre a estrutura, ocorrem os valores descritos nas figuras abaixo.

Figura 7: Deslocamentos laterais para alternativa 1



(fonte relatório resumo estrutural TQS)

Figura 8: Deslocamentos entre pisos para a alternativa 1



(fonte relatório resumo estrutural TQS)

A situação apresentada pelas figuras está dentro dos limites estabelecidos pelo item 13.3 da ABNT NBR 6118:2014, conforme pode-se ver no Quadro abaixo. Sendo a altura H do edifício igual a 13 metros e o efeito analisado sendo o movimento lateral de edifícios, usa-se a formulação destacada abaixo.

Quadro 8: Limites para deslocamentos

Tipo de efeito	Razão da limitação	Exemplo	Deslocamento a considerar	Deslocamento-limite
Aceitabilidade sensorial	Visual	Deslocamentos visíveis em elementos estruturais	Total	//250
	Outro	Vibrações sentidas no piso	Devido a cargas acidentais	//350
Efeitos estruturais em serviço	Superfícies que devem drenar água	Coberturas e varandas	Total	//250 ^a
	Pavimentos que devem permanecer planos	Ginásios e pistas de boliche	Total	//350+ contraflecha ^b
			Ocorrido após a construção do piso	//600
Elementos que suportam equipamentos sensíveis	Laboratórios	Ocorrido após nivelamento do equipamento		De acordo com recomendação do fabricante do equipamento
Efeitos em elementos não estruturais	Paredes	Alvenaria, caixilhos e revestimentos	Após a construção da parede	//500 ^c e 10 mm e $\theta = 0,0017 \text{ rad}^d$
		Divisórias leves e caixilhos telescópicos	Ocorrido após a instalação da divisória	//250 ^c e 25 mm
		Movimento lateral de edifícios	Provocado pela ação do vento para combinação frequente ($\psi_1 = 0,30$)	$H/1700$ e $H/850$ ^e entre pavimentos ^f
		Movimentos térmicos verticais	Provocado por diferença de temperatura	//400 ^g e 15 mm

(fonte ABNT NBR 6118:2014)

Outro parâmetro importante analisado é o γ_z , coeficiente usado pelo software como controle para análise de estabilidade global. Ele tem como função avaliar a importância dos esforços de segunda ordem globais em relação aos efeitos das cargas horizontais, está descrito no item 15.5.3 da ABNT NBR 6118:2014 e é dado pela seguinte expressão:

$$\gamma_z = \frac{1}{1 - \frac{\Delta M_{tot,d}}{M_{1,tot,d}}} \quad (2)$$

Onde

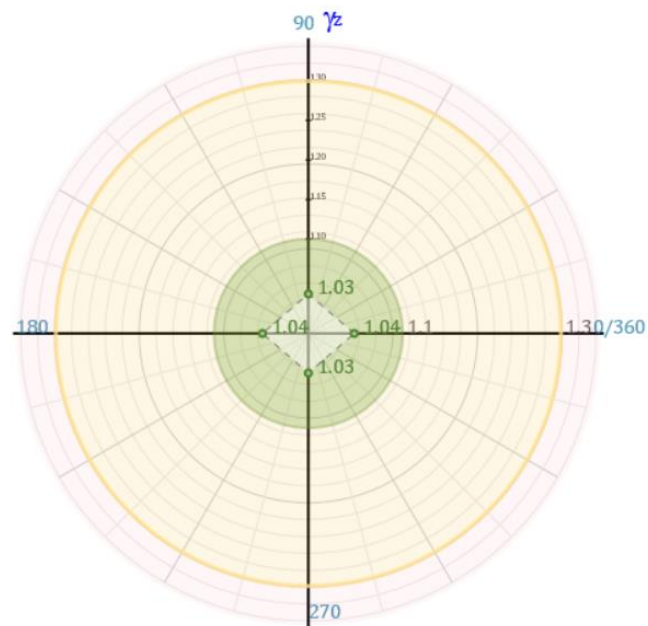
γ_z é o coeficiente de majoração dos esforços globais de 1ª ordem;

$\Delta M_{tot,d}$ é o somatório dos produtos das forças verticais atuantes por suas distâncias com relação ao ponto de aplicação na análise de 1ª ordem;

$M_{1,tot,d}$ é o momento de tombamento da estrutura em função das cargas horizontais de vento.

A figura abaixo mostra o gráfico dos valores de γ_z para esta alternativa de dimensionamento, resultando em uma estrutura de nós fixos, caracterizada por $\gamma_z \leq 1,1$.

Figura 9: Gráfico γ_z



(fonte relatório resumo estrutural TQS)

Vale ressaltar que como o valor de γ_z para esta alternativa foi baixo, pode-se concluir que as seções das vigas foram comandadas pelo dimensionamento da estrutura em si e não por requisitos relacionados com a estabilidade global da estrutura.

Outro parâmetro utilizado pelo software para classificar a estrutura como sendo de nós fixos é o parâmetro de instabilidade α , descrito no item 15.5.2 da ABNT NBR 6118:2014. O parâmetro de instabilidade deve ser menor que o coeficiente α_1 para a estrutura ser considerada de nós fixos. Sendo o coeficiente α dado pela expressão:

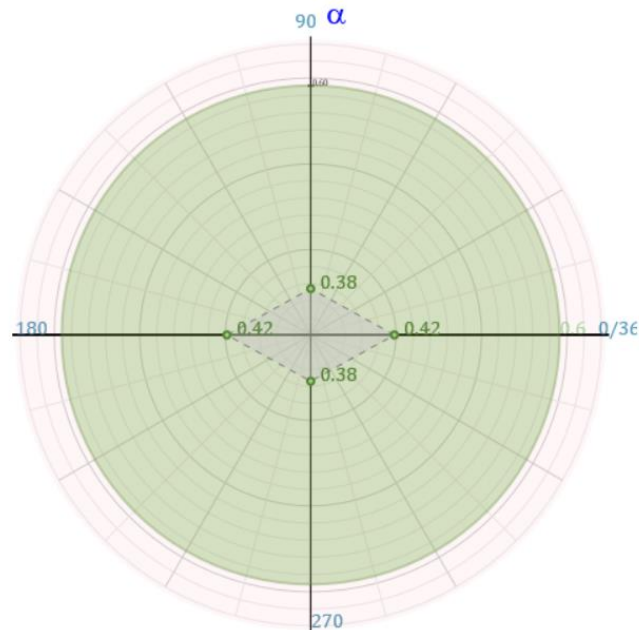
$$\alpha = H_{tot} \sqrt{N_k / (E_{cs} I_c)} \quad (3)$$

Onde

H_{tot} é a altura total do edifício

N_k é a soma de todas as cargas verticais da estrutura

$E_{cs} I_c$ representa o somatório dos valores de rigidez de todos os pilares na direção considerada.

Figura 10: Gráfico de α 

(fonte relatório resumo estrutural TQS)

Já o valor de α_1 é igual a 0,5, pois o número de andares da edificação é superior a 4 e a mesma é contraventada apenas por pórticos. Sendo assim, pode-se ver na figura acima que em nenhum momento o valor de α ultrapassa o valor de α_1 considerado, podendo considerar assim a estrutura como sendo de nós fixos. Pode-se observar na figura acima que o TQS considera 0,6 como valor limite para o α_1 , que é o valor indicado pela ABNT NBR 6118:2014 para estruturas de edifícios que têm como estruturas de contraventamento pórticos e pilares parede.

Os resultados apresentados deste subitem serão melhor analisados no capítulo 6 ao serem comparados com os resultados das alternativas subsequentes.

4.2. LAJE CONVENCIONAL COM CONTRAPISO E PAREDE DE GESSO

Tendo a primeira alternativa otimizada, o segundo modelo foi construído utilizando a mesma geometria para as estruturas do primeiro, apenas considerando as mudanças de cargas aplicadas, passando agora a carga de parede de alvenaria para parede de gesso. Assim, ao invés de haver paredes internas de alvenaria com composição total igual a 1,8 kN/m², há paredes internas de gesso acartonado com peso de 0,5 kN/m². Vale ressaltar que a troca foi feita apenas nas paredes internas dos apartamentos do edifício. As paredes externas, as paredes de separação entre as

unidades e as correspondentes à caixa da escada permaneceram de alvenaria.

Abaixo estão descritas as cargas permanentes aplicadas a esta alternativa, sendo estas baseadas no subitem 4.3.1 – Cargas Permanentes. Além destas, também foram aplicadas para o dimensionamento da estrutura, as cargas acidentais descritas no subitem 4.3.2 – Cargas Acidentais.

a) Pavimento-Tipo:

4 cm de contrapiso com $\gamma = 21 \text{ kN/m}^3$ resultando em $0,84 \text{ kN/m}^2$

1 cm de piso cerâmico com $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$ resultando em $0,18 \text{ kN/m}^2$

1 cm de reboco com $\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$ resultando em $0,19 \text{ kN/m}^2$

b) Cobertura:

10 cm de impermeabilização com manta asfáltica e proteção mecânica, sem revestimento com $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$ resultando em $1,8 \text{ kN/m}^2$

Telhado com telhas alumínio e estrutura metálica de alumínio com peso total de $0,2 \text{ kN/m}^2$

1 cm de reboco com $\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$ resultando em $0,19 \text{ kN/m}^2$

Desta forma, para o processamento estrutural desta alternativa foram aplicadas as cargas permanentes totais de $1,21 \text{ kN/m}^2$ distribuídas nas lajes do pavimento tipo e as cargas de paredes de gesso acartonado com $0,5 \text{ kN/m}^2$. Já para a cobertura são apenas $2,19 \text{ kN/m}^2$ distribuídas nas lajes, sem a adição de cargas de paredes.

As cargas acidentais utilizadas para os pavimentos tipo foram de $1,5 \text{ kN/m}^2$ na área dos apartamentos, sendo na área de serviço $2,0 \text{ kN/m}^2$, de $3,0 \text{ kN/m}^2$ para o corredor e de $0,5 \text{ kN/m}^2$ para o pavimento de cobertura. Por fim, tendo o modelo alterado para as novas cargas, realizou-se o processamento do mesmo, obtendo-se assim os resultados abaixo.

Quadro 9: Consumo de concreto e fôrmas para a alternativa 2

Consumo de concreto e fôrmas

Pavimento	Concreto (m ³)					Fôrmas (m ²)				
	Pilares	Vigas	Lajes	Fundações	Outros	Pilares	Vigas	Lajes	Fundações	Outros
Cobertura	5.8	8.6	21.9	0.0	0.0	79.0	103.4	218.8	0.0	0.0
Tipo	23.1	55.0	80.9	0.0	0.0	316.2	626.3	809.2	0.0	0.0
Fundacao	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Sapatas/Blocos	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
TOTAL	28.9	63.6	102.8	0.0	0.0	395.2	729.8	1028.0	0.0	0.0

(fonte relatório resumo estrutural TQS)

Quadro 10: Consumo de aço para a alternativa 2

Consumo de aço

Pasta	Aço (kg)				
	Pilares	Vigas	Lajes	Fundações	Outros
Cobertura	361.9	639.9	1387.3	0.0	0.0
Tipo	1676.0	3581.6	5261.6	0.0	0.0
TOTAL	2037.9	4221.5	6648.9	0.0	0.0

O consumo de aço nas escadas está incluso na coluna Outros.

(fonte relatório resumo estrutural TQS)

Quadro 11: Resumo de consumo e taxas para alternativa 2

Resumo do consumo e taxas

Pavimento/Pasta	Concreto		Fôrmas		Aço		
	Consumo (m ³)	Taxa (m ³ /m ²)	Consumo (m ²)	Taxa (m ² /m ²)	Consumo (kg)	Taxa (kg/m ²)	Taxa (kg/m ²)
Cobertura	36.2	0.15	401.3	1.6	2389.1	9.7	65.9
Tipo	159.0	0.17	1751.7	1.9	10519.2	11.3	66.2
Fundacao	0.0		0.0		0.0		
TOTAL	195.2	0.17	2153.0	1.8	12908.3	11.0	66.1

Os valores /m² são divididos pela área do pavimento e o /m³ pelo volume de concreto.

(fonte relatório resumo estrutural TQS)

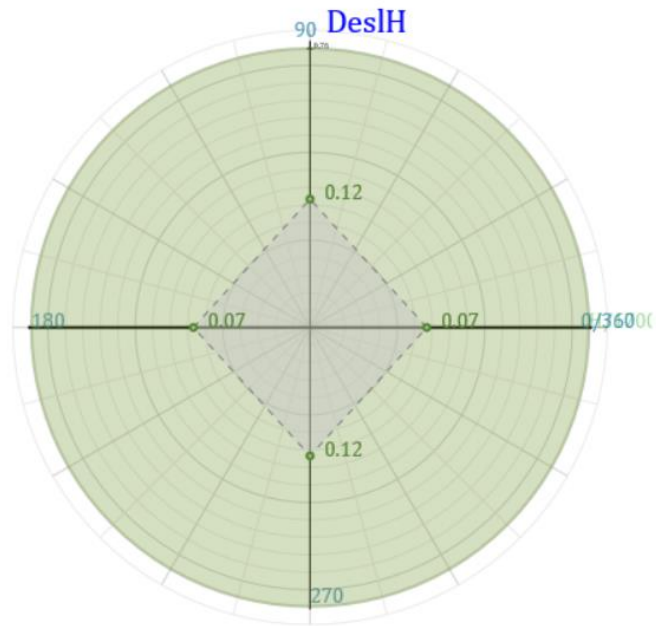
Quadro 12: Consumo de aço por bitola para alternativa 2

Consumo de aço por bitola (kg)

Pasta	Bitola (mm)												
	3.2	4.2	5.0	6.3	8.0	10.0	12.5	16.0	20.0	22.0	25.0	32.0	40.0
Cobertura	0.0	0.0	366.6	1308.3	2.0	559.1	75.8	77.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Tipo	0.0	0.0	1500.8	5049.5	290.7	2698.2	428.0	397.7	154.4	0.0	0.0	0.0	0.0
TOTAL	0.0	0.0	1867.3	6357.8	292.7	3257.2	503.8	475.1	154.4	0.0	0.0	0.0	0.0

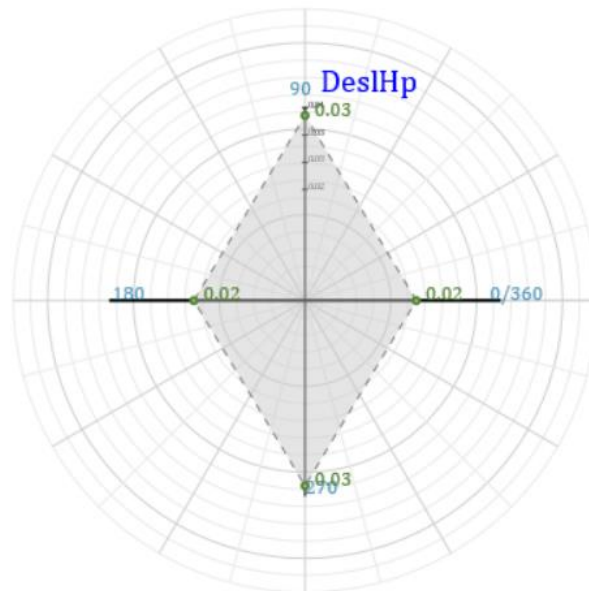
(fonte: relatório resumo estrutural TQS)

Figura 11: Deslocamentos laterais para a alternativa 2



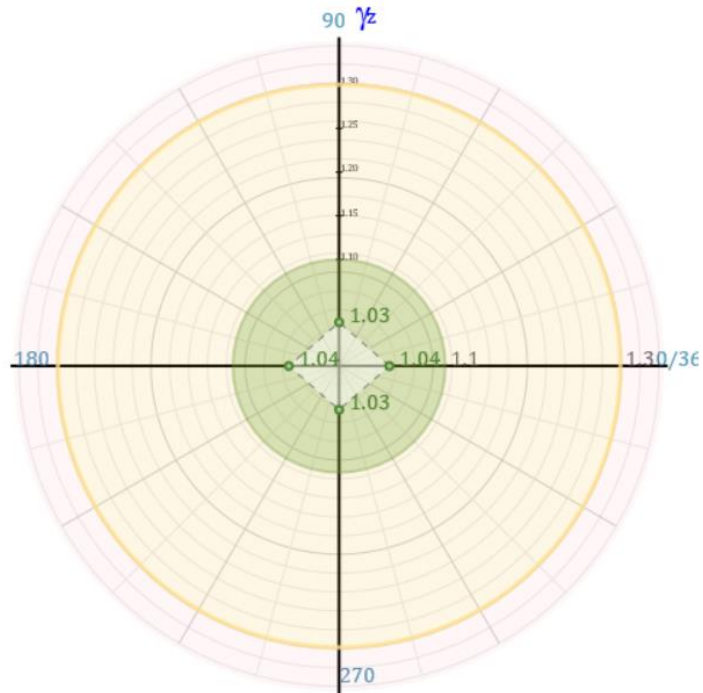
(fonte relatório resumo estrutural TQS)

Figura 12: Deslocamentos entre pisos para a alternativa 2



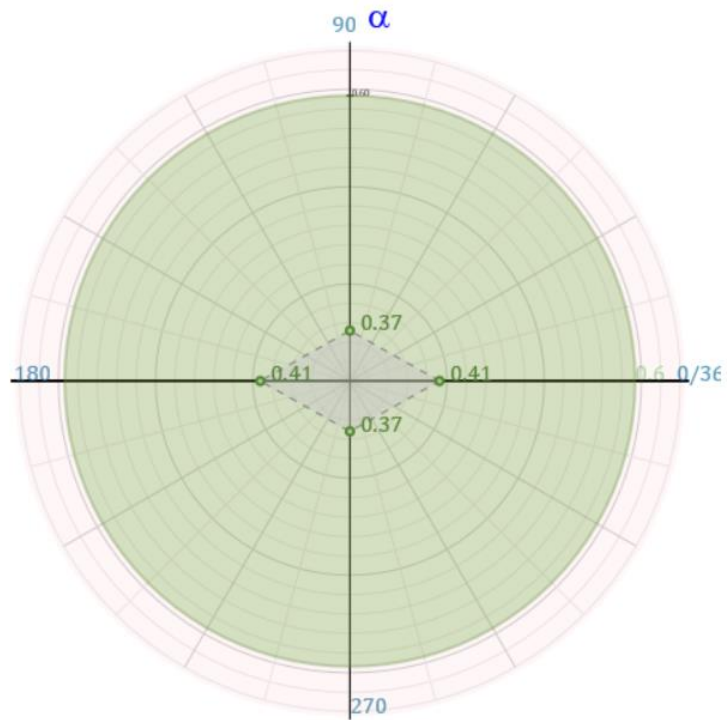
(fonte relatório resumo estrutural QS)

Figura 13: Gráfico de γ_z para a alternativa 2



(fonte: relatório resumo estrutural TQS)

Figura 14: Gráfico de α para a alternativa 2



(fonte: relatório resumo estrutural TQS)

Estes resultados seguem as mesmas diretrizes mostradas na alternativa 1 e suas diferenças serão comentadas no capítulo 6.

4.3. LAJE CONVENCIONAL SEM CONTRAPISO E COM PAREDE DE GESSO

Esta alternativa foi criada com o objetivo de reduzir ainda mais as cargas permanentes da estrutura. Retirando o contrapiso, a composição de cargas passa a ter 1 cm de argamassa colante para o assentamento do piso, reduzindo pelo menos 3 cm dos 4 cm aplicados como argamassa de cimento e areia para os primeiros dois casos. Como esses 3 cm seriam aplicados sobre as lajes para corrigir possíveis desníveis e imperfeições da estrutura, ao não haver mais a possibilidade de aplicar-se o contrapiso, a execução deve ser bastante mais rigorosa em termos de precisão dimensional, dificultando a mesma. Assim, o objetivo desta alternativa é descobrir se há economia suficiente na estrutura final ao se reduzir também a carga permanente de contrapiso, considerando o aumento da dificuldade de execução da laje em comparação com a primeira alternativa.

A combinação de cargas permanentes utilizada considera o subitem 4.3.1. – Cargas Permanentes e será descrita abaixo. Já as cargas acidentais consideram o subitem 4.3.2. – Cargas Acidentais.

a) Pavimento-Tipo:

1 cm de argamassa colante / regularização com $\gamma = 21 \text{ kN/m}^3$ resultando em $0,21 \text{ kN/m}^2$

1 cm de piso cerâmico com $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$ resultando em $0,18 \text{ kN/m}^2$

1 cm de reboco com $\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$ resultando em $0,19 \text{ kN/m}^2$

Carga acidental de $1,5 \text{ kN/m}^2$ para a área dos apartamentos

Carga acidental de $2,0 \text{ kN/m}^2$ para a área de serviço

Carga acidental de $3,0 \text{ kN/m}^2$ para o corredor

b) Cobertura:

10 cm de impermeabilização com manta asfáltica e proteção mecânica, sem revestimento com $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$ resultando em $1,8 \text{ kN/m}^2$

Telhado com telhas alumínio e estrutura metálica de alumínio com peso total de $0,2 \text{ kN/m}^2$

1 cm de reboco com $\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$ resultando em $0,19 \text{ kN/m}^2$

Carga acidental de $0,5 \text{ kN/m}^2$

Portanto, para esta alternativa aplicou-se o valor de $0,58 \text{ kN/m}^2$ como carga permanente total distribuídas nas lajes, sendo este valor o somatório dos apresentados acima para o pavimento tipo. Além disto, temos ainda o valor de $0,5 \text{ kN/m}^2$ de carga permanente de parede distribuída linearmente nas lajes. Já para a cobertura ainda se aplica apenas $2,19 \text{ kN/m}^2$ distribuídas nas lajes, porém sem a adição de cargas de paredes.

Tendo as cargas para esta alternativa estrutural aplicadas ao edifício, houve o processamento do mesmo, obtendo-se assim resultados aos moldes dos apresentados para as outras soluções. Estes serão apresentados abaixo a partir do obtido pelo relatório estrutural do TQS.

Quadro 13: Consumo de concreto e fôrmas para a alternativa 3

Consumo de concreto e fôrmas

Pavimento	Concreto (m ³)					Fôrmas (m ²)				
	Pilares	Vigas	Lajes	Fundações	Outros	Pilares	Vigas	Lajes	Fundações	Outros
Cobertura	5.8	8.6	21.9	0.0	0.0	79.0	103.4	218.8	0.0	0.0
Tipo	23.1	55.0	81.0	0.0	0.0	316.2	626.6	810.1	0.0	0.0
Fundacao	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Sapatas/Blocos	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
TOTAL	28.9	63.6	102.9	0.0	0.0	395.2	730.0	1028.9	0.0	0.0

(fonte relatório resumo estrutural TQS)

Quadro 14: Consumo de aço para a alternativa 3

Consumo de aço

Pasta	Aço (kg)				
	Pilares	Vigas	Lajes	Fundações	Outros
Cobertura	361.9	636.8	1384.1	0.0	0.0
Tipo	1669.7	3625.7	5198.0	0.0	0.0
TOTAL	2031.6	4262.4	6582.1	0.0	0.0

0 consumo de aço nas escadas está incluso na coluna Outros.

(fonte relatório resumo estrutural TQS)

Quadro 15: Resumo do consumo e taxas para a alternativa 3

Resumo do consumo e taxas

Pavimento/Pasta	Concreto		Fôrmas		Aço		
	Consumo (m³)	Taxa (m³/m²)	Consumo (m²)	Taxa (m²/m²)	Consumo (kg)	Taxa (kg/m²)	Taxa (kg/m³)
Cobertura	36.2	0.15	401.3	1.6	2382.7	9.6	65.8
Tipo	159.1	0.17	1752.9	1.9	10493.5	11.3	65.9
Fundacao	0.0		0.0		0.0		
TOTAL	195.4	0.17	2154.1	1.8	12876.2	10.9	65.9

Os valores /m² são divididos pela área do pavimento e o /m³ pelo volume de concreto.

(fonte relatório resumo estrutural TQS)

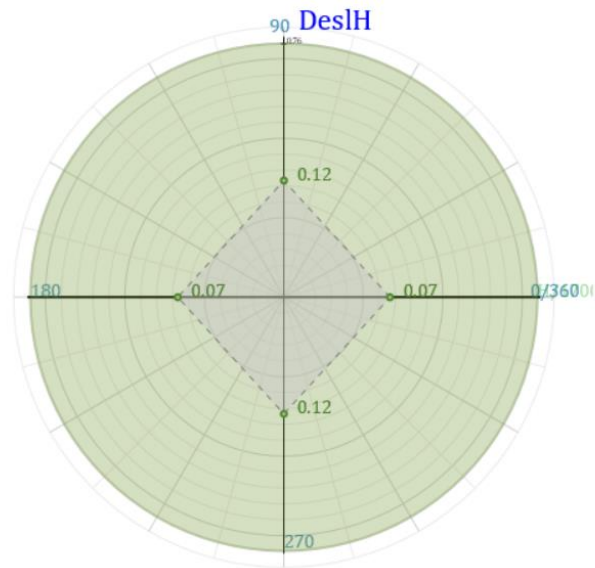
Quadro 16: Consumo de aço por bitola para a alternativa 3

Consumo de aço por bitola (kg)

Pasta	Bitola (mm)												
	3.2	4.2	5.0	6.3	8.0	10.0	12.5	16.0	20.0	22.0	25.0	32.0	40.0
Cobertura	0.0	0.0	366.3	1305.0	2.0	564.5	67.5	77.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Tipo	0.0	0.0	1497.6	5019.0	258.0	2718.8	295.8	546.0	158.3	0.0	0.0	0.0	0.0
TOTAL	0.0	0.0	1863.8	6324.0	259.9	3283.3	363.4	623.4	158.3	0.0	0.0	0.0	0.0

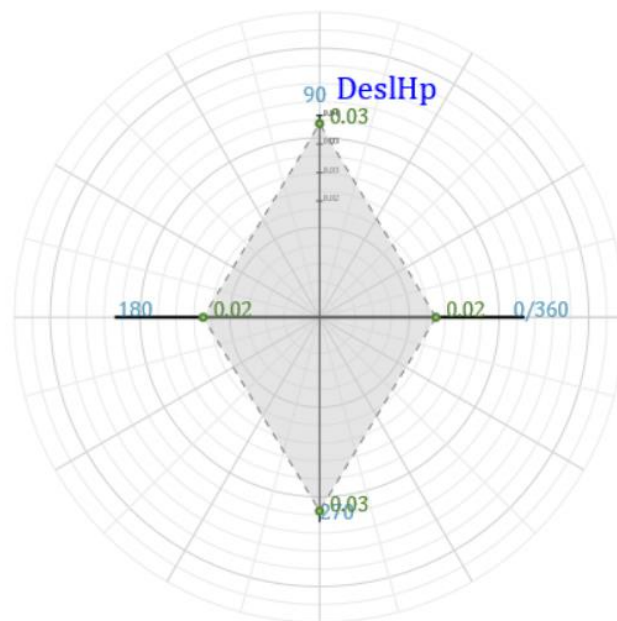
(fonte relatório resumo estrutural TQS)

Figura 15: Deslocamentos laterais para a alternativa 3



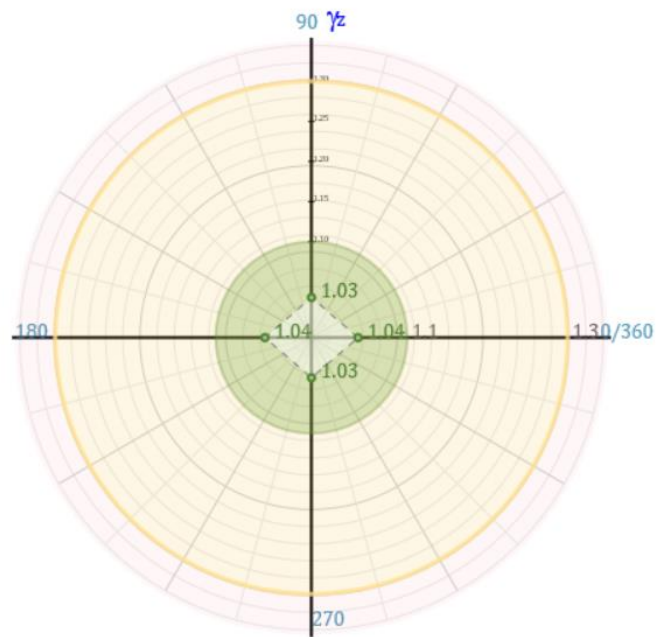
(fonte relatório resumo estrutural TQS)

Figura 16: Deslocamentos entre pisos para a alternativa 3



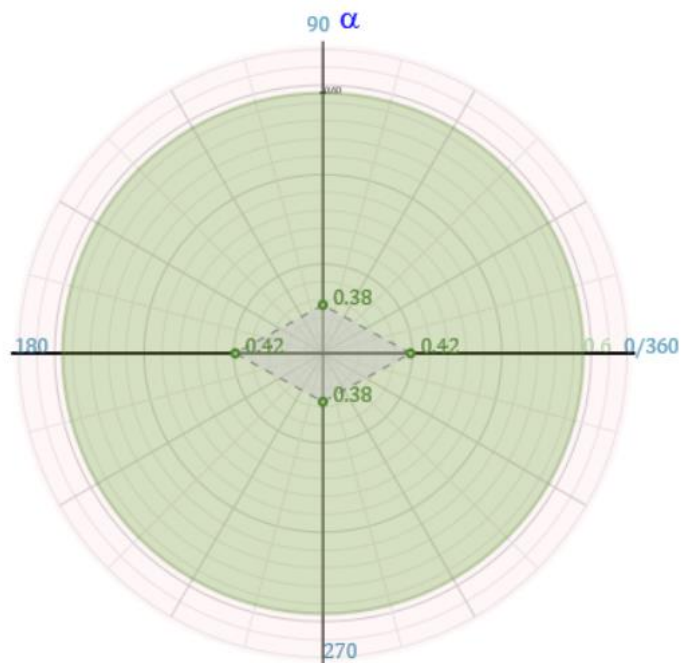
(fonte relatório resumo estrutural TQS)

Figura 17: Gráfico de γ_z para a alternativa 3



(fonte relatório resumo estrutural TQS)

Figura 18: Gráfico de α para a alternativa 3



(fonte relatório resumo estrutural TQS)

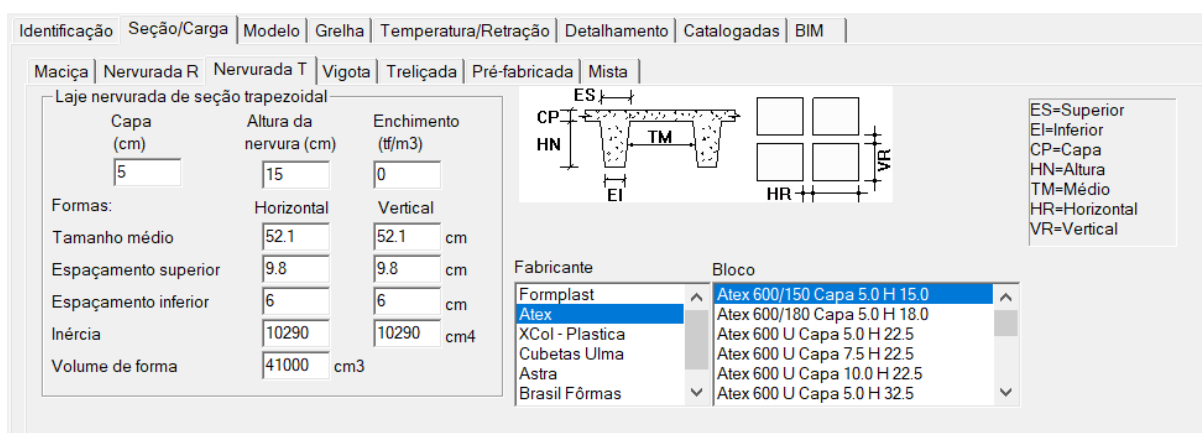
Estes resultados seguem as mesmas diretrizes apresentadas para a alternativa 1 de laje convencional com contrapiso e parede de alvenaria. Eles serão melhor abordados no capítulo 6, onde serão comparados com os resultados das outras alternativas.

4.4. LAJE NERVURADA COM CONTRAPISO E PAREDE DE ALVENARIA

Esta alternativa estrutural se assemelha à alternativa 1, com substituição da laje maciça pela nervurada. O objetivo desta troca é haver uma distribuição do material mais eficiente, aumentando assim o braço de alavanca das armaduras, proporcionando uma diminuição da quantidade de aço necessária. Assim, para a modelagem desta estrutura utilizou-se as mesmas seções de vigas e pilares das outras alternativas, mantendo desta forma o fator comparativo apenas no consumo de aço e na diferença entre as lajes.

O software TQS tem em sua base de dados diversas fôrmas de lajes nervuradas. Dentre as opções fornecidas optou-se pela fôrma da ATEX BRASIL 600/150 com capa de 5 cm e altura da nervura de 15 cm. Esta escolha foi feita pelo fato da fôrma da ATEX BRASIL ser amplamente utilizada no mercado e pela espessura de 15 cm ser a próxima possível da laje maciça, possibilitando assim uma comparação mais equilibrada. Na figura abaixo mostram-se as dimensões da fôrma escolhida, um croqui da mesma, algumas opções de fôrmas da ATEX e algumas das alternativas de marcas disponíveis no programa.

Figura 19: Características fôrma alternativa 4



(fonte base de dados TQS)

Foi-se verificada a validade desta seção segundo o item 13.2.4.2 da ABNT NBR 6118:2014, a qual diz que a espessura das nervuras não pode ser inferior a 5cm, sendo a espessura inferior desta fôrma igual a 6cm, pode-se concluir que está nos conformes da norma. Sendo o espaçamento entre eixos das nervuras menor a 65cm, o caso desta seção, a norma afirma que podem ser considerados os critérios de lajes maciças e dispensa a verificação da flexão da mesa. Também há a consideração de que o valor mínimo da espessura da mesa deve ser de 5cm, considerando apenas tubulações embutidas de diâmetro máximo de 10mm.

Com relação às cargas aplicadas, estas são baseadas nas da alternativa 1, porém o reboco da parte inferior das lajes foi substituído pelo forro de gesso, pois por motivos arquitetônicos e por se tratar de um edifício residencial optou-se por esconder a face inferior da laje nervurada. Assim, tem-se as cargas descritas abaixo:

a) Pavimento-Tipo:

4 cm de contrapiso com $\gamma = 21 \text{ kN/m}^3$ resultando em $0,84 \text{ kN/m}^2$

1 cm de piso cerâmico com $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$ resultando em $0,18 \text{ kN/m}^2$

Forro de gesso acartonado com peso de $0,25 \text{ kN/m}^2$

Carga accidental de $1,5 \text{ kN/m}^2$ para a área dos apartamentos

Carga accidental de $2,0 \text{ kN/m}^2$ para a área de serviço

Carga accidental de $3,0 \text{ kN/m}^2$ para o corredor

b) Cobertura:

10 cm de impermeabilização com manta asfáltica e proteção mecânica, sem revestimento com $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$ resultando em $1,8 \text{ kN/m}^2$

Telhado com telhas alumínio e estrutura metálica de alumínio com peso total de $0,2 \text{ kN/m}^2$

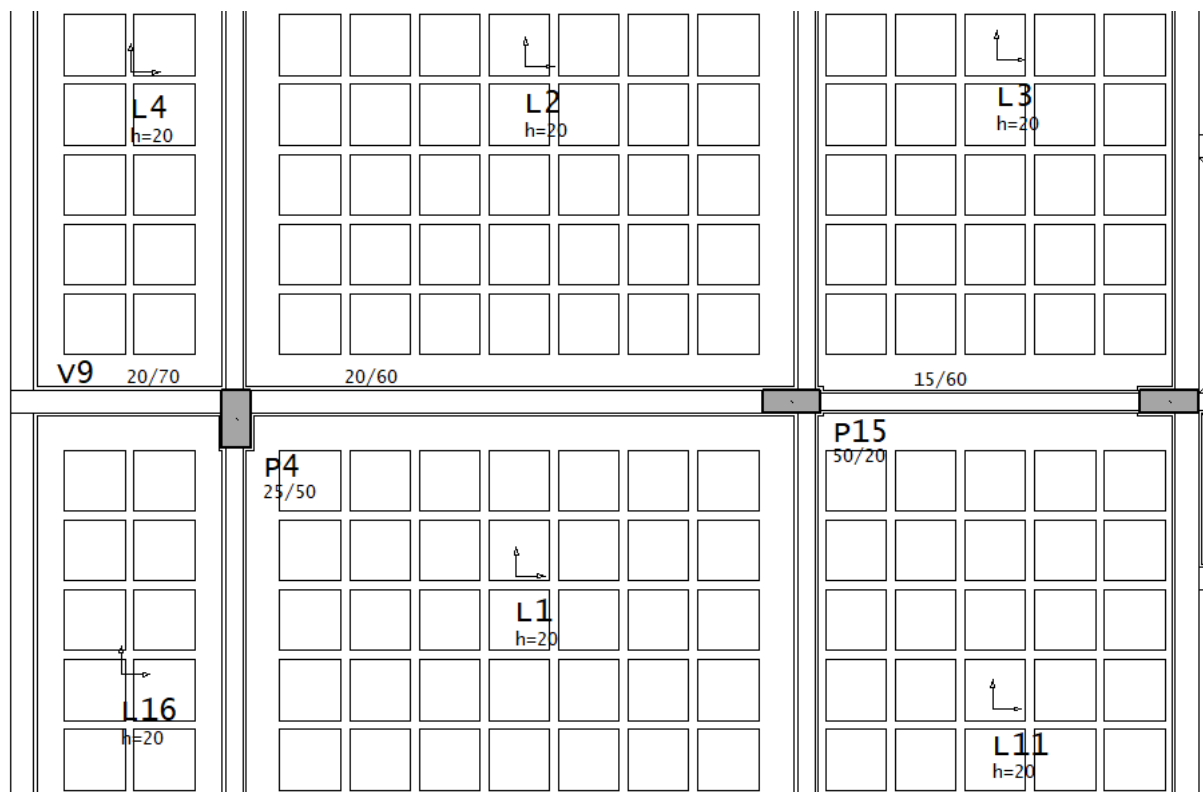
Forro de gesso acartonado com peso de $0,25 \text{ kN/m}^2$

Carga acidental de $0,5 \text{ kN/m}^2$

Portanto, as cargas permanentes totais aplicadas para o pavimento tipo foram de $1,27 \text{ kN/m}^2$ distribuídas nas lajes, cargas de paredes distribuídas linearmente para o pavimento tipo com valor de $1,8 \text{ kN/m}^2$ para paredes de 15 cm e de $3,0 \text{ kN/m}^2$ para paredes de 25 cm e de $2,25 \text{ kN/m}^2$ como carga permanente distribuída nas lajes da cobertura.

Vale ressaltar que se tomou o cuidado de alinhar a posição das cubetas das lajes no ato da modelagem desta alternativa, para que no detalhamento da estrutura pelo TQS as armaduras ficassem contínuas, diminuindo assim o quantitativo de aço e melhorando a execução. Para que este alinhamento das cubetas ocorresse observou-se a melhor posição para a primeira cubeta de cada laje, pois esta que determina a posição das próximas. Isto pode ser visto na Figura abaixo

Figura 20: Alinhamento cubetas lajes nervuradas



(fonte própria do autor)

Quadro 17: Consumo de concreto e fôrmas para a alternativa 4

Consumo de concreto e fôrmas

Pavimento	Concreto (m³)					Fôrmas (m²)				
	Pilares	Vigas	Lajes	Fundações	Outros	Pilares	Vigas	Lajes	Fundações	Outros
Cobertura	5.8	8.6	24.4	0.0	0.0	79.0	80.9	4.7	0.0	0.0
Tipo	23.1	55.0	89.6	0.0	0.0	316.2	542.9	12.7	0.0	0.0
Fundacao	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Sapatas/Blocos	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
TOTAL	28.9	63.6	114.0	0.0	0.0	395.2	623.8	17.4	0.0	0.0

(fonte relatório resumo estrutural TQS)

Quadro 18: Consumo de aço para a alternativa 4

Consumo de aço

Pasta	Aço (kg)				
	Pilares	Vigas	Lajes	Fundações	Outros
Cobertura	347.7	567.3	981.9	0.0	0.0
Tipo	1703.7	3408.8	3835.4	0.0	0.0
TOTAL	2051.4	3976.1	4817.3	0.0	0.0

O consumo de aço nas escadas está incluso na coluna Outros.

(fonte relatório resumo estrutural TQS)

Quadro 19: Resumo do consumo e taxas para a alternativa 4

Resumo do consumo e taxas

Pavimento/Pasta	Concreto		Fôrmas		Aço		
	Consumo (m³)	Taxa (m³/m²)	Consumo (m²)	Taxa (m²/m²)	Consumo (kg)	Taxa (kg/m²)	Taxa (kg/m³)
Cobertura	38.7	0.16	164.7	0.7	1896.9	7.7	49.0
Tipo	167.7	0.18	871.7	0.9	8948.0	9.6	53.4
Fundacao	0.0		0.0		0.0		
TOTAL	206.4	0.18	1036.4	0.9	10844.8	9.2	52.5

Os valores /m² são divididos pela área do pavimento e o /m³ pelo volume de concreto.

(fonte relatório resumo estrutural TQS)

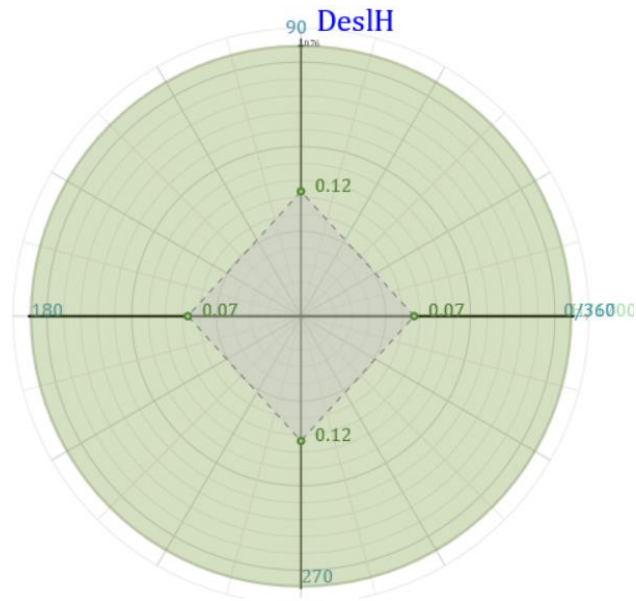
Quadro 20: Consumo de aço por bitola para a alternativa 4

Consumo de aço por bitola (kg)

Pasta	Bitola (mm)												
	3.2	4.2	5.0	6.3	8.0	10.0	12.5	16.0	20.0	22.0	25.0	32.0	40.0
Cobertura	0.0	0.0	373.8	390.8	317.1	661.0	81.5	72.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Tipo	0.0	0.0	1480.1	1760.2	1350.5	3013.3	776.6	419.9	147.5	0.0	0.0	0.0	0.0
TOTAL	0.0	0.0	1854.0	2151.0	1667.6	3674.3	858.0	492.5	147.5	0.0	0.0	0.0	0.0

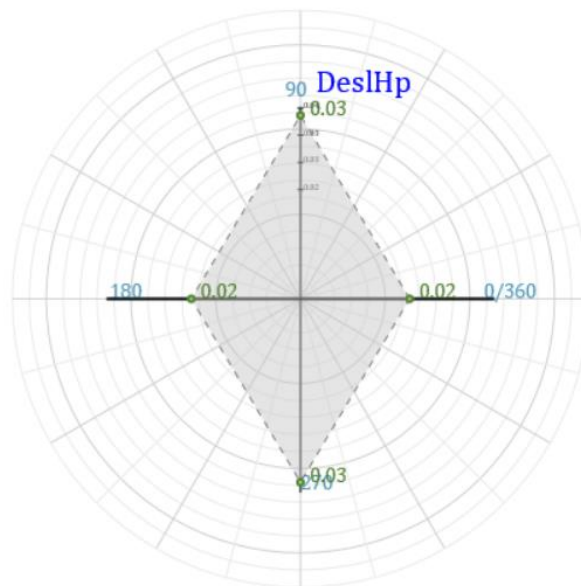
(fonte relatório resumo estrutural TQS)

Figura 21: Deslocamentos laterais para a alternativa 4



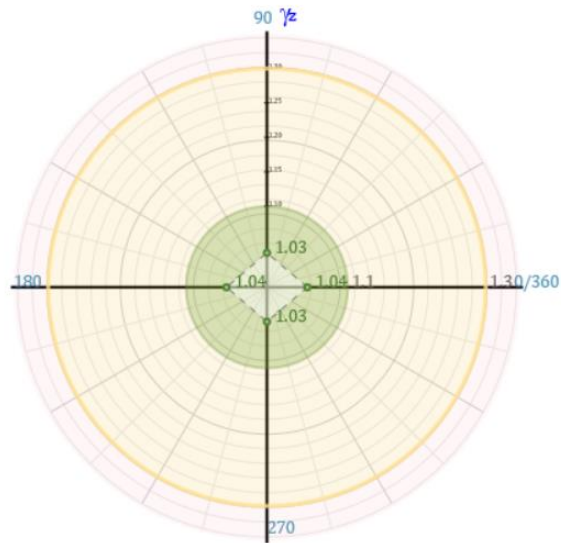
(fonte relatório resumo estrutural TQS)

Figura 22: Deslocamentos entre pisos para a alternativa 4



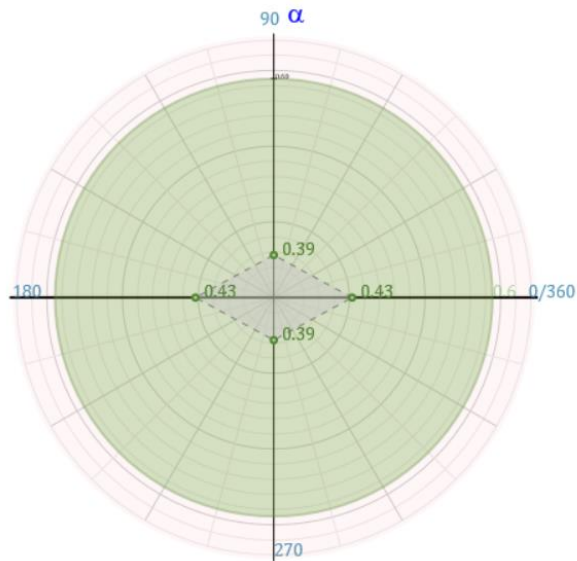
(fonte relatório resumo estrutural TQS)

Figura 23: Gráfico de γ_z para a alternativa 4



(fonte relatório resumo estrutural TQS)

Figura 24: Gráfico de α para a alternativa 4



(fonte relatório resumo estrutural TQS)

Vale ressaltar que estes resultados também seguem as mesmas diretrizes do apresentado na alternativa 1 e que serão melhor abordados no capítulo de comparação de resultados.

4.5. LAJE NERVURADA COM CONTRAPISO E PAREDE DE GESSO

Seguindo o mesmo padrão da laje maciça, as paredes internas de alvenaria foram trocadas pelas de gesso acartonado. O objetivo desta troca é a redução da carga permanente sobre a estrutura na tentativa de reduzir a quantidade de aço utilizado, reduzindo o custo da edificação. Esta diminuição do custo do aço deve ser contraposta com o aumento do custo da execução da parede de gesso com relação a parede de alvenaria, sendo estes aspectos abordados de forma mais detalhada nos capítulos seguintes.

As cargas aplicadas para o dimensionamento estrutural desta alternativa estão descritas a seguir, sendo que as cargas acidentais seguem os valores apresentados no subitem 4.3.2 – Cargas acidentais.

a) Pavimento-Tipo:

4 cm de contrapiso com $\gamma = 21 \text{ kN/m}^3$ resultando em $0,84 \text{ kN/m}^2$

1 cm de piso cerâmico com $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$ resultando em $0,18 \text{ kN/m}^2$

Forro de gesso acartonado com peso de $0,25 \text{ kN/m}^2$

Carga acidental de $1,5 \text{ kN/m}^2$ para a área dos apartamentos

Carga acidental de $2,0 \text{ kN/m}^2$ para a área de serviço

Carga acidental de $3,0 \text{ kN/m}^2$ para o corredor

b) Cobertura:

10 cm de impermeabilização com manta asfáltica e proteção mecânica, sem revestimento com $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$ resultando em $1,8 \text{ kN/m}^2$

Telhado com telhas alumínio e estrutura metálica de alumínio com peso total de $0,2 \text{ kN/m}^2$

Forro de gesso acartonado com peso de $0,25 \text{ kN/m}^2$

Carga acidental de $0,5 \text{ kN/m}^2$

Desta forma, foram aplicadas à estrutura cargas permanentes totais no valor de 1,27 kN/m² distribuídas nas lajes do pavimento tipo, mais as cargas de parede de gesso distribuídas linearmente no valor de 0,5 kN/m². Já para a cobertura foram aplicadas cargas permanentes totais no valor de 2,25 kN/m² distribuídas nas lajes do pavimento. Abaixo há os resultados obtidos com o processamento do edifício nesta configuração, aplicando-se as cargas citadas e mantendo a geometria da alternativa 4.

Quadro 21: Consumo de concreto e fôrmas para a alternativa 5

Consumo de concreto e fôrmas

Pavimento	Concreto (m ³)					Fôrmas (m ²)				
	Pilares	Vigas	Lajes	Fundações	Outros	Pilares	Vigas	Lajes	Fundações	Outros
Cobertura	5.8	8.6	24.4	0.0	0.0	79.0	80.8	4.7	0.0	0.0
Tipo	23.1	55.0	89.6	0.0	0.0	316.2	542.7	12.7	0.0	0.0
Fundacao	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Sapatas/Blocos	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
TOTAL	28.9	63.6	114.0	0.0	0.0	395.2	623.5	17.4	0.0	0.0

(fonte relatório resumo estrutural TQS)

Quadro 22: Consumo de aço para a alternativa 5

Consumo de aço

Pasta	Aço (kg)				
	Pilares	Vigas	Lajes	Fundações	Outros
Cobertura	347.7	566.6	982.0	0.0	0.0
Tipo	1688.7	3375.2	3687.5	0.0	0.0
TOTAL	2036.3	3941.8	4669.4	0.0	0.0

O consumo de aço nas escadas está incluso na coluna Outros.

(fonte relatório resumo estrutural TQS)

Quadro 23: Resumo do consumo e taxas para a alternativa 5

Resumo do consumo e taxas

Pavimento/Pasta	Concreto		Fôrmas		Aço		
	Consumo (m ³)	Taxa (m ³ /m ²)	Consumo (m ²)	Taxa (m ² /m ²)	Consumo (kg)	Taxa (kg/m ²)	Taxa (kg/m ³)
Cobertura	38.7	0.16	164.6	0.7	1896.2	7.7	49.0
Tipo	167.7	0.18	871.5	0.9	8751.4	9.4	52.2
Fundacao	0.0		0.0		0.0		
TOTAL	206.4	0.18	1036.1	0.9	10647.6	9.1	51.6

Os valores /m² são divididos pela área do pavimento e o /m³ pelo volume de concreto.

(fonte relatório resumo estrutural TQS)

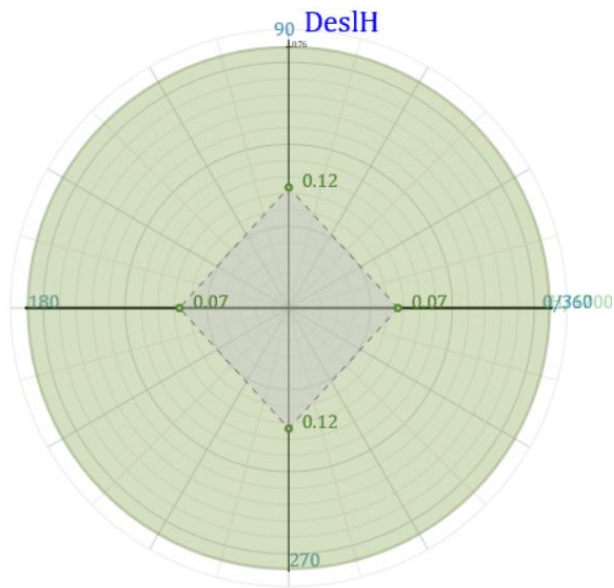
Quadro 24: Consumo de aço por bitola para a alternativa 5

Consumo de aço por bitola (kg)

Pasta	Bitola (mm)												
	3.2	4.2	5.0	6.3	8.0	10.0	12.5	16.0	20.0	22.0	25.0	32.0	40.0
Cobertura	0.0	0.0	373.6	390.8	317.0	664.3	77.8	72.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Tipo	0.0	0.0	1461.8	1572.0	1443.2	2924.3	684.7	665.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
TOTAL	0.0	0.0	1835.4	1962.8	1760.2	3588.6	762.5	738.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

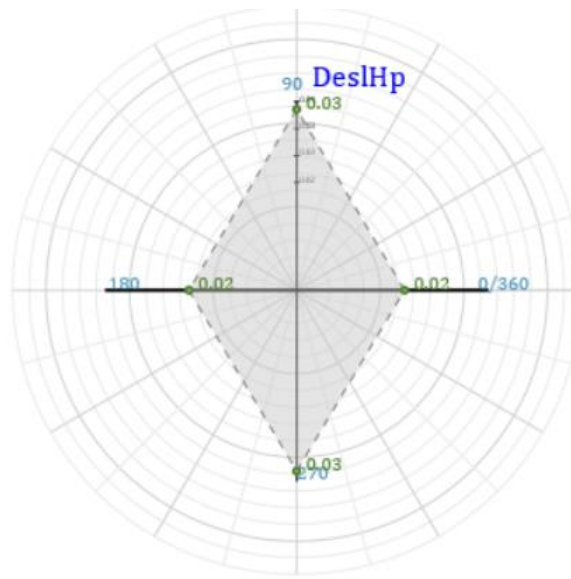
(fonte relatório resumo estrutural TQS)

Figura 25: Deslocamentos laterais para a alternativa 5



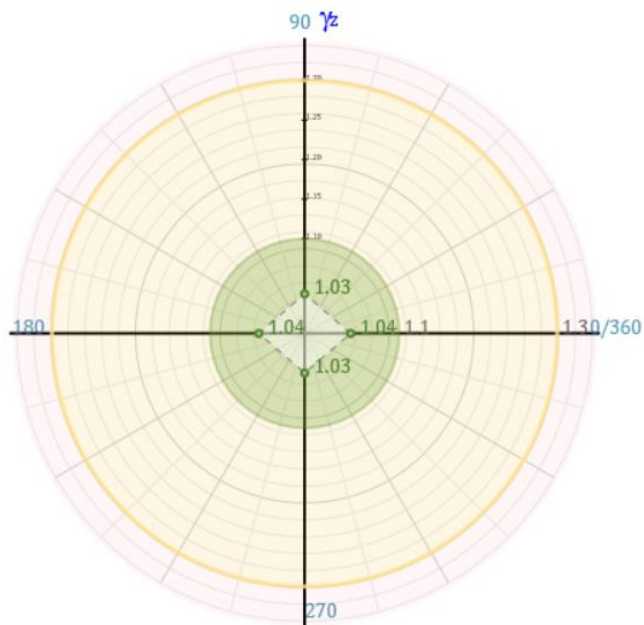
(fonte relatório resumo estrutural TQS)

Figura 26: Deslocamentos entre pisos para a alternativa 5

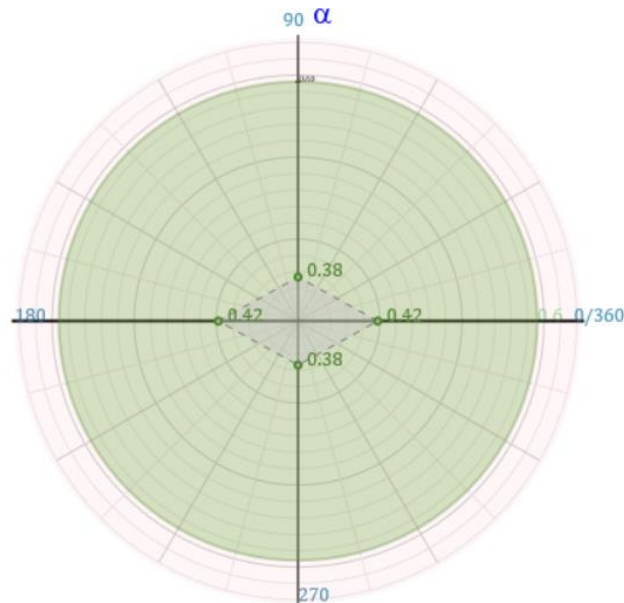


(fonte relatório resumo estrutural TQS)

Figura 27: Gráfico do γ_z para a alternativa 5



(fonte relatório resumo estrutural TQS)

Figura 28: Gráfico de α para a alternativa 5

(fonte relatório resumo estrutural TQS)

Estes resultados serão comparados com os das outras alternativas no capítulo 6 – Resultados e Análise.

4.6. LAJE NERVURADA SEM CONTRAPISO E COM PAREDE DE GESSO

O objetivo desta última alternativa é fechar o ciclo das lajes nervuradas, seguindo os moldes das alternativas da laje maciça. Assim, a ideia com esta alternativa é diminuir ainda mais a carga permanente da estrutura com a retirada do contrapiso. No entanto deve-se ressaltar um aumento da dificuldade de execução com a necessidade de um controle de qualidade mais rigoroso para o nivelamento da laje, podendo aumentar o custo ao invés de diminuir.

Para o dimensionamento estrutural deste edifício foram aplicadas as cargas abaixo. Sendo as cargas permanentes constantes no item 4.3.1 e as cargas acidentais no item 4.3.2.

a) Pavimento-Tipo:

1 cm de contrapiso com $\gamma = 21 \text{ kN/m}^3$ resultando em $0,21 \text{ kN/m}^2$

1 cm de piso cerâmico com $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$ resultando em $0,18 \text{ kN/m}^2$

Forro de gesso acartonado com peso de 0,25 kN/m²

Carga acidental de 1,5 kN/m² para a área dos apartamentos

Carga acidental de 2,0 kN/m² para a área de serviço

Carga acidental de 3,0 kN/m² para o corredor

b) Cobertura:

10 cm de impermeabilização com manta asfáltica e proteção mecânica, sem revestimento com $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$ resultando em 1,8 kN/m²

Telhado com telhas alumínio e estrutura metálica de alumínio com peso total de 0,2kN/m²

Forro de gesso acartonado com peso de 0,25 kN/m²

Carga acidental de 0,5 kN/m²

Desta forma, foram aplicadas à estrutura cargas permanentes totais no valor de 0,64 kN/m² distribuídas nas lajes do pavimento tipo, mais as cargas de parede de gesso distribuídas linearmente no valor de 0,5 kN/m². Já para a cobertura foram aplicadas cargas permanentes totais no valor de 2,25 kN/m² distribuídas nas lajes do pavimento. Abaixo tem-se os resultados do processamento do edifício, aplicando-se as cargas citadas e mantendo a geometria das alternativas 4 e 5.

Quadro 25: Consumo de concreto e fôrmas da alternativa 6

Consumo de concreto e fôrmas

Pavimento	Concreto (m ³)					Fôrmas (m ²)				
	Pilares	Vigas	Lajes	Fundações	Outros	Pilares	Vigas	Lajes	Fundações	Outros
Cobertura	5.8	8.6	24.4	0.0	0.0	79.0	80.8	4.7	0.0	0.0
Tipo	23.1	55.0	89.6	0.0	0.0	316.2	542.7	12.7	0.0	0.0
Fundacao	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Sapatas/Blocos	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
TOTAL	28.9	63.6	114.0	0.0	0.0	395.2	623.5	17.4	0.0	0.0

(fonte relatório resumo estrutural TQS)

Quadro 26: Consumo de aço para a alternativa 6

Consumo de aço

Pasta	Aço (kg)				
	Pilares	Vigas	Lajes	Fundações	Outros
Cobertura	347.7	566.6	982.0	0.0	0.0
Tipo	1669.4	3375.6	3697.8	0.0	0.0
TOTAL	2017.1	3942.2	4679.8	0.0	0.0

O consumo de aço nas escadas está incluso na coluna Outros.

(fonte relatório resumo estrutural TQS)

Quadro 27: Resumo do consumo e taxas para a alternativa 6

Resumo do consumo e taxas

Pavimento/Pasta	Concreto		Fôrmas		Aço		
	Consumo (m ³)	Taxa (m ³ /m ²)	Consumo (m ²)	Taxa (m ² /m ²)	Consumo (kg)	Taxa (kg/m ²)	Taxa (kg/m ³)
Cobertura	38.7	0.16	164.6	0.7	1896.2	7.7	49.0
Tipo	167.7	0.18	871.5	0.9	8742.9	9.4	52.1
Fundacao	0.0		0.0		0.0		
TOTAL	206.4	0.18	1036.1	0.9	10639.1	9.0	51.5

Os valores /m² são divididos pela área do pavimento e o /m³ pelo volume de concreto.

(fonte relatório resumo estrutural TQS)

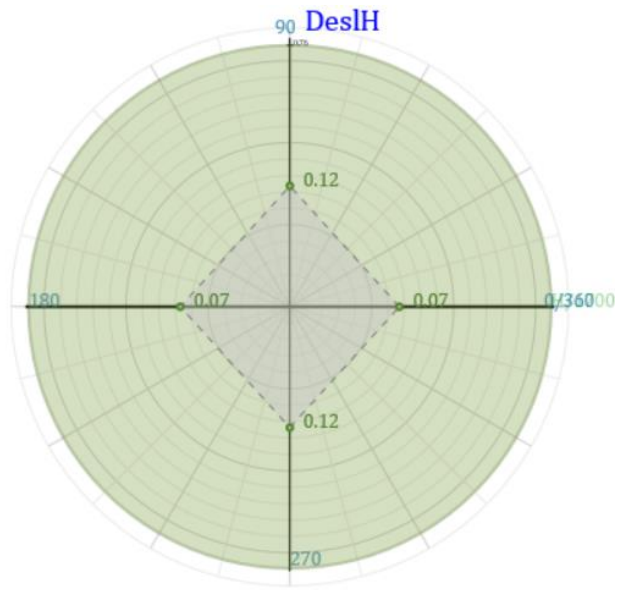
Quadro 28: Consumo de aço por bitola para a alternativa 6

Consumo de aço por bitola (kg)

Pasta	Bitola (mm)												
	3.2	4.2	5.0	6.3	8.0	10.0	12.5	16.0	20.0	22.0	25.0	32.0	40.0
Cobertura	0.0	0.0	373.6	390.8	317.0	664.3	77.8	72.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Tipo	0.0	0.0	1484.5	1623.5	1442.7	3025.0	591.3	420.1	155.9	0.0	0.0	0.0	0.0
TOTAL	0.0	0.0	1858.1	2014.3	1759.7	3689.3	669.1	492.7	155.9	0.0	0.0	0.0	0.0

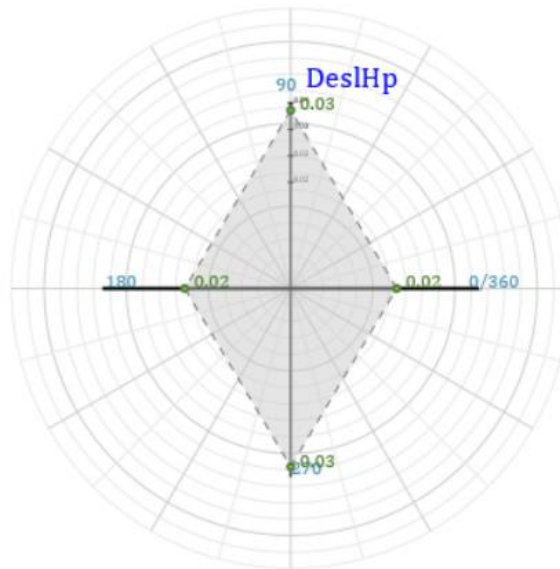
(fonte relatório resumo estrutural TQS)

Figura 29: Deslocamentos laterais para a alternativa 6

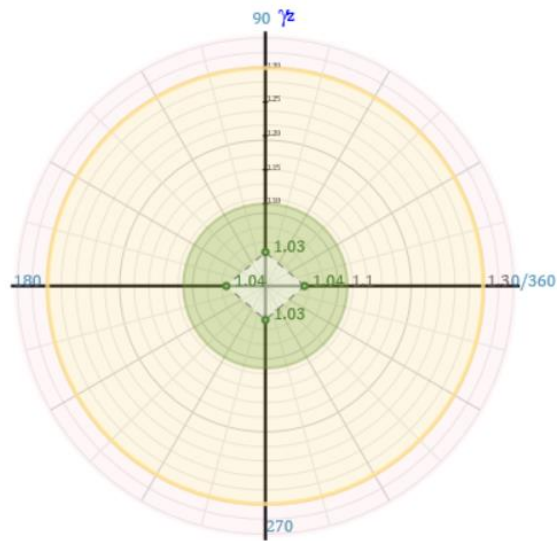


(fonte relatório resumo estrutural TQS)

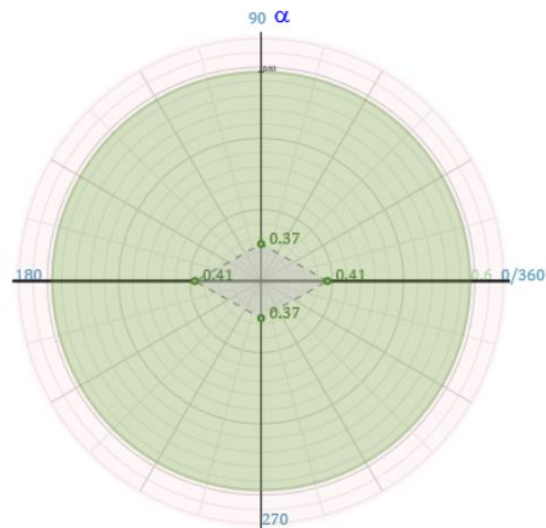
Figura 30: Deslocamentos entre pisos para a alternativa 6



(fonte relatório resumo estrutural TQS)

Figura 31: Gráfico de γ_z para a alternativa 6

(fonte relatório resumo estrutural TQS)

Figura 32: Gráfico de α para a alternativa 6

(fonte relatório resumo estrutural TQS)

Por fim, como dito para as outras alternativas, os resultados serão melhor discutidos no capítulo 6 deste relatório. Vale ressaltar que ao final deste trabalho encontram-se quatro apêndices nos quais estão alguns exemplos de detalhamentos do TQS. Estes apêndices são apenas ilustrativos de como resultam as plantas sem edição, pois como o objetivo deste trabalho não é a realização

de um projeto executivo, esta edição fina não foi realizada. Também se observa nas imagens dos apêndices que o dimensionamento realizado pelo TQS não resulta em nada absurdo, houve o cuidado em se observar em cada planta durante o processo as armaduras utilizadas pelo programa.

5. ESTIMATIVA DE CUSTOS

Para uma melhor comparação entre as alternativas, além dos quantitativos, serão utilizadas uma estimativa de custos embasadas na tabela de Composições de Custos do SINAPI de setembro de 2019. No Quadro abaixo são apresentadas as composições utilizadas para os quantitativos das alternativas. Vale salientar que como não houveram mudanças nas seções e conseqüentemente no volume de concreto das vigas e pilares, os mesmos foram suprimidos da estimativa de custos. Além disto, cabe ressaltar que cada composição apresentada abaixo incorpora tanto o custo com material quanto o custo com mão de obra.

Quadro 29: Preços unitários para cada composição

ALVENARIA DE VEDAÇÃO DE BLOCOS CERÂMICOS FURADOS NA VERTICAL DE 14X19X39CM (ESPESSURA 14CM) DE PAREDES COM ÁREA LÍQUIDA MAIOR OU IGUAL A 6M ² COM VÃOS E ARGAMASSA DE ASSENTAMENTO COM PREPARO EM BETONEIRA.	m ²	R\$ 54,82
ALVENARIA DE VEDAÇÃO DE BLOCOS CERÂMICOS FURADOS NA VERTICAL DE 19X19X39CM (ESPESSURA 19CM) DE PAREDES COM ÁREA LÍQUIDA MAIOR OU IGUAL A 6M ² COM VÃOS E ARGAMASSA DE ASSENTAMENTO COM PREPARO EM BETONEIRA.	m ²	R\$ 64,70
FABRICAÇÃO DE FÔRMA PARA LAJES, EM CHAPA DE MADEIRA COMPENSADA RESINADA, E = 17 MM.	m ²	R\$ 29,87
ARMAÇÃO DE LAJE DE UMA ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO EM UM EDIFÍCIO DE MÚLTIPLOS PAVIMENTOS UTILIZANDO AÇO CA-60 DE 5,0 MM	kg	R\$ 8,60
ARMAÇÃO DE LAJE DE UMA ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO EM UM EDIFÍCIO DE MÚLTIPLOS PAVIMENTOS UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 6,3 MM	kg	R\$ 7,63
ARMAÇÃO DE LAJE DE UMA ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO EM UM EDIFÍCIO DE MÚLTIPLOS PAVIMENTOS UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 8,0 MM	kg	R\$ 7,62
ARMAÇÃO DE LAJE DE UMA ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO EM UM EDIFÍCIO DE MÚLTIPLOS PAVIMENTOS UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 10,0 MM	kg	R\$ 6,25
ARMAÇÃO DE LAJE DE UMA ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO EM UM EDIFÍCIO DE MÚLTIPLOS PAVIMENTOS UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 12,5 MM	kg	R\$ 5,66
ARMAÇÃO DE LAJE DE UMA ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO EM UM EDIFÍCIO DE MÚLTIPLOS PAVIMENTOS UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 16,0 MM	kg	R\$ 5,38
ARMAÇÃO DE LAJE DE UMA ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO EM UM EDIFÍCIO DE MÚLTIPLOS PAVIMENTOS UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 20,0 MM	kg	R\$ 5,01
CONCRETAGEM DE LAJES EM EDIFICAÇÕES MULTIFAMILIARES FEITAS COM SISTEMA DE FÔRMAS MANUSEÁVEIS, COM CONCRETO USINADO BOMBEÁVEL - LANÇAMENTO, ADENSAMENTO E ACABAMENTO.	m ³	R\$408,36
CONTRAPISO EM ARGAMASSA TRAÇO 1:4 (CIMENTO E AREIA), PREPARO MECÂNICO COM BETONEIRA 400 L, APLICADO EM ÁREAS SECAS SOBRE LAJE, ADERIDO, ESPESSURA 4CM.	m ²	R\$ 39,53

continua

continuação

MONTAGEM E DESMONTAGEM DE FÔRMA DE LAJE NERVURADA COM CUBETA E ASSOALHO COM ÁREA MÉDIA MENOR OU IGUAL A 20 M ² .	m ²	R\$ 42,32
ESCORAMENTO FORMAS ATE H = 3,30M, COM MADEIRA DE 3A QUALIDADE, NAO APARELHADA, APROVEITAMENTO TABUAS 3X E PRUMOS 4X.	m ³	R\$ 9,34
PAREDE COM PLACAS DE GESSO ACARTONADO (DRYWALL), PARA USO INTERNO, COM DUAS FACES SIMPLES E ESTRUTURA METÁLICA COM GUIAS SIMPLES, COM VÃOS	m ²	R\$103,26
FORRO EM PLACAS DE GESSO, PARA AMBIENTES RESIDENCIAIS.	m ²	R\$ 42,81
CONTRAPISO EM ARGAMASSA TRAÇO 1:4 (CIMENTO E AREIA), PREPARO MECÂNICO COM BETONEIRA 400 L, APLICADO EM ÁREAS SECAS SOBRE LAJE, ADERIDO, ESPESSURA 1CM.	m ²	R\$ 13,80
REBOCO (ARGAMASSA DE CAL, CIMENTO E AREIA) ESPESSURA 1CM	m ²	R\$ 27,19
SISTEMA DE ESCORAMENTO METÁLICO ESPECÍFICO PARA LAJE NERVURADA	m ²	R\$ 14,02
LOCAÇÃO CUBETAS ATEX 600/150	dia	R\$415,86

(fonte própria do autor)

Já no Quadro abaixo, são apresentados os preços unitários por kg de aço para cada uma das bitolas utilizadas neste trabalho. Estes valores foram calculados a partir dos preços retirados do site da ArcelorMittal para barras de 12 metros de comprimento.

Quadro 30: Cálculo do preço unitário por kg de aço por bitola

BITOLA (mm)	PREÇO UNITÁRIO (BARRA)	ÁREA (m ²)	VOLUME (m ³)	MASSA (kg)	PREÇO UNITÁRIO (/kg)
5	R\$ 9,79	1,96E-05	0,00024	1,9	R\$ 5,29
6,3	R\$ 14,89	3,12E-05	0,00037	2,9	R\$ 5,06
8	R\$ 23,99	5,03E-05	0,00060	4,7	R\$ 5,06
10	R\$ 35,69	7,85E-05	0,00094	7,4	R\$ 4,82
12,5	R\$ 53,09	1,23E-04	0,00147	11,6	R\$ 4,59
16	R\$ 86,99	2,01E-04	0,00241	19,0	R\$ 4,59
20	R\$ 135,99	3,14E-04	0,00377	29,6	R\$ 4,59

(fonte própria do autor)

A partir dos Quadros 29 e 30 e dos quantitativos retirados do TQS, foi possível criar os Quadros apresentados a seguir, com os custos totais para cada uma das alternativas deste trabalho.

Quadro 31: Custos totais para a alternativa 1

ALTERNATIVA 1 - LAJE MACIÇA, CONTRAPISO E PAREDE ALVENARIA					
ITEM	UNIDADE	PREÇO UN.	QUANTITATIVO TOTAL	ACUMULADO AÇO	PREÇO TOTAL
PAREDE INTERNA	m ²	R\$ 54,82	732,4	-	R\$ 40.150,17
PAREDE EXTERNA	m ²	R\$ 64,70	744,92	-	R\$ 48.196,32
FÔRMAS	m ²	R\$ 29,87	1028	-	R\$ 30.706,36
ARMADURA 5mm	kg	R\$ 13,89	1854,7	R\$ 25.754,86	R\$163.978,61
ARMADURA 6,3mm	kg	R\$ 12,69	6629,8	R\$ 84.160,71	
ARMADURA 8mm	kg	R\$ 12,68	366,9	R\$ 4.652,32	
ARMADURA 10mm	kg	R\$ 11,07	3258,5	R\$ 36.064,57	
ARMADURA 12,5mm	kg	R\$ 10,25	522,9	R\$ 5.357,99	
ARMADURA 16mm	kg	R\$ 9,97	513,1	R\$ 5.114,11	
ARMADURA 20mm	kg	R\$ 9,60	299,4	R\$ 2.874,05	
CONCRETAGEM	m ³	R\$ 408,36	102,8	-	
ESCORAMENTO	m ²	R\$ 9,34	780	-	R\$ 7.285,20
CONTRAPISO	m ²	R\$ 39,53	780	-	R\$ 30.833,40
REBOCO	m ²	R\$ 27,19	780	-	R\$ 21.208,20
					R\$384.337,67

(fonte própria do autor)

Quadro 32: Custo total para a alternativa 2

ALTERNATIVA 2 - LAJE MACIÇA, CONTRAPISO E PAREDE GESSO					
ITEM	UNIDADE	PREÇO UN.	QUANTITATIVO TOTAL	ACUMULADO AÇO	PREÇO TOTAL
PAREDE INTERNA GESSO	m ²	R\$ 103,26	732,4	-	R\$ 75.627,62
PAREDE EXTERNA	m ²	R\$ 64,70	744,92	-	R\$ 48.196,32
FÔRMAS	m ²	R\$ 29,87	1028	-	R\$ 30.706,36
ARMADURA 5mm	kg	R\$ 13,89	1867,3	R\$ 25.929,82	R\$157.779,11
ARMADURA 6,3mm	kg	R\$ 12,69	6357,8	R\$ 80.707,86	
ARMADURA 8mm	kg	R\$ 12,68	292,7	R\$ 3.711,46	
ARMADURA 10mm	kg	R\$ 11,07	3257,2	R\$ 36.050,19	
ARMADURA 12,5mm	kg	R\$ 10,25	503,8	R\$ 5.162,28	
ARMADURA 16mm	kg	R\$ 9,97	475,1	R\$ 4.735,36	
ARMADURA 20mm	kg	R\$ 9,60	154,4	R\$ 1.482,14	
CONCRETAGEM	m ³	R\$ 408,36	102,8	-	
ESCORAMENTO	m ²	R\$ 9,34	780	-	R\$ 7.285,20
CONTRAPISO	m ²	R\$ 39,53	780	-	R\$ 30.833,40
REBOCO	m ²	R\$ 27,19	780	-	R\$ 21.208,20
					R\$413.615,62

(fonte própria do autor)

Quadro 33: Custo total para a alternativa 3

ALTERNATIVA 3 - LAJE MACIÇA, SEM CONTRAPISO E PAREDE GESSO					
ITEM	UNIDADE	PREÇO UN.	QUANTITATIVO TOTAL	ACUMULADO AÇO	PREÇO TOTAL
PAREDE INTERNA GESSO	m ²	R\$ 103,26	732,4	-	R\$ 75.627,62
PAREDE EXTERNA	m ²	R\$ 64,70	744,92	-	R\$ 48.196,32
FÔRMAS	m ²	R\$ 29,87	1028	-	R\$ 30.706,36
ARMADURA 5mm	kg	R\$ 13,89	1863,8	R\$ 25.881,22	R\$ 157.251,32
ARMADURA 6,3mm	kg	R\$ 12,69	6324	R\$ 80.278,79	
ARMADURA 8mm	kg	R\$ 12,68	259,9	R\$ 3.295,55	
ARMADURA 10mm	kg	R\$ 11,07	3283,3	R\$ 36.339,06	
ARMADURA 12,5mm	kg	R\$ 10,25	363,4	R\$ 3.723,65	
ARMADURA 16mm	kg	R\$ 9,97	623,4	R\$ 6.213,47	
ARMADURA 20mm	kg	R\$ 9,60	158,3	R\$ 1.519,58	
CONCRETAGEM	m ³	R\$ 408,36	102,8	-	
ESCORAMENTO	m ²	R\$ 9,34	780	-	R\$ 7.285,20
CONTRAPISO	m ²	R\$ 13,80	780	-	R\$ 10.764,00
REBOCO	m ²	R\$ 27,19	780	-	R\$ 21.208,20
					R\$393.018,44

(fonte própria do autor)

Quadro 34: Custo total para a alternativa 4

ALTERNATIVA 4 - LAJE NERVURADA, CONTRAPISO E PAREDE ALVENARIA					
ITEM	UNIDADE	PREÇO UN.	QUANTITATIVO TOTAL	ACUMULADO AÇO	PREÇO TOTAL
PAREDE INTERNA	m ²	R\$ 54,82	732,4	-	R\$ 40.150,17
PAREDE EXTERNA	m ²	R\$ 64,70	744,92	-	R\$ 48.196,32
FÔRMAS	dia	R\$ 415,86	40	-	R\$ 16.634,40
ARMADURA 5mm	kg	R\$ 13,89	1854	R\$ 25.745,14	R\$ 129.978,81
ARMADURA 6,3mm	kg	R\$ 12,69	2151	R\$ 27.305,45	
ARMADURA 8mm	kg	R\$ 12,68	1667,6	R\$ 21.145,29	
ARMADURA 10mm	kg	R\$ 11,07	3674,3	R\$ 40.666,58	
ARMADURA 12,5mm	kg	R\$ 10,25	858	R\$ 8.791,66	
ARMADURA 16mm	kg	R\$ 9,97	492,5	R\$ 4.908,78	
ARMADURA 20mm	kg	R\$ 9,60	147,5	R\$ 1.415,91	
CONCRETAGEM	m ³	R\$ 408,36	114	-	
ESCORAMENTO	m ²	R\$ 14,02	780	-	R\$ 10.935,60
CONTRAPISO	m ²	R\$ 39,53	780	-	R\$ 30.833,40
FORRO GESSO	m ²	R\$ 42,81	780	-	R\$ 33.391,80
					R\$356.673,54

(fonte própria do autor)

Quadro 35: Custo total para a alternativa 5

ALTERNATIVA 5 - LAJE NERVURADA, CONTRAPISO E PAREDE GESSO					
ITEM	UNIDADE	PREÇO UN.	QUANTITATIVO TOTAL	ACUMULADO AÇO	PREÇO TOTAL
PAREDE INTERNA GESSO	m ²	R\$ 103,26	732,4	-	R\$ 75.627,62
PAREDE EXTERNA	m ²	R\$ 64,70	744,92	-	R\$ 48.196,32
FÔRMAS	dia	R\$ 415,86	40	-	R\$ 16.634,40
ARMADURA 5mm	kg	R\$ 13,89	1835,4	R\$ 25.486,85	R\$ 127.609,57
ARMADURA 6,3mm	kg	R\$ 12,69	1962,8	R\$ 24.916,38	
ARMADURA 8mm	kg	R\$ 12,68	1760,2	R\$ 22.319,46	
ARMADURA 10mm	kg	R\$ 11,07	3588,6	R\$ 39.718,07	
ARMADURA 12,5mm	kg	R\$ 10,25	762,5	R\$ 7.813,10	
ARMADURA 16mm	kg	R\$ 9,97	738	R\$ 7.355,70	
ARMADURA 20mm	kg	R\$ 9,60	0	R\$ -	
CONCRETAGEM	m ³	R\$ 408,36	114	-	
ESCORAMENTO	m ²	R\$ 14,02	780	-	R\$ 10.935,60
CONTRAPISO	m ²	R\$ 39,53	780	-	R\$ 30.833,40
FORRO GESSO	m ²	R\$ 42,81	780	-	R\$ 33.391,80
					R\$389.781,75

(fonte própria do autor)

Quadro 36: Custo total para a alternativa 6

ALTERNATIVA 6 - LAJE NERVURADA, SEM CONTRAPISO E PAREDE GESSO					
ITEM	UNIDADE	PREÇO UN.	QUANTITATIVO TOTAL	ACUMULADO AÇO	PREÇO TOTAL
PAREDE INTERNA GESSO	m ²	R\$ 103,26	732,4	-	R\$ 75.627,62
PAREDE EXTERNA	m ²	R\$ 64,70	744,92	-	R\$ 48.196,32
FÔRMAS	dia	R\$ 415,86	40	-	R\$ 16.634,40
ARMADURA 5mm	kg	R\$ 13,89	1858,1	R\$ 25.802,07	R\$ 127.781,31
ARMADURA 6,3mm	kg	R\$ 12,69	2014,3	R\$ 25.570,14	
ARMADURA 8mm	kg	R\$ 12,68	1759,7	R\$ 22.313,12	
ARMADURA 10mm	kg	R\$ 11,07	3689,3	R\$ 40.832,60	
ARMADURA 12,5mm	kg	R\$ 10,25	669,1	R\$ 6.856,06	
ARMADURA 16mm	kg	R\$ 9,97	492,7	R\$ 4.910,78	
ARMADURA 20mm	kg	R\$ 9,60	155,9	R\$ 1.496,54	
CONCRETAGEM	m ³	R\$ 408,36	114	-	
ESCORAMENTO	m ²	R\$ 14,02	780	-	R\$ 10.935,60
CONTRAPISO	m ²	R\$ 13,80	780	-	R\$ 10.764,00
FORRO GESSO	m ²	R\$ 42,81	780	-	R\$ 33.391,80
					R\$369.884,10

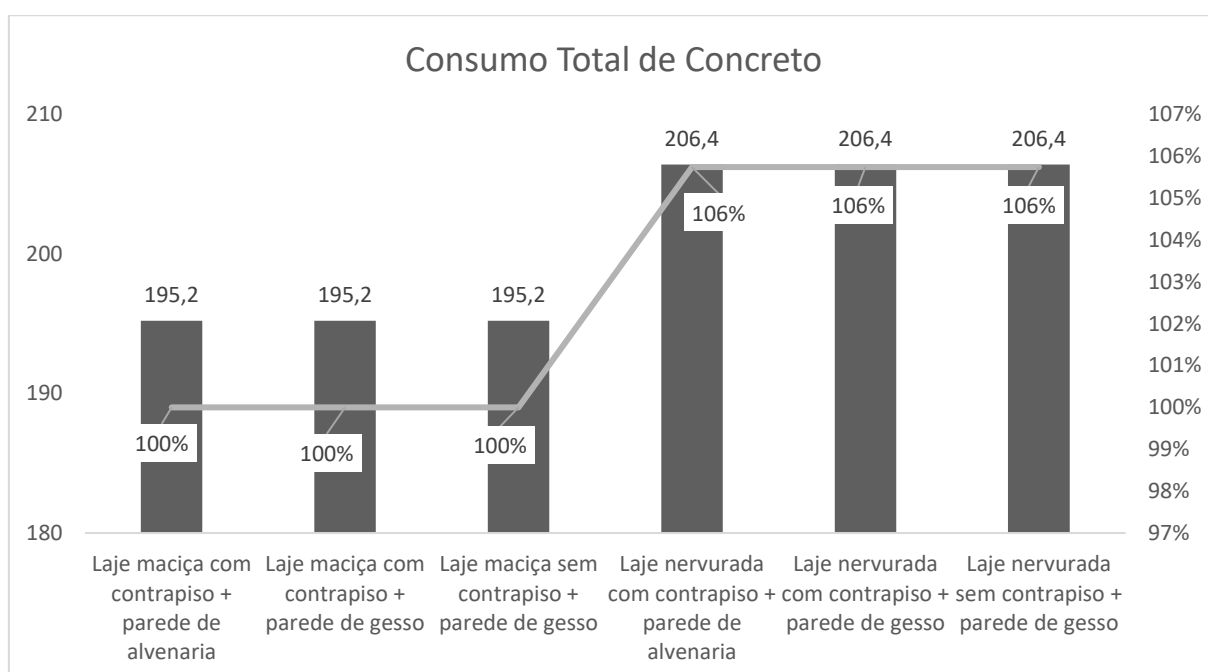
(fonte própria do autor)

Estes resultados dos Quadros acima serão comparados entre si no capítulo 6 a seguir.

6. RESULTADOS E ANÁLISE

Após o dimensionamento da estrutura de todas as alternativas descritas no capítulo 4 e a obtenção dos quantitativos e custos associados, foi feita uma análise comparativa entre os resultados obtidos, discutindo os pontos positivos e negativos das alternativas propostas. Para isto, utilizam-se os gráficos abaixo para ilustrar melhor as diferenças entre cada uma das alternativas.

Figura 33: Gráfico comparativo consumo total de concreto



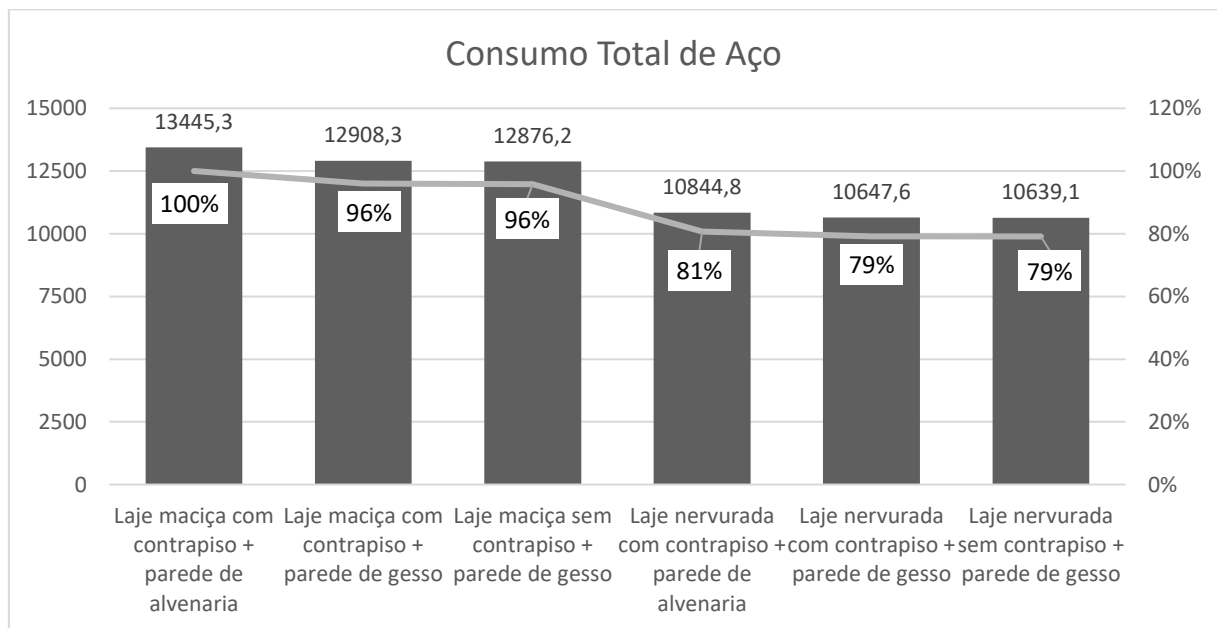
(fonte própria do autor)

Percebe-se na figura acima que se mantiveram os valores de consumo de concreto para as alternativas com lajes maciças e com lajes nervuradas, devido à decisão de manter as dimensões das seções transversais dos diversos componentes da estrutura inalterados em relação a alternativa 1. Portanto, a alteração de 195,2 m³ para 206,4 m³ se deve apenas à mudança entre os sistemas construtivos de lajes maciças e lajes nervuradas e seus respectivos pesos próprios, não importando assim as cargas permanentes de paredes e contrapiso aplicadas em cada um deles. No gráfico acima também se apresenta uma linha representativa do percentual de volume de concreto, considerando a alternativa 1 como 100%. Percebe-se o aumento de 6% no volume

de concreto na mudança para laje nervurada.

Outro parâmetro de comparação utilizado é o de consumo total de aço para cada uma das alternativas analisadas. Na figura abaixo há um gráfico mostrando os valores de consumo de aço para cada uma das alternativas, bem como uma linha representativa do percentual de consumo, sendo que o valor da primeira alternativa, o maior valor, foi tido como 100% sendo os próximos valores medidos a partir deste. Assim, pode-se observar que tanto no caso das alternativas de laje maciça, quanto nas de lajes nervuradas, não existe diferença percentual significativa entre a alternativa de parede de gesso com e sem contrapiso. Desta forma, conclui-se que a retirada do contrapiso não causa diferença significativa no consumo de aço da estrutura, mantendo-se as outras cargas e seções. No entanto, quando se comparam as alternativas com laje maciça com as correspondentes com laje nervurada, percebe-se uma redução no consumo do aço entre 17% e 19%.

Figura 34: Gráfico comparativo do consumo total de aço



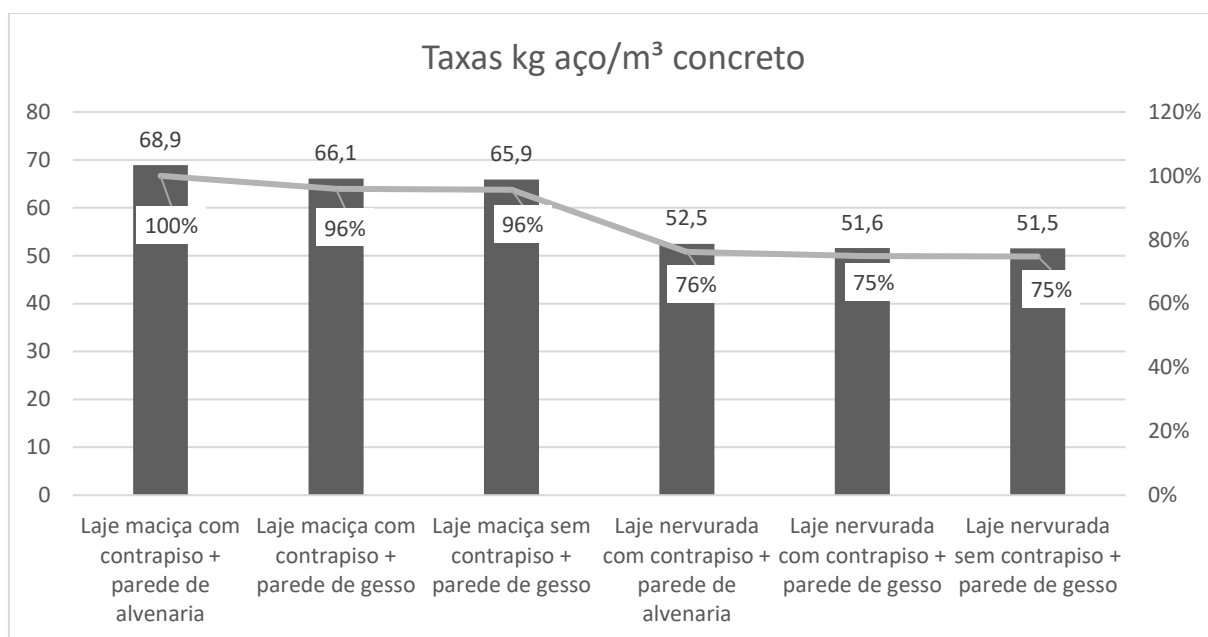
(fonte própria do autor)

Portanto, em termos apenas de quantitativos de aço, a diminuição da carga aplicada com a mudança da parede de alvenaria para a parede de gesso fez com que houvesse uma economia no consumo de aço, o que não aconteceu com a retirada do contrapiso. Também houve redução no consumo de aço na troca da laje maciça para a nervurada, devido ao fato da segunda

apresentar maior altura útil, necessitando assim de uma armadura mais leve.

Há ainda um outro parâmetro de comparação entre todas as alternativas, o qual compila os dois aspectos já citados: a taxa de kg de aço/m³ de concreto. Na figura abaixo, há um gráfico comparativo mostrando os valores das taxas de cada uma das alternativas, bem como seus valores percentuais com relação a primeira alternativa, laje maciça com contrapiso e parede de alvenaria, tomada como 100%.

Figura 35: Taxas de peso de aço por volume de concreto



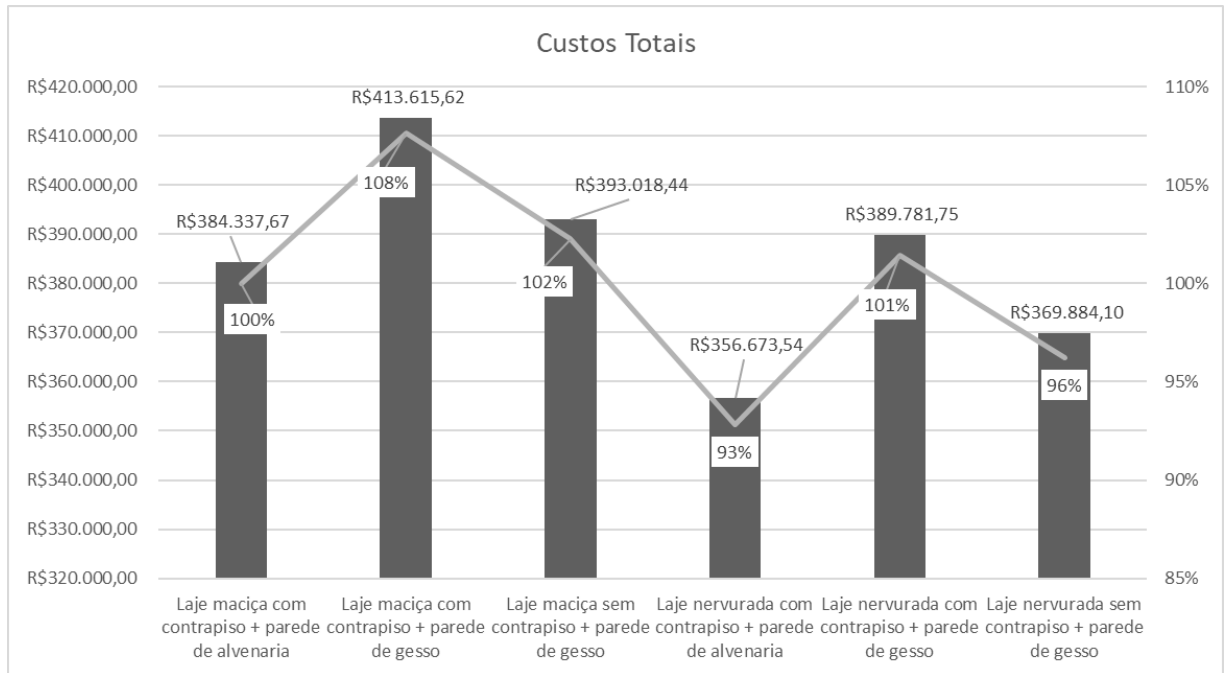
(fonte própria do autor)

Com isto, pode-se observar que a diferença entre as alternativas 1 e 4 aumenta de 19% para 24% ao se mudar a comparação de consumo de aço para taxas. Pode-se perceber também que a única diferença considerável entre as taxas percentuais acontece na passagem da laje maciça para a laje nervurada, quando comparamos alternativas com o mesmo tipo de laje, não há diferenças suficientes. Assim, pode-se concluir que a maior alteração decorre da mudança entre os tipos de lajes, onde a laje nervurada necessita de menos aço mesmo com a mesma carga aplicada. Porém, deve-se ter cuidado com este parâmetro de comparação, pois o mesmo pode ser mascarado com o aumento do volume de concreto decorrente do uso de laje nervurada, diminuindo a taxa.

No gráfico abaixo pode-se ver os custos totais de cada uma das alternativas, os quais estão discriminados no capítulo 5, bem como as diferenças percentuais entre cada uma das alternativas, considerando como 100% a primeira alternativa, laje maciça com contrapiso e parede de alvenaria. Pode-se perceber que a alternativa com maior custo é a segunda, laje maciça com contrapiso e parede de gesso, sendo esta 8% mais cara que a primeira; já a alternativa com o menor custo é a quarta, laje nervurada com contrapiso e parede de alvenaria. Também, ao se comparar a primeira com a quarta, pode-se ver que a mudança da laje maciça para a nervurada causou uma economia de 7%, devido a diminuição do consumo de aço e a diminuição do gasto com fôrmas, valendo mais a pena a princípio alugá-las do que fabricá-las na própria obra devido ao custo com material, mão de obra e baixa reutilização das mesmas.

Além disto, pode-se ver que não houve uma diminuição no consumo de aço ao se alterar a parede de alvenaria para parede de gesso suficientemente grande para compensar o aumento do custo entre estas duas técnicas de execução de divisórias, considerando que a primeira tem um custo por m² de R\$54,82 enquanto a segunda tem um custo por m² de R\$103,26. Já com relação a retirada do contrapiso, em termos de estrutura não há ganho suficiente em consumo de aço devido a diminuição da carga permanente, por isto a diminuição do custo entre as alternativas se dá somente devido ao custo do contrapiso propriamente dito, sem nenhum ganho adicional, sendo importante considerar que a execução da laje zero exige um maior controle de qualidade do que da laje convencional.

Figura 36: Custos totais para as alternativas



(fonte própria do autor)

A partir da análise das 6 alternativas propostas, percebeu-se que a opção com laje nervurada, contrapiso e parede de alvenaria é a de menor custo, porém viu-se que a partir desta poderia surgir uma alternativa com menor custo ainda: laje nervurada sem contrapiso e com parede de alvenaria. Esta, não estava prevista no escopo do trabalho a princípio, porém mostrou-se ser uma opção interessante para enriquecer o conteúdo. Assim, modelou-se a sétima alternativa citada anteriormente, esta seguindo os mesmos princípios apresentados para as outras 6, apresentando desta forma os resultados a seguir.

Quadro 37: Consumo de concreto e fôrmas para a alternativa 7

Consumo de concreto e fôrmas

Pavimento	Concreto (m³)					Fôrmas (m²)				
	Pilares	Vigas	Lajes	Fundações	Outros	Pilares	Vigas	Lajes	Fundações	Outros
Cobertura	5.8	8.6	24.4	0.0	0.0	79.0	80.9	4.7	0.0	0.0
Tipo	23.1	55.0	89.6	0.0	0.0	316.2	542.9	12.7	0.0	0.0
Fundacao	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Sapatas/Blocos	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
TOTAL	28.9	63.6	114.0	0.0	0.0	395.2	623.8	17.4	0.0	0.0

(fonte própria do autor)

Quadro 38: Custo total para a alternativa 7

ALTERNATIVA 7 - LAJE NERVURADA, SEM CONTRAPISO E PAREDE ALVENARIA					
ITEM	UNIDADE	PREÇO UN.	QUANTITATIVO TOTAL	ACUMULADO AÇO	PREÇO TOTAL
PAREDE INTERNA	m ²	R\$ 54,82	732,4	-	R\$ 40.150,17
PAREDE EXTERNA	m ²	R\$ 64,70	744,92	-	R\$ 48.196,32
FÔRMAS	dia	R\$ 415,86	40	-	R\$ 16.634,40
ARMADURA 5mm	kg	R\$ 13,89	1857,7	R\$ 25.796,52	R\$ 129.125,52
ARMADURA 6,3mm	kg	R\$ 12,69	2109,6	R\$ 26.779,91	
ARMADURA 8mm	kg	R\$ 12,68	1708	R\$ 21.657,56	
ARMADURA 10mm	kg	R\$ 11,07	3642,1	R\$ 40.310,20	
ARMADURA 12,5mm	kg	R\$ 10,25	655,6	R\$ 6.717,73	
ARMADURA 16mm	kg	R\$ 9,97	646,9	R\$ 6.447,70	
ARMADURA 20mm	kg	R\$ 9,60	147,5	R\$ 1.415,91	
CONCRETAGEM	m ³	R\$ 408,36	114	-	
ESCORAMENTO	m ²	R\$ 14,02	780	-	R\$ 10.935,60
CONTRAPISO	m ²	R\$ 13,80	780	-	R\$ 10.764,00
FORRO GESSO	m ²	R\$ 42,81	780	-	R\$ 33.391,80
					R\$335.750,85

(fonte própria do autor)

Assim, como já havia sido concluído com as alternativas 3 e 6, a retirada do contrapiso ocasiona uma economia apenas com o contrapiso em si, sem vantagens na estrutura devido a diminuição da carga permanente, como redução de peso de aço. Apesar disto, conclui-se que dentre as combinações possíveis, esta seria a mais econômica, resultando em um custo de R\$335.750,85.

Por fim, há a possibilidade de se fazer uma investigação de cenário futuro com um possível aumento do custo do aço de 10% e 20%, visando perceber a relação destes aumentos com os demais custos. Assim, nos Quadros abaixo podemos perceber que o aumento de 10% no custo do aço causou um aumento real no custo total das alternativas de apenas 3% ou 4%, calculado a partir da divisão do valor futuro pelo valor original de custo, já o aumento de 20% no custo do aço reflete em um aumento de 7% a 9% no custo total original. Assim, pode-se concluir que um aumento no custo do aço em cada alternativa é refletido para o total em apenas 50%, demonstrando assim a não linearidade da dependência entre estes dois valores. Estas relações podem ser vistas na figura abaixo também, a qual mostra graficamente os custos totais originais das alternativas, o com um aumento de 10% no aço e o com 20% de aumento no aço.

Quadro 39: Custo de aço para cada alternativa e projeções de aumento

NÚMERO	ALTERNATIVA	CUSTO AÇO	+10%	+20%
1	Laje maciça com contrapiso + parede de alvenaria	R\$163.978,61	R\$180.376,47	R\$196.774,33
2	Laje maciça com contrapiso + parede de gesso	R\$157.779,11	R\$173.557,02	R\$189.334,93
3	Laje maciça sem contrapiso + parede de gesso	R\$157.251,32	R\$172.976,45	R\$188.701,58
4	Laje nervurada com contrapiso + parede de alvenaria	R\$129.978,81	R\$142.976,69	R\$155.974,57
5	Laje nervurada com contrapiso + parede de gesso	R\$127.609,57	R\$140.370,53	R\$153.131,48
6	Laje nervurada sem contrapiso + parede de gesso	R\$127.781,31	R\$140.559,44	R\$153.337,57
7	Laje nervurada sem contrapiso + parede de alvenaria	R\$129.125,52	R\$142.038,07	R\$154.950,62

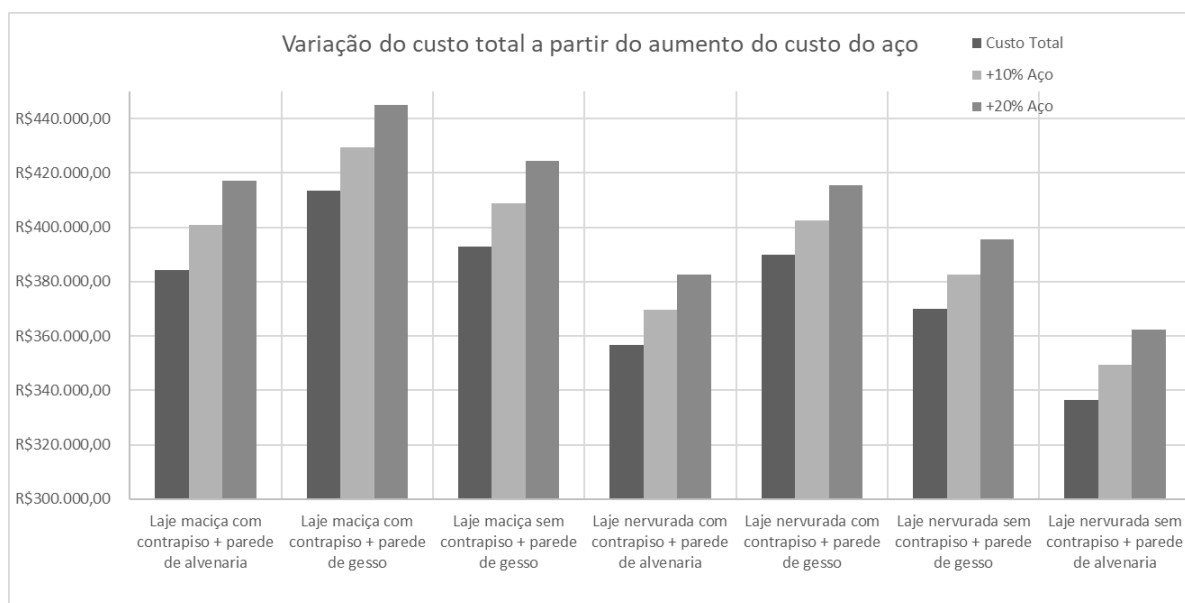
(fonte própria do autor)

Quadro 40: Custos totais para cada alternativa e projeções com aumento do custo do aço

NÚMERO	ALTERNATIVA	CUSTO TOTAL	+10% AÇO	AUMENTO REAL	+20% AÇO	AUMENTO REAL
1	Laje maciça com contrapiso + parede de alvenaria	R\$384.337,67	R\$400.735,53	104%	R\$417.133,39	109%
2	Laje maciça com contrapiso + parede de gesso	R\$413.615,62	R\$429.393,53	104%	R\$445.171,44	108%
3	Laje maciça sem contrapiso + parede de gesso	R\$393.018,44	R\$408.743,57	104%	R\$424.468,70	108%
4	Laje nervurada com contrapiso + parede de alvenaria	R\$356.673,54	R\$369.671,42	104%	R\$382.669,30	107%
5	Laje nervurada com contrapiso + parede de gesso	R\$389.781,75	R\$402.542,71	103%	R\$415.303,66	107%
6	Laje nervurada sem contrapiso + parede de gesso	R\$369.884,10	R\$382.662,23	103%	R\$395.440,36	107%
7	Laje nervurada sem contrapiso + parede de alvenaria	R\$336.604,14	R\$349.516,69	104%	R\$362.429,24	108%

(fonte própria do autor)

Figura 37: Variação do custo total a partir do aumento do custo do aço para cada alternativa



(fonte própria do autor)

Além disto, realizou-se uma análise comparativa considerando apenas os custos de materiais

Comparação entre diferentes alternativas visando a redução de carga e custos a serem explorados ao se criar um projeto estrutural: Estudo de Caso

para aço e concreto, desconsiderando assim o custo de mão de obra e o restante dos materiais envolvidos. Os resultados desta análise estão apresentados nos quadros abaixo.

Quadro 41: Custo aço e concreto para alternativa 1

ALTERNATIVA 1 - LAJE MACIÇA, CONTRAPISO E PAREDE ALVENARIA				
ITEM	UNIDADE	QUANT.	PREÇO UN.	PREÇO TOTAL
ARMADURA 5mm	kg	1854,7	R\$ 5,29	R\$ 9.811,36
ARMADURA 6,3mm	kg	6629,8	R\$ 5,06	R\$ 33.546,79
ARMADURA 8mm	kg	366,9	R\$ 5,06	R\$ 1.856,51
ARMADURA 10mm	kg	3258,5	R\$ 4,82	R\$ 15.705,97
ARMADURA 12,5mm	kg	522,9	R\$ 4,59	R\$ 2.400,11
ARMADURA 16mm	kg	513,1	R\$ 4,59	R\$ 2.355,13
ARMADURA 20mm	kg	299,4	R\$ 4,59	R\$ 1.374,25
CONCRETAGEM	m ³	102,8	R\$ 300,00	R\$ 30.840,00
				R\$97.890,12

(fonte própria do autor)

Quadro 42: Custo aço e concreto para alternativa 2

ALTERNATIVA 2 - LAJE MACIÇA, CONTRAPISO E PAREDE GESSO				
ITEM	UNIDADE	QUANT.	PREÇO UN.	PREÇO TOTAL
ARMADURA 5mm	kg	1867,3	R\$ 5,29	R\$ 9.878,02
ARMADURA 6,3mm	kg	6357,8	R\$ 5,06	R\$ 32.170,47
ARMADURA 8mm	kg	292,7	R\$ 5,06	R\$ 1.481,06
ARMADURA 10mm	kg	3257,2	R\$ 4,82	R\$ 15.699,70
ARMADURA 12,5mm	kg	503,8	R\$ 4,59	R\$ 2.312,44
ARMADURA 16mm	kg	475,1	R\$ 4,59	R\$ 2.180,71
ARMADURA 20mm	kg	154,4	R\$ 4,59	R\$ 708,70
CONCRETAGEM	m ³	102,8	R\$ 300,00	R\$ 30.840,00
				R\$95.271,10

(fonte própria do autor)

Quadro 43: Custo aço e concreto para alternativa 3

ALTERNATIVA 3 - LAJE MACIÇA, SEM CONTRAPISO E PAREDE GESSO				
ITEM	UNIDADE	QUANT.	PREÇO UN.	PREÇO TOTAL
ARMADURA 5mm	kg	1863,8	R\$ 5,29	R\$ 9.859,50
ARMADURA 6,3mm	kg	6324	R\$ 5,06	R\$ 31.999,44
ARMADURA 8mm	kg	259,9	R\$ 5,06	R\$ 1.315,09
ARMADURA 10mm	kg	3283,3	R\$ 4,82	R\$ 15.825,51
ARMADURA 12,5mm	kg	363,4	R\$ 4,59	R\$ 1.668,01
ARMADURA 16mm	kg	623,4	R\$ 4,59	R\$ 2.861,41
ARMADURA 20mm	kg	158,3	R\$ 4,59	R\$ 726,60
CONCRETAGEM	m ³	102,8	R\$ 300,00	R\$ 30.840,00
				R\$95.095,55

(fonte própria do autor)

Quadro 44: Custo aço e concreto para a alternativa 4

ALTERNATIVA 4 - LAJE NERVURADA, CONTRAPISO E PAREDE ALVENARIA				
ITEM	UNIDADE	QUANT.	PREÇO UN.	PREÇO TOTAL
ARMADURA 5mm	kg	1854	R\$ 5,29	R\$ 9.807,66
ARMADURA 6,3mm	kg	2151	R\$ 5,06	R\$ 10.884,06
ARMADURA 8mm	kg	1667,6	R\$ 5,06	R\$ 8.438,06
ARMADURA 10mm	kg	3674,3	R\$ 4,82	R\$ 17.710,13
ARMADURA 12,5mm	kg	858	R\$ 4,59	R\$ 3.938,22
ARMADURA 16mm	kg	492,5	R\$ 4,59	R\$ 2.260,58
ARMADURA 20mm	kg	147,5	R\$ 4,59	R\$ 677,03
CONCRETAGEM	m ³	114	R\$ 300,00	R\$ 34.200,00
				R\$87.915,72

(fonte própria do autor)

Quadro 45: Custo aço e concreto para a alternativa 5

ALTERNATIVA 5 - LAJE NERVURADA, CONTRAPISO E PAREDE GESSO				
ITEM	UNIDADE	QUANT.	PREÇO UN.	PREÇO TOTAL
ARMADURA 5mm	kg	1835,4	R\$ 5,29	R\$ 9.709,27
ARMADURA 6,3mm	kg	1962,8	R\$ 5,06	R\$ 9.931,77
ARMADURA 8mm	kg	1760,2	R\$ 5,06	R\$ 8.906,61
ARMADURA 10mm	kg	3588,6	R\$ 4,82	R\$ 17.297,05
ARMADURA 12,5mm	kg	762,5	R\$ 4,59	R\$ 3.499,88
ARMADURA 16mm	kg	738	R\$ 4,59	R\$ 3.387,42
ARMADURA 20mm	kg	0	R\$ 4,59	R\$ -
CONCRETAGEM	m ³	114	R\$ 300,00	R\$ 34.200,00
				R\$86.931,99

(fonte própria do autor)

Quadro 46: Custo aço e concreto para a alternativa 6

ALTERNATIVA 6 - LAJE NERVURADA, SEM CONTRAPISO E PAREDE GESSO				
ITEM	UNIDADE	QUANT.	PREÇO UN.	PREÇO TOTAL
ARMADURA 5mm	kg	1858,1	R\$ 5,29	R\$ 9.829,35
ARMADURA 6,3mm	kg	2014,3	R\$ 5,06	R\$ 10.192,36
ARMADURA 8mm	kg	1759,7	R\$ 5,06	R\$ 8.904,08
ARMADURA 10mm	kg	3689,3	R\$ 4,82	R\$ 17.782,43
ARMADURA 12,5mm	kg	669,1	R\$ 4,59	R\$ 3.071,17
ARMADURA 16mm	kg	492,7	R\$ 4,59	R\$ 2.261,49
ARMADURA 20mm	kg	155,9	R\$ 4,59	R\$ 715,58
CONCRETAGEM	m ³	114	R\$ 300,00	R\$ 34.200,00
				R\$86.956,46

(fonte própria do autor)

Quadro 47: Custo aço e concreto para a alternativa 7

ALTERNATIVA 7 - LAJE NERVURADA, SEM CONTRAPISO E PAREDE ALVENARIA				
ITEM	UNIDADE	QUANT.	PREÇO UN.	PREÇO TOTAL
ARMADURA 5mm	kg	1857,7	R\$ 5,29	R\$ 9.827,23
ARMADURA 6,3mm	kg	2109,6	R\$ 5,06	R\$ 10.674,58
ARMADURA 8mm	kg	1708	R\$ 5,06	R\$ 8.642,48
ARMADURA 10mm	kg	3642,1	R\$ 4,82	R\$ 17.554,92
ARMADURA 12,5mm	kg	655,6	R\$ 4,59	R\$ 3.009,20
ARMADURA 16mm	kg	646,9	R\$ 4,59	R\$ 2.969,27
ARMADURA 20mm	kg	147,5	R\$ 4,59	R\$ 677,03
CONCRETAGEM	m ³	114	R\$ 300,00	R\$ 34.200,00
				R\$87.554,71

(fonte própria do autor)

Assim, por esta análise chega-se à conclusão de que a alternativa com o menor custo seria a alternativa 5, laje nervurada com contrapiso e parede de gesso, porém sabe-se que esta resposta não está correta, pois segundo a análise feita ao longo deste trabalho viu-se que a alternativa com o menor custo é a alternativa 7, laje nervurada sem contrapiso e parede de alvenaria. Portanto, esta análise serve para observar que é importante verificar o conjunto todo da edificação, considerando que alguns aumentos de custos podem ser compensados por diminuição de outros.

7. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

As conclusões deste trabalho estão condicionadas pela tipologia da edificação utilizada e das opções de projeto empregadas, restringindo-se apenas a este estudo de caso específico, não sendo possível extrapolar para diferentes situações. Ao se compararem as alternativas propostas neste trabalho, conclui-se que a que possui o menor custo é a de laje nervurada sem contrapiso e parede de alvenaria, pois apesar do aumento no volume de concreto da laje maciça para esta, houve uma diminuição nos custos com o aço e o sistema de fôrmas.

Também se observa que a alternativa de laje maciça com contrapiso e parede de gesso possui o maior custo dentre as alternativas, isto ocorre devido ao custo das fôrmas ser maior quando comparado com o da laje nervurada e também devido ao fato de as paredes de gesso terem um custo maior do que as de alvenaria. Neste caso também foi possível constatar para esta edificação que a diminuição do consumo de aço e do custo associado ocasionado pela redução da carga permanente das paredes de alvenaria, não foi suficiente para compensar o aumento do custo de execução das mesmas.

Além disto, conclui-se para este estudo de caso que a redução de custo da retirada do contrapiso ocorreu apenas pela diferença de custo do próprio contrapiso, sem diferenças oriundas de modificações estruturais, como redução da quantidade de aço. Portanto, em termos de custos, para os casos deste trabalho, o ganho econômico deveria ser comparado com uma dificuldade maior de execução deste tipo de laje com relação à convencional. Agora com relação a parede de gesso, esta alternativa possui um custo maior por metro quadrado do que a parede de alvenaria convencional, porém para o planejamento da obra pode ser vantajoso este tipo de alternativa, pois a mesma é executada em momento posterior no cronograma financeiro, podendo trazer vantagens.

Como sugestões a trabalhos futuros, indica-se a modelagem de um edifício com mais pavimentos, proporcionando assim outros parâmetros de comparação entre as alternativas. Além desta, pode-se utilizar vãos diferentes entre pilares, proporcionando cenários mais vantajosos para a laje maciça e ainda mais vantajosos para as lajes nervuradas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLGAYER, M. O. **Laje zero em edificações de múltiplos pavimentos: comparação com o sistema construtivo tradicional**. 2010. 79 f. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

ARCELORMITTAL BRASIL. Belo Horizonte, [2019]. Disponível em: <<https://loja.arcelormittal.com.br/>>. Acesso em: 16 nov. 2019.

ASSOCIAÇÃO BARSILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: projeto de estruturas de concreto – procedimento. Rio de Janeiro, 2014.

_____. **NBR 6118**: projeto de estruturas de concreto – procedimento. Rio de Janeiro, 1980.

_____. **NBR 6123**: forças devidas ao vento em edificações. Rio de Janeiro, 1988.

_____. **NBR 6120**: cargas para o cálculo de estruturas de edificações. Rio de Janeiro, 1980.

_____. **NBR 15758-1**: sistemas construtivos em chapas de gesso para drywall – projeto e procedimentos executivos para montagem Parte 1: requisitos para sistemas usados como paredes. Rio de Janeiro, 2009.

ATEX BRASIL. Lagoa Santa, [2019]. Disponível em: <<https://www.atex.com.br/pt/>>. Acesso em: 06 nov. 2019.

CARVALHO, R. C.; PINHEIRO, L. M. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado**. 2. Ed. São Paulo: Pini, 2013. v. 2.

GRAFF, S. **Análise comparativa de sistemas estruturais compostos por vigas e lajes maciças ou nervuradas em edifícios**. 2015. 124 f. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.

SISTEMA NACIONAL DE PESQUISA DE CUSTOS E ÍNDICES DA CONSTRUÇÃO CIVIL – SINAPI. **Relatório analítico de custos de composições**. Ed. Set/2019 São Paulo, 2019

SISTEMA NACIONAL DE PESQUISA DE CUSTOS E ÍNDICES DA CONSTRUÇÃO CIVIL – SINAPI. **Catálogo de composições analíticas**. Ed. Set/2019 São Paulo, 2019

SOUZA, A. L. R.; MELHADO, S. B. **Projeto e execução de lajes racionalizadas de concreto armado**. São Paulo: O Nome da Rosa, 2002.

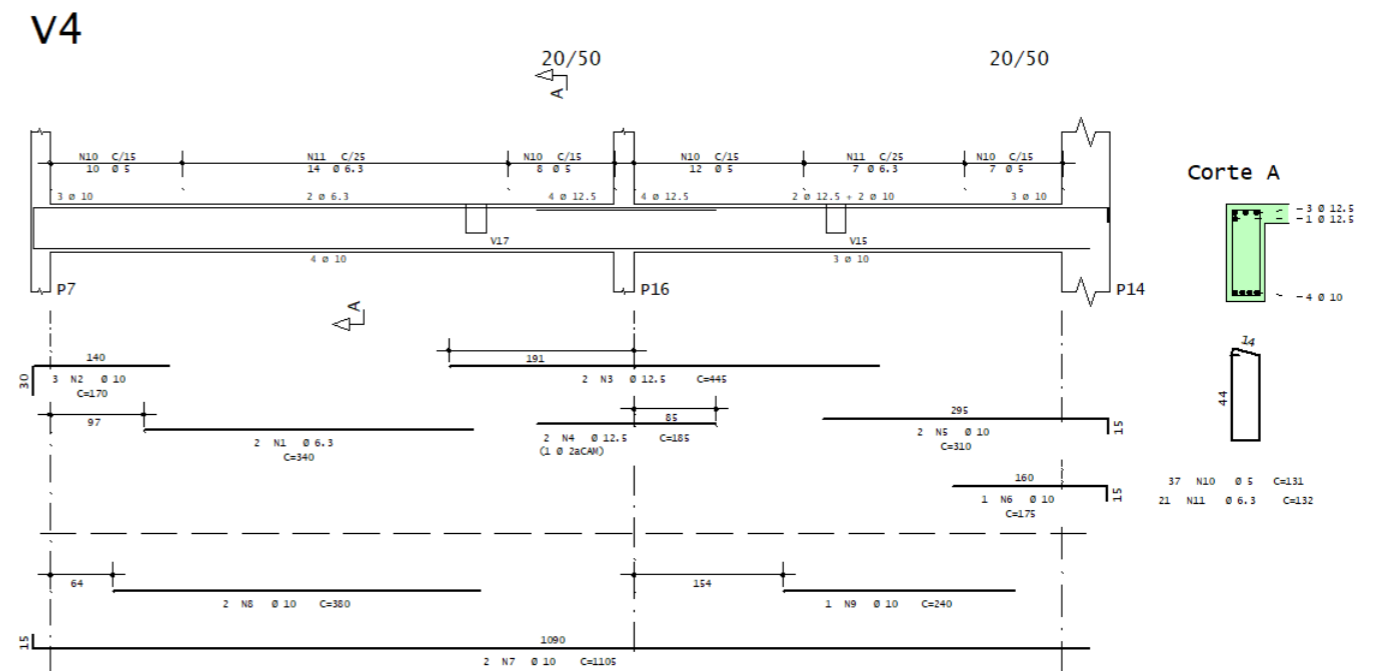
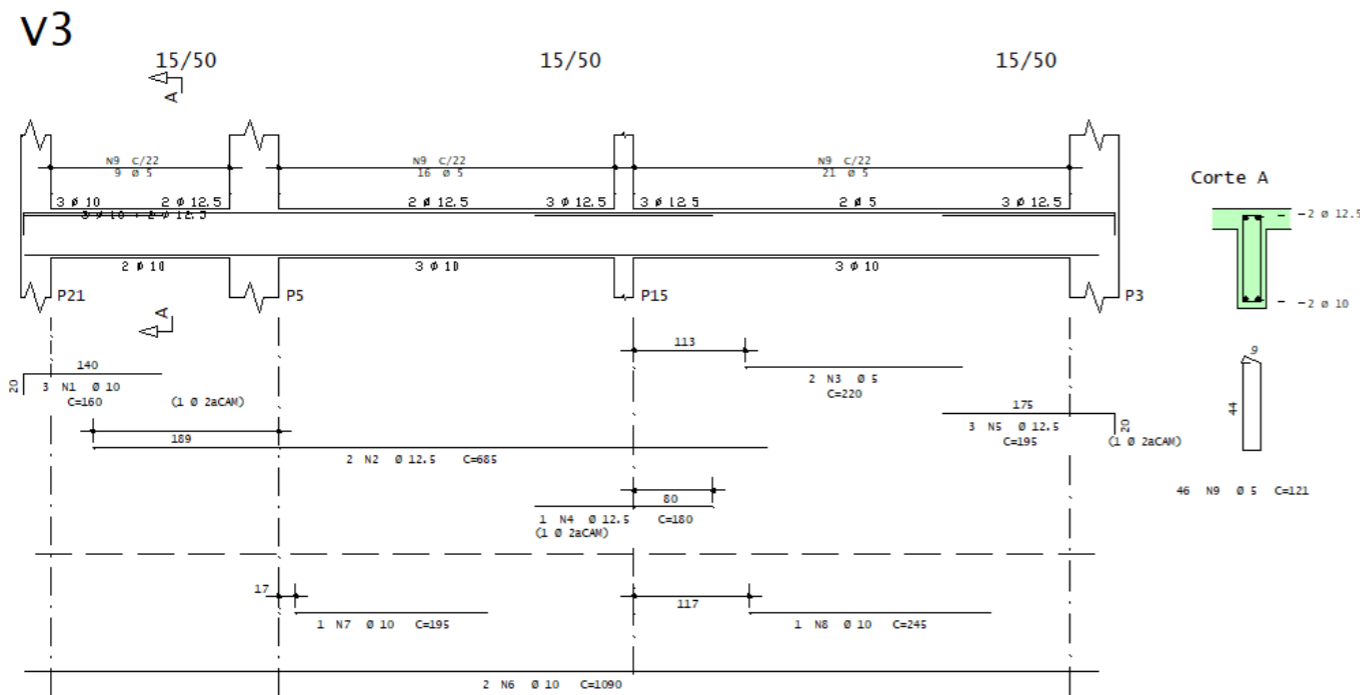
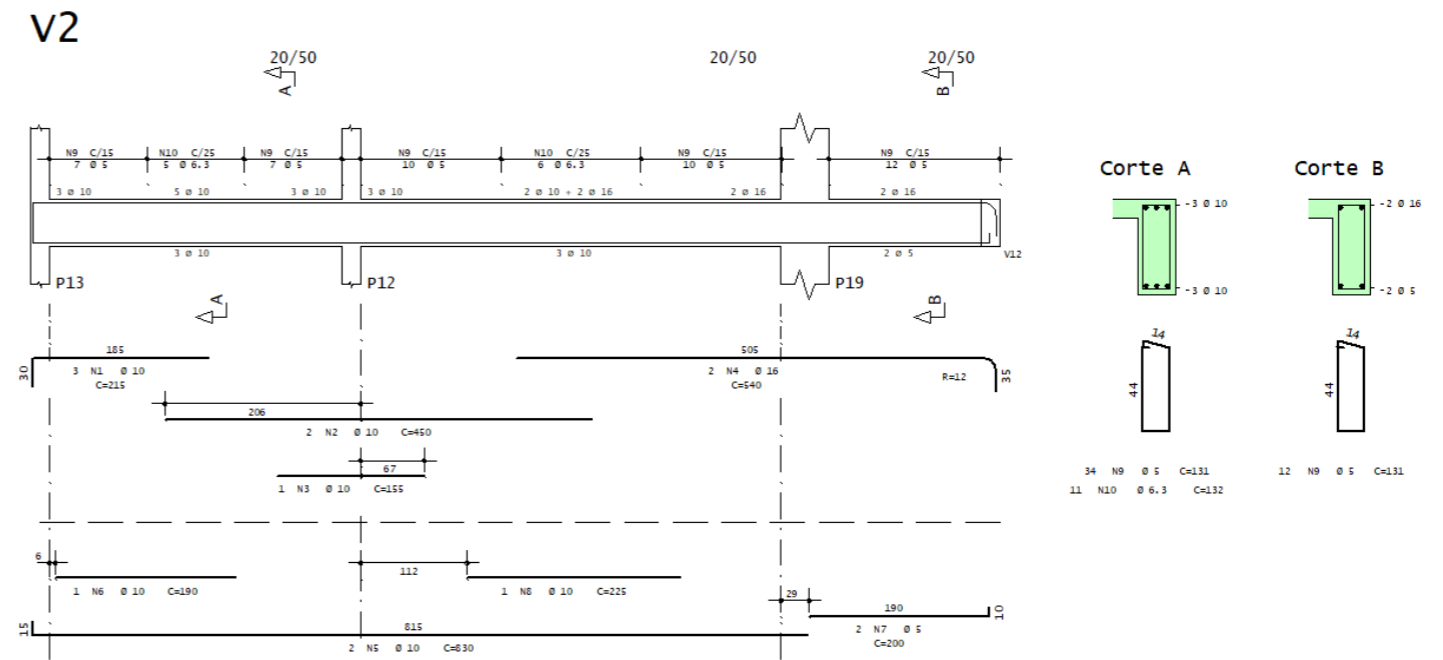
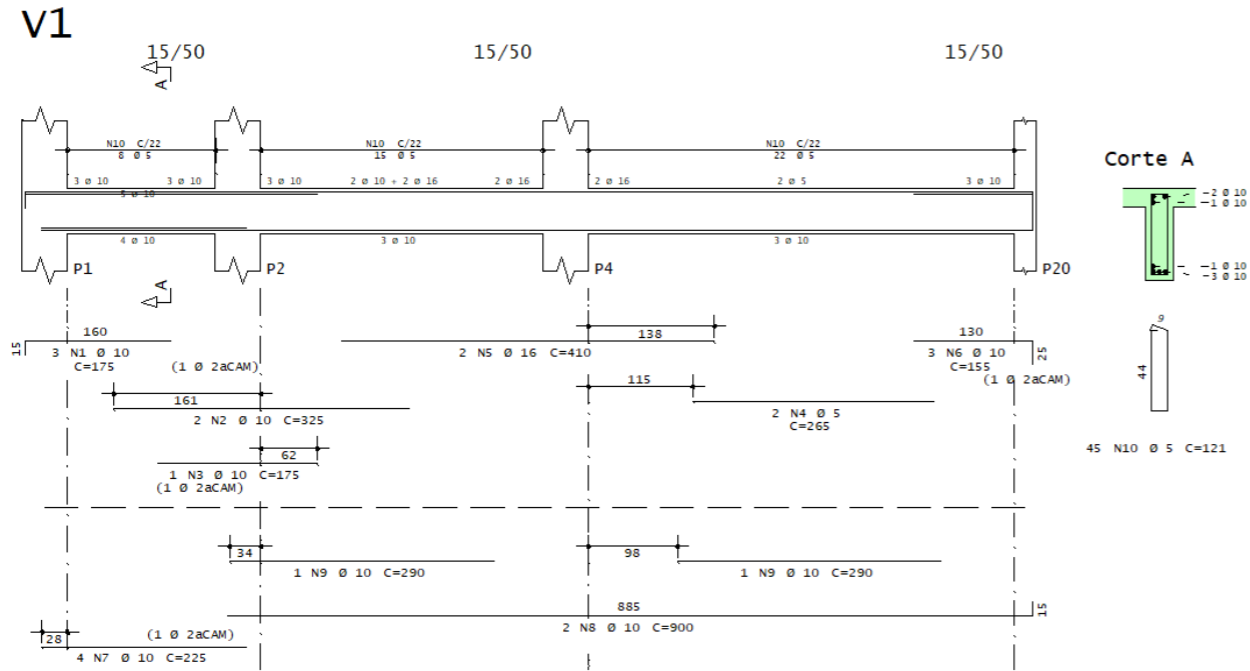
TQS INFORMÁTICA LTDA. São Paulo, [2019]. Disponível em: <<http://www.tqs.com.br/>>. Acesso em: 28 nov. 2019

TQS INFORMÁTICA LTDA. **Pacotes dos sistemas TQS**. São Paulo, [2019]. Disponível em: < http://www.tqs.com.br/arquivos/RESTRIC_V21_PacotesR10.htm>. Acesso em: 28 nov. 2019

.

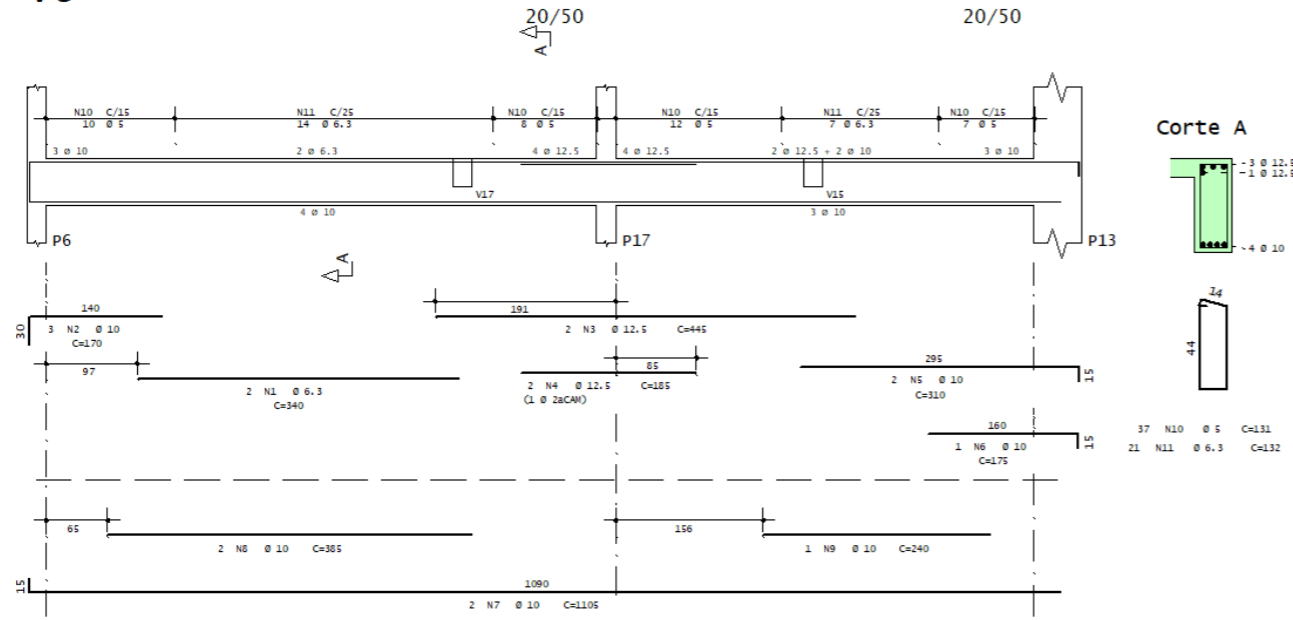
APÊNDICE A – Detalhamento de vigas

EXEMPLO DE DETALHAMENTO DE VIGAS DO PAVIMENTO TIPO DA ALTERNATIVA 1

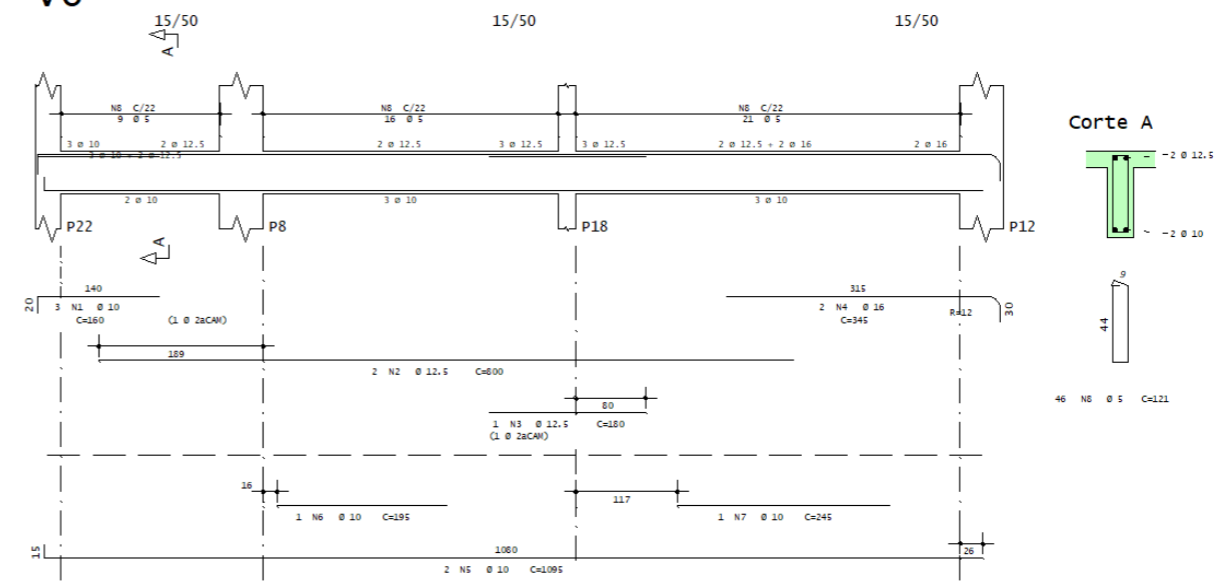


EXEMPLO DE DETALHAMENTO DE VIGAS DO PAVIMENTO TIPO DA ALTERNATIVA 1

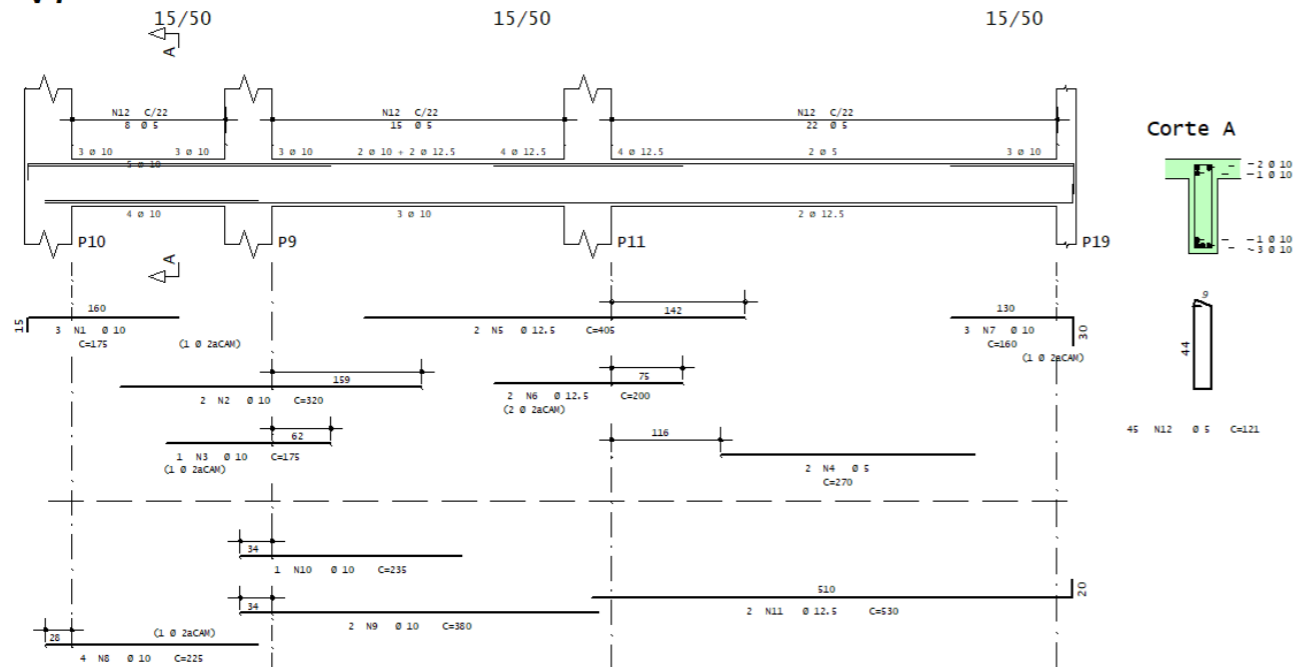
V5



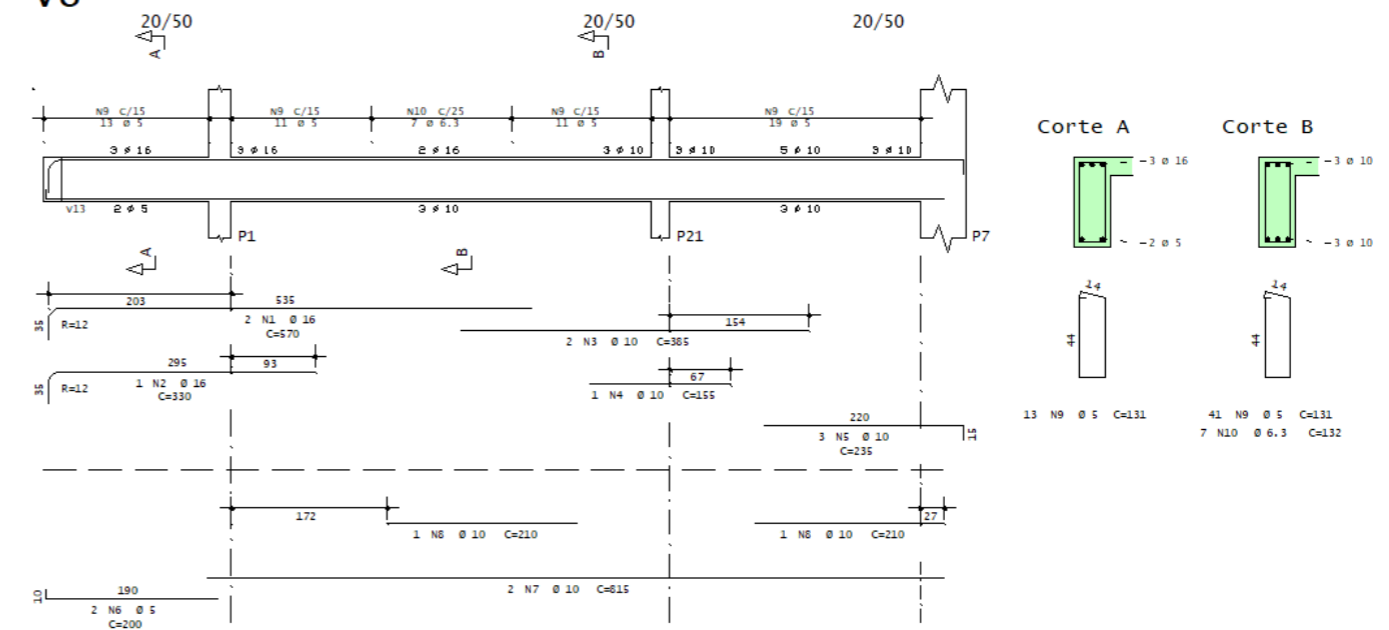
V6



V7

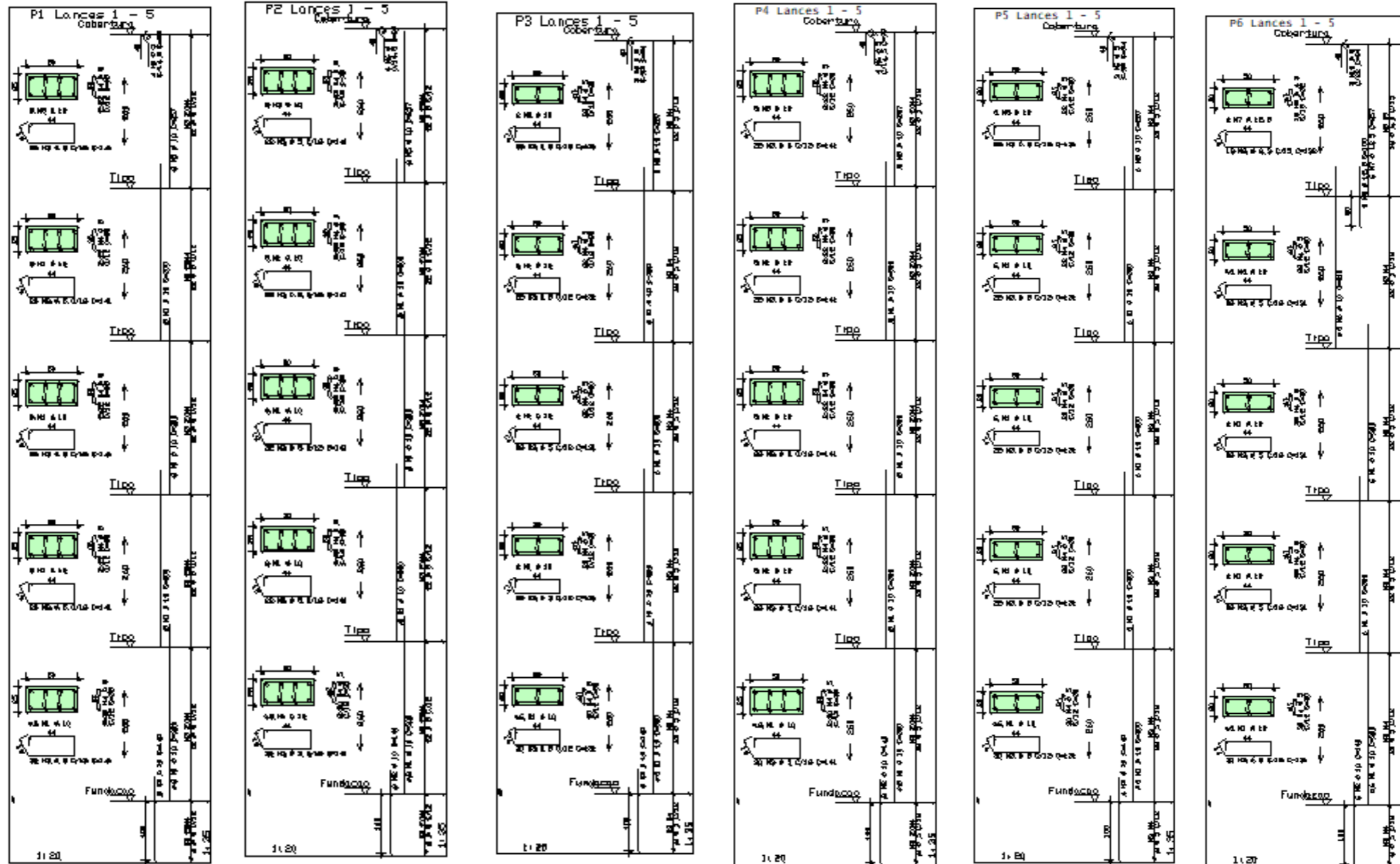


V8



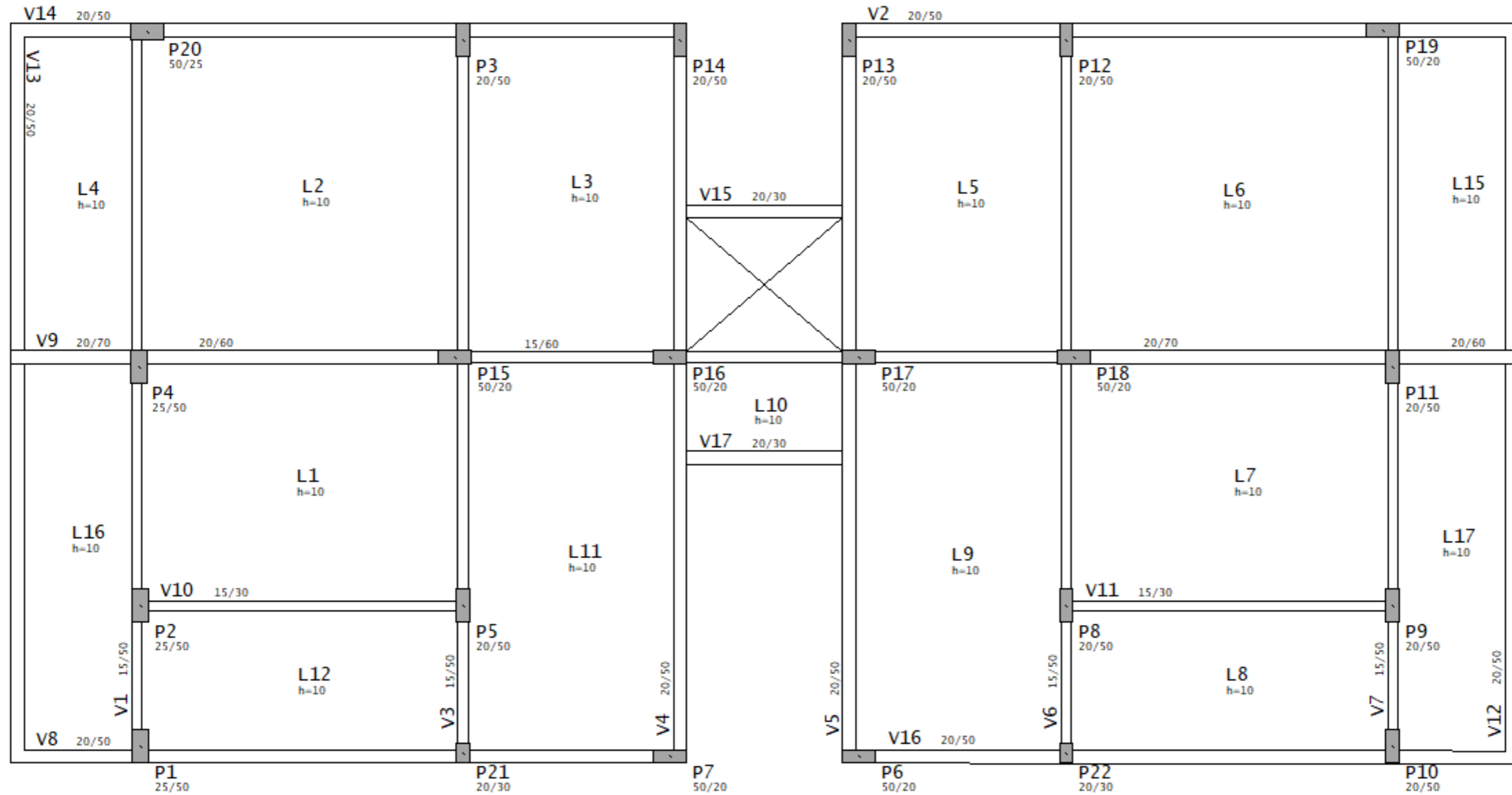
APÊNDICE B – Detalhamento de pilares

EXEMPLO DE DETALHAMENTO DE PILARES DA ALTERNATIVA 1

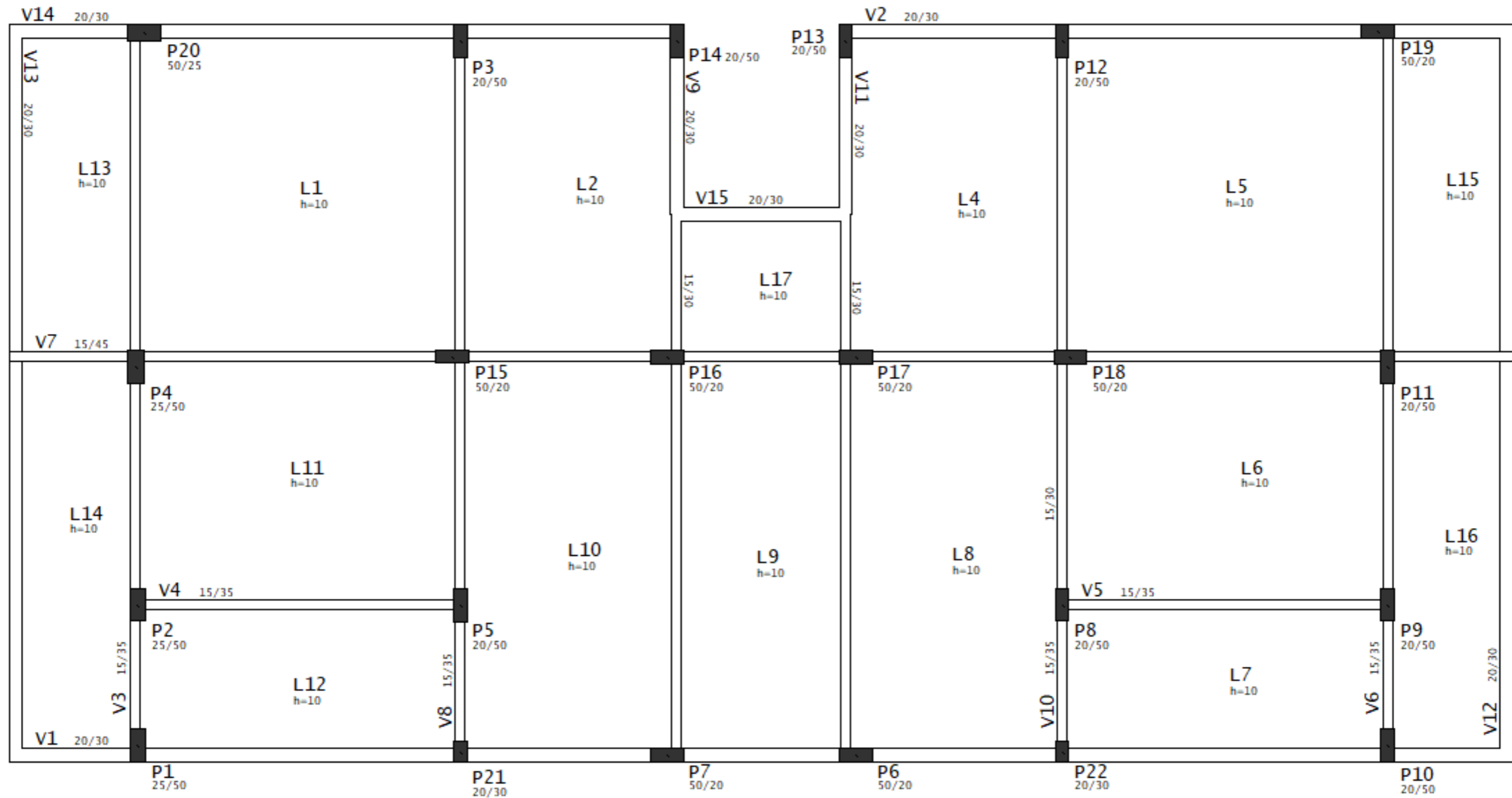


APÊNDICE C – Plantas de fôrmas lajes maciça e nervurada

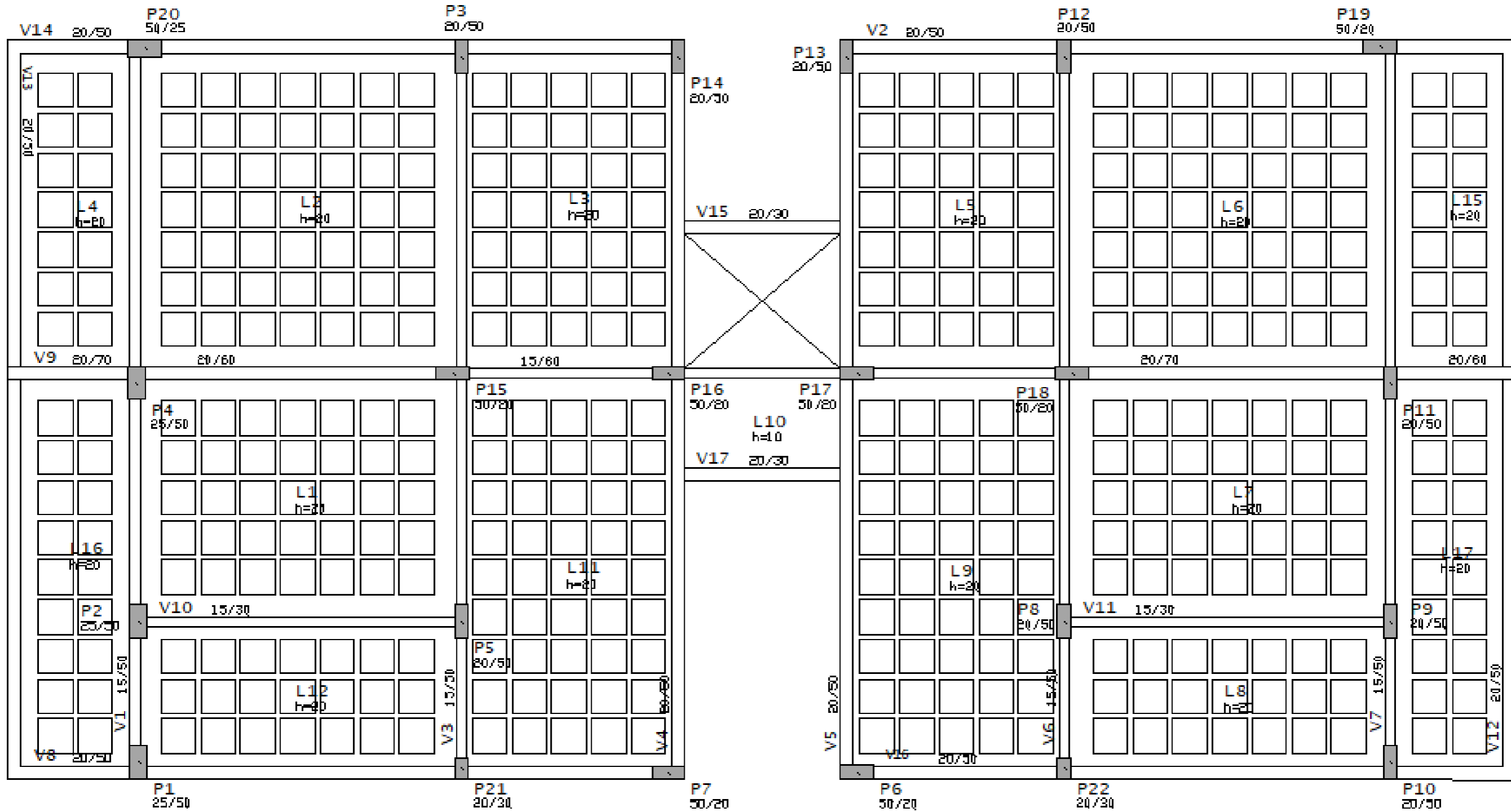
PLANTA DE FÔRMAS PAVIMENTO TIPO LAJE MACIÇA



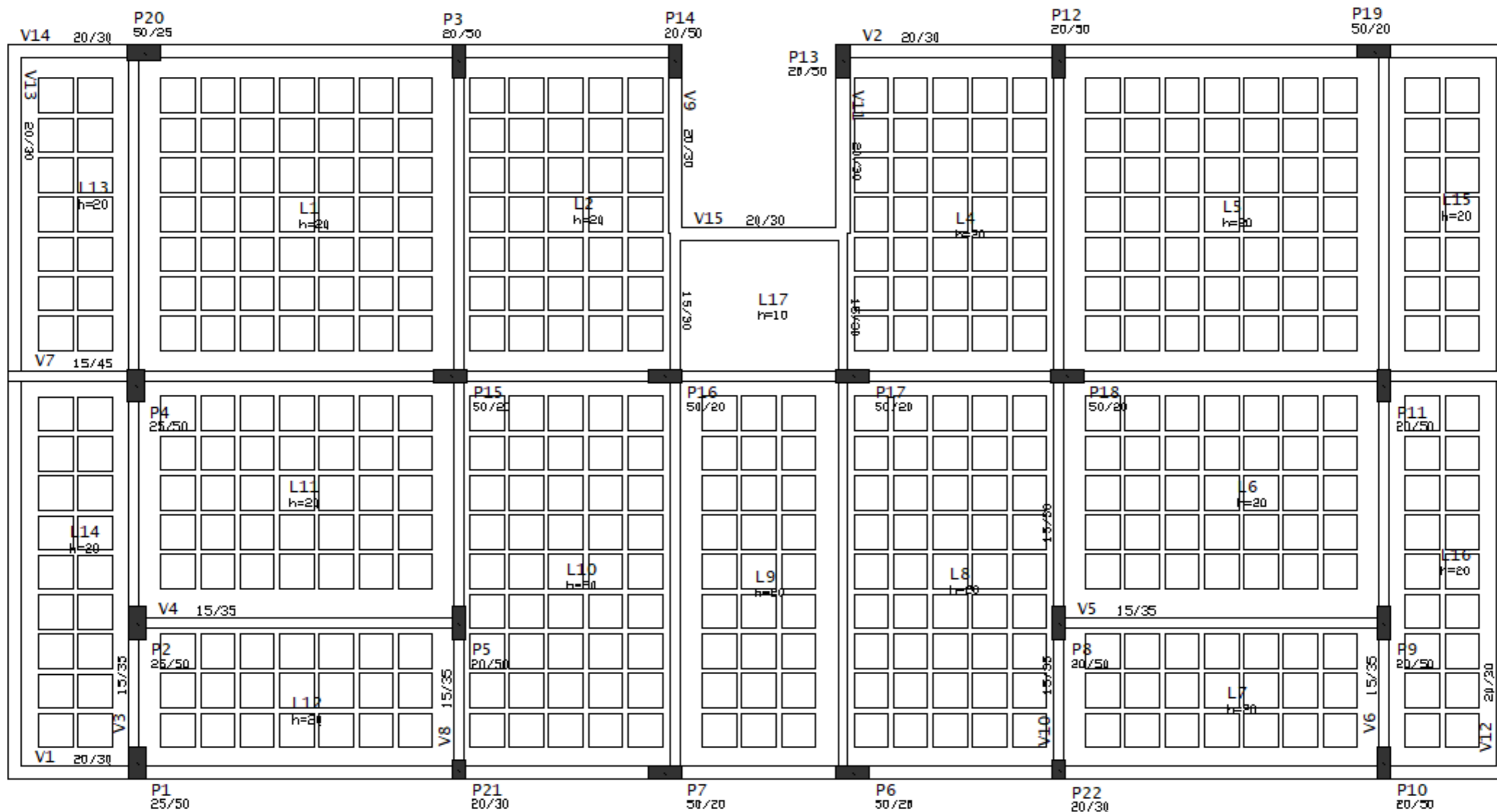
PLANTA DE FÔRMAS PAVIMENTO DE COBERTURA LAJE MACIÇA



PLANTA DE FÔRMAS PAVIMENTO TIPO LAJE NERVURADA



PLANTA DE FÔRMAS PAVIMENTO DE COBERTURA LAJE NERVURADA

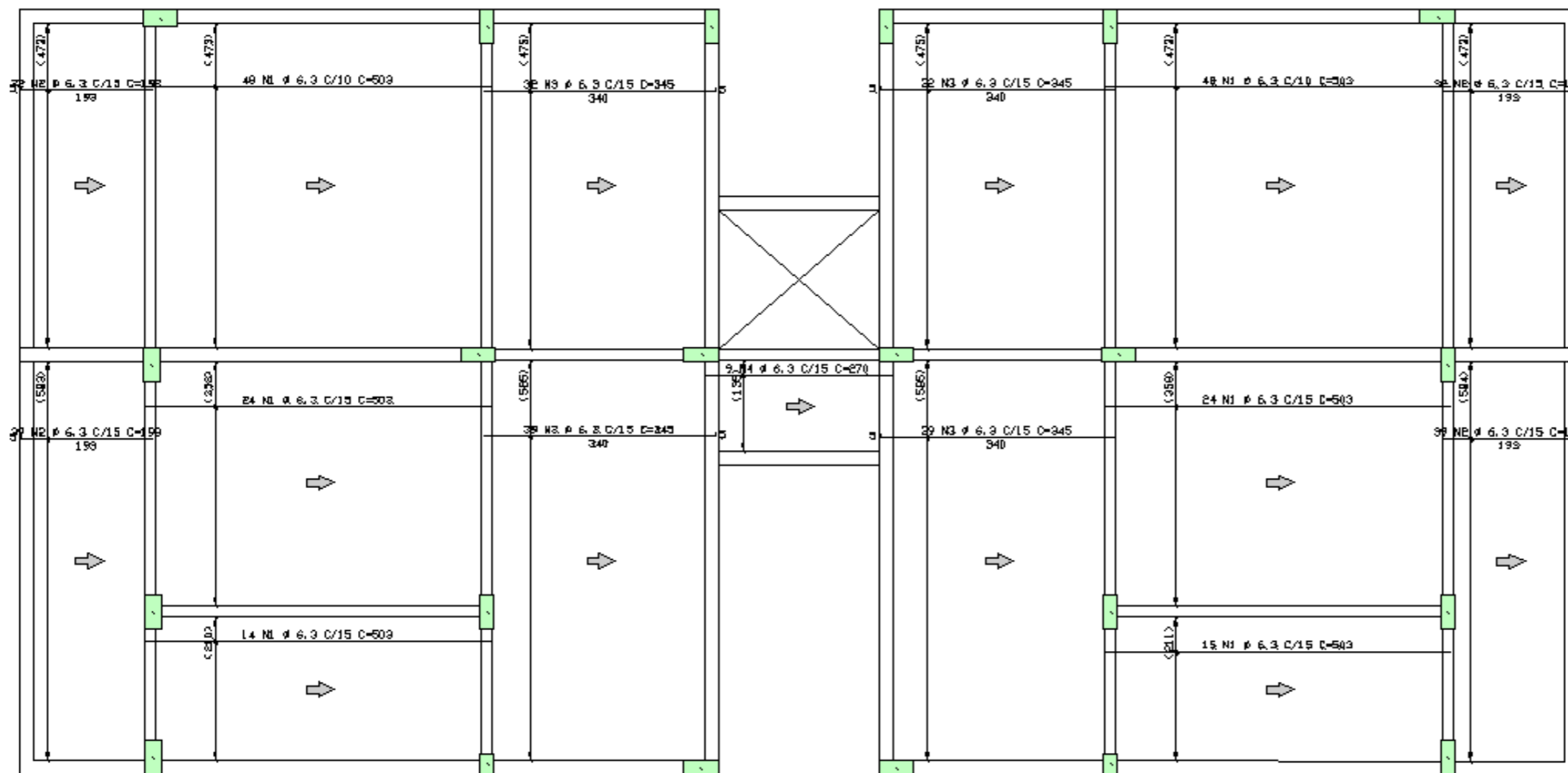


**APÊNDICE D – Armaduras positivas e negativas na direção do eixo maior
da edificação para lajes maciças**

ARMADURA POSITIVA NA DIREÇÃO DO EIXO MAIOR DA EDIFICAÇÃO PARA LAJES DO PAVIMENTO TIPO DA ALTERNATIVA 1

Tipo - Armadura positiva principal

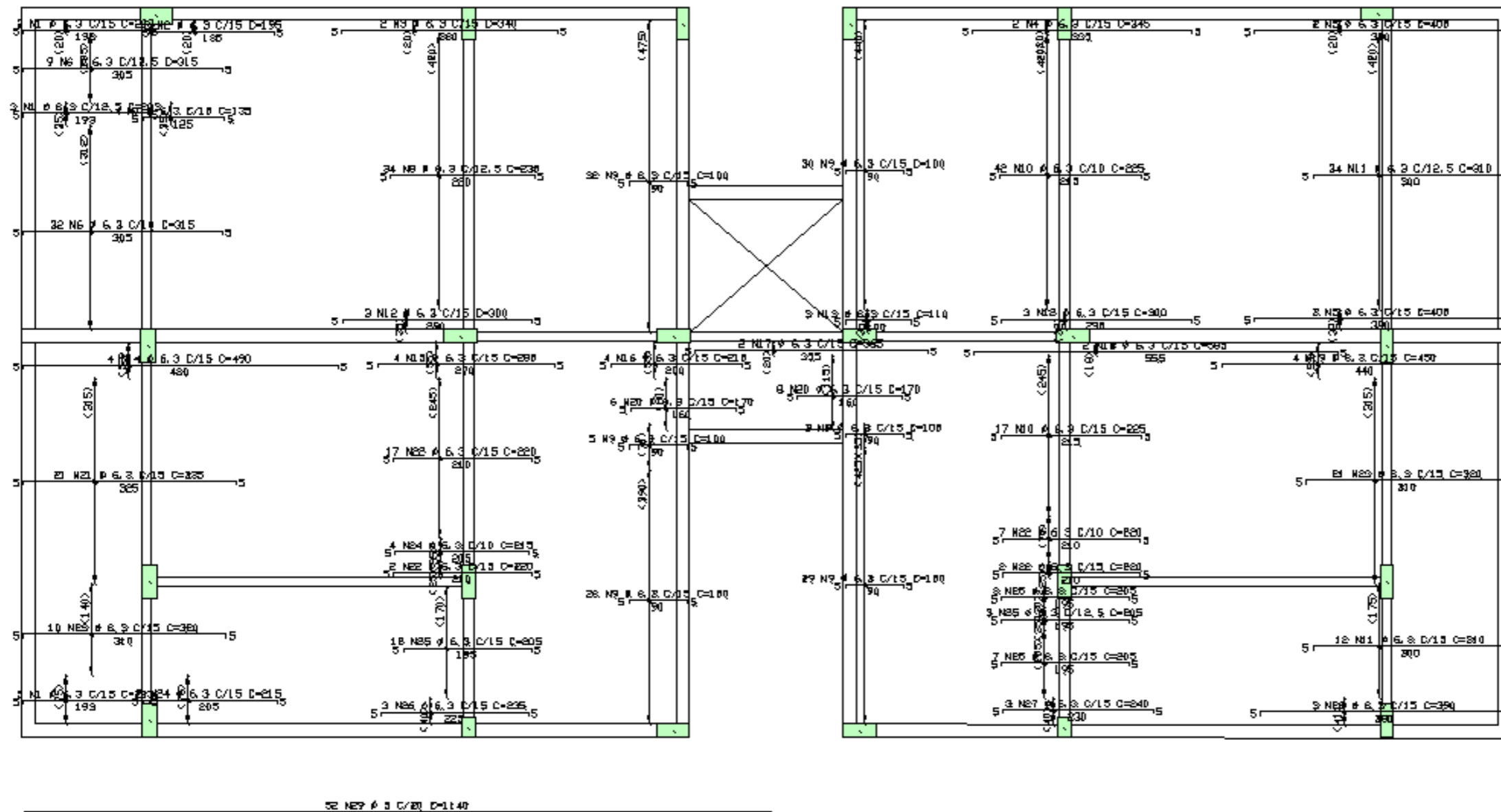
4X



ARMADURA NEGATIVA NA DIREÇÃO DO EIXO MAIOR DA EDIFICAÇÃO PARA LAJES DO PAVIMENTO TIPO DA ALTERNATIVA 1

Typo - Armadura negativa principal

4X

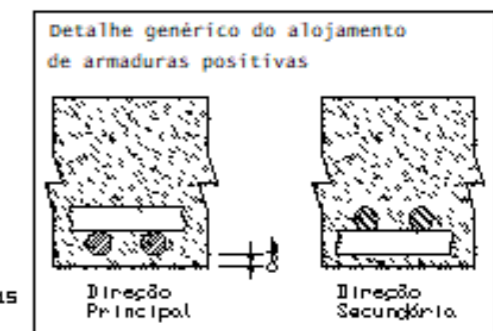
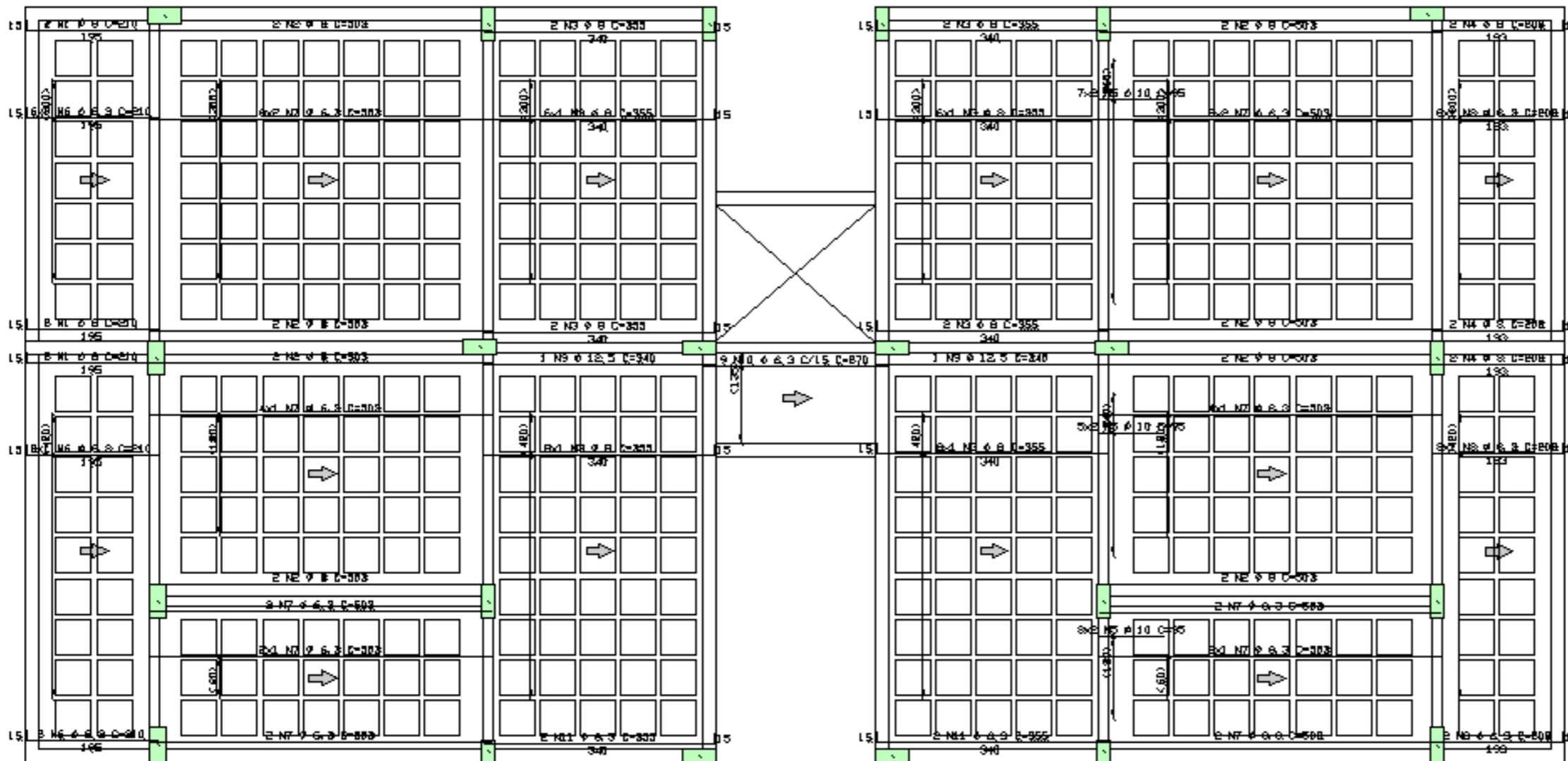


**APÊNDICE E – Armaduras positivas e negativas na direção do eixo maior
da edificação para lajes nervuradas**

ARMADURA POSITIVA NA DIREÇÃO DO EIXO MAIOR DA EDIFICAÇÃO PARA LAJES DO PAVIMENTO TIPO DA ALTERNATIVA 4

Tipo - Armadura positiva principal

4X



ARMADURA NEGATIVA NA DIREÇÃO DO EIXO MAIOR DA EDIFICAÇÃO PARA LAJES DO PAVIMENTO TIPO DA ALTERNATIVA 4

Tipo - Armadura negativa principal

4X

