



CENTRO UNIVERSITÁRIO UNIFACIG

**ESTUDO COMPARATIVO DE VIABILIDADE ESTRUTURAL ENTRE LAJES
NERVURADAS E MACIÇAS PARA UMA EDIFICAÇÃO RESIDENCIAL**

Jéssica Gomes Coelho

MANHUAÇU / MG
2019



JÉSSICA GOMES COELHO

**ESTUDO COMPARATIVO DE VIABILIDADE ESTRUTURAL ENTRE LAJES
NERVURADAS E MACIÇAS PARA UMA EDIFICAÇÃO RESIDENCIAL**

Trabalho de conclusão de curso apresentado no
Curso de Superior de Engenharia Civil do Centro
Universitário UNIFACIG, com requisito parcial à
obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Área de Concentração: Engenharia Civil
Orientador: Carlos Henrique Carvalho Junior

MANHUAÇU / MG

2019

Resumo: Atualmente há vários sistemas estruturais sendo utilizados na construção civil, uns mais usuais e outros que vem ganhando seu espaço no mercado devido a demanda existente na concepção arquitetônica dos projetos, prazos para execução e pretensão econômica, portanto, gerando uma necessidade de estudar a viabilidade estrutural para as edificações, levando sempre em consideração a segurança e economia para execução. A realização de projetos otimizados está se tornando indispensável, pois permite uma análise ampla dos parâmetros essenciais. O estudo realizado, tem por finalidade realizar uma análise de diferentes modelos estruturais em concreto armado para uma edificação residencial de três pavimentos, localizada em Manhuaçu-MG. O dimensionamento das estruturas foi feito através do *software Eberick*, onde se teve os resumos dos consumos, tornando possível realizar um comparativo monetário de ambas as propostas, chegando a resultados próximos.

Palavras-chave: Sistemas estruturais, laje maciça e laje nervurada.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	4
2. DESENVOLVIMENTO.....	5
2.1. Referencial Teórico	5
2.1.1 Sistema Estrutural	5
2.1.2. Laje Maciça	6
2.1.2.1. Método de Cálculo para Laje Maciça	6
2.1.2.2. Pré-dimensionamento da altura das lajes	7
2.1.2.3. Cargas atuantes	7
2.1.2.4. Verificação das Flechas	7
2.1.2.5. Dimensionamento das armaduras longitudinais	9
2.1.2.5.1. Detalhamento das armaduras	10
2.1.3. Laje Nervurada	10
2.1.3.1. Aspectos construtivos para lajes nervuradas conforme a NBR 6118:2014 ..	13
2.1.4. Vigas	13
2.1.5. Pilar	14
2.1.6. Fundação Direta	15
2.1.6.1. Sapatas	15
2.1.7. Método de análise de cálculo	16
2.1.7.1. Analogia da grelha e pórtico espacial	16
2.2. Metodologia.....	19
2.3. Discussão de Resultados.....	19
2.3.1. Peso da Estrutura.....	19
2.3.1.1. Peso da Estrutura em Laje Maciça.....	20
2.3.1.2. Peso da Estrutura em Laje Nervurada	20
2.3.2. Estabilidade da Estrutura	21
2.3.3. Estrutura de Custos.....	23
3.CONCUSÃO.....	24
4. REFERÊNCIAS	25

1. INTRODUÇÃO

Os projetos da construção civil vêm sofrendo várias inovações, logo, realizar projetos otimizados tem sido cada vez mais importante, pois proporcionam uma análise mais completa, auxiliando na escolha do sistema estrutural a ser adotado para a edificação.

Os projetos arquitetônicos também vêm se modernizando, trazendo um conceito com estruturas mais esbeltas e ousadas, com ambientes amplos e singulares, tornando-os desafiadores para o ramo da engenharia, pois essas inovações implicam diretamente na disposição dos elementos estruturais, levando a construção de estruturas mais deformáveis e flexíveis.

A evolução nos estudos do concreto armado permite solucionar essa necessidade, pois torna possível criar vãos maiores graças ao ganho de resistência, porém, os pilares ficam mais carregados devido as maiores distâncias entre os apoios da estrutura, o que resulta espessuras maiores em lajes maciças para que suportem tais esforços, fato que pode tornar a estrutura antieconômica ou até mesmo inviável. Um método que pode solucionar essa deficiência é a utilização de laje nervurada, pois a mesma possui comportamento semelhante às maciças, porém, com eficiência das vigas na flexão, ou seja, grande inercia e peso próprio relativamente pequeno, pois utiliza de material inerte nos trechos onde o elemento sofre tração, tornando a estrutura mais leve (CARVALHO; PINHEIRO,2013).

Atualmente há vários sistemas estruturais no mercado e é de competência do engenheiro calculista analisar qual é o ideal para a obra em questão e muita das vezes não se tem uma análise adequada para que se tome tal decisão.

Devido aos fatores que se deve relatar na construção civil, como segurança, economia e tempo para execução, o presente trabalho, cujo caráter é quantitativo, irá analisar a viabilidade estrutural utilizando lajes maciças e lajes nervuradas para um edifício multifamiliar de três pavimentos, com uma área total de 568,39 m², sendo dois apartamentos por andar, localizado na cidade de Manhuaçu-MG, tendo por objetivo reduzir os custos e aumentar a produtividade da construção.

2. DESENVOLVIMENTO

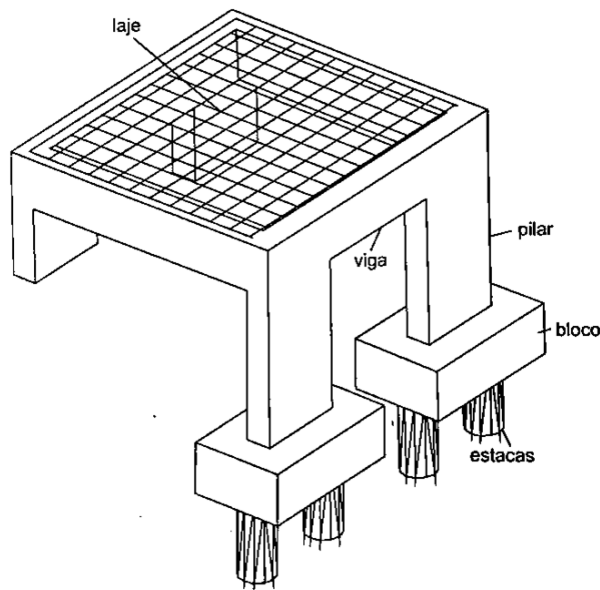
2.1. Referencial Teórico

2.1.1. Sistema Estrutural

Segundo Carvalho e Pinheiro (2013) é indispensável a realização da análise do comportamento da estrutura, pois é a parte da edificação que suporta as ações solicitantes e assegura seu equilíbrio. Para realizar essa análise é preciso distinguir Elementos Estruturais de Sistema estrutural, as partes que constitui a estrutura são denominados elemento estrutural e o modo em que são ordenados de sistema estrutural.

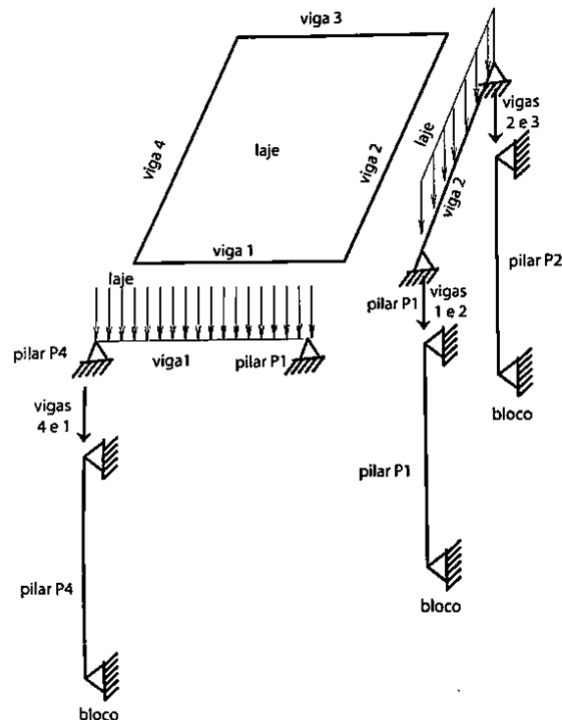
Analisar e interpretar o desempenho de uma estrutura é de grande complexibilidade, portanto, utiliza-se a técnica de discretização para elaborar modelos físicos e matemáticos para construções de concreto armado. Esta técnica consiste em separar os elementos da estrutura para que sejam analisados individualmente, tornando a análise mais simples, onde passa-se a ter conhecimento do comportamento dos elementos, proporcionando resultados mais eficazes (CARVALHO; PINHEIRO, 2013).

Figura 2.1 Esquema estrutural em concreto armado de uma garagem



Fonte: Cálculo e Dimensionamento de Estruturas Usuais de Concreto Armado, 2013.

Figura 2.2 Discretização da estrutura da Figura 2.1.



Fonte: Cálculo e Dimensionamento de Estruturas Usuais de Concreto Armado, 2013.

2.1.2. Laje Maciça

No ponto de vista estrutural, lajes maciças são elementos estruturais de superfície plana de espessura uniforme. As lajes maciças distribuem suas cargas (reações) por toda a extensão da viga, gerando um maior aproveitamento das vigas, uma vez que ambos podem ter cargas de mesma ordem e grandeza, variando apenas pelo comprimento da laje (CARVALHO; FIGUEIREDO FILHO, 2013).

Uma forma de classificação das lajes se dá pela relação entre o vão menor e o maior da laje, se for menor ou igual a dois, considera-se que a laje armada em duas direções; quando essa relação for maior que dois, considera-se a laje armada em um direção (a menor do vão) e para efeito construtivo, considera-se uma armadura mínima na outra direção (CARVALHO; FIGUEIREDO FILHO, 2013).

2.1.2.1. Método de cálculo para Laje Maciça

Conforme Carvalho e Figueiredo Filho (2013) há basicamente dois métodos de cálculo para lajes maciças, o de ruptura, que consiste na análise através do mecanismo de ruptura, ou seja, procura identificar o modo em que a laje chega ao colapso; e o elástico, que consiste na análise do elemento sob cargas de serviço e concreto não-fissurado. O método elástico também pode ser chamado de teoria das placas.

De acordo com Carvalho e Figueiredo Filho (2013) para realizar o dimensionamento de lajes, recomenda-se seguir um roteiro, sendo ele: determinar a vinculação das lajes, pré-dimensionar a espessura das lajes, calcular as cargas atuantes, verificar as flechas, calcular os momentos, determinar as armaduras longitudinais e detalhar as armaduras.

2.1.2.2 Pré-dimensionamento da altura das lajes

O item 13.2.4.1 da NBR 6118 (2014) descreve espessuras mínimas a ser adotadas para lajes maciças, variando de acordo com o tipo de laje:

- a) 7 cm pra 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 $l/42$ para lajes de piso biapoiadas e $l/50$ para lajes de piso contínuas.
- g) g) 16 cm para lajes lisas e 14 cm para lajes-cogumelo, fora do capitel.

2.1.2.3. Cargas atuantes

Segundo Carvalho e Figueiredo Filho (2013) as cargas atuantes (uniformemente distribuídas) a ser considerada numa edificação são cargas permanentes e carga variáveis (acidental). As cargas permanentes mais comuns são peso próprio estrutural, revestimento inferior, contra piso, piso ou revestimento, onde são calculadas através da espessura multiplicada pelo peso específico do material. A carga acidental possui valores estabelecidos na NBR 6120:1980 de acordo com a finalidade do edifício.

2.1.2.4. Verificação das flechas

Conforme a NBR 6118:2014 no item 13.3 deslocamentos-limites (flechas) são valores práticos utilizados para verificação em serviço do estado-limite de deformações excessivas da estrutura, e seus valores são encontrados na tabela 13.3 da norma.

QUADRO 1 – Limites para deslocamentos

Tipo de efeito	Razão da limitação	Exemplo	Deslocamento a considerar	Deslocamento-limite
Aceitabilidade sensorial	Visual	Deslocamentos visíveis em elementos estruturais	Total	$l/250$
	Outro	Vibrações sentidas no piso	Devido a cargas acidentais	$l/350$
Efeitos estruturais em serviço	Superfícies que devem drenar água	Coberturas e varandas	Total	$l/250^a$
	Pavimentos que devem permanecer planos	Ginásios e pistas de boliche	Total	$l/350+$ contraflecha ^b
			Ocorrido após a construção do piso	$l/600$
	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	$l/500^c$ e 10 mm e $\theta = 0,0017 \text{ rad}^d$
		Divisórias leves e caixilhos telescópicos	Ocorrido após a instalação da divisória	$l/250^c$ e 25 mm
		Movimento lateral de edifícios	Provocado pela ação do vento para combinação frequente ($\psi_1 = 0,30$)	$H/1\,700$ e $H_i/850^e$ entre pavimentos ^f
		Movimentos térmicos verticais	Provocado por diferença de temperatura	$l/400^g$ e 15 mm

Fonte: NBR-6118:2014.

QUADRO 1 (Continuação) – Limites para deslocamentos

Tipo de efeito	Razão da limitação	Exemplo	Deslocamento a considerar	Deslocamento-limite
Efeitos em elementos não estruturais	Forros	Movimentos térmicos horizontais	Provocado por diferença de temperatura	$H/500$
		Revestimentos colados	Ocorrido após a construção do forro	$l/350$
		Revestimentos pendurados ou com juntas	Deslocamento ocorrido após a construção do forro	$l/175$
	Pontes rolantes	Desalinhamento de trilhos	Deslocamento provocado pelas ações decorrentes da frenagem	$H/400$
Efeitos em elementos estruturais	Afastamento em relação às hipóteses de cálculo adotadas	Se os deslocamentos forem relevantes para o elemento considerado, seus efeitos sobre as tensões ou sobre a estabilidade da estrutura devem ser considerados, incorporando-os ao modelo estrutural adotado.		

^a As superfícies devem ser suficientemente inclinadas ou o deslocamento previsto compensado por contraflechas, de modo a não se ter acúmulo de água.

^b Os deslocamentos podem ser parcialmente compensados pela especificação de contraflechas. Entretanto, a atuação isolada da contraflecha não pode ocasionar um desvio do plano maior que $l/350$.

^c O vão l deve ser tomado na direção na qual a parede ou a divisória se desenvolve.

^d Rotação nos elementos que suportam paredes.

^e H é a altura total do edifício e H_1 o desnível entre dois pavimentos vizinhos.

^f Esse limite aplica-se ao deslocamento lateral entre dois pavimentos consecutivos, devido à atuação de ações horizontais. Não podem ser incluídos os deslocamentos devidos a deformações axiais nos pilares. O limite também se aplica ao deslocamento vertical relativo das extremidades de lintéis conectados a duas paredes de contraventamento, quando H_1 representa o comprimento do lintel.

^g O valor l refere-se à distância entre o pilar externo e o primeiro pilar interno.

NOTAS

1 Todos os valores-limites de deslocamentos supõem elementos de vão l suportados em ambas as extremidades por apoios que não se movem. Quando se tratar de balanços, o vão equivalente a ser considerado deve ser o dobro do comprimento do balanço.

2 Para o caso de elementos de superfície, os limites prescritos consideram que o valor l é o menor vão, exceto em casos de verificação de paredes e divisórias, onde interessa a direção na qual a parede ou divisória se desenvolve, limitando-se esse valor a duas vezes o vão menor.

3 O deslocamento total deve ser obtido a partir da combinação das ações características ponderadas pelos coeficientes definidos na Seção 11.

4 Deslocamentos excessivos podem ser parcialmente compensados por contraflechas.

Fonte: NBR-6118:2014.

2.1.2.5 Dimensionamento das armaduras longitudinais

Segundo o item 19.3.3.2 da NBR 6118:2014 os valores mínimos das armaduras em lajes têm por finalidade melhorar o desempenho e a ductilidade à flexão e punção, assim como controlar a fissuração do concreto.

A determinação da armadura na direção x e y de uma laje são feitas por metro, ou seja, por uma faixa unitária, portanto a armadura encontrada deve ser distribuída ao longo dessa faixa. Sempre que for possível, recomenda-se utilizar fórmulas adimensionais, pois permite utilizar gráficos e tabelas de forma mais racional (CARVALHO; FIGUEIREDO FILHO, 2013).

Carvalho e Figueiredo Filho (2013) fornece equações que possibilitam o dimensionamento das armaduras, sendo elas:

$$A_s = M_d / (z * f_{yd}) \quad \text{EQUAÇÃO 1}$$

Em que:

A_s – Área de aço

M_d – Momento resistente

Para encontrar o coeficiente z utiliza-se a equação a seguir:

$$z = d - 0,4 * x \quad \text{EQUAÇÃO 2}$$

2.1.2.5.1 Detalhamento das armaduras

Conforme carvalho e Figueiredo Filho (2013) encontrada as áreas de aço (A_s) em cada direção, deve-se estimar um diâmetro ($\emptyset$) para as barras e calcular o espaçamento (s) para efetuar a disposição das barras por metro da laje. Através da relação entre A_s e $A_s \emptyset$ obtém-se a quantidade de barras necessárias (n) por metro a laje, pra isso, utiliza-se as equações:

$$n = A_s / A_s \emptyset$$

$$\text{EQUAÇÃO 3}$$

$$s = 1m / n$$

$$\text{EQUAÇÃO 4}$$

Determina-se no item 20.1 da NBR 6118 (2014), o espaçamento e diâmetro máximo ($\emptyset_{\text{máx}}$) para barra da armadura de flexão, e as barras da armadura principal de flexão deem respeitar os limites do espaçamento (s), prevalecendo o maior entre eles.

$$\emptyset_{\text{máx}} \leq h / 8$$

$$\text{EQUAÇÃO 5}$$

$$s \leq 20 \text{ cm ou } 2 * h$$

$$\text{EQUAÇÃO 6}$$

2.1.3. Laje Nervurada

Conforme a NBR 6118 (2014) “Lajes nervuradas são 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”.

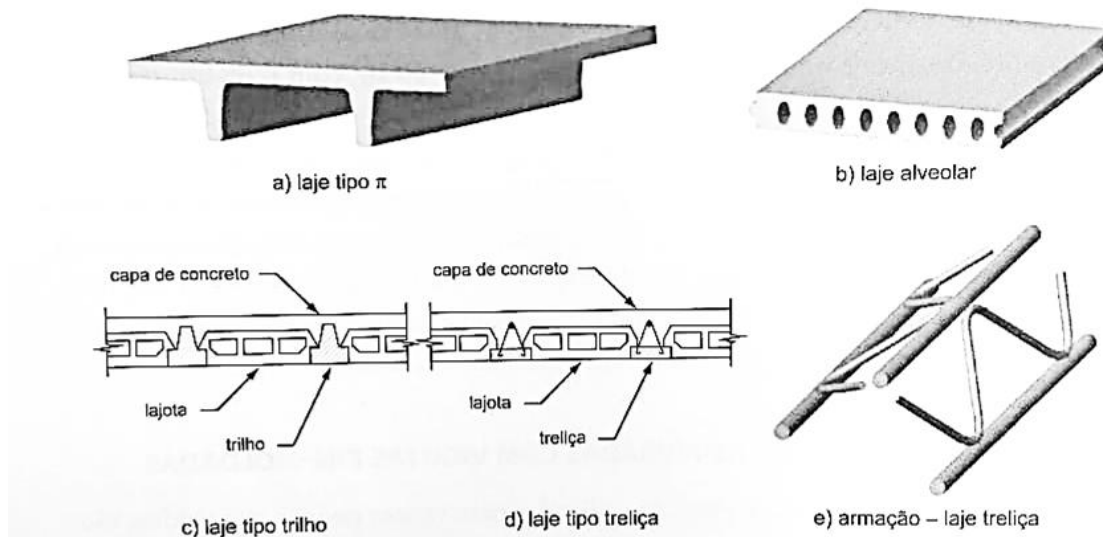
A superfície do pavimento de uma edificação geralmente é a parte da estrutura que mais consome material, entretanto, quando se reduz a altura da laje há uma economia relevante, o que torna o conceito de lajes nervuradas vantajoso (CARVALHO; PINHIRO,2013).

As lajes nervuradas tem comportamento semelhante ao das maciças, porém com eficiência maior das vigas na flexão, pois tem maior inercia e peso próprio reduzido. As lajes nervuradas são compostas por mesa e nervuras de concreto, podendo ser pré-fabricadas ou moldadas no local e suas armaduras longitudinais são dimensionadas de acordo com a solicitação do projeto vantajoso (CARVALHO; PINHIRO,2013).

Conforme carvalho e Pinheiro (2013) as lajes pré-fabricadas se subdividem em lajes alveolares, duplo “T” (ou “π”) e nervuradas com vigotas. As com vigotas podem

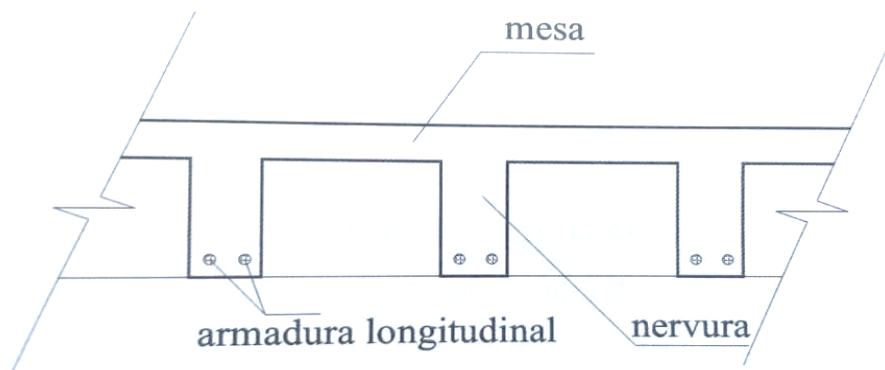
ser treliçada ou tipo trilho. Já as moldadas no local são aquelas em que as nervuras e a mesa são concretadas no local.

Figura 2.3. Seções transversais de lajes pré-fabricadas: a) tipo “ π ”; b) alveolar; c) tipo trilho; d) tipo treliça; e) armadura da nervura da laje tipo treliça.



Fonte: Cálculo e Dimensionamento de Estruturas Usuais de Concreto Armado, 2013.

Figura 2.4. Seção transversal de laje nervurada



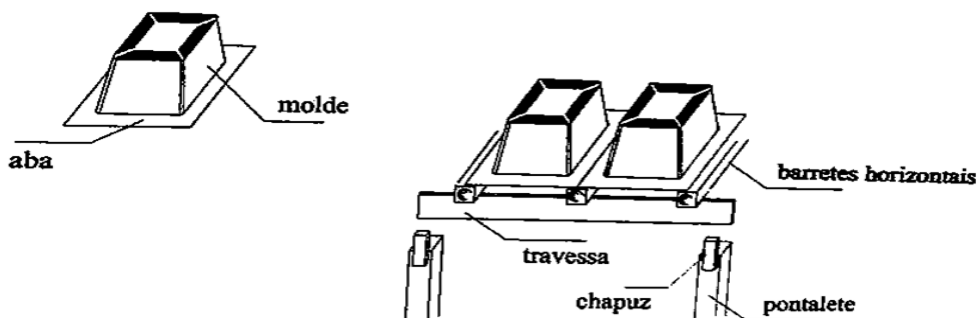
Fonte: Cálculo e Detalhamento de Estruturas Usuais de Concreto Armado, 2013.

As partes onde o concreto sofre tração são substituídas por material inerte, como moldes plásticos, tijolos cerâmicos, blocos de concreto comum, blocos de concreto celular e blocos de EPS (isopor), lembrando que essas matérias ficam incorporados à laje, exceto os moldes plásticos, pois estes são removíveis e reutilizáveis.

Como visto, as lajes nervuradas tem um menor consumo de concreto, o que gera economia, porém, para manter essa economia a quantidade de forma não pode ser

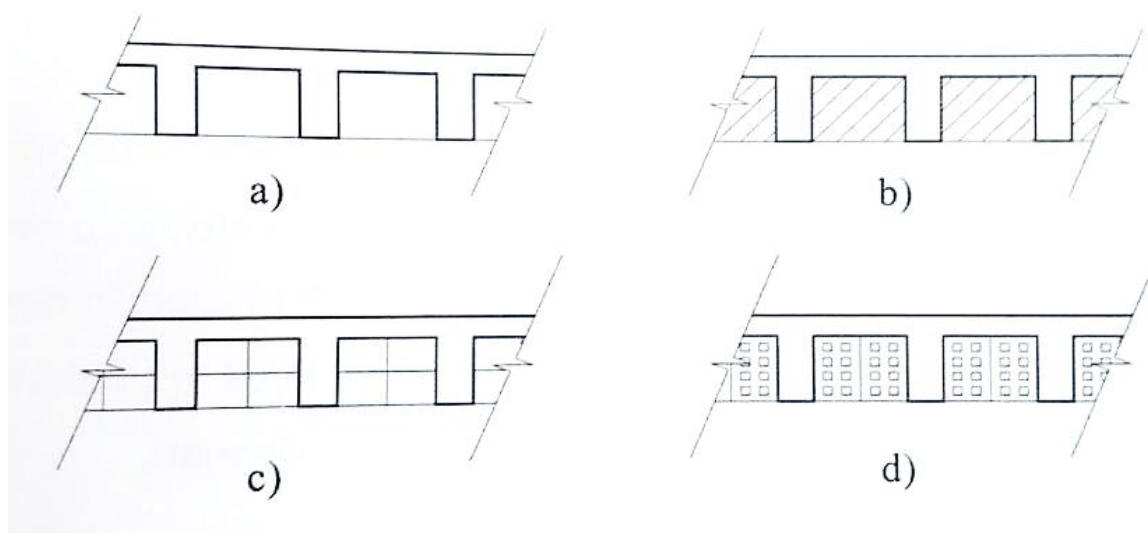
elevada. Uma opção pra resolver esse problema é a utilização de formas de plástico para a confecção das nervuras, pois servem como forma e são de matérias resistentes e reutilizáveis. Os moldes plásticos possuem arestas arredondadas, o que torna a desforma fácil (CARVALHO; PINHIRO,2013).

Figura 2.5. Moldes plásticos para a execução de lajes nervuradas e esquema de escoramento



Fonte: Cálculo e Detalhamento de Estruturas Usuais de Concreto Armado, 2013.

Figura 2.6. Seções transversais de lajes nervuradas com materiais inertes: a) isopor; b) blocos de concreto comum; c) blocos de concreto celular; d) tijolos cerâmicos furados.



Fonte: Cálculo e Detalhamento de Estruturas Usuais de Concreto Armado, 2013.

2.1.3.1. Aspectos construtivos para lajes nervuradas conforme a NBR 6118:2014

De acordo com a NBR 6118 (2014) quando não existir tubulação embutida na laje a espessura da mesa deve ter valor maior ou igual a $1/15$ da distância entre as nervuras, não podendo ser inferior a 4cm. Quando houver tubulação embutida de diâmetro menor ou igual a 10mm, a espessura mínima da mesa deverá ser 5cm, ou se a tubulação tiver diâmetro superior à 10 mm a espessura deverá ser de $4\text{cm} + \varnothing$ e $4\text{cm} + 2\varnothing$ se houver cruzamento das tubulações.

A espessura das nervuras deve ser no mínimo 5cm, e para nervuras inferiores à 8cm não pode haver armadura de compressão (NBR 6118,2014).

No item 13.2.4.2 da NBR 6118 (2014) os espaçamentos entre as nervuras devem ser da seguinte forma:

- 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.

2.1.4. Vigas

Conforme a NBR 6118 (2014) vigas são elementos estruturais lineares em que a flexão é preponderante.

Segundo a NBR 6118 (2014) a prescrição de valores-limites para dimensões mínimas de elementos estruturais tem por finalidade a evitar um desempenho inaceitável e proporcionar condições adequadas de execução. Para vigas, a seção transversal não pode ter largura inferior a 12 cm, porém, há casos em que a largura pode ser reduzida à 10 cm, desde que respeite prescritas no item 13.2.2 da norma.

Carvalho e Figueiredo Filho (2013) diz que as armaduras de uma viga de concreto armado podem ser dimensionadas através do diagrama de momentos fletores, desde que tenha conhecimento das dimensões da seção transversal e as características mecânicas do concreto e do aço.

O cálculo do dimensionamento das estruturas de concreto armado deve ser feito no estado-limite último, pois o principal objetivo é projetar estruturas que resistam aos esforços de forma econômica, evitando o colapso da estrutura. Após o dimensionamento é necessário realizar as verificações cabíveis e o detalhamento das armaduras (CARVALHO; FIGUEIREDO FILHO,2013)

O objetivo do dimensionamento, verificação e detalhamento das armaduras é garantir a segurança em relação aos estados-limites últimos e de serviço das estruturas como um todo (NBR 6118,2014)

Segundo a NBR 6118 (2014) essa segurança exige que sejam respeitadas as condições analíticas do tipo:

$$S_d \leq R_d$$

EQUAÇÃO 7

Onde as solicitações de cálculo sejam inferiores às resistências de cálculo para todos os estados-limites considerados importantes para a estrutura.

As armaduras mínimas de uma seção devem ser previstas para evitar a ruptura frágil na seção, já a as armaduras máximas decorre da necessidade de assegurar as condições de ductilidade e de respeitar as prescrições de funcionamento do conjunto aço-concreto (CARVALHO, FIGUEIREDO FILHO, 2013).

Conforme o item 17.3.5.2.1 da NBR 6118 (2014) a armadura mínima de tração em elementos estruturais de concreto armado deve ser determinada através do dimensionamento da seção a um momento fletor mínimo dado pela equação:

$$M_{d,min} = 0,8W_o * f_{ctk,sup}$$

EQUAÇÃO 8

Onde:

W_o é o módulo de resistência da seção transversal bruta de concreto, relativo à fibra mais tracionada;

$f_{ctk,sup}$ é a resistência característica superior do concreto à tração

2.1.5. Pilar

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

A NBR 6118 (2014) estabelece dimensões mínimas para um pilar, o item 13.2.3 diz que a seção transversal de um pilar não pode ser menor que 19cm, independente da sua forma. Mas há casos que permitem utilizar dimensões entre 14 cm e 19 cm, desde que multipliquem os esforços solicitantes por um coeficiente adicional γ_n , indicado pela tabela 13.1.

QUADRO 2 – Valores do coeficiente adicional γ_n para pilares e pilares-paredes

b cm	≥ 19	18	17	16	15	14
γ_n	1,00	1,05	1,10	1,15	1,20	1,25
onde $\gamma_n = 1,95 - 0,05 b;$ b é a menor dimensão da seção transversal, expressa em centímetros (cm). NOTA O coeficiente γ_n deve majorar os esforços solicitantes finais de cálculo quando de seu dimensionamento.						

Fonte: NBR-6118:2014.

Para efeito de cálculo, os pilares devem ser classificados quanto a sua posição em planta e quanto a sua esbeltez. A localização em planta pode ser denominada em pilar central, lateral e de canto, a posição determina como as excentricidades do carregamento vertical deverão ser consideradas e o tipo de solicitação em que o pilar está submetido, seja compressão simples, flexão composta normal ou oblíqua. Já a classificação quanto a esbeltez se dá em pilares curtos, medianamente esbeltos, esbeltos e muito esbeltos (CARVALHO; PINHEIRO,2013).

A NBR 6118 (2014) prevê valores mínimos e máximos para armaduras nos elementos estruturas. As armaduras mínimas devem evitar a ruptura frágil das seções transversais, para que isso ocorra considera-se um momento mínimo dado pelo valor que levaria a ruptura da seção de concreto simples, já as armaduras máximas decorre da necessidade de assegurar as condições de ductilidade e de respeitar o campo de validade dos ensaios que deram origem as prescrições de funcionamento do conjunto aço-concreto.

O item 17.3.5.3 da NBR6118 (2014) fornece as equações máximas e mínimas das armaduras:

$$A_{s,mín} = (0,15 N_d/f_yd) \geq 0,004 * A_c$$

$$A_{s,máx} = 0,08 * A_c$$

EQUAÇÃO 9

EQUAÇÃO 10

2.1.6. Fundação Direta

Entende-se por fundações diretas ou rasas aquelas que se apoiam abaixo da infraestrutura, cuja função é transmitir as cargas para o solo através das pressões distribuídas sob a base dos blocos de fundação ou sapatas (ALONSO,1983).

2.1.6.1 Sapatas

Conforme a NBR 6118 (2014) sapatas são estruturas de volume usadas para transmitir ao terreno as cargas de fundação.

As sapatas podem ter diversas formas geométricas em planta, sendo as mais usuais sapatas quadradas, retangulares e corridas (TEIXEIRA; GODOY,1998).

Segundo a NBR 6118 (2014) as sapatas podem ser classificadas como rígidas ou flexíveis. Para que seja considerada rígida a sapata deve respeitar a expressão a seguir:

$$h \geq (a - a_p)/3$$

Onde:

h: é a altura da sapata;

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

ap: é a dimensão do pilar na mesma direção.

EQUAÇÃO 11

Conforme a NBR 6118 (2014) outra forma de classificar as sapatas é de acordo o com seu comportamento estrutural, sendo:

Sapatas rígidas:

- a) trabalho à flexão nas duas direções, admitindo-se que, para cada uma delas, a tração na flexão seja uniformemente distribuída na largura correspondente da sapata. Essa hipótese não se aplica à compressão na flexão, que se concentra mais na região do pilar que se apoia na sapata e não se aplica

também ao caso de sapatas muito alongadas em relação à forma do pilar;

- b) trabalho ao cisalhamento também em duas direções, não apresentando ruptura por tração diagonal, e sim por compressão diagonal verificada conforme 19.5.3.1. Isso ocorre porque a sapata rígida fica inteiramente dentro do cone hipotético de punção, não havendo, portanto, possibilidade física de punção.

Sapatas flexíveis:

- a) trabalho à flexão nas duas direções, não sendo possível admitir tração na flexão uniformemente distribuída na largura correspondente da sapata. A concentração de flexão junto ao pilar deve ser, em princípio, avaliada;
- b) trabalho ao cisalhamento que pode ser descrito pelo fenômeno da punção.

“Para cálculo e dimensionamento de sapatas, devem ser utilizados modelos tridimensionais lineares ou modelos biela-tirante tridimensionais, podendo, quando for o caso, ser utilizados modelos de flexão” (NBR 6118,2014, p.189).

A primeira etapa do cálculo de uma sapata é a determinação da sua posição em planta o dimensionamento geométrico da fundação, onde, há uma tensão admissível (σ_a) previamente estimada. As dimensões da sapata devem ser em proporções que produzam um dimensionamento econômico (TEIXEIRA; GODOY,1998).

Teixeira e Godoy (1998) fornece algumas equações para o dimensionamento das sapatas, resolvendo-as simultaneamente obtém-se as dimensões procuradas, onde normalmente são arredondadas para variar de 5 em 5 cm. Sendo elas:

$$A = P / \sigma_a = B \cdot L$$
$$L - B = l - b$$

EQUAÇÃO 12

EQUAÇÃO 13

2.1.7. Método de análise de cálculo

Atualmente o dimensionamento das estruturas são feitos através de softwares estruturais, uma das grandes vantagens é a rapidez na elaboração dos projetos e a facilidade para realizar as análises facilitado o entendimento e otimizando as estruturas, porém, é necessário um conhecimento profundo sobre o comportamento da estrutura e um pré-dimensionamento das dimensões dos elementos (CARVALHO; PINHIRO,2013).

2.1.7.1 Analogia de grelha e pórtico espacial

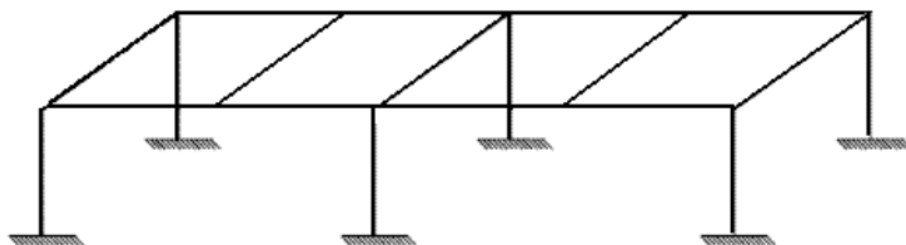
A analogia de grelha é um processo que pressupõe a subdivisão da laje em faixas, onde as propriedades físicas e geométricas passam a ser representadas por um conjunto de barras que compõe a grelha (BANKI, 2014).

O pórtico espacial consiste na representação da estrutura, sendo composto pelas vigas e pilares da edificação, onde os elementos são representados por barras ligadas umas às outras por através de nós (BANKI, 2014).

A análise das lajes são feitas separadamente das vigas e dos pilares. Para as lajes utiliza analogia de grelha, em que os esforços gerados são transmitidos as vigas,

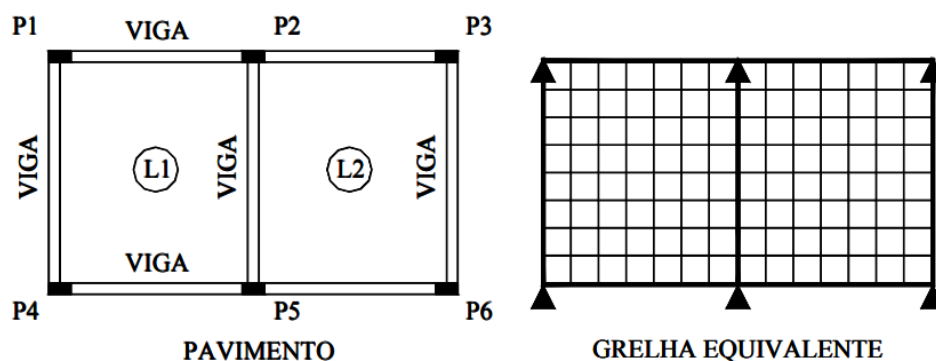
criando-se então o pórtico espacial da estrutura, onde são gerados os esforços utilizados para o dimensionamento dos elementos estruturais (BANKI, 2014).

Figura 2.7. Representação de pórtico espacial



Fonte: Estudo comparativo entre modelo de viga continua e o modelo de pórtico espacial para uma estrutura em concreto armado de pequeno porte, 2007.

Figura 2.8. Representação de um pavimento e sua grelha equivalente



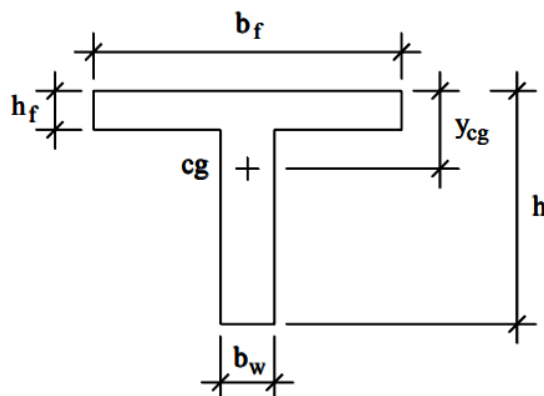
Fonte: Projeto e construção de lajes nervuradas de concreto armado, 2005.

Dividindo a laje em um número adequado de barras (grelha equivalente) torna-se possível gerar solução pra praticamente qualquer geometria definida, possibilitando que faça uma análise integrada do pavimento, levando em consideração a influência da flexibilidade dos apoios e a rigidez à torção, tanto das lajes quanto das vigas, sendo possível também a análise da não linearidade física do concreto armado (SILVA, 2005).

As ações atuantes da laje são distribuídas na grelha equivalente de acordo com a área de influência de cada elemento, podendo ser considerada uniformemente distribuídas ou concentradas nos nós. As ações centradas, rigidez à torção, assim como à flexão, são consideradas como concentradas nos elementos correspondentes da grelha equivalente (SILVA, 2005).

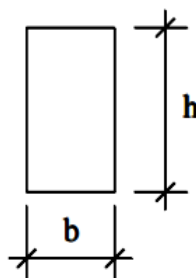
Para executar o método de grelha na análise de lajes nervuradas é necessário que as vigas e nervuras sejam substituídas por barras em seus eixos, gerando-se a grelha equivalente que passa a representar o pavimento. As características geométricas adotadas para representar as barras de grelha equivalente das nervuras normalmente são em forma de seção “T” e retangular para as vigas (SILVA, 2005).

Figura 2.9. Seção transversal que representa as nervuras na grelha equivalente



Fonte: Projeto e construção de lajes nervuradas de concreto armado, 2005.

Figura 2.9.1. Seção transversal que representa as vigas na grelha equivalente



Fonte: Projeto e construção de lajes nervuradas de concreto armado, 2005.

Para o cálculo das características geométricas da seção “T” (figura 2.9) que representa as nervuras no estágio I e desprezando as armaduras longitudinais, pode se utilizar as seguintes equações:

- Momento de inércia à flexão:

$$I_f = \frac{(b_f - b_w) \cdot h_f^3}{12} + \frac{b_w \cdot h^3}{12} + (b_f - b_w) \cdot h_f \cdot \left(y_{cg} - \frac{h_f}{2} \right)^2 + b_w \cdot h \cdot \left(y_{cg} - \frac{h}{2} \right)^2$$

EQUAÇÃO 14

- Momento de inércia à torção:

$$I_t = \frac{b_f \cdot h_f^3}{3} + \frac{(h - h_f) \cdot b_w^3}{3}$$

EQUAÇÃO 15

- Área da seção transversal:

$$A = (b_f \cdot h_f) + (h - h_f) \cdot b_w$$

EQUAÇÃO 16

Para o cálculo das características geométricas que representa as vigas na grelha equivalente (figura 2.9.1), no estágio I e desprezando as armaduras longitudinais, e sem levar em consideração a contribuição da laje adjacente, pode se utilizar as seguintes equações:

- Momento de inércia à flexão:

$$I_f = \frac{b \cdot h^3}{12}$$

EQUAÇÃO 17

- Momento de inércia à torção:

$$I_t = \frac{h \cdot b^3}{3}$$

EQUAÇÃO 18

- Área da seção transversal:

$$A = b \cdot h$$

EQUAÇÃO 19

2.2. Metodologia

Para a realização do estudo, utilizou-se um edifício residencial multifamiliar de três pavimentos, com dois apartamentos por andar, onde foi apresentado duas propostas estruturais, sendo uma composta por laje maciça e outra com laje nervurada, onde o dimensionamento foi feito através do *software Eberick*, utilizando analogia de grelha para cálculo das lajes e pórtico espacial para análise das vigas, pilares e fundações, levando em consideração todas as condições de deformações, esforços e ação do vento. Posteriormente foi realizado o resumo dos materiais para cada situação proposta e executado um orçamento, a fim de comparar valores reais, cuja a base do orçamento baseia-se nos custos do SINAPI, permitindo a comparação entre as propostas e assim avaliar qual o melhor e mais econômico sistema a ser adotado.

2.3. Discussão de Resultados

O presente estudo se deu através do auxílio do *software Eberick*. Através dele se obteve o dimensionamento das duas possíveis soluções estruturais para o edifício em estudo e, posteriormente, obteve o diagnóstico de cada uma delas, objeto pelo qual se dá a análise comparativa entre os principais fatores estruturais.

2.3.1. Peso da Estrutura

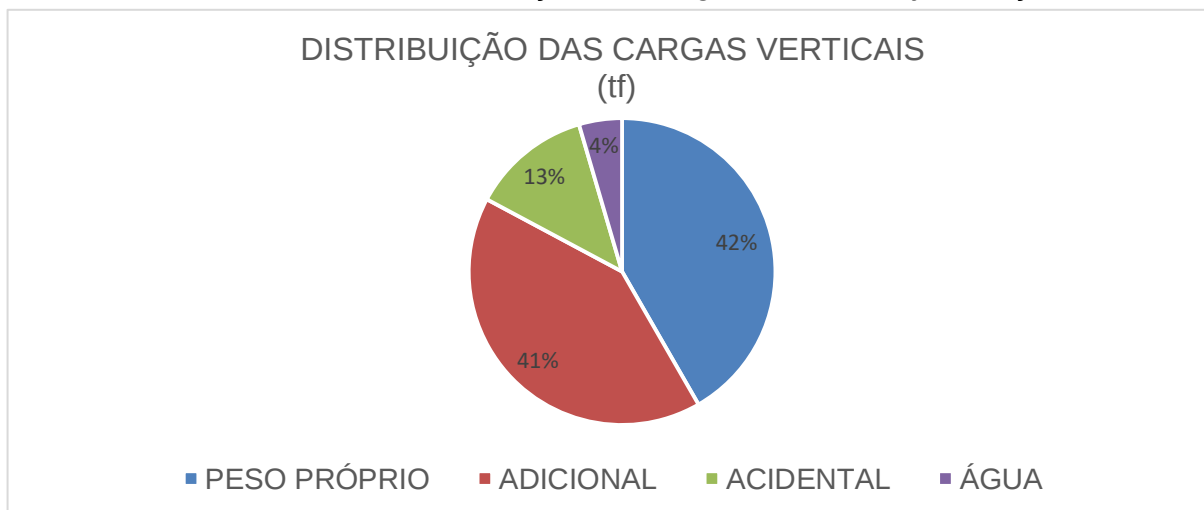
O peso de uma estrutura influencia diretamente no dimensionamento dos elementos estruturais, pois para determinar a quantidade de material, dimensões necessárias dos elementos para absorver os esforços, entre outros fatores, usa-se o

carregamento da estrutura, portanto, quanto mais carregada for a estrutura o gasto de matérias tende a aumentar, influenciando no seu custo final.

2.3.1.1 Peso da Estrutura em Laje Maciça

Observou-se que o carregamento da estrutura para laje maciça foi de 574,28 tf, sendo peso próprio de 239,42 tf; uma carga adicional de 236,14tf; carga acidental de 72,67 tf e uma carga devido a caixa d'água de 26,05 tf. O gráfico a seguir representa a porcentagem de cada carga atuante na edificação em relação ao carregamento total.

Gráfico 1. Distribuição das cargas verticais Laje Maciça

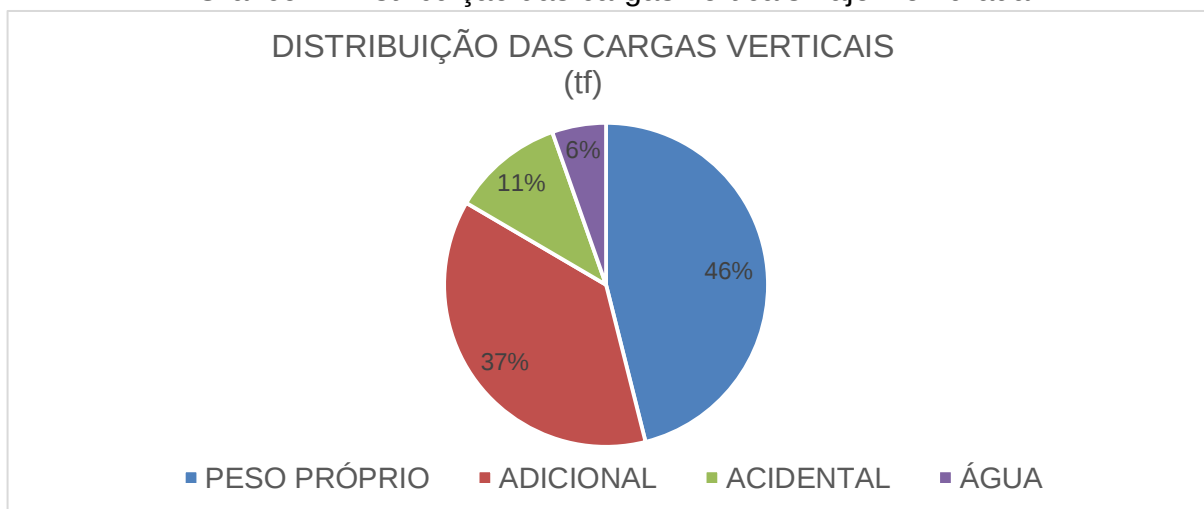


Fonte: A autora

2.3.1.2 Peso da Estrutura em Laje Nervurada

Observou-se que o carregamento da estrutura para laje nervurada foi de 529,96 tf, sendo peso próprio de 244,20 tf; uma carga adicional de 197,97 tf; carga acidental de 59,22 tf e uma carga devido a caixa d'água de 28,57 tf. O gráfico a seguir representa a porcentagem de cada carga atuante na edificação em relação ao carregamento total.

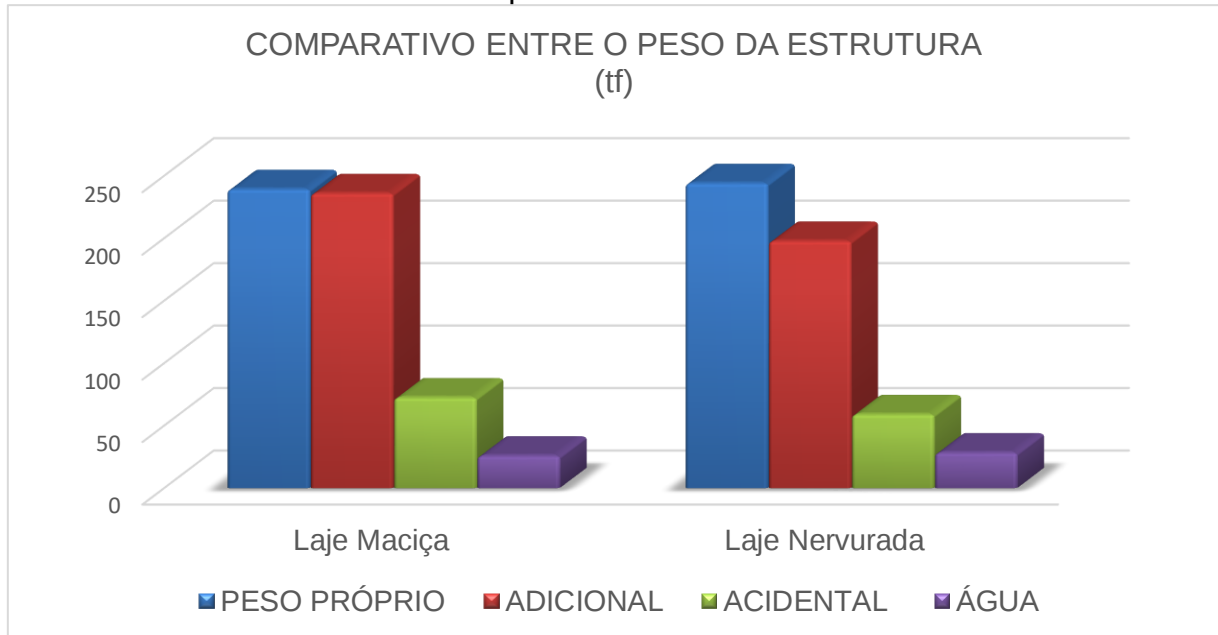
Gráfico 2. Distribuição das cargas verticais Laje Nervurada



Fonte: A autora

Nota-se que neste caso, que com a utilização de laje nervurada tem-se uma redução de 7,84% no peso da estrutura, valor este que impactará na fundação.

Gráfico 3. Comparativo entre o Peso das Estruturas



Fonte: A autora

2.3.2. Estabilidade da Estrutura

Para efeitos de cálculos, a estrutura pode ser considerada de nós fixos e de nós moveis, são consideradas estruturas de nós fixos aquela em que $\gamma_z \leq 1,1$; onde a deslocabilidade é pequena, portanto, não se deve considerar o efeito de 2º ordem no seu dimensionamento. Já estrutura de nós moveis são aquelas em que $\gamma_z \geq 1,1$; e tem deslocabilidade média ou alta, portanto, deve ser considerado os esforços de 2ª ordem, pois seus valores são significativos.

Na proposta composta por laje maciça, se é observado um coeficiente $\gamma_{zx} = 1,09$ e $\gamma_{zy} = 1,07$; ou seja, a estrutura é considerada rígida, de pequeno deslocamento, isso se dá pela utilização de pórtico, tornando a estrutura rígida o suficiente para suportar os esforços incididos sobre si. A outra proposta apresenta um coeficiente $\gamma_{zx} = 1,18$ e $\gamma_{zy} = 1,77$; ou seja, uma estrutura altamente deslocável, isso se dá pela ausência de pórtico no seu travamento, essa função é exclusivamente exercida pelos pilares.

Quanto mais rígida for uma estrutura menor será o seu deslocamento, portanto, a chance de gerar patologias na estrutura é mais baixo, porém, as estruturas mais flexíveis reduzem a utilização de formas.

QUADRO 3 – Estabilidade Global – Laje Maciça

Parâmetro	x	y
Gama-Z	1.09 (lim 1.10)	1.07 (lim 1.10)
Deslocamento horizontal (cm)	0.07 (lim 0.60)	0.04 (lim 0.60)
Deslocamento máximo dos pilares (cm)*	0.09	0.09
Deslocamento médio dos pilares (cm)*	0.08	0.07
Deslocamento máximo dos pilares* / Htotal	1/11398	1/11879
Deslocamento médio dos pilares* / Htotal	1/13465	1/13708

Fonte: A autora

QUADRO 4 – Estabilidade Global – Laje Nervurada

Parâmetro	x	y
Gama-Z	1.18 (lim 1.10)	1.77 (lim 1.10)
Deslocamento horizontal (cm)	0.21 (lim 0.69)	0.23 (lim 0.69)
Deslocamento máximo dos pilares (cm)*	0.68	1.47
Deslocamento médio dos pilares (cm)*	0.42	1.46
Deslocamento máximo dos pilares* / Htotal	1/1726	1/796
Deslocamento médio dos pilares* / Htotal	1/2761	1/798

Fonte: A autora

2.3.3. Estrutura de Consumo e Custos

Os custos de uma edificação são diretamente proporcionais a área edificada e o consumo de material gasto em cada método executivo, para a realização do estudo utilizou-se uma edificação de 568,39 m² e resultados são perceptíveis. Para realizar o orçamento, tomou-se como base para valor unitário o catálogo de composições analíticas do SINAPI do mês de setembro da Caixa Econômica Federal.

TABELA 1 – Orçamento com a utilização de Laje Maciça

INSUMO	ORÇAMNTO ESTRUTURAL		
	QUANT	VALOR UNIT. (R\$)	VALOR TOTAL (R\$)
(A) CONCRETO (m ³)	99,60	306,99	30.576,20
(B) Forma (m ²)	1232,50	73,19	90.206,68
(C) Aço-A50 (kg)	3834,60	6,83	26.190,32
(D) Aço-A60 (kg)	1363,86	11,98	16.339,04
TOTAL:			163.312,24

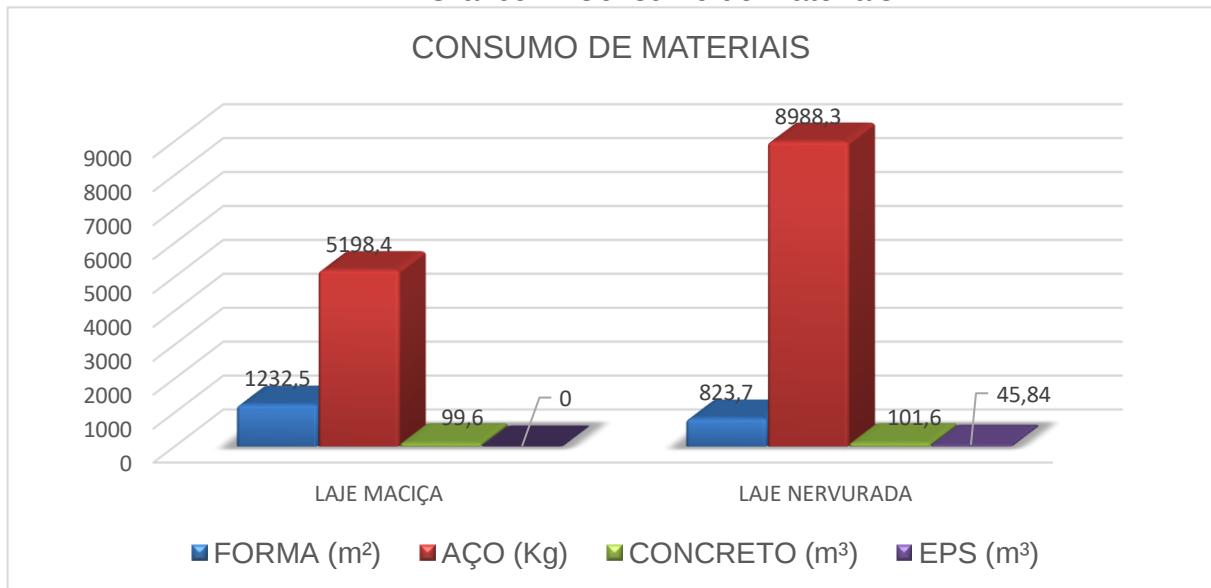
Fonte: A autora

TABELA 2 – Orçamento com a utilização de Laje Nervurada

INSUMO	ORÇAMNTO ESTRUTURAL		
	QUANT.	VALOR UNIT. (R\$)	VALOR TOTAL (R\$)
(A) CONCRETO (m ³)	101,60	306,99	31.190,18
(B) Forma (m ²)	823,70	73,19	60.286,60
(C) Aço-CA50 (kg)	7507,90	6,83	51.278,96
(D) Aço-CA60 (kg)	1480,40	11,98	17.735,19
(E) Eps (m ³)	45,84	197,10	9.030,48
TOTAL:			169.521,41

Fonte: A autora

Gráfico 4. Consumo de Materiais



Fonte: A autora

Percebe-se que quanto ao consumo de materiais, na utilização da estrutura com laje nervurada obteve uma redução de 33,17% no consumo de forma em relação a laje maciça, mas em contra partida teve um aumento de 2% no consumo de concreto e 72,91% no consumo de aço.

3. CONCLUSÃO

A partir do momento que analisamos dois tipos de estruturas podemos observar que inúmeras soluções são possíveis, definir qual a melhor escolha cabe ao engenheiro calculista, pois vários fatores implicam nesta decisão, como, finalidade da edificação, tempo de execução desejado e oferta de mão de obra qualificada.

Os modelos estudados trazem grandes variações em consumo e na disposição dos elementos estruturais, embora tenha uma grande redução da quantidade de forma com a utilização de nervuras, a quantidade de aço necessária foi muito superior, resultando em um custo final aproximado para as duas propostas. As duas soluções são possíveis, porém, neste caso ao optar pela estrutura em laje maciça traz uma economia de 3,80% em relação a nervurada, este percentual pode não ser considerável para a escolha do método de execução da estrutura, porém, uma estrutura mais rígida pode trazer mais conforto aos seus moradores, e em contra partida, a laje nervurada proporciona ambientes mais amplos. Diante dos dados obtidos não se obteve resultados significativo para sugerir um modelo estrutural, para tal decisão será necessário que o proprietário analise suas preferencias em relação ao arquitetônico, tempo de execução e conforto ocupacional. Vale ressaltar que cada obra é única, que os parâmetros utilizados neste trabalho não servem de base para demais dimensionamentos.

4. REFERÊNCIAS

ALONSO, Urbano Rodriguez, **Exercícios de Fundações**. São Paulo: Edgard Blucher, 1983.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118. **Projeto de estruturas de concreto – procedimento**. Rio de Janeiro, 2014.

BANKI, André Luiz. Critérios de projeto: In: AltoQi, Eberick V9, 2014.

BERNARDI, Douglas Francescato. **Estudo comparativo entre o modelo de viga contínua e o modelo de pórtico espacial para uma estrutura em concreto armado de pequeno porte**. 2007.

CARVALHO, C. Roberto et al, **Cálculo e Detalhamento de Estruturas Usuais de Concreto Armado**. São Paulo: Editora Pini Ltda, 2013.

CARVALHO, R. C.; FIGUEIREDO FILHO, J. R. D. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado: segundo a NBR 6118:2003**. São Carlos: EdUFSCar, 2013.

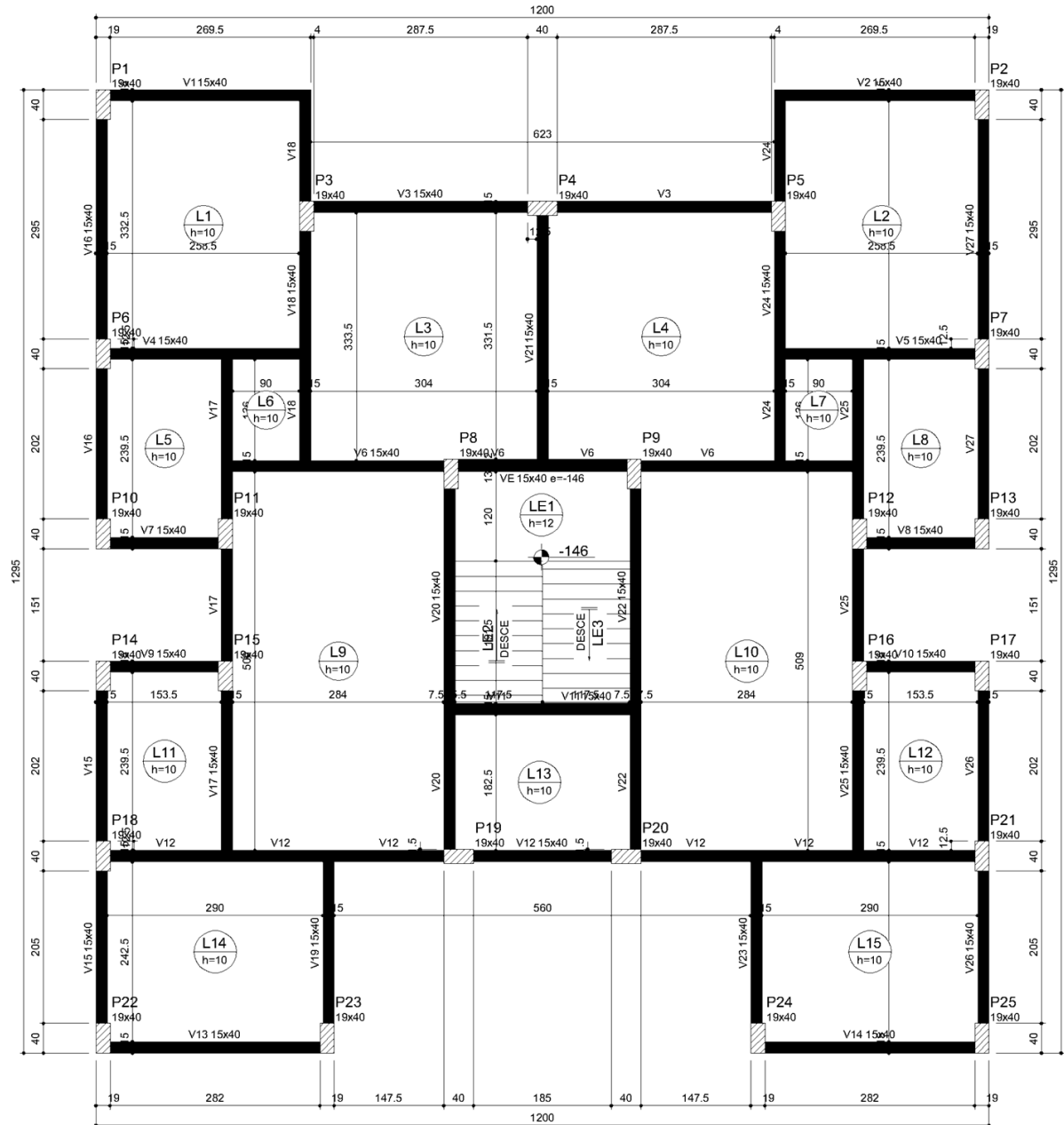
FEDERAL, Caixa Econômica. **SINAPI – Índice da Construção Civil**. Brasil, Governo Federal. Disponível em:< http://www1.caixa.gov.br/gov/gov_social/municipal/programa_des_urbano/SINAPI/index.asp>

SILVA, Marcos Alberto Ferreira da. **Design and construction of reinforced concrete ribbed slabs**.. 2005. 242 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Exatas e da Terra) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2005.

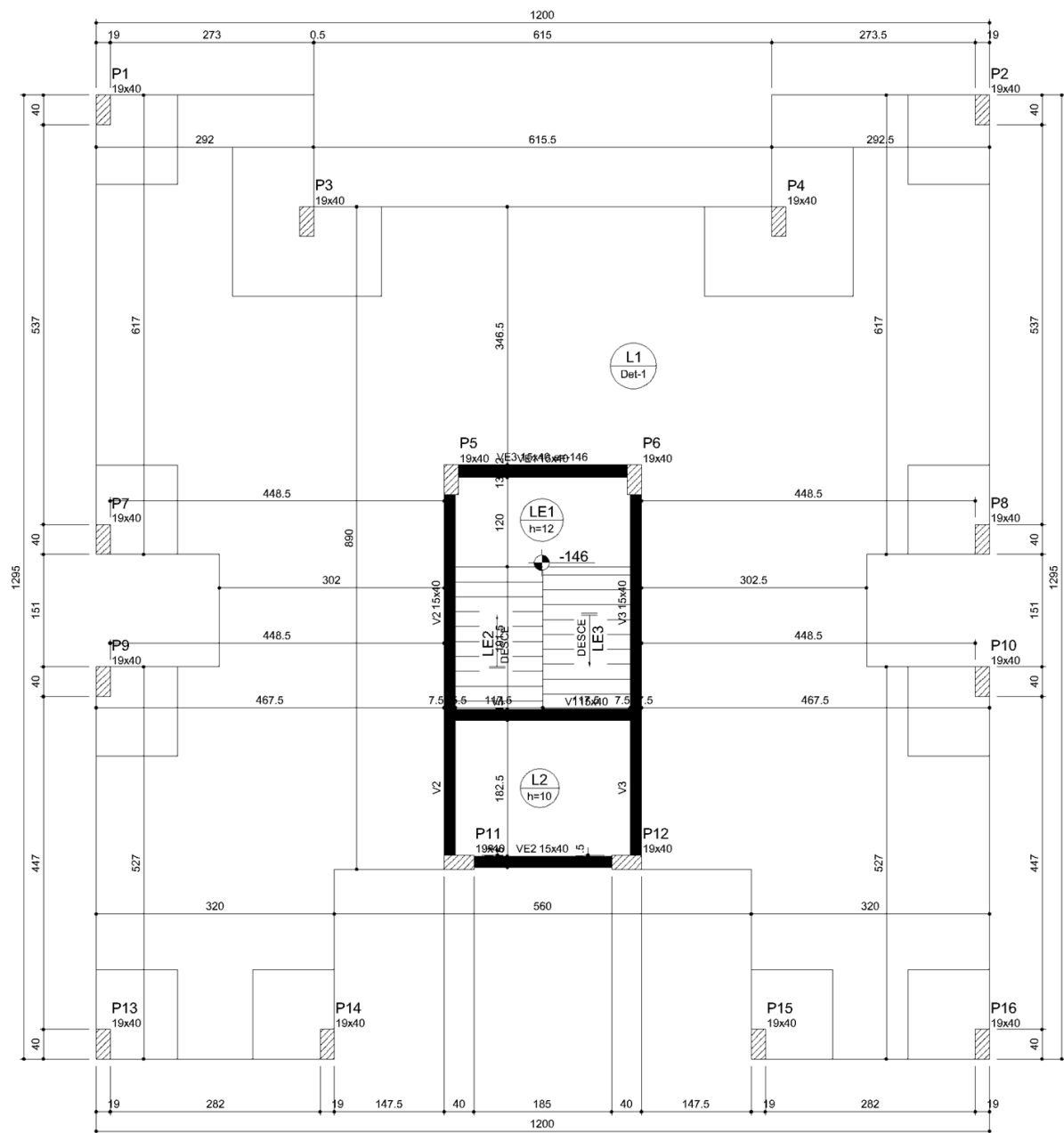
TEIXEIRA, A. H; GODOY, N. S. Análise, projeto e execução de fundações rasas. In: HACHICH, Waldemar; *et al*. **Fundações Teoria e prática**. São Paulo: Pini, 1998.

5. ANEXOS

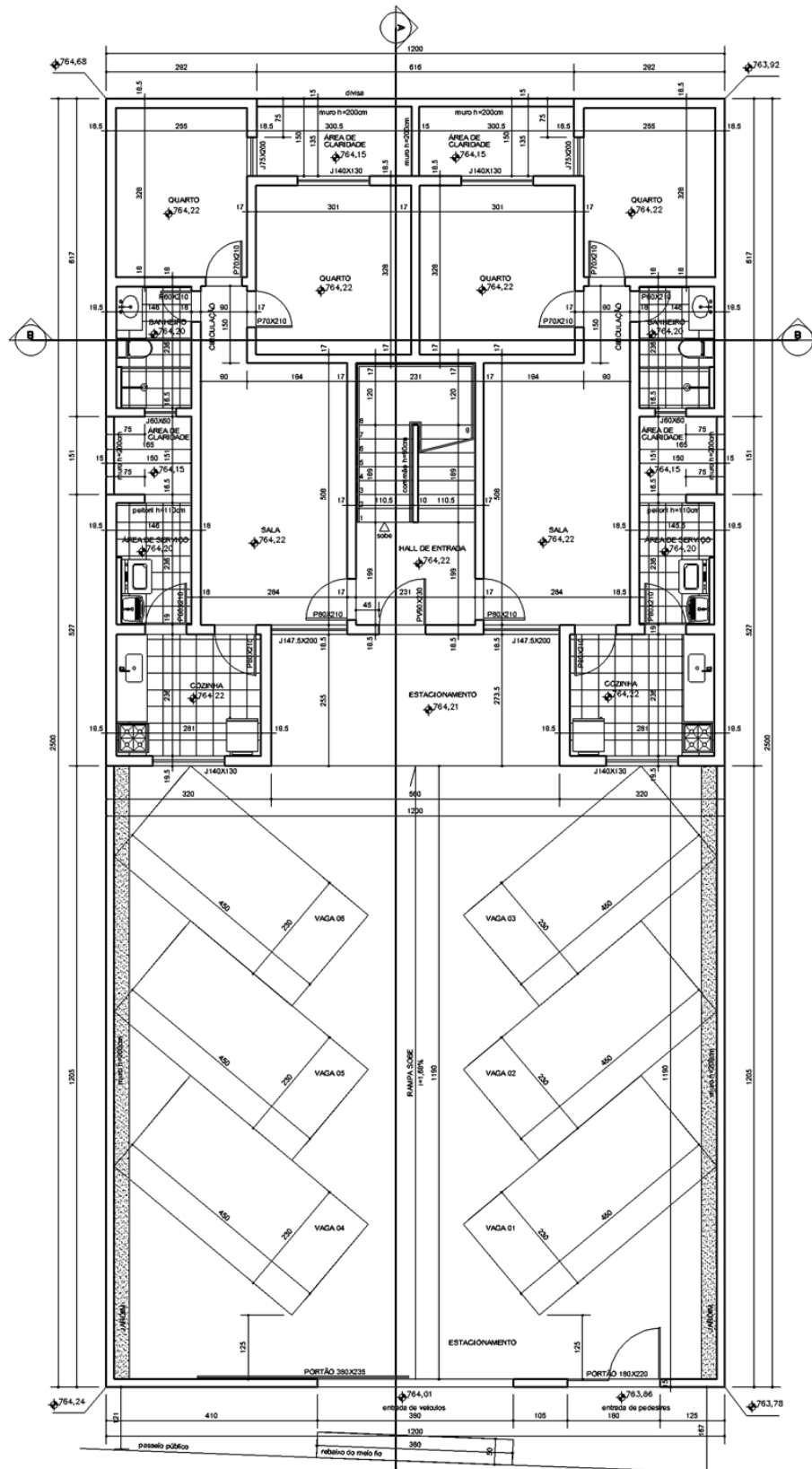
Anexo A – Planta de Forma em Laje Maciça, Engenheiro civil Carlos Henrique Carvalho Júnior.



Anexo B – Planta de Forma em Laje Nervurada, Engenheiro civil Carlos Henrique Carvalho Júnior.



Anexo C – Projeto arquitetônico do 1º pavimento, Engenheiro civil Leandro José Lima.

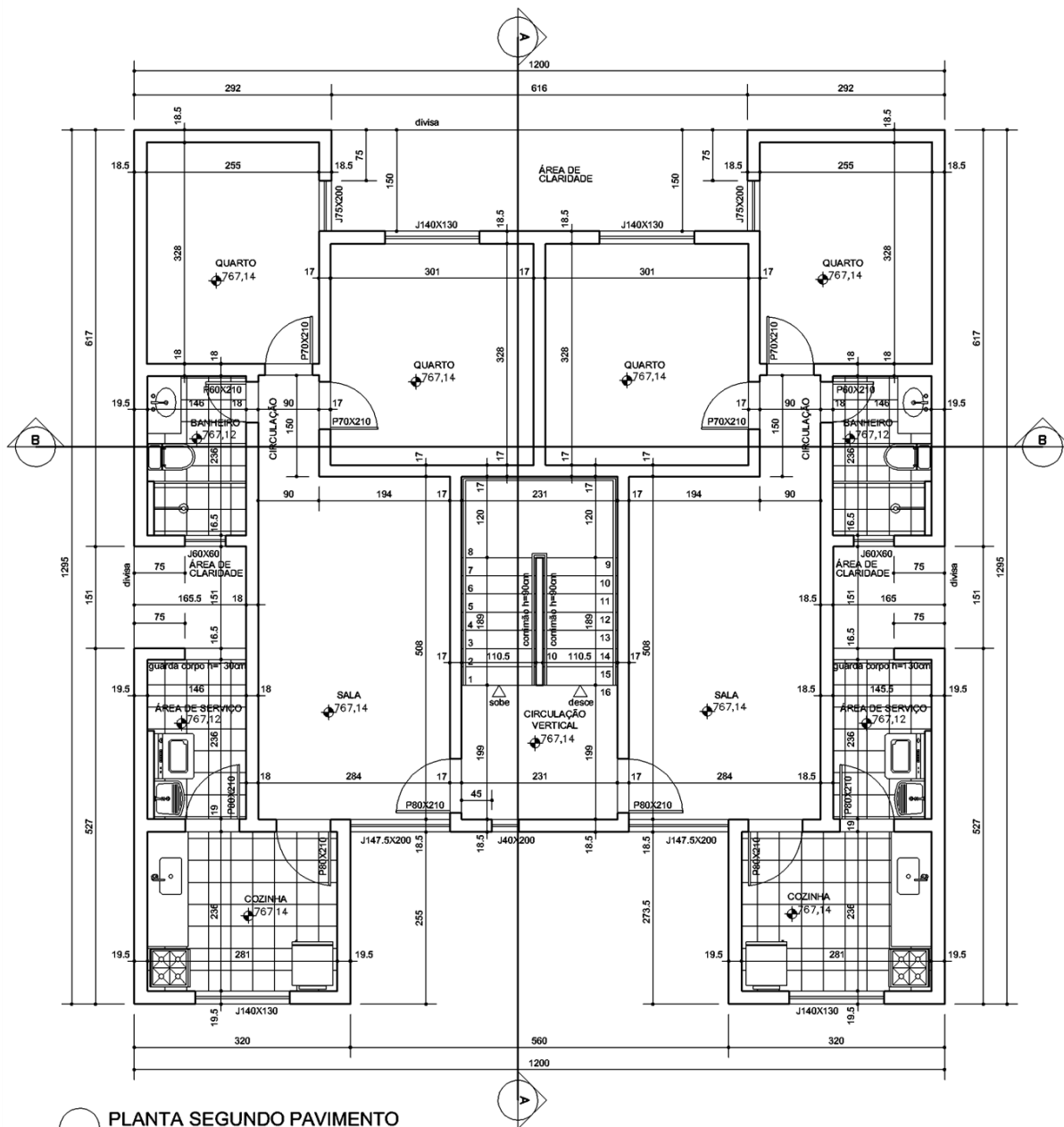


PLANTA PRIMEIRO PAVIMENTO
escala 1/50

ÁREA BRUTA = 126,80m²
ÁREA LÍQUIDA = 112,63m²

RUA EMILTON DO VALE LACERDA

Anexo D – Projeto arquitetônico do 2º e 3º pavimento, Engenheiro civil Leandro José Lima.



PLANTA SEGUNDO PAVIMENTO
escala 1/50

ÁREA BRUTA = 126,90m²
ÁREA LÍQUIDA = 113,63m²