



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
CENTRO MULTIDISCIPLINAR DE ANGICOS
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

ANANYAS GUILHERME SILVEIRA DE SOUSA

**ESTUDO DE DISTRIBUIÇÃO DE CARGAS EM LAJES TRELIÇADAS E
MACIÇAS E SEU EFEITO NOS ELEMENTOS VIGAS E PILARES**

ANGICOS/RN
2020

ANANYAS GUILHERME SILVEIRA DE SOUSA

**ESTUDO DE DISTRIBUIÇÃO DE CARGAS EM LAJES TRELIÇADAS E
MACIÇAS E SEU EFEITO NOS ELEMENTOS VIGAS E PILARES**

Trabalho Final de Graduação apresentado a
Universidade Federal Rural do Semi-Árido
como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador (a): Marcilene Vieira da Nóbrega,
Prof(a) Dra.

ANGICOS/RN
2020

©Todos os direitos estão reservados à Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996, e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tornar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata, exceto as pesquisas que estejam vinculadas ao processo de patenteamento. Esta investigação será base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) seja devidamente citado e mencionado os seus créditos bibliográficos.

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Bibliotecas
da Universidade Federal Rural do Semi-Árido, com os dados fornecidos pelo(a)
autor(a)

S725e Sousa, Ananyas Guilherme Silveira de.
Estudo de distribuição de cargas em lajes
treliçadas e maciças e seu efeito nos elementos
vigas e pilares / Ananyas Guilherme Silveira de
Sousa. - 2020.
43 f. : il.

Orientadora: Marcilene Vieira da Nóbrega.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia Civil,
2020.

1. Análise estrutural. 2. Transmissões de
cargas. 3. Elementos estruturais. I. Nóbrega,
Marcilene Vieira da, orient. II. Título.

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

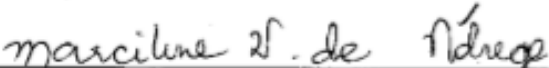
ANANYAS GUILHERME SILVEIRA DE SOUSA

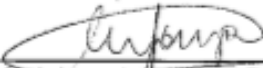
**ESTUDO DE DISTRIBUIÇÃO DE CARGAS EM LAJES TRELIÇADAS E
MACIÇAS E SEU EFEITO NOS ELEMENTOS VIGAS E PILARES**

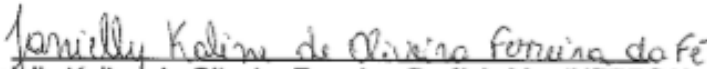
Trabalho Final de Graduação apresentado a
Universidade Federal Rural do Semi-Árido
como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil.

Defendida em: 28 / 01 / 2020

BANCA EXAMINADORA


Marcilene Vieira da Nóbrega, Prof(a). Dra. (UFERSA)
Presidente


Wendell Rossine Medeiros de Souza, Prof(a). Dr. (UFERSA)
Primeiro Membro


Janielly Kaline de Oliveira Ferreira, Prof(a). Ma. (UFERSA)
Segundo Membro

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por a cada dia me conceder a chance de viver e prosseguir com meus objetivos.

À minha família, por estar sempre ao meu lado me dando apoio na busca dos meus objetivos

A todos os meus amigos, que de uma forma ou de outra fizeram parte de todo o meu processo ao longo da minha formação acadêmica.

A todos os professores, com os quais tive a oportunidade de conviver em sala de aula.

À minha orientadora, a Prof.^a. Dra. Marcilene Vieira da Nóbrega, pela confiança depositada em mim

À instituição UFERSA, por tornar possível a inclusão de vários jovens do interior do estado, na luta pela sua formação superior.

RESUMO

A análise estrutural é um passo importante na verificação do comportamento da estrutura, através deste processo é possível analisar com detalhe como estão se comportando as transmissões de esforços ao longo de todos os elementos estruturais que compõe uma edificação. Esta pesquisa teve como objetivo, realizar um estudo da influência das técnicas construtivas lajes treliçadas e maciças, com ênfase na transmissão de efeitos para vigas e pilares. Este trabalho se caracteriza como sendo um estudo de caso onde será utilizada uma edificação de pequeno porte como objeto de análise da pesquisa. Os resultados obtidos nesta pesquisa, convergiram para valores não tão distantes com relação as variáveis empregadas na análise. Por fim, com as variáveis abordadas neste estudo, não se pode chegar à um consenso claro de qual técnica seria a mais vantajosa, cabendo à inclusão de outros aspectos como tempo de montagem, custo dentre outros, para que se possa ter uma conclusão mais precisa acerca do melhor método construtivo a ser empregado.

Palavras-chave: Análise estrutural. Transmissões de cargas. Elementos estruturais.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	–	Comportamento dos elementos estruturais.....	11
Figura 2	–	Transmissão das cargas entre os pavimentos de uma edificação.....	12
Figura 3	–	Pré-laje.....	13
Figura 4	–	Catalogo técnico.....	14
Figura 5	–	Disposição construtiva das armaduras.....	15
Figura 6	–	Treliça	16
Figura 7	–	Laje maciça	17
Figura 8	–	Limites para deslocamentos	18
Figura 9	–	Determinação dos vãos	18
Figura 10	–	Tipo da laje	19
Figura 11	–	Vinculos de uma laje.....	19
Figura 12	–	Arranjo das lajes	20
Figura 13	–	Reações de apoio.....	21
Figura 14	–	Áreas de influência ao longo da laje.....	22
Figura 15	–	Configurações das charneiras de acordo com o pavimento.....	23
Figura 16	–	Grelha.....	24
Figura 17	–	Configuração da análise da estrutura.....	25
Figura 18	–	Modelo de Pavimentos isolados x Modelo de Pórtico espacial.....	26
Figura 19	–	Coeficientes para áreas de aço das vigas.....	26
Figura 20	–	Quantificação de aço das vigas.....	27
Figura 21	–	Tabelas para áreas de aço.....	28
Figura 22	–	Valor para sobrecarga de utilização.....	28
Figura 23	–	Interface para inserção das lajes.....	29
Figura 24	–	Planta baixa do pavimento tipo.....	30
Figura 25	–	Planta de forma da edificação.....	31
Figura 26	–	Corte esquemático da edificação.....	32
Figura 27	–	Armação da laje maciça.....	33
Figura 28	–	Armação da laje treliçada.....	33
Figura 29	–	Configuração de Carga.....	34

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1	– Momentos positivos máximos para cada elemento no pavimento tipo	35
Gráfico 2	– Áreas de aço para os momentos positivos máximos estudados.....	36
Gráfico 3	– Momentos negativos máximos para cada elemento estudado no pavimento tipo.....	36
Gráfico 4	– Áreas de aço para os momentos negativos máximos estudados.....	37
Gráfico 5	– Cargas Axiais dos pilares pavimento térreo	38

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	9
1.1 OBJETIVOS.....	10
1.1.1 Objetivo geral.....	10
1.1.2 Objetivo específicos.....	10
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	11
2.1 ANÁLISE DE ESTRUTURAS E TRANSFERÊNCIA DE CARGAS.....	11
2.2 LAJE TRELIÇADA.....	13
2.2.1 Distribuição das cargas através das vigotas.....	15
2.3 LAJES MACIÇAS.....	17
2.3.1 Métodos das Charneiras Plásticas.....	21
2.3.2 Método das grelhas equivalentes.....	24
2.4 PROCESSAMENTO DE DADOS NO EBERICK.....	25
2.4.1 Método de análise.....	25
2.4.2 Quantificação de áreas de aço em vigas.....	26
2.4.3 Inserção de cargas nas lajes.....	28
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	30
3.1 TIPO DE PESQUISA.....	30
3.2 PLANTA BAIXA DA EDIFICAÇÃO ESTUDADA.....	30
3.3 DADOS PARA A ANÁLISE	34
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	35
4.1 ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE OS MOMENTOS POSITIVOS MÁXIMO DAS VIGAS ESTUDADAS NO PAVIMENTO TIPO.....	35
4.2 ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE OS MOMENTOS NEGATIVOS MÁXIMO DAS VIGAS ESTUDADAS NO PAVIMENTO TIPO	36
4.3 ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE AS CARGAS AXIAIS DOS PILARES DO PAVIMENTO TÉRREO.....	38
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	39
REFERÊNCIAS.....	40

1 INTRODUÇÃO

Elementos estruturais são peças que compõem uma edificação de grande ou pequeno porte, geralmente com uma ou duas dimensões preponderantes sobre as demais (vigas, lajes e pilares) e o modo como são arranjados podem ser denominados de sistema estrutural (CARVALHO & FILHO, 2013).

A NBR:6118-2014 (projeto de estruturas de concreto), cita a definição usual destes elementos, constituintes de estruturas de edifício de pequeno porte, que será o objeto de nosso estudo.

Conforme o item 14.4.1.1 da norma, as vigas podem ser caracterizadas como elementos lineares em que a flexão é preponderante; pilares, de acordo com o item 14.4.1.2 da norma, podem ser caracterizados como elementos lineares de eixo reto, usualmente dispostos na vertical, em que as forças normais de compressão são preponderantes e de acordo com item 14.4.2.1 a norma define lajes, como sendo elementos de superfície plana, sujeito principalmente a ações normais a seu plano.

Este trabalho terá como enfoque as estruturas de pequeno porte, a qual podem ser caracterizadas como sendo as que apresentam forma retangular muito simples, em que o número de pavimentos que constitui a edificação não é superior a quatro e que possuam também características como: ausência de protensão; cargas de uso nunca superiores a 3kN/m^2 ; altura de pilares até 4m e vãos não excedendo 6m; vão máximo de lajes até 4m (menor vão) ou 2m, no caso de balanços (PINHEIRO, 2007).

De acordo com Carvalho & Filho (2013, p.21). "A interpretação e a análise do comportamento real de uma estrutura são, geralmente, complexas e difíceis, e nem sempre possíveis".

Em razão disto se faz necessário adotar simplificações do sistema estrutural, de forma a viabilizar o processo de cálculo de uma estrutura, podendo ser caracterizada como a discretização de um modelo estrutural, no qual se baseia na divisão dos elementos (através de vinculações) constituintes de uma estrutura, onde é possível realizar uma análise isolada de cada elemento.

Reforçando o conceito de lajes, por estas serem o nosso objeto de estudo, essas se caracterizam por serem elementos planos, predominantemente horizontais, nos quais, se constituem duas dimensões muito maiores que a terceira, sendo esta denominada espessura. A função estrutural das lajes é receber os carregamentos

atuantes no andar, provenientes do uso da construção (pessoas, móveis e equipamentos), e transferi-los para os apoios (PINHEIRO, 2007).

De acordo com Carvalho & Pinheiro (2009, p. 12), “o pavimento de uma edificação, devido a sua grande superfície, é normalmente, a parte da estrutura onde se consome mais material”; deste modo ao se projetar um pavimento de forma que se possa reduzir ao máximo a espessura da laje, pode-se ganhar certa economia de material na edificação e consequentemente no custo final da obra.

1.1 OBJETIVOS GERAL E ESPECÍFICOS

1.1.1 Objetivo Geral

Realizar um estudo da influência das técnicas construtivas lajes treliçadas e maciças, com ênfase na transmissão de efeitos para vigas e pilares, em uma edificação de pequeno porte.

1.1.2 Objetivos Específicos

- ✓ Dimensionar lajes maciças utilizando o software de dimensionamento Eberik.
- ✓ Dimensionar lajes nervuradas utilizando o software de dimensionamento Eberik.
- ✓ Verificar a influência das técnicas construtivas em vigas com relação a composição da taxa de armadura em função dos momentos máximos para ambos os tipos de lajes;
- ✓ Verificar a influência das técnicas construtivas na composição das cargas axiais dos pilares no pavimento térreo para ambos os tipos de lajes.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 ANÁLISE DE ESTRUTURAS E TRANSFERÊNCIA DE CARGAS

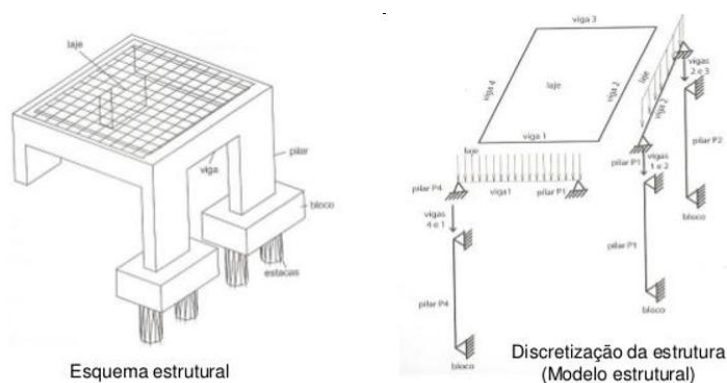
Inúmeras são as formas de se realizar um processo de dimensionamento de uma estrutura, cabe ao profissional responsável por esta tarefa escolher os melhores artifícios computacionais e modelos analíticos, para uma boa elaboração do projeto.

Sendo as estruturas, sistemas físicos capazes de receber e transmitir esforços como em edifícios, torres e pontes. Um dos principais objetivos da análise de estruturas é relacionar, em idealizações simplificadoras desses sistemas e utilizando propriedades de material determinadas experimentalmente, as ações externas atuantes com os deslocamentos, reações de apoio e tensões (ou suas resultantes), de maneira a poder identificar eventual deficiência de comportamento do material constituinte de comportamento da estrutura como um todo ou suas partes (SORIANO, 2010).

Apesar de todo avanço tecnológico no desenvolvimento de softwares computacionais, ainda é necessário que o projetista possa conceber e definir a melhor estrutura para cada situação e para tanto, há a necessidade de se conhecer com profundidade o comportamento estrutural, no qual um projeto auxiliado por um programa de computador resulte em uma estrutura segura, racional, funcional e econômica (CARVALHO & PINHEIRO, 2009).

Em vista da importância do comportamento da estrutura de forma global, vale ressaltar como se comportam os elementos de forma localizada conforme é ilustrado na Figura 01.

Figura 1: Comportamento dos elementos estruturais



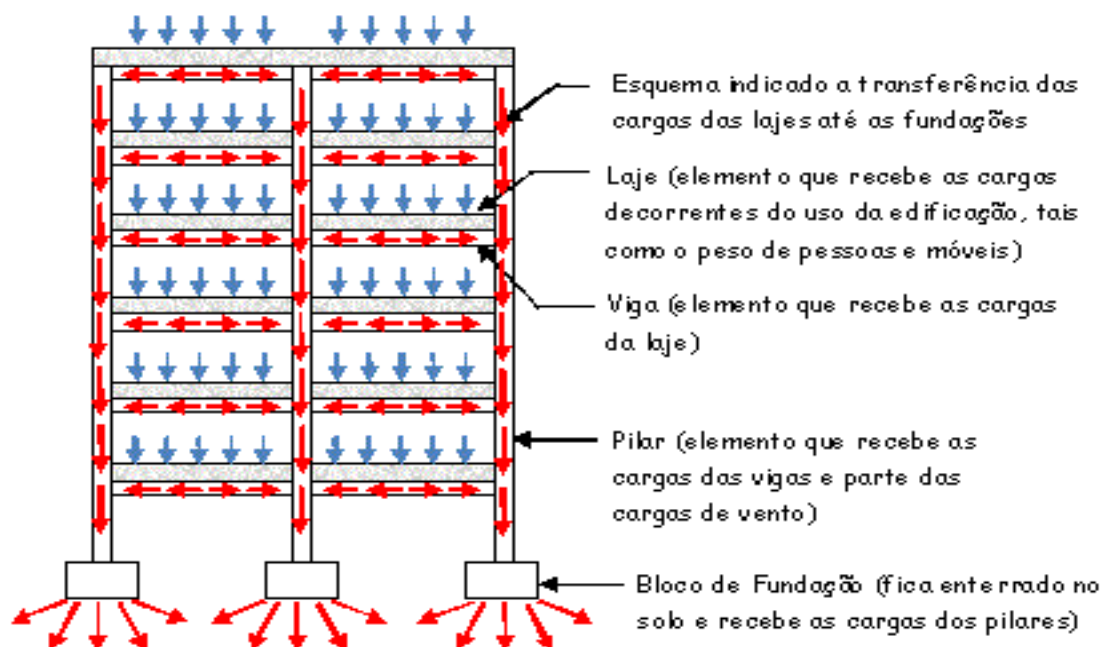
Fonte: (CARVALHO & FIGUEIREDO FILHO, 2013)

Com isso, a eficiência no uso de sistemas computacionais para a análise automática de estruturas é atualmente disponível e indispensáveis nos escritórios de projetos, entretanto não é aconselhável a sua utilização por usuários que não tenham a capacidade de avaliação crítica dos resultados obtidos (SORIANO, 2010).

Deste modo, há a necessidade de se fazer a escolha de um sistema estrutural adequado para os tipos de pavimentos adotados, levando em conta os processos construtivos que serão utilizados, tendo em vista os preceitos básicos para sua configuração: finalidade da edificação; projeto arquitetônico; cargas de utilização; tamanho do vão a se vencer; disponibilidade de equipamentos, materiais e mão de obra; custos e interação com os demais subsistemas construtivos da edificação (CARVALHO & PINHEIRO, 2009).

É conveniente em um processo de dimensionamento de uma edificação, iniciar com os levantamentos de cargas a partir das lajes, pois partindo delas é que se verifica o encaminhamento das cargas ao longo dos elementos estruturais da construção, conforme ilustrado na Figura 2.

Figura 2: Transmissão das cargas entre os pavimentos de uma edificação.



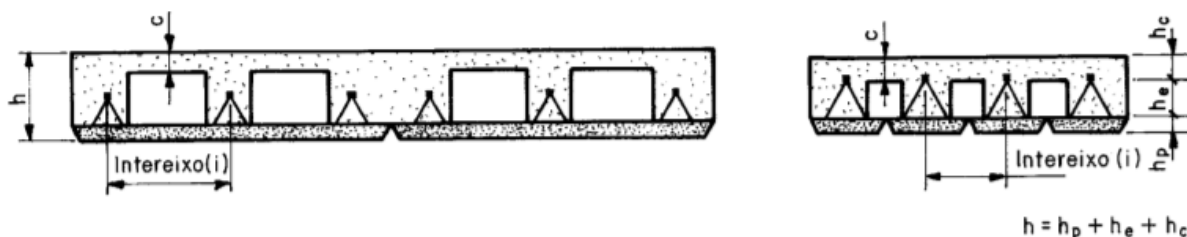
Fonte: (ALMEIDA & SANTOS, 2017)

2.2 LAJES TRELIÇADAS

As lajes pré-moldadas se caracterizam por serem elementos constituídos de vigotas pré-moldadas treliçadas, nos quais se pode considerar uma laje nervurada, que de acordo com a NBR 6118:2014 é aquela que tem seus esforços de tração distribuídos nas nervuras. É verificada a produtividade nesse tipo de laje devido à substituição do concreto abaixo da linha neutra por materiais de enchimento inertes, deste modo, observar-se a redução do peso específico da laje (SANTOS, 2009).

Constituídas por placas, em que sua espessura pode variar de 3,0 cm a 5,0 cm, também conhecidas como pré-laje (Figura 3), são compostas por concreto estrutural, executadas industrialmente fora do local de utilização definitivo da estrutura, ou mesmo em canteiros de obra, sob rigorosas condições de controle de qualidade (FERREIRA, 2015)

Figura 3: Pré-laje



Fonte: (NBR 14860-1, 2002).

C: é a capa;

H: é a altura total;

H_p: é a altura da pré-laje;

H_e: é a altura do elemento de enchimento;

H_c: é a altura da capa.

Os elementos de enchimentos conforme a norma (NBR 14860-1, 2002), são componentes pré-fabricados, com materiais inertes diversos, sendo maciços ou vazados, intercalados entre as nervuras das pré-lajes, no caso de lajes com seção final nervurada, com a função de reduzir o volume de concreto e o peso próprio da laje. São desconsiderados como colaboradores nos cálculos de resistência e rigidez da laje.

Suas dimensões variam conforme o projeto, cabendo a empresa responsável avaliar as cargas que iram incidir na laje, por este motivo recomenda-se analisar catálogos técnicos como o da Figura 4 para verificar qual tipo de laje se adequa para suas situações de uso.

Figura 4: Catalogo técnico

TABELA DE VÃOS MÁXIMOS (m)														
Tipo* (beta)	Altura do enchimento + Capa de Concreto (cm)	Ação permanente de Peso Próprio (Kgf / m²)	Consumo de Concreto (l / m³)	Sobrecarga (Kgf / m²)										
				100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600
LT 12	7 + 5	202	58	5,00	4,30	4,25	4,15	4,10	4,00	3,95	3,90	3,85	3,80	3,75
LT 14	10 + 4	203	60	5,90	4,85	4,75	4,65	4,60	4,50	4,45	4,40	4,35	4,25	4,20
LT 16	12 + 4	221	62	6,70	5,40	5,35	5,25	5,15	5,10	5,00	4,95	4,85	4,80	4,75
LT 20	16 + 4	261	71	7,80	6,45	6,35	6,25	6,20	6,10	6,05	5,95	5,90	5,85	5,75
LT 25	20 + 5	326	90	9,00	7,50	7,45	7,35	7,25	7,20	7,10	7,05	6,95	6,90	6,85
LT 30	24 + 6	400	112	9,70	8,70	8,60	8,55	8,45	8,35	8,30	8,20	8,15	8,10	8,00

Fonte: (LAJES JUNDIAI, 2018).

A (NBR 14860-1, 2002), especifica as armaduras que devem compor este tipo de elemento estrutural, a qual podem ser denominadas de armaduras complementares.

Do tipo longitudinal, que é a armadura utilizada quando da impossibilidade de integrar na pré-laje toda a armadura passiva inferior de tração necessária.

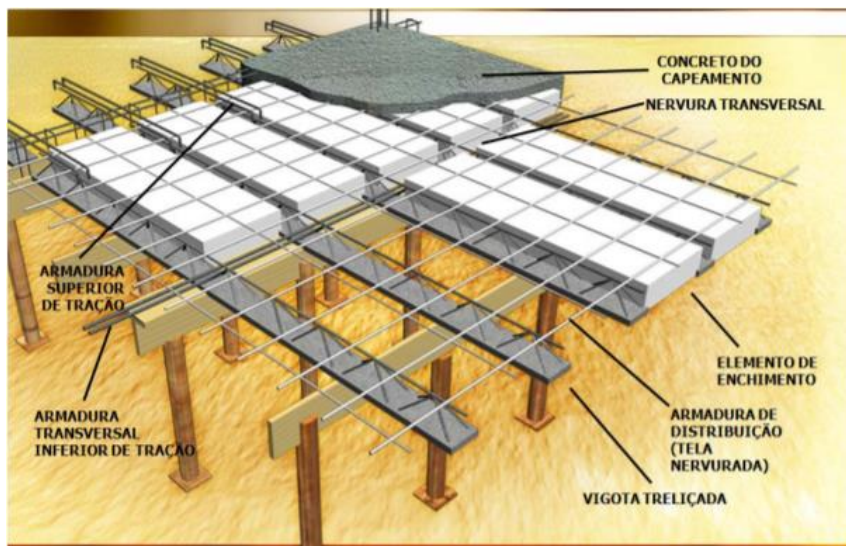
Do tipo transversal, armadura que compõe a armadura inferior das nervuras transversais de travamento (quando houver necessidade).

A de distribuição, armadura posicionada na capa nas direções transversal e longitudinal, quando necessário, para a distribuição das tensões oriundas de cargas concentradas e para o controle da fissuração.

A superior de tração: armadura disposta sobre os apoios nas extremidades das pré-lajes, no mesmo alinhamento das nervuras longitudinais e posicionada na capa. Proporciona a continuidade das nervuras longitudinais e destas com o restante da estrutura, o combate à fissuração e a resistência ao momento fletor negativo, de acordo com o projeto da laje.

Na Figura 5 pode ser visto de maneira mais clara a disposição de cada tipo de armadura que constitui o elemento.

Figura 5: Disposição construtiva das armaduras



Fonte: (SARTOTI, 2010).

2.2.1 Distribuição das cargas através das vigotas

É comum no caso de vigotas (nervuradas) em apenas uma direção (lajes unidirecionais) que a distribuição das reações de apoio da laje seja considerada em apenas uma única direção. Com isso, admite-se que as vigas em que as vigotas pré-fabricadas se apoiam recebam todo o carregamento, não se considerando qualquer reação da laje nas vigas paralelas a estes elementos. Tal consideração não reflete o real comportamento estrutural destas lajes, pois mesmo que a laje seja unidirecional, uma parcela de carga é transmitida pela capa de concreto aos apoios em que as vigotas não estão apoiadas (SILVA, 2012).

O estudo realizado por (CARVALHO & FIGUEIREDO FILHO, 2013) contribuiu para a constatação deste fenômeno, nele é apontado que no processo de dimensionamento de lajes com vigotas treliçadas não é possível admitir que as vigas paralelas aos trilhos das lajes não recebam qualquer carga proveniente das mesmas.

Neste estudo os autores constataram que é necessário se considerar um valor de aproximadamente 25% da carga total, proveniente da laje, para as vigas que se encontram paralelamente as vigotas.

Neste contexto foi desenvolvido um processo de cálculo simplificado que são regidos a partir das seguintes formulações:

Primeiro caso: Ação nas vigas perpendiculares às nervuras.

$$P*L/2 \quad (2.1).$$

Segundo caso: Ação nas vigas paralelas às nervuras.

$$0,25P*L/2 \quad (2.2).$$

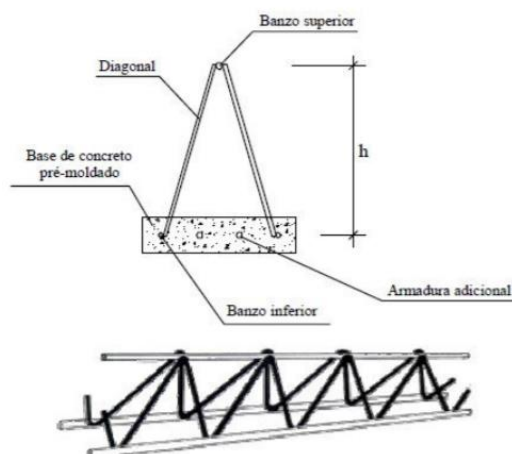
Onde:

P: É constituído pela composição de cargas, acidentais prevista na NBR:6120, permanentes obtidas por catálogos de fabricantes como pode ser vista na figura 2 e sobrecarga permanente proveniente de revestimentos de forro e pisos.

L: Varia conforme a posição das vigas em relação ao sentido das vigotas das lajes.

Estas cargas se distribuem ao longo da treliça (Figura 6), onde a armadura que compõe ela tem a função de resistir aos esforços de tração pelo banzo inferior, aos esforços de compressão pelo banzo superior, quando a linha neutra estiver entre os banzos, e servir de base para o apoio do elementos de enchimento, por sua vez as diagonais proporcionam rigidez ao conjunto e facilitam as condições de transporte e manuseio (SILVA, 2012).

Figura 6: Treliça

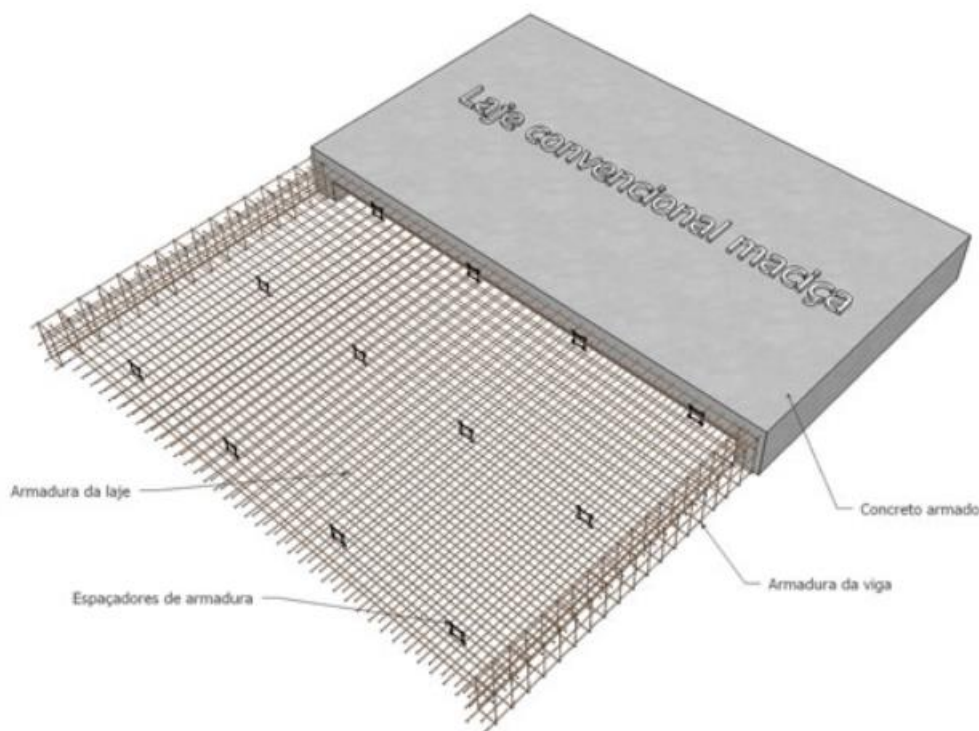


Fonte: (SILVA, 2012).

2.3 LAJES MACIÇAS

As lajes maciças são elementos constituintes de uma seção constante de concreto (Figura 7). O sistema estrutural composto por lajes maciças apresenta características próprias em relação a outros tipos de lajes, de forma que possibilitam com que haja distribuição de suas reações nas suas vigas de contorno, fazendo com que ocorra um melhor aproveitamento das vigas do pavimento, pelo fato de que todas elas poderão ter cargas de ordem de grandezas similares, levando em conta apenas o vão em que estão inseridas (CARVALHO & FIGUEIREDO FILHO, 2013).

Figura 7: Laje maciça



Fonte: (VASCONCELLOS, 2012).

Os valores para sua espessura são especificados pela NBR 6118, cuja dimensões mínimas visão estabelecer a garantia da segurança para este elemento, que são: 7cm para cobertura não em balanço; 8cm para lajes de piso não em balanço; 10cm para lajes que suportem veículos de peso total menor ou igual a 30kN; 12cm para lajes que suportem veículos de peso total maior que 30kN e 15cm para lajes com pro tensão apoiadas em vigas.

A norma especifica também os deslocamentos limites que podem ocorrer nos elementos estruturais em função dos carregamentos que estão associados a estrutura como um todo, os valores limites normalmente utilizados para lajes podem ser vistos na Figura 8.

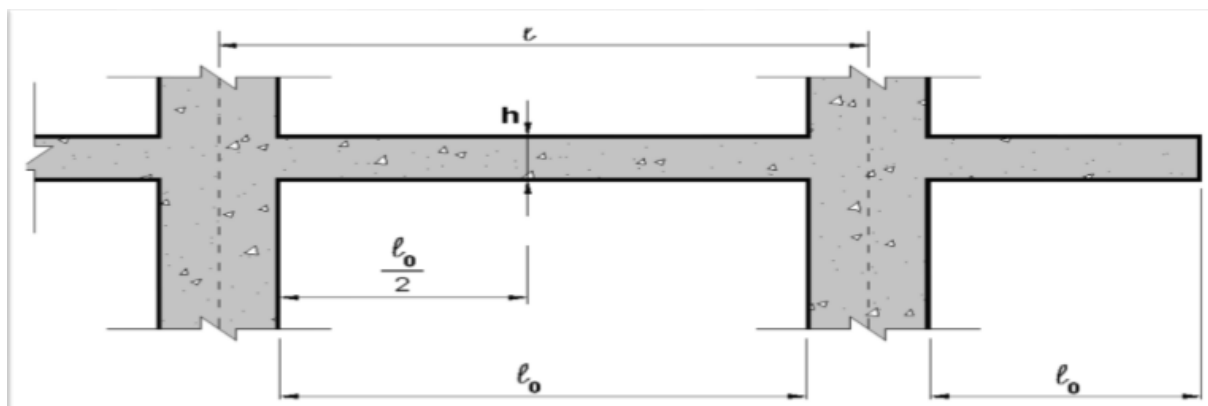
Figura 8: Limites para deslocamentos

Tipo de efeito	Razão da limitação	Exemplo	Deslocamento a considerar	Deslocamento-limite
Aceitabilidade sensorial	Visual	Deslocamentos visíveis em elementos estruturais	Total	$l/250$
	Outro	Vibrações sentidas no piso	Devido a cargas acidentais	$l/350$

Fonte: (NBR 6118:2014).

O processo de dimensionamento de lajes maciças está dividido em um número delimitado de etapas, no qual de acordo com Pinheiro (2007) a primeira parte deste processo consiste na determinação dos vãos conforme ilustra a Figura 9, onde se determina o vão livre e teórico do elemento, respectivamente l_o e l .

Figura 9: Determinação dos vãos

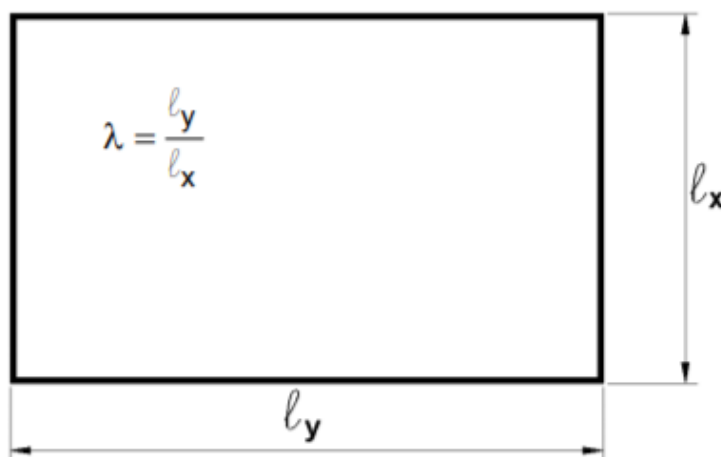


FONTE: (PINHEIRO, 2007).

O vão livre é a distância livre entre as faces dos apoios. No caso de balanços, é a distância da extremidade livre até a face do apoio e o vão teórico definido como a distância entre os centros dos apoios.

O próximo passo no processo de dimensionamento consiste na determinação do modelo da laje ao qual denominam-se as lajes armadas em uma direção e as armadas em duas direções conforme exemplificado na Figura 10.

Figura 10: Tipo da laje



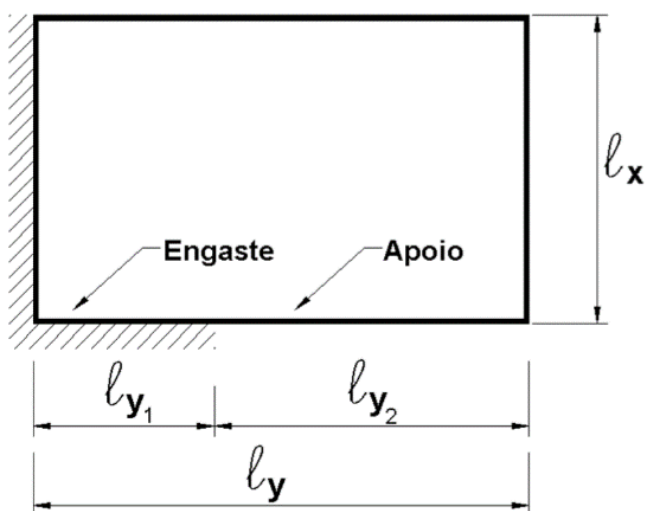
FONTE: (PINHEIRO, 2007).

Assim conhecido o vão teórico, por convenção denominasse l_x como sendo o menor vão da laje, desta forma é possível aferir com qual tipo de laje está se trabalhando, de acordo com o coeficiente λ (PINHEIRO, 2007).

- $\lambda \leq 2 \rightarrow$ laje armada em duas direções;
- $\lambda > 2 \rightarrow$ laje armada em uma direção.

Em seguida é conveniente adotar o tipo de vinculação referente ao contorno das lajes Figura 11.

Figura 11 : Vinculos de uma laje



Fonte: (PINHEIRO, 2007).

Onde é considerado, para efeito de cálculo uma borda totalmente apoiada, quando a relação de l_{y1} menor ou igual à $l_y/3$ é satisfeita.

O outro critério de vinculação é quando temos uma borda totalmente engastada entre duas lajes, este critério é satisfeito a partir da relação l_{y1} maior ou igual à $2 \cdot l_y/3$.

Conforme for as vinculações em torno da laje ela poderá apresentar os seguintes arranjos Figura 12.

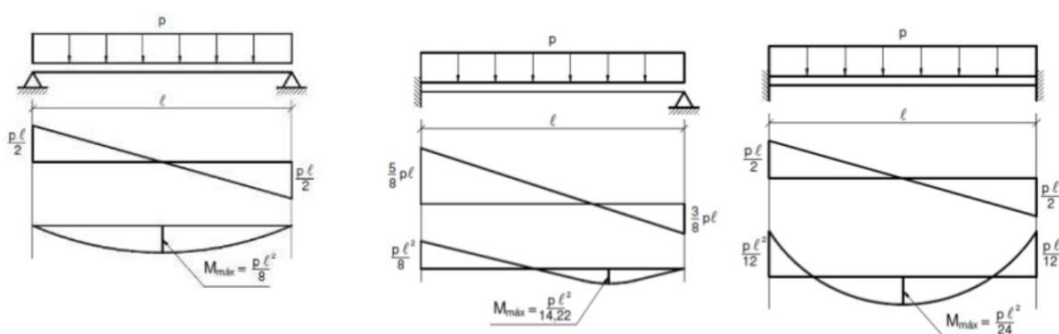
Figura 12: Arranjo das lajes

Caso	Vinculação	Caso	Vinculação	Caso	Vinculação
1		2A		2B	
Quatro bordas simplesmente apoiadas		Uma borda menor engastada		Uma borda maior engastada	
3		4A		4B	
Duas bordas adjacentes engastadas		Duas bordas menores engastadas		Duas bordas maiores engastadas	
5A		5B		6	
Uma borda maior apoiada		Uma borda menor apoiada		Quatro bordas engastadas	

Fonte: (PINHEIRO,1993).

Seguidos os passos anteriores, no primeiro caso, em que se considera uma laje armada em uma direção, suas reações de apoio, transmitidas para as vigas podem ser facilmente atribuídas a partir de formulações da estática (Figura 13), conforme seja apresentado suas vinculações com as lajes adjacentes.

Figura 13: Reações de apoio



Fonte: (HIBBELER, 2010).

Quando nos deparamos com um tipo de laje em que seu arranjo possibilite com que este elemento seja condicionado a trabalhar em duas direções ou em cruz, podemos fazer o uso de tabelas, em que torna possível a análise dos esforços que estão presentes na laje condicionado aos coeficientes fornecidos por elas.

Conforme atribuído o tipo da laje e seu tipo de vinculação podemos fazer o uso das tabelas de Bares-Czeny, responsáveis por fornece-nos os coeficientes necessários para o cálculo dos esforços presentes neste tipo de elemento, elas são denominadas como uma espécie de quantificação do cálculo das lajes maciças retangulares, supondo-as com uma grelha de vigas, mas levando em conta o efeito de resistência pelo fato de a laje ser inteiriça e continua e, portanto, mais resistente do que a grelha de vigas independentes imaginada(BOTELHO,2015).

Outro processo de cálculo para lajes é a aplicação do método das charneiras plásticas ou métodos das áreas, como também o método das grelhas. Este último é utilizado no software de dimensionamento que será aplicado neste trabalho.

Ambos os métodos quantificam as reações de apoios como também os momentos que estarão incidindo nas vigas de contorno das lajes.

2.3.1 Métodos das Charneiras Plásticas

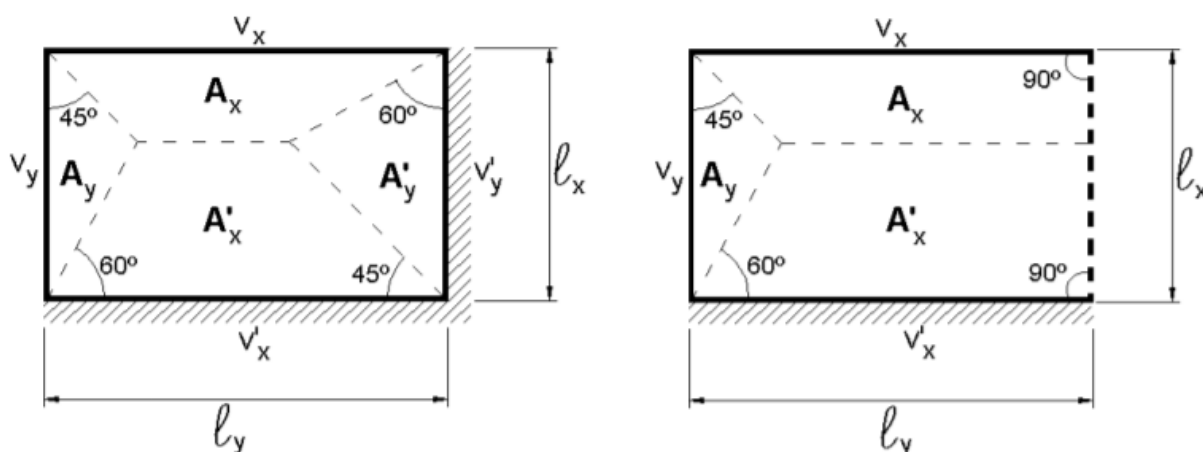
De acordo com Pinheiro (2007), as ações atuantes nas lajes são transferidas para as vigas de apoio. Embora essa transferência aconteça com as lajes em comportamento elástico, o procedimento de cálculo proposto pela NBR 6118:2014 baseia-se no comportamento em regime plástico, a partir da posição aproximada das linhas de plastificação, também denominadas charneiras plásticas.

Assim no que diz respeito o item 14.7.6.1 da NBR 6118:2014, pode-se efetuar o cálculo das reações de apoio de lajes retangulares sob carregamento uniformemente distribuído considerando-se, para cada apoio, carga correspondente aos triângulos ou trapézios obtidos, traçando-se, a partir dos vértices, na planta da laje, retas inclinadas de conforme pode ser visto na Figura 14:

- 45° entre dois apoios do mesmo tipo;
- 60° a partir do apoio engastado, se o outro for simplesmente apoiado;

- 90° a partir do apoio vinculado (apoiado ou engastado), quando a borda vizinha for livre.

Figura 14: Áreas de influência ao longo da laje

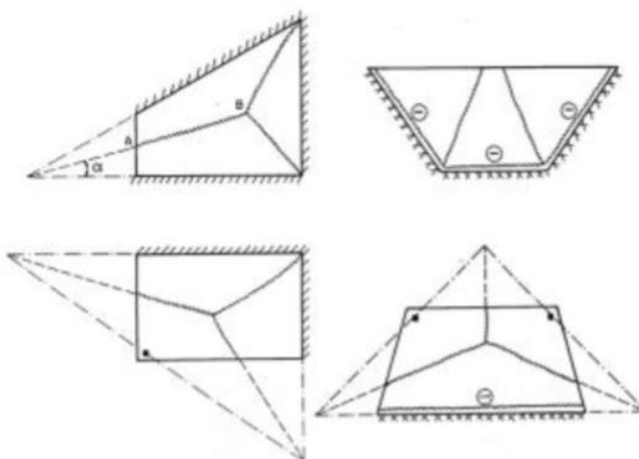


Fonte: (PINHEIRO, 2007).

Como outros tipos de elementos estruturais, as lajes estão submetidas à flexão, de forma que sujeito a esse esforço corre o risco de atingir a ruína por ruptura do concreto à compressão, sendo verificada a ruptura frágil do elemento, sem que a armadura que a constitui não atinja seu limite de escoamento. Com este tipo de comportamento, pode se denominar o elemento como super armado, ou também as lajes podem apresentar a ruptura do concreto com a armadura em escoamento, de forma que são denominadas de subarmadas (GONZALES, 1997).

Ainda de acordo com Gonzales (1997), a teoria das charneiras plásticas consiste na aplicação às placas do teorema do limite superior do cálculo plástico e fornece um valor de carga igual ou superior à carga de ruína (Figura 15).

Figura 15: Configurações das charneiras de acordo com o pavimento



Fonte: (GONZALES, 1997).

Deste modo, Rios (1991), afirmar que; “um mecanismo equivalente a qualquer configuração de ruína cinematicamente admissível [...]. A carga obtida com a aplicação do teorema cinemático é contra a segurança. Sendo então, um limite superior”.

Neste sentido Gonzales (1997), descreve as hipóteses fundamentais para realização do cálculo da teoria das charneiras plásticas.

- I: O material é considerado rígido-plástico, ou seja, as deformações elásticas são desprezadas em face das deformações plásticas.
- II: As lajes devem ser subarmadas, isto é, as taxas de armaduras devem ser pequenas e suficientes para que não ocorra ruptura do concreto por compressão antes do escoamento das armaduras.
- III: Ao longo e nas vizinhanças de cada charneira o momento fletor é considerado constante e igual ao momento máximo que a laje pode resistir.
- IV: Não deverá haver ruína prematura por cisalhamento ou por punção. A ruína da estrutura deve ocorrer com formação de um mecanismo de colapso.
- V: Desprezam-se as reservas de resistência, provenientes dos efeitos de membrana e do fenômeno do endurecimento do aço.

2.3.2 Método das grelhas equivalentes

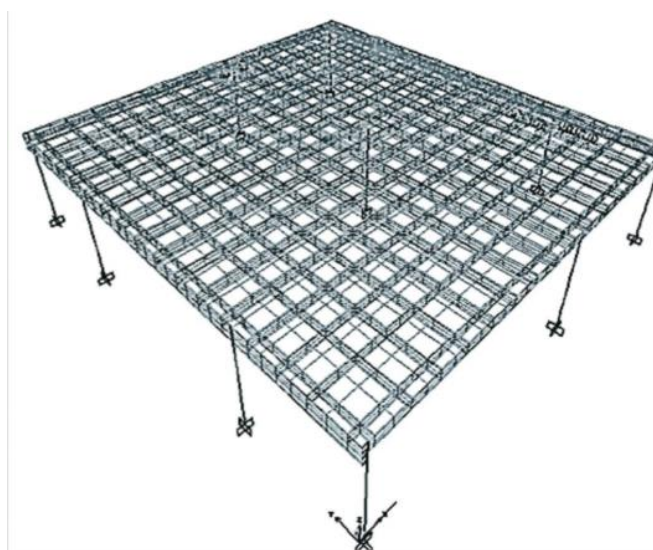
Para Bandeira (2006), o método de analisar o comportamento estrutural de uma placa comparando-o com o de uma grelha ou malha de vigas individuais interconectadas em seus nós é denominado Analogia de Grelha, ou também, conhecida como grelha equivalente. Neste sentido ela baseasse na obtenção do equilíbrio da carga aplicada com a combinação dos momentos fletores e torsores.

Carvalho & Figueiredo Filho (2013), afirmam que além de permitir o cálculo integrado de um pavimento, o processo de analogia de grelha permite ainda que, fazendo-se apenas modificações em um mesmo conjunto de dados, analise-se um mesmo pavimento em diferentes situações de esquema estrutural mais adequado a ser utilizado.

De acordo com Araújo (2010), a analogia da grelha equivalente é um dos métodos que são mais utilizados nos softwares de modelagem numérica. O método é comumente utilizado para análise de lajes poligonais dos mais variados tipos. Assim é possível realizar o cálculo de todo o pavimento, inclusive considerando as deformações das vigas, já que na análise da poligonal o método considera as vigas de contorno.

Na Figura 16 é ilustrado o pavimento de uma laje, através de várias barras paralelas entre si que constituem uma grelha.

Figura 16: Grelha



Fonte: (RECALDE et al, 2015).

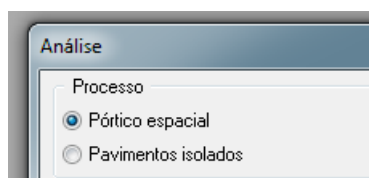
A fundamentação deste processo é baseada na substituição do pavimento por uma grelha equivalente. O intuito deste método é visar à reprodução do comportamento estrutural, em que se possa representar qualquer geometria dos pavimentos dos mais variados tipos como, por exemplo, lajes de concreto armado, que possuam vigas ou não, ou por lajes nervuradas. Assim, tem-se a exigência de se fazer a divisão adequada do número de faixas que compõem o pavimento, em que estas faixas poderão ser substituídas por elementos de barras, obtendo-se desta forma uma grelha que configure a laje em análise. (CARVALHO & FIGUEIREDO FILHO, 2013).

2.4 PROCESSAMENTO DE DADOS NO EBERICK

2.4.1 Método de análise

Para efeito de dimensionamento da estrutura no Eberick, é comum ser utilizado o modelo de análise “Pórtico espacial”, como pode ser visto na Figura 17.

Figura 17: Configuração da análise da estrutura



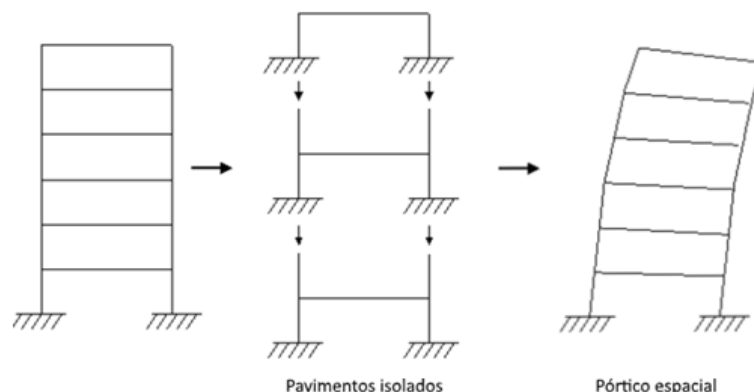
Fonte: (Eberick,2020).

Se faz necessário o entendimento a respeito dos dois métodos de análise em questão, onde a definição do modelo de análise utilizado em uma estrutura é a etapa mais importante de um projeto.

O modelo a ser adotado deve ser próximo à condição real da estrutura construída conforme observasse na Figura 18, caso contrário os resultados obtidos através de um modelo inadequado não estarão de acordo com a realidade da obra, o que representa um grave problema. Isto pode levar a situações de fissurações excessivas, deslocamentos/flechas elevados e na pior das hipóteses à elementos

subdimensionados e/ou instabilidade da estrutura como um todo (KIRSTEN,2016).

Figura 18 : Modelo de Pavimentos isolados x Modelo de Pórtico espacial



Fonte: (KIRSTEN,2016).

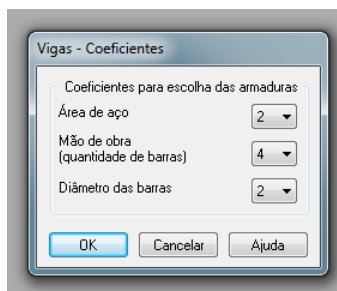
Ainda de acordo com Kirsten (2016), O modelo de Pavimentos isolados não prevê efeitos horizontais na estrutura. Ou seja, um projeto concebido neste método de análise ignora ações de vento, além de não considerar a verificação da estabilidade global da edificação.

Outro aspecto que evidencia a diferença entre estes modelos é o fato de que enquanto o modelo de Pórtico espacial analisa a estrutura considerando a influência de todos os elementos de todos os pavimentos do projeto, o modelo de pavimentos isolados faz uma análise simplificada separando a estrutura em pequenos pórticos (como visto na figura acima) o que torna este modelo inadequado com a realidade da edificação.

2.4.2 Quantificação de áreas de aço em vigas

Para efeito da obtenção das áreas de aço das vigas que será configurado no software, os valores dos coeficientes determinam a prioridade na escolha das ferragens como pode ser visto na Figura 19.

Figura 19: Coeficientes para áreas de aço das vigas



Fonte: (Eberick,2020).

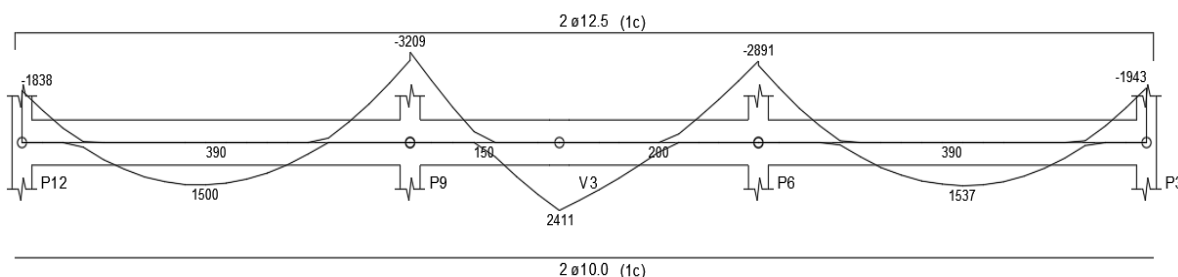
De acordo com **Paulista (2019)** os coeficientes para escolha das armaduras possuem as seguintes definições, sendo elas:

- **Área de aço:** O programa seleciona a armadura com a bitola que proporcionar a área de aço mais próxima ao valor calculado;
- **Mão de obra:** O programa irá selecionar a armadura com menor número de barras, proporcionando uma menor demanda de mão de obra;
- **Diâmetro das barras:** O programa seleciona a armadura com barras de menor diâmetro, proporcionando maior facilidade no dobramento.

É importante mencionar que os valores contidos neste processo, funcionam em escala, em que o valor mínimo que pode ser inserido é 1 representando uma prioridade pequena e o valor máximo é 5 ou seja o oposto da primeira, cabendo ao profissional avaliar o melhor custo benefício.

Vale destacar que o programa analisa a quantidade de aço de forma efetiva conforme pode ser visto no detalhamento do Eberick, na Figura 20, não de forma calculada.

Figura 20: Quantificação de aço das vigas.



Fonte: (Eberick, 2020).

Desta forma para se obter este valor basta olhar as tabelas práticas, como a da

Figura 21 de áreas de aço para saber o valor efetivo em função da armadura que está no detalhamento.

Figura 21: Tabelas para áreas de aço

Valor nominal para cálculo		Área de aço da seção conforme número de barras – A_s [cm ²]									
ϕ diâmetro (mm)	massa linear (kg/m)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5,0	0,16	0,20	0,40	0,60	0,80	1,00	1,20	1,40	1,60	1,80	2,00
6,3	0,25	0,315	0,63	0,945	1,26	1,575	1,89	2,205	2,52	2,835	3,15
8,0	0,40	0,50	1,00	1,50	2,00	2,50	3,00	3,50	4,00	4,50	5,00
10,0	0,63	0,80	1,60	2,40	3,20	4,00	4,80	5,60	6,40	7,20	8,80
12,5	1,00	1,25	2,50	3,75	5,00	6,25	7,50	8,75	10,00	11,25	12,50
16,0	1,60	2,00	4,00	6,00	8,00	10,00	12,00	14,00	16,00	18,00	20,00
20,0	2,50	3,15	6,30	9,45	12,60	15,75	18,90	22,05	25,20	28,35	31,50
25,0	4,00	5,00	10,00	15,00	20,00	25,00	30,00	35,00	40,00	45,00	50,00
32,0	6,30	8,00	16,00	24,00	32,00	40,00	48,00	56,00	64,00	72,00	80,00
40,0	10,00	12,50	25,00	37,50	50,00	62,50	75,00	87,50	100,00	112,50	125,00

Fonte: (BOTELHO,2015).

2.4.3 Inserção de cargas nas lajes

Para o lançamento das cargas das lajes no Eberick, é importante que se tenha em mente a composição de cargas que iram constituir o modelo, uma delas é a sobrecarga de utilização retirada a partir da NBR – 6120 conforme a Figura 22.

Figura 22: Valor para sobrecarga de utilização

11 Edifícios residenciais	Dormitórios, sala, copa, cozinha e banheiro	1,5
	Despensa, área de serviço e lavanderia	2

Fonte: (NBR – 6120,1980).

É interessante também avaliar a sobrecarga permanente que irá compor a laje, bem como inserir a espessura do elemento, para que enfim o software possa calcular o elemento em função da carga inserida pelo usuário, como pode ser vista na interface do programa, na Figura 23.

Figura 23: Interface para inserção das lajes

Laje

Nome: L9 Tipo: Trelçada 1D Grelha...

Cargas

Acidental: 150 kgf/m² Revestimento: 100 kgf/m²

Extra: 0 kgf/m² Editar... Remover

Trelça

Tipo: TR 08645 Repetições: 1

Altura sapata: 3 cm Largura sapata: 12 cm

Enchimento

Tipo: Lajota cerâmica

Dimensão: B8/30/20 ...

Seção

Espessura: 12 cm Elevação: 0 cm

ec: 4 cm ee: 8 cm enx: 9 cm eny: 9 cm

OK Cancelar Desenho... Ajuda

Fonte: (Eberick,2020).

Para o usuário trocar o elemento em análise basta ir em tipo, canto superior e escolher o elemento que desejar, se a opção for laje do tipo maciça, cabe ao usuário apenas quantificar sua espessura, conforme for o valor que se deseja, assim os parâmetros de cargas mencionados anteriormente fica associado automaticamente para qualquer tipo de elemento que se queira trabalhar.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 TIPO DE PESQUISA

Este trabalho se caracteriza como sendo um estudo de caso onde será utilizada uma edificação residencial de pequeno porte concebida por (BOTELHO,2015), como objeto de análise da pesquisa. Este estudo também respeita o uso de pesquisas bibliográficas de obras e materiais já publicadas, como também uma abordagem qualitativa e quantitativa dos resultados obtidos a partir do objeto de estudo desta pesquisa.

3.2 PLANTA BAIXA DA EDIFICAÇÃO ESTUDADA

A edificação em análise trata-se de um edifício de pequeno porte sendo constituído por três pavimentos tipo e um pavimento cobertura (Figura 24).

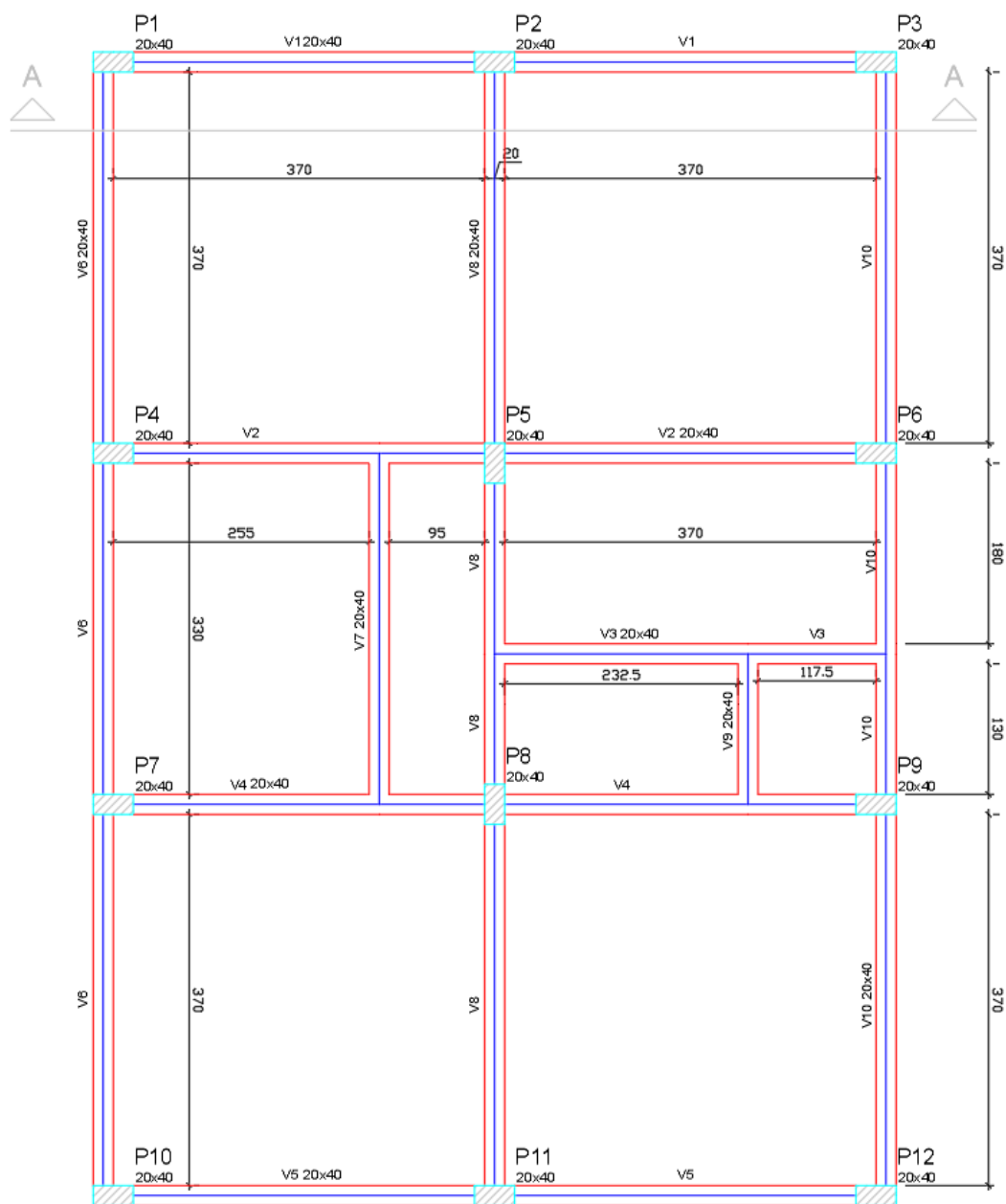
Figura 24: Planta baixa do pavimento tipo



Fonte: (Própria, 2020).

Foram atribuídas algumas modificações no modelo original apresentado por (BOTELHO,2015), em virtude desse trabalho está focado na influência dos carregamentos que os dois tipos de lajes em análises geram nos elementos vigas e pilares, assim foram feitas alterações como: a subtração do núcleo de escadas e desconsideração de aberturas de portas e janelas, na quantificação de cargas lineares sob as vigas. Na Figura 25 é expresso a planta de forma da edificação.

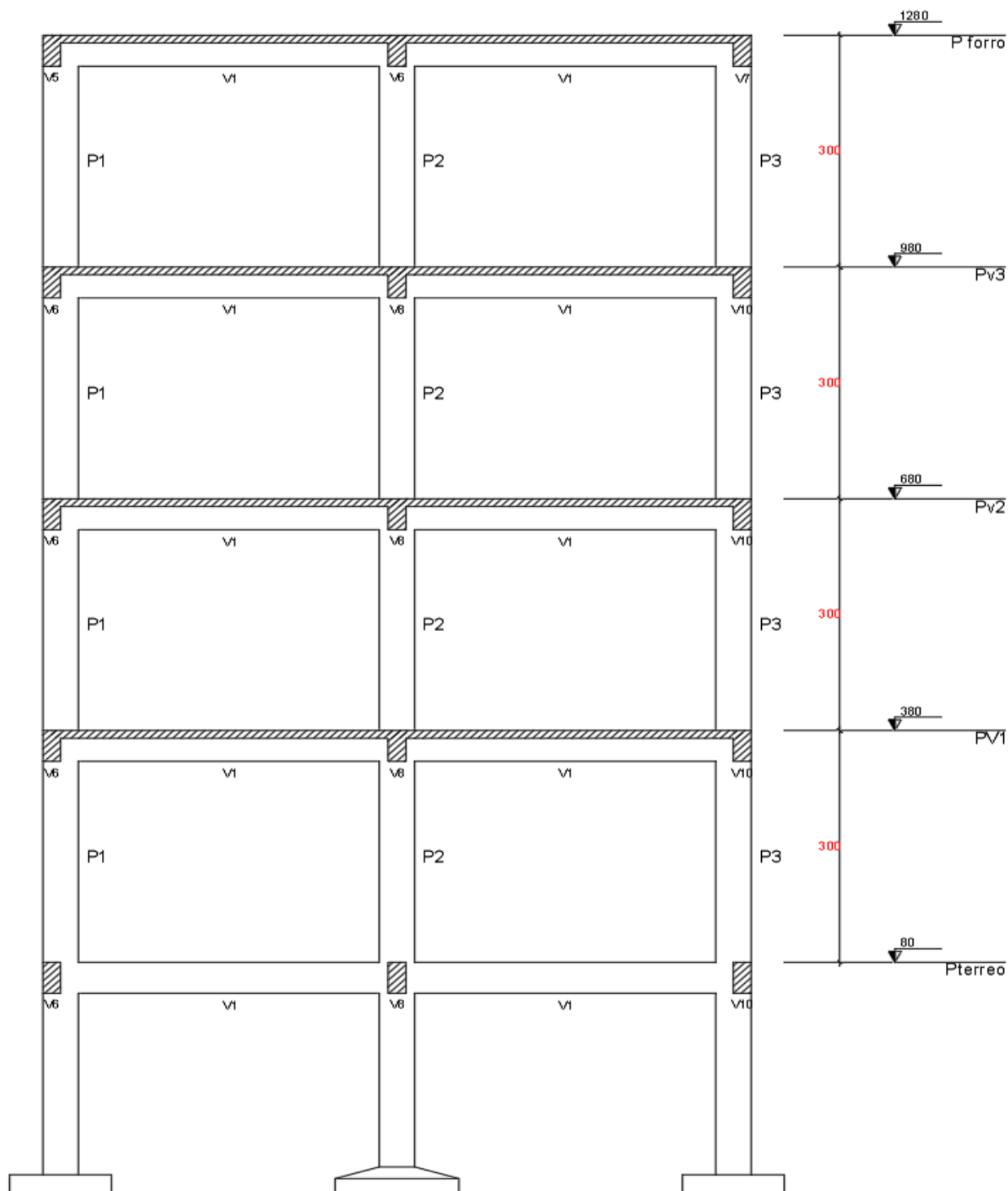
Figura 25: Planta de forma da edificação.



Fonte: (Própria, 2020).

Na Figura 26 é apresentado o corte esquemático da edificação com as medidas padrão para os dois casos estudados.

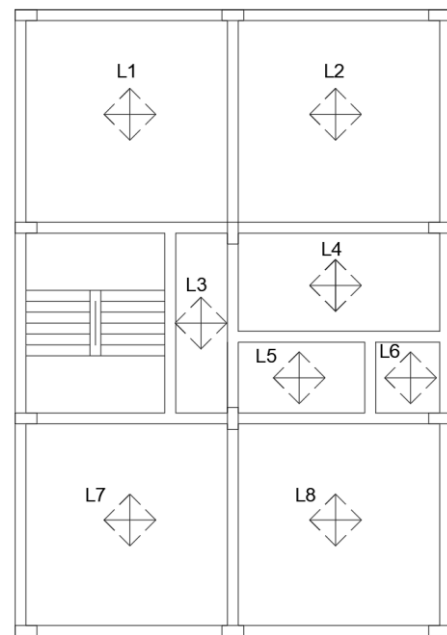
Figura 26: Corte esquemático da edificação



Fonte: (Própria, 2020)

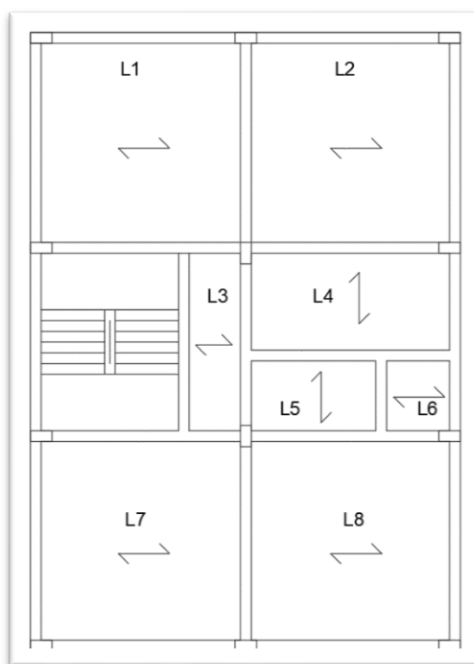
Na Figura 27 e 28 são destacadas a forma como foram armadas as lajes maciças e treliçadas, respectivamente.

Figura 27: Armação da laje maciça



Fonte: (Própria, 2020).

Figura 28: Armação da laje treliçada



Fonte: (Própria, 2020).

3.3 DADOS PARA A ANÁLISE

Para a análise foram atribuídas as seguintes configurações de cargas para as lajes maciças e treliçadas, Figura 29.

Figura 29: Configuração de Carga

The image displays two side-by-side screenshots of a software interface for configuring slabs ('Laje').

Left Screenshot (Maciça):

- Nome:** L9
- Tipo:** Maciça
- Cargas:**
 - Acidental: 150 kgf/m²
 - Revestimento: 100 kgf/m²
 - Extra: 0 kgf/m²
- Vigota protendida:**
 - Grupo: Vigota protendida com bloco cerâmico
 - Arranjo: Simples
 - Altura: 13(8+5)
- Enchimento:**
 - Tipo: (empty)
 - Dimensão: (empty)
- Seção:**
 - Espessura: 10 cm
 - Elevação: 0 cm
 - ec: 5 cm
 - ee: 5 cm
 - enx: 9 cm
 - eny: 9 cm

Right Screenshot (Treliçada 1D):

- Nome:** L1
- Tipo:** Treliçada 1D
- Cargas:**
 - Acidental: 150 kgf/m²
 - Revestimento: 100 kgf/m²
 - Extra: 0 kgf/m²
- Treliça:**
 - Tipo: TR 08645
 - Repetições: 1
 - Altura sapata: 3 cm
 - Largura sapata: 12 cm
- Enchimento:**
 - Tipo: Lajota cerâmica
 - Dimensão: B8/30/20
- Seção:**
 - Espessura: 12 cm
 - Elevação: 0 cm
 - ec: 4 cm
 - ee: 8 cm
 - enx: 9 cm
 - eny: 9 cm

Both screenshots include buttons for 'OK', 'Cancelar', 'Desenho...', and 'Ajuda'.

Fonte: (Eberick, 2020).

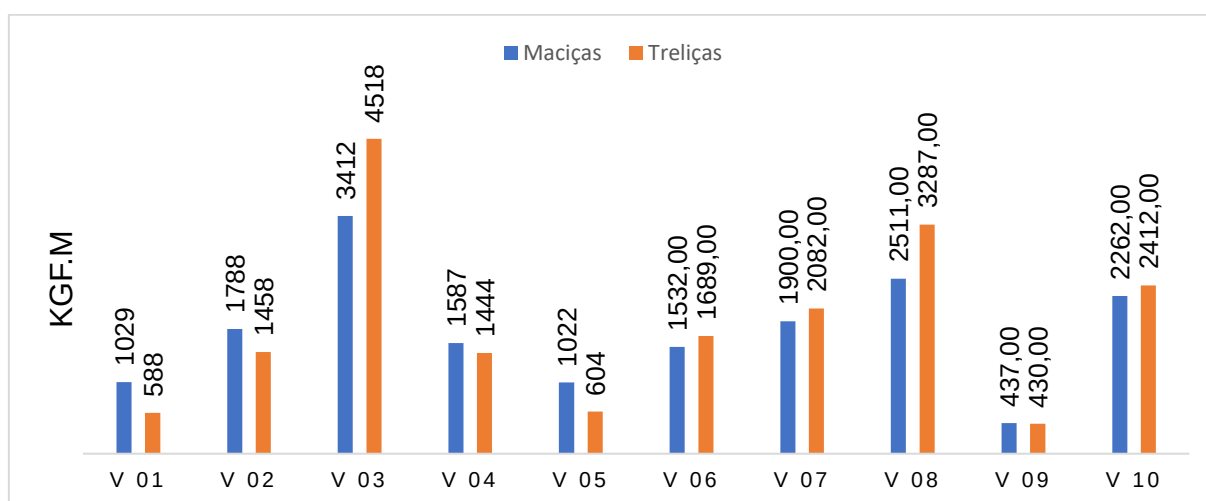
As lajes tem em comum apenas suas sobrecargas de utilização e sobrecarga permanente (revestimento), para esta última foi considerado o valor que o software traz como padrão de 100 Kgf/m², para sua sobrecarga de utilização (carga acidental) foi atribuído o valor de 150 kgf/m², considerado como critério de análise uma edificação residencial, por fim o último parâmetro que se torna variável, é a carga de peso próprio que compõe o elemento, sendo condicionado as lajes maciças um valor para sua espessura de 10cm e para lajes treliçadas um valor de 12cm.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE OS MOMENTOS POSITIVOS MÁXIMO DAS VIGAS ESTUDADAS NO PAVIMENTO TIPO.

Na Gráfico 1 é abordado a quantificação dos momentos positivos máximos que estão inseridos em cada elemento sub a influência de carregamentos das lajes em estudo, estas vigas estão associadas aos pavimentos tipo destacada no item anterior.

Gráfico 1: Momentos positivos máximos para cada elemento no pavimento tipo



Fonte: (Própria, 2020).

Na viga 01 e 05 percebe-se através da análise da estrutura que a laje maciça tende a exercer mais carga na mesma, pelo fato de suas carga terem mais capacidade de se distribuir uniformemente nas vigas de contorno, diferente da laje treliçada unidirecional que para este pano de laje (L1 e L7) sua direção principal se encontra apoiada na viga 06 e 08, fazendo com que haja um alívio de cargas na viga 01 e 05.

Na viga 02 é possível notar também a mesma tendência da viga 01, só que temos uma proporção menor em relação ao momento que a viga está sofrendo pelo fato das vigotas da laje 03 estarem se apoiando diretamente viga 02.

Na viga 03 viu-se que a influência do posicionamento das nervuras que gerou um elevado momento na mesma.

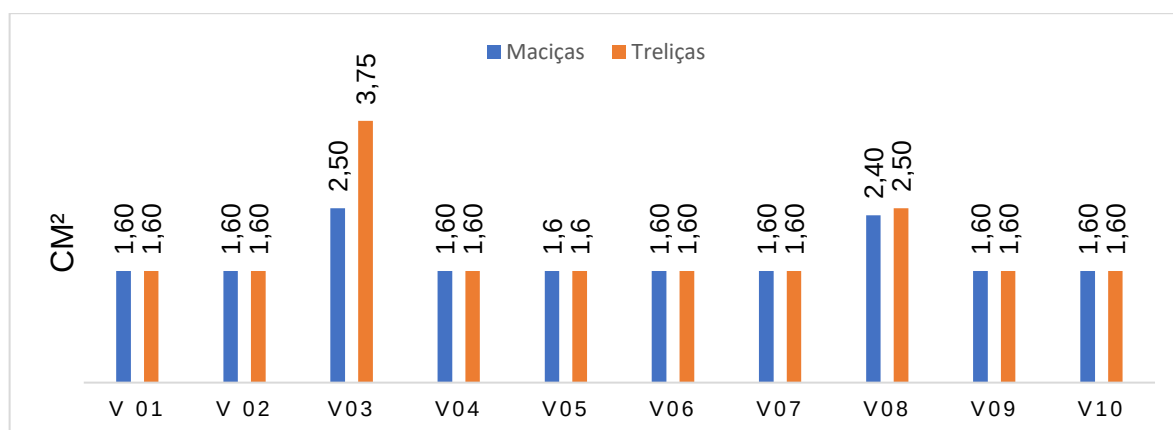
No elemento número 4 é verificado um certo equilíbrio no momento máximo para a associação das cargas dos dois tipos de lajes.

Nas vigas 06, 08 e 10 percebe-se também que a influência do posicionamento

das vigotas eleva o momento fletor em relação a análise com as lajes maciças.

No Gráfico 2 estão associadas as respectivas áreas de aço para os momentos máximos dos elementos estudados.

Gráfico 2: Áreas de aço para os momentos positivos máximos estudados

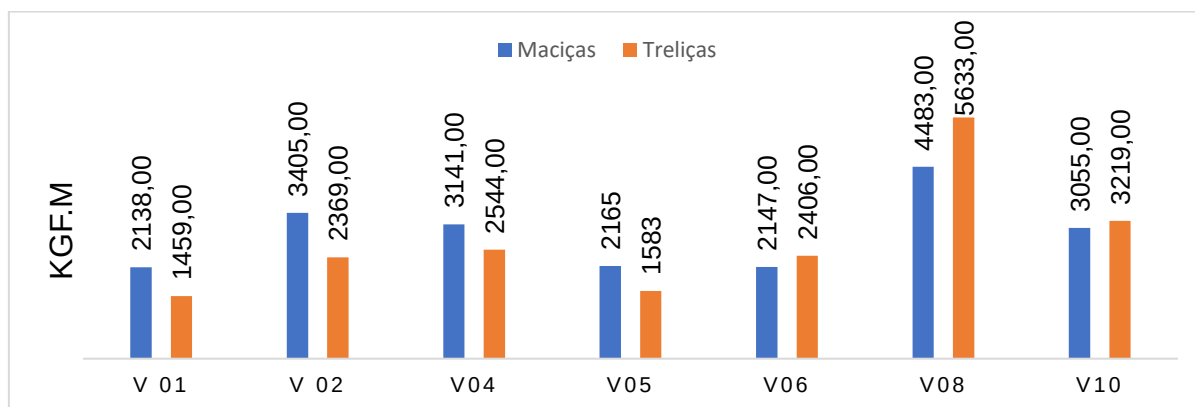


Fonte: (Propria, 2020).

Nota-se que ocorreu uma certa igualdade entre as áreas de aço isto se deve, (como já explicado em outros tópicos), ao fato de o software expor apenas as áreas de aço efetiva em função dos momentos.

4.2 ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE OS MOMENTOS NEGATIVOS MÁXIMOS DAS VIGAS ESTUDADAS NO PAVIMENTO TIPO.

Gráfico 3: Momentos negativos máximos para cada elemento estudado no pavimento tipo



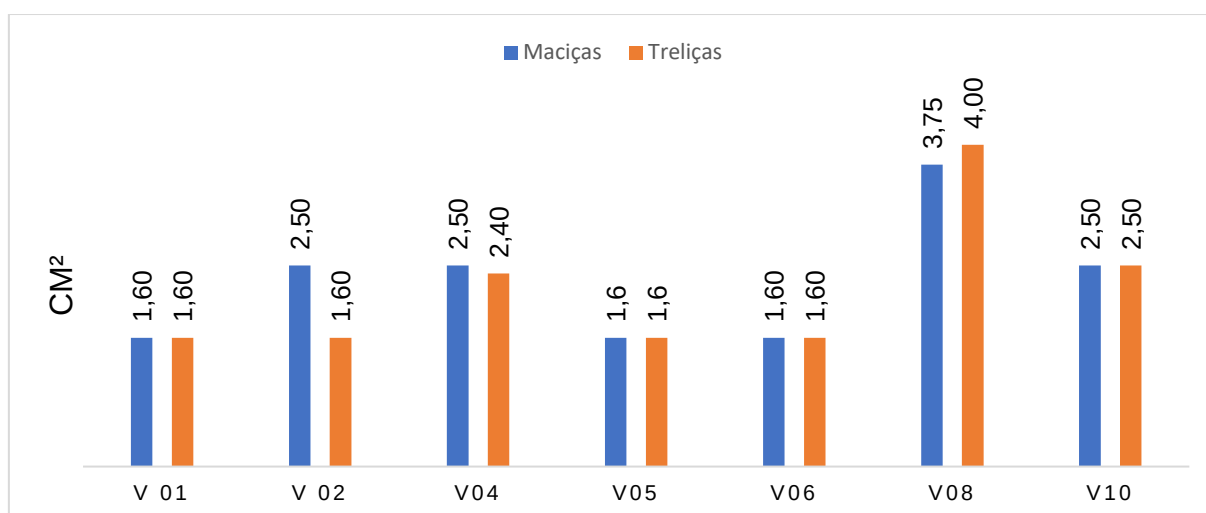
Fonte: (Própria, 2020).

Nesta análise é verificado há a ausência das vigas V03, V07, V09 em virtude de se ter condicionado as mesmas uma vinculação rotulada para efeito de análise no software.

Foi notado também que os valores para lajes maciças apresentam redução dos momentos negativos máximos para as vigas V06, V08 e V10 em relação as lajes de vigotas treliçadas.

No Gráfico 4 estão associadas as respectivas áreas de aço para os momentos máximos dos elementos estudados.

Gráfico 4: Áreas de aço para os momentos negativos máximos estudados

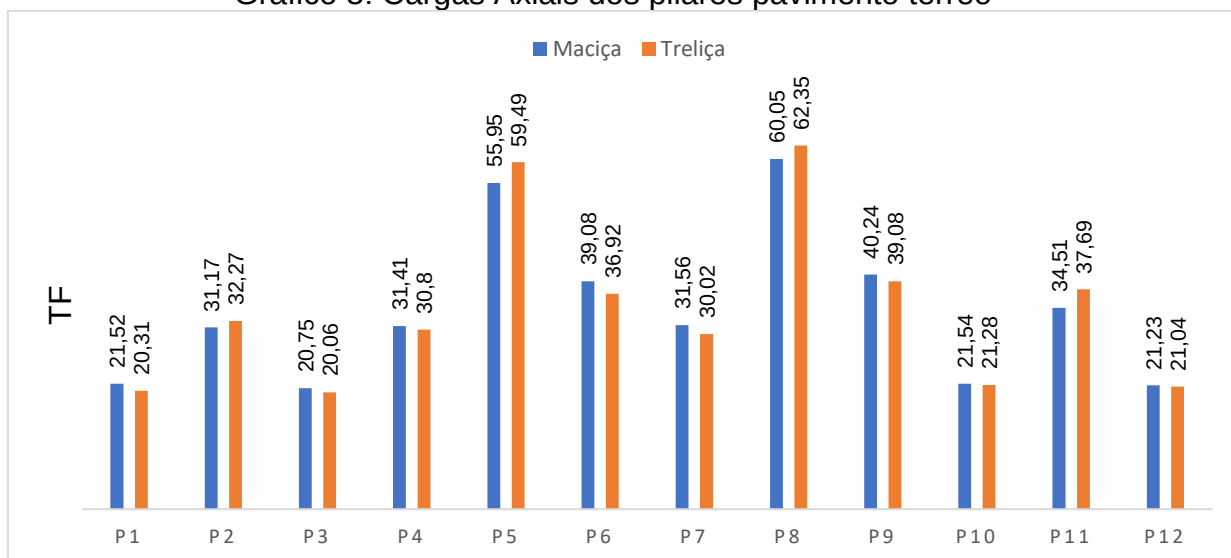


Fonte: (Própria, 2020).

4.3 ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE AS CARGAS AXIAIS DOS PILARES DO PAVIMENTO TÉRREO.

No Gráfico 5, verificou-se que apesar das lajes se comportarem de maneira diferente no que diz respeito sua distribuição de cargas, notou-se que nos pilares ocorreu um certo equilíbrio com relação a suas cargas axiais.

Gráfico 5: Cargas Axiais dos pilares pavimento térreo



Fonte: (Própria, 2020).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos resultados obtidos nesta pesquisa, e tendo os objetivos dela em mente, percebeu-se que os valores obtidos, não contêm uma diferença significativa entre os dois métodos construtivos em análise, ao passo de apontar-se um mais vantajoso em relação a outro.

Os valores expressos dos momentos e suas áreas de aço, não são suficientemente significativos a ponto gerar certa diferença na quantidade de aço da composição da armadura das vigas.

Nos pilares também, observasse uma diferença pouco significativa, a ponto de considerarmos quase que um equilíbrio em função das cargas axiais que estão inseridos neles, tendo como base a aplicação das diferentes técnicas.

Assim com as variáveis abordadas neste estudo, não se pode chegar a um consenso claro de qual técnica seria a mais vantajosa, cabendo a inclusão de outros aspectos como tempo de montagem, custo dentre outros, para que se possa ter uma conclusão mais precisa acerca do melhor método construtivo a ser empregado.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, José Milton de. **Curso de concreto armado/José Milton de Araújo**. - Rio Grande: Dunas, 2010. V .2,3. Ed.

BOTELHO, Manoel Henrique Campos. **Concreto armado eu te amo – vol. 1** / Manoel Henrique Campos Botelho, Osvaldemar Marchetti – 8° ed. revista segundo a nova norma de concreto armado NBR 6118/2014. – São Paulo: Blucher – 2015.

BANDEIRA, Mirtes Silva. **Análise não linear de lajes de concreto armado pelo método dos elementos finitos**. 2006. 132.p. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Goiás, Goiás, 2006.

CARVALHO, Roberto Chust; FIGUEIREDO FILHO, Jasson Rodrigues de. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de armado: segundo a NBR 6118:2003** / Roberto Chust Carvalho, Jasson Rodrigues de Figueiredo Filho. -3. Ed. - São Carlos: EdUFSCar,2013. 368 p.

CARVALHO, Roberto Chust; PINHEIRO, Libânio Miranda. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de armado: volume 2** / Roberto Chust Carvalho, Libânio Miranda Pinheiro. – São Paulo: Pini, 2009.

FERREIRA, Rafael Martins. **Laje nervurada unidirecional com pré-laje treliçada e elemento de enchimento**/ Rafael Martins Ferreira – Rio de Janeiro: UFRJ/ Escola politécnica,2015.

GONZALEZ, Rogério Luciano Miziara. **Análise de lajes pela teoria das charneiras plásticas e comparação de custos entre lajes maciças e lajes treliçadas**. 1997. 144.p. Dissertação de Mestrado – Universidade de São Paulo, São Carlos, 1996.

HIBBELER, Russell Charles. **Resistência dos materiais**/Russell Charles Hibbeler; 7. ed. - São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2010.

KIRSTEN, André. **Comparativo entre os modelos “Pórtico espacial” e “Pavimentos isolados” na análise de estruturas.** Disponível em: <<http://faq.altoqi.com.br/content/243/1637/pt-br/>> Acesso em: 30 jan. 2020.

NBR 6118 (2014) **Projeto e execução de obras de concreto armado.** Rio de Janeiro, Associação Brasileira de Normas Técnicas.

NBR 6120 (1980) **Cargas para o cálculo de estruturas de edificações.** Rio de Janeiro, Associação Brasileira de Normas Técnicas.

NBR 14860-1 (2002) **Laje pré-fabricada - Pré-laje - Requisitos Parte 1: Lajes unidirecionais.** Rio de Janeiro, Associação Brasileira de Normas Técnicas.

PINHEIRO, Libânio M. **Fundamentos do Concreto e Projeto de Edifícios.** 2007. 380.p. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

PINHEIRO, L.M. (1993) **Concreto armado: tabelas e ábacos.** São Carlos, Escola de Engenharia de São Carlos, USP.

RIOS, Patrícia Menezes. **Lajes Retangulares de Edifícios: Associação do Cálculo Elástico com a Teoria das Charneiras Plásticas.** 1991. 246.p. Dissertação de Mestrado – Universidade de São Paulo, São Carlos, 1991.

RECALDE, B. R. B et al. **Análise numérica de flexão em lajes nervuradas com a consideração dos efeitos de fissuração no concreto.** Disponível em: <<http://www.scielo.br/scielo>> Acesso em: 31 jan. 2020.

SANTOS, Marcos Rebuá dos. **Análise numérica de lajes treliçadas pré-moldadas com adição de resíduo de borracha de pneu.** 2009. 123.p. Dissertação de Mestrado – Universidade Estadual Paulista - UNESP, Ilha Solteira, 2009.

SOREANO, Humberto Lima. **Análise de Estruturas método das Forças e Método dos Deslocamento**. 2010.

SILVA, Bernard Rigão da. **Contribuições à análise estrutural de lajes de lajes pré-fabricadas com vigotas treliçadas** .2012. 150.p. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, Santa Maria, 2012.

SARTORTI, Artur Lenz. **Soluções de lajes maciças, nervuradas com cuba plástica e nervuradas com vigotas treliçadas pré-moldadas: análise comparativa**. Disponível em: <<http://www.editoradunas.com.br/>> Acesso em: 30 jan. 2020.

PAULISTA, André Miguel Teixeira. **Como utilizar os coeficientes de escolhas das armaduras**. Disponível em: <<https://suporte.altoqi.com.br/hc/pt-br>> Acesso em: 30 jan. 2020.

VASCONCELLOS, Juliano. **Lajes maciças de concreto armado**. Disponível em: <<https://cddcarqfeevale.wordpress.com/2012/04/03/lajes-macicas-de-concreto-armado/>> Acesso em: 30 jan. 2020.