



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE
NÚCLEO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E
AMBIENTAL

ANDRÉ FELIPE DE OLIVEIRA LOPES

ESTUDO COMPARATIVO ENTRE LAJES
NERVURADAS MOLDADAS NO LOCAL COM
FÔRMAS DE POLIPROPILENO E LAJES PRÉ-
FABRICADAS TRELIÇADAS

Caruaru, 2015

ANDRÉ FELIPE DE OLIVEIRA LOPES

**ESTUDO COMPARATIVO ENTRE LAJES
NERVURADAS MOLDADAS NO LOCAL COM
FÔRMAS DE POLIPROPILENO E LAJES PRÉ-
FABRICADAS TRELIÇADAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental - PPGECAM do Centro Acadêmico do Agreste - CAA, da Universidade Federal de Pernambuco - UFPE, como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil e Ambiental.

Área de concentração: Estruturas e Materiais

Orientador: Prof.(a) Dra. Giuliana F. F. Bono

Coorientador: Prof. Dr. Gustavo Bono

Caruaru, 2015

Catálogo na fonte
Bibliotecária Simone Xavier CRB/4-1242

L864e Lopes, André Felipe de Oliveira.

Estudo comparativo entre lajes nervuradas moldadas no local com fôrmas de polipropileno e lajes pré-fabricadas treliçadas. / André Felipe de Oliveira Lopes. - Caruaru: O Autor, 2015.

151f. : il. ; 30 cm.

Orientadora: Giuliana Furtado Franca Bono.

Coorientador: Gustavo Bono

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco, CAA, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, 2015.

Inclui referências bibliográficas

1. Concreto armado. 2. Lajes. 3. Construção civil. I. Bono, Giuliana Furtado Franca. (Orientadora). II. Bono, Gustavo. (Coorientador). III. Título.

620 CDD (23. ed.)

UFPE (CAA 2015-110)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E
AMBIENTAL

A comissão examinadora da Defesa de Dissertação de Mestrado

**ESTUDO COMPARATIVO ENTRE LAJES NERVURADAS
MOLDADAS NO LOCAL COM FÔRMAS DE POLIPROPILENO E
LAJES PRÉ-FRABICADAS TRELIÇADAS**

defendida por

ANDRÉ FELIPE DE OLIVEIRA LOPES

Considera o candidato APROVADO

Caruaru, 29 de Maio de 2015

Dra. GIULIANA FURTADO FRANCA BONO – PPGECAM/UFPE
(orientadora)

Dr. GUSTAVO BONO – PPGECAM/UFPE
(coorientador)

Dr. HUMBERTO CORREIA LIMA JÚNIOR – PPGECAM/UFPE
(examinador interno)

Dra. JULIANA VON SCHMALZ TORRES – Núcleo de Tecnologia /UFPE
(examinadora externa)

*Dedico este trabalho à minha
namorada Camila Tavares,
companheira de muitos anos e grande
incentivadora.*

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus, pelo dom da vida, por todas as oportunidades que me foram concedidas e por ter dado a chance de concluir mais uma etapa da minha vida.

A toda minha família, em especial aos meus pais, pelo apoio total e irrestrito em todas as fases da minha vida, pelos ensinamentos e pela educação que me concederam na formação do meu caráter.

À minha Orientadora Prof.(a) Dra. Giuliana Bono e ao meu Coorientador Prof. Dr. Gustavo Bono, pela confiança, paciência, disponibilidade de tempo e orientação deste trabalho, assim como pelos conhecimentos a mim transmitidos ao longo deste curso.

A todos os professores que contribuíram de forma direta e indireta na minha formação profissional, em especial a Dr. Humberto Lima, Dra. Sylvana Melo, Dr. Anderson Paiva, Dra. Juliana Torres e Dr. Saulo de Tarso, pela amizade, conselhos e conhecimentos transmitidos nas disciplinas.

À minha amiga e namorada Camila, que sempre esteve ao meu lado, sendo compreensiva e incentivadora em todos os momentos.

Ao engenheiro civil Manoel Jorge, pela amizade, pelos conselhos e pelos valiosos e inestimáveis ensinamentos da prática de Engenharia durante toda graduação e pós-graduação.

A todos os meus amigos, em especial, Fellipe Borba, Mariberto Junior e Thiago Teles pelo convívio, pela amizade e cumplicidade nas dificuldades e alegrias dessa jornada.

À Universidade Federal de Pernambuco, em especial ao Centro Acadêmico do Agreste, por ter me concedido a oportunidade de cursar e concluir a pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental.

À FACEPE (Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco) pelo apoio financeiro concedido durante parte desta pesquisa.

À empresa COMELLO ENGENHARIA LTDA por ter cedido gentilmente o projeto de arquitetura do edifício usado no estudo de caso deste trabalho.

"Deus nos fez perfeitos e não escolhe os capacitados, capacita os escolhidos. Fazer ou não fazer algo, só depende de nossa vontade e perseverança."

Albert Einstein

RESUMO

ESTUDO COMPARATIVO ENTRE LAJES NERVURADAS MOLDADAS NO LOCAL COM FÔRMAS DE POLIPROPILENO E LAJES PRÉ-FABRICADAS TRELIÇADAS

Diante do desenvolvimento da construção civil nos últimos anos e do aumento da concorrência entre as empresas deste setor, faz-se necessário oferecer alternativas estruturais e construtivas que permitam maior eficiência e redução de custos nas execuções das obras. O desenvolvimento das tecnologias na área de informática vem propiciando cada vez mais condições para análises estruturais de alta complexidade, que estão materializadas em programas comerciais de cálculo estrutural, os quais tornam o dimensionamento das estruturas mais produtivo e estão cada vez mais importantes na rotina do engenheiro estrutural. Este trabalho apresenta um estudo técnico comparativo entre lajes nervuradas em concreto armado bidirecionais moldadas no local com fôrmas de polipropileno e unidirecionais pré-fabricadas treliçadas. Inicialmente, realizou-se um estudo paramétrico comparativo de esforços, deslocamentos e de custo de lajes com geometrias quadradas e retangulares em função de suas dimensões em planta. Em seguida, desenvolveu-se uma análise comparativa de um estudo de caso, onde se adotou um edifício modelo localizado na cidade de Caruaru-PE, o qual foi dimensionado empregando os dois sistemas construtivos de lajes abordados nesta pesquisa. Na análise do referido estudo de caso observou-se o comparativo de esforços, deslocamentos verticais e horizontais e estabilidade da estrutura, bem como, os custos dos elementos estruturais que compõem a estrutura do edifício analisado para os dois modelos de sistemas construtivos utilizados. As simulações das estruturas foram efetuadas utilizando modelos gerados em computador no *software* CYPECAD versão 2012a. Os cálculos dos esforços e deslocamentos, assim como o dimensionamento da estrutura, foram obtidos através do referido programa. Após o dimensionamento e a análise dos resultados, foram extraídos do programa os quantitativos referentes aos esforços cortantes, momentos fletores, deslocamentos, consumos de fôrmas, concreto e armadura. Em seguida, fez-se a composição do custo total da estrutura para cada sistema estrutural e efetuou-se a comparação entre os dois sistemas construtivos de lajes analisados neste trabalho.

Palavras-chave: Concreto Armado, Laje Nervurada, Laje Treliçada.

ABSTRACT

COMPARATIVE STUDY BETWEEN RIBBED SLABS MOLDED IN PLACE WITH POLYPROPYLENE MOULDS AND LATTICE SLABS PREFABRICATED

With the development of civil construction in recent years and the increased competition between the companies in this sector, it is made necessary to provide structural and constructive alternatives that allow greater efficiency and cost savings in the execution of works. The development of the technologies in the computer science area comes increasingly providing conditions for structural analysis of high complexity, which are materialized in commercial programs of structural calculation, which make the sizing of more productive structures and are increasingly important in the structural engineer's routine. This work presents a comparative technical study between ribbed slabs bidirectional molded on site with polypropylene molds and lattice slabs unidirectional prefabricated in reinforced concrete. Initially, a comparative parametric study of efforts, displacements and cost of slabs with square and rectangular geometries according to their dimensions in plant. Then, a comparative analysis of a case study, which adopted a model building located in the city of Caruaru-PE, which has been sized using the two building systems of slabs covered in this research. In the analysis of this study of case, it was observed the comparative of efforts, vertical and horizontal displacements and stability of the structure, as well as the costs of structural elements comprising the building structure analyzed for the two types of construction systems used. The simulations of the structures were made using computer generated models in CYPECAD software version 2012a. The calculations of the efforts and displacements, as well as the sizing of the structure, were obtained through this program. After the sizing and analysis of the results, were extracted from the program the quantitative relating to shear efforts, bending moments, displacements, molds consumption, concrete and armor. Then, was made the composition of the total cost of the structure for each structural system and was executed the comparison between the two building systems of slabs examined in this work.

Key words: Reinforced Concrete, Ribbed Slabs, Lattice Slabs.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Funções estruturais das lajes (a) Laje funcionando como placa e (b) Laje funcionando como chapa	30
Figura 2.2 – Vãos da laje retangular armada em uma direção	32
Figura 2.3 – Vãos da laje retangular armada em duas direções	33
Figura 2.4 – Laje nervurada com as células aparentes	35
Figura 2.5 – Laje nervurada com as células não aparentes	35
Figura 2.6 – Montagem dos blocos para as lajes nervuradas moldadas “in loco”	36
Figura 2.7 – Lançamento e adensamento do concreto em lajes nervuradas moldadas no local.....	37
Figura 2.8 – Laje nervurada com vigotas de concreto armado	40
Figura 2.9 – Laje nervurada com vigotas treliçadas de concreto armado	40
Figura 2.10 – Armadura pré-fabricada (treliça espacial) da vigota treliçada.....	41
Figura 2.11 – Elementos de enchimento	42
Figura 2.12 – Parâmetros geométricos que definem a laje e as nervuras.....	43
Figura 2.13 – Escoramento da laje pré-fabricada.....	48
Figura 2.14 – Colocação das vigotas na laje pré-fabricada.....	49
Figura 2.15 – Colocação dos materiais de enchimento e montagem das instalações embutidas	50
Figura 2.16 – Distribuição das barras da armadura de distribuição	50
Figura 2.17 – Concretagem da laje.....	51
Figura 2.18 – Retirada dos caixotes	53
Figura 2.19 – Escoramento dos caixotes sem assoalho.....	53
Figura 2.20 – Detalhe de moldes de fôrmas de polipropileno.....	54
Figura 2.21 – Laje nervurada construída com caixotes.....	54

Figura 2.22 – Seção transversal de laje nervurada com placas escondendo as nervuras e os espaços vazios entre estas.....	55
Figura 2.23 – Vista dos blocos de EPS	56
Figura 2.24 – Peso próprio calculado para laje nervurada (a) seção transversal e (b) em planta.....	59
Figura 2.25 – Isopletas de velocidade básica V_0 (m/s).....	64
Figura 2.26 – Fator topográfico $S_1(z)$	66
Figura 2.27 – Coeficiente de arrasto, C_a , para edificações paralelepípedicas em vento de baixa turbulência	70
Figura 2.28 – Coeficiente de arrasto, C_a , para edificações paralelepípedicas em vento de alta turbulência.....	71
Figura 2.29 – Esquema estrutural genérico indeformado e deformado	76
Figura 2.30 – Flecha instantânea em milímetros exibida na guia isovalores do CYPECAD para laje nervurada de dimensões 5 x 5 metros.....	78
Figura 2.31 – Discretização do modelo 3D da estrutura de um painel de laje nervurada bidirecional moldada no local com fôrmas de polipropileno gerada no CYPECAD	79
Figura 2.32 – Discretização do modelo 3D da estrutura de um painel de laje nervurada unidirecional pré-fabricada treliçada gerada no CYPECAD	80
Figura 2.33 – Discretização do modelo 3D da estrutura do edifício obtida no CYPECAD considerando (a) Lajes nervuradas bidirecionais moldadas no local com fôrmas de polipropileno e (b) Lajes nervuradas unidirecionais pré-fabricas treliçadas	80
Figura 2.34 – Tela principal de cálculo da laje nervurada unidirecional pré-fabricada treliçada obtida no Software de Treliças Gerdau (STG) – versão 5.1.8	82
Figura 3.1 – Seção transversal de laje nervurada moldada no local com fôrmas Atex 150 obtida no CYPECAD	85
Figura 3.2 – Seção transversal de laje nervurada moldada no local com fôrmas Atex 180 obtida no CYPECAD	85

Figura 3.3 – Seção transversal da laje nervurada pré-fabricada treliçada obtida no CYPECAD	86
Figura 3.4 – Estrutura em 3D do modelo de painel de laje gerada pelo CYPECAD utilizado nesta pesquisa.....	88
Figura 3.5 – Edifício em fase de execução na data 23/02/2015	88
Figura 3.6 – Cotas altimétricas dos pavimentos do edifício modelado no CYPECAD para análise do estudo de caso	90
Figura 3.7 – Estrutura em 3D do edifício gerada no CYPECAD (a) Lançamento estrutural 1 e (b) Lançamento estrutural 2	91
Figura 4.1 – Flecha total e diferença percentual das flechas entre os dois sistemas em relação ao sistema de lajes nervuradas treliçadas em função das dimensões das lajes.....	94
Figura 4.2 – Momentos fletores positivos máximos das lajes nos dois sistemas analisados em função das dimensões das lajes	95
Figura 4.3 – Esforço cortante máximo das lajes nos dois sistemas analisados em função das dimensões das lajes.....	95
Figura 4.4 – Flecha total e diferença percentual das flechas entre os dois sistemas em relação ao sistema de lajes nervuradas treliçadas em função das dimensões das lajes.....	97
Figura 4.5 – Momentos fletores positivos máximos das lajes nos dois sistemas analisados em função das dimensões das lajes	98
Figura 4.6 – Esforço cortante máximo das lajes nos dois sistemas analisados em função das dimensões das lajes.....	98
Figura 4.7 – Custo de (a) Mão de Obra (b) Material (c) Total em função das dimensões das lajes quadradas.....	99
Figura 4.8 – Custo de (a) Mão de Obra (b) Material (c) Total em função das dimensões das lajes retangulares	101
Figura 4.9 – Carga total nas lajes do pavimento tipo para os sistemas LNP e LNT	109
Figura 4.10 – Flecha total nas lajes do pavimento tipo para os sistemas LNP e LNT	110

Figura 4.11 – Momentos fletores positivos máximos das lajes do pavimento tipo nos dois sistemas analisados.....	111
Figura 4.12 – Esforço cortante máximo das lajes do pavimento tipo nos dois sistemas analisados.....	111
Figura 4.13 – Custo de mão de obra e material com fôrma, concreto e aço na fundação.....	114
Figura 4.14 – Custo de fôrma, concreto e aço na fundação	115
Figura 4.15 – Custo de mão de obra, material e total da fundação	115
Figura 4.16 – Custo total de mão de obra e material de fôrma e escoramento, concreto e armação das lajes	117
Figura 4.17 – Custo total de fôrma e escoramento, concreto e armação das lajes.....	117
Figura 4.18 – Custo total de mão de obra e material de fôrma e escoramento, concreto e armação das vigas	118
Figura 4.19 – Custo total de fôrma e escoramento, concreto e armação das vigas.....	119
Figura 4.20 – Custo total de mão de obra e material de fôrma, concreto e armação dos pilares.....	119
Figura 4.21 – Custo total de fôrma e escoramento, concreto e armação dos pilares	120
Figura 4.22 – Custo total de mão de obra e material da fundação, pilares, vigas e lajes	121
Figura 4.23 – Custo total da fundação, pilares, vigas e lajes	121
Figura 4.24 – Porcentagem de custo da fundação e superestrutura em relação ao custo total do sistema construtivo (a) LNP e (b) LNT	122
Figura 4.25 – Custo de mão de obra e material e custo total	123
Figura 4.26 – Espessura média das lajes para os lançamentos estruturais 1 e 2 do edifício utilizado no estudo de caso considerando os sistemas LNP e LNT.....	124
Figura 4.27 – Peso próprio médio das lajes para os lançamentos estruturais 1 e 2 do edifício utilizado no estudo de caso empregando os sistemas LNP e LNT	125
Figura 4.28 – Carga total nos pilares para os lançamentos estruturais 1 e 2 do edifício utilizado no estudo de caso empregando os sistemas LNP e LNT	125

Figura 4.29 – Custo da fundação dos lançamentos estruturais 1 e 2 do edifício modelo utilizado no estudo de caso para os sistemas LNP e LNT	126
Figura 4.30 – Custo da superestrutura: pilares, vigas e lajes dos lançamentos estruturais 1 e 2 do edifício modelo utilizado no estudo de caso para os sistemas LNP e LNT	127
Figura 4.31 – Custo total dos lançamentos estruturais 1 e 2 do edifício modelo utilizado no estudo de caso para os sistemas LNP e LNT	127

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Aços utilizados em lajes com vigotas pré-fabricadas de concreto armado	41
Tabela 2.2 – Dimensões padronizadas dos elementos de enchimento em centímetros	42
Tabela 2.3 – Área mínima e quantidade de armadura de distribuição	43
Tabela 2.4 – Intereixos mínimos padronizados em função do tipo de vigota pré-fabricada.....	44
Tabela 2.5 – Alturas totais de lajes nervuradas com vigotas pré-fabricadas em função das alturas padronizadas dos elementos de enchimento	44
Tabela 2.6 – Espessura mínima da capa para as alturas totais padronizadas	46
Tabela 2.7 – Exemplos da designação da altura padronizada de lajes nervuradas com vigotas pré-fabricadas	46
Tabela 2.8 – Valores mínimos das cargas verticais.....	62
Tabela 2.9 – Fator topográfico em função da altura da edificação	65
Tabela 2.10 – Parâmetros meteorológicos	68
Tabela 2.11 – Valores mínimos do fator estatístico S_3	69
Tabela 3.1 – Dimensões das lajes quadradas e retangulares analisadas.....	87
Tabela 3.2 – Distribuição dos pavimentos quanto à utilização	89
Tabela 3.3 – Distribuição dos pavimentos quanto à área construída	89
Tabela 4.1 – Espessura, peso próprio e verificação das flechas das lajes de dimensões quadradas	93
Tabela 4.2 - Espessura, peso próprio e verificação das flechas das lajes de dimensões retangulares	96
Tabela 4.3 – Deslocamento horizontal local	103
Tabela 4.4 – Deslocamento horizontal total.....	104
Tabela 4.5 – Coeficiente amplificador de esforços γ_z	104
Tabela 4.6 –Deslocamentos horizontais locais por pavimento da edificação	105

Tabela 4.7 – Deslocamento horizontal total.....	106
Tabela 4.8 – Coeficiente amplificador de esforços γ_z	106
Tabela 4.9 – Dimensões, espessura e verificação das flechas das lajes do pavimento tipo	107
Tabela 4.10 – Carga total nos pilares	112
Tabela 4.11 – Consumo de materiais na fundação.....	113
Tabela 4.12 – Deslocamento horizontal total.....	123
Tabela 4.13 – Coeficiente amplificador de esforços γ_z	124

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
NBR	Norma Brasileira
EPS	Poliestireno Expandido
ELU	Estado Limite Último
ELS	Estado Limite de Serviço
MEF	Método dos Elementos Finitos
LNP	Estrutura convencional com lajes nervuradas bidirecionais moldadas no local com fôrmas reaproveitáveis de polipropileno
LNT	Estrutura convencional com lajes nervuradas unidirecionais pré-moldadas treliçadas com material de enchimento permanente de poliestireno expandido (EPS)
STG	Software de Treliças Gerdau
TRRF	Tempo Requerido de Resistência ao Fogo

LISTA DE SÍMBOLOS

A_e – Área de projeção ortogonal da edificação, estrutura ou elemento estrutural sobre um plano perpendicular à direção do vento

a_x – comprimento equivalente ao enchimento na direção x

a_y – comprimento equivalente ao enchimento na direção y

b – Parâmetro meteorológico usado na determinação de S_2

b_f – Largura da mesa

b_w – Largura das nervuras

C_a – Coeficiente de arrasto

d – diferença do nível entre a base e o topo do talude ou morro

e_{contr} – Espessura do contrapiso

e_p – Espessura da parede

e_{rev} – Espessura do revestimento

E_{ci} – Módulo de elasticidade tangente inicial do concreto

$E_{cs}I_c$ – Somatório dos valores de rigidez de todos os pilares na direção considerada

F_a – Força de arrasto

f_{ck} – Resistência característica à compressão do concreto

F_r – É o fator de rajada correspondente sempre à categoria II

g_{contr} – Carga permanente do contrapiso

g_{pp} – Peso próprio da laje

$g_{rev.teto}$ – Carga permanente do revestimento do teto

H – Altura total da edificação

h – Altura total da laje

h_c – Espessura da capa de concreto

h_e – Altura equivalente ao enchimento

h_i – Desnível entre dois pavimentos vizinhos

h_p – Altura da parede

H_{tot} – Altura total da estrutura, medida a partir do topo da fundação ou de um nível pouco deslocável do subsolo

h_v – Altura da vigota

i – Distância entre eixos de vigotas pré-fabricadas

I_c – Momento de inércia da seção bruta de concreto

i_x – Intereixos na direção x

i_y – Intereixos na direção y

l_x – Lado menor

l_y – Lado maior

l_1 – Largura da edificação (dimensão horizontal perpendicular à direção do vento)

l_2 – Profundidade da edificação (dimensão na direção do vento)

n – Número de níveis de barras horizontais (andares) acima da fundação ou de nível pouco deslocável do subsolo

N_k – somatório de todas as cargas verticais atuantes na estrutura (a partir do nível considerado para o cálculo de H_{tot}), com seu valor característico

p – Expoente da lei potencial de variação de S_2

P – Força concentrada representativa da parede

q – Pressão dinâmica do vento

S_1 – Fator topográfico

S_2 – Fator de rugosidade do terreno

S_3 – Fator estatístico

U – Deslocamento horizontal limite no topo da edificação

V_0 – Velocidade básica do vento

V_k – Velocidade característica do vento

$M_{l,tot,d}$ – o momento de tombamento, ou seja, a soma dos momentos de todas as forças horizontais, com seus valores de cálculo, em relação à base da estrutura

$\Delta M_{tot,d}$ – é a soma dos produtos de todas as forças verticais atuantes na estrutura, na combinação considerada, com seus valores de cálculo, pelos deslocamentos horizontais de seus respectivos pontos de aplicação, obtidos da análise de primeira ordem

z – Altura acima do terreno

α – Parâmetro de instabilidade

γ_{alv} – Peso específico da parede

γ_{conc} – Peso específico do concreto armado

γ_{contr} – Peso específico do contrapiso

γ_z – coeficiente de avaliação da importância dos esforços de segunda ordem globais

θ – Inclinação média do talude ou encosta do morro

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	24
1.1 Objetivos	25
1.1.1 Objetivo geral	25
1.1.2 Objetivos específicos.....	25
1.2 Justificativa.....	26
1.3 Revisão bibliográfica.....	27
2. REFERENCIAL TEÓRICO	30
2.1 Lajes de concreto armado.....	30
2.1.1 Tipos de lajes de concreto armado	31
2.1.2 Classificação das lajes quanto à direção da armadura principal	32
2.1.3 Vinculação nas bordas das lajes	33
2.2 Lajes nervuradas de concreto armado	34
2.2.1 Tipologia das lajes nervuradas de concreto armado.....	34
2.2.2 Lajes nervuradas moldadas no local.....	35
2.2.3 Lajes nervuradas pré-moldadas de concreto armado	39
2.2.4 Materiais de enchimento das lajes nervuradas	52
2.2.5 Prescrições da ABNT NBR 6118:2014 para as lajes nervuradas.....	57
2.3 Ações a considerar no dimensionamento de lajes	58
2.3.1 Ações permanentes.....	58
2.3.2 Ações variáveis	61
2.3.3 Ações excepcionais	62
2.4 Ação de vento e estabilidade global de estruturas de concreto armado	62
2.4.1 Determinação da intensidade da ação do vento.....	63
2.4.2 Estabilidade global das estruturas de concreto armado.....	72
2.4.3 Deslocamentos horizontais nas estruturas de concreto armado	76
2.5 Programa comercial de cálculo estrutural – CYPECAD.....	76
2.5.1 Discretização da estrutura	78

2.5.2	Cálculo da estrutura.....	81
2.6	Software de Treliças Gerdau - STG	81
3.	METODOLOGIA	83
3.1	Considerações gerais	83
3.2	Tipologia e concepção dos sistemas estruturais adotados.....	83
3.3	Características do projeto estrutural.....	84
3.4	Ferramentas de cálculo e análise estrutural.....	86
3.5	Critérios para o cálculo dos custos	86
3.6	Estudo paramétrico.....	87
3.7	Estudo de caso.....	88
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	92
4.1	Estudo paramétrico.....	92
4.1.1	Análise estrutural.....	92
4.1.2	Análise de Custo.....	99
4.2	Estudo de caso: lançamento 1	102
4.2.1	Análise de deslocamentos horizontais e estabilidade da edificação.....	103
4.3	Estudo de caso: lançamento 2	104
4.3.1	Análise Estrutural.....	105
4.3.2	Análise de Custo.....	113
4.4	Análise comparativa entre os lançamentos 1 e 2 do estudo de caso	123
4.4.1	Análise estrutural.....	123
4.4.2	Análise de Custo.....	126
5.	CONCLUSÕES.....	128
5.1	Estudo paramétrico.....	128
5.2	Estudo de caso.....	129
5.3	Propostas para Trabalhos Futuros	130
	REFERÊNCIAS.....	131

APÊNDICE.....	135
APÊNDICE A – Composição de custo unitário	135
APÊNDICE B – Quantitativo de materiais do lançamento 2 do Estudo de Caso	147
B.1 – Sistema estrutural de lajes nervuradas bidirecionais moldadas no local com fôrmas de polipropileno	147
B.2 – Sistema estrutural de lajes nervuradas unidirecionais pré-fabricadas treliçadas	149
ANEXO	I
ANEXO A – Planta de fôrma do lançamento 1 do Estudo de Caso.....	I
ANEXO B – Planta de fôrma do lançamento 2 do Estudo de Caso	VI

1. INTRODUÇÃO

Com o crescimento acelerado da industrialização no Brasil, houve um aumento considerável no setor da construção civil, sendo este setor responsável por grande consumo de recursos naturais do mundo. Neste cenário, a indústria da construção civil tem importância fundamental dentre os objetivos do desenvolvimento sustentável, não apenas pela sua contribuição para a economia, como também, pelos seus grandes impactos gerados tanto em termos ambientais como em termos sociais. Construir de forma sustentável consiste em minimizar o consumo de recursos naturais e maximizar a sua reutilização. Neste sentido, um diferencial competitivo para as empresas desse setor é reduzir o consumo de material utilizado na construção civil. Por isso, as empresas do setor vêm investindo incessantemente no conhecimento de novas técnicas que permitam minimizar o desperdício e, conseqüentemente, o custo total da obra.

O grande desenvolvimento das tecnologias na área de informática vem propiciando cada vez melhores condições para analisar estruturas de alta complexidade através de programas comerciais utilizados para o cálculo estrutural, tornando o dimensionamento das estruturas mais produtivo e econômico.

O uso dessas ferramentas computacionais cria uma ação que fornece resultados em cadeia. Utilizando-se de processos computacionais, otimiza-se a peça ou estrutura reduzindo o seu peso ou volume, diminuindo seu custo final e economizando material para produção. Estas ações possibilitam o aumento da produção, facilitando o transporte de produtos (pois as peças têm menor peso ou volume), fatores importantes quando se está num mercado onde a competitividade é alta.

Nos edifícios de vários pavimentos, as lajes respondem por elevada parcela do consumo de concreto. Por esta razão, torna-se oportuno o estudo aprofundado dos critérios de escolha dos tipos de laje a serem empregadas nos edifícios de vários pisos, tendo em vista a obtenção de soluções técnicas e economicamente otimizadas, onde essa compensação não é alcançada somente pelo lado da economia de materiais, mas também pela rapidez proporcionada pelo método construtivo.

Atualmente, existem diversos sistemas estruturais que empregam lajes de concreto armado, tais como lajes maciças, nervuradas (pré-fabricadas ou moldadas “*in loco*”), protendidas (alveolares), mistas, entre outras. Cada sistema possui sua especificidade de aplicação com vantagens e desvantagens. Devido ao grande número de sistemas estruturais encontrados no mercado da construção civil, é extremamente importante a busca por soluções

que possibilitem a redução de custos nas obras de engenharia através dos conhecimentos técnicos aplicados à escolha de sistemas estruturais que conduzam ao dimensionamento ideal de estruturas. A escolha do sistema estrutural mais adequado para um determinado pavimento, assim como a definição do processo construtivo a ser utilizado, deve ser feita considerando alguns parâmetros básicos: finalidade da edificação; projeto arquitetônico; cargas de utilização; tamanho dos vãos a vencer; disponibilidade de equipamentos, materiais e mão de obra; custos, bem como a interação com os demais subsistemas construtivos da edificação.

Para se vencer grandes vãos, a utilização de lajes maciças pode ser antieconômica, pois a espessura necessária da laje para atender aos estados limites últimos e de utilização, certamente será elevada. É interessante utilizar um sistema estrutural que tenha comportamento semelhante ao das placas (lajes maciças), porém com eficiência das vigas submetidas à flexão, ou seja, grande inércia e peso próprio relativamente pequeno. As lajes de concreto armado com nervuras quase sempre atendem a esses requisitos. Essas lajes representam um avanço em relação às maciças por necessitarem, em geral de menor quantidade de material, principalmente em lajes com grandes vãos.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho consiste em realizar um estudo comparativo entre os dois sistemas construtivos mais empregados na região Agreste do Estado de Pernambuco: lajes nervuradas moldadas no local com fôrmas de polipropileno e lajes nervuradas pré-fabricadas treliçadas.

1.1.2 Objetivos específicos

- Reunir informações técnicas e normatizadas que permitam uma visão geral sobre as duas soluções estruturais de lajes estudadas e realizar uma análise comparativa do comportamento estrutural e de custo entre as duas soluções abordadas na pesquisa.
- Realizar um estudo paramétrico entre painéis de lajes nervuradas bidirecionais moldadas no local com fôrmas de polipropileno e lajes nervuradas unidirecionais pré-fabricadas treliçadas com dimensões quadradas e retangulares. A fim de obter os quantitativos referentes aos esforços, deslocamentos, consumos de fôrmas e concreto, taxa de armadura e a composição do custo total das lajes para cada sistema estrutural analisado em função das dimensões dos painéis.

- Realizar um estudo de caso de um edifício localizado na cidade de Caruaru, no estado de Pernambuco, modelado com o emprego do sistema estrutural de lajes nervuradas bidirecionais moldadas no local com fôrmas de polipropileno e lajes nervuradas unidirecionais pré-fabricadas treliçadas. Com a finalidade de se obter os quantitativos referentes aos esforços, deslocamentos, consumos de fôrmas e concreto, taxa de armadura e a composição do custo total da estrutura para cada sistema estrutural.
- Apresentar resultados que possibilitem uma estimativa de custo aos profissionais da construção civil, para servir de referência na tomada de decisão por um modelo estrutural a ser adotado que atenda a melhor relação custo/benefício e acarrete na maximização da sustentabilidade da construção civil.

1.2 Justificativa

Nos últimos anos o setor da construção civil alcançou um momento histórico de desenvolvimento no Brasil, onde a alta competitividade do mercado imobiliário faz com que projetistas de estruturas de concreto armado busquem incessantemente soluções que propiciem uma maior eficiência e, logicamente, redução de custos com melhoria da relação custo/benefício.

Impulsionada pelos investimentos econômicos e em infraestrutura no estado de Pernambuco, a cidade de Caruaru experimenta um crescimento acelerado em sua economia. Tal fato está atraindo um maior número de pessoas em busca de oportunidade de emprego e, conseqüentemente, demandando um maior número de moradias. O reduzido espaço físico das aglomerações urbanas com relação às áreas de ocupação com moradias acarreta o fenômeno da verticalização das cidades. Diante deste contexto, as edificações estão sendo projetadas visando um número maior de apartamentos bem como o aumento do número de pavimentos.

Nos edifícios de vários pavimentos, as lajes respondem por elevada parcela do consumo de concreto. No caso de lajes maciças, esta parcela chega usualmente a quase dois terços do volume total da estrutura (FRANCA e FUSCO, 1997). Por esta razão e pelo fato das lajes possuírem baixo fator de eficiência, torna-se oportuno o estudo aprofundado dos critérios de escolha dos tipos de lajes a serem empregadas nos edifícios de vários pisos, tendo em vista a obtenção de soluções técnicas e economicamente viáveis.

1.3 Revisão bibliográfica

Diversos trabalhos da literatura técnica realizaram estudos comparativos de sistemas estruturais de lajes em concreto armado nas últimas décadas. Um problema comum em projetos estruturais é a minimização do consumo de materiais e, conseqüentemente, a redução do custo total das estruturas atendendo aos critérios de normas técnicas quanto aos limites de tensões e deslocamentos.

Albuquerque (1999) apresentou uma análise de alternativas estruturais para edifícios em concreto armado utilizando o *software* TQS. Constatou-se que a estrutura convencional com lajes maciças apresentou o maior custo, e a grande quantidade de vigas desse sistema dificulta a execução e prejudica a arquitetura. Enquanto que a estrutura convencional com lajes nervuradas utilizando caixotes reaproveitáveis de polipropileno foi a mais econômica, apresentando uma redução de 15,15% em relação à alternativa com lajes maciças.

Silva (2002) apresentou uma análise comparativa de custos de sistemas estruturais para pavimentos de Concreto Armado. O sistema estrutural mais econômico, neste caso, também foi o constituído por lajes nervuradas executadas com fôrmas de polipropileno. Em segundo lugar, tem-se o sistema estrutural convencional com lajes nervuradas preenchidas com blocos de Poliestireno Expandido (EPS), que apresentou menor consumo de concreto. O sistema estrutural convencional com lajes Maciças foi o economicamente menos viável devido ao elevado consumo de concreto.

Aragão (2004 apud CARVALHO, 2012) apresenta em sua pesquisa, baseado em composições feitas pela CEHOP-SE (Companhia Estadual de Habitação e Obras Públicas de Sergipe), um comparativo onde os sistemas convencionais de estruturas executados com lajes maciças apresentaram um custo de 15,17% maior do que aquela onde se emprega laje nervurada treliçada. Enquanto que a estrutura convencional com lajes nervuradas com cubas plásticas de polipropileno apresentou um custo de 11,25% maior do que aquela com laje nervurada treliçada.

Spohr (2008) realizou uma análise comparativa entre sistemas estruturais convencionais de lajes maciças e nervuradas pré-moldadas treliçadas e de lajes lisas nervuradas apoiadas em pilares e com fôrmas de polipropileno. A alternativa que apresentou maior custo total foi o sistema estrutural convencional de lajes maciças, porque essa opção necessita de formas mais recortadas e grande número de vigas altas, o que dificulta a execução das mesmas. Além disso, a quantidade de aço e concreto foram superiores aos outros sistemas analisados. Neste estudo o custo total da estrutura que se utiliza de laje lisa nervurada com cubetas de

polipropileno obteve uma redução de 18,1 % em relação ao sistema convencional de laje maciça, além de apresentar o menor consumo de concreto e taxa de armadura entre as soluções analisadas. Também é demonstrado em seus estudos que o custo total da estrutura composta por laje maciça foi 12,3% mais cara do que aquela que emprega laje nervurada com treliças.

Santos (2009) efetuou uma análise comparativa no dimensionamento de lajes maciças convencionais e lajes nervuradas apoiadas sobre vigas. Foi observado que o sistema que emprega lajes nervuradas apresentou uma economia de 10,98% em relação ao sistema que se utiliza de laje maciça.

Vitali (2010) desenvolveu um estudo comparativo entre lajes nervuradas com diferentes tipos de materiais de enchimento (tais como: tijolo cerâmico, concreto celular, blocos de Poliestireno Expandido (EPS) e cubetas plásticas de polipropileno), utilizando o programa comercial de cálculo estrutural CYPECAD. No resultado geral da pesquisa o enchimento que obteve o melhor desempenho em todos os itens analisados foi o enchimento de cubeta plástica de polipropileno, que apresentou o menor custo total da laje e os menores índices de esforços e deformações entre os sistemas analisados.

Estudos realizados por SARTOTTI e VIZOTTO (2010) com diferentes sistemas estruturais convencionais, utilizando as cotações da cidade de Campinas no estado de São Paulo, mostram que as lajes nervuradas com vigotas treliçadas possuem um custo menor quando comparado com os sistemas que utilizam lajes maciças e nervuradas com cubas plásticas. Sendo o custo da opção em lajes maciças 19,1% mais cara do que a nervurada com treliça, e a nervurada com cuba plástica representa um custo 18,5% maior do que a mesma.

Carvalho (2012) apresentou um estudo onde constatou que o sistema estrutural convencional com lajes nervuradas com vigotas treliçadas foi o mais econômico quando comparado aos sistemas de lajes maciças e nervuradas com cubas plásticas. Constatou-se que o sistema estrutural com lajes maciças apresentou um custo de 11,28% maior em relação ao sistema estrutural com lajes nervuradas com vigotas treliçadas e as lajes Nervuradas com cubas plásticas um custo de 6,72% maior em relação à mesma.

Lopes (2012) apresentou um estudo técnico comparativo entre sistemas estruturais convencionais de lajes maciças e nervuradas com diferentes tipos de materiais de enchimento, tais como: blocos de EPS, blocos cerâmicos e caixotes de polipropileno. O sistema com o melhor desempenho do ponto de vista estrutural foi aquele constituído por lajes nervuradas com caixotes de polipropileno. Com esse sistema se obtiveram na laje mais solicitada do pavimento tipo as maiores reduções de peso próprio (43,73%), flecha total (38,74%),

momento fletor positivo (30,11%), momento fletor negativo (29,26%) e esforço cortante máximo (53,17%) em relação ao sistema constituído por lajes maciças. O sistema estrutural mais econômico também foi aquele constituído por lajes nervuradas com caixotes reaproveitáveis de polipropileno, em função, especialmente, do baixo consumo de material e mão de obra em relação aos outros modelos analisados. Neste caso, foi possível obter uma economia de 11,22% no custo total da estrutura em relação ao sistema estrutural constituído por lajes maciças.

Tavares (2015) realizou dois estudos comparativos entre sistemas estruturais com lajes nervuradas lisas e lajes nervuradas no sistema convencional, onde foi utilizado o programa comercial de cálculo CYPECAD. No estudo de caso 1, foram eliminadas uma grande quantidade de vigas internas para a implantação do sistema estrutural de lajes lisas e com isso ocorreu uma redução significativa no número de fôrmas nas vigas, acarretando em um melhor desempenho em termos de custo para o sistema de lajes lisas, correspondendo a uma economia de R\$ 10.067,82 (1,53%) em relação ao sistema convencional de lajes nervuradas. No estudo de caso 2, a configuração estrutural apresentava uma pequena quantidade de vigas internas, ocasionando uma eliminação de poucas vigas, porém em posições importantes, isto proporcionou um melhor resultado em termos de custo para sistema convencional de lajes nervuradas, apresentando uma economia de R\$ 24.870,36 (6,07%) em relação ao sistema de lajes nervuradas lisas.

Além da realização do estudo comparativo de caso de sistemas construtivos de um edifício, este trabalho pretende apresentar um estudo paramétrico entre painéis com geometrias quadradas e retangulares de lajes nervuradas bidirecionais moldadas no local com fôrmas de polipropileno e lajes nervuradas unidirecionais pré-fabricadas treliçadas. O referido estudo paramétrico tem por objetivo principal identificar, para uma determinada condição de carregamento e vinculação estrutural, qual o sistema construtivo de lajes nervuradas abordadas nesta pesquisa é mais vantajoso do ponto de vista de esforços e deslocamentos, bem como, de custo em função das suas dimensões.

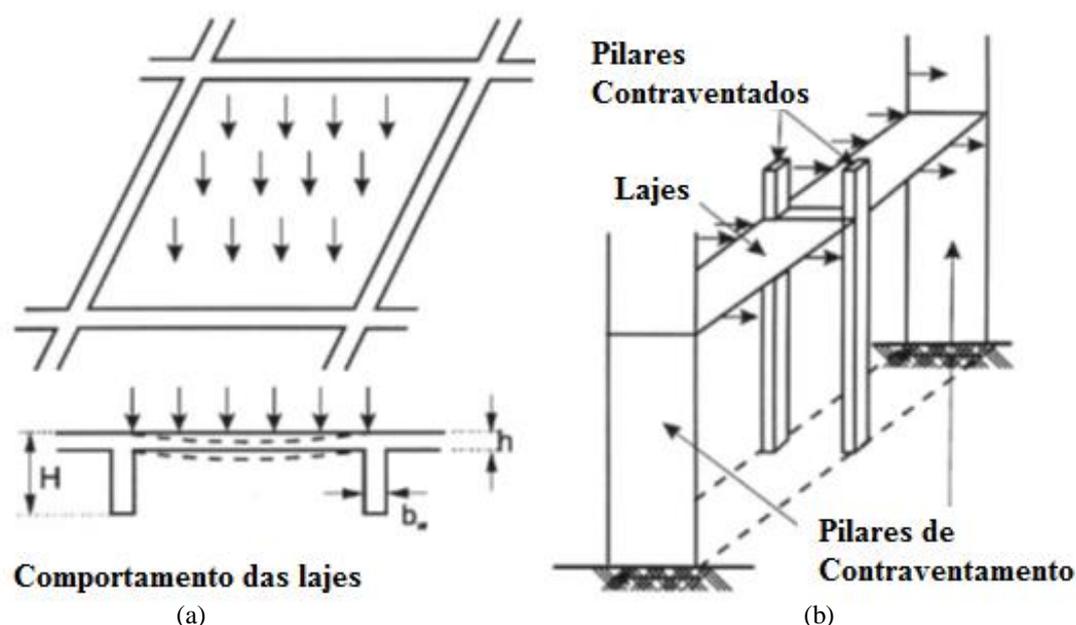
2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Lajes de concreto armado

As lajes são consideradas como elementos estruturais em que uma dimensão, usualmente chamada de espessura, é relativamente pequena em face das demais. As lajes são também chamadas elementos de superfície ou Placas.

De modo geral as lajes têm uma dupla função estrutural, uma vez que funcionam como placas, ao suportarem as cargas verticais aplicadas ao longo dos pisos, e como chapas, ao se constituírem em diafragmas rígidos horizontais que distribuem pelos diferentes pilares da estrutura as forças horizontais atuantes. Sendo assim, as lajes podem ser entendidas como elementos estruturais planos que têm a dupla função de resistir aos esforços normais que atuam perpendicularmente ao seu plano principal e aos esforços tangenciais que atuam paralelamente a este plano (FRANCA e FUSCO, 1997), conforme ilustrado na Figura 2.1.

Figura 2.1 – Funções estruturais das lajes (a) Laje funcionando como placa e (b) Laje funcionando como chapa



Fonte: Franca e Fusco (1997)

Nos edifícios altos, a existência deste comportamento de chapa é essencial para a garantia do contraventamento da estrutura, uma vez que as lajes são os principais responsáveis pela transmissão dos esforços horizontais que permitem aos pilares contraventados se apoiarem nos pilares de contraventamento, garantindo assim a estabilidade global da estrutura. Se por qualquer motivo este comportamento de chapa tiver sua eficiência

diminuída, ou mesmo anulada, a segurança da construção em relação a um possível colapso global ficará seriamente comprometida, pela impossibilidade de serem resistidos os esforços horizontais de contraventamento (FRANCA e FUSCO, 1997).

As lajes destinam-se a receber a maior parte das ações aplicadas numa construção, normalmente de pessoas, móveis, pisos, paredes, e os mais variados tipos de carga que podem existir em função da finalidade arquitetônica do espaço que a laje faz parte. A maioria das ações são comumente perpendiculares ao plano da laje, podendo ser distribuídas na área, distribuídas linearmente ou forças concentradas.

As ações são normalmente transmitidas para as vigas de apoio nas bordas da laje, mas eventualmente também podem ser transmitidas diretamente aos pilares, quando são chamadas lajes lisas.

2.1.1 Tipos de lajes de concreto armado

As lajes podem ser classificadas em dois grandes grupos: as lajes moldadas no local e as lajes pré-moldadas, onde a pré-fabricação pode ser total ou parcial.

As lajes moldadas no local (“*in loco*”) recebem essa denominação por serem construídas em toda a sua totalidade na própria obra, mais precisamente no local em que serão estruturalmente utilizadas.

As lajes pré-moldadas recebem elementos pré-fabricados para a sua construção, normalmente produzidos fora do canteiro de obras, industrialmente. Tais elementos podem ser de concreto armado ou de concreto protendido, independentemente se pré-fabricados ou moldados no local em que serão utilizados.

As lajes podem ser classificadas com base em outros fatores, tais como sua natureza e tipo de apoio.

a) Quanto à natureza:

- Lajes maciças: lajes de concreto armado ou protendido constituídas de uma placa maciça;
- Lajes nervuradas: são as lajes em que a zona de tração é constituída de nervuras, onde são dispostas as armaduras, e de uma mesa comprimida. Entre as nervuras, pode-se ou não inserir um material inerte, sem função estrutural.
- Lajes cogumelo: são as lajes apoiadas em pilares, sem a presença de vigas, que possuem capitéis;
- Lajes lisas: são as lajes que se apoiam diretamente sobre pilares e que não possuem capitéis;

- Lajes em grelhas: são lajes nervuradas em que o espaçamento entre as nervuras é superior a um metro, sendo calculadas as nervuras como uma grelha de vigas e a mesa como uma laje independente.

b) Quanto ao tipo de apoio:

- Apoiadas sobre alvenaria ou sobre vigas (sistema convencional);
- Apoiadas sobre o solo;
- Apoiadas sobre pilares: são estruturas apoiadas sobre apoios discretos. São conhecidas como lajes cogumelo, lajes lisas ou lajes planas.

2.1.2 Classificação das lajes quanto à direção da armadura principal

Uma classificação muito importante das lajes de concreto armado é aquela referente à direção ou direções da armadura principal, havendo dois casos: laje armada em uma direção e laje armada em duas direções.

a) Laje armada em uma direção

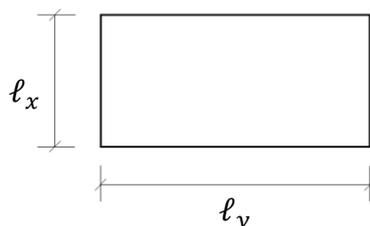
As lajes armadas em uma direção são retangulares, com relação entre o lado maior e o lado menor superior a dois, conforme representada na Equação 2.1 e na Figura 2.2.

$$\frac{\ell_y}{\ell_x} > 2 \quad (2.1)$$

Onde: ℓ_x = lado menor;

ℓ_y = lado maior.

Figura 2.2 – Vãos da laje retangular armada em uma direção



Fonte: Lopes (2012)

Os esforços solicitantes de maior magnitude ocorrem segundo a direção do menor vão, chamada Direção Principal. Na outra direção, chamada secundária, os esforços solicitantes são bem menores e, por isso, são comumente desprezados nos cálculos (BASTOS, 2005).

As lajes armadas em uma direção, na realidade, possuem armaduras nas duas direções. A armadura principal, na direção do menor vão, é calculada para resistir o momento fletor

nessa direção, obtido ignorando-se a existência da outra direção. Portanto, a laje é calculada como se fosse um conjunto de vigas-faixa na direção do menor vão.

Na direção do maior vão, coloca-se armadura de distribuição, com seção transversal mínima dada pela ABNT NBR 6118:2014. Como a armadura principal é calculada para resistir à totalidade dos esforços, a armadura de distribuição tem o objetivo de solidarizar as faixas de laje da direção principal, prevendo-se, por exemplo, uma eventual concentração de esforços.

b) Laje armada em duas direções (ou em cruz)

Nas lajes armadas em duas direções os esforços solicitantes são importantes segundo as duas direções principais da laje. A relação entre os lados é menor que dois, conforme representada na Equação 2.2 e na Figura 2.3.

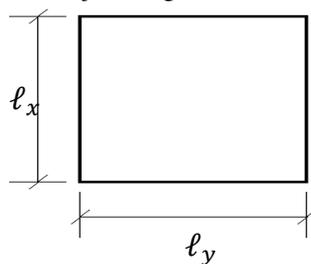
$$\frac{\ell_y}{\ell_x} < 2 \quad (2.2)$$

Onde: ℓ_x = lado menor;

ℓ_y = lado maior.

Nas lajes armadas em duas direções, as duas armaduras são calculadas para resistir os momentos fletores nessas direções.

Figura 2.3 – Vãos da laje retangular armada em duas direções



Fonte: Lopes (2012)

2.1.3 Vinculação nas bordas das lajes

As lajes nervuradas, bem como as lajes maciças, podem ter suas bordas apoiadas, engastadas ou em balanço. Entretanto, recomenda-se para as lajes nervuradas de concreto armado evitar engastes e balanços, visto que, nestes casos têm-se esforços de tração na face superior, onde se encontra a mesa de concreto, e esforços de compressão na parte inferior, região em que a área de concreto é reduzida. Sabe-se que o concreto é um material que

apresenta elevada resistência à compressão e baixa resistência a tração, sendo assim, é necessário aumentar as seções, ou utilizar-se de uma mesa na parte inferior, implicando em um aumento do peso próprio da estrutura e elevação dos custos da obra.

Dessa forma, como diretriz inicial de projeto, deve-se admitir que lajes nervuradas funcionem sem engaste totais em seu contorno, reduzindo os momentos negativos aos valores limitado pela capacidade resistente da nervura à compressão. (CARVALHO & PINHEIRO, 2009).

2.2 Lajes nervuradas de concreto armado

Segundo o item 14.7.7 da ABNT NBR 6118:2014, as lajes nervuradas são as lajes moldadas no local ou com nervuras pré-moldadas, cuja zona de tração para momentos positivos está localizada nas nervuras entre as quais pode ser colocado material inerte.

Segundo levantamentos históricos, a primeira laje nervurada foi executada por William Boutland Wilkinson em 1854 que patenteou um sistema em concreto armado composto de pequenas vigas espaçadas regularmente, dispoendo barras de aço nas regiões tracionadas e preenchendo os vazios entre as nervuras com moldes de gesso (KAEFER, 1998 apud ARAÚJO, 2008).

As lajes nervuradas são constituídas por uma série de vigas solidarizadas entre si pela mesa, possuem seção transversal em forma de “T” e comportam-se, estaticamente, de maneira intermediária entre placa e grelha (BOCCHI e GIONGO, 1993 apud ARAÚJO, 2008).

Desta forma, combatem com muita eficiência os esforços de tração, que são absorvidos pela nervura com a devida armadura, e os esforços de compressão que são suportados, em sua maior parte, pela mesa de concreto. Com a linha neutra situada próxima a região da mesa, a parte inferior pouco contribui para a resistência de compressão, servindo apenas para garantir a aderência entre o aço e o concreto. Tal região é considerada inerte e poderá ser preenchida com material mais leve, sem função estrutural, como placas de isopor, elementos cerâmicos, entre outros (ARAÚJO, 2008).

2.2.1 Tipologia das lajes nervuradas de concreto armado

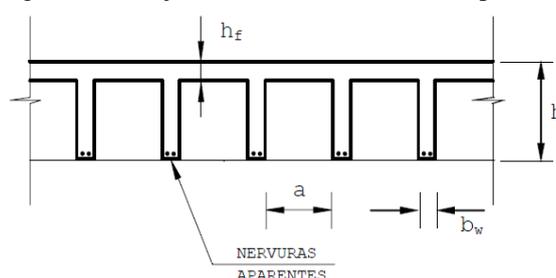
A tipologia das lajes nervuradas é entendida como as várias modalidades de lajes nervuradas encontradas no mercado da construção civil. No entanto, destacam-se dois grandes grupos: as lajes nervuradas moldadas no local e as pré-moldadas.

2.2.2 Lajes nervuradas moldadas no local

As lajes nervuradas moldadas no local são aquelas construídas em toda sua totalidade na obra e na posição definitiva. Existem várias classificações para este tipo de laje, tanto quanto à forma como quanto aos materiais empregados.

Na Figura 2.4 mostra-se parte de uma laje nervurada moldada no local, representada no desenho por um corte transversal, de tal modo que para se obter a forma indicada são necessárias fôrmas, posicionadas sobre tablado ou assoalho de madeira, convenientemente apoiado em cimbramento e espaçadas segundo projeto estrutural.

Figura 2.4 – Laje nervurada com as células aparentes

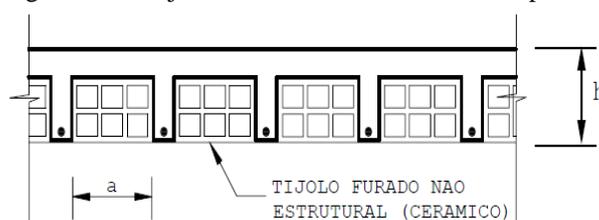


Fonte: Bocchi Jr e Giongo (2010)

A fôrma inferior (assoalho) constituída por madeira compensada, com película plástica para evitar a absorção da água de amassamento do concreto, é apoiada em vigas de madeira ou metálicas que por suas vezes são apoiadas em cimbramentos que podem ser em escoras metálicas ou de madeira.

A fim de evitar o uso de fôrmas entre as nervuras e a face inferior da mesa, é possível usar elementos inertes, sem função estrutural, constituídos por blocos que podem ser cerâmicos, de concreto celular, de poliestireno expandido (EPS), de polipropileno ou de outros materiais, conforme a Figura 2.5. Esses elementos ficam incorporados na laje e para posicioná-los há necessidade do assoalho inferior. A face inferior da laje coincide com as faces inferiores das nervuras e dos blocos, assim o acabamento arquitetônico em argamassa de cimento, cal e areia ou em gesso pode ser aplicado sem prejuízo da aderência.

Figura 2.5 – Laje nervurada com as células não aparentes



Fonte: Bocchi Jr e Giongo (2010)

2.2.2.1 Processo de Execução

A construção das lajes nervuradas de concreto armado moldadas no local requer alguns cuidados, além de várias etapas como as descritas sucintamente a seguir:

Etapa 1: Colocação das fôrmas e dos escoramentos

As fôrmas das lajes nervuradas podem ser de diversos materiais, entre eles destacam-se: madeira compensada, chapas de aço, chapas de fibra de vidro, blocos de concreto celular, cerâmicos, poliestireno expandido e de propileno.

Os blocos são colocados sobre plataformas ou assoalhos (Figura 2.6), as quais são sustentadas pelos cimbramentos, corretamente contraventados e apoiados em base firme que pode ser o contrapiso de pavimento térreo ou a laje de andar inferior. As plataformas e cimbramentos podem ser de madeira ou aço.

Figura 2.6 – Montagem dos blocos para as lajes nervuradas moldadas “*in loco*”



Fonte: Bocchi Jr e Giongo (2010)

Etapa 2: Colocação das armaduras

Após a colocação dos blocos obedecendo-se os espaçamentos especificados em projeto, colocam-se as barras das armaduras das nervuras com seus respectivos espaçadores, a fim de garantir o cobrimento necessário à proteção contra a corrosão. Caso a laje possua armadura transversal (estribos) esta precisa ser posicionada com o espaçamento previsto por meio de espaçadores de argamassa moldados na obra ou plásticos, evitando-se, assim, que estas não

saiam da posição quando da concretagem da laje. A armadura da mesa precisa ser posicionada sobre os blocos, com os espaçamentos e cobrimentos convenientemente avaliados no projeto (BOCCHI JR. e GIONGO, 2010).

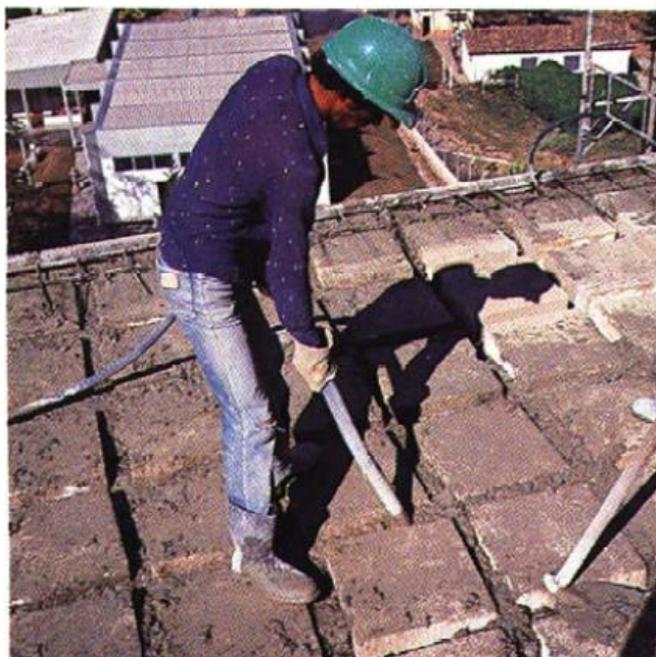
Etapa 3: Preparação e lançamento do concreto

A concretagem de uma laje nervurada precisa, sempre que possível, ser executada de uma única vez, evitando-se as juntas de concretagem. Quando não for possível, é preciso garantir a solidarização na ligação entre o concreto já endurecido com o novo e, para isto, é preciso na ligação remover a nata do concreto endurecido e proceder a limpeza do local antes da nova concretagem, garantindo-se assim a aderência entre os concretos. As juntas de concretagem devem localizar-se em regiões com baixas tensões de cisalhamento (BOCCHI JR. e GIONGO, 2010).

Etapa 4: Adensamento do concreto

O concreto das lajes nervuradas precisa sempre ser vibrado, de preferência mecanicamente, a fim de garantir maior homogeneidade e redução do número de vazios permitindo-se, assim, que se tenha a resistência mínima do concreto prevista em projeto. A vibração é feita com vibradores de imersão (Figura 2.7) manuseados por operários capacitados evitando-se a desagregação do concreto e com dimensões dos agregados compatíveis com as medidas da seção transversal (BOCCHI JR e GIONGO, 2010).

Figura 2.7 – Lançamento e adensamento do concreto em lajes nervuradas moldadas no local



Fonte: Bocchi Jr e Giongo (2010)

Etapa 5: Cura do concreto

Enquanto o concreto não atingir o endurecimento satisfatório este deve ser protegido de agentes prejudiciais como: mudanças bruscas de temperatura, secagem rápida, chuva forte, agentes químicos, bem como contra choques e vibrações que possam produzir fissuras na massa do concreto ou prejudicar a aderência às barras da armadura (BOCCHI JR e GIONGO, 2010).

A reação química de endurecimento do concreto necessita de água e parte dessa água presente no concreto perde-se por evaporação no ambiente. Para que a reação se processe de maneira completa, garantindo-se assim a resistência desejada, deve-se manter o concreto permanentemente umedecido durante o período da cura (BOCCHI JR e GIONGO, 2010).

Etapa 6: Retirada das fôrmas e dos escoramentos

A retirada das fôrmas e escoramentos das lajes nervuradas deve ser feita quando o concreto estiver suficientemente endurecido para resistir às ações atuantes sobre a laje. E essas ações não devem produzir deformações inaceitáveis, tendo em vista que o baixo módulo de elasticidade do concreto nas primeiras idades permite maior deformação do concreto (BOCCHI JR e GIONGO, 2010).

2.2.2.2 Vantagens e desvantagens das lajes nervuradas moldadas no local

I) Vantagens

Segundo Bocchi Jr e Giongo (2010) as vantagens que as lajes nervuradas moldadas no local de concreto armado apresentam são:

- Permitem vencer grandes vãos, liberando espaços, o que é vantajoso em locais como garagens, onde os pilares, além de dificultarem as manobras dos veículos, ocupam regiões que serviriam para vagas de automóveis;
- Podem ser construídas com a mesma tecnologia empregada nas lajes maciças;
- Versatilidade nas aplicações, podendo ser utilizadas em pavimentos de edificações comerciais, residenciais, educacionais, hospitalares, garagens, “shoppings centers”, clubes, etc.;
- São adequadas aos sistemas de lajes sem vigas, devendo manter-se regiões maciças apenas nas regiões dos pilares, onde há grande concentração de esforços;
- Em se tratando de grandes vãos, estas lajes apresentam deslocamentos transversais menores que os apresentados pelas lajes maciças e por aquelas com nervuras pré-fabricadas.

II) Desvantagens

Segundo Bocchi Jr e Giongo (2010) apesar das inúmeras vantagens, as lajes nervuradas moldadas no local de concreto armado apresentam uma série de desvantagens, destacando-se:

- Normalmente aumentam a altura total da edificação;
- Construção com maior número de operações na montagem;
- Dificuldade em projetar uma modulação única para o pavimento todo, de maneira que o espaçamento entre as nervuras seja sempre o mesmo;
- Exigem maiores cuidados durante a concretagem a fim de evitar que fiquem vazios nas nervuras, que costumam ser de pequena largura;
- Dificuldades na fixação dos elementos de enchimento, com a possibilidade de movimentação dos mesmos durante a concretagem;
- Resistência da seção transversal diferenciada em relação a momentos fletores positivos e negativos, necessitando de cálculo mais elaborado.

2.2.3 Lajes nervuradas pré-moldadas de concreto armado

As lajes nervuradas pré-moldadas de concreto armado surgiram como evolução das lajes nervuradas de concreto armado moldadas no local. O processo de pré-fabricação pode ser na obra ou em fábricas próprias. As nervuras pré-fabricadas são transportadas para o canteiro e, posteriormente, posicionadas sobre as fôrmas das vigas e os cimbramentos.

2.2.3.1 Materiais e técnicas de construção das lajes pré-moldadas de concreto armado

2.2.3.1.1 Materiais constituintes

Os materiais que compõem as lajes nervuradas com nervuras pré-fabricadas de concreto armado e possibilitam que elas atendam às necessidades de vãos, ações a serem suportadas, condições estáticas (simplesmente apoiadas, em balanço, contínuas), entre outras, são descritos a seguir.

a) Elementos lineares pré-fabricados

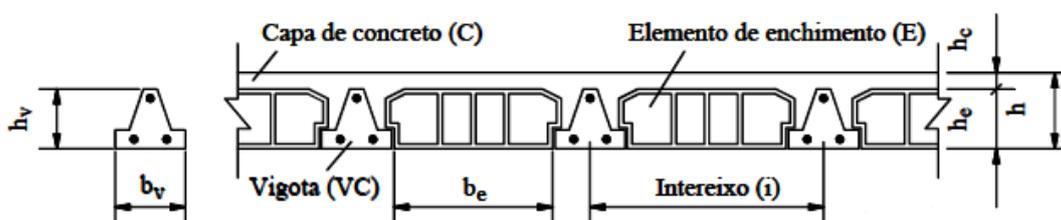
O elemento linear pré-fabricado, também chamado de vigota ou nervura pré-fabricada, tem função resistente, obtida da associação do concreto com armaduras. Esses elementos são moldados com concreto de resistência característica à compressão (f_{ck}) igual a 20 MPa ou superior, têm formato e dimensões constantes e são produzidos em mesas vibratórias com fôrmas metálicas. O elemento linear pré-fabricado e a capa trabalham como uma só peça,

formando a seção resistente da laje, que para efeito de cálculo é admitida como tendo a forma de um “T”.

A ABNT NBR 14859-1:2002 menciona dois tipos de elementos lineares pré-fabricados de concreto armado:

- Vigotas de concreto armado (VC): com seção de concreto usualmente formando um “T” invertido (vigota tipo trilho), com armadura totalmente envolta pelo concreto da vigota, utilizadas para compor as lajes de concreto armado (LC) (Figura 2.8).

Figura 2.8 – Laje nervurada com vigotas de concreto armado

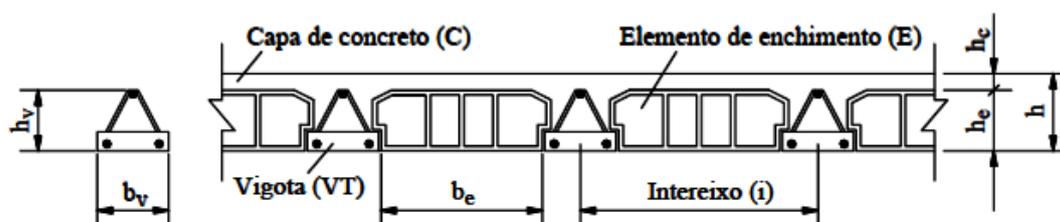


Fonte: ABNT NBR 14859-1:2002

A armadura das vigotas em concreto armado do tipo trilho é apenas longitudinal e possui a função de resistir às tensões de tração por ação de momentos fletores positivos, todavia, eventualmente, também se utiliza uma armadura superior construtiva.

- Vigotas treliçadas (VT): com seção de concreto formando uma placa, com armadura treliçada (conforme ABNT NBR 14862:2002), parcialmente envolta pelo concreto da vigota, e devendo, quando necessário, ser complementada com armadura inferior de tração totalmente envolta pelo concreto da nervura, sendo utilizadas para compor as lajes treliçadas (LT) (Figura 2.9).

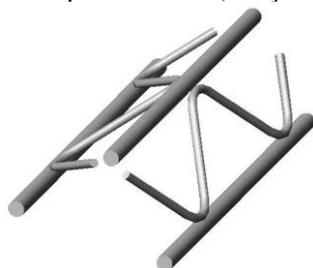
Figura 2.9 – Laje nervurada com vigotas treliçadas de concreto armado



Fonte: ABNT NBR 14859-1:2002

A armadura das vigotas em concreto armado do tipo treliçada é composta por uma treliça espacial pré-fabricada. Essa treliça é constituída por dois fios de aço paralelos na base (banzo inferior) e um fio de aço no topo (banzo superior), interligados por eletrofusão aos dois fios de aço diagonais (sinusóides), com espaçamento regular (Figura 2.10). Os fios de aço do banzo inferior da treliça são necessários para resistir às tensões de tração por ação dos momentos fletores positivos. Enquanto que o do banzo superior não é considerado nos cálculos, sendo empregado apenas por facilidade de fabricação e também para limitar as aberturas de fissuras que possam ocorrer no transporte da vigota. As diagonais da treliça podem funcionar como armadura de cisalhamento, e proporcionam uma excelente ligação entre o concreto da vigota e o concreto moldado no local.

Figura 2.10 – Armadura pré-fabricada (treliça espacial) da vigota treliçada



Fonte: www.comunidade-da-construcao.com.br

O aço para fins de utilização em lajes com vigotas pré-fabricadas de concreto armado deve atender as exigências da Tabela 2.1, indicadas na ABNT NBR 14859-1:2002.

Tabela 2.1 – Aços utilizados em lajes com vigotas pré-fabricadas de concreto armado

Produto	Norma	Diâmetro nominal mínimo (mm)	Diâmetro nominal máximo (mm)
Barras/fios de aço CA-50 / CA-60	NBR 7480/96	6,3 (CA-50) 4,2 (CA-60)	20,0 (CA-50) 10,0 (CA-60)
Tela de aço eletrossoldada	NBR 7481/90	3,4	-
Armadura treliçada eletrossoldada	NBR 14862/02	Diagonal: 3,4 Banzo superior: 6,0 Banzo inferior: 4,2	Diagonal: 7,0 Banzo superior: 12,5 Banzo inferior: 12,5

Fonte: ABNT NBR 14859-1:2002

b) Elementos de enchimento

Neste tipo de laje, assim como para as lajes nervuradas moldadas no local, o elemento de enchimento normalmente fica incorporado na laje e pode ser de blocos cerâmicos, blocos

de concreto celular, blocos de poliestireno expandido (EPS) ou outro material suficientemente rígido que não produzam danos ao concreto nem às armaduras.

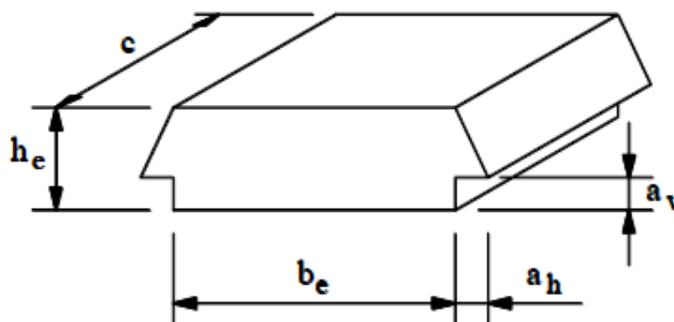
A ABNT NBR 14859-1:2002 indica que os elementos de enchimento utilizados na construção de lajes com vigotas pré-fabricadas de concreto armado devem ter as dimensões padronizadas definidas na Tabela 2.2 e na Figura 2.11.

Tabela 2.2 – Dimensões padronizadas dos elementos de enchimento em centímetros

Altura (h_e) nominal	7,0 (mínima); 8,0; 9,5; 11,5; 15,5; 19,5; 23,5; 28,5	
Largura (b_e) nominal	25,0 (mínima); 30,0; 32,0; 37,0; 39,0; 40,0; 47,0; 50,0	
Comprimento (c) nominal	20,0 (mínimo); 25,0	
Abas de encaixe	(a_v)	3,0
	(a_h)	1,5

Fonte: ABNT NBR 14859-1:2002

Figura 2.11 – Elementos de enchimento



Fonte: ABNT NBR 14859-1:2002

c) Concreto complementar (concreto de capeamento) e das vigotas

O concreto complementar (da capa e de parte da nervura), lançado na obra, deve se ligar ao concreto da vigota pré-fabricada, formando uma estrutura de concreto única (monolítica). Esse concreto tem importância fundamental, pois dará a forma final da seção transversal e será um dos elementos básicos de resistência da estrutura, formando a região comprimida da laje (mesa de compressão). Deverá possuir resistência característica à compressão mínima de 20 MPa, que é a resistência mínima especificada conforme ABNT NBR 6118:2014 para o concreto estrutural.

d) Armadura complementar

A armadura complementar é toda armadura adicionada na obra, durante a montagem da laje. Esta armadura, assim como a das vigotas pré-fabricadas, também deve ser especificada

no projeto estrutural da laje. A armadura complementar pode ser longitudinal, transversal, de distribuição, superior de tração e outras, previstas na ABNT NBR 14859-1:2002.

De acordo com a ABNT NBR 14859-1:2002, a armadura de distribuição deve ter seção de no mínimo $0,9 \text{ cm}^2/\text{m}$ para aços CA-25 e de $0,6 \text{ cm}^2/\text{m}$ para os aços CA-50 e CA-60 e tela soldada contendo pelo menos três barras por metro (Tabela 2.3).

Tabela 2.3 – Área mínima e quantidade de armadura de distribuição

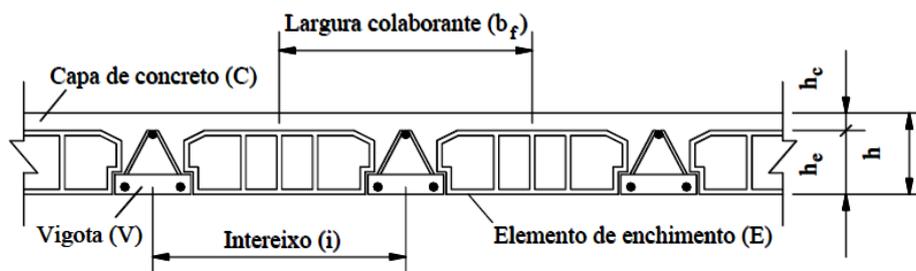
Aço	Área mínima	Número de barras/m	
		Ø 5,0 mm	Ø 6,3 mm
CA-25	$0,9 \text{ cm}^2/\text{m}$	5	3
CA-50, CA-60 e tela soldada	$0,6 \text{ cm}^2/\text{m}$	3	3

Fonte: ABNT NBR 14859-1:2002

2.2.3.2 Parâmetros geométricos que definem a laje e as nervuras

Os principais parâmetros geométricos que definem a laje e as nervuras estão indicados na Figura 2.12, e são relacionados a seguir.

Figura 2.12 – Parâmetros geométricos que definem a laje e as nervuras



Fonte: ABNT NBR 14859-1:2002

a) Intereixo (i)

De acordo com a ABNT NBR 14859-1:2002, intereixo (i) é a distância entre eixos de vigotas pré-fabricadas, entre as quais serão colocados os elementos de enchimento (E).

Os intereixos mínimos variam em função do tipo de vigota pré-fabricada e das dimensões do elemento de enchimento utilizados. Na Tabela 2.4 apresentam-se os intereixos mínimos padronizados indicados na ABNT NBR 14859-1:2002, dados em função do tipo de vigota pré-fabricada.

Tabela 2.4 – Intereixos mínimos padronizados em função do tipo de vigota pré-fabricada

Tipo de vigota pré-fabricada	Intereixos padronizados (cm)
Vigota de concreto armado (VC)	33,0
Vigota treliçada (VT)	42,0

Fonte: ABNT NBR 14859-1:2002

b) Largura da mesa ou largura colaborante (b_f)

A largura da mesa (b_f) é função do intereixo adotado, e deverá ser verificado, no dimensionamento da nervura, se toda ela colabora na resistência às tensões de compressão no concreto.

c) Largura das nervuras (b_w)

A largura das nervuras (b_w) é o parâmetro que menos sofre variação no projeto deste tipo de laje. De acordo com a ABNT NBR 6118:2014, a largura das nervuras não deve ser inferior a 5,0 cm, não sendo permitido o uso de armadura de compressão em nervuras de espessura inferior a 8,0 cm.

d) Altura do elemento de enchimento (h_e)

Em função das alturas padronizadas previstas para os elementos de enchimento, a ABNT NBR 14859-1:2002 prescreve as alturas totais das lajes pré-fabricadas, as quais estão apresentadas na Tabela 2.5.

Tabela 2.5 – Alturas totais de lajes nervuradas com vigotas pré-fabricadas em função das alturas padronizadas dos elementos de enchimento

Altura do elemento de enchimento (h_e) (cm)	Altura total da laje (h) (cm)
7,0	10,0; 11,0; 12,0
8,0	11,0; 12,0; 13,0
10,0	14,0; 15,0
12,0	16,0; 17,0
16,0	20,0; 21,0
20,0	24,0; 25,0
24,0	29,0; 30,0
29,0	34,0; 35,0

Fonte: ABNT NBR 14859-1/2002

e) Altura da vigota (h_v)

No caso de vigotas pré-fabricadas com armadura em treliça, a definição da altura da vigota (distância entre o plano inferior do elemento pré-fabricado de concreto e o topo do banzo superior da treliça) depende principalmente da necessidade ou não de armadura de cisalhamento na laje.

Quando as nervuras necessitam de armadura de cisalhamento, a própria armadura lateral da treliça (diagonais) desempenhará essa função, recomendando-se nesse caso que a barra do banzo superior da treliça fique cerca de 1,5 cm a 2,0 cm abaixo da face superior da laje. Nesse caso a altura da treliça, e conseqüentemente a altura da vigota, passam a depender da altura da laje.

Quando as nervuras não necessitam de armadura de cisalhamento, por sua vez, a armadura lateral da treliça será apenas construtiva, e a altura da treliça não fica vinculada à altura da laje. Neste caso, a altura escolhida para a treliça definirá tão somente a capacidade portante da vigota durante a fase de montagem. Alturas de treliça maiores permitirão adotar um espaçamento maior entre linhas de escora. Normalmente se adota nessas situações o valor mínimo que é de 8,0 cm.

f) Altura total da laje (h)

A altura total da laje (h) é resultado da soma da altura do elemento de enchimento (h_e) com a espessura da mesa (h_c).

g) Altura da mesa ou espessura da capa (h_c)

A espessura da capa é função geralmente da altura total da laje. A ABNT NBR 6118:2014 limita a espessura da capa (mesa) a um mínimo de 4,0 cm ou 1/15 da distância entre as faces das nervuras caso não haja tubulações horizontais embutidas, e a um mínimo de 5,0 cm caso existam tubulações embutidas de diâmetro máximo igual a 10,0 mm. Para tubulações com diâmetro maior que 10,0 mm, a mesa deve ter espessura mínima de 4,0 cm mais o diâmetro, ou 4,0 cm mais duas vezes o diâmetro no caso de haver cruzamento de tubulações.

A ABNT NBR 14859-1:2002, por sua vez, permite considerar a capa como parte resistente da laje se sua espessura for no mínimo igual a 3,0 cm. No caso da existência de tubulações, a espessura da capa acima destas deverá ser de no mínimo 2,0 cm, conforme prescreve essa norma. Devem ser observados ainda os limites indicados na Tabela 2.6 para a espessura mínima da capa, conforme a ABNT NBR 14859-1:2002, em função da altura total

da laje. No entanto, vale ressaltar que, de acordo com as normas ABNT NBR 15575-1:2013 e ABNT NBR 15575-2:2013, a espessura mínima da capa e, conseqüentemente, a espessura total da laje, devem atender às prescrições normativas descritas nas normas ABNT NBR 15200:2012 e ABNT NBR 14432:2001 com relação ao Tempo Requerido de Resistência ao Fogo (TRRF).

Tabela 2.6 – Espessura mínima da capa para as alturas totais padronizadas

Altura total da laje (cm)	10	11	12	13	14	16	17	20	21	24	25	29	30	34
Espessura mínima da capa resistente (cm)	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	5	5	5	5

Fonte: ABNT NBR 14859-1:2002

2.2.3.3 Classificação das lajes nervuradas com vigotas pré-fabricadas de concreto armado

A ABNT NBR 14859-1:2002 prescreve que a designação da altura padronizada da laje com vigotas pré-fabricadas de concreto armado deve ser composta por sua sigla (LC ou LT), seguida da altura total (h), da altura do elemento de enchimento (h_e), seguido do símbolo “+” e da altura da capa (h_c), sendo que todos os valores devem ser expressos em centímetros. Na Tabela 2.7 mostram-se exemplos de como as lajes com vigotas pré-fabricadas devem ser classificadas de acordo com a ABNT NBR 14859-1:2002. As siglas LC e LT, conforme prescreve essa norma, faz referência às lajes nervuradas com vigotas pré-fabricadas de concreto armado (laje tipo trilho) e de concreto armado com armadura em treliça (laje treliçada), respectivamente.

Tabela 2.7 – Exemplos da designação da altura padronizada de lajes nervuradas com vigotas pré-fabricadas

Genérico	Exemplos
LC $h (h_e + h_c)$	LC 11 (7+4)
LT $h (h_e + h_c)$	LT 30 (24+6)

Fonte: ABNT NBR 14859-1:2002

2.2.3.4 Vantagens e desvantagens das lajes nervuradas pré-fabricadas

Segundo Silva (2005), em comparação com os sistemas de lajes maciças e lajes nervuradas moldadas no local, as lajes nervuradas com vigotas pré-fabricadas apresentam diversas vantagens:

- **Versatilidade nas aplicações** - Possibilitam uma ampla gama de aplicações, tais como edifícios residenciais ou comerciais de múltiplos pavimentos, residências térreas ou assobradadas, núcleos habitacionais, galpões, entre outros, proporcionando grande agilidade na construção.
- **Distribuição direta de tubulações** - Permitem embutir tubulações elétricas ou de outros tipos de instalações prediais nas mesmas, evitando em alguns casos o uso das lajes rebaixadas ou o artifício do forro falso.
- **Emprego de armadura em telas** - Permitem o uso de telas (tela soldada) para a armadura de distribuição, proporcionando rapidez na montagem da laje. As armaduras negativas, quando necessário, também podem ser montadas utilizando telas.
- **Redução no consumo de fôrmas e escoramentos** - Dependendo da sua altura, as vigotas pré-fabricadas têm rigidez que permite vencer vãos da ordem de 1 m a 2 m, de modo que a quantidade de escoras necessárias para sua construção é bem menor do que seria em lajes maciças similares. Os elementos de enchimento são apoiados nas vigotas, formando com estas um plano que serve de fôrma para a concretagem da capa e de parte da nervura, dispensando o uso das fôrmas tradicionais de madeira.
- **Redução de custos da estrutura** - Pelo fato de trabalhar com vários materiais industrializados (vigotas pré-fabricadas, elementos de enchimento, etc.), este sistema proporciona uma baixa perda de materiais durante a montagem e a quantidade de mão de obra necessária para a construção dessas lajes é substancialmente reduzida.

Segundo Silva (2005), as principais desvantagens apresentada pelas lajes nervuradas com vigotas pré-fabricadas estão relacionadas com:

- Os valores dos deslocamentos transversais são bem maiores que os apresentados pelas lajes maciças e pelas lajes nervuradas moldadas no local de concreto armado;
- Para vencer grandes vãos ou suportar ações de valores elevados este tipo de laje se mostra, ainda, menos vantajoso, em virtude do aumento da taxa de armadura e da altura final da laje.

2.2.3.4.1 Técnicas para a construção da laje pré-moldada

As etapas do processo construtivo de pavimentos de edificações, utilizando lajes nervuradas com vigotas pré-fabricadas podem ser enumeradas da seguinte maneira:

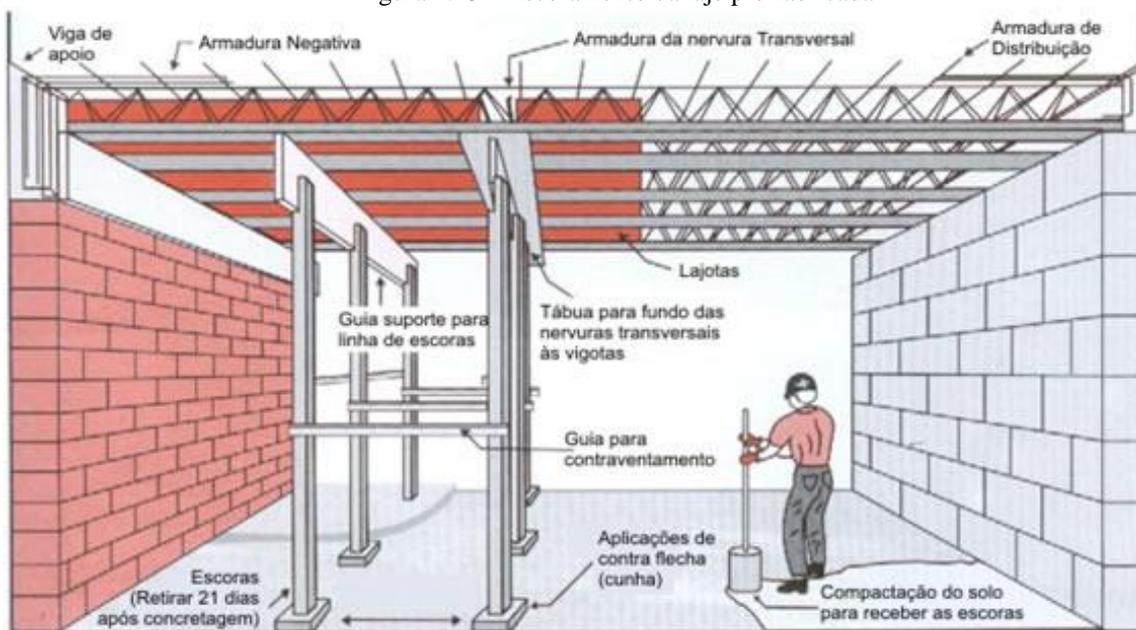
Etapa 1: Colocação dos escoramentos

Nesta etapa, inicialmente, deve ser verificado o nível e o acerto do piso que serve de apoio para as escoras, o qual deve ser resistente, de maneira a não ceder durante a concretagem. Quando o apoio das escoras for o terreno natural, deve-se compactá-lo e apoiar as escoras em tábuas dispostas sobre o mesmo, e não diretamente neste.

O escoramento normalmente é composto por pontaletes e “guias mestres”, ambos podendo ser de madeira ou metálicos, colocados transversalmente às vigotas pré-fabricadas. Os pontaletes devem ser contraventados transversalmente e longitudinalmente, de modo a compor uma estrutura que se auto suporte. Na presença de nervuras transversais às principais, devem ser previstas tábuas deitadas sob as mesmas para servirem de fôrma (Figura 2.13).

Nesta etapa, quando necessário, devem-se aplicar as contraflechas às vigotas pré-fabricadas por meio do escoramento elevando-o.

Figura 2.13 – Escoramento da laje pré-fabricada



Fonte: www.aprendaaconstruirereformar.blogspot.com.br

Etapa 2: Colocação das vigotas pré-fabricadas

A colocação das vigotas pré-fabricadas deve ser feita posicionando elementos de enchimento nas extremidades das mesmas como gabarito do espaçamento entre vigotas. No meio do vão, quando este é grande, também se recomenda posicionar elementos de

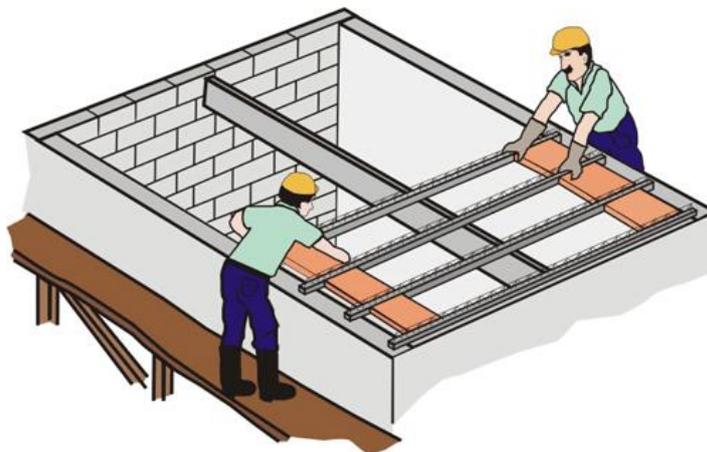
enchimento para delimitar o espaçamento entre vigotas. No vão, as vigotas são apoiadas sobre as linhas de escoramento.

Nas extremidades, duas situações são possíveis para o apoio das vigotas:

- Apoio das vigotas sobre vigas de concreto armado: Neste caso devem-se apoiar as vigotas sobre as fôrmas das vigas, após estas terem sido alinhadas, niveladas e escoradas, e ter colocado e posicionado as armaduras das vigas no interior das mesmas. Recomenda-se que as vigotas penetrem nos apoios pelo menos 5,0 cm, e no máximo igual à metade da largura da viga. A concretagem das vigas de apoio deve ser simultânea com a da laje;
- Apoio das vigotas diretamente sobre alvenaria: Neste caso deve-se construir vergas de concreto (cinta de solidarização) com a finalidade de proporcionar uma melhor distribuição das ações da laje sobre os painéis de alvenaria, impedindo o aparecimento de trincas na alvenaria; as vigotas devem penetrar nos apoios de modo semelhante ao anterior, e a concretagem das vergas também deve ser simultânea com a da laje.

A Figura 2.14 mostra a colocação das vigotas na execução de uma laje nervurada pré-fabricada.

Figura 2.14 – Colocação das vigotas na laje pré-fabricada



Fonte: www.concrenasa.com.br

Etapa 3: Colocação dos elementos de enchimento

Depois de colocadas todas as vigotas, colocam-se os demais elementos de enchimento. Se forem previstas nervuras transversais às principais, deve-se deixar espaço entre os elementos de enchimento para a criação das mesmas. Nesta etapa também se realiza a montagem das instalações que ficarão embutidas na laje (elétricas, hidráulicas, etc.), conforme mostra a Figura 2.15.

Figura 2.15 – Colocação dos materiais de enchimento e montagem das instalações embutidas



Fonte: www.cessconsultoria.blogspot.com.br

Etapa 4: Colocação das armaduras complementares

Conforme indicação (diâmetro, quantidade e posição) que deve ser fornecida pelo projetista, nesta etapa realiza-se a montagem das armaduras complementares. Se forem previstas nervuras transversais às principais, primeiramente devem ser colocadas as armaduras destas nervuras, e na sequência a armadura de distribuição (Figura 2.16).

Figura 2.16 – Distribuição das barras da armadura de distribuição



Fonte: www.siaobahia.com.br

Etapa 5: Limpeza da interface entre os elementos da laje e o concreto a ser lançado

Antes de proceder a concretagem da capa, é importante que se faça uma limpeza cuidadosa da interface entre os elementos da laje (elementos de enchimento, vigotas, forma das vigas, etc.) e o concreto a ser lançado, evitando-se a presença de qualquer substância (areia, pó, etc.) que possa prejudicar a transferência de esforços entre as superfícies de contato.

Etapa 6: Concretagem

A concretagem da capa da laje deve ser acompanhada de alguns cuidados:

- É importante colocar passadiços (tábuas de madeira) sobre a laje para o trânsito dos trabalhadores e transporte de concreto, evitando que os elementos de enchimento se quebrem ao pisar diretamente sobre os mesmos;
- Instalar mestras (guias) de concretagem para “sarrafear” o concreto lançado (concreto complementar);
- Antes da concretagem deve ser feito o umedecimento da interface entre os elementos da laje e o concreto a ser lançado;
- É recomendável que a concretagem seja feita de uma só vez, evitando-se criar juntas de concretagem. Se for inevitável a criação de juntas de concretagem, sua localização deve ser indicada pelo projetista;
- Garantir uma vibração adequada, adensando o concreto suficientemente para que ele penetre no espaço entre os elementos de enchimento e as vigotas, evitando-se a presença de vazios (“bicheiras”) e solidarizando assim a capa com a nervura e formando uma estrutura monolítica;
- É importante garantir o posicionamento das armaduras da laje durante a concretagem, impedindo que elas se desloquem.

A Figura 2.17 mostra um esquema do processo de concretagem de uma laje pré-moldada.

Figura 2.17 – Concretagem da laje



Fonte: www.concrenasa.com.br

Etapa 7: Cura

A cura deve ser iniciada logo após a concretagem. Geralmente a capa de concreto apresenta alturas pequenas (inferiores a 5 cm), o que faz com que a evaporação da água ocorra de maneira intensa, podendo provocar o aparecimento de fissuras no concreto por retração, o que torna esta etapa de suma importância. É recomendado molhar a superfície da laje de concreto durante pelo menos três dias após a concretagem, várias vezes ao dia.

Etapa 8: Retirada do escoramento

A retirada do escoramento deve seguir o funcionamento estrutural do painel de laje. Assim, nos painéis em que as vigotas pré-fabricadas trabalham simplesmente apoiadas deve-se retirar as escoras do centro para as extremidades das vigotas, e nas lajes em balanço, da extremidade das vigotas para os seus apoios. Nos edifícios de múltiplos pavimentos, o escoramento do piso inferior não deve ser retirado antes do término da laje imediatamente superior. Nas lajes de forro, por sua vez, recomenda-se retirar o escoramento da laje somente depois de terminada a montagem da cobertura (telhado). Normalmente, têm-se recomendado que a retirada do escoramento não ocorra antes de pelo menos quatorze dias (duas semanas) contados após a concretagem da laje.

2.2.4 Materiais de enchimento das lajes nervuradas

Os materiais de enchimento são utilizados tanto nas lajes nervuradas moldadas no local como nas lajes nervuradas com nervuras pré-moldadas, onde sua função principal é substituir o concreto abaixo da linha neutra da laje, ou seja, na região tracionada. Eles devem ser o mais leve possível, devendo resistir apenas às operações de execução, ou seja, não têm a função de colaborar na resistência à tração, a qual é destinada às nervuras. Obtém-se assim, com a utilização dos materiais de enchimento, o principal objetivo da utilização das lajes nervuradas que é a redução do peso próprio da estrutura.

Podem ser utilizados vários tipos de materiais de enchimento, entre os quais: blocos cerâmicos, blocos de EPS (poliestireno expandido) e blocos de concreto celular. Esses blocos podem ser substituídos por espaços vazios, obtidos com fôrmas constituídas por caixotes reaproveitáveis.

2.2.4.1 Caixotes reaproveitáveis de polipropileno

Ao optar-se por permanecerem vazios os espaços entre as nervuras, surge a necessidade da utilização de fôrmas na face inferior da mesa, bem como, nas faces laterais e na face

inferior das nervuras. Neste caso, normalmente utilizava-se fôrmas de madeira, porém, por causa dos altos custos deste material, atualmente tem-se optado pela utilização de fôrmas de polipropileno reaproveitáveis.

As fôrmas de polipropileno são moldes desenvolvidos especialmente para construção de lajes nervuradas. Esta tecnologia foi desenvolvida na Inglaterra há mais de 30 anos e é utilizada hoje em mais de 30 países, inclusive no Brasil. Atualmente existem empresas que alugam e/ou vendem essas fôrmas e também sistemas de escoramento próprio para as mesmas, normalmente compostos por elementos metálicos.

Nesse sistema, após a retirada do escoramento, pode-se injetar ar comprimido no furo existente no caixote de fibra e o mesmo é expulso (Figura 2.18), permitindo o seu reaproveitamento. Segundo informações de empresas que comercializam moldes para lajes nervuradas que empregam este sistema, um caixote pode ser reutilizado até cem vezes.

Figura 2.18 – Retirada dos caixotes



Fonte: Formplast (1998) apud Albuquerque (1999)

Existe uma tendência de se substituir o assoalho da laje por escoras, barrotes e contra-barrotes (Figura 2.19). Isso proporciona uma grande economia para os sistemas estruturais que utilizam lajes nervuradas com caixotes (ALBUQUERQUE, 1999). Todavia entre engenheiros, esse não é ponto pacífico, pois alguns alegam que os trabalhadores nessa condição estariam mais expostos a acidentes de trabalho (NAZAR, 2007).

Figura 2.19 – Escoramento dos caixotes sem assoalho



Fonte: Albuquerque (1999)

Segundo Silva (2002) as principais vantagens da utilização deste tipo de enchimento são:

- Não incorporam peso à laje;
- Eliminam a necessidade do uso de compensado contribuindo para a preservação ambiental, uma vez que reduzem o uso de madeira para a laje;
- Atendem a diversos tipos de projetos, pois são encontradas com diversas dimensões e alturas (Figura 2.20);
- Por serem leves facilitam o manuseio na obra;
- A montagem e a desforma são extremamente fáceis, uma vez que podem ser apoiadas diretamente sobre o escoramento;
- A laje apresenta boa estética após a execução, não sendo necessária a aplicação de nenhum revestimento (Figura 2.21);
- Possibilidade da utilização de forro falso que permite a passagem de dutos de instalações não embutidos na estrutura.

Figura 2.20 – Detalhe de moldes de fôrmas de polipropileno



Fonte: www.atex.com.br

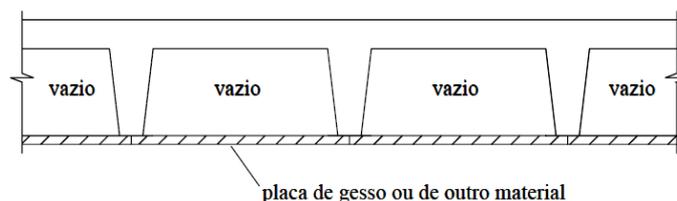
Figura 2.21 – Laje nervurada construída com caixotes



Fonte: www.atex.com.br

Silva (2002) aponta como desvantagem o indício de que alguns arquitetos não aprovam o uso deste sistema pelo fato de a face inferior da laje não apresentar superfície plana, acarretando a necessidade do emprego de forros (Figura 2.22), aumentando o custo do sistema.

Figura 2.22 – Seção transversal de laje nervurada com placas escondendo as nervuras e os espaços vazios entre estas



Fonte: Silva (2005)

2.2.4.2 Blocos de EPS (poliestireno expandido)

O EPS é uma matéria-prima revolucionária na área da construção civil. EPS é sigla padronizada pela ISO (*Internacional Organization for Standardization*) para o poliestireno expansível. No Brasil, é mais conhecido como isopor, marca registrada de uma empresa. Descoberto pelos químicos Fritz Stastny e Karl Buchholz em 1949, na Alemanha, este derivado do petróleo é um monômero polimerizado em meio aquoso, que recebe uma adição de gás pentano (inofensivo à natureza) – agente expensor. O EPS é industrializado em “pérolas” milimétricas, capazes de expandir-se até 50 vezes quando expostas ao vapor d’água. O resultado é uma espuma rígida formada por 98% de ar e apenas 2% de poliestireno. Em 1 m³ de EPS há 3 a 6 bilhões de células fechadas e cheias de ar, que impedem a passagem de líquidos como a água (SILVA, 2002).

Os blocos de poliestireno expandido podem ser utilizados como material de enchimento na construção de lajes nervuradas armadas em uma e em duas direções.

Silva (2002) apresenta as seguintes vantagens do uso do EPS em lajes nervuradas:

- Por apresentar baixo peso específico, o EPS proporciona uma significativa redução do peso próprio da estrutura e conseqüentemente economia em aço, concreto e na fundação. Essa sua propriedade favorece o seu manuseio, tanto no transporte vertical quanto no horizontal, acarretando economia de mão de obra. Tudo isso aumenta a produtividade, diminui o tempo de execução e reduz mão de obra;
- É produzido em grandes blocos, permitindo recortes nas dimensões desejadas. Os cortes no EPS são muito fáceis de serem feitos (com uso de facas ou de serrotes, por

exemplo) e não há perda devido a quebras (Figura 2.23). Há, também, facilidade em executar cortes para passagem de tubulações;

- Por ser um material que possui baixa absorção de água, não prejudica a cura do concreto;
- Proporciona maior conforto acústico, pois há uma redução de ruídos entre pavimentos;
- É um material seguro, pois em caso de incêndio não propaga chamas (classe F), ou seja, tem um comportamento auto extingüível, liberando apenas vapor d'água na queima;
- Não apodrece, não mofa e não serve de alimento para microrganismos;
- Pode ser estocado naturalmente ao tempo;
- Custo acessível.

Figura 2.23 – Vista dos blocos de EPS



Fonte: Franca e Fusco (1997)

Segundo Silva (2002) as principais desvantagens do emprego do EPS em lajes nervuradas são:

- Por apresentar baixo peso específico, o processo de concretagem torna-se mais difícil;
- Incorporam carga permanente à laje, quando comparado com fôrmas constituídas e moldes de polipropileno;

- O EPS não pode receber diretamente o revestimento. O revestimento da face inferior da laje deve ser feito com chapisco, utilizando-se um aditivo de base acrílica (PVA), que estabeleça a ponte de ligação estável entre o EPS e os materiais de natureza cristalina (chapisco).

2.2.5 Prescrições da ABNT NBR 6118:2014 para as lajes nervuradas

A determinação das dimensões das lajes nervuradas pode ser feita pelos conhecimentos adquiridos pelo engenheiro de estruturas, com base na experiência profissional e seguindo recomendações indicadas em normas, devendo-se sempre respeitar as dimensões mínimas exigidas.

Basicamente, a seção transversal de uma laje nervurada apresenta as seguintes dimensões: espessura da mesa; espessura das nervuras; espaçamento entre eixos das nervuras e altura total da laje.

Em relação às espessuras da mesa e das nervuras a ABNT NBR 6118:2014, no item 13.2.4.2, prescreve que:

- a) A espessura da mesa, quando não existirem tubulações horizontais embutidas, deve ser maior ou igual a $1/15$ da distância entre as faces das nervuras e não menor que 4 cm. O valor mínimo absoluto da espessura da mesa deve ser 5 cm, quando existirem tubulações embutidas de diâmetro menor ou igual a 10 mm. Para tubulações com diâmetro maior que 10 mm, a mesa deve ter a espessura mínima de 4 cm mais o diâmetro da tubulação, ou 4 cm mais duas vezes o diâmetro da tubulação no caso de haver cruzamento destas tubulações. No entanto, conforme mencionado no item 2.4.3.2 deste trabalho, de acordo com as normas ABNT NBR 15575-1:2013 e ABNT NBR 15575-2:2013, a espessura mínima da mesa e, conseqüentemente, a espessura total da laje, devem atender às prescrições normativas descritas nas normas ABNT NBR 15200:2012 e ABNT NBR 14432:2001 com relação ao Tempo Requerido de Resistência ao Fogo (TRRF);
- b) A espessura das nervuras não pode ser inferior a 5 cm. Nervuras com espessura menor que 8 cm não podem conter armadura de compressão.

Sobre o espaçamento entre os eixos das nervuras, a ABNT NBR 6118:2014, no item 13.4.2.2, faz uma referência apenas para fim de determinação dos esforços solicitantes e verificação da segurança estrutural, onde precisam ser obedecidas as seguintes condições:

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

2.3 Ações a considerar no dimensionamento de lajes

O item 4.3 da ABNT NBR 8681:2003 define ações como causas que provocam esforços ou deformações nas estruturas. Do ponto de vista prático, as forças e as deformações impostas pelas ações são consideradas como se fossem as próprias ações. As deformações impostas são por vezes designadas por ações indiretas e as forças, por ações diretas.

Para determinação das ações atuantes nas lajes deve-se recorrer às normas ABNT NBR 6118:2014, ABNT NBR 8681:2003 e ABNT NBR 6120:1980, entre outras pertinentes. As ações peculiares das lajes de cada tipo de sistema estrutural também devem ser cuidadosamente avaliadas. Se as normas brasileiras não tratarem de cargas específicas, pode-se recorrer a normas estrangeiras, a bibliografias especializadas, aos fabricantes de equipamentos mecânicos, de máquinas, etc. (BASTOS, 2005).

Nas construções de edifícios correntes, geralmente as ações principais a serem consideradas são as ações permanentes (g) e as ações variáveis (q).

2.3.1 Ações permanentes

O item 3.5 da ABNT NBR 8681:2003 define ações permanentes como aquelas que ocorrem com valores constantes ou de pequena variação em torno de sua média, durante praticamente toda a vida da construção.

A ABNT NBR 8681:2003, no item 4.2.1.1, classifica as ações permanentes em ações permanentes diretas e ações permanentes indiretas. As ações permanentes diretas são constituídas pelos pesos próprios dos elementos da construção, incluindo-se o peso próprio da estrutura e de todos os elementos construtivos permanentes, os pesos dos equipamentos fixos e os empuxos devido ao peso próprio de terras não removíveis e de outras ações permanentes

sobre elas aplicadas. Ações permanentes indiretas são constituídas por deformações impostas por retração dos materiais, fluência, recalques de apoio, imperfeições geométricas e protensão.

2.3.1.1 Ações permanentes em lajes

Para o dimensionamento de lajes de concreto armado consideram-se como ações permanentes o peso próprio da laje, contrapiso, revestimento do teto, piso e paredes.

2.3.1.1.1 Peso próprio da laje

O peso próprio da laje é o peso do concreto armado que forma a laje, acrescido do peso do material de enchimento se a laje for nervurada. Para o peso específico do concreto armado (γ_{conc}) a ABNT NBR 6118:2014 item 8.2.2 indica o valor de 25 kN/m³. No cálculo do peso próprio das lajes nervuradas deve ser descontada a área equivalente ao enchimento (Figura 2.24) sendo calculado pela equação 2.3.

$$g_{pp} = \frac{i_x \cdot i_y \cdot h - a_x \cdot a_y \cdot h_{ench}}{i_x \cdot i_y} \cdot \gamma_{conc} \quad (2.3)$$

Onde: g_{pp} = peso próprio da laje (kN/m²);

i_x = Intereixos na direção x em metros;

i_y = Intereixos na direção y em metros;

a_x = comprimento equivalente ao enchimento na direção x;

a_y = comprimento equivalente ao enchimento na direção y;

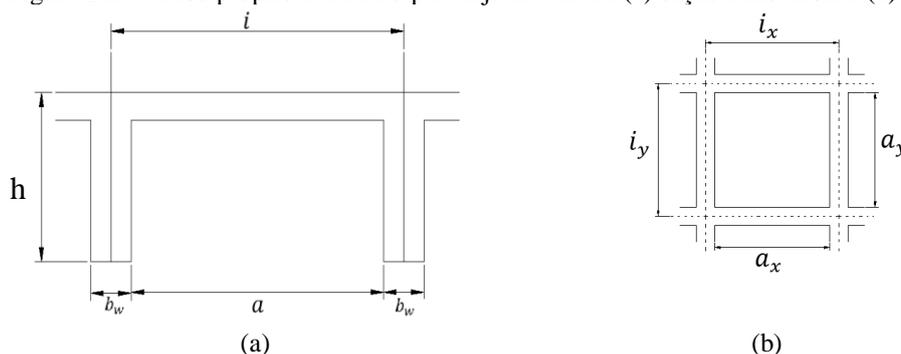
b_w = espessura da alma da nervura em metros;

h_c = espessura da capa de concreto em metros;

h_{ench} = altura equivalente ao enchimento em metros;

h = altura total da laje em metros.

Figura 2.24 – Peso próprio calculado para laje nervurada (a) seção transversal e (b) em planta



Fonte: Tavares (2015)

Para laje nervurada com caixote reaproveitável não se acrescenta o peso do material de enchimento no cálculo do peso próprio da laje, visto que para esta tipologia construtiva não há incorporação de carga referente ao material de enchimento. Enquanto que para laje nervurada com material de enchimento permanente, que é o caso das lajes treliçadas, a parcela de peso referente ao material de enchimento deve ser computada considerando o peso específico do material adotado.

2.3.1.1.2 Contrapiso

Contrapiso ou argamassa de regularização é o nome dado à camada de argamassa colocada logo acima do concreto da superfície das lajes. A sua função é de nivelar e diminuir a rugosidade da laje, preparando-a para receber o revestimento de piso final.

A espessura do contrapiso deve ser cuidadosamente avaliada. Recomenda-se adotar espessura não inferior a 3,0 cm (BASTOS, 2005). A argamassa do contrapiso tem comumente o traço 1:3 (em volume), sendo considerado o peso específico (γ_{contr}) de 21 kN/m³ segundo a ABNT NBR 6120:1980.

A ação permanente do contrapiso é função da sua espessura:

$$g_{contr} = \gamma_{contr} \cdot e_{contr} = 21 \cdot e_{contr} \quad (2.3)$$

Onde: g_{contr} = carga permanente do contrapiso (kN/m²);

e_{contr} = espessura do contrapiso (m).

2.3.1.1.3 Revestimento do Teto

Na superfície inferior das lajes ou teto do pavimento inferior é comum executar-se, para alguns tipos de lajes, uma camada de revestimento de argamassa sobreposta à camada fina de chapisco. Para essa argamassa, menos rica em cimento, pode-se considerar, segundo a ABNT NBR 6120:1980, o peso específico (γ_{rev}) de 19 kN/m³.

De modo geral, este revestimento tem pequena espessura, mas recomenda-se adotar espessura não inferior a 1,5 ou 2,0 cm (BASTOS, 2005). Para o revestimento de teto a ação permanente é:

$$g_{rev.teto} = \gamma_{rev} \cdot e_{rev} = 19 \cdot e_{rev} \quad (2.4)$$

Onde: $g_{rev.teto}$ = carga permanente do revestimento do teto (kN/m²);

e_{rev} = espessura do revestimento (m).

2.3.1.1.4 Piso

O piso é o revestimento final na superfície superior da laje, assentado sobre a argamassa de regularização. Para a sua correta quantificação é necessário definir o tipo ou material do qual o piso é composto, o que normalmente é feito com auxílio do projeto arquitetônico, que define o tipo de Piso de cada ambiente da construção. Os tipos mais comuns são os de madeira, de cerâmica, carpetes ou forrações, e de rochas, como granito e mármore (BASTOS, 2005).

A ABNT NBR 6120:1980 fornece os pesos específicos de diversos materiais, valores estes que auxiliam no cálculo da carga do piso por metro quadrado de área de laje.

2.3.1.1.5 Paredes

Para determinar a carga das paredes sobre as lajes, é necessário conhecer o tipo de unidade de alvenaria (tijolo, bloco, etc.) que compõe a parede ou o peso específico da parede, a espessura e a altura da parede, bem como a sua disposição e extensão sobre a laje.

A carga de parede é considerada como uma força linearmente distribuída na direção da parede sobre a laje ou sobre a viga, cujo valor é dado por:

$$P = \gamma_{alv} \cdot e_p \cdot h_p \quad (2.5)$$

Onde: P = força concentrada representativa da parede (kN/m);

γ_{alv} = peso específico da parede (kN/m³);

e_p = espessura da parede (m);

h_p = altura da parede (m).

2.3.2 Ações variáveis

O item 4.2.1.2 da ABNT NBR 8681:2003 considera como ações variáveis as cargas acidentais das construções, bem como efeitos, tais como forças de frenação, de impacto e centrífugas, efeitos do vento, das variações de temperatura, do atrito nos aparelhos de apoio e, em geral, as pressões hidrostáticas e hidrodinâmicas. Em função de sua probabilidade de ocorrência durante a vida da construção, as ações variáveis são classificadas em normais ou especiais:

a) Ações variáveis normais: são ações com probabilidade de ocorrência suficientemente grande para que sejam obrigatoriamente consideradas no projeto das estruturas de um dado tipo de construção;

b) Ações variáveis especiais: nas estruturas em que devam ser consideradas certas ações especiais, como ações sísmicas ou cargas acidentais de natureza ou de intensidade especiais, elas também devem ser admitidas como ações variáveis. As combinações de ações em que comparecem ações especiais devem ser especificamente definidas para as situações especiais consideradas.

2.3.2.1 Ações variáveis nas lajes

A ação variável nas lajes é tratada pela ABNT NBR 6120:1980 no item 2.2 como carga acidental. Na prática também costumam chamar a ação variável de sobrecarga de utilização. As cargas verticais que se consideram atuando nos pisos de edificações, além das que se aplicam em caráter especial, referem-se a carregamentos devidos a pessoas, móveis, utensílios materiais diversos e veículos, e são supostas uniformemente distribuídas.

A Tabela 2.8 contém os valores mínimos das cargas verticais atuantes para o dimensionamento de lajes de edifícios residenciais segundo a ABNT NBR 6120:1980.

Tabela 2.8 – Valores mínimos das cargas verticais

Local		Carga (kN/m ²)
Edifícios residenciais	Dormitórios, sala, copa, cozinha, e banheiro	1,5
	Despensa, área de serviço e lavanderia	2
Escadas	Com acesso ao público	3
	Sem acesso ao público	2,5
Corredores	Com acesso ao público	3
	Sem acesso ao público	2
Forros	Sem acesso a pessoas	0,5

Fonte: ABNT NBR 6120:1980

2.3.3 Ações excepcionais

O item 4.2.1.3 da ABNT NBR 8681:2003 considera como excepcionais as ações decorrentes de causas tais como explosões, choques de veículos, incêndios, enchentes ou sismos excepcionais.

2.4 Ação de vento e estabilidade global de estruturas de concreto armado

As estruturas, mesmo simples, estão sempre sujeitas, além das ações gravitacionais, às ações laterais decorrentes, principalmente, dos efeitos do vento. No caso de estruturas de grande altura ou que têm relação elevada entre altura e maior dimensão em planta, estes

efeitos se tornam mais importantes e podem, inclusive, desencadear situações de instabilidade na edificação. Dessa forma, embora em algumas situações as estruturas tenham rigidez suficiente para que possam ser desprezados os efeitos de segunda ordem devidos à instabilidade global, ainda assim é preciso avaliar se as ações de vento são significativas e necessitam ser consideradas no cálculo (CARVALHO e PINHEIRO, 2009).

2.4.1 Determinação da intensidade da ação do vento

A ABNT NBR 6118:2014 estabelece que os esforços devidos à ação do vento devem ser sempre considerados, devendo ser determinados de acordo com o prescrito pela ABNT NBR 6123:1988, permitindo-se o emprego de regras simplificadas previstas em normas brasileiras específicas. Esses esforços podem ser considerados como concentrados ao nível de cada laje (CARVALHO e PINHEIRO, 2009).

A pressão de obstrução q causada pelo vento (pressão dinâmica do vento, em N/m²), correspondente à velocidade característica V_k (m/s), que é a velocidade utilizada em projeto, em condições normais de temperatura (15 °C) e pressão (1 atm = 1013,2 mbar = 101320 Pa), pode ser determinada aplicando o teorema de Bernoulli:

$$q = 0,613 \cdot V_k^2 \quad (2.6)$$

Esta velocidade característica do vento é obtida, em geral, em referência a valores medidos próximos da região em que se construirá a edificação. Há, portanto, necessidade de uniformizar a maneira de medir a velocidade do vento ao longo de vários anos e, depois, transformar este valor para a ação que irá atuar realmente na estrutura. De modo geral, a velocidade do vento em uma edificação é analisada em função do local da construção, do tipo de terreno (plano, em aclave, morro, etc.), da altura da edificação, da rugosidade do terreno (tipo e altura dos obstáculos na vizinhança) e da finalidade da edificação (hospital, residência, indústria, etc.) (CARVALHO e PINHEIRO, 2009).

A NBR 6123:1988 estabelece que o cálculo da velocidade característica deva ser feito a partir da velocidade básica do vento pela seguinte expressão:

$$V_k = V_0 \cdot S_1 \cdot S_2 \cdot S_3 \quad (2.7)$$

Onde: V_k é a velocidade característica do vento (m/s);

V_0 é a velocidade básica do vento (m/s);

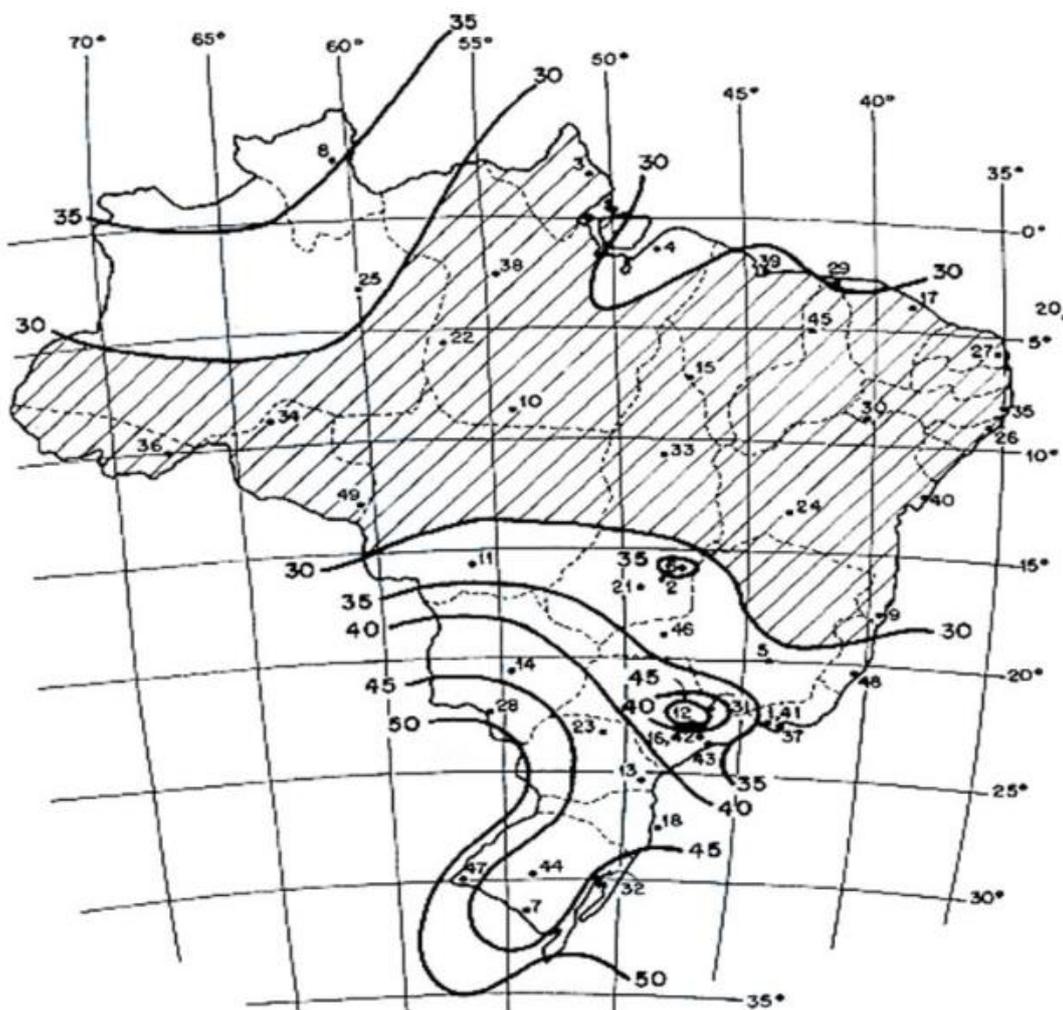
S_1 é um fator que depende da topografia (fator topográfico);

S_2 é o fator de rugosidade do terreno (dimensões e altura da edificação);
 S_3 é um fator estatístico.

Como regra geral, é admitido que o vento básico pode soprar de qualquer direção horizontal e a velocidade básica do vento é dada em um gráfico de isopletras do Brasil (curvas que contêm pontos com a mesma velocidade básica de vento), como o da Figura 2.25, e considerando as seguintes situações:

- Velocidade básica de uma rajada de 3 segundos;
- Período de retorno de 50 anos;
- Probabilidade de 63% de ser excedida pelo menos uma vez no período de retorno de 50 anos.
- Altura de 10 m;
- Terreno plano, em campo aberto e sem obstruções.

Figura 2.25 – Isopletras de velocidade básica V_0 (m/s)



Fonte: ABNT NBR 6123:1988

Os valores dos coeficientes S_1 , S_2 e S_3 são empregados para ajustar o valor da velocidade do vento medida experimentalmente com a que provavelmente atuará na edificação em questão. Determinada a pressão de obstrução, é possível calcular a força de arrasto, que é a ação do vento perpendicular a uma determinada superfície, obtida em função do coeficiente de arrasto C_a (CARVALHO e PINHEIRO, 2009).

2.4.1.1 Fator topográfico S_1

O fator topográfico leva em consideração as variações do relevo do terreno, e, para a sua determinação, três situações são contempladas: terreno plano ou pouco ondulado, talude e morros. Na Figura 2.26 estão essas três possibilidades que correspondem aos pontos A, B e C. O ponto A se refere a um terreno plano, o ponto B a um aclive em que há aumento da velocidade do vento, e o ponto C a uma situação de vale protegido em que há diminuição da velocidade do vento. Para cada uma dessas situações, S_1 assume os seguintes valores:

- Terrenos planos ou fracamente acidentados: $S_1 = 1,0$;
- Vales protegidos de ventos de qualquer direção: $S_1 = 0,9$.

Para taludes e morros alongados nos quais pode ser admitido um fluxo de ar bidirecional soprando no sentido indicado na Figura 2.26:

- No ponto A (morros) e nos pontos A e C (taludes): $S_1 = 1,0$;
- No ponto B o fator S_1 , que é uma função $S_1(z)$, é calculado pelas expressões da Tabela 2.9 para diversas declividades, podendo ser feita interpolação linear para valores intermediários de θ .

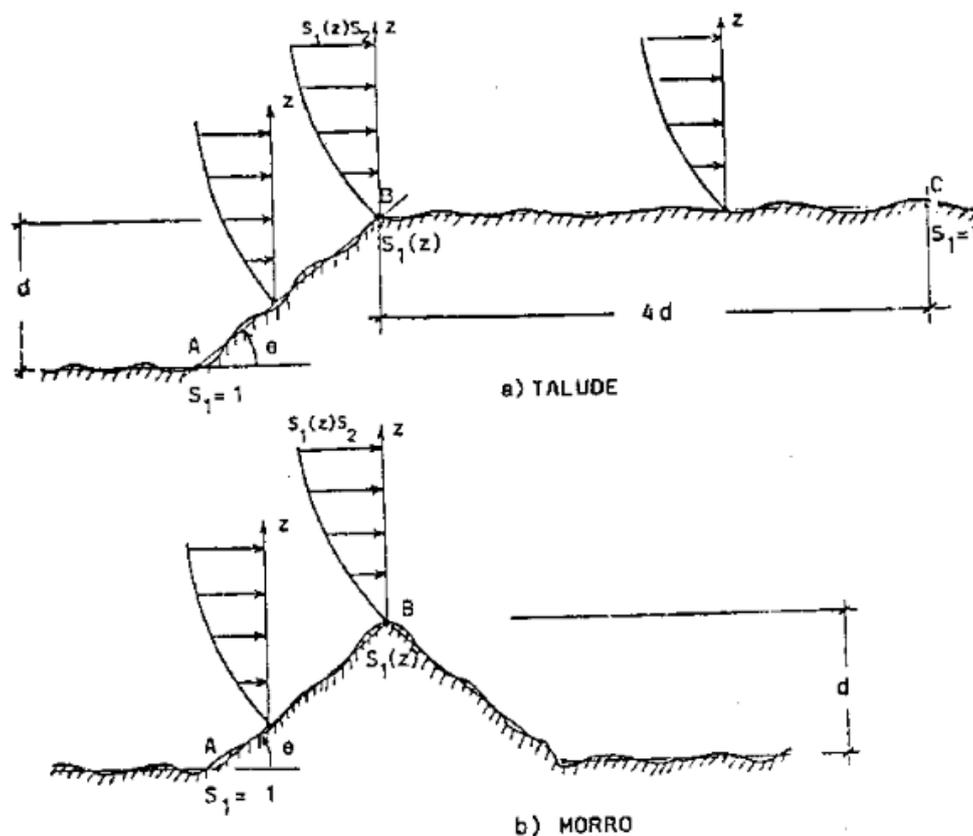
Tabela 2.9 – Fator topográfico em função da altura da edificação

Inclinação do talude/morro (θ)	Fator topográfico (S_1)
$\theta \leq 3^\circ$	$S_1 = 1,0$
$6^\circ \leq \theta \leq 3^\circ$	$S_1 = 1,0 + \left(2,5 - \frac{z}{d}\right) \tan(\theta - 3^\circ) \geq 1$
$\theta \geq 45^\circ$	$S_1 = 1,0 + \left(2,5 - \frac{z}{d}\right) 0,31 \geq 1$

Fonte: ABNT NBR 6123:1988

Em que:

- z é a altura medida a partir da superfície do terreno no ponto considerado;
- d é a diferença do nível entre a base e o topo do talude ou morro;
- θ é a inclinação média do talude ou encosta do morro.

Figura 2.26 – Fator topográfico $S_1(z)$ 

Fonte: ABNT NBR 6123:1988

2.4.1.2 Fator S_2

De acordo com a ABNT NBR 6123:1988, o fator S_2 considera o efeito combinado da rugosidade do terreno, da variação da velocidade do vento com a altura acima do terreno e das dimensões da edificação ou parte da edificação em consideração.

a) Rugosidade do terreno

O efeito da rugosidade leva em conta as particularidades da edificação em relação à sua dimensão e à presença ou não de obstáculos ao seu redor. A rugosidade do terreno é classificada em cinco categorias:

- Categoria I – Superfícies lisas de grandes dimensões, com mais de 5 km de extensão, medida na direção e sentido do vento incidente. Exemplos: mar calmo, lagos, rios e pântanos sem vegetação.
- Categoria II – Terrenos abertos em nível ou com poucos obstáculos isolados, tais como árvores e edificações baixas. Exemplos: zonas costeiras planas, pântanos com vegetação rala e campos de aviação, pradarias e charnecas e fazendas sem sebes ou muros. A cota média do topo dos obstáculos é considerada inferior ou igual a 1 metro.

- Categoria III – Terrenos planos ou ondulados com obstáculos, tais como sebes e muros, poucos quebra-ventos de árvores, edificações baixas e esparsas. Exemplos: granjas e casas de campo, fazendas com sebes e muros, subúrbios distantes do centro, com casas baixas e esparsas. A cota média do topo dos obstáculos é considerada igual a 3,0 metros.
- Categoria IV – Terrenos cobertos por obstáculos numerosos e pouco espaçados, em zonas florestais, industriais ou urbanizados. Exemplos: zonas de parques, bosques com muitas florestas, cidades pequenas e seus arredores, subúrbios densamente construídos de grandes cidades e áreas industriais plena ou parcialmente desenvolvidas. A cota média do topo dos obstáculos é considerada igual a 10 metros. Esta categoria também inclui zonas com obstáculos maiores e que ainda não possam ser consideradas na categoria V.
- Categoria V – Terrenos cobertos por obstáculos numerosos, grandes, altos e pouco espaçados. Exemplos: florestas com árvores altas de copas isoladas, centros de grandes cidades e complexos industriais bem desenvolvidos. A cota média do topo dos obstáculos é considerada igual ou superior a 25 metros.

b) Dimensões da edificação

Segundo a ABNT NBR 6123:1988, a velocidade do vento varia continuamente, e seu valor médio pode ser calculado sobre qualquer intervalo de tempo. Foi verificado que o intervalo mais curto das medidas usuais (3 segundos) corresponde a rajadas cujas dimensões envolvem convenientemente obstáculos de até 20 metros na direção do vento médio. Quanto maior o intervalo de tempo usado no cálculo da velocidade média, tanto maior a distância abrangida pela rajada. Foram escolhidas três classes de edificações, partes de edificações e seus elementos, em que os intervalos de tempo para cálculo da velocidade média são, respectivamente, 3, 5 e 10 segundos:

- Classe A – Todas as unidades de vedação, seus elementos de fixação e peças individuais de estruturas sem vedação. Toda edificação ou parte da edificação na qual a maior dimensão horizontal ou vertical da superfície frontal não exceda a 20 metros.
- Classe B – Toda edificação ou parte da edificação na qual a maior dimensão horizontal ou vertical da superfície frontal esteja entre 20 e 50 metros.
- Classe C – Toda edificação ou parte da edificação na qual a maior dimensão horizontal ou vertical da superfície frontal exceda a 50 metros.

c) Altura sobre o terreno

O fator S_2 usado no cálculo da velocidade do vento em uma altura z acima do nível geral do terreno é obtido pela expressão a seguir, sendo que os parâmetros que permitem determinar S_2 para as cinco categorias de terrenos são apresentados na Tabela 2.10.

$$S_2 = b \cdot Fr_r \cdot \left(\frac{z}{10}\right)^p \quad (2.8)$$

Em que:

- z é a altura acima do terreno;
- Fr_r é o fator de rajada correspondente sempre à categoria II (Tabela 2.10);
- b é um parâmetro meteorológico usado na determinação de S_2 (Tabela 2.10);
- p é o expoente da lei potencial de variação de S_2 (Tabela 2.10).

Tabela 2.10 – Parâmetros meteorológicos

Categoria	Z (m)	Parâmetro	Classes		
			A	B	C
I	250	b	1,10	1,11	1,12
		P	0,06	0,0695	0,07
II	300	b	1,00	1,00	1,00
		Fr	1,00	0,98	0,95
		p	0,085	0,09	0,10
III	350	b	0,94	0,94	0,93
		p	0,10	0,105	0,115
IV	420	b	0,86	0,85	0,84
		p	0,12	0,125	0,135
V	500	b	0,74	0,73	0,71
		p	0,15	0,16	0,175

Fonte: ABNT NBR 6123:1988

2.4.1.3 Fator estatístico S_3

O fator estatístico S_3 é baseado em conceitos estatísticos, e considera o grau de segurança requerido e a vida útil da edificação. Segundo a ABNT NBR 6123:1988, o nível de probabilidade (0,63) e a vida útil (50 anos) são considerados adequados para edificações normais destinadas a moradias, hotéis, escritórios, etc. (grupo 2, Tabela 2.11). Na falta de uma norma específica sobre segurança nas edificações ou de indicações correspondentes na norma

estrutural, os valores mínimos do fator S_3 são os indicados na Tabela 2.11 para cinco grupos de edificações e ocupação.

Tabela 2.11 – Valores mínimos do fator estatístico S_3

Grupo	Descrição	S_3
1	Edificação cuja ruína total ou parcial pode afetar a segurança ou a possibilidade de socorro a pessoas após uma tempestade destrutiva, tais como hospitais, quartéis de bombeiros e forças de segurança, centrais de comunicação, etc.	1,10
2	Edificações para hotéis e residências e edificações para comércio e indústria de alto fator de ocupação.	1,00
3	Edificações e instalações industriais com baixo fator de ocupação, tais como silos, depósitos, construções rurais, etc.	0,95
4	Vedações: telhas, vidros, painéis de vedação, etc.	0,88
5	Edificações temporárias e edificações do grupo 1 a 3 durante a construção	0,83

Fonte: ABNT NBR 6123:1988

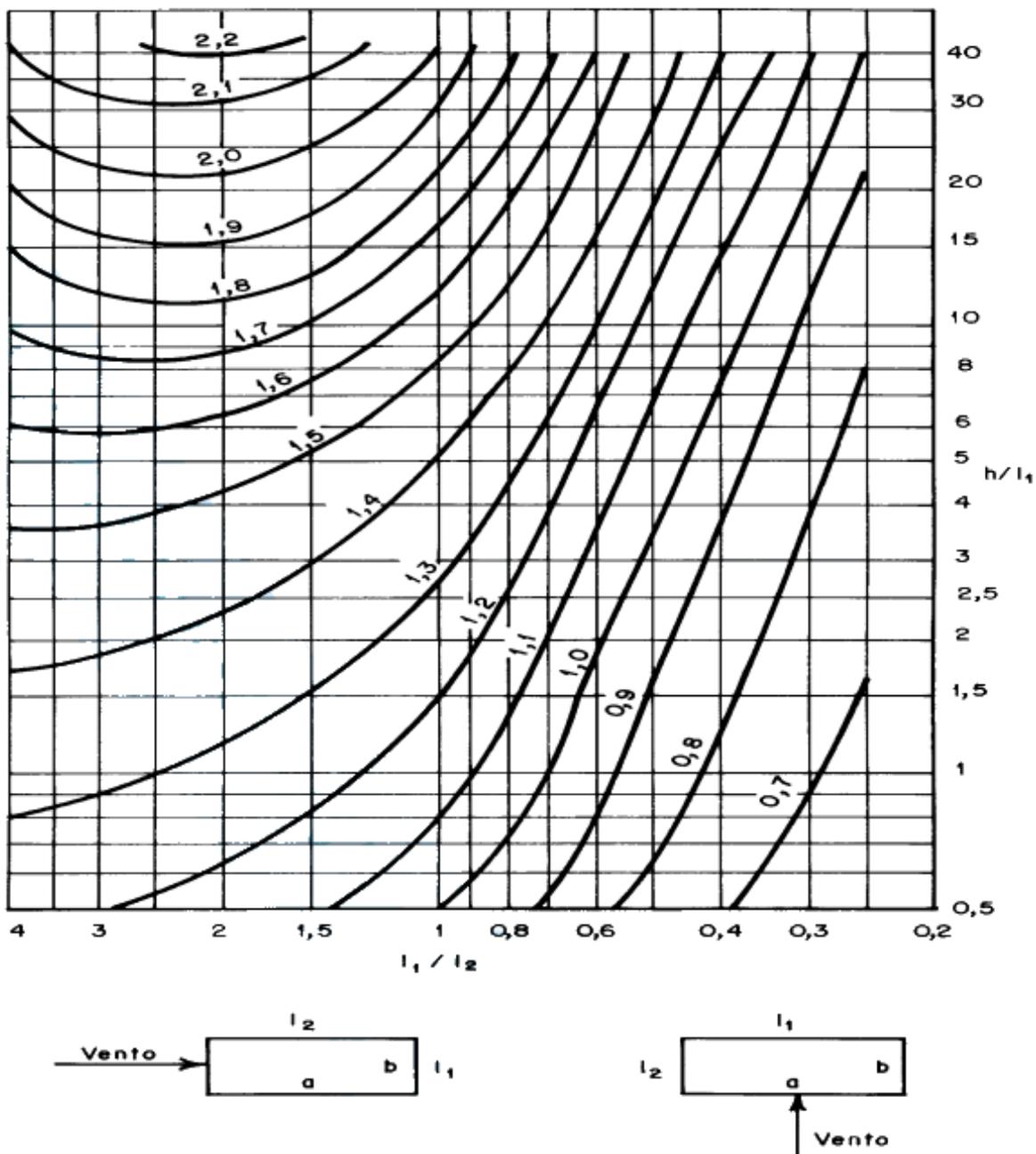
2.4.1.4 Coeficiente de arrasto C_a

É um coeficiente adimensional usado na avaliação da força global na estrutura, sendo determinado conforme item 6.3 da ABNT NBR 6123:1988 e pode variar de 0,7 a 2,2, dependendo da forma da edificação.

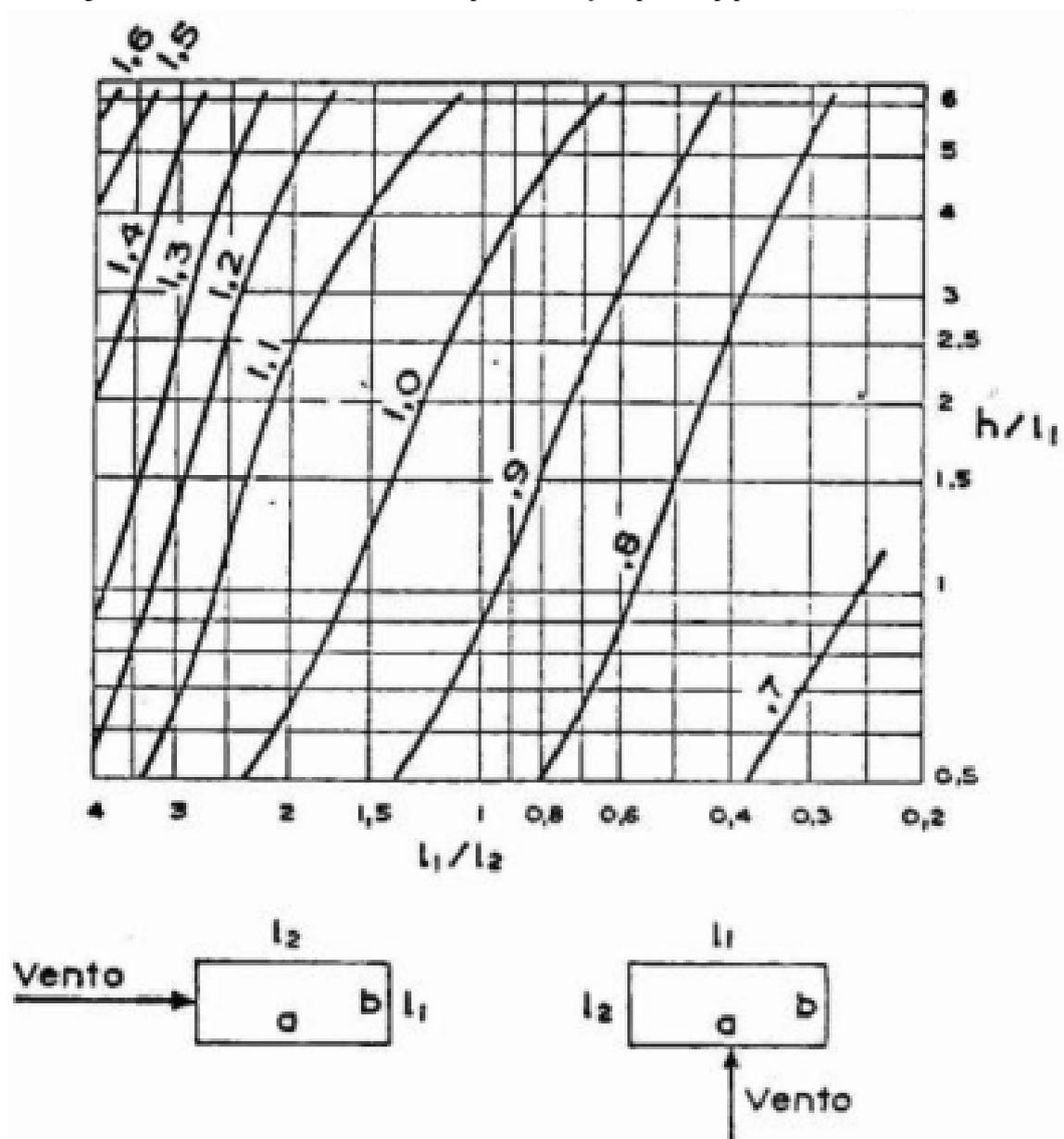
Segundo o item 6.3.1 da ABNT NBR 6123:1988, para vento de baixa turbulência incidindo perpendicularmente a cada uma das fachadas de uma edificação retangular em planta e assente no terreno, deve ser usado o gráfico da Figura 2.27. No caso de vento de alta turbulência, os valores são dados pelo gráfico da Figura 2.28

Os coeficientes de arrasto são dados, tanto na Figura 2.27 quanto na Figura 2.28, em função das relações h/l_1 e l_1/l_2 . Onde h é a altura da edificação acima do terreno, medida até o topo da platibanda ou nível do beiral, l_1 é a largura da edificação (dimensão horizontal perpendicular à direção do vento) e l_2 é a profundidade da edificação (dimensão na direção do vento).

Figura 2.27 – Coeficiente de arrasto, C_a , para edificações paralelepípedicas em vento de baixa turbulência



Fonte: ABNT NBR 6123:1988

Figura 2.28 – Coeficiente de arrasto, C_a , para edificações paralelepípedicas em vento de alta turbulência

Fonte: ABNT NBR 6123:1988

2.4.1.5 Força de arrasto do vento

A força do vento que atua em uma superfície de uma edificação é considerada sempre perpendicular a esta superfície. A força global do vento F_g é a soma de todas as forças incidentes nas diversas partes (superfícies) que compõem um edifício e permite saber as ações globais que serão utilizadas em toda a estrutura. A componente da força global na direção do vento é a força de arrasto F_a , obtida por:

$$F_a = C_a \cdot q \cdot A_e \quad (2.9)$$

Em que:

- F_a é a força de arrasto (N);
- C_a é o coeficiente de arrasto;
- q é a pressão dinâmica (Pa);
- A_e é a área de projeção ortogonal da edificação, estrutura ou elemento estrutural sobre um plano perpendicular à direção do vento (m²).

2.4.2 Estabilidade global das estruturas de concreto armado

Segundo a norma ABNT NBR 6118:2014, as estruturas de concreto devem ser projetadas, construídas e utilizadas de modo que, sob as condições ambientais previstas e respeitadas, as condições de manutenção preventiva especificadas no projeto conservem sua segurança, estabilidade, aptidão em serviço e aparência aceitável, durante um período prefixado de tempo, sem exigir medidas extras de manutenção e reparo.

Os esforços calculados a partir da geometria inicial da estrutura, sem deformação, são chamados efeitos de primeira ordem. Aqueles advindos da deformação da estrutura são chamados de efeito de segunda ordem. A consideração dos efeitos de segunda ordem conduz à não-linearidade entre ações e deformações, a qual, devido sua origem, é chamada de não-linearidade geométrica. A fissuração e fluência do concreto levam também a uma não-linearidade (entre ações e deformações) chamada, neste caso, de não-linearidade física (CARVALHO e PINHEIRO, 2009).

As deformações existentes nas estruturas permitem calcular os efeitos de segunda ordem que, de acordo com o item 15.4.1 da ABNT NBR 6118:2014, podem ser divididos em efeitos globais, locais e localizados de segunda ordem.

De acordo com esse item da norma, sob a ação das cargas verticais e horizontais, os nós da estrutura deslocam-se horizontalmente. Os esforços de segunda ordem decorrentes desses deslocamentos são chamados efeitos globais de segunda ordem. Nas barras da estrutura, os respectivos eixos não se mantêm retilíneos, surgindo efeitos locais de segunda ordem que, em princípio, afetam principalmente os esforços solicitantes. Em pilares parede, pode-se ter uma região que apresenta não retilineidade maior do que a do eixo do pilar como um todo e nestas regiões surgem efeitos de segunda ordem maiores, chamados de efeito de segunda ordem localizados (CARVALHO e PINHEIRO, 2009).

Para criar condições mais simples de cálculo, costuma-se definir estruturas de nós fixos e nós móveis. No item 15.4.2 da ABNT NBR 6118:2014, definem-se estruturas de nós fixos como aquelas em que os deslocamentos horizontais dos nós são pequenos e, por decorrência,

os efeitos globais de segunda ordem são desprezíveis (inferiores a 10% dos respectivos esforços de primeira ordem, que são aqueles obtidos com o cálculo feito com a estrutura considerada indeformada). Nessas estruturas, basta considerar os efeitos locais e localizados de segunda ordem.

De acordo com o item 15.4.2 da ABNT NBR 6118:2014, estruturas de nós móveis são definidas como aquelas em que os deslocamentos horizontais não são pequenos e, em decorrência, os efeitos globais de segunda ordem são importantes (superiores a 10% dos respectivos esforços de primeira ordem). Nessas estruturas devem ser obrigatoriamente considerados tanto os esforços de segunda ordem globais como os locais e localizados.

O item 15.5 da ABNT NBR 6118:2014 apresenta as condições para a dispensa da consideração dos esforços globais de segunda ordem. Definem-se dois processos aproximados (apresentados respectivamente em 15.5.2 e 15.5.3 da ABNT NBR 6118:2014): o do parâmetro α e o do coeficiente γ_z .

2.4.2.1 Parâmetros de instabilidade α

De acordo com item 15.5.2 da ABNT NBR 6118:2014, uma estrutura reticulada pode ser considerada como sendo de nós fixos se seu parâmetro de instabilidade α for menor que o valor α_1 , conforme a expressão:

$$\alpha = H_{tot} \sqrt{N_k / (E_{cs} I_c)} \quad (2.10)$$

Onde:

$$\alpha_1 = 0,2 + 0,1n \quad \text{se: } n \leq 3$$

$$\alpha_1 = 0,6 \quad \text{se: } n \geq 6$$

Em que:

n é o número de níveis de barras horizontais (andares) acima da fundação ou de nível pouco deslocável do subsolo;

H_{tot} é a altura total da estrutura, medida a partir do topo da fundação ou de um nível pouco deslocável do subsolo;

N_k é o somatório de todas as cargas verticais atuantes na estrutura (a partir do nível considerado para o cálculo de H_{tot}), com seu valor característico;

$E_{cs} I_c$ representa o somatório dos valores de rigidez de todos os pilares na direção considerada. No caso de estruturas de pórticos, de treliças ou mistas, ou com pilares de

rigidez variável ao longo da altura, pode ser considerado o valor da expressão $E_{cs}I_c$ de um pilar equivalente de seção constante.

2.4.2.2 Coeficiente γ_z

Segundo o item 15.5.3 da ABNT NBR 6118:2014, o coeficiente γ_z de avaliação da importância dos esforços de segunda ordem globais é válido para estruturas reticuladas de no mínimo quatro andares. Ele pode ser determinado a partir dos resultados de uma análise linear de primeira ordem, para cada caso de carregamento, adotando-se os valores de rigidez dados em 15.7.3 da ABNT NBR 6118:2014.

O valor de γ_z é determinado pela seguinte expressão:

$$\gamma_z = \frac{1}{1 - \frac{\Delta M_{tot,d}}{M_{1,tot,d}}} \quad (2.11)$$

Em que:

- $M_{1,tot,d}$ é o momento de tombamento, ou seja, a soma dos momentos de todas as forças horizontais, com seus valores de cálculo, em relação à base da estrutura;
- $\Delta M_{tot,d}$ é a soma dos produtos de todas as forças verticais atuantes na estrutura, na combinação considerada, com seus valores de cálculo, pelos deslocamentos horizontais de seus respectivos pontos de aplicação, obtidos da análise de primeira ordem.

Considera-se que a estrutura é de nós fixos se for obedecida a condição:

$$\gamma_z \leq 1,1 \quad (2.12)$$

2.4.2.3 Análise de estruturas de nós fixos

Nas estruturas de nós fixos, de acordo com o item 15.6 da ABNT NBR 6118:2014, o cálculo pode ser realizado considerando cada elemento comprimido isoladamente, como barra vinculada nas extremidades aos demais elementos estruturais que ali concorrem, onde se aplicam os esforços obtidos pela análise da estrutura efetuada segundo a teoria de 1ª ordem.

A análise dos efeitos locais de 2ª ordem é feita de acordo com o que se prescreve no item 15.8 da ABNT NBR 6118:2014, que trata da análise de elementos isolados.

De acordo com o item 15.6 da ABNT NBR 6118:2014, submetida à ação de forças horizontais, a estrutura é sempre calculada como deslocável. O fato de a estrutura ser classificada como de nós fixos dispensa apenas a consideração dos esforços globais de 2ª ordem.

2.4.2.4 Análise de estruturas de nós móveis

Na análise estrutural de estruturas de nós móveis, segundo o item 15.7.1 da ABNT NBR 6118:2014, devem ser obrigatoriamente considerados os efeitos da não linearidade geométrica e da não linearidade física, e no dimensionamento devem ser obrigatoriamente considerados os efeitos globais e locais de 2ª ordem.

2.4.2.4.1 Análise não linear de 2ª ordem

De acordo com o item 15.7.2 da ABNT NBR 6118:2014, uma solução aproximada para a determinação dos esforços globais de 2ª ordem consiste na avaliação dos esforços finais (1ª ordem + 2ª ordem) a partir da majoração adicional dos esforços horizontais da combinação de carregamento considerada por $0,95 \gamma_z$. Esse processo só é válido para $\gamma_z \leq 1,3$.

2.4.2.4.2 Consideração aproximada da não linearidade física

Para a análise dos esforços globais de 2ª ordem, em estruturas reticuladas com pelo menos quatro andares, segundo o item 15.7.3 da ABNT NBR 6118:2014, pode ser considerada a não linearidade física de maneira aproximada, tomando-se como rigidez dos elementos estruturais os valores seguintes:

- Lajes: $(E \cdot I)_{sec} = 0,3 \cdot E_{ci} \cdot I_c$
- Vigas: $(E \cdot I)_{sec} = 0,4 \cdot E_{ci} \cdot I_c$ para $A'_s \neq A_s$ e

$$(E \cdot I)_{sec} = 0,5 \cdot E_{ci} \cdot I_c \text{ para } A'_s = A_s$$

- Pilares: $(E \cdot I)_{sec} = 0,8 \cdot E_{ci} \cdot I_c$

Em que:

- E_{ci} é o módulo de elasticidade tangente inicial do concreto determinado de acordo com o item 8.2.8 da NBR 6118:2014;
- I_c é o momento de inércia da seção bruta do concreto, incluindo, quando for o caso, as mesas colaborantes.

Segundo o item 15.7.3 da ABNT NBR 6118:2014, os valores de rigidez adotados são aproximados e não podem ser usados para avaliar esforços locais de 2ª ordem, mesmo com uma discretização maior da modelagem.

2.4.2.4.3 Análise dos efeitos locais de 2ª ordem

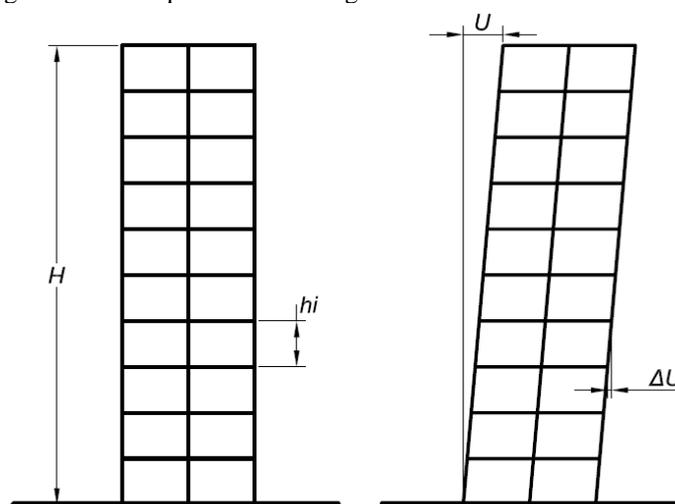
Segundo o item 15.7.4 da ABNT NBR 6118:2014, a análise global de 2ª ordem fornece apenas os esforços nas extremidades das barras, devendo ser realizada uma análise dos efeitos locais de 2ª ordem ao longo dos eixos das barras comprimidas de acordo com o prescrito no item 15.8 da ABNT NBR 6118:2014.

2.4.3 Deslocamentos horizontais nas estruturas de concreto armado

De acordo com a Tabela 13.3 da ABNT NBR 6118:2014 o deslocamento horizontal limite no topo da edificação U , provocado pela ação do vento para combinação frequente de ações ($\psi_1=0,30$), deve ser calculado como sendo $H/1700$, onde H é a altura total da edificação (Figura 2.29).

A ABNT NBR 6118:2014 ainda prescreve na Tabela 13.2 que o deslocamento horizontal (ΔU) entre pavimentos, provocado pela ação do vento para combinação frequente de ações ($\psi_1=0,30$), deve ser comparado com os valores limites, os quais são calculados por $h_i/850$, onde h_i é o desnível entre dois pavimentos vizinhos (Figura 2.29).

Figura 2.29 – Esquema estrutural genérico indeformado e deformado



Fonte: Sphor (2008)

2.5 Programa comercial de cálculo estrutural – CYPECAD

Desenvolvido e comercializado pela *CYPE INGENIEROS S.A.*, o CYPECAD é um *software* para projeto de edifícios de concreto armado que permite a análise espacial com dimensionamento de todos os elementos estruturais, a edição das armaduras e seções, e obtenção dos desenhos para execução da estrutura. O programa realiza o cálculo de estruturas tridimensionais formadas por pilares, vigas e lajes, incluindo a fundação, bem como o

dimensionamento e o detalhamento automático dos elementos de concreto armado e metálicos.

Uma característica muito apreciada pelos usuários é a sua entrada gráfica. Trabalha em um ambiente *CAD* próprio sem a necessidade de outros *softwares CAD*. Porém permite uma completa integração com outros programas *CAD* (arquivos *DWG* ou *DXF*), para importar projetos arquitetônicos ou exportar pranchas com fôrmas e armaduras para *softwares* com edição de desenhos.

O CYPECAD possui um recurso exclusivo para lançamento automático da estrutura a partir da planta da arquitetura feita no *CAD*. Através de *layers*, são reconhecidas a locação dos pilares, as vigas de contorno e as respectivas lajes, bem como as aberturas existentes no projeto.

A norma ABNT NBR 6118:2003 encontra-se implementada na versão 2012.a do programa que foi utilizado nesta pesquisa. No entanto, é possível realizar as adaptações e verificações necessárias para o atendimento à nova ABNT NBR 6118:2014. Destacam-se alguns itens importantes encontrados na memória de cálculo do programa, listados a seguir.

A análise das solicitações realiza-se por meio de um cálculo espacial em *3D*, pelo Método dos Elementos Finitos (MEF), considerando todos os elementos que definem a estrutura: lajes, vigas e pilares.

Estabelece a compatibilidade de deformações em todos os nós, considerando seis graus de liberdade e a hipótese de indeformabilidade do plano de cada piso para simular o comportamento rígido da laje, impedindo os deslocamentos relativos entre os nós do mesmo (Diafragma Rígido). Por isso, cada piso apenas poderá rodar e deslocar-se no seu conjunto (três graus de liberdade).

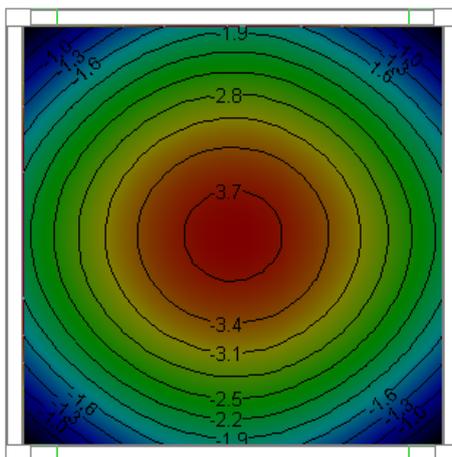
A consideração de Diafragma Rígido para cada zona independente de um piso mantém-se, mesmo quando da introdução de vigas e de não se introduzirem lajes no piso.

Emprega-se a não linearidade geométrica por meio do método *P – delta* (*P-Δ*), para o qual se deve indicar o coeficiente multiplicador dos deslocamentos, que é o inverso do redutor de rigidez, tomando-se como padrão $1 / 0,7 = 1,43$.

No referido método são considerados os efeitos locais, calculando a excentricidade adicional por flambagem e os efeitos globais, aplicando o método *P-Δ* e o coeficiente amplificador de esforços γ_z às combinações de vento.

O programa não calcula flecha diferida em lajes maciças e nervuradas, levando em conta a fluência, todavia a flecha instantânea pode ser consultada na guia ISOVALORES do programa como mostrada na Figura 2.30.

Figura 2.30 – Flecha instantânea em milímetros exibida na guia isovalores do CYPECAD para laje nervurada de dimensões 5 x 5 metros



Fonte: Autor (2015)

Além da ABNT NBR 6118:2003, a versão 2012.a do CYPECAD realiza o dimensionamento de acordo com as seguintes normas:

- ✓ Fundações – ABNT NBR 6122/1996;
- ✓ Carregamentos – ABNT NBR 6120/1980;
- ✓ Vento – ABNT NBR 6123/1988;
- ✓ Barras – ABNT NBR 7480/1996;
- ✓ Ações e Combinações – ABNT NBR 8681/2003.

Como a versão do programa utilizado dimensiona a estrutura utilizando a ABNT NBR 6118:2003, ABNT NBR 6122:1996 e a ABNT NBR 7480:1996, foram feitas as verificações necessárias para o atendimento à ABNT NBR 6118:2014, ABNT NBR 6122:2010 e à ABNT 7480:2007.

2.5.1 Discretização da estrutura

Segundo a memória de cálculo do programa CYPECAD, a estrutura é discretizada em elementos tipo barra, grelha de barras e nós da seguinte forma:

• Pilares

São discretizados em barras verticais entre cada piso, com um nó no arranque de fundação ou em outro elemento, como uma viga ou laje, e na intersecção de cada piso, sendo

o seu eixo o da seção transversal. Consideram-se as excentricidades devidas à variação de dimensões em altura. O comprimento da barra é a altura ou a distância livre à face de outros elementos.

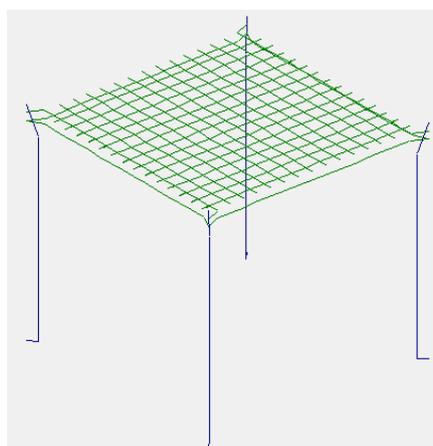
- Vigas

Definem-se em planta fixando nós na intersecção com as faces de elementos de suporte (pilares, paredes ou muros), assim como nos pontos de corte com elementos de laje ou com outras vigas. Assim se criam os nós no eixo e nos bordos laterais e, analogamente, nas extremidades de consolos e extremos livres ou em contato com outros elementos das lajes. Por isso, uma viga entre dois pilares é constituída por várias barras consecutivas, cujos nós são as intersecções com as barras de lajes. Possuem sempre três graus de liberdade, mantendo a hipótese de diafragma rígido entre todos os elementos que se encontram em contato. Por exemplo, uma viga contínua que se apoia em vários pilares, mesmo que não tenha laje, conserva a hipótese de diafragma rígido.

- Lajes nervuradas bidirecionais moldadas no local

A discretização dos panos de lajes nervuradas realiza-se em malhas de elementos tipo barra como na Figura 2.31, cujo tamanho é um terço da dimensão entre eixos definida entre nervuras da zona nervurada e cuja inércia à flexão é metade da zona maciça, e a inércia à torção, o dobro da de flexão. A dimensão da malha mantém-se constante tanto na zona nervurada como na maciça, adotando em cada zona as inércias médias antes indicadas. Tem-se em conta a deformação por corte, mantém-se a hipótese de diafragma rígido e considera-se a rigidez à torção dos elementos.

Figura 2.31 – Discretização do modelo 3D da estrutura de um painel de laje nervurada bidirecional moldada no local com fôrmas de polipropileno gerada no CYPECAD

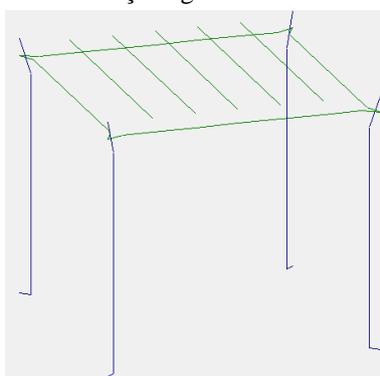


Fonte: Autor (2015)

- Lajes de nervuradas unidirecionais pré-fabricadas

A discretização dos panos de lajes nervuradas unidirecionais pré-fabricadas realiza-se em elementos tipo barra, como na Figura 2.32, os quais representam as vigotas, e se definem nas aberturas entre vigas ou muros, onde criam nós nas intersecções de bordo e eixo correspondentes da viga que intersectam. Pode-se definir vigota dupla e tripla, que se representa por uma única barra com alma de maior largura. A geometria da seção em formato de “T”, à qual se assimila cada vigota, define-se na correspondente ficha de dados da laje.

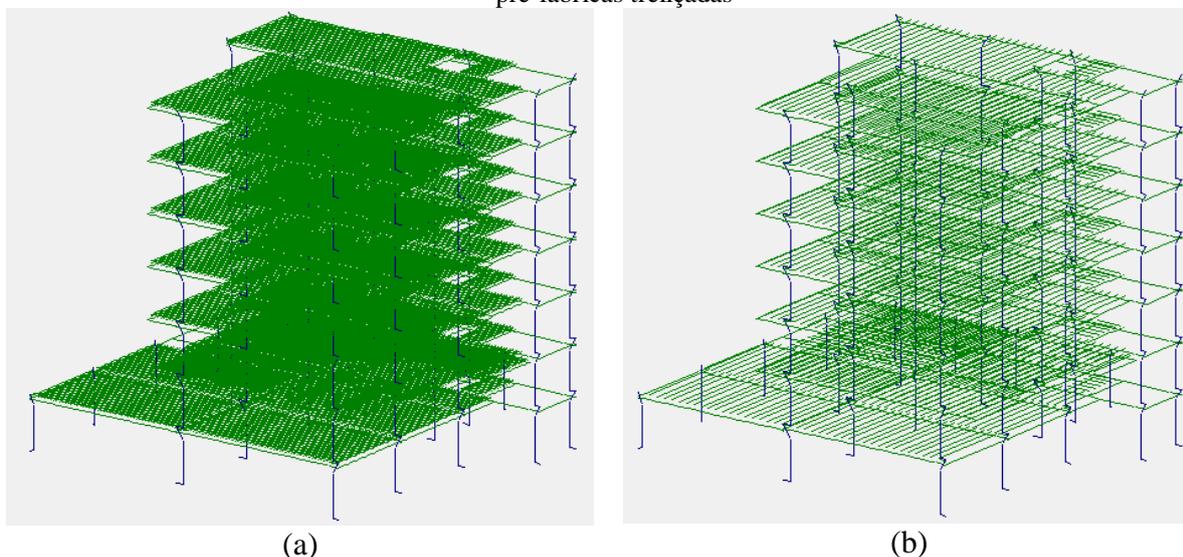
Figura 2.32 – Discretização do modelo 3D da estrutura de um painel de laje nervurada unidirecional pré-fabricada treliçada gerada no CYPECAD



Fonte: Autor (2015)

A Figura 2.33 mostra a discretização do modelo 3D da estrutura do edifício empregado no estudo de caso do presente trabalho considerando (a) sistema de lajes nervuradas bidirecionais moldadas no local com fôrmas de polipropileno e (b) sistema de lajes nervuradas unidirecionais pré-fabricadas treliçadas.

Figura 2.33 – Discretização do modelo 3D da estrutura do edifício obtida no CYPECAD considerando (a) Lajes nervuradas bidirecionais moldadas no local com fôrmas de polipropileno e (b) Lajes nervuradas unidirecionais pré-fabricadas treliçadas



Fonte: Autor (2015)

2.5.2 Cálculo da estrutura

Segundo a memória de cálculo do programa CYPECAD, o cálculo da estrutura é dividido em cinco fases.

A primeira fase do cálculo no programa consiste na geração das estruturas geométricas de todos os elementos, formando a matriz de rigidez da estrutura. Se o programa detectar dados incorretos emite mensagens de erro e detém o processo de cálculo. Esta fase pode-se executar de forma independente para um grupo ou para toda a obra.

A segunda fase consiste na inversão da matriz de rigidez. No caso de ser singular, emite-se uma mensagem que adverte de um mecanismo, se detectar tal situação em algum elemento ou parte da estrutura. Neste caso o processo de cálculo detém-se.

Numa terceira fase obtêm-se os deslocamentos de todas as hipóteses definidas. Emite-se uma mensagem que indica deslocamentos excessivos nos pontos da estrutura que superem um valor, quer seja por um incorreto desenho estrutural, quer pelas rigidezes à torção definidas em algum elemento.

A quarta fase consiste na obtenção das envolventes de todas as combinações definidas, para todos e para cada um dos elementos: vigas, lajes, pilares, etc.

Na quinta e última fase procede-se ao dimensionamento da armadura de todos os elementos definidos, de acordo com as combinações e envolventes, geometria, materiais e tabelas de armadura existentes. No caso de se superar em alguma viga a resistência do concreto por compressão oblíqua, emite-se uma mensagem. O programa continua até ao fim, emitindo uma informação.

Ao finalizar o cálculo, indicam-se os erros mais problemáticos surgidos durante o cálculo. Pode-se consultar no próprio programa ou também imprimir num arquivo ou impressora dependendo do tipo de erro. Outros erros devem ser consultados em cada elemento estrutural (pilar, viga, laje, etc).

2.6 Software de Treliças Gerdau - STG

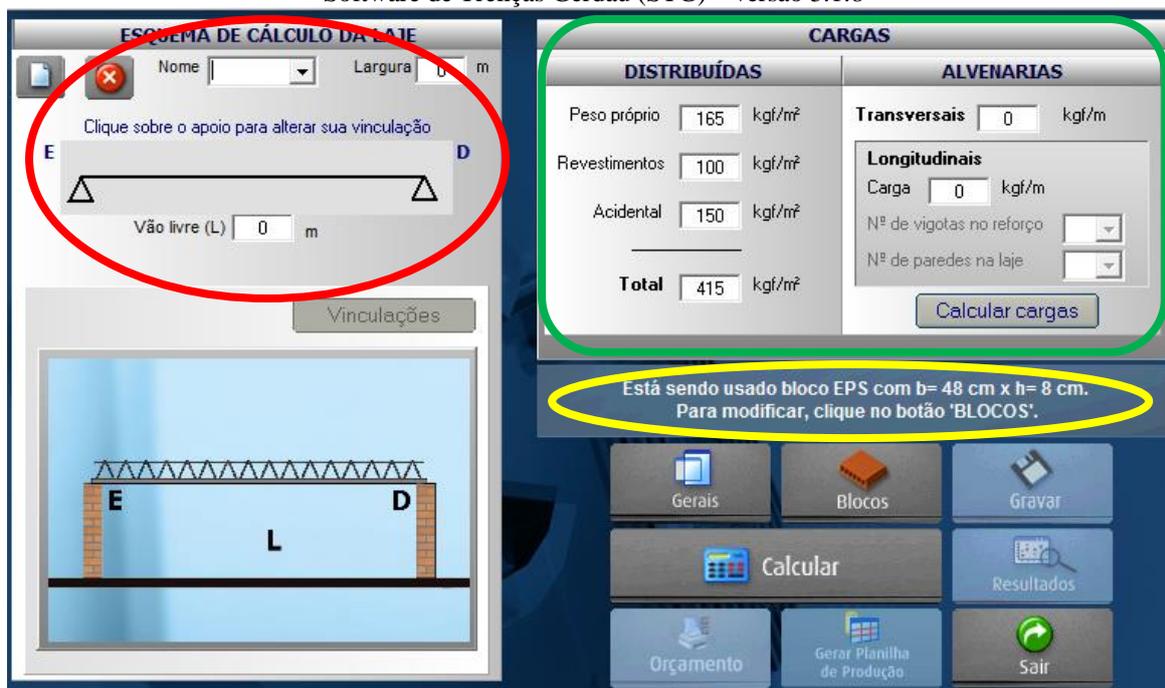
A empresa *GERDAU*, a qual se destaca na produção de aço no Brasil, desenvolveu um programa computacional de lajes treliçadas unidirecionais denominado *Software Treliças Gerdau* (STG), o qual foi elaborado para servir como um auxiliar importante no cálculo, orçamentação e produção de lajes treliçadas maciças ou com elementos de enchimento leves. A arquitetura do programa foi projetada de forma a seguir a mesma sequência de trabalho que os profissionais envolvidos com as lajes treliçadas adotam. O programa foi elaborado

atendendo a NBR 6118:2003 e dispõe de manual completo de utilização disponível no *site* da Gerdau. Como a versão do programa utilizado dimensiona a estrutura utilizando a ABNT NBR 6118:2003, neste trabalho foram feitas as verificações necessárias para o atendimento à ABNT NBR 6118:2014.

Todo o cálculo da laje é realizado unicamente na tela principal do programa, a qual é exibida na Figura 2.34. Os campos identificados pela elipse vermelha informam os dados da laje, tais como nome, dimensões e engastamentos (se existirem). Os campos identificados no quadro em verde informam as cargas atuantes e o quadro destacado pela elipse amarela mostra o material de enchimento que será utilizado.

Para auxiliar no gerenciamento da empresa produtora das lajes treliçadas, o programa é também capaz de fornecer relatórios com os orçamentos emitidos e contratados entre quaisquer duas datas selecionadas, bem como os quantitativos de insumos consumidos em qualquer período escolhido pelo usuário.

Figura 2.34 – Tela principal de cálculo da laje nervurada unidirecional pré-fabricada treliçada obtida no Software de Treliças Gerdau (STG) – versão 5.1.8



Fonte: Autor (2015)

3. METODOLOGIA

3.1 Considerações gerais

No presente trabalho será apresentada uma análise comparativa entre lajes nervuradas bidirecionais moldadas no local com fôrmas de polipropileno e lajes nervuradas unidirecionais pré-fabricadas treliçadas de concreto armado. Será tomado como base um edifício modelo para as concepções estruturais de cada um dos sistemas estruturais em análise. Serão comparados parâmetros estruturais tais como esforços e deslocamentos das lajes, assim como, os custos totais das estruturas. Para isso, será utilizado o programa de cálculo estrutural CYPECAD. Do programa comercial serão extraídos: plantas de fôrmas, detalhamentos de armaduras e quantitativos, tais como o volume de concreto, taxa de armadura e o consumo de fôrmas.

3.2 Tipologia e concepção dos sistemas estruturais adotados

a) Sistema estrutural:

- Estrutura convencional com lajes nervuradas bidirecionais moldadas no local com fôrmas reaproveitáveis de polipropileno;
- Estrutura convencional com lajes nervuradas unidirecionais pré-fabricadas treliçadas.

b) Etapas consideradas

- Estudo paramétrico com análise estrutural e de custo de lajes com dimensões quadradas e retangulares empregando os dois sistemas estruturais mencionados anteriormente;
- Estudo de caso de um edifício localizado na cidade de Caruaru-PE, através da análise estrutural das lajes e de custo da estrutura propriamente dita: sapatas, pilares, vigas e lajes.

c) Os serviços e insumos envolvidos nas composições de custo são:

- Concreto;
- Aço;
- Fôrma e escoramento de madeira;
- Materiais de enchimento.

3.3 Características do projeto estrutural

Considerou-se a resistência característica à compressão do concreto (f_{ck}) igual a 30 MPa para todos os elementos da superestrutura e fundação (lajes, vigas, pilares e sapatas). Foi adotada classe de agressividade ambiental II, sendo assim, foram considerados os cobrimentos das armaduras de vigas e pilares iguais a 3,0 cm, enquanto para as lajes foram adotados valores iguais a 2,5 cm de acordo com o item 7.4 da ABNT NBR 6118:2014. Com relação às fundações, adotou-se, para fins de comparação, a tensão admissível do solo local igual a 0,5 MPa para os dois sistemas construtivos analisados, sendo utilizadas sapatas como elementos de fundação direta.

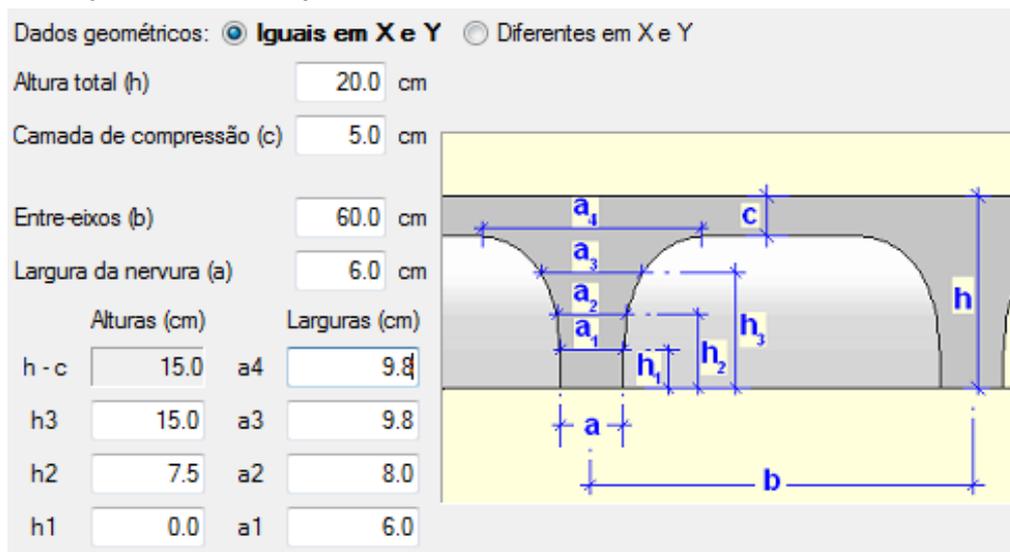
Nas lajes do edifício analisado no estudo de caso e nas lajes do estudo paramétrico, além do peso próprio, foram consideradas carga permanente adicional de 2,0 kN/m² (contrapiso de argamassa com espessura de 5,0 cm e 3,0 cm de revestimento em granito) e sobrecarga de 2,0 kN/m² de acordo com a ABNT NBR 6120:1980. Especificamente para o estudo de caso foram consideradas, ainda, cargas permanentes adicionais provenientes de paredes assentadas sobre vigas e lajes, considerando o peso específico dos materiais que compõem a parede em conformidade com a ABNT NBR 6120:1980.

Especificamente para o estudo de caso foi considerada a ação horizontal de vento não turbulento com velocidade básica de 30 m/s segundo as isopletras de velocidade básica do vento exibidas na Figura 1 da ABNT NBR 6123:1988 para a região na qual está inserida a cidade de Caruaru-PE. Por se tratar de um hotel, foram adotados fator topográfico S_1 e fator estatístico S_3 iguais a 1,0, conforme a norma ABNT NBR 6123:1988. O fator S_2 está relacionado com a rugosidade do terreno, as dimensões da edificação e a altura sobre o terreno. Para este projeto foi considerada a categoria IV de rugosidade e classe B de dimensões de edificação. Com esses dados, juntamente com a altura de cada pavimento sobre o terreno, determina-se o valor do fator S_2 segundo o item 5.3.3 da ABNT NBR 6123:1988. Considerou-se o coeficiente de arrasto padrão adotado pelo programa de 1,0 para regiões isoladas tanto na direção x quanto y . Os demais parâmetros aerodinâmicos são automaticamente determinados pelo programa comercial empregado no cálculo e no dimensionamento da estrutura.

No sistema estrutural de lajes nervuradas bidirecionais moldadas no local com fôrmas de polipropileno foram consideradas nervuras bidirecionais com largura inferior e superior das almas iguais, respectivamente, a 6,0 cm e 9,8 cm, entre eixos iguais a 60,0 cm, com fôrmas industrialmente padronizadas de cubas reaproveitáveis de polipropileno de espessuras

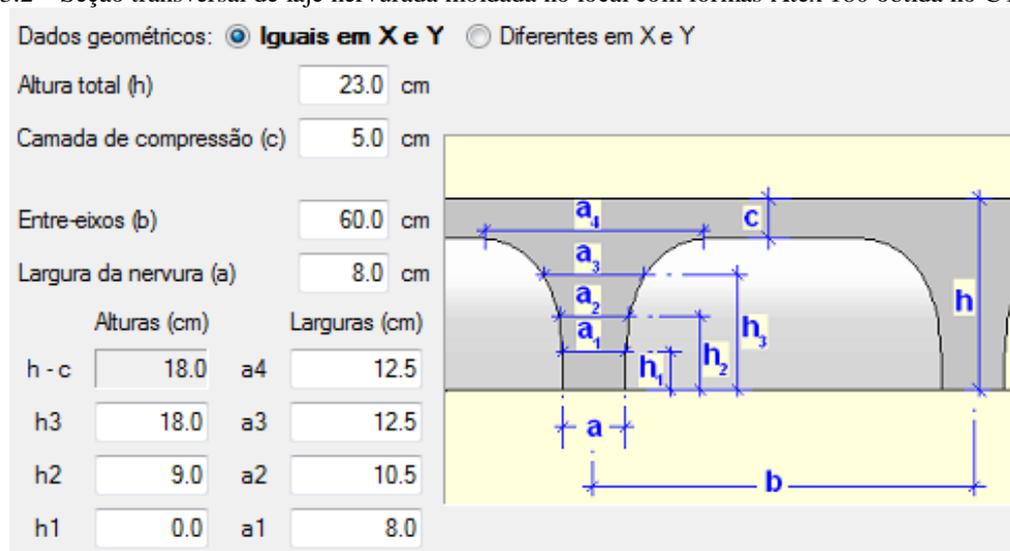
15,0 cm (Atex 150) conforme a Figura 3.1. Para as lajes em que a espessura da Atex 150 não foi suficiente para atender aos estados limites, foram consideradas nervuras bidirecionais com largura inferior e superior das almas iguais, respectivamente, a 8,0 cm e 12,5 cm, entreixos iguais a 60,0 cm, com fôrmas industrialmente padronizadas de cubas reaproveitáveis de polipropileno de espessuras 18,0 cm (Atex 180) conforme a Figura 3.2.

Figura 3.1 – Seção transversal de laje nervurada moldada no local com fôrmas Atex 150 obtida no CYPECAD



Fonte: Autor (2015)

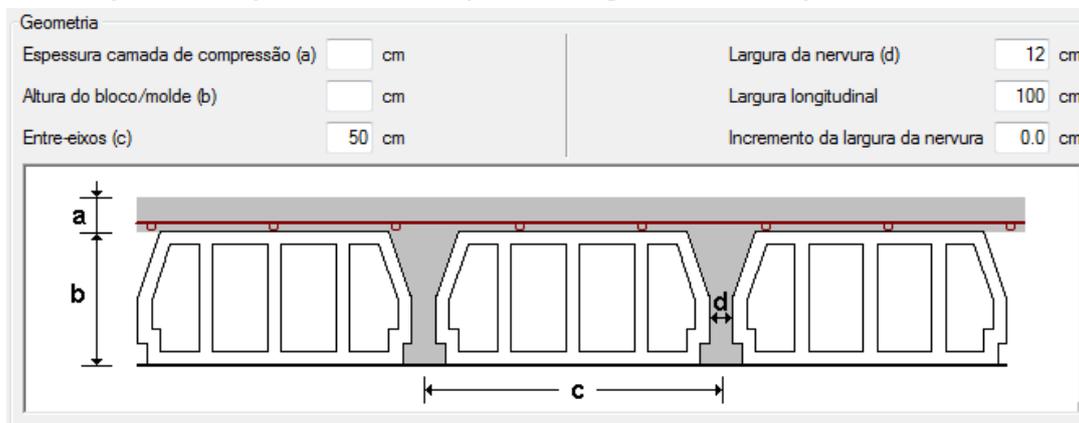
Figura 3.2 – Seção transversal de laje nervurada moldada no local com fôrmas Atex 180 obtida no CYPECAD



Fonte: Autor (2015)

No sistema estrutural de laje nervurada pré-fabricada treliçada foram consideradas nervuras unidirecionais com espessura das almas iguais a 12,0 cm e entre eixos iguais a 50,0 cm com fôrmas de Poliestireno Expandido (EPS) de espessura variável de acordo com a altura total da laje conforme a Figura 3.3.

Figura 3.3 – Seção transversal da laje nervurada pré-fabricada treliçada obtida no CYPECAD



Fonte: Autor (2015)

3.4 Ferramentas de cálculo e análise estrutural

Na realização do trabalho foi utilizado o programa de cálculo estrutural de concreto armado CYPECAD versão 2012a para a análise e detalhamento dos diversos sistemas estruturais, onde foram extraídas do programa os valores de esforços e deslocamentos, bem como, as plantas de fôrmas, os detalhamentos de armaduras e os quantitativos, tais como: o volume de concreto, a taxa de armadura e o consumo de fôrmas.

Como a versão do programa CYPECAD utilizada neste trabalho fornece os valores de esforços e deslocamentos, porém não dimensiona e detalha as lajes nervuradas unidirecionais pré-fabricadas treliçadas, o detalhamento das lajes para este sistema construtivo foi obtido através do *software* de lajes treliçadas da Gerdau STG.

Além das normas técnicas da ABNT utilizadas pelos programas comerciais nos dimensionamentos das estruturas, também foram avaliados os requisitos referentes à estrutura constantes na norma ABNT NBR 15575-1:2013 e ABNT NBR 15575-2:2013. Ressalta-se que as versões dos programas comerciais utilizados não dispunham do módulo de verificação de estruturas em situação de incêndio, sendo utilizado, portanto, o método tabular para verificações dimensionais dos elementos de laje, conforme prescrições das normas ABNT NBR 14432:2001 e ABNT NBR 15200:2012.

3.5 Critérios para o cálculo dos custos

A comparação de custos é uma tarefa que apresenta um elevado grau de complexidade, uma vez que o custo final da obra é influenciado por inúmeras variáveis complexas e de difícil caracterização.

Optou-se por utilizar as composições de custos usuais para todos os serviços considerados. As composições de custos consideram apenas os serviços referentes à execução da estrutura propriamente ditos. Sendo assim, não foram considerados os custos relacionados aos serviços iniciais, de instalação da obra, do terreno, administrativos ou quaisquer outros não relacionados diretamente com os serviços abordados neste trabalho. Também não foram considerados neste trabalho os custos com a estrutura da escada, cisterna e caixa d'água.

As composições de custos adotadas, com pequenas adaptações, foram obtidas da coletânea publicada periodicamente pela PINI, as quais são apresentadas nas Tabelas para Composições de Preços para Orçamentos – TCPO (PINI, 2008), da Tabela SINAPI, disponível no *site* da Caixa Econômica Federal e do sistema ORSE. Os valores em reais dos insumos materiais e mão de obra para as composições de custos foram obtidos nas tabelas SINAPI de valores de insumos e composições, para o estado de Pernambuco referente ao mês de novembro de 2014. As composições unitárias utilizadas nesta pesquisa estão exibidas no Apêndice A deste trabalho.

3.6 Estudo paramétrico

Este estudo consiste na análise estrutural e de custo entre painéis de lajes nervuradas bidirecionais moldadas no local com fôrmas de polipropileno e lajes nervuradas unidirecionais pré-fabricadas treliçadas com dimensões quadradas e retangulares, conforme a Tabela 3.1.

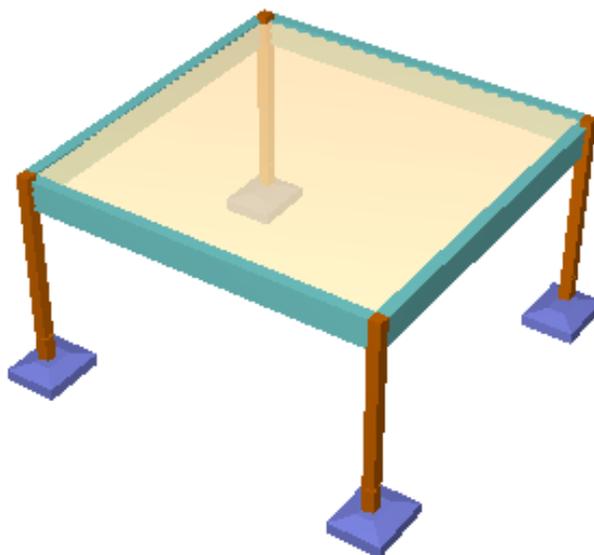
Tabela 3.1 – Dimensões das lajes quadradas e retangulares analisadas

Dimensões (m)	
Lajes Quadradas	Lajes Retangulares
3 x 3	3 x 6
4 x 4	4 x 8
5 x 5	5 x 10
6 x 6	6 x 12
7 x 7	7 x 14
8 x 8	8 x 16
9 x 9	9 x 18

Fonte: Autor (2015)

Para efeito de estudo foram considerados painéis de lajes simplesmente apoiados nas vigas de contorno. Na Figura 3.4 mostra-se a estrutura em 3D do modelo de painel de laje utilizado nesta pesquisa modelada no programa CYPECAD.

Figura 3.4 – Estrutura em 3D do modelo de painel de laje gerada pelo CYPECAD utilizado nesta pesquisa



Fonte: Autor (2015)

3.7 Estudo de caso

A arquitetura do edifício usado no estudo de caso foi gentilmente cedida pela empresa COMELLO ENGENHARIA LTDA. A referida edificação servirá de estrutura física para um hotel na cidade de Caruaru-PE e, conforme pode ser observado na Figura 3.5, encontra-se em fase de execução com previsão de conclusão em agosto de 2015.

Figura 3.5 – Edifício em fase de execução na data 23/02/2015



Fonte: Autor (2015)

O edifício em questão possui um pavimento semienterrado, um pavimento térreo, cinco pavimentos tipo, um pavimento de cobertura, bem como o reservatório de água superior e a casa de máquinas.

O edifício é disposto de um único bloco de edificação com 8 (oito) pavimentos, com pé-direito igual a 2,86 metros e distribuídos quanto à utilização conforme a Tabela 3.2. A Tabela 3.3 mostra a distribuição dos pavimentos da edificação quanto à área construída.

Tabela 3.2 – Distribuição dos pavimentos quanto à utilização

Local	Quantidade	Descrição
Pavimento semienterrado	01	Garagem (24 vagas), 1 casa de bombas e 1 reservatório inferior.
Pavimento térreo	01	Garagem (10 vagas), vestiários, oficina, depósito de material de limpeza, área de serviço, depósito de alimentos, cozinha, sala de estar e refeição dos funcionários, apoio da administração, recepção, bar e salão de estar, restaurante e salão de eventos, 1 WC masculino e 1 WC feminino.
1º Pavimento	01	9 suítes, 1 sala de fitness, 1 auditório para 36 lugares, 1 piscina, 1 WC e 1 ducha.
2º Pavimento	01	11 suítes.
3º ao 5º Pavimento	03	33 suítes.
Cobertura	01	Local para coletor solar, oficina e depósito.

Fonte: Autor (2015)

Tabela 3.3 – Distribuição dos pavimentos quanto à área construída

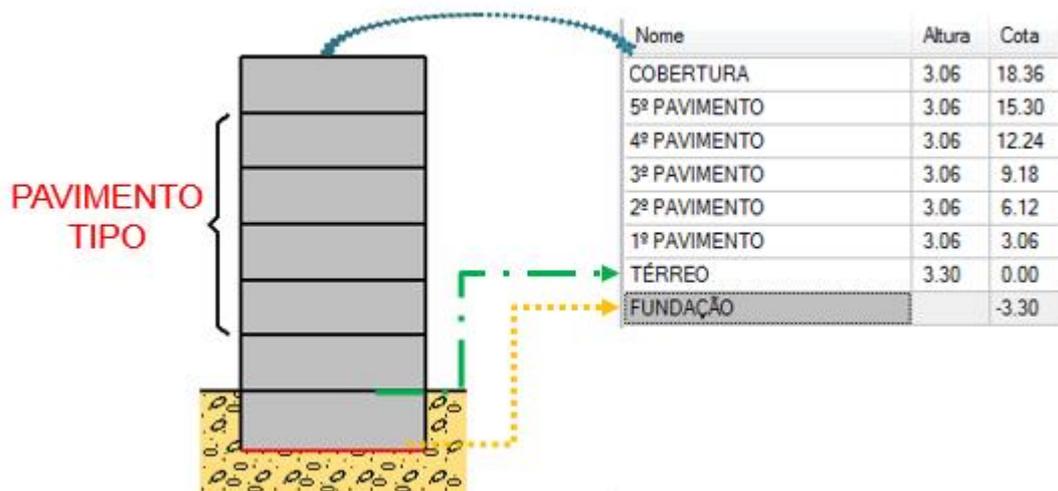
Local	Quantidade	Área Construída
Pavimento semienterrado	01	509,88 m ²
Pavimento térreo	01	468,10 m ²
1º Pavimento	01	312,72 m ²
2º Pavimento	01	285,16 m ²
3º ao 5º Pavimento	03	285,22 m ²
Cobertura	01	84,95 m ²
Reservatório superior e casa de máquinas	01	58,09 m ²
Área total construída		2.574,56 m ²

Fonte: Autor (2015)

Para efeito de estudo, o edifício foi modelado considerando o pavimento térreo, 5 pavimentos tipo e a cobertura, a qual foi considerada como igual ao pavimento tipo. Sendo que foi considerado como pavimento tipo o 3º ao 5º pavimento da Tabela 3.3. Portanto, o

edifício modelado no estudo de caso apresenta as cotas listadas na Figura 3.6, onde todos os pavimentos possuem 3,06 metros da altura. A altura considerada na Figura 3.6 é calculada da face superior do nível do piso inicial para a face superior do nível imediatamente acima.

Figura 3.6 – Cotas altimétricas dos pavimentos do edifício modelado no CYPECAD para análise do estudo de caso



Fonte: Autor (2015)

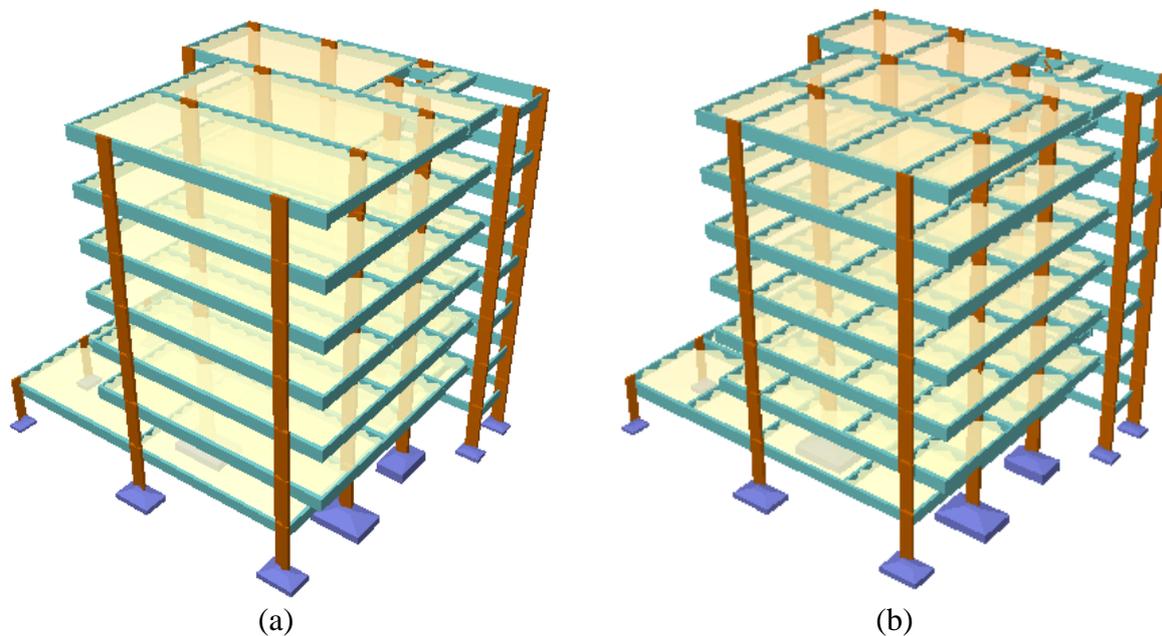
Para efeito de estudo comparativo foram efetuados dois lançamentos estruturais do edifício utilizado no estudo de caso. No lançamento estrutural 1 foi considerada a planta de forma original fornecida pela empresa COMELLO ENGENHARIA LTDA, onde a estrutura foi calculada e executada no sistema de lajes nervuradas moldadas no local com fôrmas de polipropileno, sendo atendidos todos os critérios estabelecidos na ABNT NBR 6118:2014. No entanto, para o sistema construtivo de lajes nervuradas unidirecionais pré-fabricadas treliçadas, acrescentado nesta pesquisa, foi observado que a estrutura não atendeu aos limites de deslocamentos horizontais impostos pela referida norma. Sendo assim, para atender aos limites de deslocamentos horizontais supracitados, foi realizado o lançamento estrutural 2, onde foram inseridas vigas de travamento na direção *y*.

Para os dois lançamentos foram preservados as altimetrias dos pavimentos listadas na Figura 3.6. As plantas de fôrmas dos pavimentos térreo, tipo e cobertura dos lançamentos estruturais 1 e 2 adotados na pesquisa encontram-se, respectivamente, nos anexos *B* e *C* deste trabalho.

Na Figura 3.7 exibe-se a estrutura em 3D do edifício utilizado no estudo de caso gerada pelo programa CYPECAD para os lançamentos estruturais 1 e 2. É possível perceber que a diferença entre os lançamentos 1 e 2, consiste na inserção de vigas na direção *y* do plano

cartesiano com a finalidade de melhorar a rigidez da estrutura com relação aos deslocamentos horizontais provocados pelo efeito do vento nesta direção.

Figura 3.7 – Estrutura em 3D do edifício gerada no CYPECAD (a) Lançamento estrutural 1 e (b) Lançamento estrutural 2



Fonte: Autor (2015)

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após o lançamento e o dimensionamento das estruturas com os dois modelos de sistemas construtivos convencionais de lajes nervuradas abordados neste trabalho, serão apresentados os resultados da análise estrutural e de custo de todos os modelos avaliados na pesquisa, tanto do estudo paramétrico quanto dos lançamentos 1 e 2 do estudo de caso.

Doravante os sistemas construtivos seguem a seguinte nomenclatura para efeito de comparação:

LNP: Estrutura convencional com lajes nervuradas bidirecionais moldadas no local com fôrmas reaproveitáveis de polipropileno.

LNT: Estrutura convencional com lajes nervuradas unidirecionais pré-moldadas treliçadas com material de enchimento permanente de poliestireno expandido (EPS).

4.1 Estudo paramétrico

Neste item apresentar-se-ão os resultados referentes ao estudo paramétrico comparativo entre lajes nervuradas bidirecionais moldadas no local com fôrmas reaproveitáveis de polipropileno e lajes nervuradas unidirecionais pré-moldadas treliçadas.

A priori serão abordados os resultados referentes à análise estrutural no que concerne a comparação entre espessura, peso próprio, flechas, momentos fletores positivos e esforços cortantes em função das dimensões das lajes quadradas e retangulares estudadas nesta pesquisa.

A posteriori abordar-se-á o estudo técnico comparativo do custo das lajes em função de suas dimensões, tanto as de dimensões quadradas quanto as retangulares, para os dois sistemas construtivos analisados que fazem parte do escopo desta pesquisa.

4.1.1 Análise estrutural

4.1.1.1 Lajes com dimensões quadradas

Na Tabela 4.1 têm-se os valores de espessura, peso próprio e verificação das flechas em função das dimensões das lajes quadradas abordadas nesta pesquisa. Observa-se que para as lajes com dimensões até 4 x 4 metros, considerando as condições de carregamento e vinculações empregadas neste trabalho, a espessura e o peso próprio da laje no sistema LNT resultaram em valores menores quando comparados ao sistema LNP. Observou-se que para atender aos estados limites último e de serviço estabelecidos na ABNT NBR 6118:2014, as lajes treliçadas unidirecionais necessitaram de maiores espessuras quando comparadas ao

sistema bidirecional de lajes nervuradas moldadas no local à medida que se aumentaram as dimensões das lajes. Este fenômeno pode ser explicado devido a menor rigidez à flexão do sistema LNT em relação ao sistema LNP.

Observa-se na Tabela 4.1 que para as lajes com dimensões nove por 9 x 9 metros, nas condições de carregamento e vinculações empregadas neste trabalho, o critério limite de deslocamento estabelecido pela ABNT NBR 6118:2014 não foi atendido para o maior valor de espessura total da laje treliçada unidirecional padronizada pela ABNT NBR 14859-1:2002. Portanto, as próximas análises serão realizadas até as lajes com dimensões 8 x 8 metros.

Tabela 4.1 – Espessura, peso próprio e verificação das flechas das lajes de dimensões quadradas

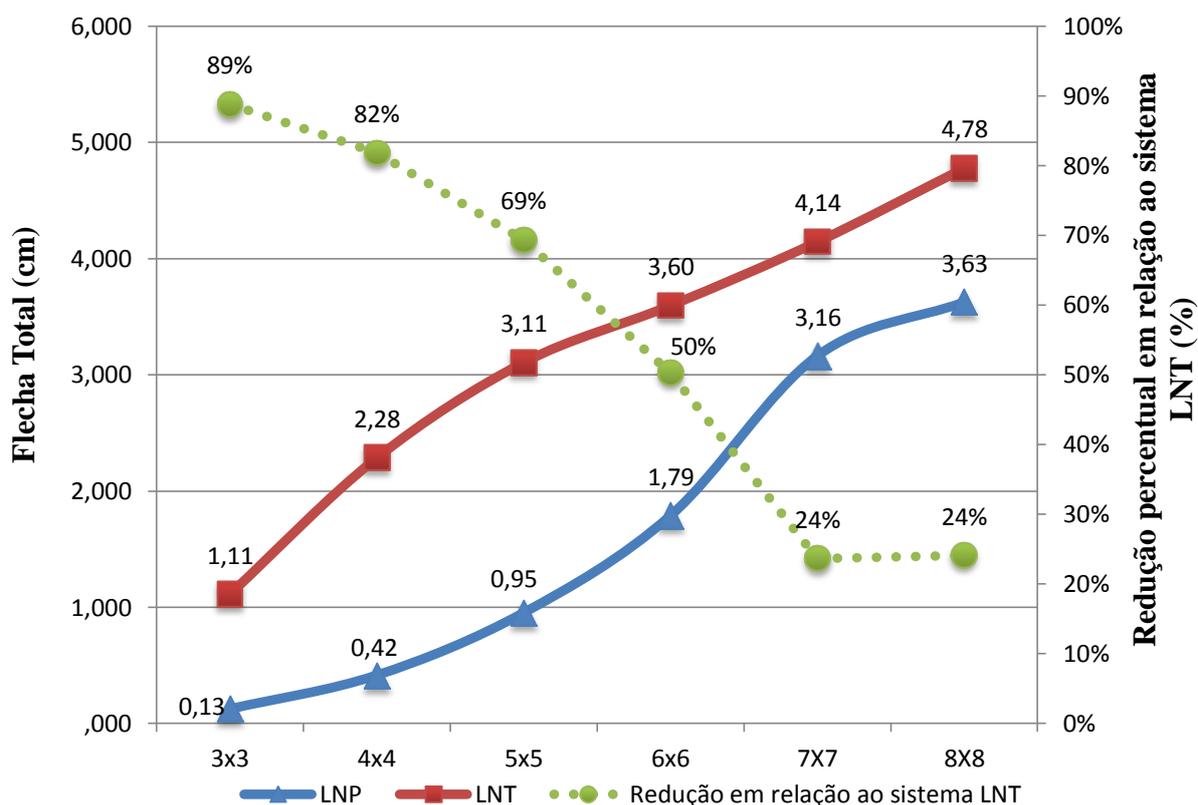
Dimensões (m)	Sistema Construtivo	Espessura da laje (cm)	Peso Próprio (kN/m ²)	Flecha Total (cm)	Flecha Total Admissível (cm)	Contra flecha Necessária (cm)	Limite de Contra flecha (cm)
3x3	LNP	20	2,13	0,13	1,20	-	0,85
	LNT	13	1,85	1,11		-	
4x4	LNP	20	2,13	0,42	1,60	-	1,14
	LNT	16	1,92	2,28		0,684	
5x5	LNP	20	2,13	0,95	2,00	-	1,42
	LNT	20	2,24	3,11		1,105	
6x6	LNP	20	2,13	1,79	2,40	-	1,70
	LNT	25	2,80	3,60		1,195	
7x7	LNP	20	2,13	3,16	2,80	0,36	2,00
	LNT	30	3,19	4,14		1,343	
8x8	LNP	20	2,13	3,63	3,20	0,43	2,28
	LNT	35	3,58	4,78		1,577	
9x9	LNP	20	2,13	3,73	3,60	0,13	2,50
	LNT	35	3,58	7,65		4,05	

Fonte: Autor (2015)

Na Figura 4.1 apresentam-se as flechas totais diferidas no tempo das lajes em função das dimensões para os dois sistemas construtivos analisados, bem como, a diferença percentual dos valores de flechas entre os dois modelos em relação ao sistema LNT. Percebe-se que as lajes treliçadas unidirecionais apresentaram maiores valores de deslocamentos em relação às lajes nervuradas bidirecionais com fôrmas de polipropileno para todas as dimensões de lajes quadradas analisadas. Nota-se ainda que a diferença de flecha total entre os dois sistemas diminuiu com o aumento das dimensões das lajes, visto que as lajes treliçadas unidirecionais aumentaram de espessura e se tornaram mais rígidas, enquanto que a

espessura das lajes nervuradas bidirecionais com fôrmas de polipropileno se manteve constante.

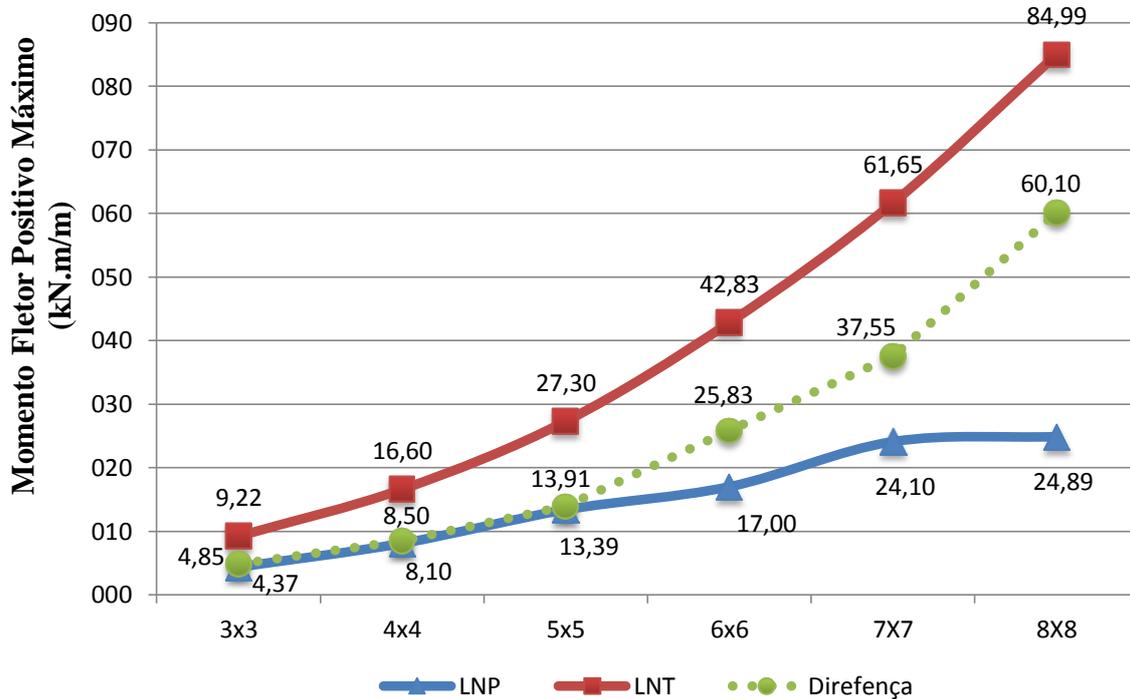
Figura 4.1 – Flecha total e diferença percentual das flechas entre os dois sistemas em relação ao sistema de lajes nervuradas treliçadas em função das dimensões das lajes



Fonte: Autor (2015)

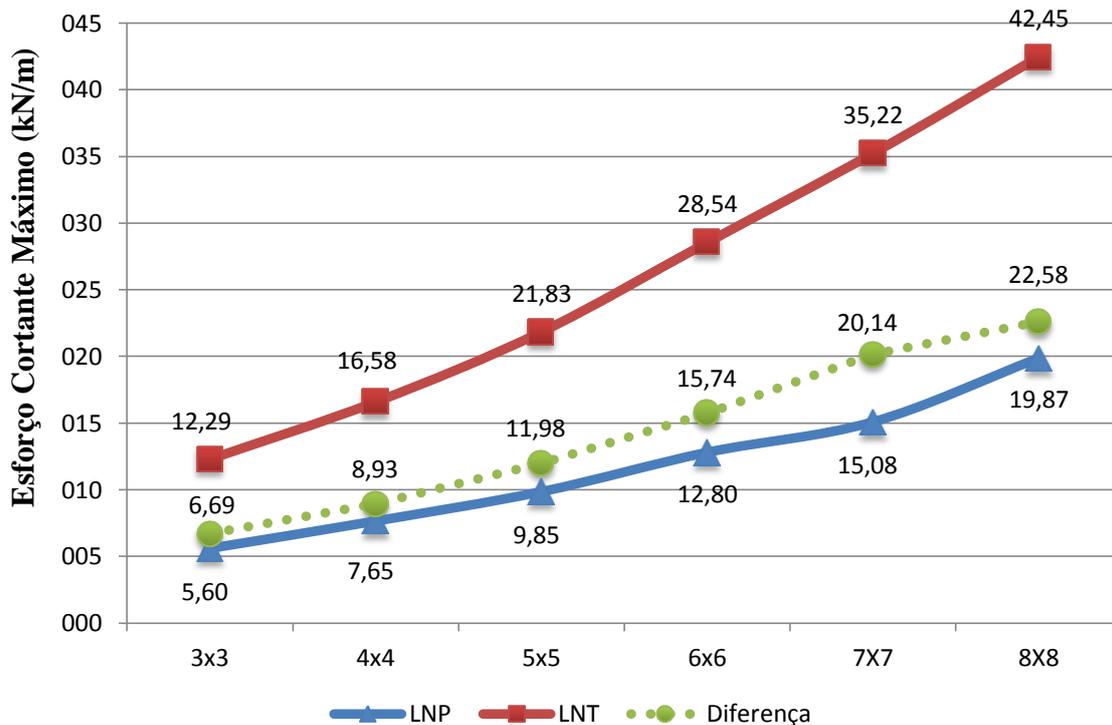
Na Figura 4.2 e na Figura 4.3, têm-se, respectivamente, os valores de momentos fletores positivos e esforços cortantes máximos em função das dimensões das lajes. Nota-se que para todas as dimensões de lajes analisadas, o sistema de lajes unidirecionais treliçadas apresentou maiores valores máximos de momento fletor e esforço cortante, assim como, a diferença de valores entre os dois sistemas cresceu à medida que as dimensões das lajes aumentaram. Neste sentido, se observou uma redução no momento fletor positivo e esforço cortante máximo, respectivamente, de 70,71% e 53,19% do sistema LNP em relação ao sistema LNT para a laje de dimensões 8 x 8 metros. Logo, percebe-se uma tendência de vantagem, do ponto de vista dos esforços, do sistema LNP em relação ao sistema LNT quando se têm lajes quadradas com grandes dimensões.

Figura 4.2 – Momentos fletores positivos máximos das lajes nos dois sistemas analisados em função das dimensões das lajes



Fonte: Autor (2015)

Figura 4.3 – Esforço cortante máximo das lajes nos dois sistemas analisados em função das dimensões das lajes



Fonte: Autor (2015)

4.1.1.2 Lajes com dimensões retangulares

Na Tabela 4.2 exibem-se os valores de espessura, peso próprio e verificação das flechas em função das dimensões das lajes retangulares abordadas nesta pesquisa. Observa-se que para as lajes com dimensões até 4 x 8 metros, considerando as condições de carregamento e vinculações empregadas neste trabalho, a espessura e o peso próprio da laje no sistema LNT resultaram em valores menores quando comparados ao sistema LNP. Assim como observado anteriormente nas lajes de dimensões quadradas, para atender aos estados limites último e de serviço estabelecidos na ABNT NBR 6118:2014, as lajes treliçadas unidirecionais necessitaram de maiores espessuras quando comparadas ao sistema bidirecional de lajes nervuradas moldadas no local à medida que aumentaram suas dimensões. Assim como para as lajes com dimensões quadradas, este fenômeno pode ser explicado devido a menor rigidez à flexão do sistema LNT em relação ao sistema LNP.

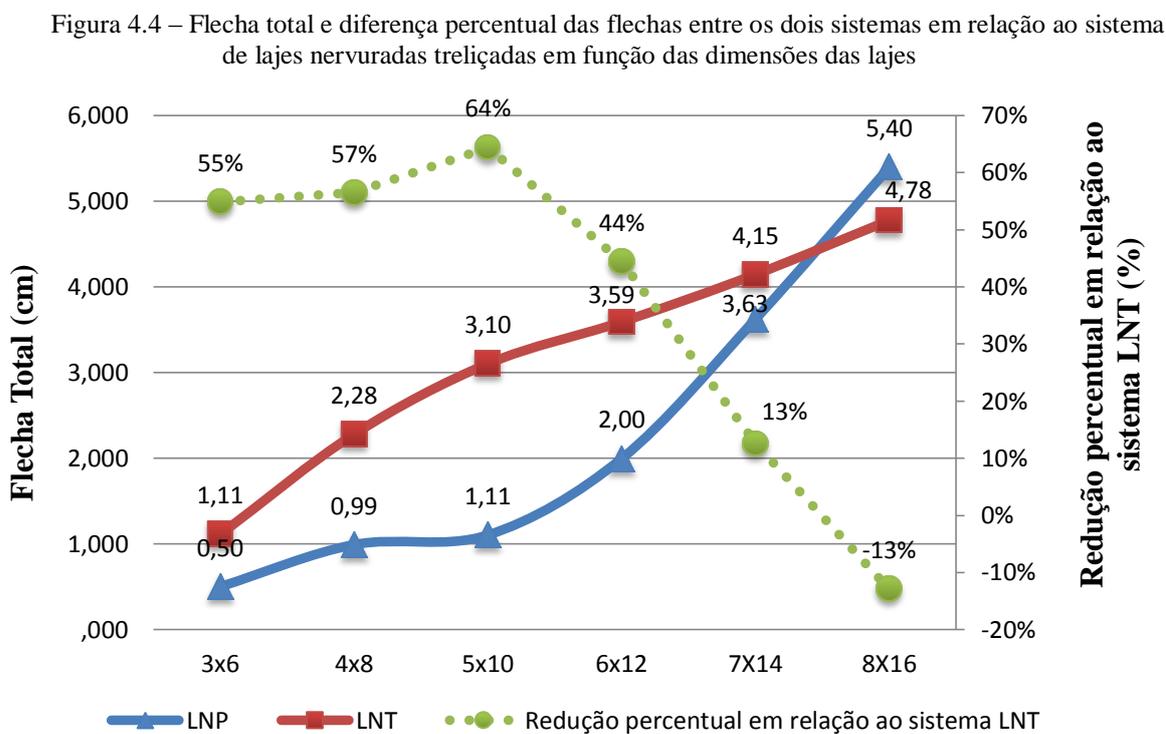
Nota-se na Tabela 4.2 que para as lajes com dimensões 9 x 18 metros, considerando as condições de carregamento e vinculações empregadas neste trabalho, o critério de limite de deslocamento estabelecido pela ABNT NBR 6118:2014 não foi atendido nos dois sistemas construtivos analisados. Uma vez que para essas dimensões o sistema LNT encontrava-se com a máxima espessura padronizada pela ABNT NBR 14859-1:2002, as próximas análises serão realizadas até as lajes com dimensões 8 x 16 metros.

Tabela 4.2 - Espessura, peso próprio e verificação das flechas das lajes de dimensões retangulares

Dimensões (m)	Sistema Construtivo	Espessura da laje (cm)	Peso Próprio (kN/m ²)	Flecha Total (cm)	Flecha Total Admissível (cm)	Contra flecha Necessária (cm)	Limite de Contra flecha (cm)
3x6	LNP	20	2,13	0,50	1,20	-	0,85
	LNT	13	1,85	1,11		-	
4x8	LNP	20	2,13	0,99	1,60	-	1,14
	LNT	16	1,92	2,28		0,68	
5x10	LNP	20	2,13	1,11	2,00	-	1,42
	LNT	20	2,24	3,10		1,10	
6x12	LNP	20	2,13	2,00	2,40	-	1,70
	LNT	25	2,80	3,59		1,19	
7x14	LNP	20	2,13	3,63	2,80	0,83	2,00
	LNT	30	3,19	4,15		1,35	
8x16	LNP	20	2,13	5,40	3,20	2,20	2,28
	LNT	35	3,58	4,78		1,58	
9x18	LNP	20	3,04	8,32	3,60	4,72	2,50
	LNT	35	3,58	7,65		4,05	

Fonte: Autor (2015)

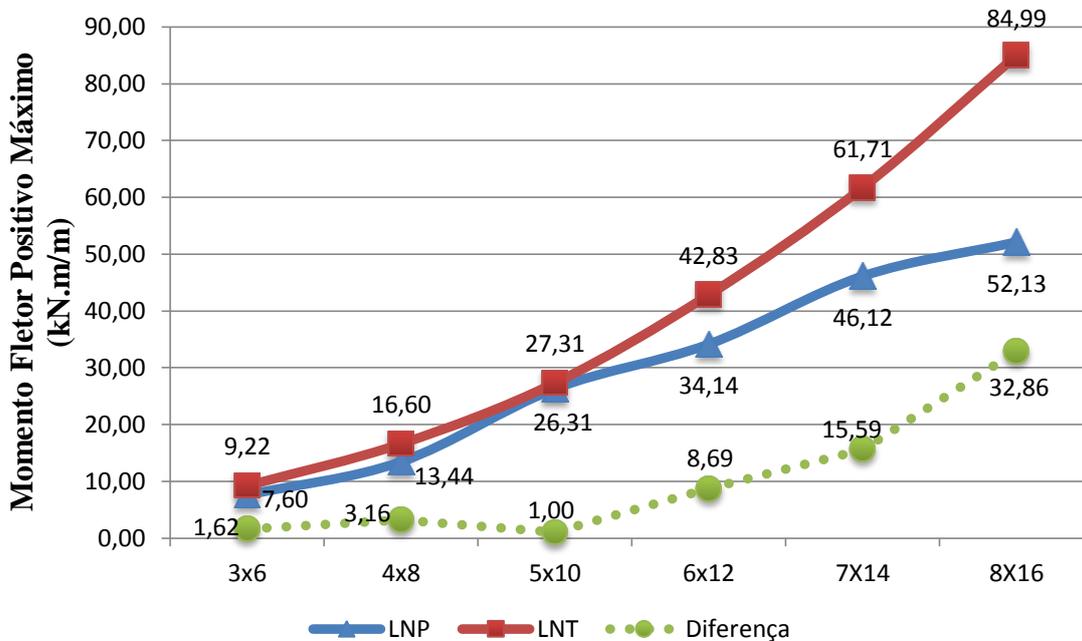
Na Figura 4.4 apresentam-se as flechas totais diferidas no tempo das lajes retangulares em função das dimensões para os dois sistemas construtivos analisados, bem como, a diferença percentual dos valores de flechas entre os dois modelos em relação ao sistema construtivo LNT. Nota-se que as lajes treliçadas unidirecionais apresentaram maiores valores de deslocamentos em relação às lajes nervuradas bidirecionais com fôrmas de polipropileno para todas as lajes com dimensões até 7 x 14 metros. Todavia, para a laje com dimensões 8 x 16 metros observou-se maior valor de deslocamento no sistema LNP em relação ao LNT. É possível observar que a diferença de flecha total entre os dois sistemas diminuiu a partir das lajes com dimensões 5 x 10 metros. Tal fenômeno pode ser explicado porque no sistema LNT ocorreu um aumento de espessura com o aumento das dimensões das lajes, as quais se tornaram mais rígidas, enquanto no sistema LNP a espessura das lajes se manteve constante.



Na Figura 4.5 e na Figura 4.6, têm-se, respectivamente, os valores de momentos fletores positivos e esforços cortantes máximos em função das dimensões das lajes. Nota-se que para todas as dimensões de lajes analisadas, o sistema LNT apresentou maiores valores máximos de momento fletor e esforço cortante, assim como, a diferença de valores entre os dois sistemas cresceu à medida que as dimensões das lajes aumentaram. Neste sentido, se observou uma redução no momento fletor positivo e esforço cortante máximo, respectivamente, de 38,66% e 28,86% do sistema LNP em relação ao sistema LNT para a laje

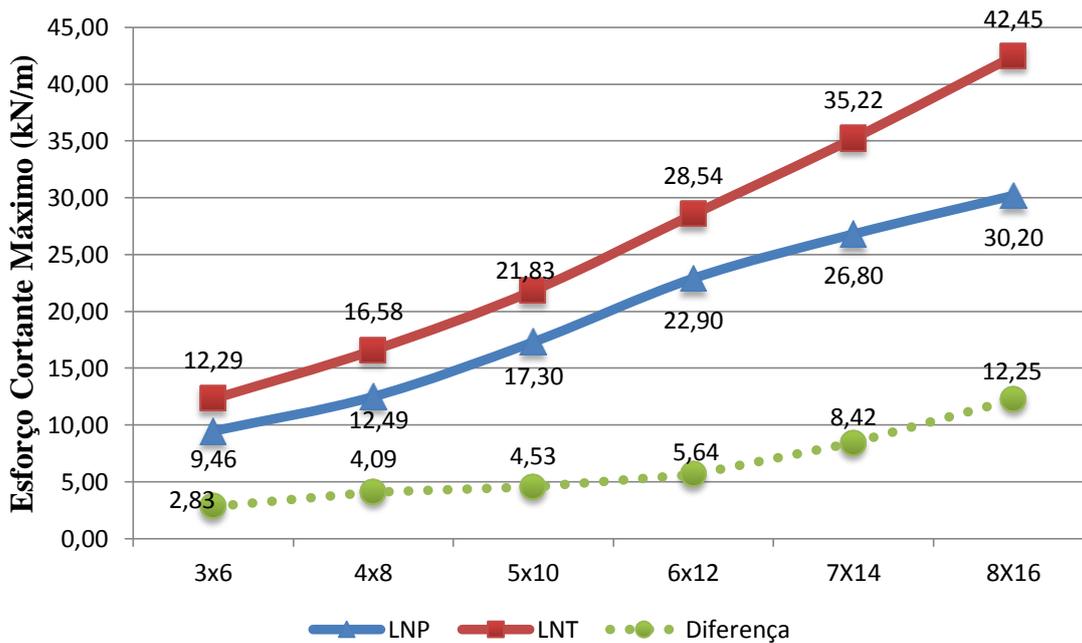
de dimensões 8 x 16 metros. Logo, é possível perceber uma tendência de vantagem, do ponto de vista dos esforços, do sistema LNP em relação ao sistema LNT quando se têm lajes retangulares com grandes dimensões.

Figura 4.5 – Momentos fletores positivos máximos das lajes nos dois sistemas analisados em função das dimensões das lajes



Fonte: Autor (2015)

Figura 4.6 – Esforço cortante máximo das lajes nos dois sistemas analisados em função das dimensões das lajes



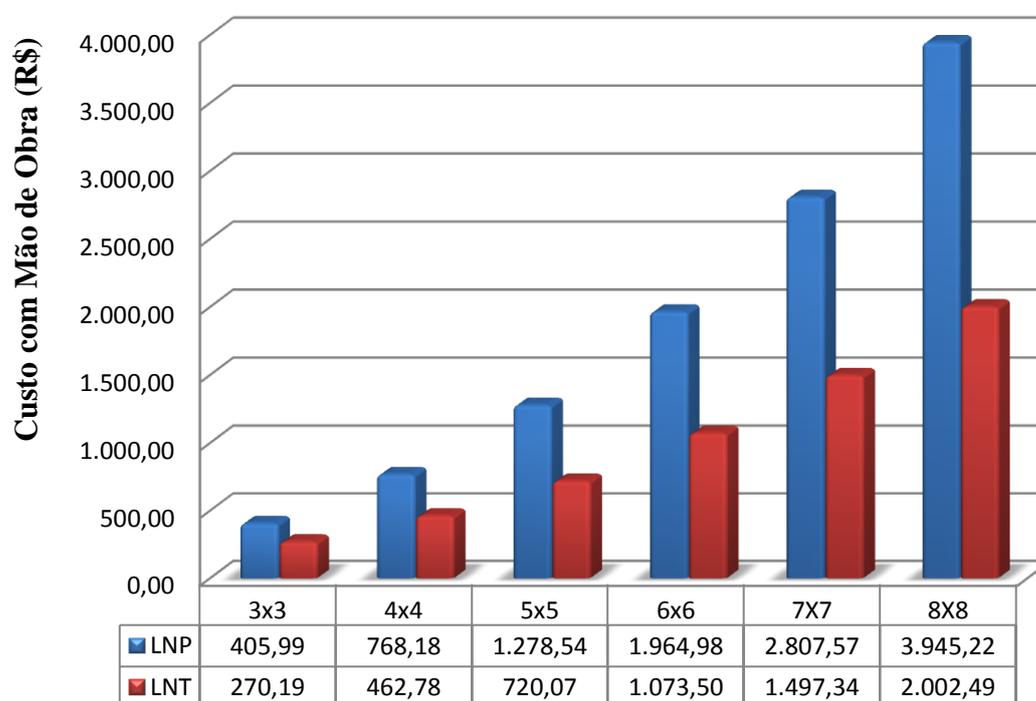
Fonte: Autor (2015)

4.1.2 Análise de Custo

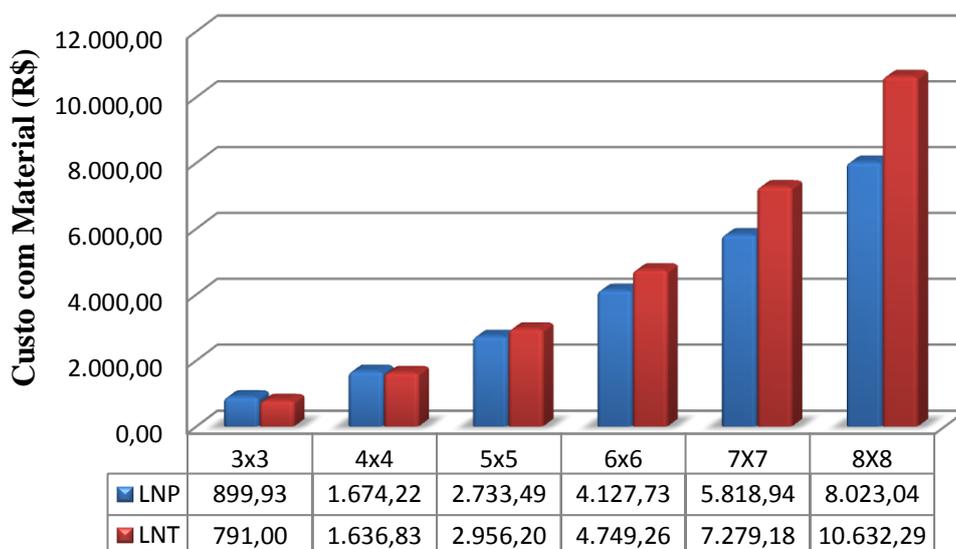
4.1.2.1 Lajes com dimensões quadradas

Na Figura 4.7 exibem-se os custos de (a) mão de obra, (b) material e (c) total em função das dimensões das lajes quadradas para os dois sistemas construtivos analisados nesta pesquisa. Com relação ao custo de mão de obra, Figura 4.7 (a), o sistema LNT se mostrou mais econômico do que o sistema LNP para todas as dimensões de lajes quadradas analisadas, assim como, a diferença de custo entre os sistemas construtivos cresce com o aumento das dimensões das lajes. No tocante ao custo de material, Figura 4.7 (b), o sistema LNT se mostrou mais econômico até as lajes de dimensões 4 x 4 metros, no entanto, a partir da laje de dimensões 5 x 5 metros, o sistema LNP se mostrou mais econômico do que o sistema LNT. A respeito do custo total, Figura 4.7 (c), nota-se que o sistema LNT se mostrou mais econômico do que o sistema LNP até as lajes de dimensões 6 x 6 metros.

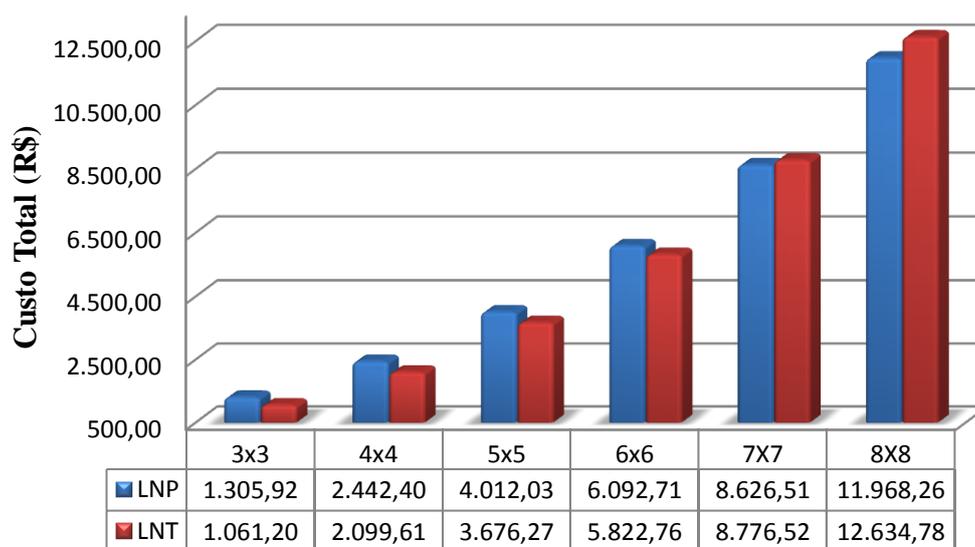
Figura 4.7 – Custo de (a) Mão de Obra (b) Material (c) Total em função das dimensões das lajes quadradas



(a)



(b)



(c)

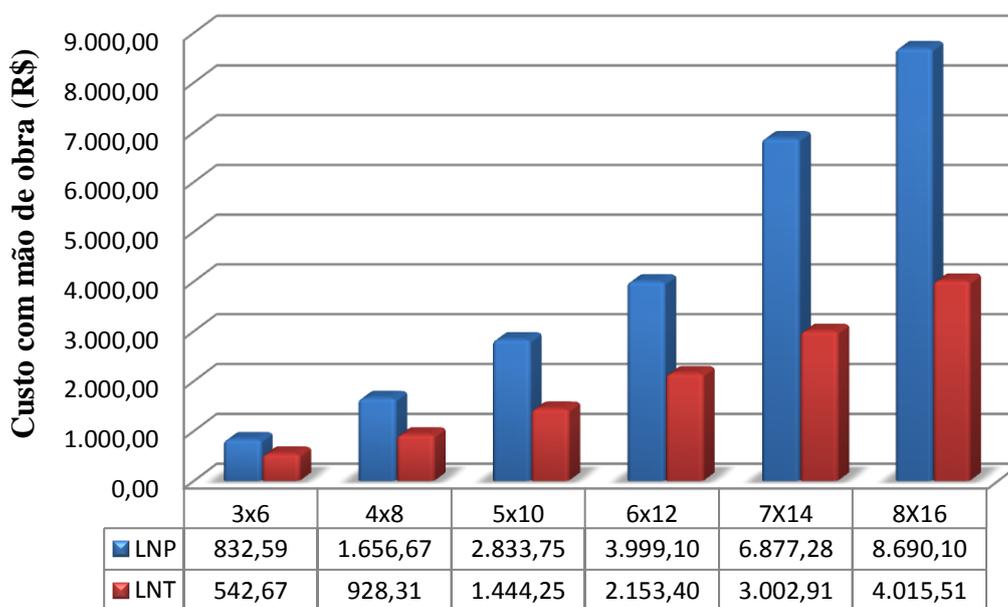
Fonte: Autor (2015)

4.1.2.2 Lajes com dimensões retangulares

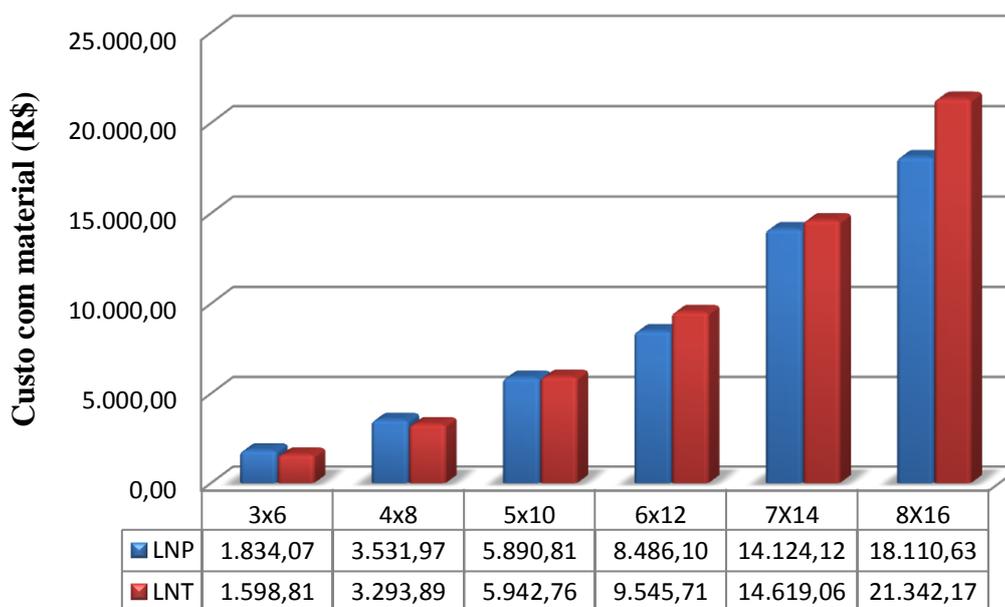
Na Figura 4.8 têm-se os custos de (a) mão de obra, (b) material e (c) total em função das dimensões das lajes retangulares para os dois sistemas construtivos analisados nesta pesquisa. Com relação ao custo com mão de obra, Figura 4.8 (a), o sistema LNT se mostrou mais econômico do que o sistema LNP para todas as dimensões de lajes retangulares analisadas, assim como, a diferença de custo entre os sistemas construtivos cresce com o aumento das dimensões das lajes. No tocante ao custo de material, Figura 4.8 (b), o sistema LNT se

mostrou mais econômico até as lajes de dimensões 4 x 8 metros, no entanto, a partir da laje de dimensões 5 x 10 metros, o sistema LNP se mostrou mais econômico do que o sistema LNT. A respeito do custo total, Figura 4.8 (c), nota-se que o sistema LNT se mostrou mais econômico do que o sistema LNP para todas as dimensões de lajes retangulares analisadas.

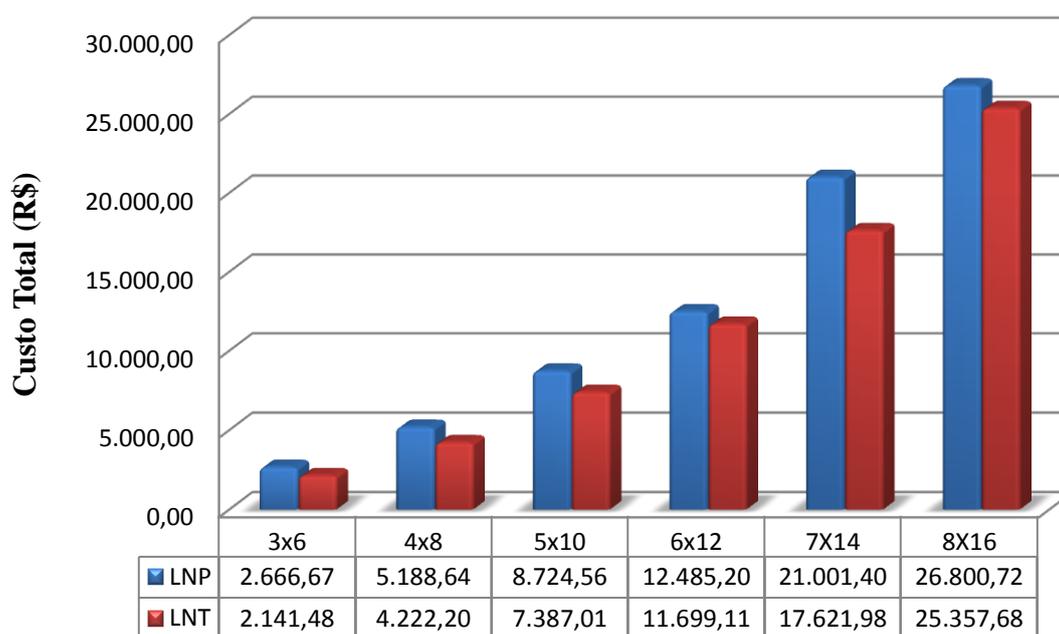
Figura 4.8 – Custo de (a) Mão de Obra (b) Material (c) Total em função das dimensões das lajes retangulares



(a)



(b)



(c)

Fonte: Autor (2015)

4.2 Estudo de caso: lançamento 1

Neste item serão apresentados os resultados referentes ao lançamento 1 do estudo de caso comparativo entre lajes nervuradas bidirecionais moldadas no local com fôrmas reaproveitáveis de polipropileno e lajes nervuradas unidirecionais pré-fabricadas treliçadas.

Inicialmente apresentar-se-á a análise dos deslocamentos horizontais e da estabilidade da estrutura para os dois sistemas construtivos analisados, onde será observado que o sistema LNT não atendeu aos critérios de deslocamentos horizontais local e total limites provocados pela ação do vento para combinação frequente estabelecido na Tabela 13.3 da ABNT NBR 6118:2014. Ressalta-se que o sistema LNP, o qual foi executado pela COMELLO ENGENHARIA LTDA atendeu aos critérios supracitados. Sendo assim, seguir-se-á para a análise da configuração estrutural do lançamento 2.

Vale salientar que foi realizada a análise estrutural no que concerne a comparação entre espessuras, cargas totais, flechas, momentos fletores positivos e esforços cortantes das lajes do pavimento tipo da edificação, das cargas totais transmitidas aos pilares, bem como, a composição de custo da configuração estrutural do lançamento 1. Essas informações serão utilizadas apenas para efeito de comparação entre as duas configurações estruturais de lançamento no item 4.4 deste trabalho.

4.2.1 Análise de deslocamentos horizontais e estabilidade da edificação

Na Tabela 4.3 têm-se os deslocamentos horizontais locais para cada pavimento da edificação. Nota-se que o sistema LNP atendeu ao critério de deslocamento horizontal local limite provocado pela ação do vento para combinação frequente, estabelecido na Tabela 13.3 da ABNT NBR 6118:2014, tanto na direção x quanto y em todos os pavimentos da edificação. No entanto, o sistema LNT não atendeu ao referido critério limite de deslocamento local na direção y do 1° e 2° pavimento do edifício, apresentando um acréscimo de, respectivamente, 0,20 e 0,30 milímetros.

Tabela 4.3 – Deslocamento horizontal local

Pavimento	Desnível (m)	Sistema construtivo	Deslocamento horizontal local (mm)		Deslocamento horizontal local limite (mm)
			Direção x	Direção y	
Cobertura	3,06	LNP	0,60	0,90	3,60
		LNT	0,70	1,50	
5° Pavimento	3,06	LNP	0,60	1,20	3,60
		LNT	0,90	2,10	
4° Pavimento	3,06	LNP	0,80	1,60	3,60
		LNT	1,00	2,80	
3° Pavimento	3,06	LNP	0,90	2,00	3,60
		LNT	1,10	3,50	
2° Pavimento	3,06	LNP	0,80	2,20	3,60
		LNT	0,90	3,80	
1° Pavimento	3,06	LNP	1,62	2,46	3,60
		LNT	2,02	3,90	
Térreo	3,30	LNP	1,68	2,09	3,88
		LNT	2,28	2,75	

Fonte: Autor (2015)

No tocante ao deslocamento horizontal total da edificação provocado pela ação do vento para combinação frequente, na Tabela 4.4 mostra-se que, para a configuração estrutural do lançamento 1 do presente estudo de caso, o sistema LNP atendeu ao que está estabelecido na Tabela 13.3 da ABNT NBR 6118:2014 tanto na direção x quanto y . No entanto, o sistema LNT não atendeu ao referido critério limite de deslocamento total tanto na direção x quanto na y , apresentando uma elevação de, respectivamente, 1,86 milímetros (17,22%) e 4,97 milímetros (46,02%) em relação ao deslocamento horizontal total limite.

Tabela 4.4 – Deslocamento horizontal total

Sistema construtivo	Deslocamento horizontal total (mm)		Deslocamento horizontal total limite (mm)
	Direção x	Direção y	
LNP	9,33	9,83	10,80
LNT	12,66	15,77	

Fonte: Autor (2015)

Na Tabela 4.5 exibem-se os valores do coeficiente amplificador de esforços γ_z para os dois sistemas estruturais abordados. Nota-se que na direção x os sistemas LNP e LNT apresentaram valores do coeficiente γ_z menores ou iguais a 1,1, logo a estrutura é considerada como de nós fixos e dispensa a consideração dos esforços globais de 2ª ordem nesta direção para os dois sistemas. Na direção y os sistemas LNP e LNT apresentaram valores do coeficiente γ_z maiores que 1,1, logo, a estrutura é considerada como de nós móveis, devendo ser obrigatoriamente considerados os efeitos da não linearidade geométrica e da não linearidade física, portanto, no dimensionamento devem ser obrigatoriamente considerados os efeitos globais e locais de 2ª ordem.

Tabela 4.5 – Coeficiente amplificador de esforços γ_z

Sistema construtivo	γ_z	
	Direção x	Direção y
LNP	1,034	1,123
LNT	1,042	1,219

Fonte: Autor (2015)

4.3 Estudo de caso: lançamento 2

Neste item serão apresentados os resultados referentes ao lançamento 2 do estudo de caso comparativo entre lajes nervuradas bidirecionais moldadas no local com fôrmas reaproveitáveis de polipropileno e lajes nervuradas unidirecionais pré-fabricadas treliçadas.

Inicialmente apresentar-se-á a análise dos deslocamentos horizontais e da estabilidade da estrutura para os dois sistemas construtivos analisados, onde serão observados que ambos os sistemas atenderam aos critérios de deslocamento horizontal local e total limite provocado pela ação do vento para combinação frequente estabelecido na Tabela 13.3 da ABNT NBR 6118:2014.

Em seguida abordar-se-ão os resultados referentes à análise estrutural no que concerne a comparação entre espessuras, cargas totais, flechas, momentos fletores positivos e esforços cortantes das lajes do pavimento tipo da edificação, bem como, das cargas totais transmitidas aos pilares para os dois sistemas construtivos analisados.

Por fim, abordar-se-á o estudo comparativo do custo total para os dois sistemas construtivos analisados que fazem parte do escopo desta pesquisa, considerando todos os elementos da fundação e da superestrutura: lajes, vigas e pilares.

4.3.1 Análise Estrutural

4.3.1.1 Análise de deslocamentos horizontais e estabilidade

Na Tabela 4.6 têm-se os deslocamentos horizontais locais para cada pavimento da edificação. Nota-se que, diferentemente do lançamento 1, os sistemas LNP e LNT atenderam ao critério de deslocamento horizontal local limite provocado pela ação do vento para combinação frequente, estabelecido na Tabela 13.3 da ABNT NBR 6118:2014, tanto na direção x quanto na y em todos os pavimentos da edificação.

Tabela 4.6 –Deslocamentos horizontais locais por pavimento da edificação

Pavimento	Desnível (m)	Sistema construtivo	Deslocamento horizontal local (mm)		Deslocamento horizontal local limite (mm)
			Direção x	Direção y	
Cobertura	3,06	LNP	0,00	0,50	3,60
		LNT	0,80	0,80	
5º Pavimento	3,06	LNP	0,00	0,60	3,60
		LNT	0,80	0,90	
4º Pavimento	3,06	LNP	0,00	0,60	3,60
		LNT	0,80	1,00	
3º Pavimento	3,06	LNP	0,00	0,70	3,60
		LNT	0,80	1,00	
2º Pavimento	3,06	LNP	0,00	0,70	3,60
		LNT	0,60	1,00	
1º Pavimento	3,06	LNP	1,11	1,03	3,60
		LNT	0,71	1,03	
Térreo	3,30	LNP	1,37	1,21	3,88
		LNT	1,14	1,10	

Fonte: Autor (2015)

No tocante ao deslocamento horizontal total da edificação provocado pela ação do vento para combinação frequente, na Tabela 4.7 mostra-se que para a configuração estrutural do lançamento 2 do presente estudo de caso, os sistemas LNP e LNT atenderam ao estabelecido na Tabela 13.3 da ABNT NBR 6118:2014 tanto na direção x quanto na y .

Tabela 4.7 – Deslocamento horizontal total

Sistema construtivo	Deslocamento horizontal total (mm)		Deslocamento horizontal total limite (mm)
	Direção x	Direção y	
LNP	7,60	5,06	10,80
LNT	6,33	4,57	

Fonte: Autor (2015)

Na Tabela 4.8 exibem-se os valores do coeficiente amplificador de esforços γ_z para os dois sistemas estruturais abordados. Nota-se que na direção x os sistemas LNP e LNT apresentaram valores do coeficiente γ_z menores que 1,1, logo a estrutura é considerada como de nós fixos e dispensa a consideração dos esforços globais de 2ª ordem nesta direção para os dois sistemas. Na direção y , apenas o sistema LNP resultou em valor do coeficiente γ_z menor ou igual a 1,1 e, portanto, nesta direção a estrutura é considerada como de nós fixos e dispensa-se a consideração dos esforços globais de 2ª ordem. No sistema LNT, como o valor de γ_z foi maior que 1,1 na direção y , a estrutura é considerada como de nós móveis, devendo ser obrigatoriamente considerados os efeitos da não linearidade geométrica e da não linearidade física, portanto, no dimensionamento devem ser obrigatoriamente considerados os efeitos globais e locais de 2ª ordem nesta direção.

Tabela 4.8 – Coeficiente amplificador de esforços γ_z

Sistema construtivo	γ_z	
	Direção x	Direção y
LNP	1,034	1,095
LNT	1,040	1,117

Fonte: Autor (2015)

4.3.1.2 Análise de cargas, flechas e esforços nas lajes do pavimento tipo

Na Tabela 4.9 apresentam-se os valores de dimensões, espessuras e a verificação das flechas em função das dimensões das lajes do pavimento tipo.

Tabela 4.9 – Dimensões, espessura e verificação das flechas das lajes do pavimento tipo

Laje	Dimensões (m)	Sistema Construtivo	Espessura da laje (cm)	Flecha Total (cm)	Flecha Total Admissível (cm)	Contra flecha Necessária (cm)	Limite de Contra flecha (cm)
L1	5,60 x 5,56	LNP	20	0,91	2,22	-	1,58
		LNT	30	2,36		0,14	
L2	5,54 x 5,96	LNP	20	0,82	2,22	-	1,58
		LNT	30	2,32		0,10	
L3	1,86 x 1,19	LNP	20	0,00	0,48	-	0,34
		LNT	13	0,02		-	
L4	1,45 x 3,14	LNP	20	0,00	0,58	-	0,41
		LNT	13	0,05		-	
L5	6,34 x 2,68	LNP	20	0,00	1,07	-	0,70
		LNT	13	1,30		0,23	
L6	2,50 x 5,55	LNP	20	0,48	1,00	-	0,71
		LNT	13	1,14		0,14	
L7	5,54 x 5,55	LNP	20	1,65	2,22	-	1,58
		LNT	30	2,64		0,43	
L8	3,65 x 5,55	LNP	20	1,05	1,46	-	1,04
		LNT	20	1,35		-	
L9	2,50 x 5,55	LNP	20	0,48	1,00	-	0,71
		LNT	13	1,14		0,14	
L10	2,50 x 5,45	LNP	20	0,48	1,00	-	0,71
		LNT	13	1,16		0,16	
L11	5,54 x 5,45	LNP	20	1,69	2,18	-	1,55
		LNT	30	2,43		0,25	
L12	3,65 x 5,45	LNP	20	1,09	1,46	-	1,04
		LNT	20	1,37		-	
L13	2,50 x 5,45	LNP	20	0,48	1,00	-	0,71
		LNT	13	1,16		0,157	

Fonte: Autor (2015)

Observa-se na Tabela 4.9 que as lajes L1, L2, L7 e L11 apresentaram espessuras maiores no sistema LNT em relação ao sistema LNP. Tal fato pode ser explicado devido às condições de carregamento e das dimensões dessas lajes serem razoavelmente elevadas, e pelo fato das lajes no sistema LNT resistirem ao carregamento em uma única direção e apresentarem menor rigidez à flexão, sendo assim, demandam espessuras maiores para atender aos estados limites de dimensionamento. Como as lajes L3, L4, L5, L6, L9, L10 e L13 possuem dimensões razoavelmente pequenas para as condições de carregamento empregadas, o sistema LNT demandou menores espessuras das lajes para atender aos estados limites últimos e de utilização estabelecidos na ABNT NBR 6118:2014 quando comparadas ao sistema LNP. Sendo assim, conforme apresentado no estudo paramétrico deste trabalho, nota-se que para dimensões razoavelmente elevadas e considerando as condições de carregamento desta análise, as lajes do sistema LNT demandam maiores espessuras para atender aos estados limites últimos e de utilização estabelecidos na ABNT NBR 6118:2014.

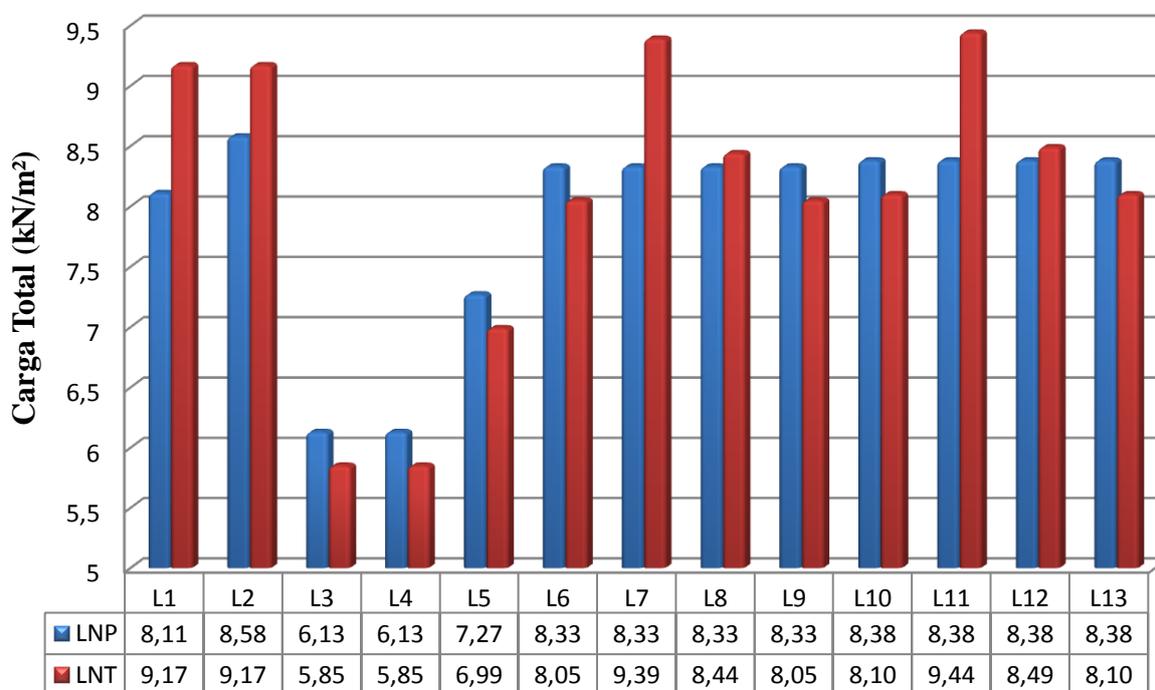
Nota-se na Tabela 4.9 que a espessura média das lajes do pavimento tipo no sistema LNT foi de 19,3 cm enquanto que no sistema LNP resultou em 20,0 cm, o que representa um aumento de 3,50% na espessura média do pavimento tipo no sistema LNP em relação ao LNT. A elevação da espessura da laje implica diretamente no aumento do peso próprio no pavimento e, conseqüentemente, na carga total resistida pela laje e transmitida as vigas, pilares e fundação.

Na Figura 4.9 têm-se as cargas totais atuantes nas lajes do pavimento tipo para os dois sistemas construtivos analisados. Nota-se que as lajes L1, L2, L7, L8, L11 e L12 apresentaram menores valores de carga total no sistema LNP quando comparadas com o sistema LNT, visto que estas lajes possuem geometrias quadradas de dimensões razoavelmente elevadas e, para as condições de carregamento usuais empregadas nesta pesquisa, demandam maiores espessuras de lajes no sistema LNT. Enquanto que as lajes L3, L4, L5, L6, L9, L10 e L13, por possuírem geometrias relativamente retangulares de dimensões razoavelmente pequenas e considerando as condições de carregamento usuais empregadas neste estudo, apresentaram menores valores de carga total no sistema LNT, por demandar menores espessuras de lajes, quando comparadas com o sistema LNP. Observa-se que as maiores diferenças nos valores de carga total ocorreram nas lajes L1, L2, L7 e L11, devido às elevadas dimensões das lajes com geometria relativamente quadradas, as quais demandam grandes valores de espessuras de lajes no sistema LNT. Diante deste cenário, o sistema LNP resultou em uma carga média no pavimento tipo de 7,96 kN/m², enquanto que o sistema LNT apresentou uma carga média de 8,10 kN/m², ou seja, o sistema LNP apresentou

um alívio de carga média de 0,14 kN/m² (1,73%) para o pavimento tipo em relação ao sistema LNT.

Assim como explanado anteriormente, tal fato tem significância no sentido de que o carregamento aplicado nas lajes é transferido para os demais elementos estruturais da superestrutura (vigas e pilares), os quais transferem a carga para a fundação. Sendo assim, o sistema que apresenta maior carga média por pavimento demanda elementos estruturais da superestrutura e infraestrutura mais robustos e, conseqüentemente, mais onerosos do ponto de vista dos custos.

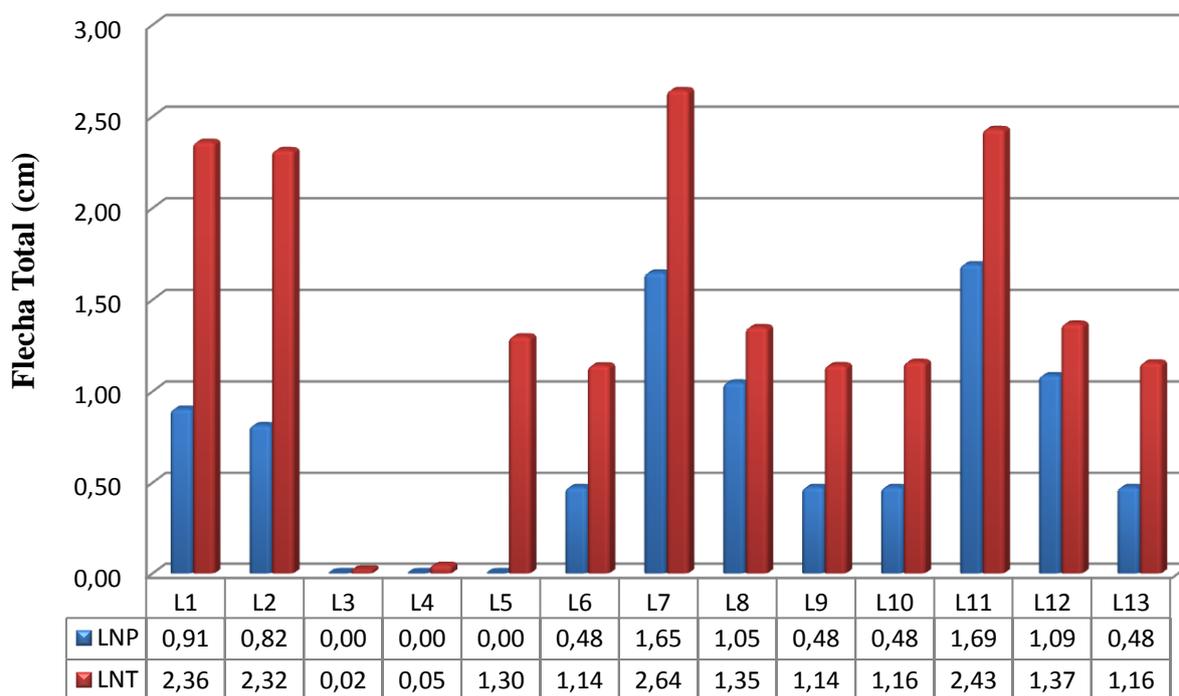
Figura 4.9 – Carga total nas lajes do pavimento tipo para os sistemas LNP e LNT



Fonte: Autor (2015)

Na Figura 4.10 apresentam-se os valores de flecha total das lajes do pavimento tipo para os sistemas LNP e LNT. Percebe-se, assim como apresentado no estudo paramétrico deste trabalho que, devido a maior rigidez a flexão, as lajes do sistema LNP são menos deformáveis que aquelas do sistema LNT. Tomando como exemplo a laje L7, que representa a laje mais solicitada do pavimento tipo, nota-se uma redução no valor da flecha total da laje no sistema LNP de 37,5% em relação ao sistema LNT.

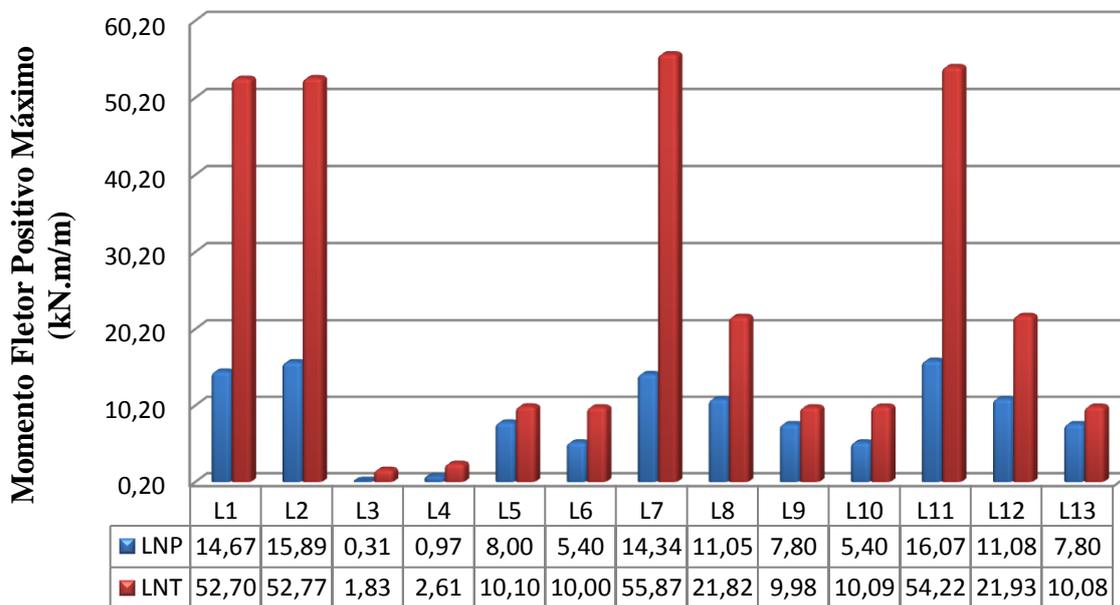
Figura 4.10 – Flecha total nas lajes do pavimento tipo para os sistemas LNP e LNT



Fonte: Autor (2015)

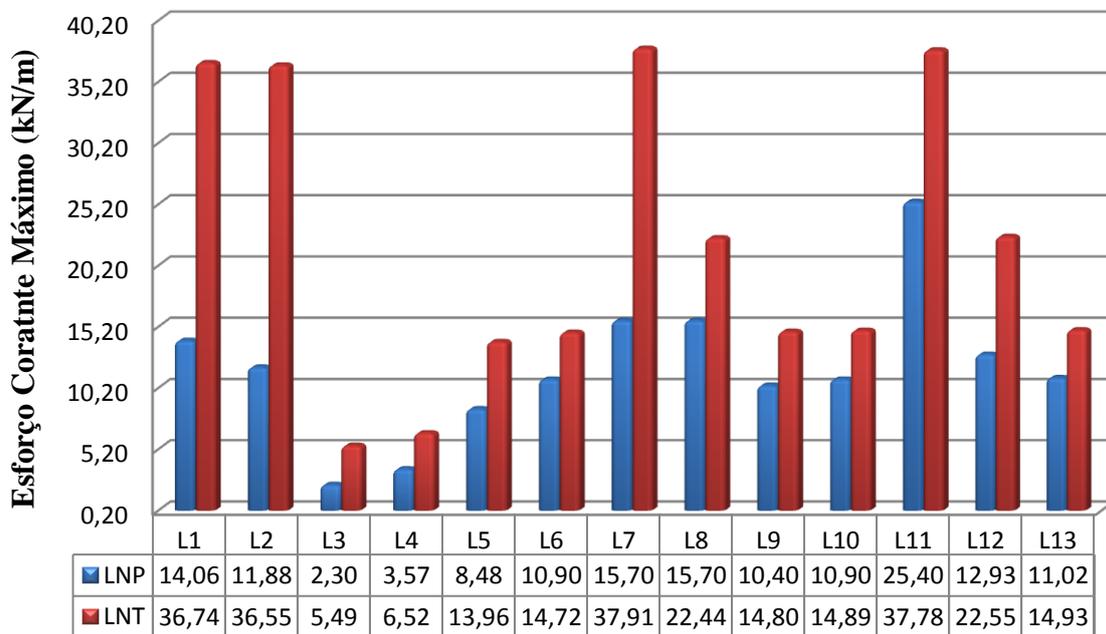
Na Figura 4.11 e na Figura 4.12 têm-se, respectivamente, os valores de momentos fletores positivos e esforços cortantes máximos das lajes do pavimento tipo para os dois sistemas construtivos analisados. Nota-se que para todas as dimensões de lajes analisadas, o sistema LNT apresentou maiores valores de momento fletor e esforço cortante máximos. Percebe-se ainda que, a redução percentual de esforços nas lajes do sistema LNP em relação ao sistema LNT foi mais significativa para as lajes com grandes dimensões. Observa-se que a redução no momento fletor positivo máximo e esforço cortante máximo na laje L7, que representa a laje mais solicitada do pavimento tipo, foi respectivamente de 74,37% e 58,58% no sistema LNP em relação ao sistema LNT. Logo, constata-se uma tendência de vantagem em termos de esforços, do sistema LNP em relação ao sistema LNT, principalmente quando se têm lajes com dimensões razoavelmente elevadas submetidas aos carregamentos usuais empregados nesta pesquisa.

Figura 4.11 – Momentos fletores positivos máximos das lajes do pavimento tipo nos dois sistemas analisados



Fonte: Autor (2015)

Figura 4.12 – Esforço cortante máximo das lajes do pavimento tipo nos dois sistemas analisados



Fonte: Autor (2015)

Vale ressaltar que foram realizadas as análises quanto às dimensões, espessuras, flechas, cargas e esforços das lajes do pavimento térreo e cobertura deste lançamento, as quais apresentaram resultados semelhantes aos exibidos para o pavimento tipo.

4.3.1.3 Análise de cargas nos pilares

Na Tabela 4.10 apresentam-se as cargas atuantes nos pilares ao nível dos arranques de fundação para os dois sistemas construtivos analisados.

Tabela 4.10 – Carga total nos pilares

Pilar	Dimensões (cm)	Cargas (t)		Aumento de carga no sistema LNT em relação ao sistema LNP
		LNP	LNT	
P1	60 x 15	9,68	9,51	-1,76%
P2	61 x 15	7,54	9,17	21,62%
P3	62 x 15	12,51	14,02	12,07%
P4	63 x 15	12,01	13,72	14,24%
P5	90 x 20	112,84	112,63	-0,19%
P6	80 x 20	51,32	55,86	8,85%
P7	15 x 60	9,76	10,49	7,48%
P8	80 x 20	101,37	105,76	4,33%
P9	100 x 20	140,93	160,64	13,99%
P10	100 x 20	193,23	209,19	8,26%
P11	80 x 20	65,75	71,91	9,37%
P12	15 x 60	13,38	14,86	11,06%
P13	80 x 20	127,38	125,20	-1,71%
P14	100 x 25	294,96	312,70	6,01%
P15	80 x 25	228,99	228,46	-0,23%
P16	15 x 60	28,08	31,23	11,22%
P17	100 x 25	388,35	408,73	5,25%
P18	80 x 25	348,26	350,35	0,60%
P19	15 x 60	17,24	18,36	6,50%
P20	80 x 20	198,12	211,72	6,86%
P21	80 x 20	179,88	183,97	2,27%

Fonte: Autor (2015)

Percebe-se na Tabela 4.10 que apenas os pilares P1, P5, P13 e P15 são mais solicitados no sistema LNP em relação ao sistema LNT, o qual apresenta maiores solicitações nos demais pilares da estrutura. Esse fato pode ser explicado possivelmente devido as maiores espessuras de lajes e, conseqüentemente, maiores cargas atuantes nos pavimentos do sistema LNT quando comparado ao sistema LNP, conforme analisado no item anterior. Sendo assim, observa-se no presente lançamento estrutural do estudo de caso um aumento médio de 6,96% da carga nos pilares no sistema LNT em relação ao sistema LNP.

4.3.2 Análise de Custo

4.3.2.1 Análise de custo da fundação

Devido às diferenças existentes entre os pesos totais da superestrutura dos dois sistemas construtivos analisados, as cargas transmitidas ao solo através das sapatas da fundação também diferem. Tal fato acarreta em um consumo de material e mão de obra diferente entre as fundações da estrutura para os dois sistemas construtivos estudados.

Na Tabela 4.11 têm-se os consumos de materiais demandados na execução das sapatas para os dois modelos estruturais analisados no presente lançamento estrutural do estudo de caso. Observa-se que houve maior consumo de materiais (fôrma, concreto e aço) no sistema LNT em relação ao sistema LNP. Tal fato pode ser explicado devido a maior carga total por pavimento apresentada por este sistema, o que ocasiona maior transmissão de cargas para as vigas e pilares da superestrutura, demandando sapatas mais robustas para resistir e transmitir as cargas ao solo.

Tabela 4.11 – Consumo de materiais na fundação

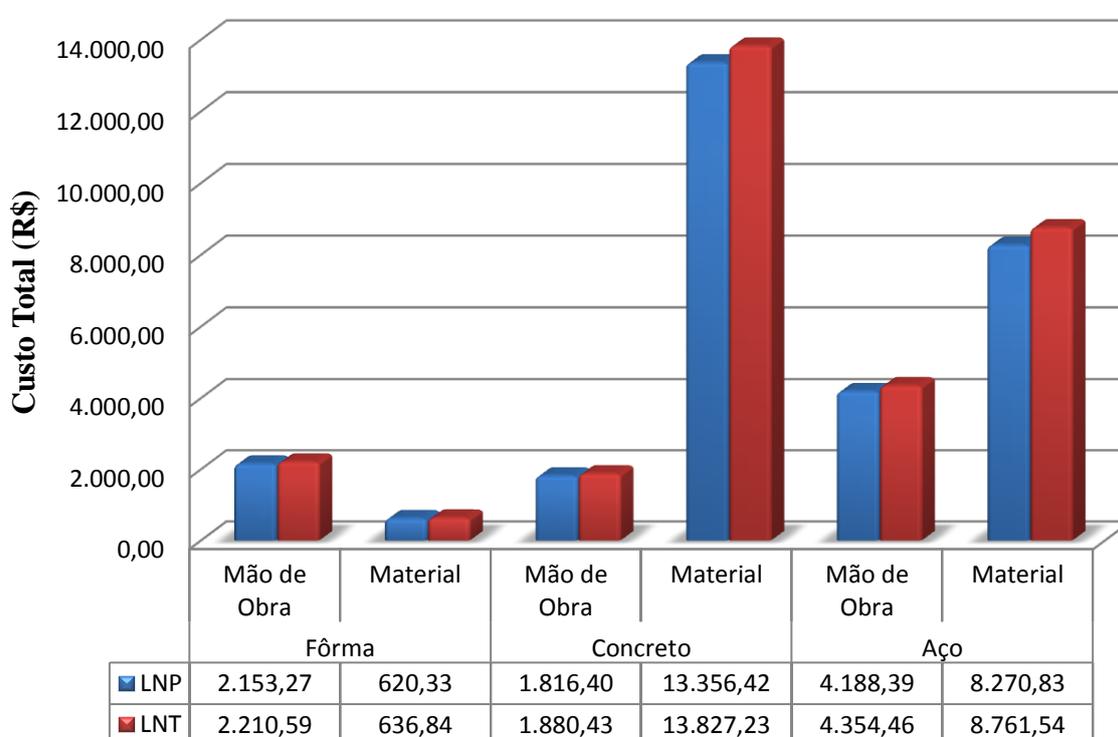
Sistema Construtivo	Fôrma (m ²)	Concreto (m ³)	Aço (kg)
LNP	78,51	40,00	2.066,97
LNT	80,60	41,41	2.189,65

Fonte: Autor (2015)

Na Figura 4.13 exibem-se os custos com mão de obra e material para a execução de fôrma, concretagem e armação das fundações nos dois sistemas construtivos analisados. Nota-se que os custos com mão de obra e material de fôrma, concreto e aço na fundação foram maiores no sistema de lajes nervuradas unidirecionais pré-fabricadas treliçadas, uma vez que esse sistema apresentou maiores consumos de materiais na fundação conforme visto na

Tabela 4.11. Percebe-se uma economia de 2,59% no custo com mão de obra (R\$ 57,32) e material (R\$ 16,51) na execução das fôrmas da fundação do sistema LNP em relação ao sistema LNT. Com relação ao custo de mão de obra e material na concretagem da fundação, o sistema LNP apresentou uma economia, respectivamente, de 3,41% (R\$ 64,03) e 3,41% (R\$ 470,61) em relação ao sistema LNT. Na armação da fundação, houve uma economia de 3,81% (R\$ 166,07) de mão de obra e 5,60% (R\$ 490,71) de material do sistema LNP em relação ao sistema LNT.

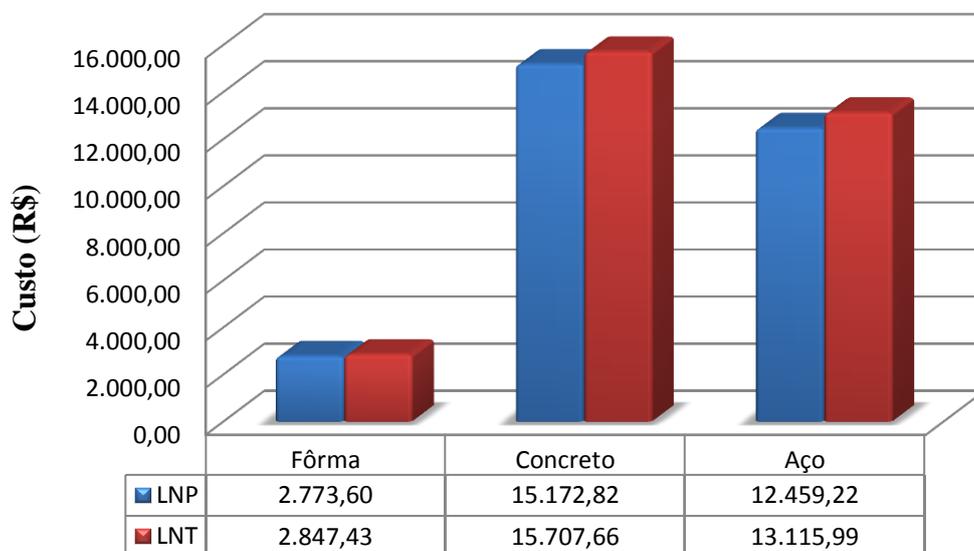
Figura 4.13 – Custo de mão de obra e material com fôrma, concreto e aço na fundação



Fonte: Autor (2015)

Na Figura 4.14 têm-se os custos totais de fôrma, concreto e aço nas fundações dos dois sistemas construtivos analisados. O sistema LNP apresentou uma economia de 9,23% (R\$ 73,83) no custo com fôrma, 3,40% (R\$ 534,84) no custo de concreto e 5,01% (R\$ 656,77) no custo de aço em relação ao sistema LNT.

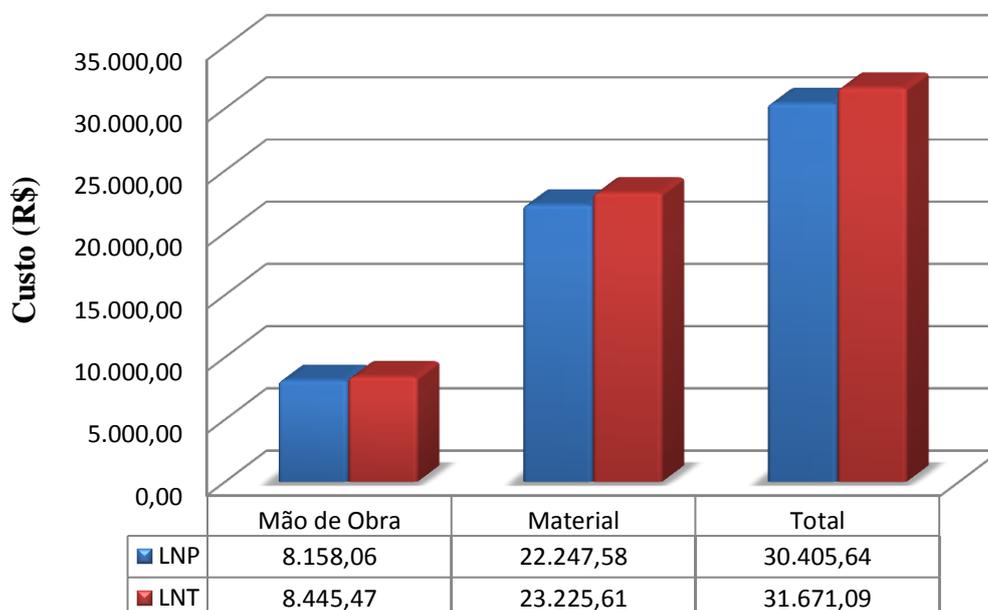
Figura 4.14 – Custo de fôrma, concreto e aço na fundação



Fonte: Autor (2015)

Na Figura 4.15 apresentam-se os custos com mão de obra, material e total das fundações para os dois sistemas construtivos analisados. O sistema LNP apresentou uma economia de 3,40% (R\$ 287,41) no custo com mão de obra e 4,21% (R\$ 978,03) no custo total de material em relação ao sistema LNT. Com relação ao custo total da fundação, observa-se que o sistema LNP resultou em uma economia de 4,00% (R\$ 1.265,45) em relação ao sistema LNT.

Figura 4.15 – Custo de mão de obra, material e total da fundação



Fonte: Autor (2015)

4.3.2.2 Análise de custo da superestrutura

Neste subitem apresentar-se-ão os custos tanto de mão de obra quanto de material das lajes, vigas e pilares que formam a superestrutura dos dois sistemas construtivos estudados.

4.3.2.2.1 Lajes

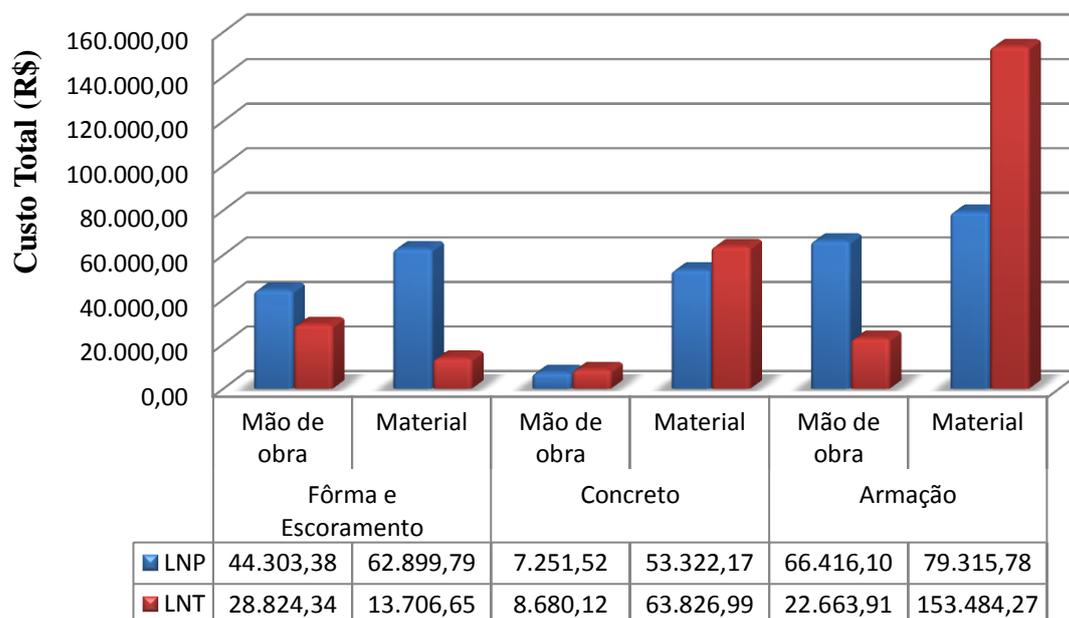
Na Figura 4.16 apresentam-se os custos totais com mão de obra e material para fôrma e escoramento, concreto e armação das lajes nos dois sistemas construtivos analisados. Com relação ao custo de fôrma e escoramento, observa-se uma economia do sistema LNT de 34,94% (R\$ 15.479,04) e 78,21% (R\$ 49.193,14) com mão de obra e material, respectivamente, em relação ao sistema LNP. Essa grande diferença de custo com fôrma está associada ao fato do sistema LNT não demandar assoalho de madeira para a execução das lajes.

No que tange ao custo com concreto, percebe-se na Figura 4.16 que os custos de mão de obra e material no sistema LNT são maiores que no sistema LNP. Tal fato ocorre porque para os painéis de lajes e as condições de carregamento do edifício deste estudo de caso, o sistema LNT demandou lajes com maiores espessuras para atender aos estados limites último e de serviço prescritos na NBR 6118/2014. Neste sentido, nota-se uma economia de 16,46% (R\$ 1.428,60) e 16,46% (R\$ 10.504,82) de mão de obra e material, respectivamente, do sistema LNP em relação ao sistema LNT.

No tocante à armação das lajes, observa-se que o custo de mão de obra é maior no sistema LNP, enquanto que o custo de material é maior no sistema LNT. Tal fato ocorre porque a execução das lajes no sistema LNP exige mão de obra mais especializada, além de maior quantitativo de hora/homem na sua execução. Com relação ao material, o sistema LNP permite o reaproveitamento dos materiais de enchimento, os quais podem ser utilizados nos demais pavimentos da obra, o que não acontece no sistema LNT que se utiliza de material de enchimento permanente de EPS. Associado ao fator do custo do material de enchimento permanente, as nervuras do sistema LNT são pré-moldadas em indústrias, e conseqüentemente, possuem custo final na obra mais elevado que as nervuras moldadas no local do sistema LNP.

Neste cenário, percebe-se na Figura 4.16 uma economia de 65,88% (R\$ 43.752,19) no custo com mão de obra na armação das lajes no sistema LNT em relação ao sistema LNP. Com relação ao custo com material na armação das lajes, nota-se uma economia de 48,32% (R\$ 74.168,49) no sistema LNP em relação ao sistema LNT.

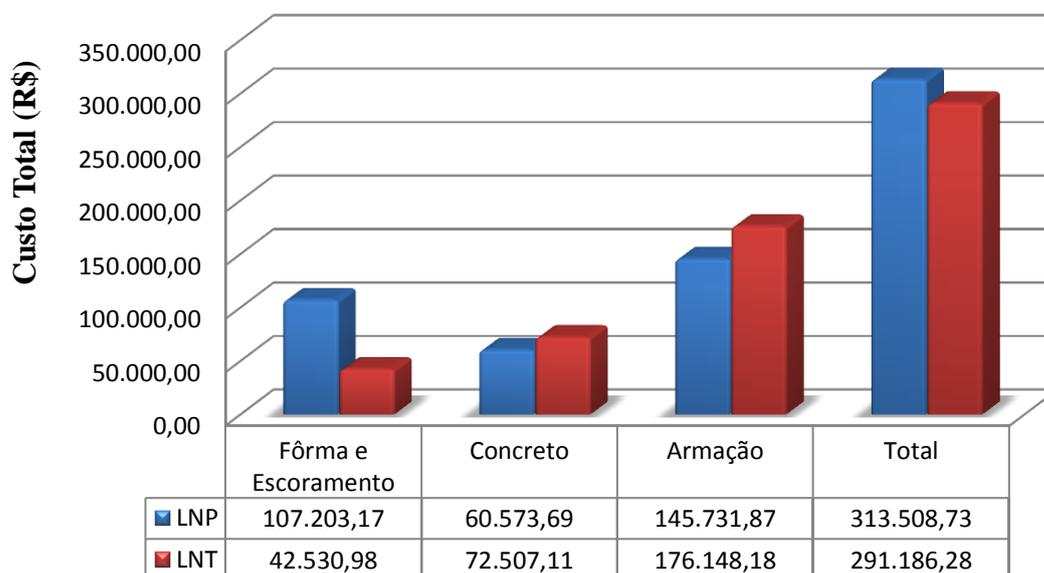
Figura 4.16 – Custo total de mão de obra e material de fôrma e escoramento, concreto e armação das lajes



Fonte: Autor (2015)

Na Figura 4.17 têm-se o custo total de fôrma e escoramento, concreto e armação das lajes dos sistemas construtivos abordados. O sistema LNP apresentou custo total de fôrma e escoramento maior que o sistema LNT, enquanto os custos totais de concreto e armação no sistema LNT se mostraram superior ao LNP. No entanto, devido à elevada diferença de custo com fôrma e escoramento das lajes entre os dois sistemas, nota-se uma economia no custo total das lajes do sistema LNT de 7,12% (R\$ 22.322,45) em relação ao sistema LNP.

Figura 4.17 – Custo total de fôrma e escoramento, concreto e armação das lajes

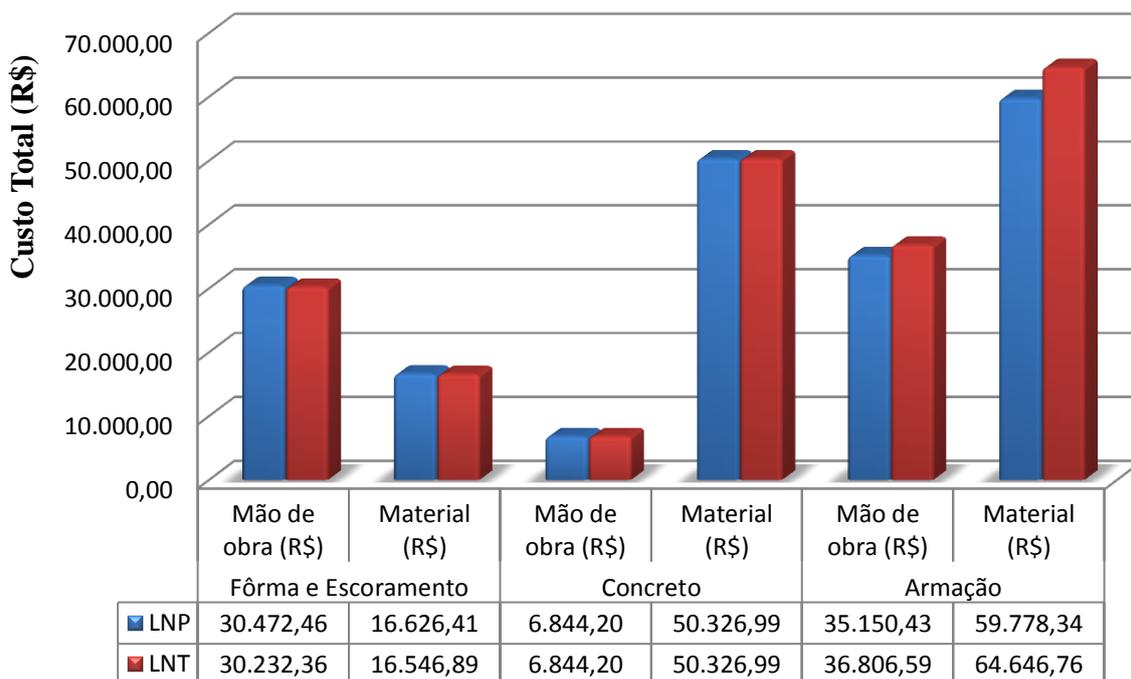


Fonte: Autor (2015)

4.3.2.2.2 Vigas

Na Figura 4.18 exibem-se os custos com mão de obra e material para fôrma e escoramento, concreto e armação das vigas nos dois sistemas construtivos analisados. Percebe-se que o sistema LNT se mostrou mais econômico apenas no custo de mão de obra e material de fôrma e escoramento. Com relação ao custo de fôrma e escoramento das vigas, observa-se uma economia do sistema LNT de 0,78% (R\$ 240,10) e 0,48% (R\$ 79,52) com mão de obra e material, respectivamente, em relação ao sistema LNP. Para o custo com concreto das vigas, não houve divergência entre os sistemas construtivos. No que diz respeito ao custo com armação, o sistema LNP resultou em uma economia de 4,50% (R\$ 1.656,16) e 7,53% (R\$ 4.868,42) com mão de obra e material, respectivamente, em relação ao sistema LNT.

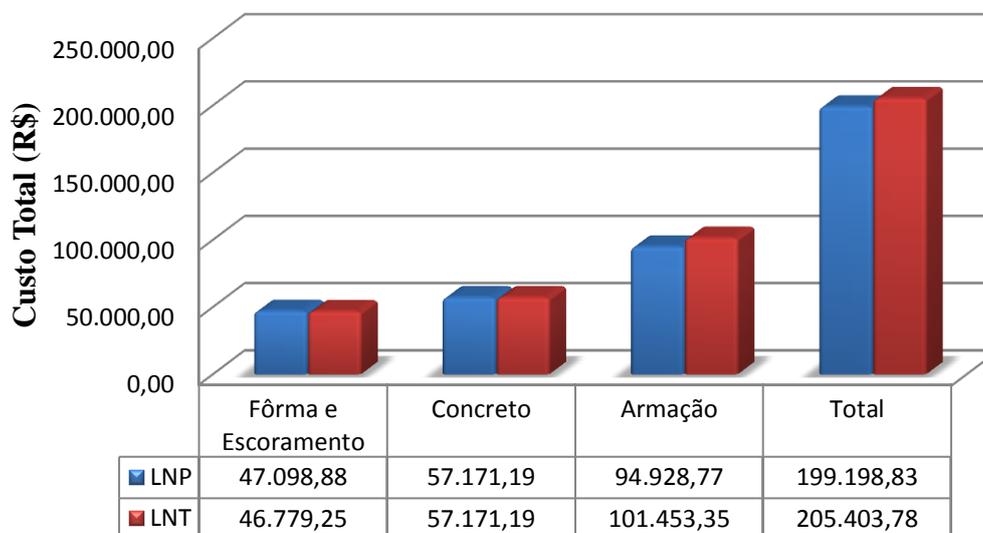
Figura 4.18 – Custo total de mão de obra e material de fôrma e escoramento, concreto e armação das vigas



Fonte: Autor (2015)

No tocante ao custo total das vigas, nota-se na Figura 4.19 que, devido à elevada diferença no custo da armação das vigas entre os dois modelos construtivos, o sistema LNP se mostrou mais econômico do que o sistema LNT, onde foi observada uma economia total de 3,02% (R\$ 6.204,95).

Figura 4.19 – Custo total de fôrma e escoramento, concreto e armação das vigas

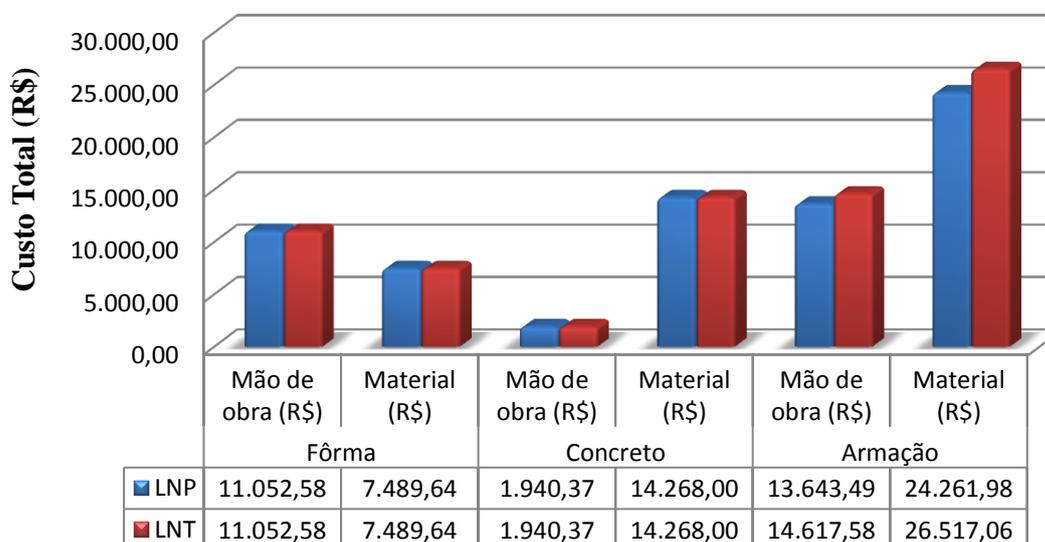


Fonte: Autor (2015)

4.3.2.2.3 Pilares

Na Figura 4.20 apresentam-se os custos com mão de obra e material para fôrma e escoramento, concreto e armação dos pilares nos dois sistemas construtivos analisados. Percebe-se que não houve divergência no custo com mão de obra e material de fôrma e escoramento e concreto dos pilares entre os dois sistemas construtivos. No que diz respeito ao custo com armação dos pilares, o sistema LNP resultou em uma economia de 6,66% (R\$ 974,09) e 8,50% (R\$ 2.255,08) com mão de obra e material, respectivamente, em relação ao sistema LNT.

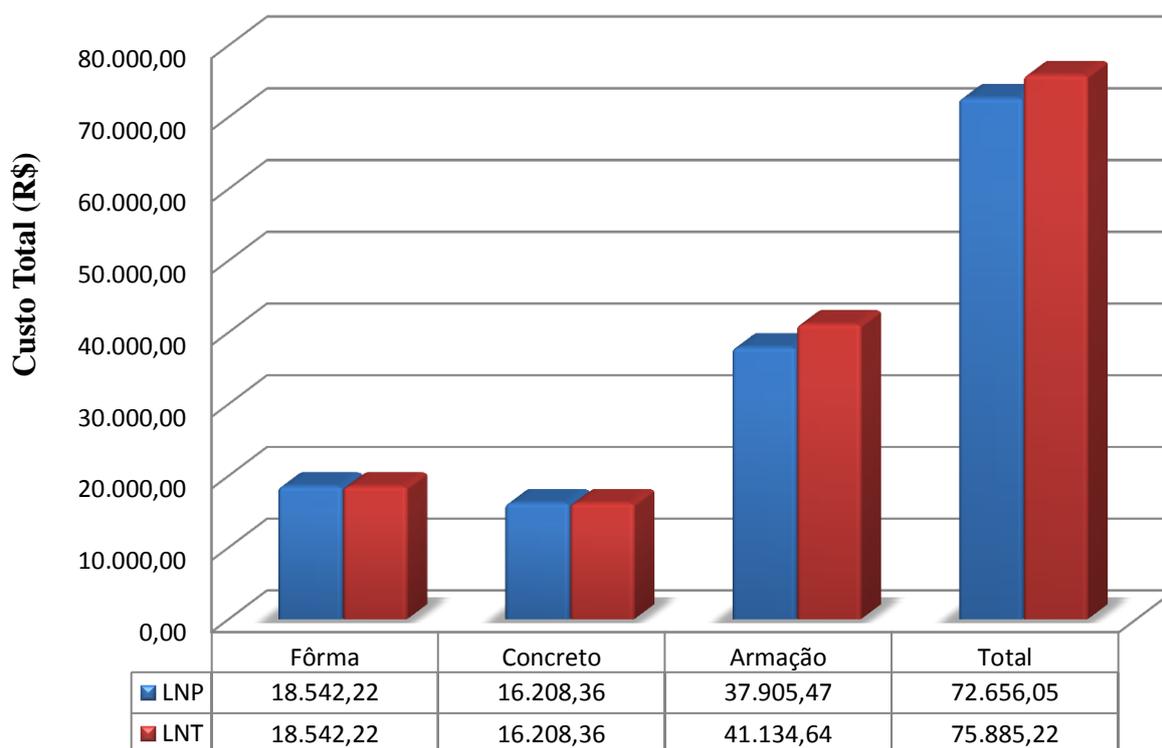
Figura 4.20 – Custo total de mão de obra e material de fôrma, concreto e armação dos pilares



Fonte: Autor (2015)

No que diz respeito ao custo total dos pilares, nota-se na Figura 4.21 que devido à elevada diferença no custo da armação dos pilares entre os dois modelos construtivos, o sistema LNP se mostrou mais econômico do que o sistema LNT, onde foi observada uma economia total de 4,25% (R\$ 3.229,17).

Figura 4.21 – Custo total de fôrma e escoramento, concreto e armação dos pilares

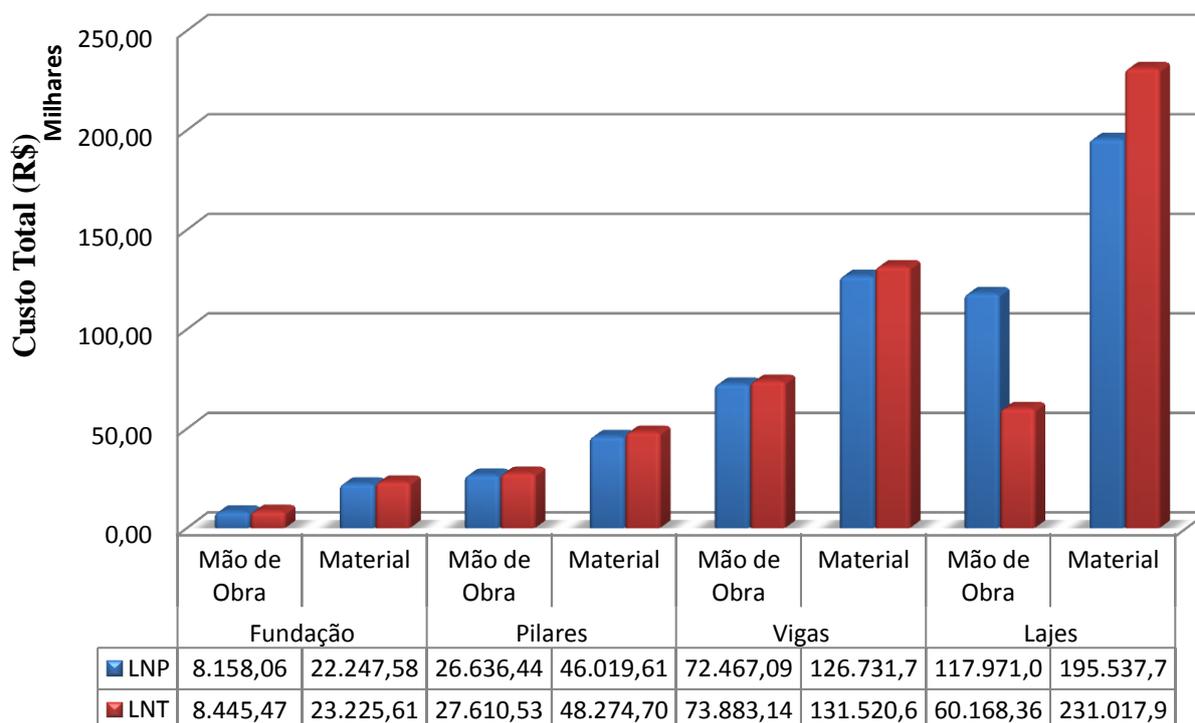


Fonte: Autor (2015)

4.3.2.3 Análise de custo da estrutura global do edifício

Na Figura 4.22 mostra-se em um único gráfico de barras o comparativo do custo total de mão de obra e material da fundação, pilares, vigas e lajes dos dois sistemas construtivos abordados na pesquisa.

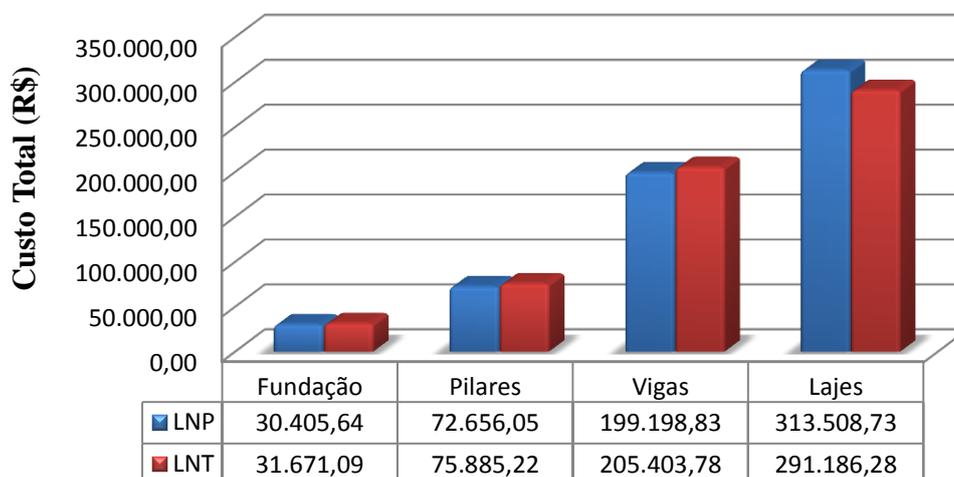
Figura 4.22 – Custo total de mão de obra e material da fundação, pilares, vigas e lajes



Fonte: Autor (2015)

Na Figura 4.23 apresentam-se em um único gráfico de barras os valores de custos totais da fundação, pilares, vigas e lajes dos dois sistemas construtivos analisados. Nota-se que o sistema LNP apresentou economia de 4,00% (R\$ 1.265,45), 4,25% (R\$ 3.229,17) e 3,02% (R\$ 6.204,95) nos custos totais de, respectivamente, fundação, pilares e vigas em relação ao sistema LNT. No tocante ao custo total de lajes, o sistema LNT se mostrou mais vantajoso, visto que a economia foi de 7,12% (R\$ 22.322,45) em relação ao sistema LNP.

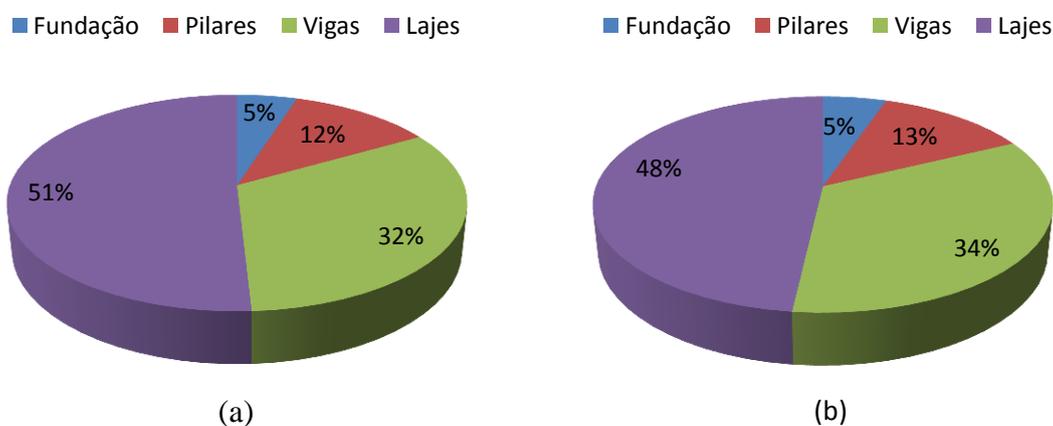
Figura 4.23 – Custo total da fundação, pilares, vigas e lajes



Fonte: Autor (2015)

Na Figura 4.24 representam-se termos de percentagem os custos da fundação, pilares, vigas e lajes em relação ao custo total da obra nos dois modelos construtivos. É possível perceber que as lajes representam aproximadamente 50% do custo total da estrutura, sendo assim, a vantagem do ponto de vista econômico entre os dois sistemas analisados está intimamente associado ao custo total das lajes. Tal fato ficou comprovado nesta análise, uma vez que o sistema LNP resultou maior valor no custo das lajes e, por conseguinte, apresentou o maior valor de custo total da estrutura entre os dois modelos analisados.

Figura 4.24 – Percentagem de custo da fundação e superestrutura em relação ao custo total do sistema construtivo (a) LNP e (b) LNT

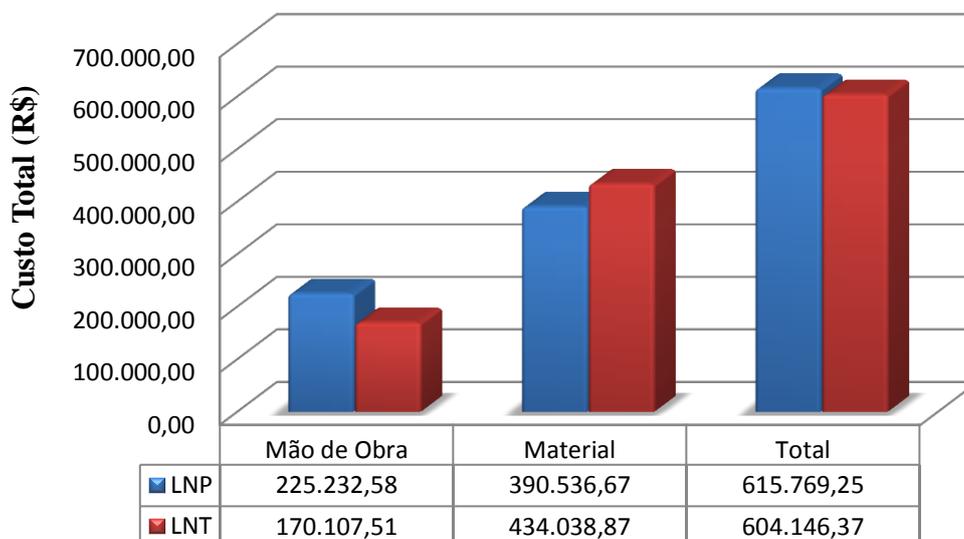


Fonte: Autor (2015)

Na Figura 4.25 apresentam-se em um único gráfico de barras os custos de mão de obra e material, bem como, o custo total da estrutura para os dois modelos construtivos abordados. Percebe-se que o sistema LNP é mais oneroso em relação ao custo total com mão de obra, onde se obteve uma economia de 24,47% (R\$ 55.125,07) no sistema LNT em relação ao LNP. Com relação ao custo total com material, o sistema LNT se apresentou mais oneroso, sendo que a economia no custo de material proporcionada pelo sistema LNP em relação ao LNT foi de 10,02% (R\$ 43.502,20).

A diferença no custo total de mão de obra se mostrou maior do que no custo total com material, logo, para o presente estudo de caso, o fator determinante para a escolha do modelo construtivo mais econômico está diretamente atrelado ao custo total com a mão de obra do sistema. Tal fato pode ser comprovado na Figura 4.25, onde o sistema LNP se mostrou menos vantajoso do ponto de vista econômico do que o sistema LNT. A economia relacionada ao custo total da estrutura do edifício proporcionada pelo emprego do sistema LNT foi de 1,89% (R\$ 11.622,88) em relação ao sistema LNP.

Figura 4.25 – Custo de mão de obra e material e custo total



Fonte: Autor (2015)

4.4 Análise comparativa entre os lançamentos 1 e 2 do estudo de caso

4.4.1 Análise estrutural

Na Tabela 4.12 têm-se os deslocamentos horizontais totais da edificação provocados pela ação do vento para combinação frequente nos lançamentos estruturais 1 e 2 do estudo de caso. Observa-se que o sistema LNT no lançamento 1 não atendeu aos valores limites de deslocamentos horizontais totais estabelecidos na ABNT NBR 6118:2014 nas direções x e y . No lançamento 2, através de inserções de vigas de travamento dos pórticos na direção y , visto que havia deficiência de contraventamento nesta direção no lançamento 1 para o sistema LNT, constatou-se a redução significativa dos deslocamentos horizontais totais tanto na direção x quanto y para os sistemas LNP e LNT.

Tabela 4.12 – Deslocamento horizontal total

Lançamento	Sistema construtivo	Deslocamento horizontal total (mm)		Deslocamento horizontal total limite (mm)
		Direção x	Direção y	
1	LNP	9,33	9,83	10,80
	LNT	12,66	15,77	
2	LNP	7,60	5,06	10,80
	LNT	6,33	4,57	

Fonte: Autor (2015)

No tocante ao coeficiente amplificador de esforços γ_z , relacionado à estabilidade global da edificação, nota-se na Tabela 4.13 que a inserção de vigas de contraventamento na direção y proporcionou a redução do coeficiente γ_z tanto na direção x quanto y dos sistemas LNP e LNT. Observa-se, ainda, que a estrutura no sistema LNP deixou de ser considerada como de nós móveis na direção y no lançamento 1 e passou a ser caracterizada como estrutura de nós fixos nesta direção no lançamento 2.

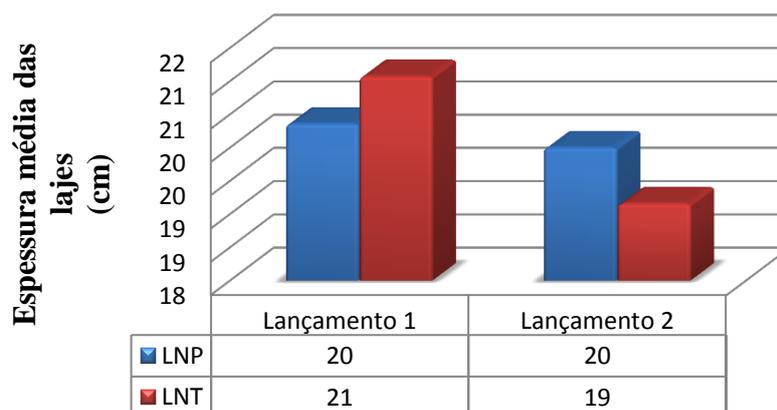
Tabela 4.13 – Coeficiente amplificador de esforços γ_z

Lançamento	Sistema construtivo	γ_z	
		Direção x	Direção y
1	LNP	1,034	1,123
	LNT	1,042	1,219
2	LNP	1,034	1,095
	LNT	1,040	1,117

Fonte: Autor (2015)

Na Figura 4.26 confrontam-se as espessuras médias das lajes para os lançamentos estruturais 1 e 2 do edifício modelo utilizado no estudo de caso considerando os sistemas LNP e LNT. Nota-se que ocorreu redução na espessura média das lajes no lançamento estrutural 2 em relação ao estrutural lançamento 1, visto que houve uma redução das dimensões em planta das lajes, o que contribuiu para diminuir a demanda por espessuras mais elevadas para atender aos estados limites de dimensionamento da ABNT NBR 6118:2014. Percebe-se uma redução de 2% (0,4 cm) e 9% (1,9 cm) na espessura média das lajes no lançamento 2 em relação ao lançamento 1, respectivamente, nos sistemas LNP e LNT.

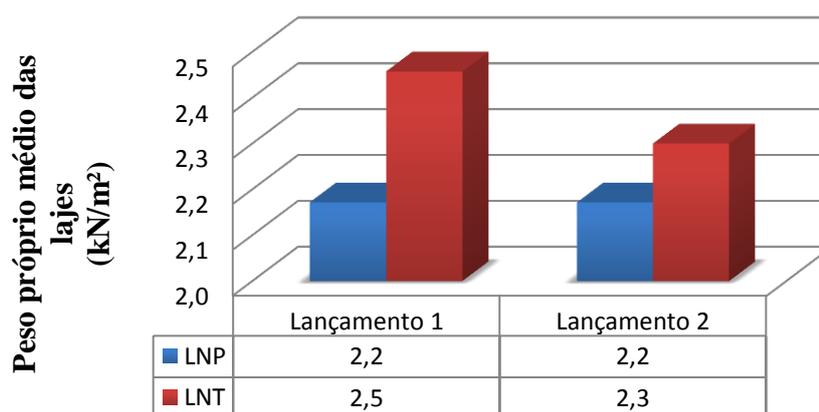
Figura 4.26 – Espessura média das lajes para os lançamentos estruturais 1 e 2 do edifício utilizado no estudo de caso considerando os sistemas LNP e LNT



Fonte: Autor (2015)

Como a variação da espessura média entre os lançamentos estruturais no sistema LNP não foi significativa, não houve variação no peso próprio médio das lajes conforme se observa na Figura 4.27. Enquanto no sistema LNT, percebe-se uma redução de 8% (0,2 kN/m²) no peso próprio médio das lajes do lançamento estrutural 2 em relação ao lançamento estrutural 1.

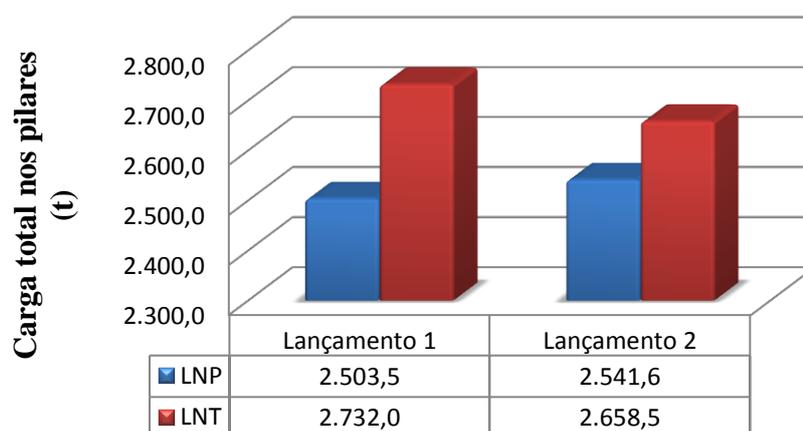
Figura 4.27 – Peso próprio médio das lajes para os lançamentos estruturais 1 e 2 do edifício utilizado no estudo de caso empregando os sistemas LNP e LNT



Fonte: Autor (2015)

Visto que o lançamento estrutural 2 acrescentou vigas nos pavimentos para atender aos critérios de deslocamentos horizontais impostos pela ABNT NBR 6118:14, acarretou conseqüentemente, um aumento de carga transmitida aos pilares. Como no sistema LNP não houve redução do peso próprio médio das lajes no lançamento estrutural 2, o aumento das cargas provenientes do acréscimo das vigas ocasionou a elevação na carga total dos pilares conforme pode ser observado na Figura 4.28.

Figura 4.28 – Carga total nos pilares para os lançamentos estruturais 1 e 2 do edifício utilizado no estudo de caso empregando os sistemas LNP e LNT

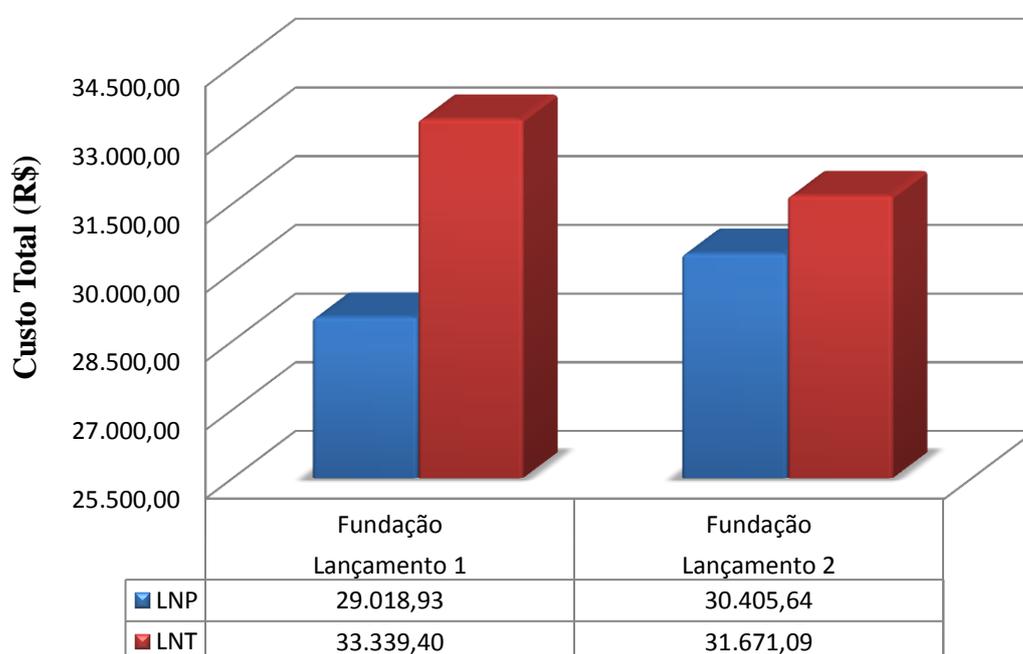


Fonte: Autor (2015)

4.4.2 Análise de Custo

Na Figura 4.29 tem-se o custo total da fundação do edifício utilizado no estudo de caso para os sistemas LNP e LNT considerando os lançamentos estruturais 1 e 2. Observa-se uma elevação do custo da fundação do sistema LNP no lançamento 2 de 4,78% (R\$ 1.386,71) em relação ao lançamento 1, enquanto o sistema LNT resultou em uma redução de 5,00% (R\$ 1.668,31).

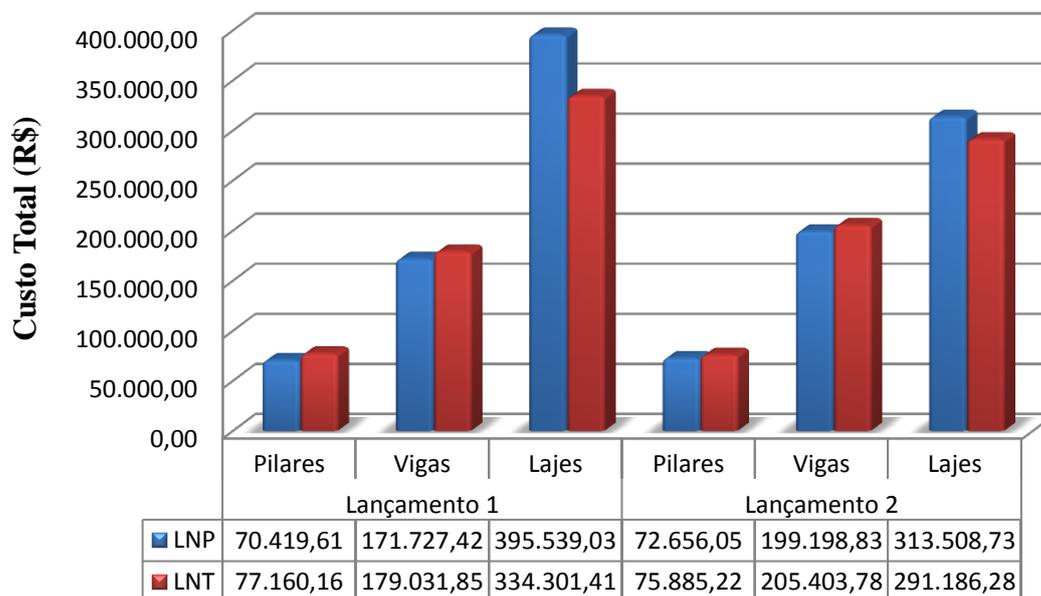
Figura 4.29 – Custo da fundação dos lançamentos estruturais 1 e 2 do edifício modelo utilizado no estudo de caso para os sistemas LNP e LNT



Fonte: Autor (2015)

Na Figura 4.30 mostra-se o custo total da superestrutura do edifício utilizado no estudo de caso para os sistemas LNP e LNT considerando os lançamentos estruturais 1 e 2. Com relação ao sistema LNP, observa-se que houve um aumento no custo dos pilares e das vigas de, respectivamente, 3,18% (R\$ 2.236,44) e 16,00% (R\$ 27.471,41), enquanto que para as lajes ocorreu uma redução de 20,74% (R\$ 82.030,30) no lançamento estrutural 2 em relação ao lançamento estrutural 1. No tocante ao sistema LNT, nota-se que houve uma redução no custo dos pilares e das lajes de, respectivamente, de 1,65% (R\$ 1.274,94) e 12,90% (R\$ 43.115,13), enquanto que o custo das vigas sofreu um aumento de 14,73% (R\$ 26.371,93) no lançamento estrutural 2 em relação ao lançamento estrutural 1.

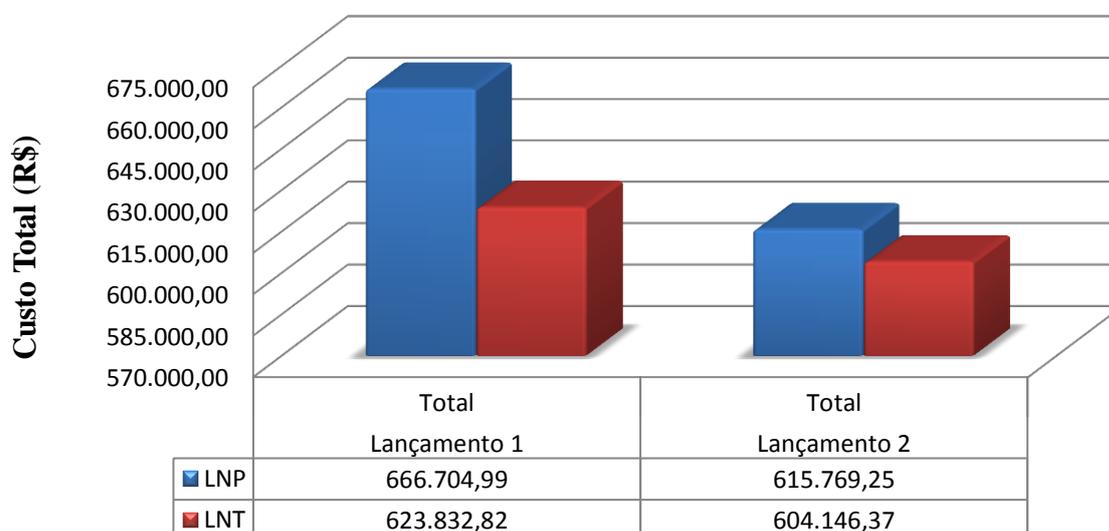
Figura 4.30 – Custo da superestrutura: pilares, vigas e lajes dos lançamentos estruturais 1 e 2 do edifício modelo utilizado no estudo de caso para os sistemas LNP e LNT



Fonte: Autor (2015)

Na Figura 4.31 apresenta-se o custo total da estrutura do edifício modelo utilizado no estudo de caso para os sistemas construtivos LNP e LNT considerando os lançamentos estruturais 1 e 2. É possível perceber que houve redução no custo total da estrutura tanto para o sistema LNP quanto o LNT no lançamento estrutural 2. No lançamento estrutural 2, o sistema LNP apresentou uma redução no custo total de 7,64% (R\$ 50.935,74) e o sistema LNT de 3,16% (R\$ 19.686,45) em relação ao lançamento estrutural 1.

Figura 4.31 – Custo total dos lançamentos estruturais 1 e 2 do edifício modelo utilizado no estudo de caso para os sistemas LNP e LNT



Fonte: Autor (2015)

5. CONCLUSÕES

Ao se projetar uma estrutura, é fundamental o conhecimento dos vários sistemas estruturais e construtivos existentes. Além disto, também é muito importante o domínio do *software* que será empregado no dimensionamento da estrutura, conhecendo-se os critérios e os modelos apresentados no mesmo. É imprescindível saber adequar cada modelo estrutural ou físico ao modelo matemático correspondente.

É importante, também, prever e empregar o sistema estrutural que seja mais adequado ao objetivo que a estrutura se destina através do conhecimento das cargas que este sistema irá suportar, bem como sua capacidade resistente em relação aos esforços gerados pelo carregamento.

Diante disto, busca-se a solução economicamente mais viável, influenciada por diversos fatores, salientando-se que, na composição dos custos, devem ser incluídos fatores tais como mão de obra, tempo de execução, equipamentos, materiais necessários e a reutilização das fôrmas.

Ressalta-se, ainda, que não se pretende afirmar com este trabalho que um sistema construtivo é melhor ou pior em relação ao outro, uma vez que cada projeto estrutural específico deve ser avaliado com cuidado antes de serem tomadas quaisquer decisões.

5.1 Estudo paramétrico

As lajes treliçadas unidirecionais apresentaram maiores valores de deslocamentos em relação às lajes nervuradas bidirecionais com fôrmas de polipropileno para todas as dimensões de lajes quadradas analisadas. Constatou-se ainda que a diferença de flecha total entre os dois sistemas diminuiu com o aumento das dimensões das lajes.

No que tange as lajes retangulares, para as condições de carregamento e vinculações desta pesquisa, o sistema LNT resultou maiores valores de deslocamentos em relação ao sistema LNP para todas as lajes com dimensões até 7x14 metros.

Para todas as dimensões de lajes quadradas analisadas, considerando as condições de carregamento e vinculações empregadas neste trabalho, o sistema de lajes nervuradas unidirecionais treliçadas apresentou maiores valores de momentos fletores e esforços cortantes máximos. Observou-se ainda uma tendência de vantagem, do ponto de vista dos esforços, do sistema LNP em relação ao sistema LNT quando se têm lajes quadradas com grandes dimensões.

Com relação aos esforços nas lajes retangulares, para as condições de carregamento e vinculações desta pesquisa, também se observou que para todas as dimensões de lajes retangulares analisadas, o sistema LNT apresentou maiores valores máximos de momento fletor e esforço cortante. Observou-se uma tendência de vantagem, do ponto de vista dos esforços, do sistema LNP em relação ao sistema LNT quando se têm lajes retangulares com grandes dimensões.

No tocante ao custo das lajes quadradas, constatou-se que, nas condições de carregamento e vinculações desta pesquisa, o sistema de lajes nervuradas unidirecionais pré-fabricadas treliçadas se mostrou mais econômico do que o sistema de lajes nervuradas bidirecionais moldadas no local com fôrmas de polipropileno até os painéis de dimensões 6 x 6 metros.

No que concerne ao custo das lajes retangulares, ficou constatado que, nas condições de carregamento e vinculações desta pesquisa, o sistema de lajes nervuradas unidirecionais pré-fabricadas treliçadas se mostrou mais econômico do que o sistema de lajes nervuradas bidirecionais moldadas no local com fôrmas de polipropileno para todas as dimensões analisadas.

5.2 Estudo de caso

No que tange ao coeficiente amplificador de esforços γ_z , relacionado à estabilidade global da edificação, concluiu-se que a inserção de vigas de contraventamento na direção y proporcionou a redução do coeficiente γ_z na direção y dos sistemas LNP e LNT. Logo, o lançamento 2 proporcionou maior estabilidade global da edificação quanto às ações horizontais tanto no sistema LNP quanto LNT.

Foi observado, tanto no lançamento estrutural 1 quanto no lançamento estrutural 2, que em virtude das condições de carregamento e dimensões em planta das lajes, o sistema LNT apresentou maiores valores de cargas atuantes nas lajes, devido aos maiores valores de peso próprio, em relação ao sistema LNP. Logo, como as cargas atuantes nas lajes do sistema convencional são transmitidas para as vigas, pilares e fundação, estes elementos estruturais se tornaram mais onerosos, do ponto de vista econômico, com o emprego do sistema LNT em relação ao sistema LNP para esta edificação nos dois tipos de lançamentos.

No que diz respeito ao custo do lançamento estrutural 1, observou-se uma economia no custo total da estrutura global do edifício analisado de 6,43% (R\$ 42.872,17) com o emprego do sistema LNT em relação ao sistema LNP. Enquanto para o lançamento estrutural 2,

constatou-se uma economia no custo total da estrutura global do edifício analisado de 1,89% (R\$ 11.622,88) com o emprego do sistema LNT em relação ao sistema LNP.

Através da comparação entre os lançamentos estruturais 1 e 2, observou-se uma redução no custo total da estrutura tanto para o sistema LNP quanto o LNT no lançamento estrutural 2. No lançamento estrutural 2, o sistema LNP sofreu uma redução no custo total de 7,64% (R\$ 50.935,74) e o sistema LNT de 3,16% (R\$ 19.686,45) em relação ao lançamento estrutural 1. Logo, além de proporcionar maior estabilidade global da edificação quanto às ações horizontais, o lançamento 2 proporcionou uma economia significativa no custo total da obra para os dois sistemas construtivos analisados neste trabalho.

Constatou-se que as lajes desempenham importantes funções nas estruturas dos edifícios, além de serem responsáveis pelo consumo de elevada parcela de mão de obra e material utilizados na execução da estrutura. Foi observado nesta pesquisa, nos lançamentos estruturais 1 e 2, que as lajes representam aproximadamente 50% do custo total da estrutura no sistema convencional de lajes nervuradas. Sendo assim, a vantagem do ponto de vista econômico entre sistemas estruturais convencionais está intimamente associada ao custo total das lajes. No entanto, a escolha de um sistema estrutural do pavimento de uma edificação deve sempre ser feita analisando-se aspectos econômicos, de funcionamento, de execução, e os relacionados à interação com os demais subsistemas da edificação.

5.3 Propostas para Trabalhos Futuros

Como este assunto é muito amplo e não é possível esgotá-lo em uma dissertação, sugere-se a seguir alguns itens que poderiam ser estudados a fim de enriquecer este tema:

- Análise comparativa considerando o sistema construtivo de laje nervurada bidirecional pré-fabricada treliçada;
- Análise comparativa dos diversos sistemas estruturais considerando esforços horizontais devido ao sismo;
- Consideração de outros sistemas estruturais como, por exemplo, lajes lisas, protendidas e mistas;
- Análise comparativa para um ou mais sistemas estruturais com variação da quantidade de pavimentos da edificação.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, A. T. **Análise de alternativas estruturais para edifícios em concreto armado**. São Carlos, 1999. 97p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. 1999.

ALONSO, U. R. **Exercícios de fundações**. São Paulo, Ed. Blucher, 2^a ed., 2010, 203 p.

ARAÚJO, A. da R. **Estudo Técnico comparativo entre pavimentos executados com lajes nervuradas e lajes convencionais**. Dissertação (Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Civil) – Universidade Anhembi Morumbi, São Paulo, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Projeto de estruturas de concreto – Procedimento**, NBR 6118. Rio de Janeiro, ABNT, 2003, 170p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Projeto de estruturas de concreto – Procedimento**, NBR 6118. Rio de Janeiro, ABNT, 2014, 238p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Cargas para o cálculo das edificações**, NBR 6120. Rio de Janeiro, ABNT, 1980, 5p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Forças devidas ao vento em edificações**, NBR 6120. Rio de Janeiro, ABNT, 1988, 66p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Ações e segurança nas estruturas - Procedimento**, NBR 8681. Rio de Janeiro, ABNT, 2003, 18p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Execução de estruturas de concreto - Procedimento**, NBR 14931. Rio de Janeiro, ABNT, 2004, 53p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Barras e fios de aço destinados a armaduras para concreto armado – Especificação**, NBR 7480. Rio de Janeiro, ABNT, 1996, 7p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Barras e fios de aço destinados a armaduras para concreto armado – Especificação**, NBR 7480. Rio de Janeiro, ABNT, 2007, 13p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Tela de aço soldada - Armadura para concreto**, NBR 7481. Rio de Janeiro, ABNT, 1990, 7p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Armaduras treliçadas eletrossoldadas - Requisitos**, NBR 14862. Rio de Janeiro, ABNT, 2002, 10p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Projeto e execução de fundações**, NBR 6122. Rio de Janeiro, ABNT, 1996, 33p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Projeto e execução de fundações**, NBR 6122. Rio de Janeiro, ABNT, 2010, 91p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Laje pré-fabricada – Requisitos Parte 1 – Lajes unidirecionais**, NBR 14859-1. Rio de Janeiro, ABNT, 2002, 15p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Laje pré-fabricada – Requisitos Parte 2 – Lajes bidirecionais**, NBR 14859-1. Rio de Janeiro, ABNT, 2002, 2p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Edificações habitacionais – Desempenho – Parte 1: Requisitos gerais**, NBR 15575-1. Rio de Janeiro, ABNT, 2002, 60p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Edificações habitacionais – Desempenho – Parte 2: Requisitos para os sistemas estruturais**, NBR 15575-2. Rio de Janeiro, ABNT, 2013, 31p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações – Procedimento**, NBR 14432. Rio de Janeiro, ABNT, 2001, 14p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio**, NBR 15200. Rio de Janeiro, ABNT, 2012, 48p.

BASTOS, P. S. S. **Lajes de Concreto**. Bauru, Faculdade de Engenharia de Bauru – USP, Departamento de Engenharia Civil, 2005, 132p.

BOCCHI JR., C. F.; GIONGO, J. S. **Concreto armado: projeto e construção de lajes nervuradas**. Universidade de São Carlos, São Carlos, 2010.

CARVALHO, M. C. **Análise comparativa estrutural e econômica entre as lajes maciça, nervurada treliçada e nervurada com cuba plástica em um edifício de 10 pavimentos.** 2012. 79 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil), Universidade Estadual de Feira de Santana, Departamento de Tecnologia, Feira de Santana, Bahia.

CARVALHO, R. C.; PINHEIRO, L. M. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado.** São Paulo, Ed. Pini, Volume 2, 2009.

FRANCA, A.B.M.; FUSCO, P.B. **As lajes nervuradas na moderna construção de edifícios.** São Paulo, AFALA & ABRAPEX, 1997.

LOPES, A. F. de O. **Estudo técnico comparativo entre lajes maciças e nervuradas com diferentes tipos de materiais de enchimentos.** 2012. 131 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil), Universidade Federal de Pernambuco, Centro Acadêmico do Agreste, Caruaru.

PINI. TCPO: **Tabelas de Composições de Preços para Orçamentos.** São Paulo, Ed. Pini, 13^a ed., 2008.

PINHEIRO, L. M. **Fundamentos do concreto e projeto de edifícios.** São Carlos, Escola de Engenharia de São Carlos - USP, Departamento de Engenharia de Estruturas, 2007.

NAZAR, N. **Fôrmas e escoramentos para edifícios – critérios para dimensionamento e escolha do sistema.** São Paulo, Ed. Pini, 2007, 173 p.

SANTOS, T. da S. **Análise comparativa no dimensionamento de lajes maciças convencionais e lajes nervuradas apoiadas sobre vigas.** 2009. 74 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil), Universidade Estadual de Feira de Santana, Departamento de Tecnologia, Feira de Santana, Bahia.

SILVA, A. R. da. **Análise comparativa de custos de sistemas estruturais para pavimentos de concreto armado.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2002.

SILVA, M. A. F. da. **Projeto e construção de lajes nervuradas de concreto armado.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de São Carlos, 2005. São Carlos: UFSCar, 2005. 239 p.

SPOHR, V. H. **Análise comparativa: sistemas estruturais convencionais e estruturas de lajes nervuradas.** 2008. 108 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

VITALLI, L. **Estudo comparativo entre lajes nervuradas com diferentes materiais de enchimento**. 2010. 62 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil), Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma.

TAVARES, C. de M. **Estudo técnico comparativo: lajes nervuradas lisas e lajes nervuradas no sistema convencional**. 2015. 109 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil), Universidade Federal de Pernambuco, Centro Acadêmico do Agreste, Caruaru.

APÊNDICE

APÊNDICE A – Composição de custo unitário

1. FÔRMAS

03110.8.1 (TCPO) FÔRMA de madeira para fundação, com tábuas e sarrafos, incluindo fabricação, montagem e desmontagem com 5 aproveitamentos - unidade: m²

Classe/tipo	Código SINAPI	Descrição	Unidade	Consumo unitário	Custo Unitário (R\$)	Custo total (R\$)
Composição	88239	Ajudante de carpinteiro com encargos complementares	h	0,39	11,97	4,67
Composição	88262	Carpinteiro com encargos complementares	h	1,56	14,57	22,76
Insumo	00005068	Prego 17 x 21 com cabeça (comprimento: 48,3 mm / diâmetro da cabeça: 3,0 mm)	kg	0,036	8,35	0,30
Insumo	00004517	Sarrafo 1" x 3" (altura: 75 mm / espessura: 25 mm)	m	0,75	1,44	1,08
Insumo	00006188	Tábua 1" x 12" (espessura: 25 mm / largura: 300 mm)	m ²	0,26	16,35	4,25
Insumo	00002692	Desmoldante de fôrmas para concreto	L	0,10	10,25	1,03
Insumo	00000034	Barra de aço CA-50 3/8" (bitola: 10,0 mm / massa linear: 0,617 kg/m)	kg	0,11	4,17	0,46
Insumo	00005069	Prego 17 x 27 com cabeça dupla (comprimento: 62,1 mm / diâmetro da cabeça: 3,0 mm)	kg	0,10	7,86	0,79

MÃO DE OBRA (R\$/m ²)	27,43
MATERIAL (R\$/m ²)	7,90
TOTAL (R\$/m ²)	35,33

03110.8.1 (TCPO) FÔRMA de madeira maciça para pilares, com tábuas e sarrafos, incluindo fabricação, montagem e desmontagem com 5 aproveitamentos - unidade: m²

Classe/tipo	Código SINAPI	Descrição	Unidade	Consumo unitário	Custo Unitário (R\$)	Custo total (R\$)
Composição	88239	Ajudante de carpinteiro com encargos complementares	h	0,312	11,97	3,73
Composição	88262	Carpinteiro com encargos complementares	h	1,25	14,57	18,21
Insumo	00005068	Prego 17 x 21 com cabeça (comprimento: 48,3 mm / diâmetro da cabeça: 3,0 mm)	kg	0,03	8,35	0,25
Insumo	00004492	Pontaletes 3"x3" (altura: 75,00 mm/ largura: 75,00 mm)	m	0,64	7,69	4,92
Insumo	00004517	Sarrafo 1" x 3" (altura: 75 mm / espessura: 25 mm)	m	0,54	1,44	0,78
Insumo	00006188	Tábua 1" x 12" (espessura: 25 mm / largura: 300 mm)	m ²	0,29	16,35	4,74
Insumo	00002692	Desmoldante de fôrmas para concreto	L	0,10	10,25	1,03
Insumo	00005069	Prego 17 x 27 com cabeça dupla (comprimento: 62,1 mm / diâmetro da cabeça: 3,0 mm)	kg	0,20	7,86	1,57
Insumo	00000342	Arame galvanizado (bitola: 12 BWG)	kg	0,18	8,80	1,58

MÃO DE OBRA (R\$/m ²)	21,95
MATERIAL (R\$/m ²)	14,87
TOTAL (R\$/m ²)	36,82

03110.8.1 (TCPO) FÔRMA de madeira maciça para vigas, com tábuas e sarrafos, incluindo fabricação, montagem e desmontagem com 5 aproveitamentos - unidade: m²

Classe/tipo	Código SINAPI	Descrição	Unidade	Consumo unitário	Custo Unitário (R\$)	Custo total (R\$)
Composição	88239	Ajudante de carpinteiro com encargos complementares	h	0,312	11,97	3,73
Composição	88262	Carpinteiro com encargos complementares	h	1,25	14,57	18,21
Insumo	00005068	Prego 17 x 21 com cabeça (comprimento: 48,3 mm / diâmetro da cabeça: 3,0 mm)	kg	0,04	8,35	0,33
Insumo	00004517	Sarrafo 1" x 3" (altura: 75 mm / espessura: 25 mm)	m	0,72	1,44	1,04
Insumo	00006188	Tábua 1" x 12" (espessura: 25 mm / largura: 300 mm)	m ²	0,25	16,35	4,09
Insumo	00002692	Desmoldante de fôrmas para concreto	L	0,10	10,25	1,03
Insumo	00005069	Prego 17 x 27 com cabeça dupla (comprimento: 62,1 mm / diâmetro da cabeça: 3,0 mm)	kg	0,10	7,86	0,79

MÃO DE OBRA (R\$/m ²)	21,95
MATERIAL (R\$/m ²)	7,27
TOTAL (R\$/m ²)	29,22

03110.8.1 (TCPO) FÔRMA de madeira maciça para lajes, com tábuas e sarrafos, incluindo fabricação, montagem e desmontagem com 5 aproveitamentos - unidade: m²

Classe/tipo	Código SINAPI	Descrição	Unidade	Consumo unitário	Custo Unitário (R\$)	Custo total (R\$)
Composição	88239	Ajudante de carpinteiro com encargos complementares	h	0,263	11,97	3,15
Composição	88262	Carpinteiro com encargos complementares	h	1,054	14,57	15,36

Insumo	00004492	Pontalete 3" x 3" (altura: 75,00 mm / largura: 75,00 mm)	m	0,40	7,69	3,08
Insumo	00006188	Tábua 1" x 12" (espessura: 25 mm / largura: 300 mm)	m ²	0,29	16,35	4,74
Insumo	00002692	Desmoldante de fôrmas para concreto	L	0,10	10,25	1,03
Insumo	00005068	Prego 17 x 21 com cabeça (comprimento: 48,3 mm / diâmetro da cabeça: 3,0 mm)	kg	0,10	8,35	0,84

MÃO DE OBRA (R\$/m ²)	18,50
MATERIAL (R\$/m ²)	9,68
TOTAL (R\$/m ²)	28,18

07337 (ORSE) FÔRMA plástica de polipropileno 60x60x15cm (cubetas/cabacinhas) para laje nervurada, utilização por 10 dias, exceto escoramento. Unidade : m²

Classe/tipo	Código SINAPI	Descrição	Unidade	Consumo unitário	Custo Unitário (R\$)	Custo total (R\$)
Composição	88262	Carpinteiro com encargos complementares	h	0,150	14,57	2,19
Composição	88316	Servente com encargos complementares	h	0,820	11,99	9,83
Insumo	00002692	Desmoldante de fôrmas para concreto	L	0,02	10,25	0,15
Insumo	Cotação (Atex)	Cubeta / cabacinha plástica de polipropileno para forma de laje nervurada - 60x60x15cm 10 reutilizações	m ²	0,36	58,00	20,88

MÃO DE OBRA (R\$/m ²)	12,02
MATERIAL (R\$/m ²)	21,03
TOTAL (R\$/m ²)	33,05

2. ESCORAMENTO

03140.8.3.3 (TCPO-ADAPTADO) ESCORAMENTO EM MADEIRA para lajes de edificação, com pontaletes (7,5 cm x 7,5 cm) para pé-direito de 2,70 m a 3,00 , incluindo fabricação, montagem e desmontagem - unidade: m²

Classe/tipo	Código SINAPI	Descrição	Unidade	Consumo unitário	Custo Unitário (R\$)	Custo total (R\$)
Composição	88239	Ajudante de carpinteiro com encargos complementares	h	0,080	11,97	0,96
Composição	88262	Carpinteiro com encargos complementares	h	0,320	14,57	4,66
Insumo	00005069	Prego 17 x 27 com cabeça (comprimento: 62,1 mm / diâmetro da cabeça: 3,0 mm)	kg	0,04	7,86	0,31
Insumo	00004492	Pontalete 3" x 3" (altura: 75,00 mm / largura: 75,00 mm)	m	2,50	7,69	19,23
Insumo	00004517	Sarrafo 1" x 3" (altura: 75 mm / espessura: 25 mm)	m	0,36	1,44	0,52
Insumo	00006193	Tábua 1" x 8" (espessura: 25 mm / largura: 200 mm)	m	1,30	3,44	4,47

MÃO DE OBRA (R\$/m ²)	5,62
MATERIAL (R\$/m ²)	24,53
TOTAL (R\$/m ²)	30,15

03140.8.3.1 (TCPO) ESCORAMENTO EM MADEIRA para vigas de edificação, com pontaletes (7,5 cm x 7,5 cm) para altura entre 2,20 m e 2,60 , incluindo fabricação, montagem e desmontagem - unidade: m²

Classe/tipo	Código SINAPI	Descrição	Unidade	Consumo unitário	Custo Unitário (R\$)	Custo total (R\$)
Composição	88239	Ajudante de carpinteiro com encargos complementares	h	0,239	11,97	2,86
Composição	88262	Carpinteiro com encargos complementares	h	0,251	14,57	3,66

Insumo	00005068	Prego 17 x 21 com cabeça (comprimento: 48,3 mm / diâmetro da cabeça: 3,0 mm)	kg	0,06	8,35	0,50
Insumo	00004492	Pontaletes 3" x 3" (altura: 75,00 mm / largura: 75,00 mm)	m	4,15	7,69	31,91
Insumo	00004517	Sarrafo 1" x 3" (altura: 75 mm / espessura: 25 mm)	m	1,10	1,44	1,58
Insumo	00006204	Tábua 1" x 6" (espessura: 25 mm / largura: 150 mm)	m	2,00	3,84	7,68
Insumo	00005069	Prego 17 x 27 com cabeça (comprimento: 62,1 mm / diâmetro da cabeça: 3,0 mm)	kg	0,06	7,86	0,47

MÃO DE OBRA (R\$/m ²)	6,52
MATERIAL (R\$/m ²)	42,15
TOTAL (R\$/m ²)	48,67

74107/1 (SINAPI) ESCORAMENTO de laje pré-moldada. Unidade: m²

Classe/tipo	Código SINAPI	Descrição	Unidade	Consumo unitário	Preço Unitário (R\$)	Custo total (R\$)
Composição	88239	Ajudante de carpinteiro com encargos complementares	h	0,70	11,97	8,38
Composição	88262	Carpinteiro com encargos complementares	h	0,50	14,57	7,29
Insumo	00004433	Peça de madeira de lei 7,5 x 7,5 cm, não aparelhada, (p/ telhado, estruturas permanentes)	m	0,35	16,67	5,83
Insumo	00005061	Prego polido com cabeça 18 x 27	kg	0,05	8,50	0,43
Insumo	00006189	Tábua madeira 2A qualidade 2,5 x 3,0 cm (1 x 12") não aparelhada	m	0,23	5,17	1,19

MÃO DE OBRA (R\$/m ²)	15,66
MATERIAL (R\$/m ²)	7,45
TOTAL (R\$/m ²)	23,11

3. ARMAÇÃO

73942/1 (SINAPI) ARMAÇÃO de aço CA-60 diametro 7,0 a 8,0 mm - fornecimento / corte / dobra e colocação. Unidade: kg

Classe/tipo	Código SINAPI	Descrição	Unidade	Consumo unitário	Preço Unitário (R\$)	Custo total (R\$)
Composição	88245	Armador com encargos complementares	h	0,07	14,57	1,02
Composição	88316	Servente com encargos complementares	h	0,07	11,99	0,84
Insumo	00000042	Barra de aço CA-60 (bitola: 7,00 mm / massa linear: 0,302 kg/m)	kg	1,00	4,29	4,29
Insumo	00000337	Arame recozido 18 BWG, 1,25 mm (0,01 kg/m)	h	0,02	9,95	0,20

MÃO DE OBRA (R\$/kg)	1,86
MATERIAL (R\$/kg)	4,49
TOTAL (R\$/kg)	6,35

73942/2 (SINAPI) ARMAÇÃO de aço CA-60 diametro 3,4 a 6,0 mm - fornecimento / corte / dobra e colocação. Unidade: kg

Classe/tipo	CÓDIGO	DESCRIÇÃO	Unidade	Consumo unitário	Preço Unitário (R\$)	Custo total (R\$)
Composição	88245	Armador com encargos complementares	h	0,10	14,57	1,46
Composição	88316	Servente com encargos complementares	h	0,10	11,99	1,20
Insumo	00000039	Barra de aço CA-60 (bitola: 5,00 mm / massa linear: 0,154 kg/m)	kg	1,00	4,13	4,13
Insumo	00000337	Arame recozido 18 BWG, 1,25 mm (0,01 kg/m)	h	0,02	9,95	0,20

MÃO DE OBRA (R\$/kg)	2,66
MATERIAL (R\$/kg)	4,33
TOTAL (R\$/kg)	6,99

74254/1 (SINAPI) ARMAÇÃO de aço CA-50 diametro 16,0 (5/8) à 25,0 mm (1) - fornecimento / corte / dobra e colocação. Unidade: kg

Classe/tipo	CÓDIGO	DESCRIÇÃO	Unidade	Consumo unitário	Preço Unitário (R\$)	Custo total (R\$)
Composição	88238	Ajudante de armador com encargos complementares	h	0,07	11,97	0,84
Composição	88245	Armador com encargos complementares	h	0,07	14,57	1,02
Insumo	00000029	Barra de aço CA-50 (bitola: 20,00 mm / massa linear: 2,466 kg/m)	kg	1,00	3,7	3,70
Insumo	00000337	Arame recozido 18 BWG, 1,25 mm (0,01 kg/m)	h	0,03	9,95	0,30

MÃO DE OBRA (R\$/kg)	1,86
MATERIAL (R\$/kg)	4,00
TOTAL (R\$/kg)	5,86

74254/2 (SINAPI) ARMAÇÃO de aço CA-50 diametro 6,3 (1/4) à 12,5 mm (1/2) - fornecimento / corte / dobra e colocação. Unidade: kg

Classe/tipo	CÓDIGO	DESCRIÇÃO	Unidade	Consumo unitário	Preço Unitário (R\$)	Custo total (R\$)
Composição	88238	Ajudante de armador com encargos complementares	h	0,10	11,97	1,20
Composição	88245	Armador com encargos complementares	h	0,10	14,57	1,46
Insumo	00000029	Barra de aço CA-50 (bitola: 10,00 mm / massa linear: 0,617 kg/m)	kg	1,00	3,7	3,70
Insumo	00000337	Arame recozido 18 BWG, 1,25 mm (0,01 kg/m)	h	0,03	9,95	0,30

MÃO DE OBRA (R\$/kg)	2,65
MATERIAL (R\$/kg)	4,00
TOTAL (R\$/kg)	6,65

73994/1 (SINAPI - ADAPTADO) ARMAÇAO EM TELA DE AÇO SOLDADA

nervurada Q-92, aço CA-60, 4,2 mm, malha 15X15 cm. Unidade: kg

Classe/tipo	CÓDIGO	DESCRIÇÃO	Unidade	Consumo unitário	Preço Unitário (R\$)	Custo total (R\$)
Composição	88245	Armador com encargos complementares	h	0,02	14,57	0,29
Composição	88316	Servente com encargos complementares	h	0,04	11,99	0,48
Insumo	00000337	Arame recozido 18 BWG, 1,25 mm (0,01 kg/m)	kg	0,0103	9,95	0,10
Insumo	00010916	Tela aço soldada nervurada CA - 60, Q-92 (1,48 kg/m ²), diâmetro do fio = 4,2 mm, largura = 2,45 X 60 metros de comprimento, espaçamento da malha = 15X15 cm	kg	1,03	6,83	7,03

MÃO DE OBRA (R\$/kg)	0,77
MATERIAL (R\$/kg)	7,14
TOTAL (R\$/kg)	7,91

74141/2 (SINAPI-ADAPTADO) ARMAÇÃO e posicionamento laje treliçada beta 12.Unidade: m²

Classe/tipo	CÓDIGO	DESCRIÇÃO	Unidade	Consumo unitário	Preço Unitário (R\$)	Custo total (R\$)
Composição	88309	Pedreiro com encargos complementares	h	0,25	14,57	3,64
Composição	88316	Servente com encargos complementares	h	0,75	11,99	8,99
Insumo	00013652	Laje Pre moldada treliçada p/ piso, H =12 cm, p/ apoio simples, sobrecarga de 200 kg/m ² , vão livre máximo de 5,70 m	m ²	1,00	48	48,00

MÃO DE OBRA (R\$/m ²)	12,64
MATERIAL (R\$/m ²)	48,00
TOTAL (R\$/m ²)	60,64

74141/3 (SINAPI-ADAPTADO) ARMAÇÃO e posicionamento laje treliçada beta 16.
Unidade: m²

Classe/tipo	CÓDIGO	DESCRIÇÃO	Unidade	Consumo unitário	Preço Unitário (R\$)	Custo total (R\$)
Composição	88309	Pedreiro com encargos complementares	h	0,20	14,57	2,91
Composição	88316	Servente com encargos complementares	h	0,70	11,99	8,39
Insumo	00003746	Laje Pre moldada treliçada p/ piso, H =16 cm, p/ apoio simples, sobrecarga de 200 kg/m ² , vão livre máximo de 6,00 m	m ²	1,00	60,72	60,72

MÃO DE OBRA (R\$/m ²)	11,31
MATERIAL (R\$/m ²)	60,72
TOTAL (R\$/m ²)	72,03

74141/4 (SINAPI-ADAPTADO) ARMAÇÃO e posicionamento laje treliçada beta 20.
Unidade: m²

Classe/tipo	CÓDIGO	DESCRIÇÃO	Unidade	Consumo unitário	Preço Unitário (R\$)	Custo total (R\$)
Composição	88309	Pedreiro com encargos complementares	h	0,15	14,57	2,19
Composição	88316	Servente com encargos complementares	h	0,70	11,99	8,39
Insumo	00013424	Laje Pre moldada treliçada p/ piso, H =20 cm, p/ apoio simples, sobrecarga de 200 kg/m ² , vão livre máximo de 9,50 m	m ²	1,00	72,2	72,20

MÃO DE OBRA (R\$/m ²)	10,58
MATERIAL (R\$/m ²)	72,20
TOTAL (R\$/m ²)	82,78

74141/4 (SINAPI-ADAPTADO) ARMAÇÃO e posicionamento laje treliçada beta 25.
Unidade: m²

Classe/tipo	CÓDIGO	DESCRIÇÃO	Unidade	Consumo unitário	Preço Unitário (R\$)	Custo total (R\$)
Composição	88309	Pedreiro com encargos complementares	h	0,15	14,57	2,19

Composição	88316	Servente com encargos complementares	h	0,70	11,99	8,39
Insumo	00013425	Laje Pre moldada treliçada p/ piso, H =25 cm, p/ apoio simples, sobrecarga de 200 kg/m ² , vão livre máximo de 8,30 m	m ²	1,00	78,4	78,40

MÃO DE OBRA (R\$/m ²)	10,58
MATERIAL (R\$/m ²)	78,40
TOTAL (R\$/m ²)	88,98

74141/4 (SINAPI-ADAPTADO) ARMAÇÃO e posicionamento laje treliçada beta 30.
Unidade: m²

Classe/tipo	CÓDIGO	DESCRIÇÃO	Unidade	Consumo unitário	Preço Unitário (R\$)	Custo total (R\$)
Composição	88309	Pedreiro com encargos complementares	h	0,15	14,57	2,19
Composição	88316	Servente com encargos complementares	h	0,70	11,99	8,39
Insumo	00013426	Laje Pre moldada treliçada p/ piso, H =30 cm, p/ apoio simples, sobrecarga de 200 kg/m ² , vão livre máximo de 12,65 m	m ²	1,00	89,6	89,60

MÃO DE OBRA (R\$/m ²)	10,58
MATERIAL (R\$/m ²)	89,60
TOTAL (R\$/m ²)	100,18

74141/4 (SINAPI-EXTRAPOLAÇÃO) ARMAÇÃO e posicionamento laje treliçada beta 35. Unidade: m²

Classe/tipo	CÓDIGO	DESCRIÇÃO	Unidade	Consumo unitário	Preço Unitário (R\$)	Custo total (R\$)
Composição	88309	Pedreiro com encargos complementares	h	0,15	14,57	2,19
Composição	88316	Servente com encargos complementares	h	0,70	11,99	8,39

Insumo	Extrapolação	Laje Pre moldada treliçada p/ piso, H =35 cm, p/ apoio simples, sobrecarga de 200 kg/m ² , vão livre máximo de 12,65 m	m ²	1,00	89,6	101,80
--------	--------------	---	----------------	------	------	--------

MÃO DE OBRA (R\$/m ²)	10,58
MATERIAL (R\$/m ²)	101,80
TOTAL (R\$/m ²)	112,38

4. CONCRETO

74138/4 (SINAPI) CONCRETO usinado bombeado fck = 30 MPa, inclusive lançamento e adensamento. Unidade: m³

Classe/tipo	CÓDIGO	DESCRIÇÃO	Unidade	Consumo unitário	Preço Unitário (R\$)	Custo total (R\$)
Composição	88245	Armador com encargos complementares	h	0,60	14,57	8,74
Composição	88262	Carpinteiro de fôrmas com encargos complementares	h	0,60	14,57	8,74
Composição	88309	Pedreiro com encargos complementares	h	0,60	14,57	8,74
Composição	88316	Servente com encargos complementares	h	1,60	11,99	19,18
Insumo	00001525	Concreto Usinado bombeável com brita 0 e 1, Slump = 100 mm +/- 20 mm, fck = 30 MPa (inclui serviço de bombeamento)	m ³	1,05	317,77	333,66
Insumo	00010485	Vibrador de imersão c/ motor elétrico 2 HP monofásico qualquer diam c/ mangote	h	0,30	0,84	0,25

MÃO DE OBRA (R\$/m ³)	45,41
MATERIAL (R\$/m ³)	333,91
TOTAL (R\$/m ³)	379,32

APÊNDICE B – Quantitativo de materiais do lançamento 2 do Estudo de Caso

B.1 – Sistema estrutural de lajes nervuradas bidirecionais moldadas no local com fôrmas de polipropileno

1. FUNDAÇÃO

CA-50-A (kg)							CA-60-B (kg)	Concreto (m ³)		Fôrmas (m ²)
Ø6,3	Ø10	Ø12,5	Ø16	Ø20	Ø25	Total	Ø5,0	Magro	C30	
5,87	42,23	371,1	321,09	731,78	577	2048,67	18,3	7,58	32,42	78,51

2. TÉRREO

TÉRREO - Superfície total: 417,93 m ²			
Elemento	Fôrmas (m ²)	Volume (m ³)	Barras (kg)
Lajes	374,82	32,61	3998
Vigas	239,96	27,42	2459
Pilares	106,70	8,32	2456
Total	721,48	68,35	8913
Índices (por m ²)	1,726	0,164	21,33

Material de enchimento	Unidades		Volume (m ³)
	Completo	Meio molde	
Polipropileno	825	233	38,60
Índices (por m ²)	1,974	0,558	0,092

3. PAVIMENTO TIPO (1º AO 5º PAVIMENTO)

Superfície total: 1374,4 m ²			
Elemento	Fôrmas (m ²)	Volume (m ³)	Barras (kg)
Lajes	1.217,00	105,90	14.840,00
Vigas	925,60	103,65	10.940,00
Pilares	330,00	28,60	3.114,00
Total	2.472,60	238,15	28.894,00
Índices (por m ²)	1,799	0,173	21,02

Material de enchimento	Unidades		Volume (m ³)
	Completo	Meio molde	
Polipropileno	2.645	795	124,74
Índices (por m ²)	1,924	0,578	0,091

4. COBERTURA

Superfície total: 275,04 m ²			
Elemento	Fôrmas (m ²)	Volume (m ³)	Barras (kg)
Lajes	243,46	21,18	2.207,00
Vigas	174,37	19,65	1.483,00
Pilares	66,90	5,81	429,00
Total	484,73	46,64	4.119,00
Índices (por m ²)	1,762	0,170	14,98

Material de enchimento	Unidades		Volume (m ³)
	Completo	Meio molde	
Polipropileno	525	152	24,64
Índices (por m ²)	1,909	0,553	0,090

5. TOTAL DA SUPERESTRUTURA

Superfície total: 2067,37 m ²			
Elemento	Fôrmas (m ²)	Volume (m ³)	Barras (kg)
Lajes	1.835,28	159,69	21.045,00
Vigas	1.339,93	150,72	14.882,00
Pilares	503,60	42,73	5.999,00
Total	3.678,81	353,14	41.926,00
Índices (por m ²)	1,78	0,17	20,28

Material de	Unidades	Volume
-------------	----------	--------

enchimento	Completo	Meio molde	(m ³)
Polipropileno	3.995	1180	187,99
Índices (por m ²)	1,932	0,571	0,091

NOTA: Considera-se o reaproveitamento das cubetas de polipropileno para todos os pavimentos da obra

B.2 – Sistema estrutural de lajes nervuradas unidirecionais pré-fabricadas treliçadas

1. FUNDAÇÃO

CA-50-A (kg)							CA-60-B (kg)	Concreto (m ³)		Fôrmas (m ²)
Ø6,3	Ø10	Ø12,5	Ø16	Ø20	Ø25	Total	Ø5,0	magro	C30	
5,88	35,22	299,90	460,23	688,38	681,22	2170,83	18,82	7,68	33,73	80,60

2. TÉRREO

Superfície total: 417,93 m ²			
Elemento	Fôrmas (m ²)	Volume (m ³)	Barras (kg)
Lajes		38,41	3134
Vigas	235,64	27,42	2773
Pilares	106,70	8,32	2645
Total	342,34	74,15	8551,761
Índices (por m ²)	0,819	0,177	20,46

Material de enchimento	Espessura (cm)	Unidades	Volume (m ³)
EPS	8,00	77	2,46
	12,00	100	4,80
	16,00	187	11,97
	20,00	448	35,84
Total		812	55,07

Índices (por m ²)	1,943	0,132
-------------------------------	-------	-------

3. PAVIMENTO TIPO (1º AO 5º PAVIMENTO)

Superfície total: 1374,4 m ²			
Elemento	Fôrmas (m ²)	Volume (m ³)	Barras (kg)
Lajes		129,05	9.811,68
Vigas	915,30	103,65	11.685,00
Pilares	330,00	28,60	3.200,00
Total	1.245,30	261,30	24.696,68
Índices (por m ²)	0,906	0,190	17,97

Material de enchimento	Espessura (cm)	Unidades	Volume (m ³)
EPS	8,00	810	25,92
	12,00	440	21,12
	25,00	2225	222,50
Total		3475	269,54
Índices (por m ²)		2,528	0,196

4. COBERTURA

Cobertura - Superfície total: 275,04 m ²			
Elemento	Fôrmas (m ²)	Volume (m ³)	Barras (kg)
Lajes		23,69	2.147,32
Vigas	178,05	19,65	1.639,00
Pilares	66,90	5,81	726,00
Total	244,95	49,15	4.512,32
Índices (por m ²)	0,891	0,179	16,41

Material de enchimento	Espessura (cm)	Unidades	Volume (m ³)
EPS	8,00	250	8,00
	20,00	445	35,60

Total	695	43,60
Índices (por m ²)	2,527	0,159

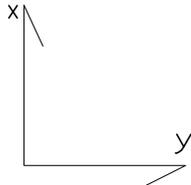
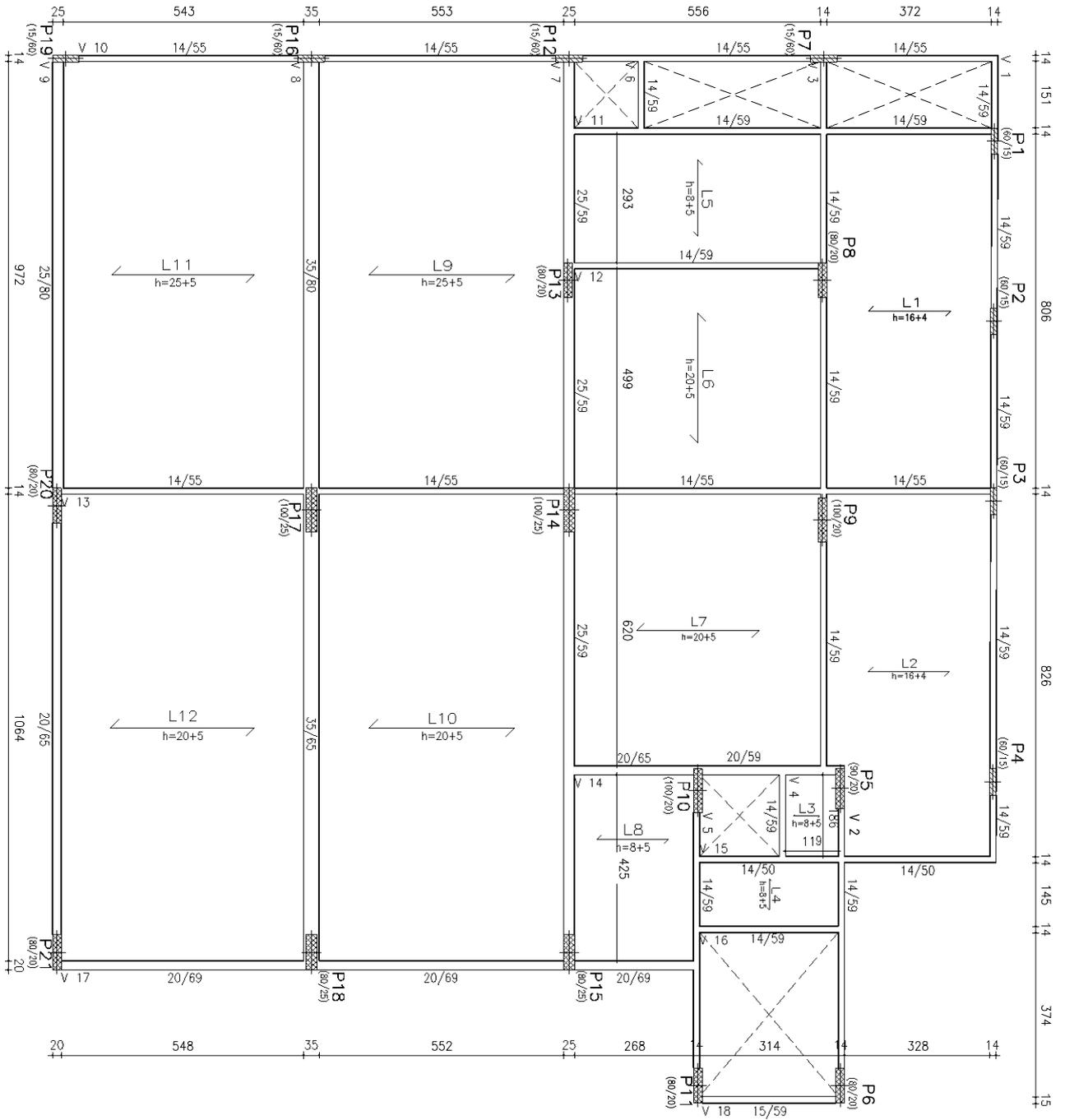
5. TOTAL DA SUPERESTRURA

Superfície total: 2067,37 m ²			
Elemento	Fôrmas (m ²)	Volume (m ³)	Barras (kg)
Lajes		191,15	15.092,76
Vigas	1.328,99	150,72	16.097,00
Pilares	503,60	42,73	6.571,00
Total	1.832,59	384,60	37.760,76
Índices (por m ²)	0,886	0,186	18,27

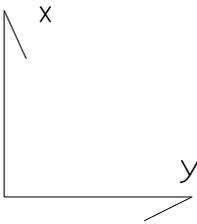
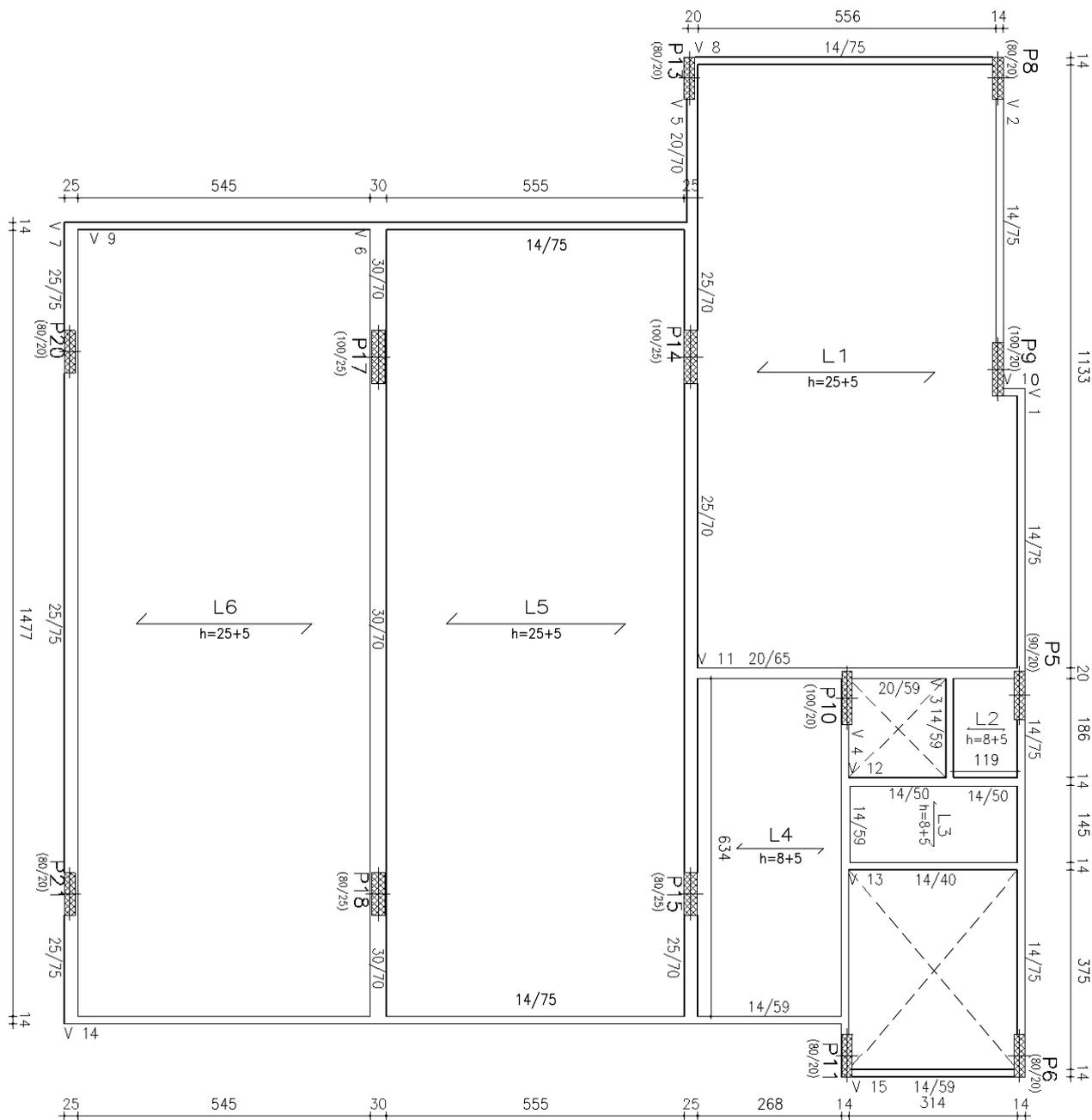
Material de enchimento	Espessura (cm)	Unidades	Volume (m ³)
EPS	8,00	1.137	36,38
	12,00	540	25,92
	16,00	187	11,97
	20,00	893	71,44
	25,00	2.225	222,50
Total		4.982	368,21
Índices (por m ²)		2,410	0,178

ANEXO

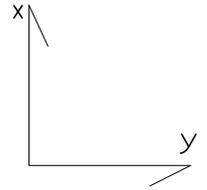
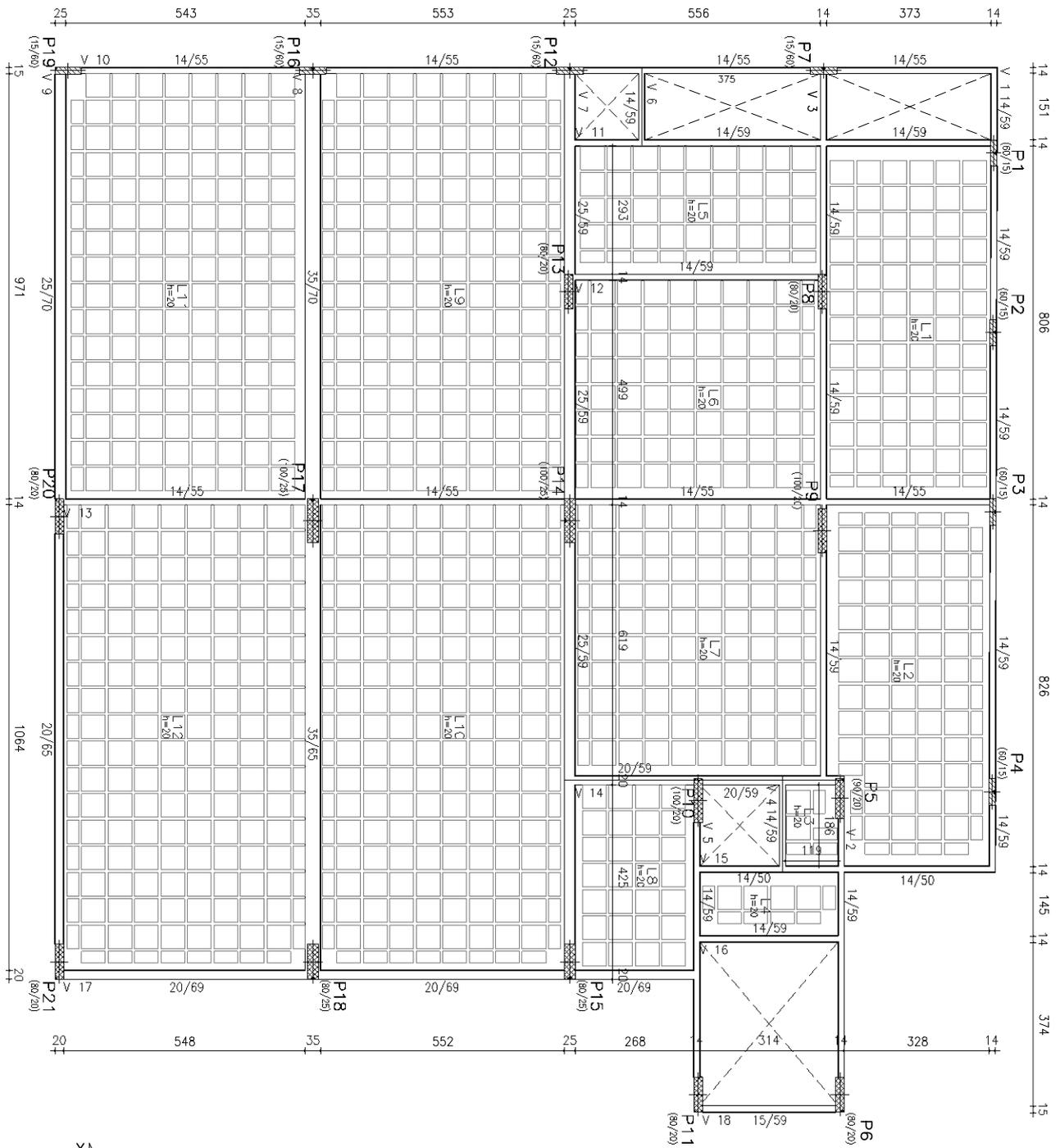
ANEXO A – Planta de fôrma do lançamento 1 do Estudo de Caso



UFPE - UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO CAA - CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE	
ALUNO: ANDRÉ FELIPE DE OLIVEIRA LOPES PPGECAM - PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL.	
PLANTA DE FÔRMA DO PAVIMENTO TÉRREO - SISTEMA LNT ESCALA: S/ ESCALA MEDIDAS EM CENTÍMETROS	



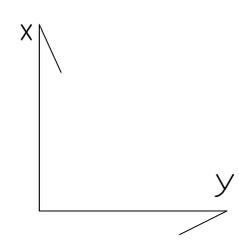
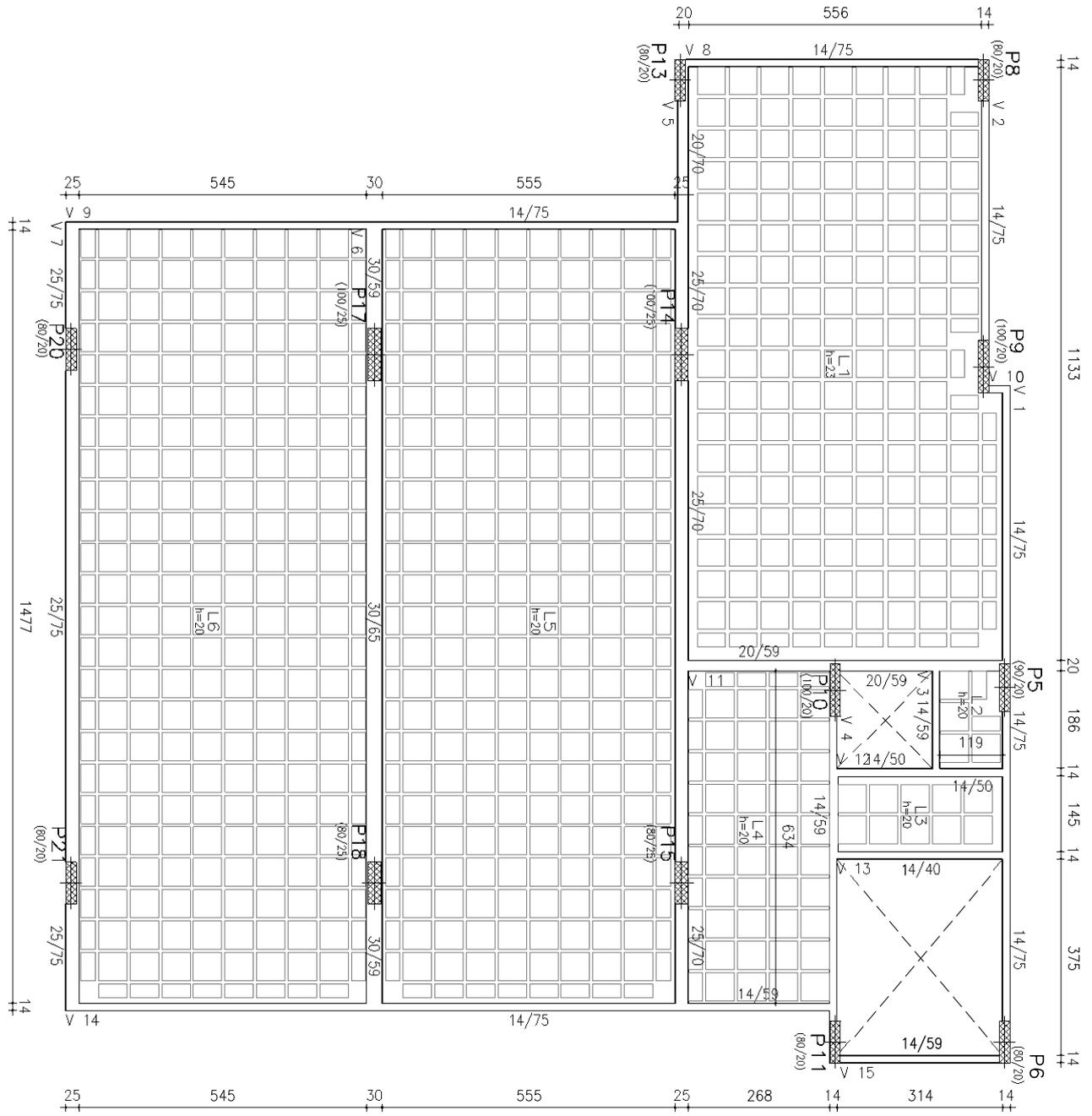
UFPE - UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO CAA - CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE	
ALUNO: ANDRÉ FELIPE DE OLIVEIRA LOPES PPGECAM - PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL	
PLANTA DE FÔRMA DO PAVIMENTO TIPO - SISTEMA LNT ESCALA: S/ ESCALA MEDIDAS EM CENTÍMETROS	



UFPE - UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
 CAA - CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE

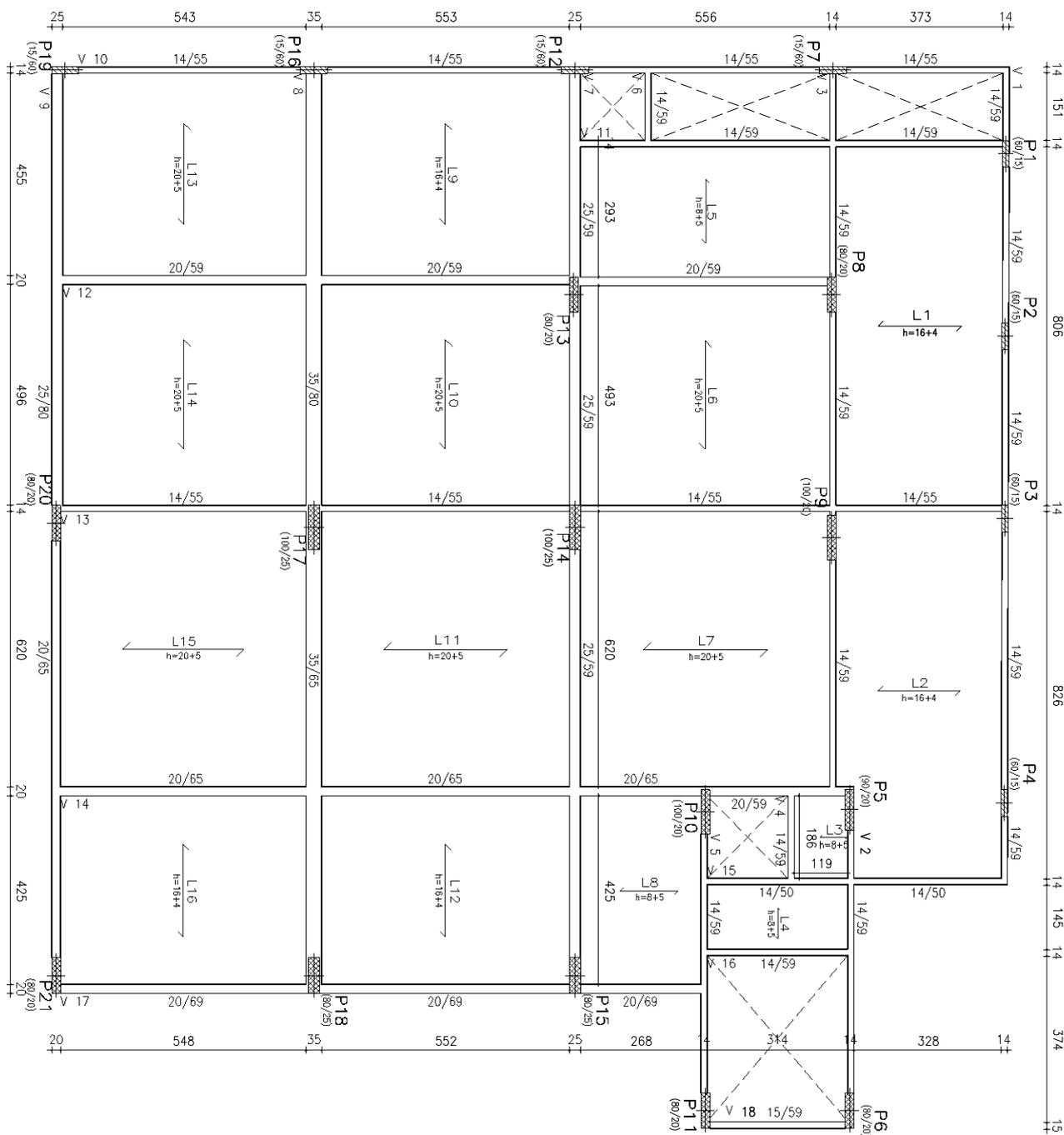
ALUNO: ANDRÉ FELIPE DE OLIVEIRA LOPES
 PPGECAM - PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL.

PLANTA DE FÔRMA DO PAVIMENTO TÊRREO - SISTEMA LNP
 ESCALA: S/ ESCALA MEDIDAS EM CENTÍMETROS

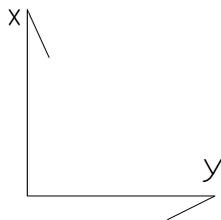
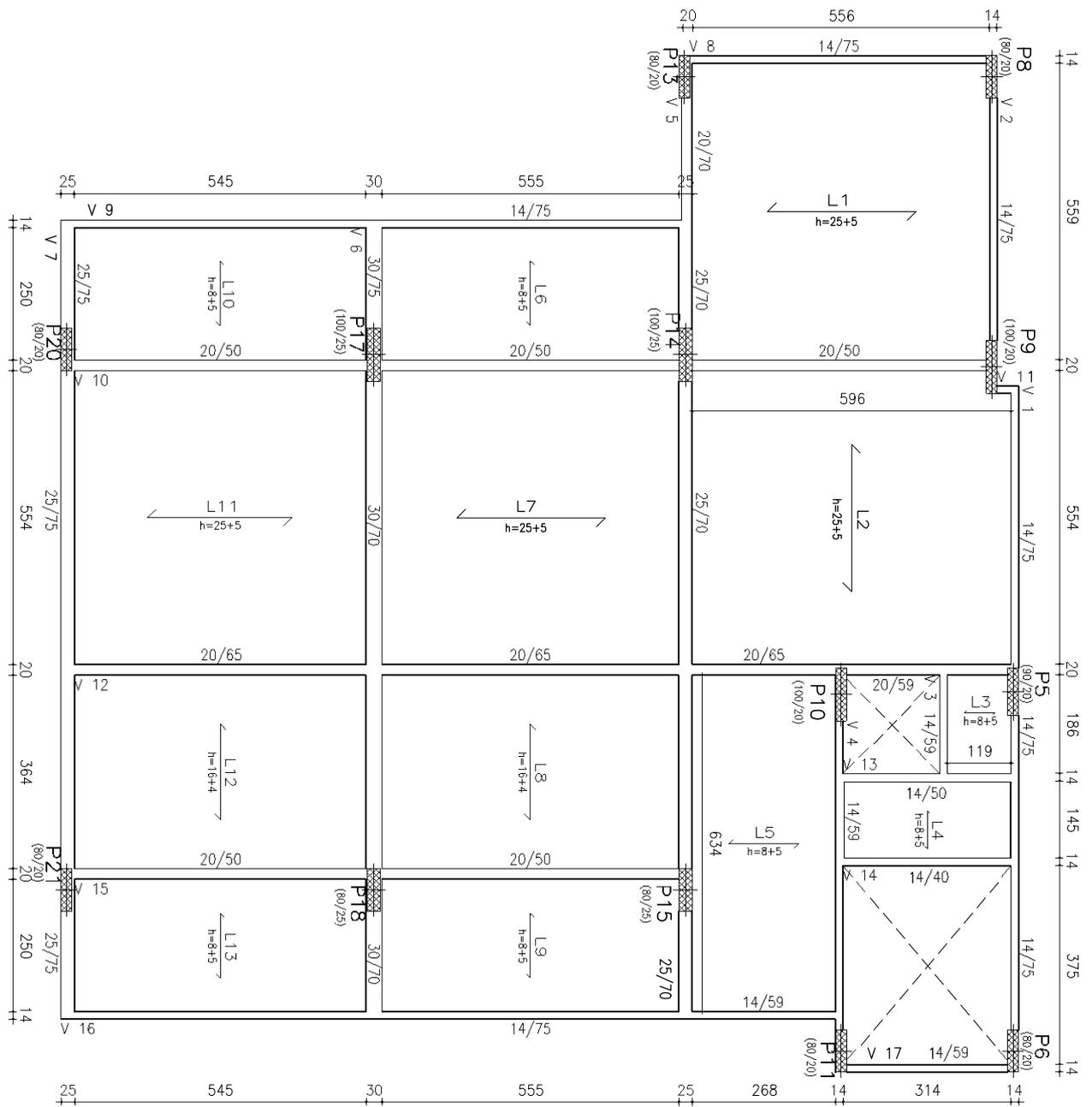


UFPE - UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO	
CAA - CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE	
ALUNO: ANDRÉ FELIPE DE OLIVEIRA LOPES	
PPGECAM - PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL	
PLANTA DE FÔRMA DO PAVIMENTO TIPO - SISTEMA LNP	
ESCALA: S/ ESCALA	MEDIDAS EM CENTÍMETROS

ANEXO B – Planta de fôrma do lançamento 2 do Estudo de Caso



UFPE - UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO CAA - CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE	
ALUNO: ANDRÉ FELIPE DE OLIVEIRA LOPES	
PPGECAM - PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL.	
PLANTA DE FÔRMA DO PAVIMENTO TÊRREO - SISTEMA LNT	
ESCALA: S/ ESCALA	MEDIDAS EM CENTÍMETROS



UFPE - UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO

CAA - CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE

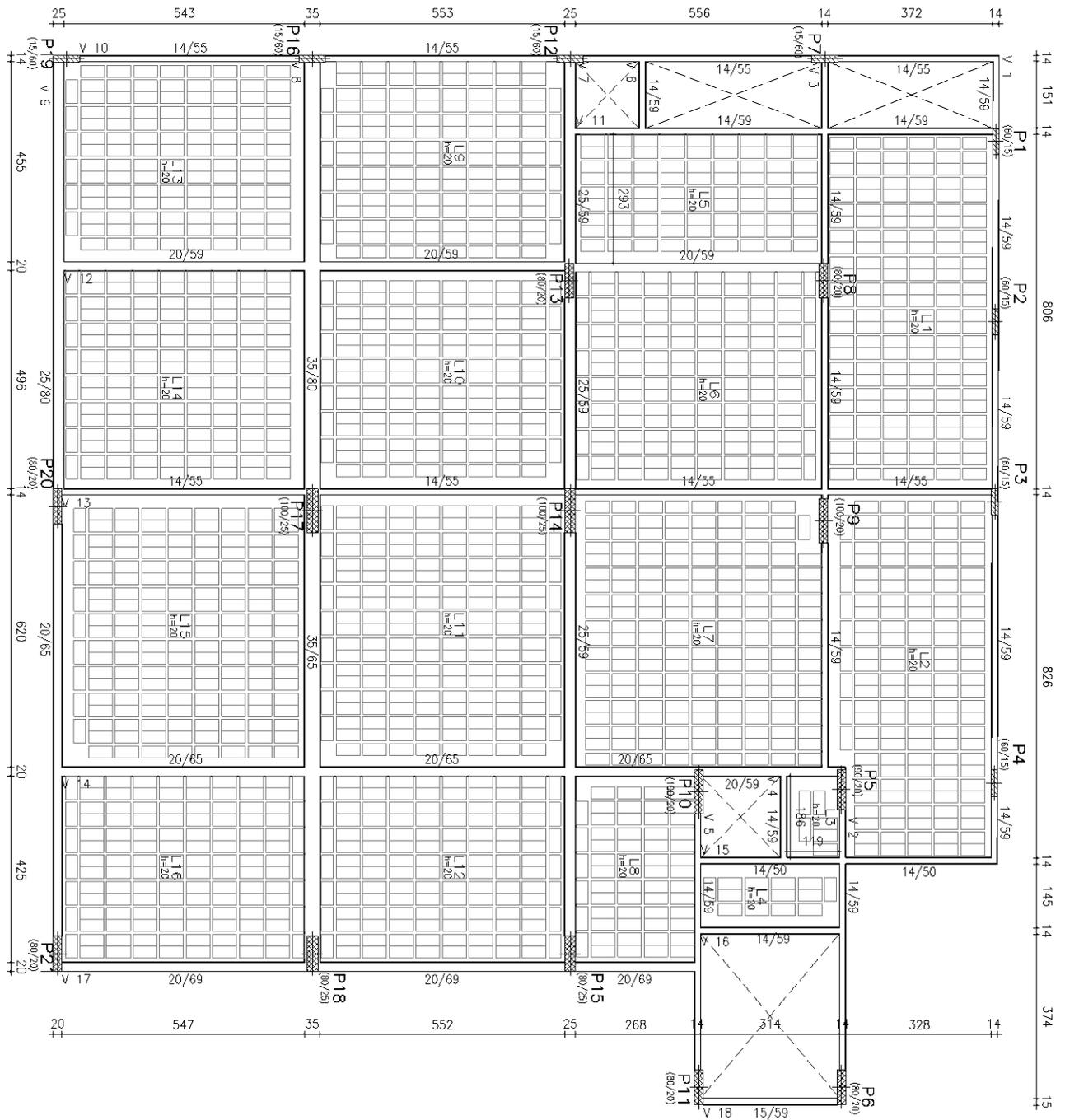
ALUNO: ANDRÉ FELIPE DE OLIVEIRA LOPES

PPGECAM - PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL
E AMBIENTAL

PLANTA DE FÔRMA DO PAVIMENTO TIPO - SISTEMA LNT

ESCALA: S/ ESCALA

MEDIDAS EM CENTÍMETROS



UFPE - UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO

CAA - CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE

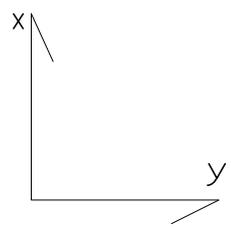
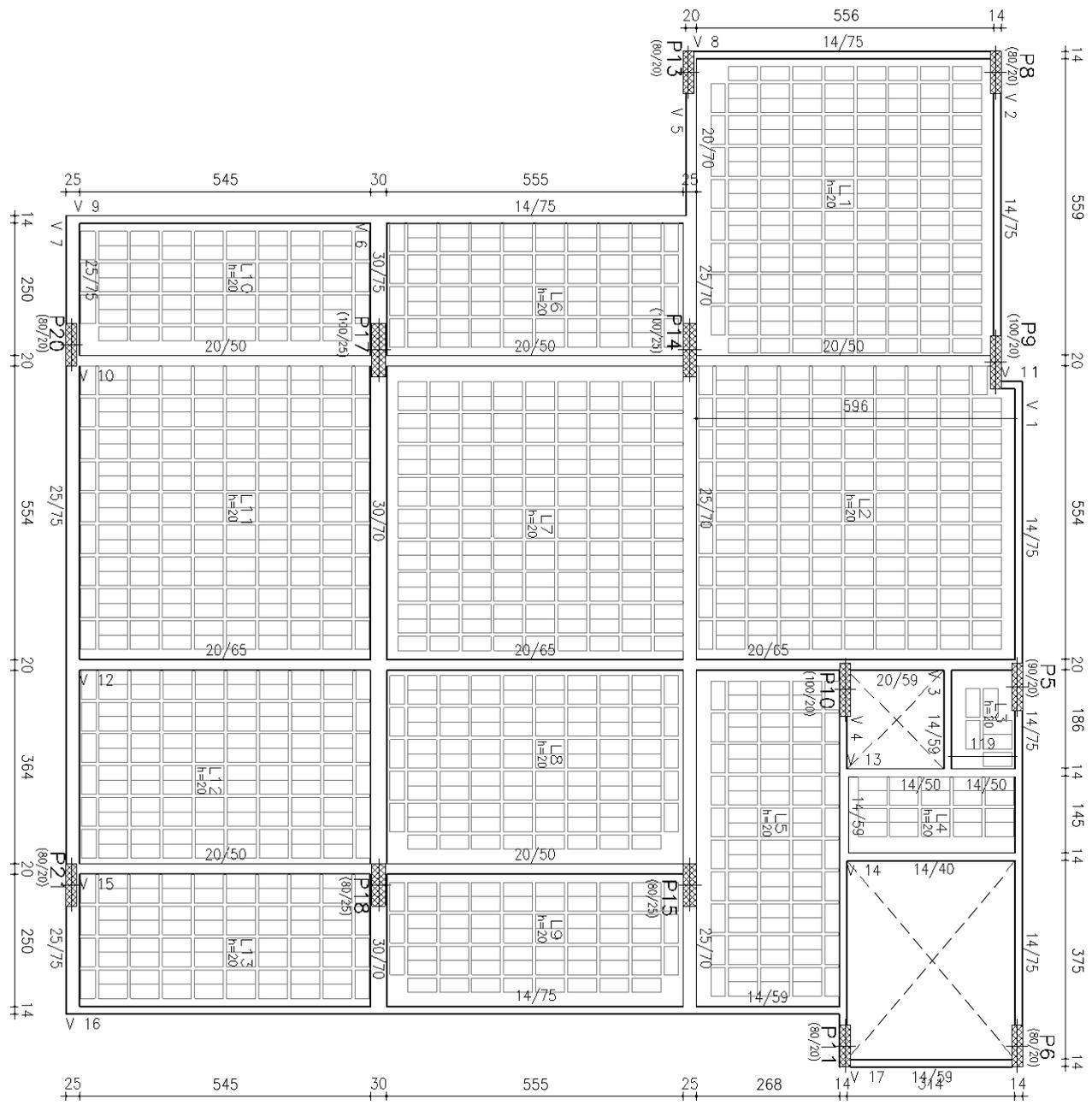
ALUNO: ANDRÉ FELIPE DE OLIVEIRA LOPES

PPGECAM - PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL
E AMBIENTAL

PLANTA DE FÔRMA DO PAVIMENTO TÉRREO - SISTEMA LNP

ESCALA: S/ ESCALA

MEDIDAS EM CENTÍMETROS



UFPE - UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO	
CAA - CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE	
ALUNO: ANDRÉ FELIPE DE OLIVEIRA LOPES	
PPGECAM - PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL	
PLANTA DE FÔRMA DO PAVIMENTO TIPO - SISTEMA LNP	
ESCALA: S/ ESCALA	MEDIDAS EM CENTÍMETROS