



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
NÚCLEO DE TECNOLOGIA
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

Camila de Melo Tavares

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO
ESTUDO TÉCNICO COMPARATIVO: LAJES
NERVURADAS LISAS E LAJES NERVURADAS NO
SISTEMA CONVENCIONAL

CARUARU, Fevereiro / 2015

Camila de Melo Tavares

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO
ESTUDO TÉCNICO COMPARATIVO: LAJES
NERVURADAS LISAS E LAJES NERVURADAS NO
SISTEMA CONVENCIONAL

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Engenharia
Civil do Centro Acadêmico do Agreste
- CAA, da Universidade Federal de
Pernambuco - UFPE, como requisito
para a obtenção do título de Bacharel
em Engenharia Civil.

Área de concentração: Estruturas
Orientador(a): Prof(a) Dr(a) Giuliana
F.F.Bono

CARUARU, Fevereiro / 2015

Catálogo na fonte:
Bibliotecária - Simone Xavier CRB/4-1242

T231e Tavares, Camila de Melo.
 Estudo técnico comparativo: lajes nervuradas, lisas e lajes nervuradas no sistema convencional. / Camila de Melo Tavares. - Caruaru: O Autor, 2015.
 110f.; il. ; 30 cm.

 Orientadora: Giuliana Furtado Franca Bono
 Monografia (Trabalho de Conclusão de curso) – Universidade Federal de Pernambuco, CAA, Engenharia Civil, 2015.
 Inclui referências bibliográficas

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

620 CDD (23. ed.)
UFPE (CAA 2015-011)

Camila de Melo Tavares

**ESTUDO TÉCNICO COMPARATIVO: LAJES
NERVURADAS LISAS E LAJES NERVURADAS NO
SISTEMA CONVENCIONAL**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Engenharia Civil
do Centro Acadêmico do Agreste - CAA,
da Universidade Federal de Pernambuco -
UFPE, como requisito para a obtenção do
título de Bacharel em Engenharia Civil.

Área de concentração: Estruturas

A banca examinadora composta pelos professores abaixo, considera a candidata
CAMILA DE MELO TAVARES APROVADA COM NOTA _____.

Caruaru, 11 de Fevereiro de 2015.

Prof.(a) Dra. Giuliana F. F. Bono _____
Universidade Federal de Pernambuco – UFPE (orientadora)

Prof.(a) Humberto Correia Lima Júnior _____
Universidade Federal de Pernambuco – UFPE (Avaliador)

Prof.(a) Juliana Von Schmalz Torres _____
Universidade Federal de Pernambuco – UFPE (Avaliador)

Prof.(a) Dra. Sylvana Melo dos Santos _____
Universidade Federal de Pernambuco – UFPE (Coordenadora da disciplina)

*Dedico este trabalho à minha família em
especial aos meus pais, Manoel Jorge e
Maria José, pelo incentivo e
apoio incondicional.*

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, pela confiança, paciência, disponibilidade de tempo e orientação deste trabalho, mas também 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, Ana Cecília, Anderson Paiva, Humberto Lima e Juliana Torres, pela amizade, conselhos e conhecimentos transmitidos nas disciplinas.

À meu namorado André Felipe, por toda paciência compreensão, carinho e amor, e por me ajudar muitas vezes a achar soluções quando elas pareciam não aparecer. Você foi a pessoa que compartilhou comigo os momentos de tristezas e alegrias. Além deste trabalho, dedico todo meu amor a você.

Ao engenheiro civil e também meu pai Manoel Jorge, pela amizade, pelos conselhos e pelos valiosos e inestimáveis ensinamentos da prática de engenharia durante toda graduação.

À minha avó Giza, por todas as orações em meu favor e que sempre me deu forças e carinho para continuar essa jornada da minha vida.

Aos meus irmãos Rafaela e Tiago.

A todos os meus amigos, em especial, Carine Aragão, Gabriela Nóbrega, Katianny, Márcia, pelo convívio, pela amizade e cumplicidade nas dificuldades e alegrias dessa jornada.

À Construtora Parnaíba Ltda por ter me concedido a oportunidade de estagiar na obra do edifício Geraldo Maranhão na cidade de Vitória de Santo Antão-PE.

À Universidade Federal de Pernambuco, em especial ao Centro Acadêmico do Agreste, por ter me concedido a oportunidade de cursar e concluir a graduação de bacharelado em engenharia civil.

Que os vossos esforços desafiem as impossibilidades, lembrai-vos de que as grandes coisas do homem foram conquistadas do que parecia impossível

Charles Chaplin

RESUMO

ESTUDO TÉCNICO COMPARATIVO: LAJES NERVURADAS LISAS E LAJES NERVURADAS NO SISTEMA CONVENCIONAL

Esta pesquisa tem como objetivo apresentar um estudo técnico comparativo entre o sistema convencional de lajes nervuradas e o sistema estrutural de lajes nervuradas lisas. Parte do pressuposto que devido ao grande número de sistemas estruturais encontrados no mercado da construção civil, os profissionais precisam optar por um determinado tipo de laje. Entretanto muitas vezes a escolha adotada não é a mais adequada ao empreendimento, porque cada obra tem características arquitetônicas particulares, dificultando a utilização de um modelo padrão. No trabalho, será realizado dois estudos de casos analisando a implantação de lajes nervuradas lisas e lajes nervuradas no sistema convencional, apresentando uma análise da estrutura para os sistemas estruturais estudados e obtendo os quantitativos de materiais. Foram comparados os custos totais da obra obtidos por meio de composições de custos, chegando-se a um valor global para cada tipologia adotada em ambos os estudos de casos.

Palavras-chave: Concreto Armado, Lajes Nervuradas, Lajes nervuradas Lisas.

ABSTRACT

TECHNICAL STUDY COMPARATIVE: FLAT RIBBED SLABS AND RIBBED SLABS IN THE CONVENTIONAL SYSTEM

The objective of this research is to present a comparative technical study between the conventional system of ribbed slabs and the structural system of flat ribbed slabs. Assuming that due to the large number of structural systems found in the building industry professionals need to opt for a particular type of slabs. However, the choice often adopted is not the most appropriate to the enterprise. This occurs because each work has particular architectural features, making it difficult to use a standard model. At work, there will be two case studies analyzing the implementation of flat ribbed slabs and ribbed slabs in the conventional system, showing the structural analysis for the structural systems studied, establishing the quantitative of the materials. The total cost of the work obtained through cost compositions were compared coming to an overall value for each typology adopted in both case studies.

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

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Funções estruturais das lajes. (a) Laje funcionando como placa e (b) Laje funcionando como chapa	21
Figura 2.2 – Vãos da laje retangular armada em uma direção.	23
Figura 2.3 – Vãos da laje retangular armada em duas direções.	24
Figura 2.4 – Peso próprio calculado para laje nervurada. (a) seção transversal e (b) em planta.	26
Figura 2.5 – caminhamento das cargas de lajes apoiadas diretamente sobre pilares	29
Figura 2.6 – Laje nervurada com as células aparentes.	33
Figura 2.7 – Laje nervurada, normal, com as células não aparentes.	33
Figura 2.8 – Montagem dos blocos para as lajes nervuradas moldadas “in loco”	34
Figura 2.9 – Lançamento e adensamento do concreto em lajes nervuradas moldadas no local	35
Figura 2.10 – Retirada dos caixotes.	38
Figura 2.11 – Escoramento dos caixotes sem assoalho	38
Figura 2.12 – Detalhe de moldes de fôrmas de polipropileno (www.atex.com.br).	39
Figura 2.13 – Laje nervurada construída com caixotes (www.atex.com.br).	39
Figura 2.14 – Seção transversal de laje nervurada com placas escondendo as nervuras e os espaços vazios entre estas	40
Figura 2.15 – Dimensões limites de lajes nervuradas.	41
Figura 2.16 – Perspectiva esquemática laje lisa e cogumelo	41
Figura 2.17 – Laje lisa nervurada apoiada sobre pilares	43
Figura 2.18 – Visualização superior da laje lisa nervurada apoiada sobre pilares	43
Figura 2.19 – Concretagem do maciço	44

Figura 2.20 – Estrutura 3D do edifício analisado no Estudo de Caso 1, considerando sistema estrutural de lajes nervuradas lisas com utilização de vigas de borda.	45
Figura 2.21 – Estrutura 3D do edifício analisado no Estudo de Caso 2 considerando sistema estrutural de lajes nervuradas lisas com utilização de vigas de borda.	45
Figura 2.22 – Configuração das dimensões do maciço da laje nervurada lisa	47
Figura 4.1 – Comparativo de custo de mão de obra, material e total da estrutura do sistema convencional de lajes nervuradas sem redução das vigas e pilares, referentes a Lopes 2012 e Tavares 2014.	52
Figura 4.2 – Quantitativo de fôrma, concreto e armadura nas vigas, referentes ao sistema convencional.	53
Figura 4.3 – Quantitativo de fôrma, concreto e armadura nos pilares.	54
Figura 4.4 – Aumento percentual de fôrma, concreto e armadura da fundação do sistema de laje nervurada convencional com redução das seções em relação ao sistema sem redução.....	55
Figura 4.5 – Custo com mão de obra, material e total da fundação para os sistemas de lajes nervuradas convencionais sem redução e com redução das seções transversais das vigas e pilares.	56
Figura 4.6 – Redução percentual de fôrma e concreto da superestrutura do sistema convencional que sofreu redução das seções transversais das vigas e pilares em relação ao sistema que não ocorreu modificação.	57
Figura 4.7 – Aumento percentual da armadura da superestrutura do sistema convencional que sofreu redução das seções transversais das vigas e pilares em relação ao sistema que não ocorreu modificação.	58
Figura 4.8 – Custo com mão de obra, material, e total da superestrutura para os sistemas convencionais sem redução e com redução das seções transversais das vigas e pilares.....	58
Figura 4.9 – Custo com mão de obra, material, e total da estrutura global para os sistemas sem redução e com redução das vigas e pilares.....	59

Figura 4.10 – Custo com fôrma, concreto e armadura da fundação referente ao Estudo de Caso 1.....	60
Figura 4.11 – Custo com mão de obra, material, e total da fundação referente ao Estudo de Caso 1.	61
Figura 4.12 – Percentual de fôrmas por elemento da superestrutura. (a) lajes nervuradas (sistema convencional) e (b) lajes nervuradas lisas.	61
Figura 4.13 – Percentual de concreto por elemento da superestrutura. (a) lajes nervuradas (sistema convencional) e (b) lajes nervuradas lisas.	62
Figura 4.14 – Percentual de armadura por elemento da superestrutura. (a) lajes nervuradas (sistema convencional) e (b) lajes nervuradas lisas.	62
Figura 4.15 – Custo com fôrma, concreto e armadura da superestrutura referente ao Estudo de Caso 1.....	63
Figura 4.16 – Custo com mão de obra, material, e total da superestrutura referente ao Estudo de Caso 1.....	63
Figura 4.17 – Custo com mão de obra, material, e total da estrutura global referente ao Estudo de Caso 1.....	64
Figura 4.18 – Custo com mão de obra, material, e total da estrutura global referente ao Estudo de Caso 1.....	64
Figura 4.19 – Custo com mão de obra, material, e total da fundação referente ao Estudo de Caso 2.	65
Figura 4.20 – Custo com mão de obra, material, e total na fundação referente ao Estudo de Caso 2.	65
Figura 4.21 – Percentual de fôrmas por elemento da superestrutura. (a) lajes nervuradas (sistema convencional) e (b) lajes nervuradas lisas.	66
Figura 4.22 – Percentual de concreto por elemento da superestrutura. (a) lajes nervuradas (sistema convencional) e (b) lajes nervuradas lisas.	66
Figura 4.23 – Percentual de armadura por elemento da superestrutura. (a) lajes nervuradas (sistema convencional) e (b) lajes nervuradas lisas.	67

Figura 4.24 – Custo com mão de obra, material, e total da superestrutura referente ao Estudo de Caso 2.....	67
Figura 4.25 – Custo com mão de obra, material, e total da superestrutura referente ao estudo de caso 2.....	68
Figura 4.26 – Custo com mão de obra, material, e total da estrutura global referente ao estudo de caso 2.....	68
Figura 4.27 – Custo com mão de obra, material, e total da estrutura global referente ao Estudo de Caso 2.....	69
Figura 4.28 – Isovalores de deslocamentos verticais em mm das lajes nervuradas (sistema convencional) referentes ao pavimento tipo do Estudo de Caso 1.	70
Figura 4.29 – Isovalores de deslocamentos verticais em mm das lajes nervuradas lisas referente ao pavimento tipo do Estudo de Caso 1.	71
Figura 4.30 – Momento Fletor máximo positivo em KN.m/m na laje nervurada (sistema convencional), referente ao pavimento tipo do Estudo de Caso 1.....	72
Figura 4.31 – Momento fletor máximo negativo em KN.m/m na laje nervurada (sistema convencional), referente ao pavimento tipo do Estudo de Caso 1.....	73
Figura 4.32 – Momento fletor máximo positivo em KN.m/m na laje nervurada lisa, referente ao pavimento tipo do Estudo de Caso 1.	73
Figura 4.33 – Momento fletor máximo negativo em KN.m/m na laje nervurada lisa, referente ao pavimento tipo do Estudo de Caso 1.	74
Figura 4.34 – Isovalores de deslocamentos verticais em mm das lajes nervuradas referente ao pavimento tipo do Estudo de Caso 2.	76
Figura 4.35 – Isovalores de deslocamentos verticais em mm da laje lisa referente ao pavimento tipo do Estudo de Caso 2.....	76
Figura 4.36 – Momento Fletor máximo positivo em KN.m/m na laje nervurada (sistema convencional), referente ao Estudo de Caso 2.....	78
Figura 4.37 – Momento Fletor máximo negativo em KN.m/m na laje nervurada (sistema convencional), referente ao Estudo de Caso 2.....	78

Figura 4.38 – Momento Fletor máximo positivo em KN.m/m na laje nervurada lisa, referente ao Estudo de Caso 2.	79
Figura 4.39 – Momento Fletor máximo negativo em KN.m/m na laje nervurada lisa, referente ao Estudo de Caso 2.	79

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Valores mínimos das cargas verticais.....	28
Tabela 4.1 – Custo com materiais referentes as vigas sem redução e com redução da seção transversal (sistema convencional)	53
Tabela 4.2 – Custo com materiais referentes aos pilares sem redução e com redução da seção transversal (sistema convencional).....	54
Tabela 4.3 – Quantitativo de fôrmas, concreto e armadura da fundação (sapatas) para os sistemas sem redução e com redução das vigas e pilares.....	55
Tabela 4.4 – Quantitativo de fôrmas, concreto e armadura da superestrutura para os sistemas convencionais sem redução e com redução das seções transversais das vigas e pilares	57
Tabela 4.5 – Espessura, flechas totais e admissíveis referentes ao Estudo de Caso 1	69
Tabela 4.6 – Momentos fletores máximos positivos e negativos, referentes ao Estudo de Caso 1.....	72
Tabela 4.7 – Espessuras, flechas totais e admissíveis, referentes ao Estudo de Caso 2..	74
Tabela 4.8 – Momentos fletores máximos (positivos e negativos), referentes ao Estudo de Caso 2.....	77

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	19
1.1	Relevância do Tema.....	19
1.2	Objetivos.	20
1.2.1	Objetivo Geral	20
1.2.2	Objetivos Específicos	20
2.	REFERENCIAL TEÓRICO	21
2.1	Lajes de Concreto Armado	21
2.1.1	Tipos de Lajes de Concreto Armado	22
2.1.2	Classificação das Lajes Quanto à Direção da Armadura principal	23
2.1.3	Vinculação Das Lajes Nervuradas	24
2.2	Ações a Considerar no Dimensionamento de Lajes	25
2.2.1	Ações Permanentes.....	25
2.2.2	Ações Variáveis.....	28
2.2.3	Ações Excepcionais.....	29
2.2.4	Atuação das ações em lajes sem vigas.....	29
2.3	Estados Limites para Projeto de Estruturas	29
2.4	Combinações de Ações	30
2.4.1	Combinações Últimas	30
2.4.2	Combinações de Serviço.....	31
2.5	Sequência para Projeto Automático de Lajes de Concreto Armado	31
2.6	Lajes Nervuradas de Concreto Armado	32
2.6.1	Tipologia das Lajes Nervuradas de Concreto Armado	32
2.6.2	Lajes Nervuradas Moldadas no Local	32
2.6.3	Materiais de Enchimento das Lajes Nervuradas	37
2.6.4	Prescrições da NBR 6118/14 para laje nervurada	40
2.7	Lajes Nervuradas Lisas	41
2.7.1	Tipologia das lajes sem vigas.....	42
2.7.2	Sistema com vigas apenas nas bordas do pavimento	42
2.7.3	Vantagens e Desvantagens das Lajes Nervuradas Lisas.....	46

2.7.4	Punção.....	46
3.	METOLOGIA.....	48
3.1	Considerações gerais	48
3.2	Edifício Modelo	49
3.2.1	Edifício Modelo Estudo de Caso 1	49
3.2.2	Edifício Modelo Estudo de Caso 2	49
3.3	Características do solo e das fundações	49
3.4	Ferramentas de cálculo e análise estrutural	49
3.5	Parâmetros de comparação adotados	50
3.5.1	Índice de concreto ic.....	50
3.5.2	Índice de aço ia.....	50
3.5.3	Índice de fôrmas if.....	50
3.6	Critérios para o cálculo dos Custos.....	51
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	51
4.1	Análise de Custo	51
4.1.1	Estudo de Caso 1	51
4.1.2	Estudo de Caso 2	65
4.2	Análise Estrutural.....	69
4.2.1	Estudo de Caso 1	69
4.2.2	Estudo de Caso 2	74
5.	CONCLUSÕES	80
5.1	Conclusões.....	80
5.2	Proposta para Trabalhos Futuros	81
APÊNDICE		84
APÊNDICE A – Quantitativo e composição do custo total da superestrutura do modelo 1		84
A.1 – Sistema estrutural de laje nervurada sem redução de vigas e pilares, com atualização dos custos.....		84
A.2 – Sistema estrutural de laje nervurada com redução de vigas e pilares ..		87

A.3 – Sistema estrutural de laje Lisa	91
APÊNDICE B – Quantitativo e composição do custo total da superestrutura do modelo 2	94
B.1 – Sistema estrutural de laje nervurada.....	94
B.2 – Sistema estrutural de laje lisa.....	97
APÊNDICE C – Quantitativo e composição do custo total da fundação do modelo 1	101
C.1 – Sistema estrutural de laje nervurada sem redução de vigas e pilares, com atualização dos custos.....	101
C.2 – Sistema estrutural de laje nervurada com redução de vigas e pilares.	103
C.3 – Sistema estrutural de laje lisa.....	105
APÊNDICE D – Quantitativo e composição do custo total da fundação do modelo 2	107
D.1 – Sistema estrutural de laje nervurada.....	107
D.2 – Sistema estrutural de laje lisa.....	109
ANEXO	I
ANEXO A – Projeto arquitetônico estudo de caso 1	I
A.1 – Plantas de fôrmas do térreo estudo de caso 1	V
A.2 – Plantas de fôrmas do tipo estudo de caso 1	VIII
ANEXO B – Projeto arquitetônico estudo de caso 2	XI
B.1 – Plantas de fôrmas do tipo estudo de caso 2	XIV

1. INTRODUÇÃO

Apesar das diversas tecnologias desenvolvidas para o cálculo estrutural e processos construtivos, prevalece no mercado brasileiro de edifícios residenciais, por motivos culturais, estruturas em sua totalidade formadas por vigas e lajes. Na maioria dos casos este sistema funciona bem devido à larga utilização no mercado que conseqüentemente gera uma maior disponibilidade de mão-de-obra treinada.

Visando a atual necessidade do mercado da construção civil em adquirir novas técnicas que agilizem a construção, sem com isso elevar significativamente o custo da obra, possibilitando facilidades na execução da obra e atendimento das flexibilidades pessoais de cada cliente, surgiu a ideia de estudar sistemas estruturais diferentes e seus respectivos resultados.

O sistema estrutural de lajes lisas, também chamadas de lajes planas, vem sendo cada vez mais usado nos edifícios comerciais e residências. Este é caracterizado pelo uso de lajes sem vigas, apoiando-se diretamente sobre os pilares.

As ferramentas de cálculos (programas) auxiliam no processo de análise e aceleram a produtividade no detalhamento dos projetos para os diversos sistemas estruturas existentes. No entanto, cabe aos engenheiros de estruturas juntamente com o arquiteto escolher a opção mais adequada para um determinado tipo de obra, levando em consideração os critérios técnicos e econômicos.

Frente ao constante desenvolvimento tecnológico e com um mercado cada vez mais exigente e competitivo, vem sendo necessário buscar métodos construtivos mais econômicos e com boa qualidade. Em resposta a este processo de industrialização, se torna necessário um estudo sobre os métodos construtivos de lajes, visando uma melhor relação custo/benefício.

1.1 Relevância do Tema

É extremamente importante para o aluno de graduação em engenharia civil conhecer detalhadamente alguns sistemas estruturais existentes para lajes de concreto armado para que em sua vida profissional esteja capacitado a tomar decisões técnicas mais eficientes na escolha de determinado sistema estrutural a ser empregado em um empreendimento.

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.

Segundo Franca & Fusco (1997) as lajes nos edifícios de vários pisos respondem por elevada parcela de consumo de concreto. No caso de lajes maciças, essa parcela chega usualmente a quase dois terços do volume total do concreto das estruturas.

Albuquerque & Pinheiro (2002) desenvolveu uma análise de alternativas estruturais para edifícios em concreto armado onde foi utilizado o programa TQS. Constatou-se que as estruturas com lajes lisas apresentaram uma redução de custos em relação à alternativa com laje maciça no sistema convencional. O sistema com lajes lisas traz a vantagem de grande flexibilidade do pavimento, devido à ausência de vigas internas.

Spohr (2008) realizou uma análise comparativa entre sistemas estruturais convencionais (lajes maciças) e estruturais com lajes nervuradas, usando os programas comerciais de cálculo CYPECAD e ALTOQI/EBERICK GOLD. A alternativa que apresentou o menor custo final foi o sistema estrutural de lajes lisas nervuradas, apresentando uma redução de 18,1% em relação ao sistema convencional de lajes maciças.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é reunir informações técnicas e normatizadas que permitam a análise comparativa do comportamento estrutural e dos custos de sistemas estruturais que empregam lajes nervuradas lisas e sistema convencional (composto por vigas e pilares) de lajes nervuradas, utilizando o programa comercial de cálculo estrutural CYPECAD. Pretende-se com este trabalho apresentar resultados que possibilitem uma estimativa de custos aos profissionais da construção civil, para servir de referência na tomada de decisões por um modelo estrutural a ser adotado.

1.2.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos são, a priori, realizar para os sistemas estruturais adotados uma breve revisão bibliográfica, descrevendo suas principais características, bem como apontar as suas vantagens e desvantagens. Sendo assim, serão descritos as etapas de cálculo utilizadas para

determinação dos esforços solicitantes e deformações, analisando os fatores preponderantes para um bom desempenho da estrutura. E, a posteriori, serão realizados dois estudos de caso, ambos tendo como objetivo a realização de um estudo técnico comparativo entre os pavimentos de um edifício executados com o sistema convencional de lajes nervuradas, composto por vigas e pilares, e o sistema de lajes nervuradas lisas.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Lajes de Concreto Armado

As lajes, também chamadas elementos de superfície, são classificadas como elementos planos bidimensionais, onde duas dimensões (comprimento e a largura) são da mesma ordem de grandeza e muito maiores que a terceira dimensão (espessura).

Destinam-se a receber a maior parte das ações aplicadas numa construção, normalmente de pessoas, móveis, pisos, paredes e os mais variados tipos de cargas que podem existir em função da finalidade arquitetônica do espaço que a laje faz parte.

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 bidimensionais 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, conforme ilustrado na Figura 2.1.

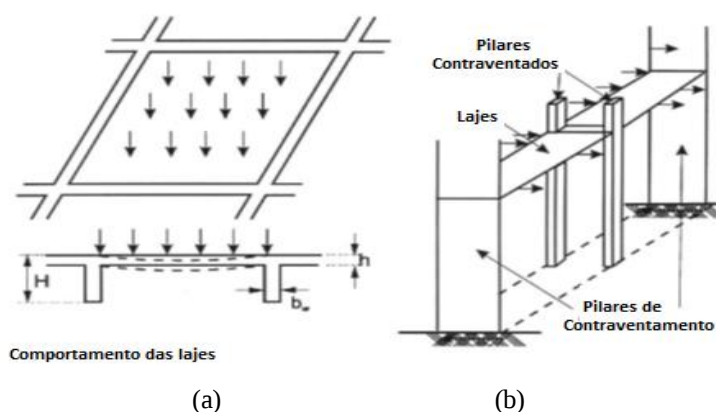


Figura 2.1 – Funções estruturais das lajes. (a) Laje funcionando como placa e (b) Laje funcionando como chapa (FRANCA & FUSCO, 1997).

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 sistemas contraventados se apoiarem nos sistemas 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 & FUSCO, 1997).

As ações são normalmente transmitidas para as vigas de apoio nas bordas da laje, mas eventualmente também podem ser transmitidas diretamente aos pilares, no caso das 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 pré-fabricados 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, como sua natureza ou 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 1,10 metros, 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

Costuma-se classificar as lajes armadas em uma direção aquelas com a relação entre o lado maior (ℓ_y) e o lado menor (ℓ_x) superior a dois, conforme representa a Figura 2.2.

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

Onde: ℓ_x = lado menor;

ℓ_y = lado maior.

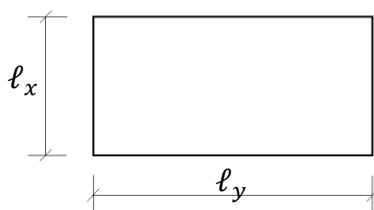


Figura 2.2 – Vãos da laje retangular armada em uma direção.

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 área de aço mínima dada pela NBR 6118/14. 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 e distribuindo melhor as cargas pontuais.

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 como mostra a Figura 2.3.

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

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.

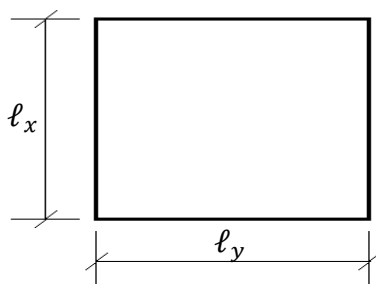


Figura 2.3 – Vãos da laje retangular armada em duas direções.

2.1.3 Vinculação Das Lajes Nervuradas

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 encontra-se a mesa de concreto, e esforços de compressão na parte inferior, região em que a área de concreto é reduzida.

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 limitados pela capacidade resistente da nervura à compressão. (CARVALHO & PINHEIRO, 2009)

2.2 Ações a Considerar no Dimensionamento de Lajes

O item 3.4 da NBR 8681/03 define ações como causas que provocam esforços ou deformações nas estruturas. 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 NBR 6118/14, NBR 8681/03 e NBR 6120/80, entre outras pertinentes. As ações peculiares das lajes de cada obra também devem ser cuidadosamente avaliadas. Se as normas brasileiras não tratarem de cargas específicas, pode-se recorrer a normas estrangeiras, na bibliografia especializada, com os 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).

2.2.1 Ações Permanentes

O item 11.3.1 NBR 6118/14 define ações permanentes como aquelas que ocorrem com valores praticamente constantes durante toda a vida da construção. Também são consideradas permanentes as ações que aumentam no tempo, tendendo a um valor-limite constante.

A NBR 6118/14, no item 11.3.2 e 11.3.3, classifica as ações permanentes em ações permanentes diretas e ações permanentes indiretas respectivamente.

a) Ações Permanentes Diretas

As ações permanentes diretas são constituídas pelo peso próprio da estrutura, pelos pesos dos elementos construtivos fixos, das instalações permanentes e dos empuxos permanentes.

b) Ações Permanentes Indiretas

Ações permanentes indiretas são constituídas pelas deformações impostas por retração e fluência do concreto, deslocamentos de apoio, imperfeições geométricas e protensão.

2.2.1.1 Ações Permanentes em Lajes

De uma maneira geral, 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.

2.2.1.1.1 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}), o item 8.2.2 da NBR 6118/14 indica o valor de 25 kN/m³. O peso próprio para lajes nervradas com caixotes reaproveitáveis, deve ser descontado a área equivalente ao enchimento (Figura 2.4) sendo calculado pela equação abaixo:

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

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;

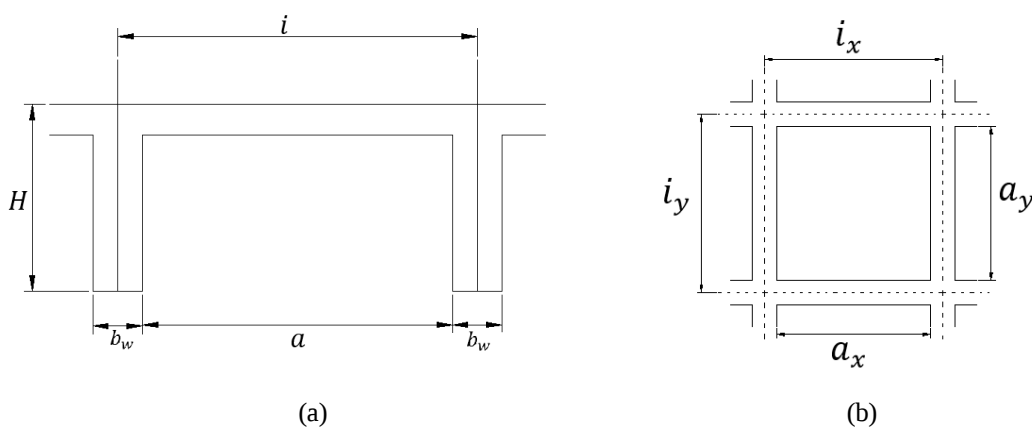


Figura 2.4 – Peso próprio calculado para laje nervurada. (a) seção transversal e (b) em planta.

2.2.1.1.2 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 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 NBR 6120/80.

A ação permanente do contrapiso é função da espessura (e) do contrapiso:

$$g_{contr} = \gamma_{contr} \cdot e = 21 \cdot e \quad (2.4)$$

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

e = espessura do contrapiso (m).

2.2.1.1.3 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 NBR 6120/80 fornece os pesos específicos de diversos materiais, valores estes que auxiliam no cálculo da carga do piso por metro quadrado de área de laje.

2.2.1.1.4 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:

$$P = \gamma_{alv} \cdot e \cdot h \quad (2.5)$$

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

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

e = espessura da parede (m);

h = altura da parede (m).

2.2.2 Ações Variáveis

O item 4.2.1.2 da NBR 8681/03 considera como ações variáveis as cargas acidentais das construções, bem como efeitos, tais como forças de frenação, de impacto e centrífugas, os 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:** ações variáveis 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.

2.2.2.1 Ações Variáveis nas Lajes

A ação variável nas lajes é tratada pela NBR 6120/80 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 2.1 contém os valores mínimos das cargas verticais atuantes para o dimensionamento de lajes de edifícios residenciais segundo a NBR 6120/80.

Tabela 2.1 – 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

2.2.3 Ações Excepcionais

O item 4.2.1.3 da NBR 8681/03 considera como excepcionais as ações decorrentes de causas tais como explosões, choques de veículos, incêndios, enchentes ou sismos excepcionais. Os incêndios, ao invés de serem tratados como causas de ações excepcionais, também podem ser levadas em conta por meio de uma redução da resistência dos materiais constitutivos da estrutura.

2.2.4 Atuação das ações em lajes sem vigas

Nos sistemas mais simples e tradicionais, de maneira geral, as lajes apoiam-se em vigas e estas nos pilares. Assim, as ações são aplicadas diretamente às lajes que as transmitem às vigas, que por sua vez as transmitem aos pilares e estes, finalmente, às fundações. Nos sistemas de lajes sem vigas, estas são eliminadas, de modo que as lajes se apoiem diretamente sobre os pilares, devendo estar ligeiramente ligadas a eles. As ações, desse modo, são aplicadas às lajes e transmitidas aos pilares, e daí às fundações como mostra a Figura 2.5.

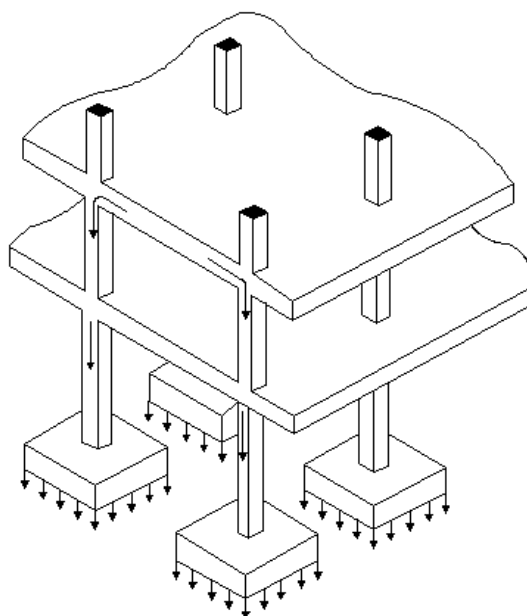


Figura 2.5 – caminhamento das cargas de lajes apoiadas diretamente sobre pilares (SPOHR, 2008).

2.3 Estados Limites para Projeto de Estruturas

O item 4.1 da NBR 8681/03 define que os estados limites podem ser estados limites últimos ou estados limites de serviço. Os estados limites considerados nos projetos de estruturas

dependem dos tipos de materiais de construção empregados e devem ser especificados pelas normas referentes ao projeto de estruturas com eles construídas.

O estado limite último é empregado no dimensionamento de estruturas de concreto armado e o estado limite de serviço é utilizado para verificar danos, deformações excessivas ou vibrações que comprometam o aspecto estético ou a durabilidade das estruturas em serviço.

2.4 Combinações de Ações

No item 11.8.1 da NBR 6118/14 um carregamento é definido pela combinação das ações que têm probabilidades não desprezíveis de atuarem simultaneamente sobre a estrutura, durante um período preestabelecido.

A combinação das ações deve ser feita de forma que possam ser determinados os efeitos mais desfavoráveis para a estrutura. A verificação da segurança em relação aos estados limites últimos e aos estados limites de serviço deve ser realizada em função de combinações últimas e combinações de serviço, respectivamente.

2.4.1 Combinações Últimas

Segundo a NBR 6118/14, no item 11.8.2, uma combinação última pode ser classificada em normal, especial ou de construção e excepcional.

2.4.1.1 Combinações Últimas Normais

A NBR 6118/14, no item 11.8.2.1, prescreve que em cada combinação devem estar incluídas as ações permanentes e a ação variável principal, com seus valores característicos e as demais ações variáveis, consideradas como secundárias, com seus valores reduzidos de combinação, conforme NBR 8681/03.

2.4.1.2 Combinações Últimas Especiais ou de Construção

No item 11.8.2.2 a NBR 6118/14 afirma que em cada combinação devem estar presentes as ações permanentes e a ação variável especial, quando existir, com seus valores característicos e as demais ações variáveis com probabilidade não desprezível de ocorrência simultânea, com seus valores reduzidos de combinação, conforme NBR 8681/03.

2.4.1.3 Combinações Últimas Excepcionais

No item 11.8.2.3 a NBR 6118/14 prescreve que em cada combinação devem figurar as ações permanentes e a ação variável excepcional, quando existir, com seus valores

representativos e as demais ações variáveis com probabilidade não desprezível de ocorrência simultânea, com seus valores reduzidos de combinação, conforme NBR 8681/03. Nesse caso se enquadram, entre outras, sismo e incêndio.

2.4.1.4 Combinações Últimas Usuais no Dimensionamento de Lajes de Concreto Armado

Os tipos de combinações últimas usuais para o dimensionamento de lajes estão dispostos na tabela 11.3 do item 11.8.2.4 da NBR 6118/14 e os coeficientes de ponderação estão dispostos nas tabelas 11.1 e 11.2 do item 11.7.1 da NBR 6118/14.

2.4.2 Combinações de Serviço

São classificadas de acordo com sua permanência na estrutura e devem ser verificadas como estabelecido a seguir:

a) quase permanentes: podem atuar durante grande parte do período de vida da estrutura e sua consideração pode ser necessária na verificação do estado limite de deformações excessivas;

b) frequentes: se repetem muitas vezes durante o período de vida da estrutura e sua consideração pode ser necessária na verificação dos estados limites de formação de fissuras, de abertura de fissuras e de vibrações excessivas. Podem também ser consideradas para verificações de estados limites de deformações excessivas decorrentes de vento ou temperatura que podem comprometer as vedações;

c) raras: ocorrem algumas vezes durante o período de vida da estrutura e sua consideração pode ser necessária na verificação do estado limite de formação de fissuras.

2.4.2.1 Combinações de Serviço usuais

As combinações de serviço usuais estão dispostas na tabela 11.4 do item 11.8.3.2 da NBR 6118/14.

2.5 Sequência para Projeto Automático de Lajes de Concreto Armado

A sequência de etapas do projeto automático para lajes é basicamente a mesma de qualquer outro elemento estrutural. De uma maneira geral, as etapas consistem em:

- 1) Lançamento dos elementos estruturais;
- 2) Pré-dimensionamento das espessuras das lajes;
- 3) Determinação do tipo de vinculação existente nas bordas das lajes;

- 4) Determinar as ações (carregamentos) atuantes;
- 5) Processamento do cálculo e dimensionamento estrutural pelo programa;
- 6) Verificação e edição dos elementos estruturais gerados pelo programa.

2.6 Lajes Nervuradas de Concreto Armado

Segundo o item 14.7.7 da NBR 6118/14 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, dispondo 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 & 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).

2.6.1 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.

2.6.2 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 2.6 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.

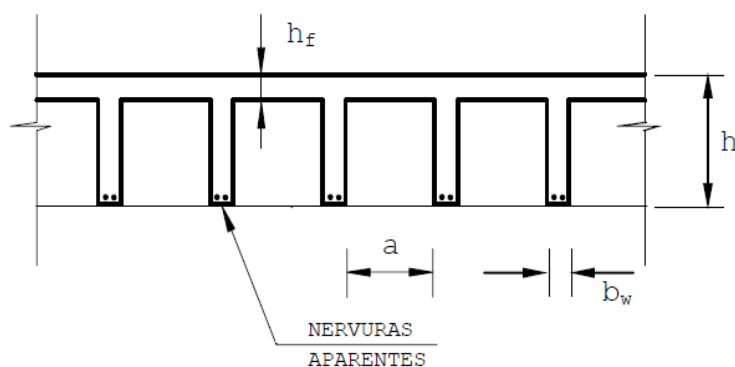


Figura 2.6 – Laje nervurada com as células aparentes. (BOCCHI JR & GIONGO, 2010).

A fôrma inferior (assolho) 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 2.7. 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.

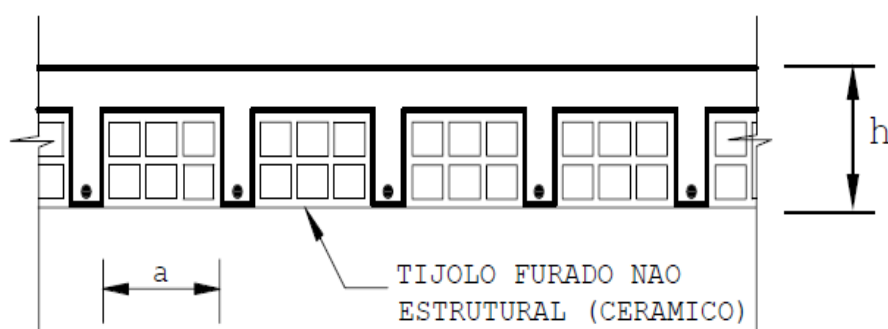


Figura 2.7 – Laje nervurada, normal, com as células não aparentes. (BOCCHI JR & GIONGO, 2010).

2.6.2.1 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:

Etapas 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 2.8), 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 2.8 – Montagem dos blocos para as lajes nervuradas moldadas “in loco” (BOCCHI & GIONGO, 2010).

Etapas 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. & GIONGO, 2010).

Etapas 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 onde as tensões de cisalhamento são menores (BOCCHI JR. & GIONGO, 2010).

Etapas 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 2.9) manuseados por operários capacitados evitando-se a desagregação do concreto e com dimensões dos agregados compatíveis com as medidas da seção transversal (BOCCHI JR & GIONGO, 2010).



Figura 2.9 – Lançamento e adensamento do concreto em lajes nervuradas moldadas no local (BOCCHI JR & GIONGO, 2010).

Etapas 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 & GIONGO, 2010).

A reação química de endurecimento do concreto necessita de água e como parte da 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 & GIONGO, 2010).

Etapla 6: Retirada das fôrmas e dos escoramentos

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

2.6.2.2 Vantagens e Desvantagens das Lajes Nervuradas Moldadas no local

I) Vantagens

Segundo Bocchi Jr & 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 & 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.

2.6.3 Materiais de Enchimento das Lajes Nervuradas

Os materiais de enchimento são utilizados tanto nas lajes nervuradas moldadas no local como nas lajes nervuradas 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). Esses blocos podem ser substituídos por espaços vazios, obtidos com fôrmas constituídas por caixotes reaproveitáveis.

2.6.3.1 Caixotes Reaproveitáveis

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 2.10), 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.

Em função do custo elevado das fôrmas de polipropileno, procura-se fazer projetos, sempre que possível, de edificações compostas de pavimentos-tipo, ou seja, pavimentos com a mesma geometria, para usar a mesma fôrma várias vezes, diminuindo o custo final.



Figura 2.10 – Retirada dos caixotes. (FORMPLAST, 1998 apud ALBUQUERQUE, 1999).

Existe uma tendência de se substituir o assoalho da laje por escoras, barroteamentos e contra-barroteamentos (Figura 2.11). 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 2.11 – Escoramento dos caixotes sem assoalho (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 2.12);
- 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 2.13);
- Possibilidade da utilização de forro falso que permite a passagem de dutos de instalações não embutidos na estrutura.



Figura 2.12 – Detalhe de moldes de fôrmas de polipropileno (www.atex.com.br).



Figura 2.13 – Laje nervurada construída com caixotes (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 2.14), aumentando o custo do sistema.

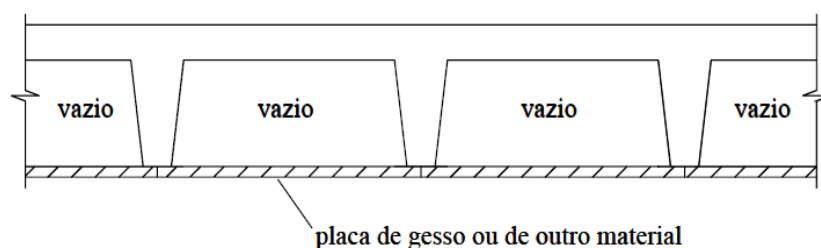


Figura 2.14 – Seção transversal de laje nervurada com placas escondendo as nervuras e os espaços vazios entre estas (SILVA, 2005).

2.6.4 Prescrições da NBR 6118/14 para laje nervurada

A NBR 6118/14 prescreve que para o projeto das lajes nervuradas devem ser obedecidas as seguintes condições:

2.6.4.1 Espessura da mesa (h_f)

- A espessura da mesa (h_f), quando não houver tubulações horizontais embutidas, deve ser maior ou igual a $1/15$ da distância entre as faces das nervuras e não menor que 4cm;
- Quando existirem tubulações embutidas de diâmetro máximo 10 mm, o valor mínimo absoluto da espessura da mesa (h_f) deve ser de 5cm.

2.6.4.2 Espessura das nervuras (b_w)

- A espessura das nervuras (b_w) não deve ser inferior a 5 cm;
- Nervuras com espessura menor que 8 cm não devem conter armadura de compressão.

2.6.4.3 Espaçamento entre nervuras

- 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 na região das nervuras, permite-se utilizar os critérios de laje;
- 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 largura média das nervuras for maior que 12 cm;

- 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 limites mínimos de espessura.

Na Figura 2.15, representam-se algumas dessas recomendações estabelecidas pela NBR 6118/14 para as dimensões limites de lajes nervuradas.

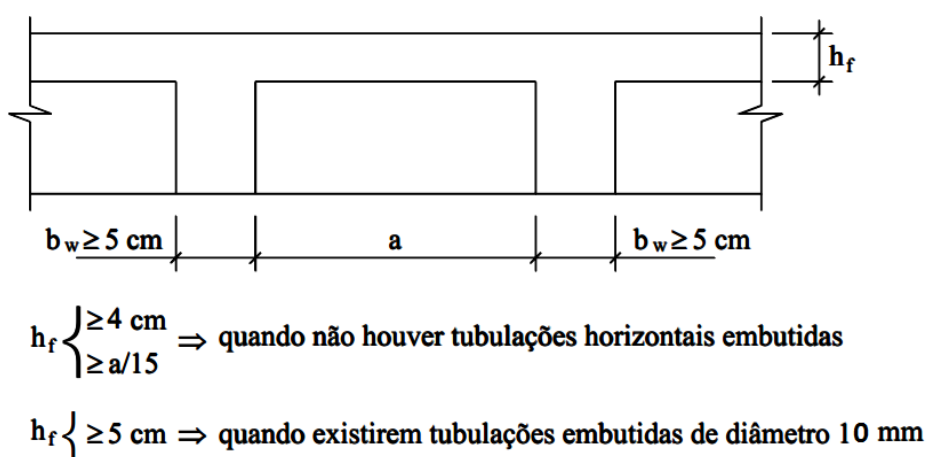


Figura 2.15 – Dimensões limites de lajes nervuradas.

2.7 Lajes Nervuradas Lisas

Segundo o item 14.7.8 da NBR 6118/14, lajes nervuradas cogumelo são lajes apoiadas diretamente em pilares com capitéis, enquanto lajes nervuradas lisas são apoiadas nos pilares sem capitéis.

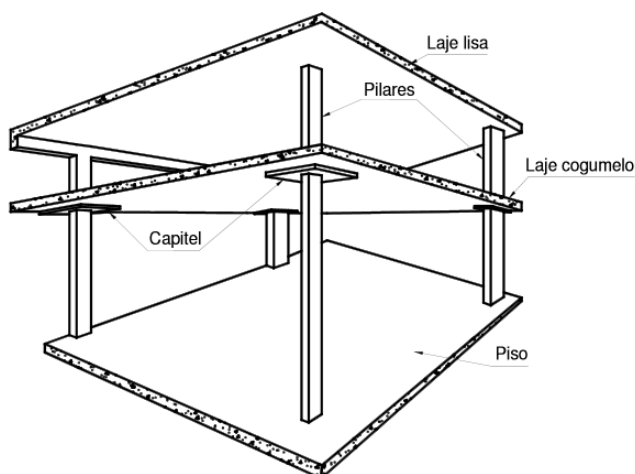


Figura 2.16 – Perspectiva esquemática laje lisa e cogumelo (BASTOS, 2006)

Atualmente, tem-se evitado o emprego de lajes nervuradas com capitéis, devido às dificuldades de execução das fôrmas, entretanto, para se evitar o puncionamento, ocorre um aumento na quantidade de armadura transversais. Desse modo, empregam-se lajes nervuradas lisas, as quais são projetadas com uma espessura suficiente para garantir a sua resistência à punção (ARAÚJO, 2003).

As bordas das lajes nervuradas lisas podem ser livres, podem estar apoiadas em pilares ou em apoios contínuos, como vigas de borda ou parede. Entretanto, do ponto de vista da segurança, é sempre recomendável que sejam projetadas vigas de apoio nas bordas das lajes nervuradas lisas, pois estas são regiões críticas (ARAÚJO, 2003).

2.7.1 Tipologia das lajes sem vigas

Dependendo das características da edificação e das condições locais, podemos empregar alguns sistemas como solução, são eles: lajes aliviadas ou nervuradas, lajes planas (sem vigas) protendidas, sistema com vigas apenas nas bordas do pavimento, sistema pré-moldados de lajes sem vigas, lajes içadas.

2.7.2 Sistema com vigas apenas nas bordas do pavimento

Segundo Carvalho e Pinheiro (2009) a colocação de vigas apenas nas bordas externas do pavimento, melhora o seu comportamento em relação aos seguintes aspectos:

- Os pilares externos são mais susceptíveis de sofrer punção em razão da menor área de contato com a laje, e vigas colocadas nas bordas evitam esse problema, tanto para pilares posicionados nas bordas quanto nos cantos do pavimento;
- As bordas externas dos painéis apresentam grandes deslocamentos transversais, além de que eles são mais perceptíveis, e as vigas nas bordas também reduzem este inconveniente;
- Vigas nas bordas do pavimento colaboram no aumento da rigidez do edifício às ações laterais; isso pode ser particularmente significativo nas situações em que núcleos rígidos sejam pequenos ou em número insuficiente em relação à área do edifício;
- As vigas de bordas (não invertidas) ajudam a evitar a propagação de fogo em caso de incêndio.

As lajes lisas nervuradas são apoiadas diretamente sobre os pilares, utilizando-se maciços de concreto na região dos apoios, com objetivo de resistir às tensões de cisalhamento características dessas regiões. Na Figura 2.17, pode-se verificar a situação de apoio de uma laje nervurada sobre pilares.



Figura 2.17 – Laje lisa nervurada apoiada sobre pilares (SPOHR, 2008)

As lajes lisas apresentam uma facilidade no processo executivo, uma vez que as vigas são embutidas na própria laje (Figura 2.18), evitando-se recortes e agilizando-se os serviços de montagem das formas.



Figura 2.18 – Visualização superior da laje lisa nervurada apoiada sobre pilares (SPOHR, 2008)

Uma das principais vantagens de sistemas estruturais com lajes lisas é a facilitada na concretagem, por existirem poucos recortes, como mostra a Figura 2.19, os quais, quando presentes, dificultam o acesso a determinadas regiões, mesmo de vibradores, possibilitando o aparecimento de vazios que prejudicam a qualidade, dificultam e pioram o acabamento final e até podem comprometer a segurança, principalmente se deixarem expostas as barras da armadura.



Figura 2.19 – Concretagem do maciço (NOGUEIRA & CASTRO, 2010)

Araújo (2003) relata que as lajes nervuradas exigem uma altura de h_t cerca de 50% superior à que seria necessária para lajes maciças considerando o mesmo carregamento. Entretanto, o peso próprio da laje nervurada (e o consumo de concreto) é inferior ao da laje maciça, resultando em uma solução mais econômica para vãos acima de aproximadamente 8m.

A utilização de viga de borda conectada aos pilares nos contornos dos pavimentos também traz outras vantagens, como a formação de pórticos para resistir às ações laterais, como mostra a Figura 2.20 e 2.21.

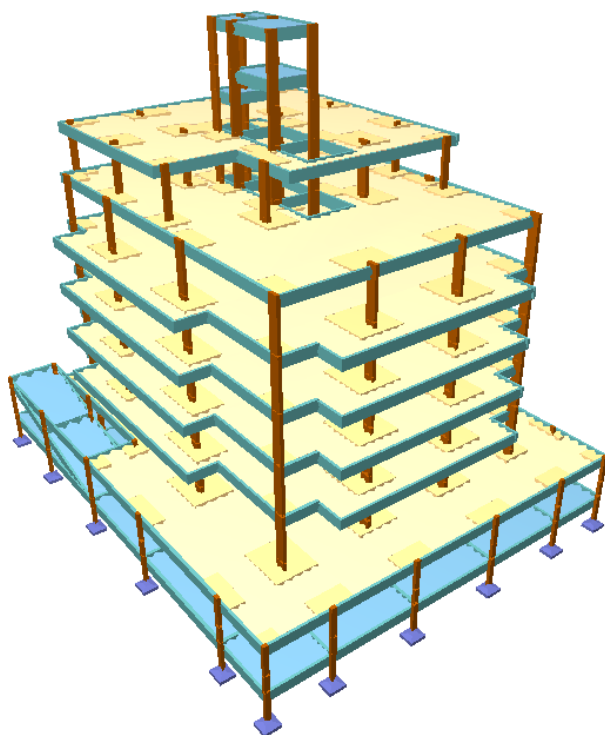


Figura 2.20 – Estrutura 3D do edifício analisado no Estudo de Caso 1, considerando sistema estrutural de lajes nervuradas lisas com utilização de vigas de borda.

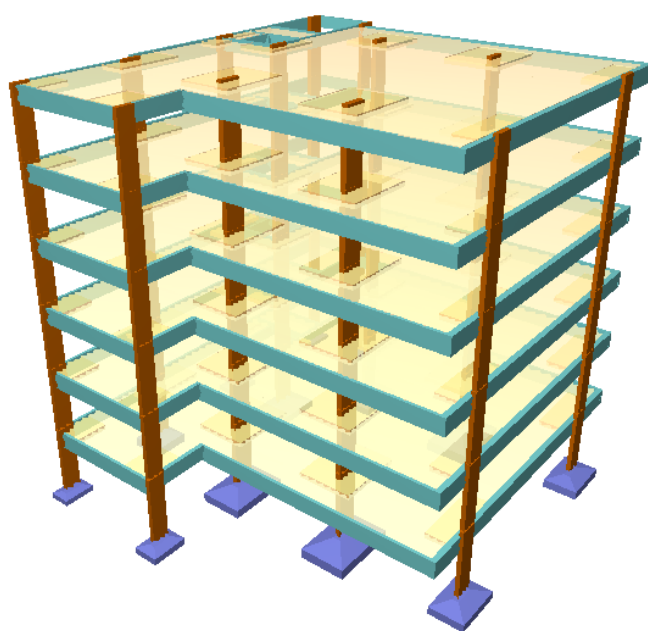


Figura 2.21 – Estrutura 3D do edifício analisado no Estudo de Caso 2 considerando sistema estrutural de lajes nervuradas lisas com utilização de vigas de borda.

2.7.3 Vantagens e Desvantagens das Lajes Nervuradas Lisas

I) Vantagens

Segundo Carvalho & Pinheiro (2009) as vantagens que as lajes nervuradas lisas apresentam são:

- Adaptabilidade a diversas formas ambientais;
- Simplificação das fôrmas e do cimbramento;
- Simplificação das armaduras;
- Simplificação da concretagem;
- Melhoria da qualidade final e diminuição de revestimentos;
- Redução da altura total do edifício;
- Simplificação das instalações prediais;
- Redução do tempo de execução e de custos;

II) Desvantagens

Mesmo esse sistema apresentando inúmeras vantagens, existem também algumas desvantagens que devem ser analisadas, pois são importantes e podem inviabilizar a adoção do sistema estrutural e, certas situações. (HENNRICHS,20003 apud BAVARESCO, 2010), cita as seguintes desvantagens:

- Punção das lajes: é um dos principais problemas de tais lajes, podendo ser solucionado adotando-se uma espessura de laje adequada ou adotando uma armadura de punção, ou ambos;
- Deslocamentos transversais das lajes: o deslocamento de lajes sem vigas, para uma mesma rigidez e um mesmo vão, é maior do que aqueles nas lajes sobre vigas;
- Estabilidade global do edifício: no caso de edifícios altos, a ausência de vigas diminui a estabilidade global devido às ações horizontais, nesse caso deve-se vincular as lajes em paredes estruturais ou em núcleos rígidos.

2.7.4 Punção

Araújo (2003) define punção como sendo o estado limite último por cisalhamento no entorno de forças concentradas (cargas ou reações). A ruptura por punção se dá com a propagação de fissuras inclinadas através da espessura da laje, com uma inclinação média da ordem de 30°.

O problema é agravado quando há transferência de momentos fletores da laje para o pilar, ou em pilares posicionados nas bordas e nos cantos da laje. A ruptura devida à punção, quando ocorre, é abrupta e frágil.

Para diminuir essas tensões e evitar a possibilidade de puncionamento, nos pilares são inseridas regiões de maciço.

2.7.4.1 Dimensionamento do maciço

Para a implantação do maciço, utilizou-se a ferramenta de geração automática dos maciços através do programa CYPECAD, portanto, o programa considera que na região dos pilares as dimensões em cada direção ajustam-se de acordo com a localização dos pilares, devendo ser atendida a dimensão mínima de $1/6$ da distância do pilar considerado ao pilar mais próximo, como apresenta a Figura 2.22.

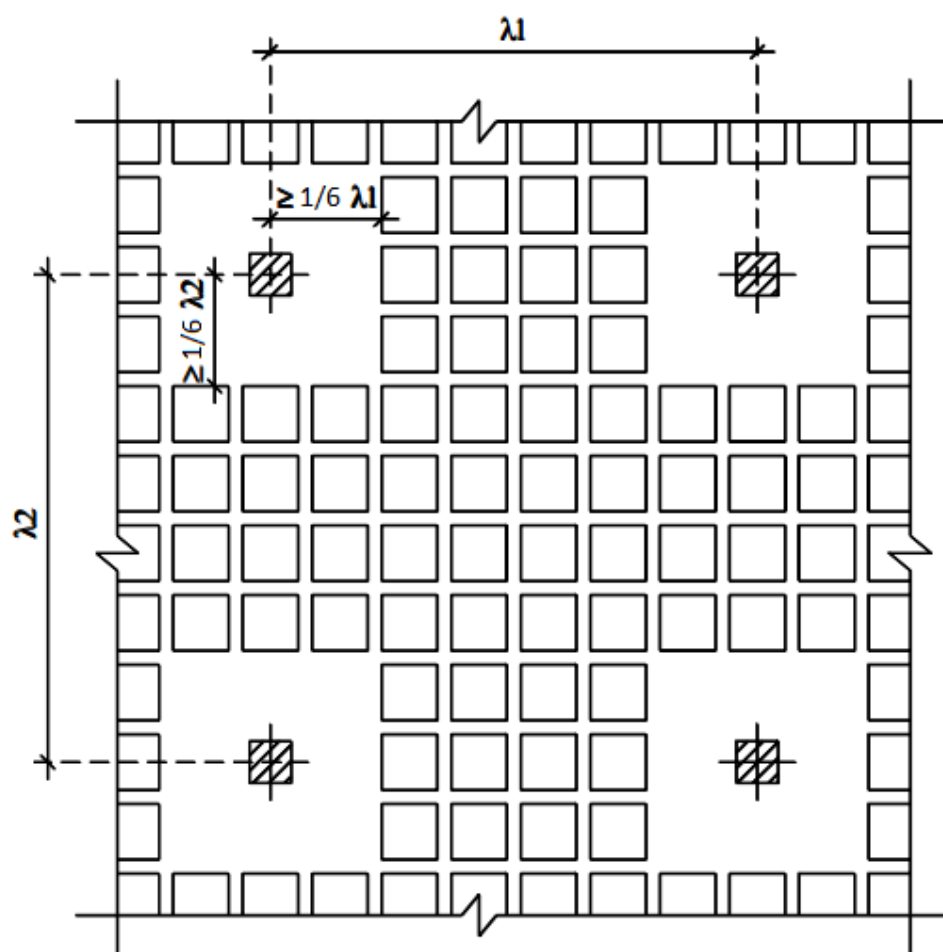


Figura 2.22 – Configuração das dimensões do maciço da laje nervurada lisa (SILVA, 2005).

Como a NBR 6118/14, não apresenta dimensões mínimas para o dimensionamento do maciço, pode-se perceber, que as dimensões mínimas utilizadas no memorial de cálculo do programa CYPECAD atendem as normas Espanholas, que estabelece dimensões mínimas de 0,15 da distância do pilar considerado ao pilar mais próximo. Apresentando valores bem próximos ao adotado pelo programa CYPECAD.

3. METOLOGIA

3.1 Considerações gerais

Este trabalho consiste na análise de dois edifícios modelos. Em ambos os estudos, será realizado uma comparação entre o sistema estrutural de lajes nervuradas lisas e sistema convencional de lajes nervuradas.

O Estudo de caso 1 consiste na continuidade ao estudo realizado por Lopes (2012). Na primeira etapa será realizada uma atualização dos custos para o sistema de lajes nervuradas, a segunda etapa consiste na redução das seções transversais das vigas e pilares empregadas no sistema com lajes nervuradas moldadas no local com fôrmas de polipropileno. Serão obtidos os quantitativos de materiais, os quais permitem calcular os custos para comparação da estrutura com lajes nervuradas que não houve modificação dos elementos estruturais.

Na terceira etapa do Estudo de caso 1 serão comparados, entre os sistemas de lajes nervuradas moldadas no local com fôrmas de polipropileno (sistema convencional) e de lajes nervuradas lisas, parâmetros estruturais tais como: esforços e deslocamentos nas lajes mais solicitadas do pavimento tipo, assim como, os custos totais da obra obtidos por meio de composições de custos, chegando-se a um valor global para cada tipologia adotada.

O Estudo de Caso 2 consiste em uma única etapa, onde serão comparados nos sistemas de lajes nervuradas com vigamento e lajes nervuradas lisas os mesmos parâmetros que serão analisados no Estudo de Caso 1.

3.2 Edifício Modelo

3.2.1 Edifício Modelo Estudo de Caso 1

Para a realização do estudo técnico comparativo entre as lajes no Estudo de Caso 1, será utilizada a planta arquitetônica (ANEXO B) do edifício tipo Flat localizado na Avenida Presidente Afonso Pena, S/N, Bairro do Bessa, na cidade de João Pessoa, estado da Paraíba.

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

3.2.2 Edifício Modelo Estudo de Caso 2

O edifício tipo Hotel para o Estudo de Caso 2 está localizado à Rua Professor José Leão, Lote 17A, Quadra S, Loteamento João Gonçalves, Bairro Maurício de Nassau, na Cidade de Caruaru, estado de Pernambuco.

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.

Porém, para efeito de estudo foi considerado apenas o pavimento tipo que corresponde aos pavimentos do 2º ao 5º do referido edifício analisado. Sendo assim, todos os pavimentos foram considerados iguais ao pavimento tipo.

3.3 Características do solo e das fundações

Será adotado, para fins de comparação, a tensão admissível do solo local igual a 0,6 MPa para ambos os sistemas analisados. Como elementos de fundação, serão admitidas sapatas de fundação direta, em que os quantitativos de concreto e armadura das sapatas serão obtidos através de listagens emitidas pelo programa de cálculo, enquanto que o quantitativo da área de fôrmas foi calculado segundo ALONSO (2010).

3.4 Ferramentas de cálculo e análise estrutural

Para a realização do trabalho foi utilizado o programa de cálculo estrutural de concreto armado CYPECAD para a análise e detalhamento dos diversos sistemas estruturais.

A partir das análises utilizando o referido programa, serão extraídas: plantas de fôrmas, detalhamentos de armaduras e quantitativos, tais como volume de concreto, taxa de armadura e o consumo de fôrmas.

3.5 Parâmetros de comparação adotados

3.5.1 Índice de concreto i_c

É a razão entre o consumo total de concreto extraído do projeto estrutural e a área real global da edificação, obtida segundo a NBR 12721/07.

$$i_c = V_c(m^3)/A(m^2) \quad (3.1)$$

Onde: V_c = volume total de concreto;

A = área real global da edificação.

3.5.2 Índice de aço i_a

É a razão entre o consumo de aço utilizado na estrutura e a área total do edifício.

$$i_a = P(kg)/A(m^2) \quad (3.2)$$

Onde: P = consumo de aço;

A = área total da edificação.

3.5.3 Índice de fôrmas i_f

É a razão entre a área de fôrmas constantes no projeto da estrutura e a área total do edifício.

$$i_f = Af(m^2)/A(m^2) \quad (3.3)$$

Onde: Af = área de fôrmas;

A = área total da edificação.

3.6 Critérios para o cálculo dos Custos

As composições adotadas, foram obtidas da coletânea publicada periodicamente pela PINI. Essas composições são apresentadas nas “Tabelas para Composição de Preços para Orçamentos – TCPO (PINI, 2008).

Os valores em reais dos insumos para as composições de custos foram obtidos na tabela SINAPI de preços de insumos, disponível no site da caixa econômica federal, para o estado de Pernambuco referente ao mês de setembro de 2014.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após o lançamento e o dimensionamento da estrutura para ambos os estudos de casos dos dois modelos de sistemas estruturais, serão apresentados os resultados da análise de custos e estrutural avaliados no presente estudo.

Vale ressaltar que em todas as Tabelas e Figuras apresentadas nesse item 4, os modelos estudados seguem a seguinte nomenclatura para efeito de comparação:

Laje Nervurada: Lajes nervuradas no sistema convencional (com vigas)

Laje Lisa: Lajes nervuradas no sistema de lajes lisas

4.1 Análise de Custo

4.1.1 Estudo de Caso 1

Para um melhor entendimento dos resultados obtidos para o Estudo de Caso 1, optou-se pela divisão em etapas, sendo estas:

1ª etapa: Atualização dos Custos referente ao trabalho realizado por Lopes 2012, sem modificação dos elementos estruturais.

2ª etapa: Redução da seção dos elementos estruturais (vigas e pilares) e análise comparativa com o modelo que não sofreu modificações dos elementos.

3ª etapa: Análise comparativa do sistema convencional de lajes nervuradas que obteve menor valor referente ao custo e o sistema estrutural de lajes nervuradas lisas.

4.1.1.1 Primeira etapa: Atualização dos Custos referente ao trabalho realizado por Lopes 2012

Inicialmente foram atualizados os valores dos custos referente ao trabalho realizado por Lopes (2012), a posteriori será apresentada uma análise comparativa com o sistema estrutural de laje nervurada moldada no local com fôrma de polipropileno com redução das seções transversais das vigas e pilares.

A partir das atualizações dos custos, como mostra a Figura 4.1, pode-se verificar um aumento de 2,19% (R\$ 2.432,91) na mão de obra, 6,20% (R\$ 34.586,57) no material, apresentando um aumento total na estrutura de 5,53% (R\$ 37.019,48).

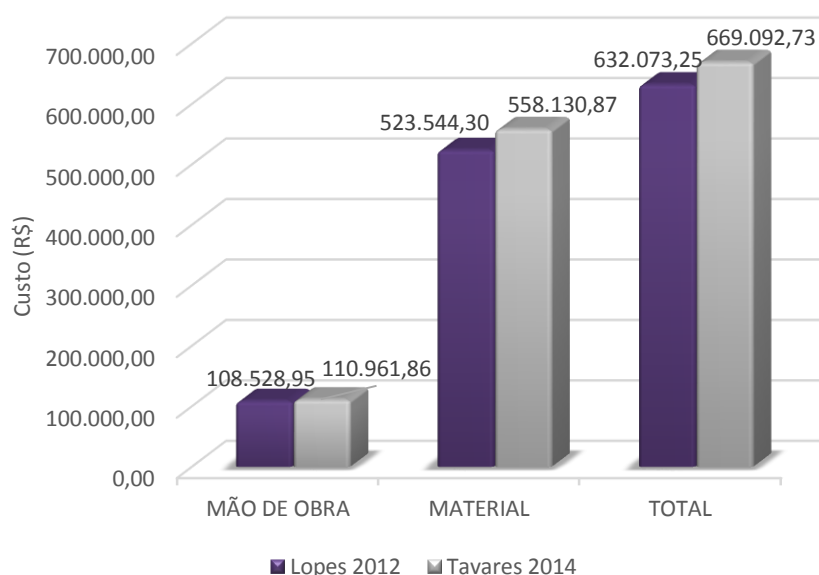


Figura 4.1 – Comparativo de custo de mão de obra, material e total da estrutura do sistema convencional de lajes nervuradas sem redução das vigas e pilares, referentes a Lopes 2012 e Tavares 2014.

4.1.1.2 Segunda etapa: Sistema estrutural de laje nervurada no sistema convencional com redução das vigas e pilares

A Tabela 4.1 apresenta os custos com os materiais apenas das vigas para o sistema convencional de laje nervurada que não sofreu modificações dos elementos e o sistema estrutural que houve reduções nas seções das vigas. Conforme esperado podemos verificar que os custos com fôrma e concreto sofreram uma redução de 11,14% (R\$ 6.752,58) e 9,86% (R\$ 7.355,83) respectivamente, quando comparado com o modelo que não foi realizado a redução das seções dos elementos estruturais. Entretanto, com relação a armadura, podemos destacar um aumento de 2,65% (R\$ 1.876,50).

Tabela 4.1 – Custo com materiais referentes as vigas sem redução e com redução da seção transversal (sistema convencional)

Material	Vigas sem redução (R\$)	Vigas com redução (R\$)
Fôrma	60.604,21	53.851,63
Concreto	74.607,07	67.251,24
Armadura	68.976,93	70.853,43
Total	204.188,21	191.956,30

Embora o custo com a armadura tenha aumentado nas vigas com redução da seção transversal, a quantidade de fôrma e o volume de concreto apresentaram uma redução significativa, favorecendo no custo total das vigas com redução da seção transversal, como ilustra a Figura 4.2.

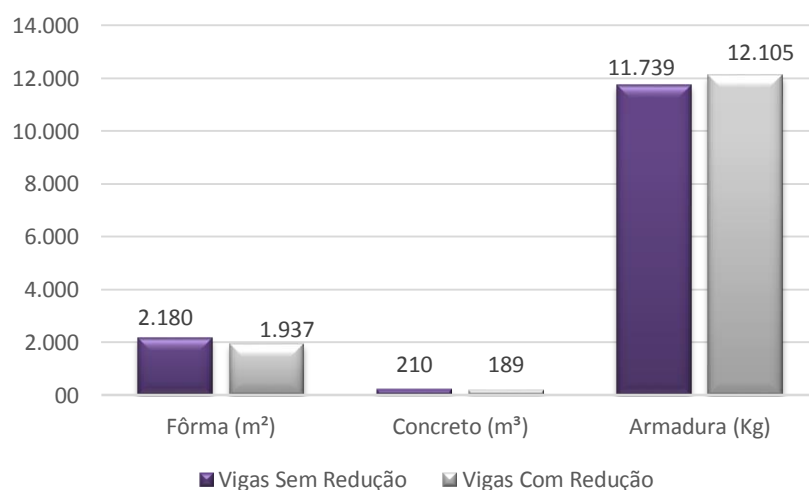


Figura 4.2 – Quantitativo de fôrma, concreto e armadura nas vigas, referentes ao sistema convencional.

Na análise de custo com os pilares, podemos verificar na Tabela 4.2, um comportamento semelhante ao ocorrido com as vigas, ou seja, os custos com fôrmas e concreto diminuiram 4,72% (R\$ 865,97) e 11,02% (R\$ 2.214,92) respectivamente, enquanto que a armadura apresentou um aumento de 23,60% (R\$ 10.812,33).

Tabela 4.2 – Custo com materiais referentes aos pilares sem redução e com redução da seção transversal (sistema convencional).

Material	Pilar sem redução (R\$)	Pilar com redução (R\$)
Fôrma	18.354,07	17.488,10
Concreto	20.101,42	17.886,50
Armadura	35.000,88	45.813,21
Total	73.456,37	81.187,81

Observa-se que a redução dos pilares, não apresentou um ponto positivo no custo total, ou seja, ocorre uma redução no custo com fôrma e concreto, porém a armadura apresenta um aumento considerável, desfavorecendo no custo total dos pilares com redução da seção transversal, como mostra a Figura 4.3.

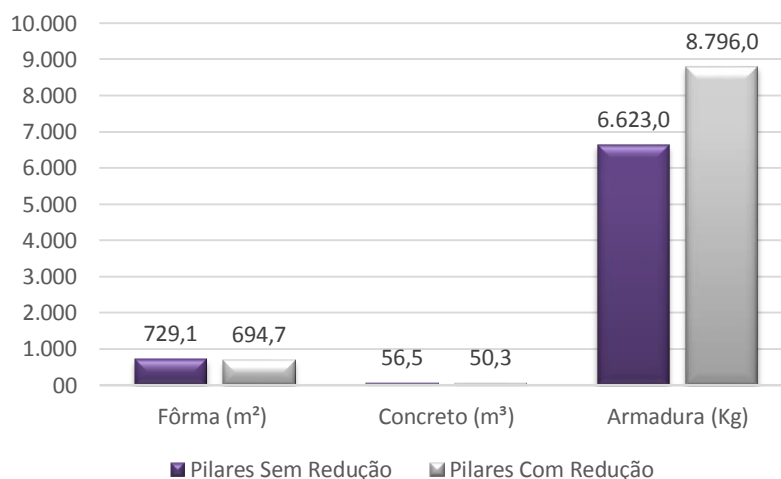


Figura 4.3 – Quantitativo de fôrma, concreto e armadura nos pilares.

4.1.1.2.1 Estudo comparativo das fundações dos sistemas convencionais de lajes nervuradas sem redução e com redução das seções transversais das vigas e pilares

Devido à redução nas seções transversais dos elementos estruturais vigas e pilares, as cargas transmitidas ao solo através das sapatas da fundação também são diferentes, acarretando um consumo de material e mão de obra para a execução da fundação diferente entre os sistemas sem redução e com redução das seções transversais das vigas e pilares.

Na Tabela 4.3, têm-se os quantitativos de fôrmas, concreto e armadura empregados na execução das sapatas da fundação dos modelos sem redução e com redução das seções transversais das vigas e pilares. Observa-se que o quantitativo de materiais na fundação aumenta à medida que se reduzem as dimensões das vigas e pilares. Provavelmente este fato ocorre porque a redução da seção transversal dos pilares aumenta a tensão atuante no solo e, uma vez que a tensão admissível do solo permanece constante, as áreas das sapatas aumentam para transmitir valores de tensões menores ao solo.

Tabela 4.3 – Quantitativo de fôrmas, concreto e armadura da fundação (sapatas) para os sistemas sem redução e com redução das vigas e pilares

Sistema estrutural	Fôrmas (m ²)	Volume de concreto (m ³)	Armadura (Kg)
Sem redução das vigas e pilares	164,01	36,69	2.036,55
Com redução das vigas e pilares	167,23	41,43	2.311,08

A Figura 4.4 mostra o aumento percentual dos quantitativos de fôrma, concreto e armadura da fundação do modelo de laje nervurada convencional com redução das seções transversais das vigas e pilares em relação ao modelo que não sofreu modificações. Percebe-se a forte influência que a redução das seções transversais das vigas e pilares exerce no consumo de armadura em relação ao sistema que não houve modificações dos elementos estruturais, ocasionando um aumento de 11,88%.

Com relação ao volume de concreto, é possível observar um aumento de 11,44%. O aumento no consumo de fôrmas do sistema que sofreu redução das seções transversais das vigas e pilares em relação ao sistema que não sofreu redução, não foi muito significativo, apresentando um aumento de apenas 1,93%.

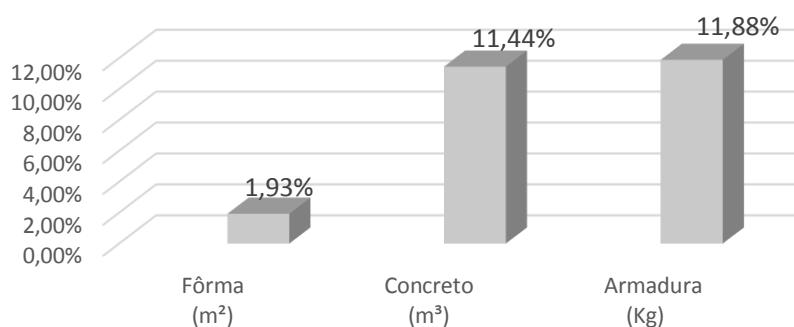


Figura 4.4 – Aumento percentual de fôrma, concreto e armadura da fundação do sistema de laje nervurada convencional com redução das seções em relação ao sistema sem redução.

Na Figura 4.5 têm-se os valores de custos com mão de obra, material e total da fundação para o modelo estrutural que não sofreu modificações dos elementos estruturais e o modelo que ocorreu a redução das seções transversais das vigas e pilares.

Observa-se que o custo com a mão de obra apresentou um aumento de 6,64% (R\$ 622,74), enquanto que o custo com material 6,53% (R\$ 1.657,56), em relação ao modelo que não sofreu modificações das seções.

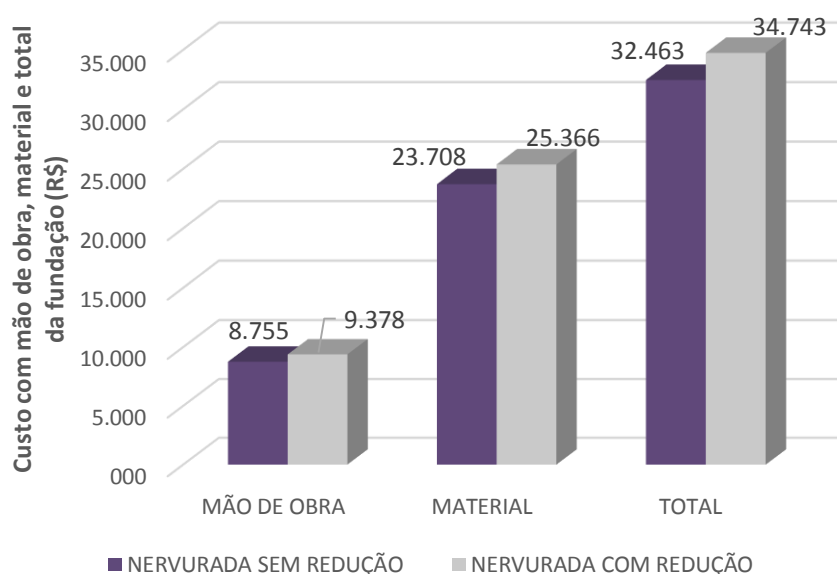


Figura 4.5 – Custo com mão de obra, material e total da fundação para os sistemas de lajes nervuradas convencionais sem redução e com redução das seções transversais das vigas e pilares.

Portanto, como analisado anteriormente com relação aos percentuais dos materiais na fundação, o sistema estrutural que ocorreu uma redução das seções transversais das vigas e pilares apresenta em relação ao custo um aumento total na fundação de 6,56% (R\$ 2.280,30) com relação ao sistema que não sofreu modificações, como mostra a Figura 4.5.

4.1.1.2.2 Estudo comparativo levando em consideração toda a superestrutura

A Tabela 4.4 mostra o consumo de materiais (fôrmas, concreto e aço) da superestrutura (lajes, vigas e pilares) para o modelo que não sofreu modificações nas seções transversais dos elementos estruturais e o modelo que houve a redução das seções transversais das vigas e pilares.

Tabela 4.4 – Quantitativo de fôrmas, concreto e armadura da superestrutura para os sistemas convencionais sem redução e com redução das seções transversais das vigas e pilares

Sistema estrutural	Fôrmas (m ²)	Volume de concreto (m ³)	Armadura (Kg)
Sem redução das seções transversais das vigas e pilares	6.100,41	573,21	39.577,00
Com redução das seções transversais das vigas e pilares	5.825,35	546,49	39.919,00

A Figura 4.6 apresenta a redução percentual na quantidade de fôrma e volume de concreto da superestrutura no sistema convencional com redução das seções transversais das vigas e pilares em relação ao sistema convencional que não sofreu reduções dos elementos estruturais. A partir das reduções dos elementos estruturais no sistema convencional com lajes nervuradas, podemos observar uma vantagem para esse sistema, através da redução na quantidade de fôrmas e no volume de concreto, apresentando valores de 4,51% e 4,66% respectivamente.

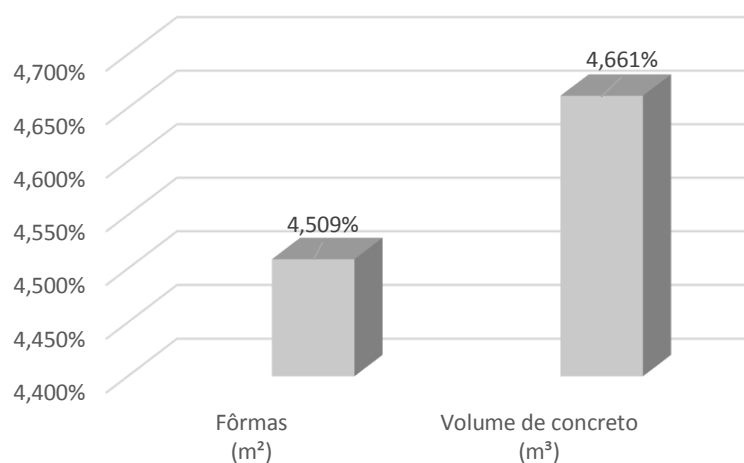


Figura 4.6 – Redução percentual de fôrma e concreto da superestrutura do sistema convencional que sofreu redução das seções transversais das vigas e pilares em relação ao sistema que não ocorreu modificação.

Vale ressaltar que, diferentemente do que ocorreu para fôrmas e concreto na superestrutura, pode-se destacar na Figura 4.7 um aumento percentual na armadura de 0,86% em relação ao sistema que não houve modificações na geometria dos elementos estruturais.

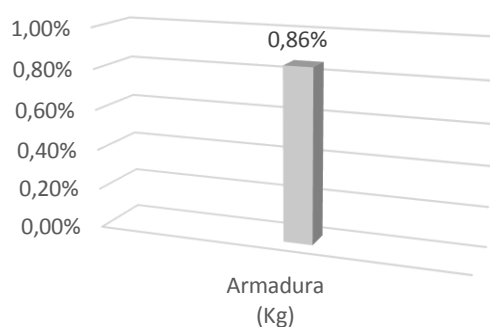


Figura 4.7 – Aumento percentual da armadura da superestrutura do sistema convencional que sofreu redução das seções transversais das vigas e pilares em relação ao sistema que não ocorreu modificação.

Como exposto nas Figuras 4.6 e 4.7, a quantidade de fôrmas e o volume de concreto apresentaram reduções significativas no sistema convencional que houve modificações nas seções transversais dos elementos (vigas e pilares). Entretanto, o aumento na quantidade de armadura não influenciou significativamente para o aumento no custo total da estrutura do sistema de laje nervurada que sofreu redução das seções transversais, conforme apresentado na Figura 4.8.

A Figura 4.8, mostra a redução de custo da mão de obra, material e o total da estrutura para ambos os sistemas convencionais analisados. Pode-se destacar uma redução de 2,27% (R\$ 14.449,74) para a estrutura que foi realizada as reduções das seções transversais das vigas e pilares em relação ao sistema que não ocorreu modificações.

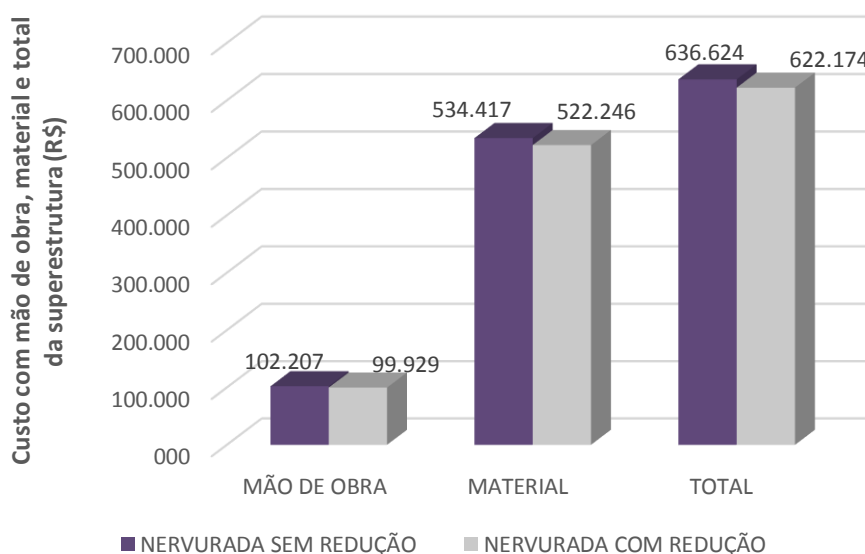


Figura 4.8 – Custo com mão de obra, material, e total da superestrutura para os sistemas convencionais sem redução e com redução das seções transversais das vigas e pilares.

4.1.1.2.3 Estudo comparativo da estrutura global (fundação e superestrutura) para os sistemas sem redução e com redução das vigas e pilares

A partir das análises apresentadas anteriormente tanto da fundação quanto da superestrutura, na Figura 4.9 apresentam-se os custos com mão de obra, material e total, referente aos custos da fundação juntamente com a superestrutura (estrutura global). O modelo que sofreu redução das seções transversais das vigas e pilares apresentou o menor valor de custo com R\$ 656.917,77, enquanto que o modelo que não ocorreu a redução das seções transversais dos elementos obteve maior valor de custo com R\$ 669.087,21, o que representa uma economia de R\$ 12.169,44 (1,82%).

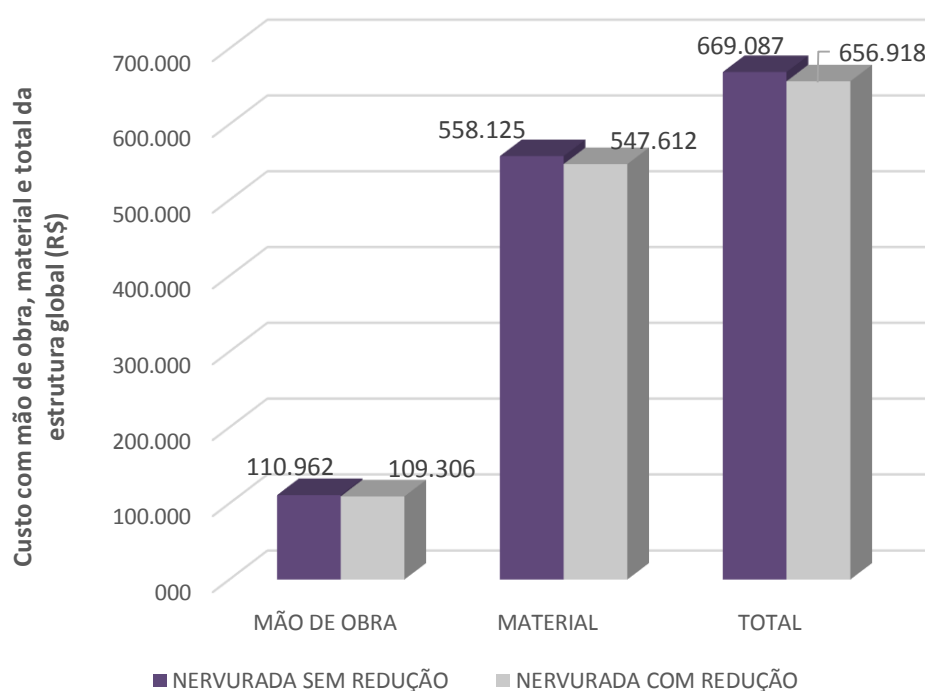


Figura 4.9 – Custo com mão de obra, material, e total da estrutura global para os sistemas sem redução e com redução das vigas e pilares.

Vale destacar que, esse resultado nos custos totais poderia ter apresentado uma maior diferença a medida que ocorre a implantação de um novo pavimento, ou seja, edifícios mais altos tendem a apresentar maiores diferenças dos custos entre os sistemas, quando ocorre a redução dos elementos estruturais.

4.1.1.3 Terceira etapa: Estudo comparativo dos sistemas de lajes nervuradas (sistema convencional) e de lajes nervuradas lisas

Após a análise dos sistemas convencionais com lajes nervuradas apresentados anteriormente, pode-se destacar uma economia no sistema estrutural em que ocorreu a redução das seções transversais das vigas e pilares em termos do custo total da estrutura global. Portanto, nesta terceira etapa, o sistema de laje nervurada que será comparado com o sistema de lajes nervuradas lisas, se refere ao sistema estrutural de laje nervurada com redução de vigas e pilares.

4.1.1.3.1 Estudo comparativo da fundação

Com relação aos custos na fundação, a Figura 4.10 apresenta o custo com fôrma, concreto e armadura para os dois modelos estruturais analisados. A fundação projetada no sistema convencional de lajes nervuradas com enchimento reaproveitável de caixote de polipropileno apresentou o maior valor de custo apenas na fôrma com R\$ 5.201,76. Enquanto que a o sistema estrutural de lajes nervuradas lisas obteve os maiores valores de custo tanto para o concreto, quanto para a armadura, representando aumento de 0,73% (R\$ 118,70) e 4,14% (R\$ 581,82), respectivamente.

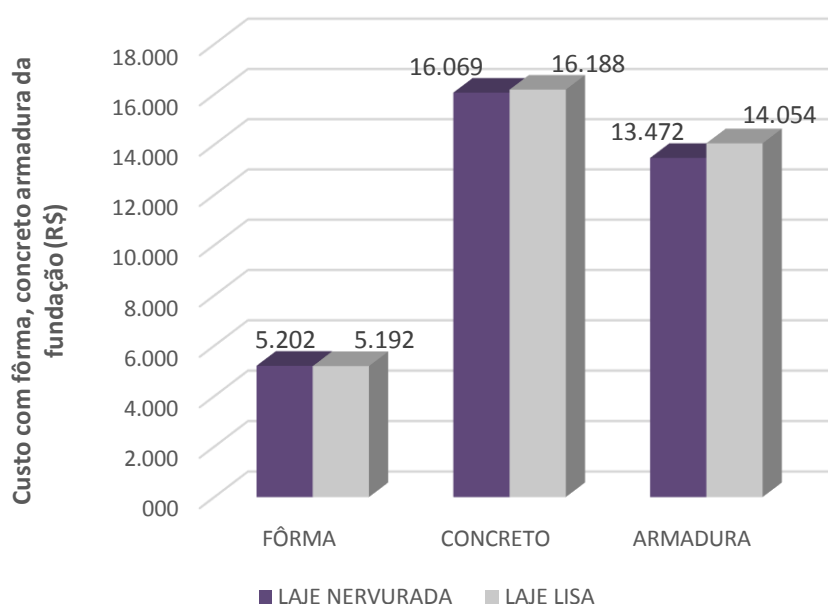


Figura 4.10 – Custo com fôrma, concreto e armadura da fundação referente ao Estudo de Caso 1.

Na Figura 4.11, têm-se os valores de custos de mão de obra, material e total das fundações para os modelos estruturais estudados. As reduções dos consumos de concreto e armadura do sistema convencional de lajes nervuradas implicam em reduções de custos tanto

de materiais quanto da mão de obra. Observa-se que a fundação executada no sistema convencional de lajes nervuradas, apresenta uma economia de apenas 1,95% (R\$ 691,20) em relação ao sistema de lajes nervuradas lisas, não ocorrendo grande diferença no custo com as fundações.

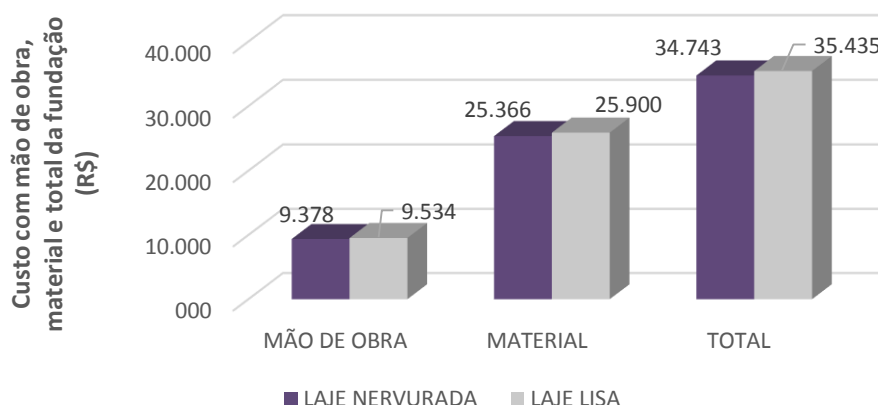


Figura 4.11 – Custo com mão de obra, material, e total da fundação referente ao Estudo de Caso 1.

4.1.1.3.2 Estudo comparativo da superestrutura

Com relação aos percentuais de materiais (fôrmas, concreto e armadura) nos elementos da superestrutura (lajes, vigas e pilares), as figuras 4.12, 4.13 e 4.14 ilustram detalhadamente esses resultados para os dois sistemas em análise.

Nestas figuras estão destacadas as mudanças ocorridas nos percentuais dos materiais após a eliminação das vigas internas, onde são verificadas maiores diferenças entre as vigas e lajes. O sistema de lajes nervuradas lisas apresenta um aumento dos materiais nos elementos lajes e pilares, por outro lado expõem uma significativa redução dos materiais nas vigas.

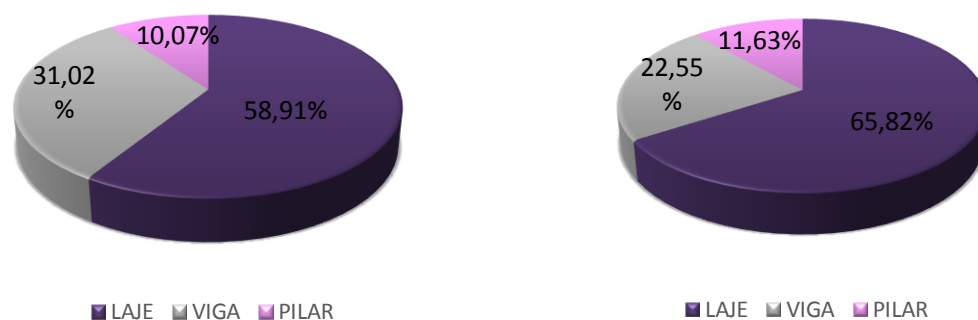


Figura 4.12 – Percentual de fôrmas por elemento da superestrutura. (a) lajes nervuradas (sistema convencional) e (b) lajes nervuradas lisas.

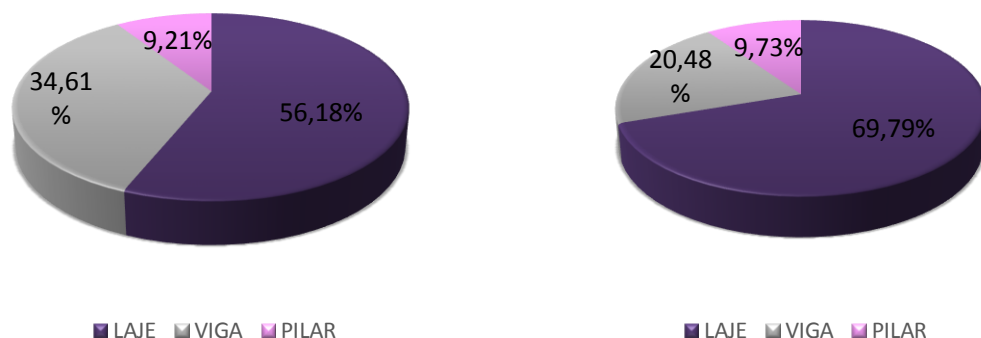


Figura 4.13 – Percentual de concreto por elemento da superestrutura. (a) lajes nervuradas (sistema convencional) e (b) lajes nervuradas lisas.

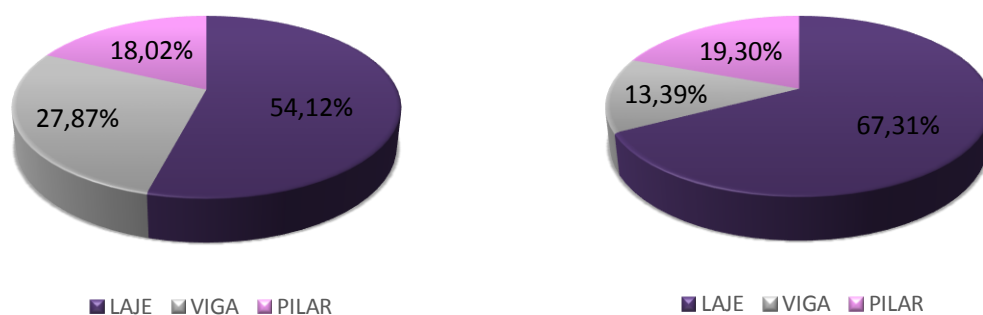


Figura 4.14 – Percentual de armadura por elemento da superestrutura. (a) lajes nervuradas (sistema convencional) e (b) lajes nervuradas lisas.

Após uma análise detalhada por elementos dos percentuais de materiais, será realizada uma análise quanto ao custo da superestrutura. Pode-se observar por meio de barras na Figura 4.15 que o sistema estrutural de lajes nervuradas lisas, com a retirada das vigas internas, apresentou uma significativa redução na quantidade de fôrmas 11,89% (R\$ 20.636,36), enquanto que o concreto e armadura apresentaram aumento de 0,50 % (R\$ 981,25) e 3,38 (R\$ 8.896,10) respectivamente. Destaca-se que a redução na quantidade de fôrmas provavelmente seja um dos fatores para as lajes lisas se tornarem um sistema estrutural mais econômico.

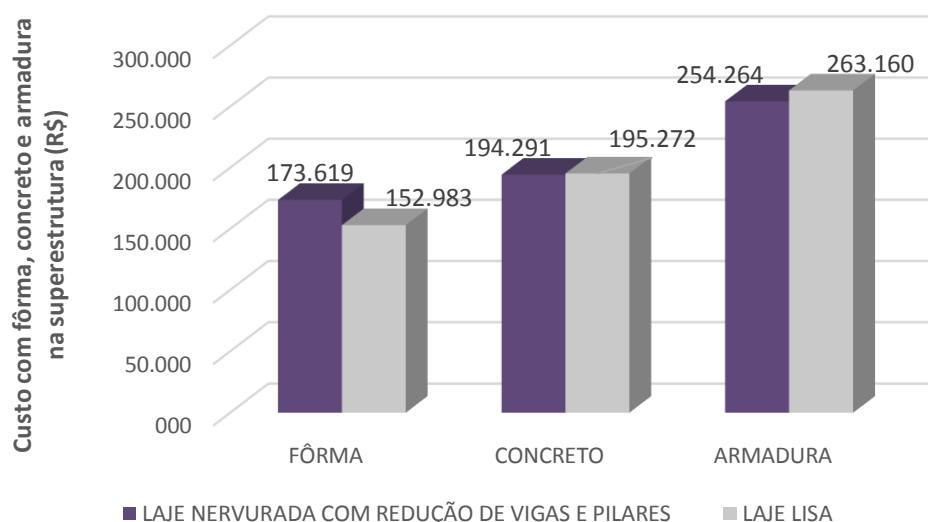


Figura 4.15 – Custo com fôrma, concreto e armadura da superestrutura referente ao Estudo de Caso 1.

A partir dos percentuais apresentados anteriormente e os respectivos custos dos materiais, a Figura 4.16 expressa os custos com mão de obra, material e total da superestrutura para ambos os sistemas analisados. A superestrutura que foi projetada no sistema convencional de lajes nervurada apresentou o maior valor de custo com R\$ 622.174,34, enquanto que a dimensionada com a laje lisa obteve o menor valor de custo com R\$ 611.415,33, o que representa uma economia de R\$ 10.759,01 (1,73%).

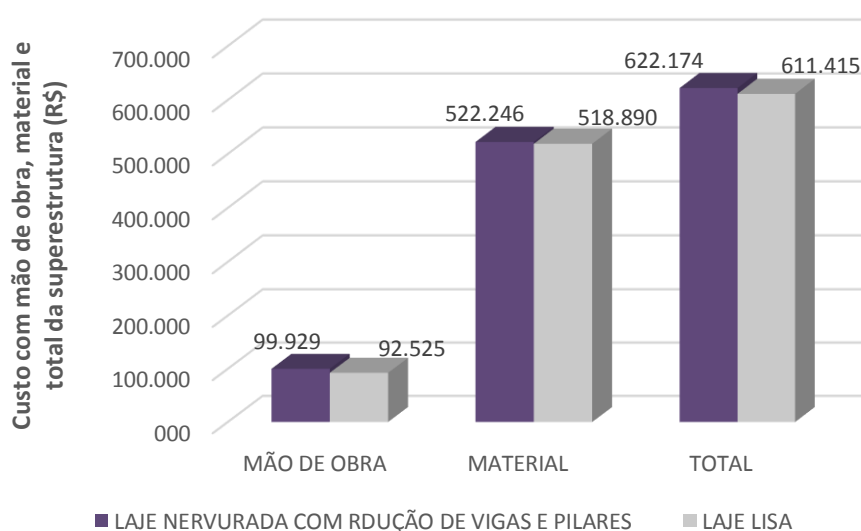


Figura 4.16 – Custo com mão de obra, material, e total da superestrutura referente ao Estudo de Caso 1.

4.1.1.3.3 Estudo comparativo da estrutura global do edifício

Na Figura 4.17 é possível observar por meio de barras a distribuição dos custos com materiais dos modelos estudados. Embora o sistema de lajes nervuradas lisas apresente maiores custos em concreto e armadura 0,52% (R\$ 1.099,95) e 3,42% (R\$ 9.477,92), quando comparado com sistema convencional de lajes nervuradas, este sistema apresentou uma significativa redução na quantidade de fôrmas com uma diferença de R\$ 20.645,70 equivalente a uma redução de 11,55%.

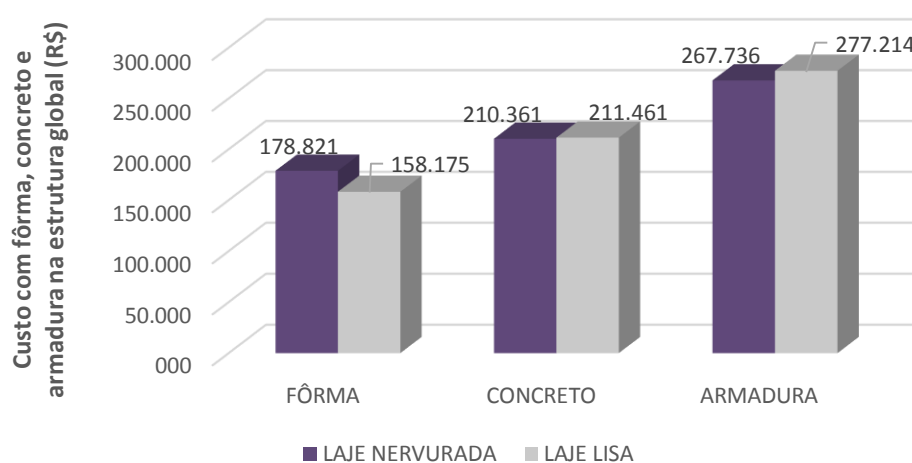


Figura 4.17 – Custo com mão de obra, material, e total da estrutura global referente ao Estudo de Caso 1.

Comparando os dois sistemas estudados, na Figura 4.18 é possível observar que o sistema convencional de lajes nervuradas apresenta os maiores resultados para mão de obra e material, portanto este sistema apresenta um custo total superior ao sistema de lajes lisas com um aumento de 1,53% (R\$ 10.067,82).

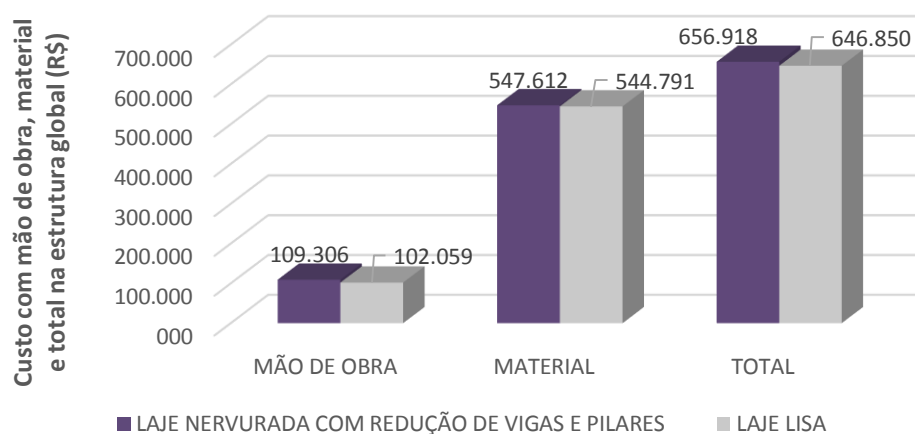


Figura 4.18 – Custo com mão de obra, material, e total da estrutura global referente ao Estudo de Caso 1.

4.1.2 Estudo de Caso 2

4.1.2.1 Estudo comparativo da Fundação

Em termos de custo com os materiais da fundação, a Figura 4.19 expressa esses valores através do gráfico de barras. Observa-se que a o sistema estrutural com laje lisa obteve o maior custo com fôrma, concreto e armadura.

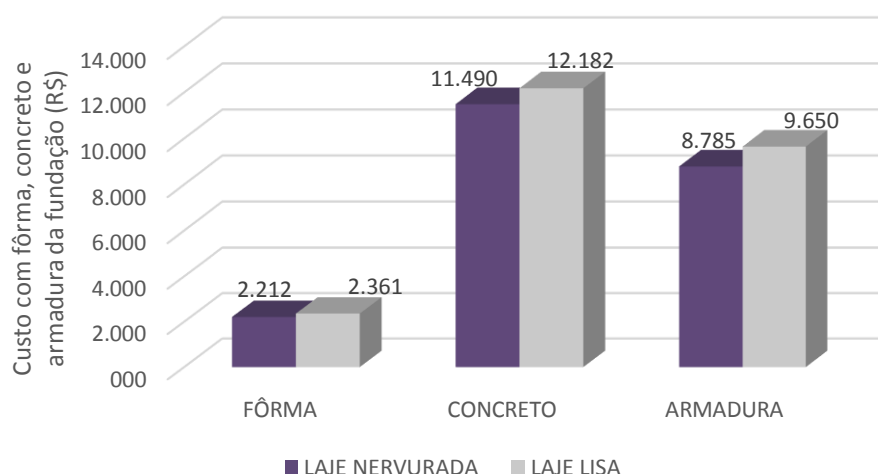


Figura 4.19 – Custo com mão de obra, material, e total da fundação referente ao Estudo de Caso 2.

Analisando em termos de mão de obra e material na fundação, na Figura 4.20 verifica-se que quando empregado o sistema convencional de lajes nervuradas a fundação apresenta reduções tanto na mão de obra quanto no material de 7,16% (R\$ 430,51) e 7,02% (R\$ 1.275,81) respectivamente, com uma economia total na fundação para lajes nervuradas (sistema convencional) de 7,05% (R\$ 1.346,32) em relação a lajes nervuradas lisas.

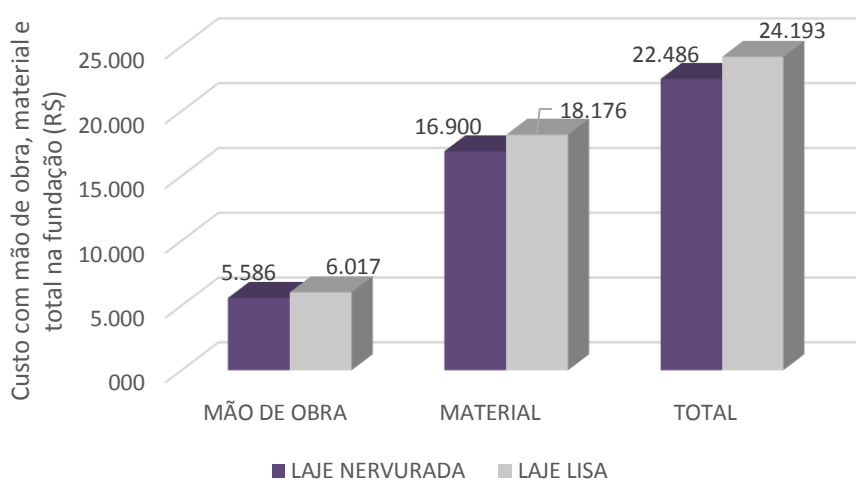


Figura 4.20 – Custo com mão de obra, material, e total na fundação referente ao Estudo de Caso 2.

4.1.2.1 Estudo comparativo da Superestrutura

Nas Figuras 4.21, 4.22 e 4.23 pode-se analisar os percentuais de fôrma, concreto e armadura separadamente dos elementos estruturais que compõem a superestrutura para o sistema convencional de lajes nervuradas e o sistema de lajes nervuradas lisas, respectivamente.

Pode-se destacar um maior percentual de fôrma nas lajes e nos pilares do sistema de lajes nervuradas lisas, ou seja, a medida que vai sendo retirada as vigas internas ocorre uma eliminação das fôrmas que estavam nas vigas e uma distribuição dessas fôrmas nas lajes e nos pilares.

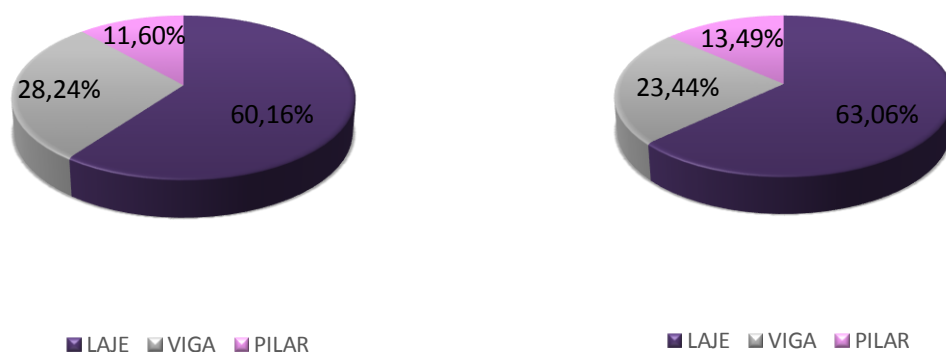


Figura 4.21 – Percentual de fôrmas por elemento da superestrutura. (a) lajes nervuradas (sistema convencional) e (b) lajes nervuradas lisas.

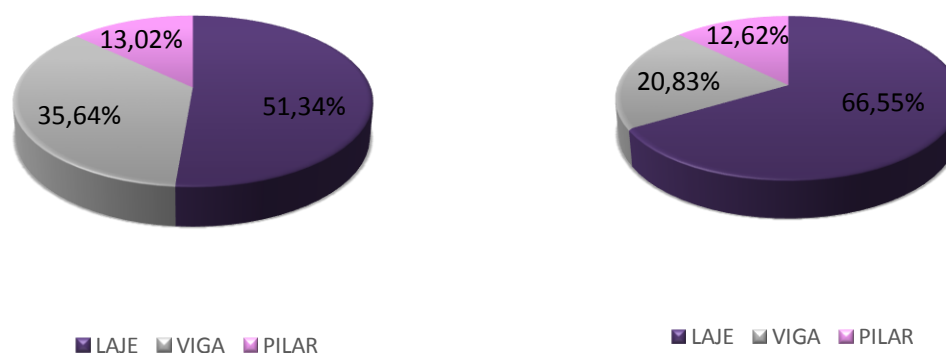


Figura 4.22 – Percentual de concreto por elemento da superestrutura. (a) lajes nervuradas (sistema convencional) e (b) lajes nervuradas lisas.

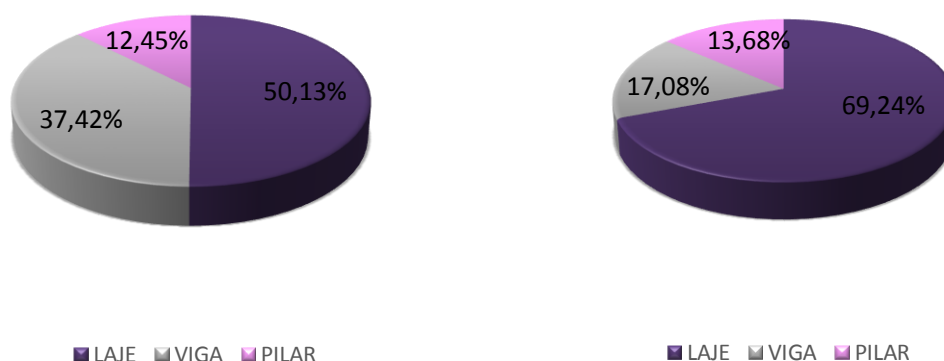


Figura 4.23 – Percentual de armadura por elemento da superestrutura. (a) lajes nervuradas (sistema convencional) e (b) lajes nervuradas lisas.

Com relação ao custo dos materiais, verifica-se na Figura 4.24 um aumento de 8,90% (R\$ 7.819,86) na quantidade de fôrmas para o sistema convencional de lajes nervuradas, entretanto, esse sistema sofre uma redução de 9,61% (R\$ 10.196,47) no volume de concreto e 10,41% (R\$ 20.787,42) na armadura em relação ao sistema de lajes nervuradas lisas.

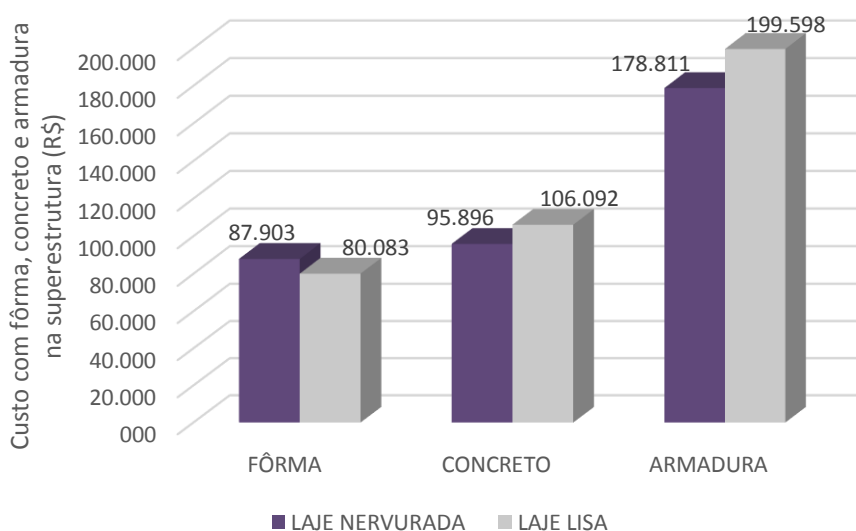


Figura 4.24 – Custo com mão de obra, material, e total da superestrutura referente ao Estudo de Caso 2.

Observa-se na Figura 4.25 que embora o sistema convencional de lajes nervuradas apresente um aumento no custo com a mão de obra em relação ao sistema de lajes nervuradas lisas na superestrutura, ocorre uma redução significativa no custo com material de 7,42% (R\$ 24.083,92), totalizando uma economia de 6,00% (R\$ 23.164,04) para o sistema convencional de lajes nervuradas, como mostra a Figura 4.25.

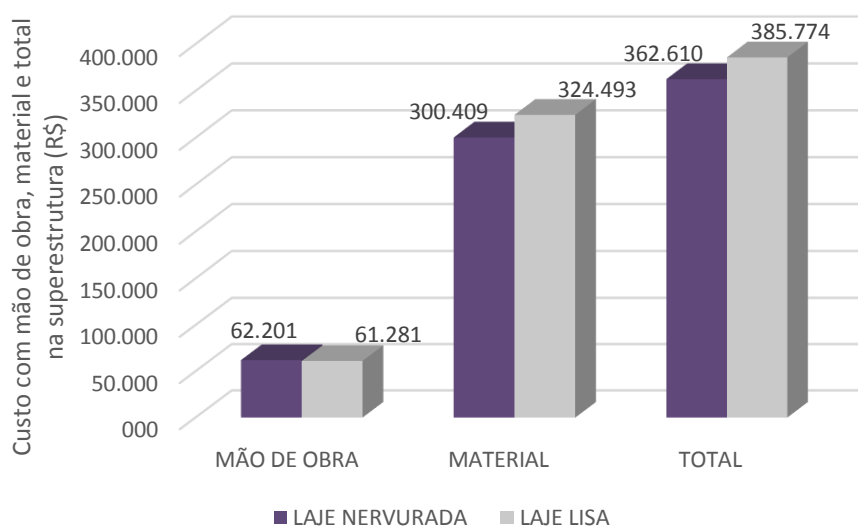


Figura 4.25 – Custo com mão de obra, material, e total da superestrutura referente ao estudo de caso 2.

4.1.2.1 Estudo comparativo da estrutura global do edifício

Com relação aos custos dos materiais da estrutura global do edifício, a Figura 4.26 ilustra por meio de barras uma maior disparidade no custo da armadura para os sistemas de lajes nervuradas lisas, apresentando uma economia de 10,35% (R\$ 21.652,13) se utilizado o sistema convencional de lajes nervuradas.

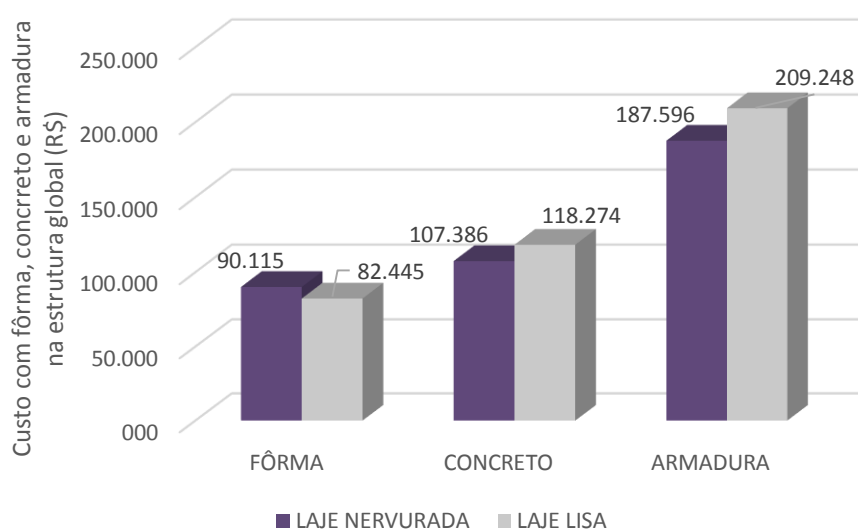


Figura 4.26 – Custo com mão de obra, material, e total da estrutura global referente ao estudo de caso 2.

Após as análises isoladamente, a Figura 4.27 apresenta uma comparação do custo total da estrutura do sistema convencional de lajes nervuradas e do sistema de lajes nervuradas lisas. Observa-se que o sistema convencional de lajes nervuradas apresentou um menor valor de custo total quando comparado com o sistema de lajes lisas, o que representa uma economia de R\$ 24.870,36 (6,07%) no custo total da obra.

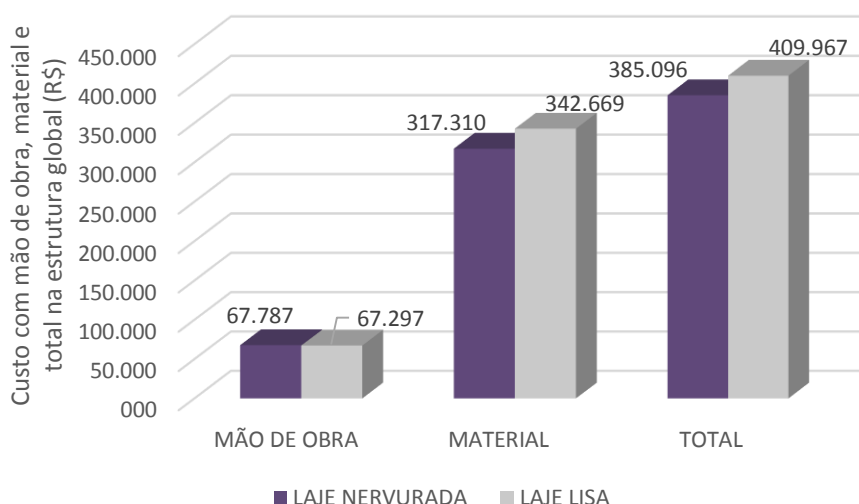


Figura 4.27 – Custo com mão de obra, material, e total da estrutura global referente ao Estudo de Caso 2.

4.2 Análise Estrutural

4.2.1 Estudo de Caso 1

A Tabela 4.5 mostra os valores de espessura das flechas total e admissível para a laje mais solicitada do pavimento tipo, a qual está representada pela laje N22 (sistema convencional com lajes nervuradas) e entre os pilares P32 e P33 (sistema de lajes lisas) nas plantas de fôrmas apresentadas no anexo A.2 desse trabalho.

Tabela 4.5 – Espessura, flechas totais e admissíveis referentes ao Estudo de Caso 1

Sistema Construtivo	Espessura da laje (cm)	Flecha Total (mm)	Flecha Admissível (mm)
Laje Nervurada (sistema convencional)	20	15,62	20
Laje Nervurada Lisa	20	27,40	31,2

As flechas totais foram calculadas a partir das flechas imediatas obtidas no guia isovalores do programa CYPECAD, considerando um coeficiente de fluência igual a 1,46, ou seja, considera-se que o carregamento de longa duração iniciar-se-á após 0,5 mês, conforme a Tabela 17.1 do item da NBR 6118/2014.

Observa-se na Tabela 4.5 que os dois sistemas de lajes apresentam flecha total inferior a flecha admissível, não sendo necessário a realização de contraflechas ou modificações nos elementos estruturais. As figuras 4.28 e 4.29 ilustram os isovalores para o Sistema Convencional de Lajes Nervuradas e o Sistema de Lajes Nervuradas Lisas, respectivamente.

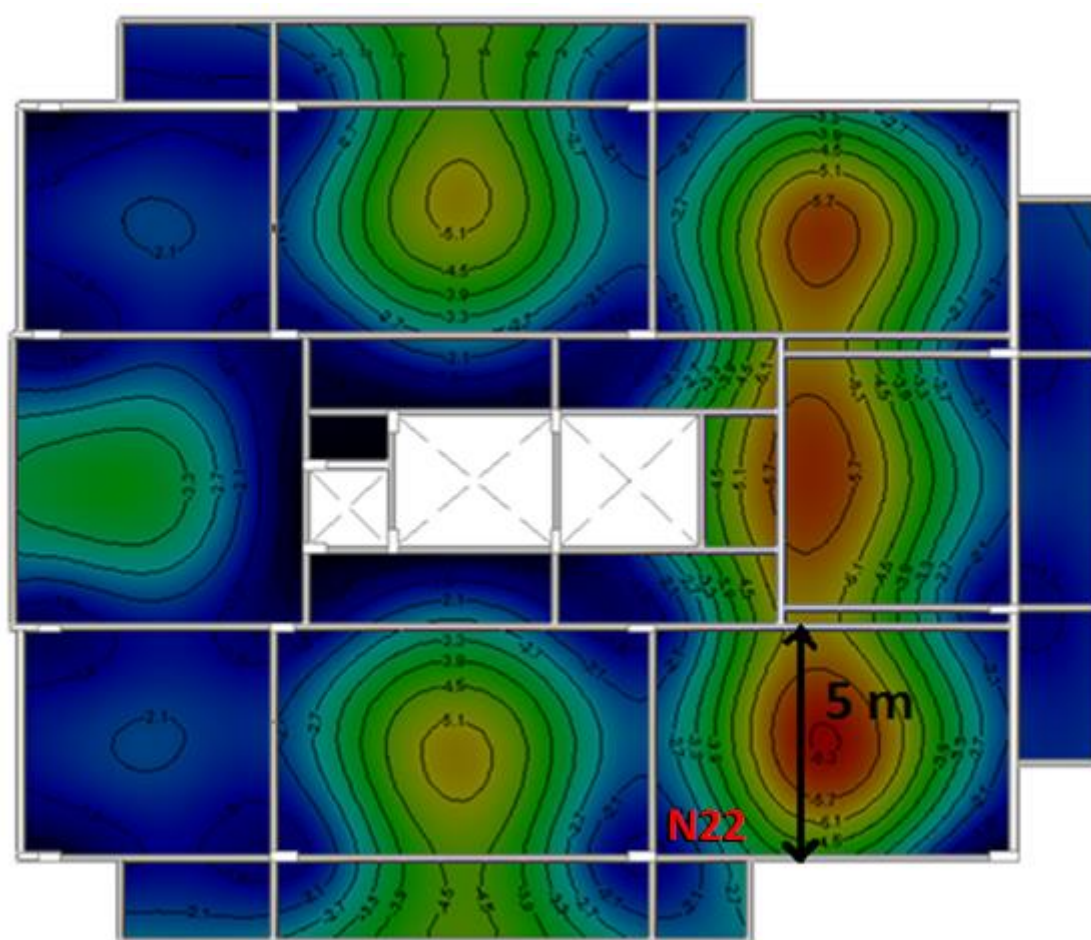


Figura 4.28 – Isovalores de deslocamentos verticais em mm das lajes nervuradas (sistema convencional) referentes ao pavimento tipo do Estudo de Caso 1.

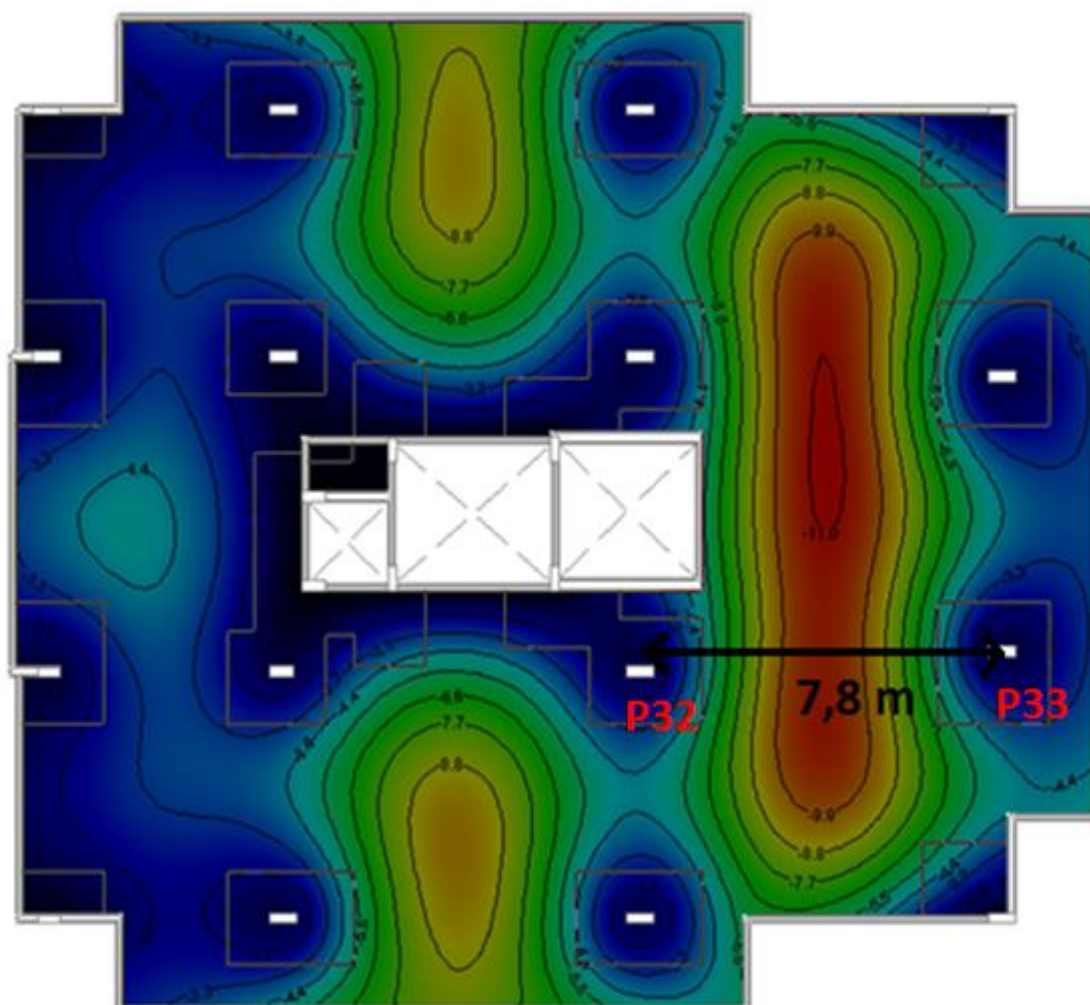


Figura 4.29 – Isovalores de deslocamentos verticais em mm das lajes nervuradas lisas referente ao pavimento tipo do Estudo de Caso 1.

Na Tabela 4.6 encontram-se os valores de momentos fletores máximos positivos e negativos. Para a laje nervurada no sistema convencional (Figuras 4.30 e 4.31), os valores dos momentos fletores máximos em análise foram extraídos na laje mais solicitada do pavimento tipo, que corresponde a N22, na direção x, pois apresentou maiores valores quando comparado com a direção y. Sendo essas direções consideradas no plano cartesiano.

No sistema estrutural com lajes nervuradas lisas (Figuras 4.32 e 4.33), os resultados foram extraídos no trecho em destaque entre os pilares P32 e P33, verificando o aumento considerável do momento fletor negativo na região próximo ao pilar.

O sistema de lajes nervuradas lisas apresentou um aumento tanto no momento fletor positivo (57,83%), quanto no momento fletor negativo (64,03%) em relação a laje nervurada.

Tabela 4.6 – Momentos fletores máximos positivos e negativos, referentes ao Estudo de Caso 1

Sistema Construtivo	Momento fletor máximo positivo (KN.m/m)	Momento fletor máximo negativo (KN.m/m)
Laje Nervurada (sistema convencional)	15,51	21,72
Laje Nervurada Lisa	36,78	60,39

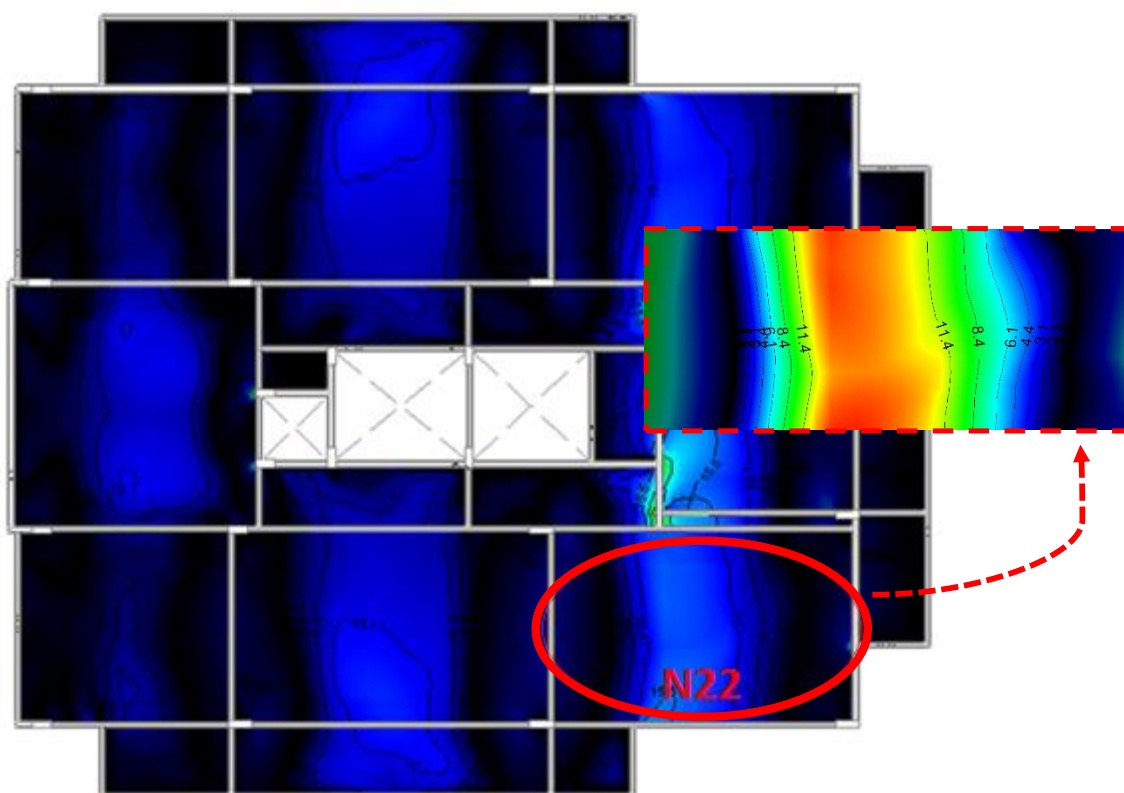


Figura 4.30 – Momento Fletor máximo positivo em KN.m/m na laje nervurada (sistema convencional), referente ao pavimento tipo do Estudo de Caso 1.

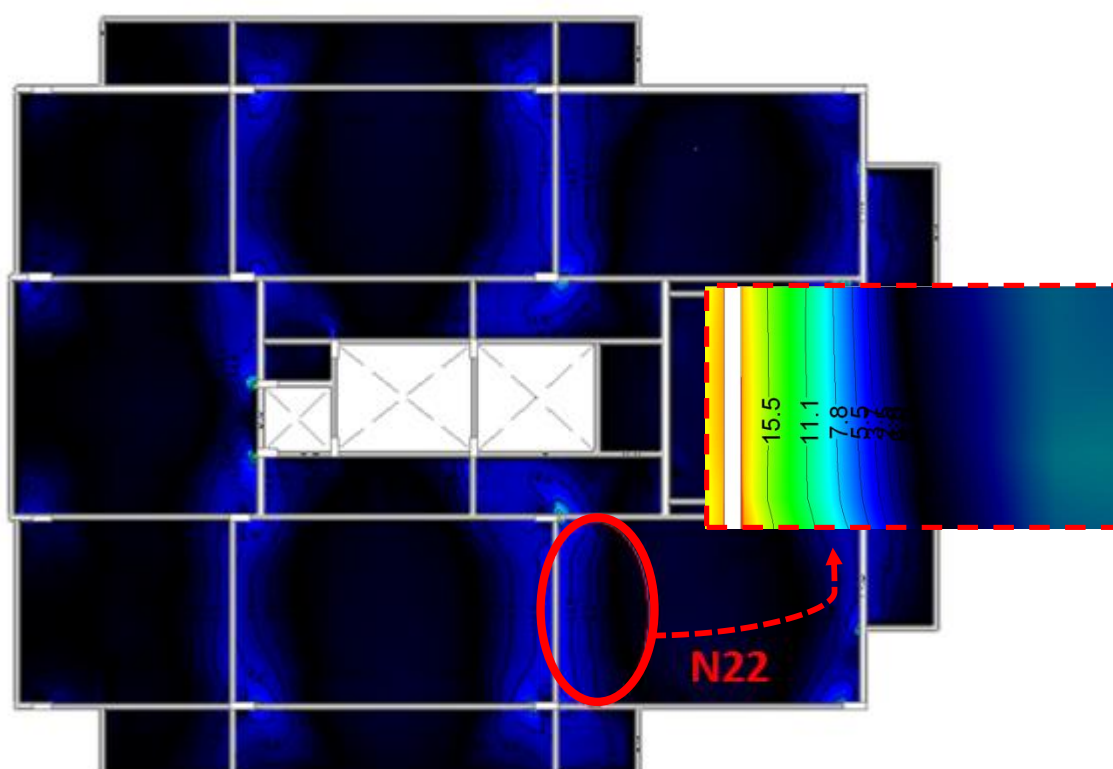


Figura 4.31 – Momento fletor máximo negativo em KN.m/m na laje nervurada (sistema convencional), referente ao pavimento tipo do Estudo de Caso 1.

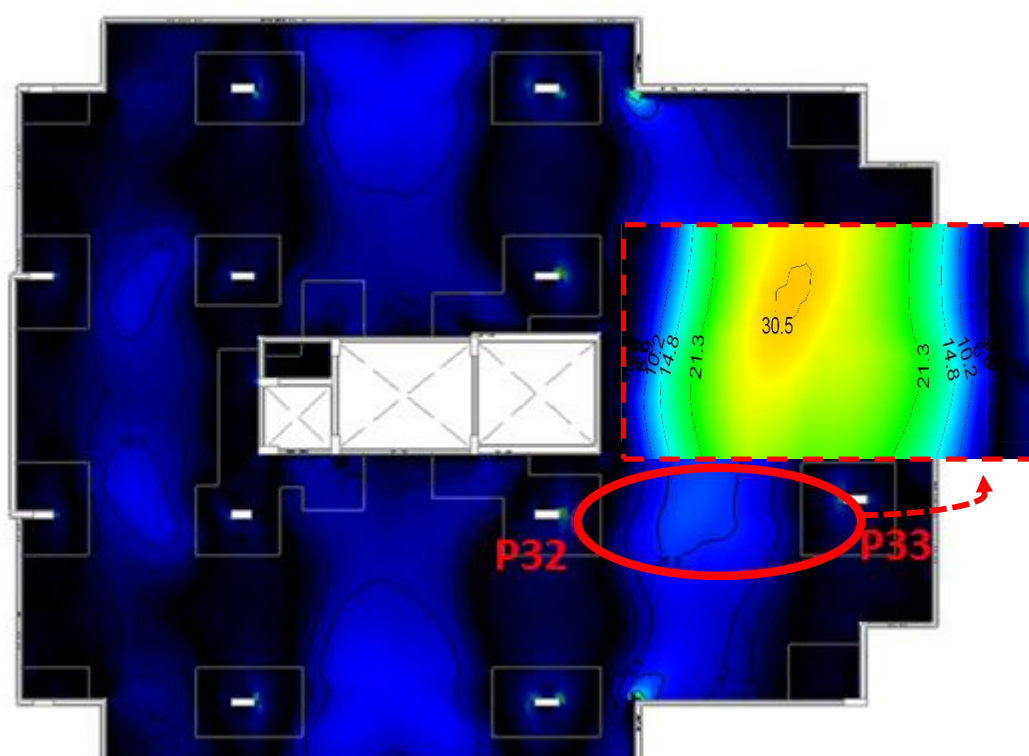


Figura 4.32 – Momento fletor máximo positivo em KN.m/m na laje nervurada lisa, referente ao pavimento tipo do Estudo de Caso 1.

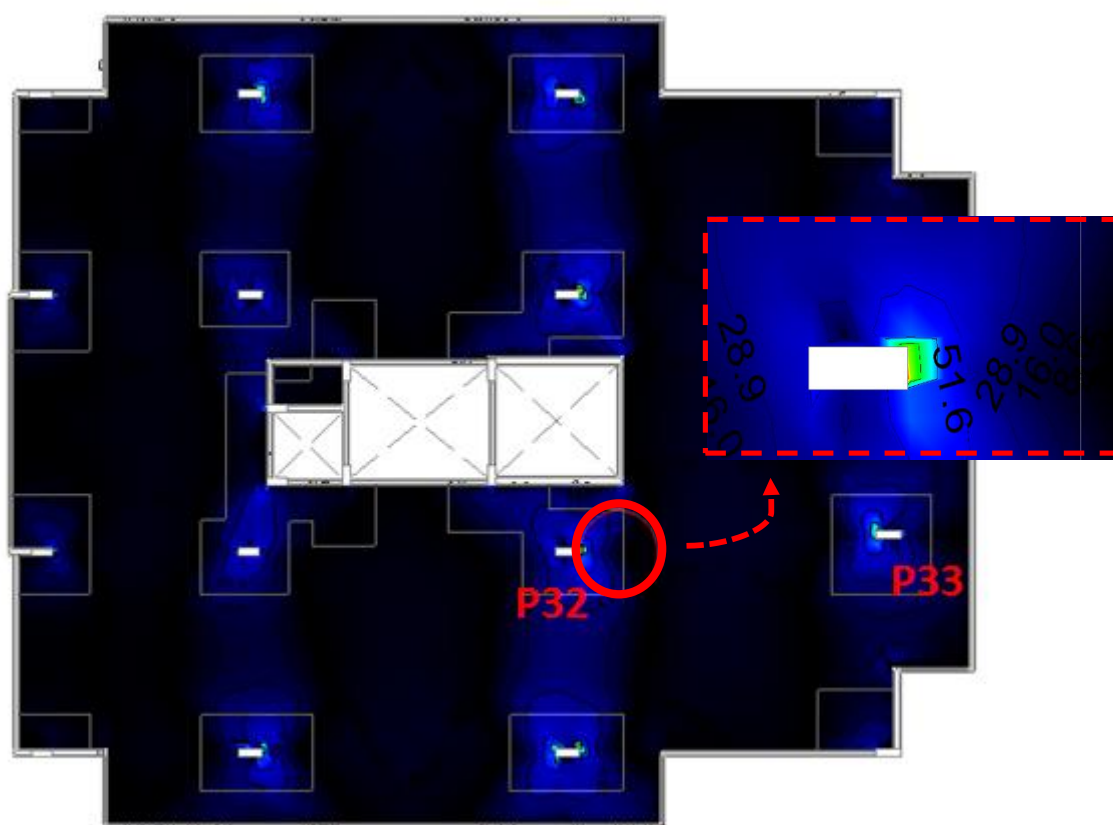


Figura 4.33 – Momento fletor máximo negativo em KN.m/m na laje nervurada lisa, referente ao pavimento tipo do Estudo de Caso 1.

4.2.2 Estudo de Caso 2

A Tabela 4.7 mostra os valores de espessura das flechas total e admissível para a laje mais solicitada do pavimento tipo, a qual está representada pela laje N6 (sistema convencional com lajes nervuradas) e entre os pilares P17 e P18 (sistema de lajes lisas) nas plantas de fôrmas apresentadas no anexo B.1 desse trabalho.

Tabela 4.7 – Espessuras, flechas totais e admissíveis, referentes ao Estudo de Caso 2

Sistema Construtivo	Espessura da laje (cm)	Flecha Total (mm)	Flecha Admissível (mm)
Laje Nervurada (sistema convencional)	20	26,9	22,9
Laje Nervurada Lisa	23	56,8	40,4

Na Tabela 4.7, para o Estudo de Caso 2, observa-se que a flecha total da laje N6 no sistema de laje nervurada encontra-se acima do limite de flecha admissível e, segundo a tabela 13.3 do item 13.3 da NBR 6118/2014, para suprir essa deformação pode ser aplicada uma contraflecha máxima de:

$$a_{cf.max} = \frac{l}{350} = \frac{5725 \text{ mm}}{350} = 16,36 \text{ mm} \quad (4.1)$$

Sendo assim, no sistema estrutural de laje nervurada (sistema convencional), a contraflecha de 4 mm (26,9 mm – 22,9 mm) necessária para atender a situação de deformação excessiva é menor que a contraflecha máxima permitida de 16,36 mm, ou seja, atende aos requisitos da NBR 6118/2014.

No sistema estrutural de laje nervurada lisa, entre os pilares P17 e P18, podemos observar que a flecha total apresenta um valor superior a flecha admissível, porém, pode ser aplicada uma contraflecha máxima de:

$$a_{cf.max} = \frac{l}{350} = \frac{10100 \text{ mm}}{350} = 28,86 \text{ mm} \quad (4.2)$$

Portanto, para o sistema de laje nervurada lisa, a contraflecha de 16,4 mm (56,8 mm - 40,4 mm) necessária para atender a situação de deformação máxima excessiva é menor que a contraflecha máxima permitida de 28,86 mm, ou seja, também atende aos requisitos da NBR 6118/2014.

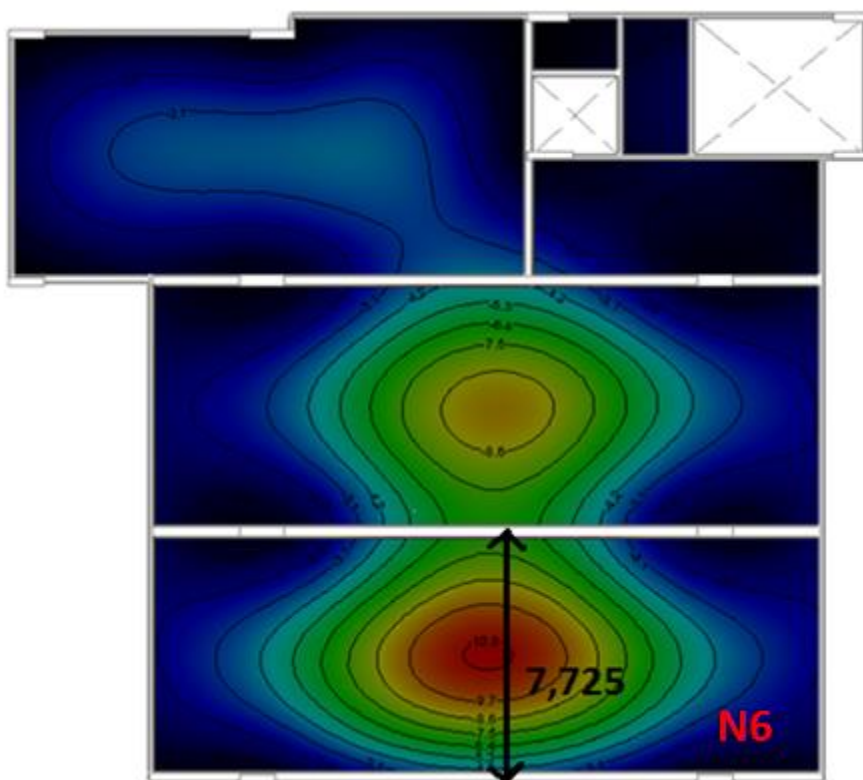


Figura 4.34 – Isovalores de deslocamentos verticais em mm das lajes nervuradas referente ao pavimento tipo do Estudo de Caso 2.

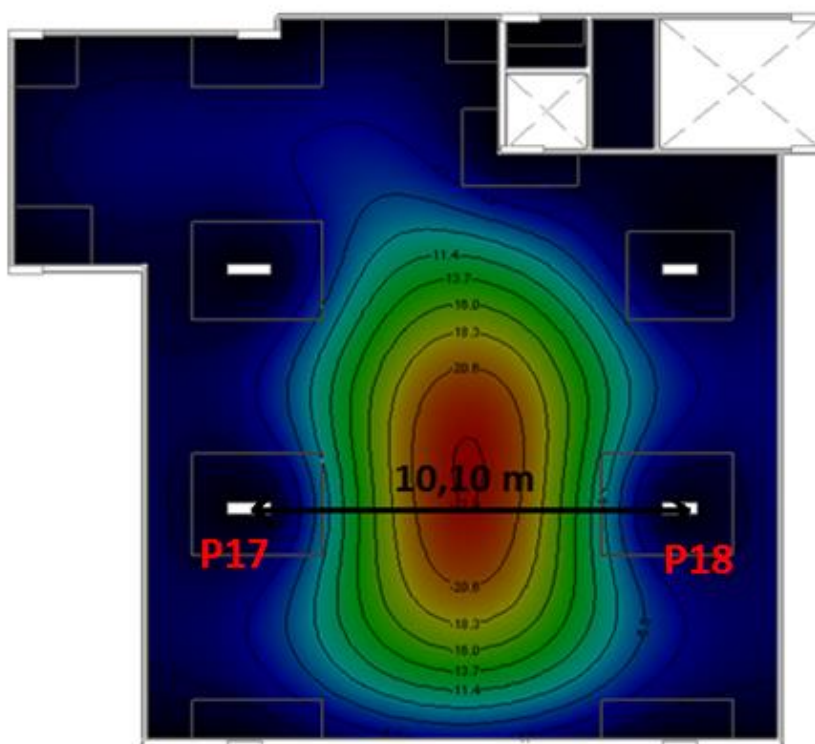


Figura 4.35 – Isovalores de deslocamentos verticais em mm da laje lisa referente ao pavimento tipo do Estudo de Caso 2.

Na Tabela 4.8 encontram-se os valores de momentos fletores máximos positivos e negativos, referentes ao Estudo de Caso 2. Para a laje nervurada do sistema convencional (Figuras 4.36 e 4.37), os valores dos momentos fletores máximos em análise foram extraídos na laje mais solicitada do pavimento tipo, que corresponde a N6, na direção y, pois apresentou maiores valores quando comparado com a direção x. Sendo essas direções consideradas no plano cartesiano.

No sistema estrutural de lajes nervuradas lisas (Figuras 4.39 e 4.39), os resultados foram extraídos no trecho em destaque entre os pilares P17 e P18, verificando o aumento considerável do momento fletor negativo na região próxima ao pilar.

Tabela 4.8 – Momentos fletores máximos (positivos e negativos), referentes ao Estudo de Caso 2

Sistema Construtivo	Momento fletor máximo positivo (KN.m/m)	Momento fletor máximo negativo (KN.m/m)
Laje Nervurada (sistema convencional)	33,41	56,49
Laje Nervurada Lisa	57,35	108,6

O sistema de lajes nervuradas lisas apresentou um aumento tanto no momento fletor positivo (41,74%), quanto no momento fletor negativo (47,98%) em relação ao sistema convencional de lajes nervuradas.

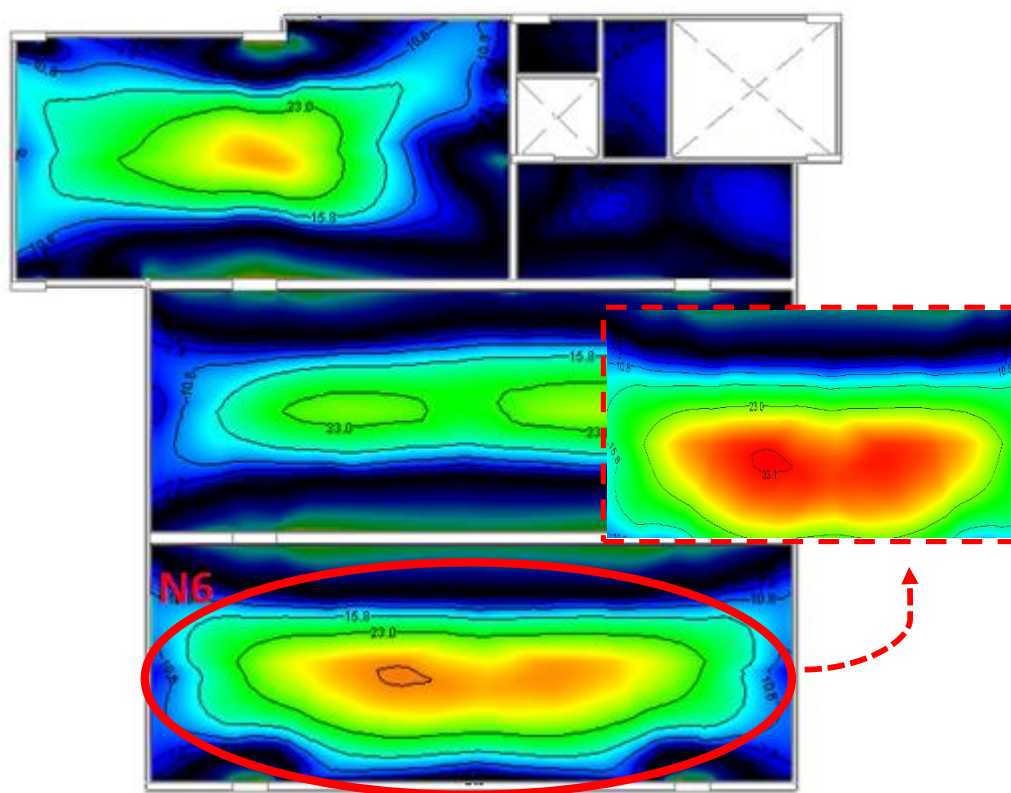


Figura 4.36 – Momento Fletor máximo positivo em KN.m/m na laje nervurada (sistema convencional), referente ao Estudo de Caso 2.

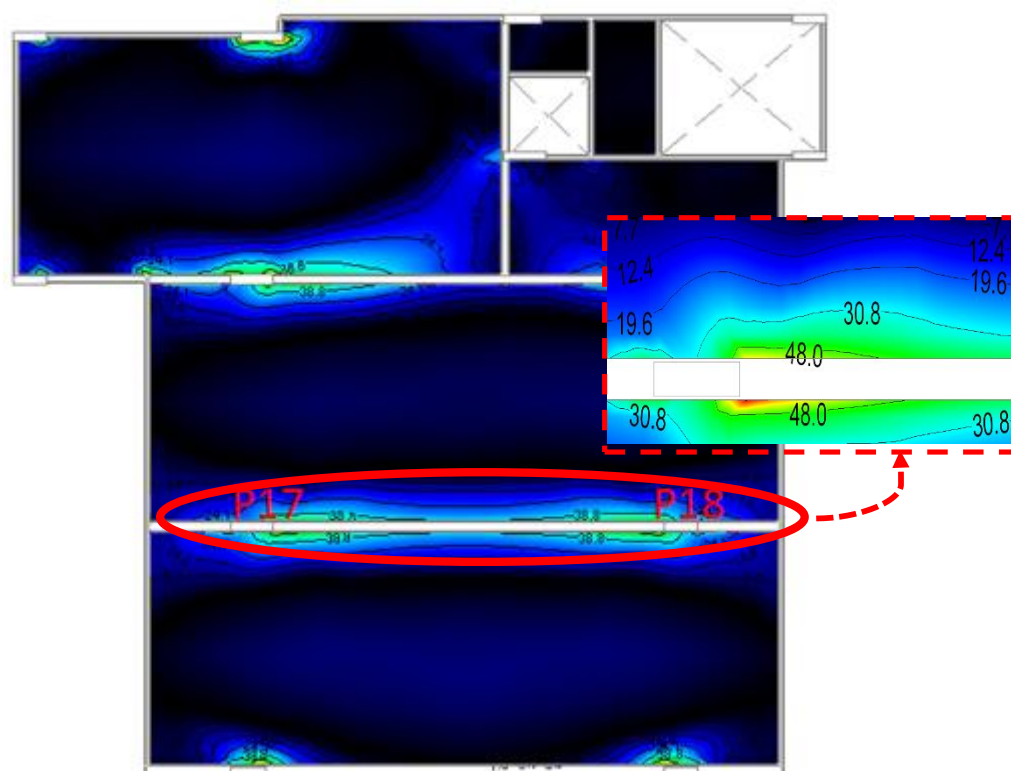


Figura 4.37 – Momento Fletor máximo negativo em KN.m/m na laje nervurada (sistema convencional), referente ao Estudo de Caso 2.

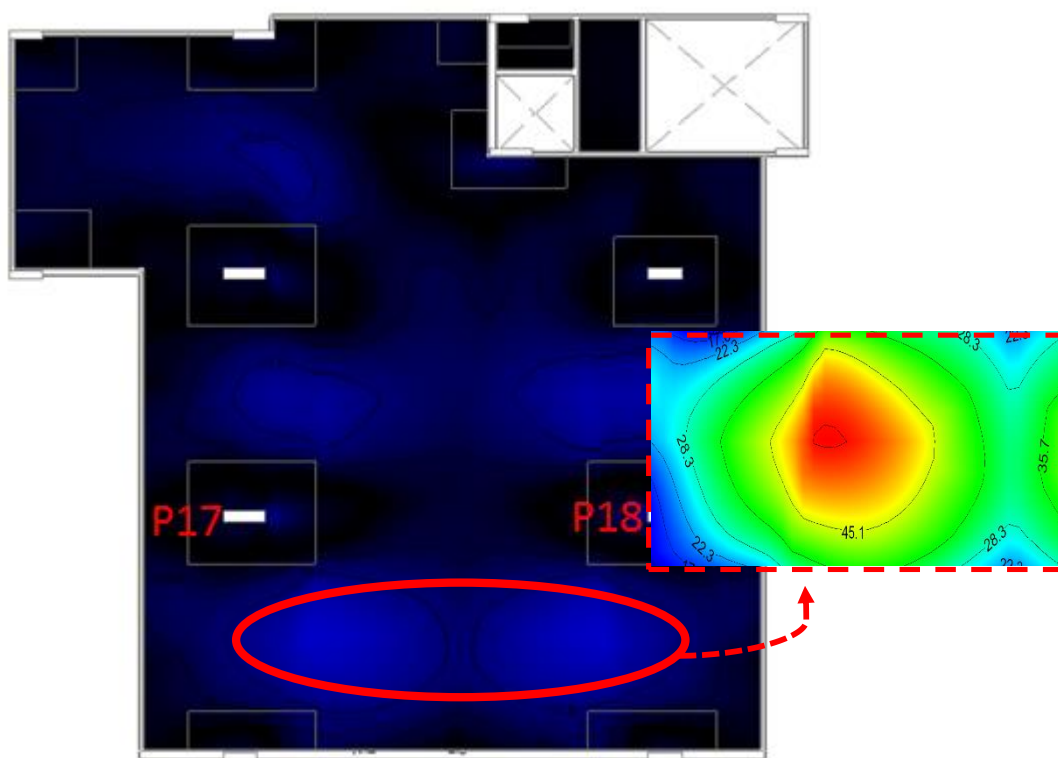


Figura 4.38 – Momento Fletor máximo positivo em KN.m/m na laje nervurada lisa, referente ao Estudo de Caso 2.

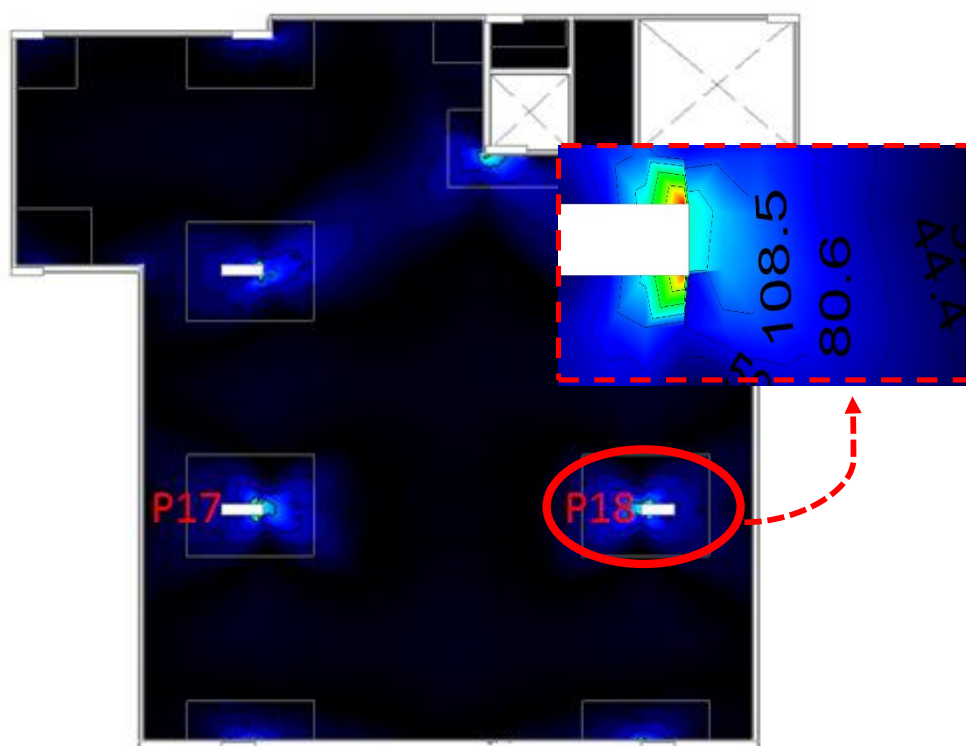


Figura 4.39 – Momento Fletor máximo negativo em KN.m/m na laje nervurada lisa, referente ao Estudo de Caso 2.

5. CONCLUSÕES

5.1 Conclusões

Os avanços tecnológicos em diversas áreas trazem progressos para a sociedade, muitas vezes representadas na forma de otimização de processos ou redução de custos. Na construção civil não poderia ser diferente, onde muitos processos construtivos estão em constante evolução.

No entanto, percebe-se a falta de dados consistentes que forneçam parâmetros para os profissionais da construção civil. Situação que dificulta a tomada de decisão pelo sistema estrutural a ser empregado numa determinada obra.

Na análise do sistema convencional de lajes nervuradas (segunda etapa do Estudo de Caso 1), observou-se que após a redução das seções transversais das vigas e pilares a fundação apresentou um aumento de 6,56% em relação ao sistema que não sofreu modificações, possivelmente esses resultados foram obtidos devido ao aumento da tensão provocada pela redução da seção dos pilares. Porém após a comparação global da estrutura, este sistema apresentou uma economia total de R\$ 12.169,44 (1,82%). No Estudo de Caso 1, foi eliminada uma grande quantidade de vigas internas para a implantação do sistema estrutural de lajes lisas e com isso ocorreu uma grande redução 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, ocorreu a eliminação de poucas vigas internas, porém em posições importantes, sendo estas responsáveis pela absorção dos esforços transmitidos pelas lajes, com isso, para suprir a necessidade de absorção dos esforços, resultou na implantação de maciços com grandes dimensões. Outro fator relevante é o aumento na espessura da laje devido ao punção, nesse caso, após a retirada das vigas, fez-se necessário o aumento na espessura da laje, contribuindo para o aumento final do custo no sistema de laje lisa. Isto proporcionou um melhor resultado em termos de custo para o sistema convencional de lajes nervuradas, apresentando uma economia de R\$ 24.870,36 (6,07%) em relação ao sistema de lajes nervuradas lisas.

A partir dos estudos de casos analisados, verificou-se que dependendo da quantidade de vigas a serem retiradas e do posicionamento dessas vigas no sistema convencional de lajes nervuradas para a implantação de um sistema estrutural de lajes lisas, será viável ou não a implantação deste sistema.

Vale salientar que a escolha de um sistema estrutural depende de um grande número de variáveis. Este estudo não tem a intenção de apresentar resultados válidos para todos os tipos de obras, mas serve como parâmetro para auxiliar na escolha de uma tipologia estrutural, visto que os resultados apresentados valem como estimativa de valores para obras com as mesmas peculiaridades.

5.2 Proposta para Trabalhos Futuros

Por último sugerem-se como temas de estudos para futuros trabalhos alguns assuntos relacionados com a abordagem adotada;

- Análise de pavimentos com outras geometrias;
- Redução nas dimensões dos maciços das lajes lisas;
- Análise comparativa do sistema convencional de lajes nervuradas com redução apenas das vigas.
- Análise comparativa dos sistemas de cimbramento para os sistemas estruturais estudados.
- Análise das estruturas, considerando os efeitos devido ao vento e ao sismo.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – NORMA BRASILEIRA. **Ações e segurança nas estruturas – Procedimento**, NBR 8681. ABNT, 2003, 18p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – NORMA BRASILEIRA. **Avaliação de custos unitários de construção para incorporação imobiliária e outras disposições para condomínios edilícios – Procedimento**, NBR 12721. ABNT, 2007, 99p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – NORMA BRASILEIRA. **Cargas para o cálculo das edificações**, NBR 6120. ABNT, 1980, 6p.

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

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

ALBUQUERQUE, A. T.; PINHEIRO, L. M. – **Viabilidade econômica de alternativas estruturais de concreto armado para edifícios**. Caderno de engenharia de estruturas, São Carlos, 2002.

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

ARAÚJO, J. M. **curso de concreto armado**. Rio grande, dunas, 2003. V.4, 2ª.ed.

ARAÚJO, A. da R. **Estudo Técnico comparativo entre pavimentos executados com lajes nervuradas e lajes convencionais**. 2008. 150 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Anhembí Morumbi, São Paulo.

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

BASTOS, P. S. S. **Fundamentos do Concreto Armado**. Bauru, Faculdade de Engenharia – UNESP, Departamento de engenharia Civil, 2006, 98p.

BAVARESCO, D. **Análise e dimensionamento de lajes lisas em concreto armado**. 2010. 84p. Trabalho de conclusão de curso (bacharel em engenharia civil) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá.

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

CARVALHO, R. C.; PINHEIRO, L. M. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado**. São Paulo, Ed. Pini, 1ª ed, 2009.

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

LOPES, A.F.O. **Estudo técnico comparativo entre lajes maciças e nervuradas com diferentes materiais de enchimento**. 2010. 131p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Civil) – Centro Acadêmico do Agreste, Universidade Federal de Pernambuco.

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

NOGUEIRA, D. J. L.; CASTRO, F. S. **sistemas estruturais de lajes parâmetros de escolhas da solução estrutural de lajes**. 2010. 133p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Belém, PA.

SILVA, A. R. da. **Análise comparativa de custos de sistemas estruturais para pavimentos de concreto armado**. 2002. 211 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

SILVA, M. A. F. da. **Projeto e construção de lajes nervuradas de concreto armado**. 2005. 242 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos.

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.

APÊNDICE

APÊNDICE A – Quantitativo e composição do custo total da superestrutura do modelo 1

A.1 – Sistema estrutural de laje nervurada sem redução de vigas e pilares, com atualização dos custos.

Quantitativo de materiais													
Superfície total: 3548,47 m ²				CA - 50 A (kg)							CA - 60 B (kg)		
Elemento	Formas (m ²)	Volume (m ³)	Barras (kg)	Ø5,0	Ø6,3	Ø8,0	Ø10	Ø12,5	Ø16,0	Ø20,0	Ø5,0	Ø6,0	Ø8,0
Lajes	3191,29	306,82	21215		4967	2621	3726	7368	1856	29	648		
Vigas: fundo	324,51	209,85	11739	217	194	2258	1673	2361	2608	34	1531	574	289
Forma lateral	1855,51												
Pilares (Sup, Formas)	729,1	56,54	6623				2581	428	830	1091	1387	306	
Total	6.100,41	573,21	39.577										
Índice (por m ²)	1,719	0,162	11,15										

Quantitativo de materiais		
Tela de aço CA-60 B para capa de concreto	4.723,109	kg
Caixote reaproveitável de polipropileno	7.051,000	unidades

Fôrmas pré- fabricada de chapa compensada considerando fabricação, montagem e desmontagem, com 5 aproveitamentos – unidade m²

Peça	Insumo	Unidade	Consumo unitário	Preço Unitário (R\$)	Consumo Total	Custo total (R\$)
PILARES	Ajudante de carpinteiro	h	0,140	7,16	102,074	730,85
	Carpinteiro	h	0,560	9,53	408,296	3.891,06
	Desmoldante de fôrmas para concreto	L	0,020	9,98	14,582	145,53
	Prego 17 x 27 com cabeça dupla (comprimento: 62,1 mm / diâmetro da cabeça: 3,0 mm)	kg	0,100	7,86	72,910	573,07
	Fôrma pré-fabricada de madeira com chapa compensada plastificada de 12 mm, inclusive travamento	m ²	0,240	74,37	174,984	13.013,56
VIGAS	Ajudante de carpinteiro	h	0,198	7,16	431,644	3.090,57
	Carpinteiro	h	0,792	9,53	1726,576	16.454,27
	Desmoldante de fôrmas para concreto	L	0,020	9,98	43,600	435,13
	Prego 17 x 27 com cabeça dupla (comprimento: 62,1 mm / diâmetro da cabeça: 3,0 mm)	kg	0,100	7,86	218,002	1.713,50

	Fôrma pré-fabricada de madeira com chapa compensada plastificada de 12 mm, inclusive travamento	m²	0,240	74,37	523,205	38.910,74
LAJES	Ajudante de carpinteiro	h	0,106	7,16	338,277	2.422,06
	Carpinteiro	h	0,424	9,53	1353,107	12.895,11
	Desmoldante de fôrmas para concreto	L	0,020	9,98	63,826	636,98
	Prego 17 x 27 com cabeça dupla (comprimento: 62,1 mm / diâmetro da cabeça: 3,0 mm)	kg	0,020	7,86	63,826	501,67
	Fôrma pré-fabricada de madeira de chapa compensada plastificada de 12 mm	m²	0,240	74,37	765,910	56.960,70

Fôrma permanente de polipropileno para lajes nervuradas – unidade: unidade

Insumo	unidade	Consumo unitário	Preço Unitário (R\$)	Consumo Total	Custo total (R\$)
Servente	h	0,030	7,18	211,530	1.518,79
Caixote reaproveitável de polipropileno	un.	1,000	58,00	7051,000	27.263,87

Armadura de aço para pilares, vigas e lajes, CA-60, aço cortado e dobrado na obra – unidade: Kg

Peça	Insumo	Bitola (mm)	Unidade	Consumo unitário	Preço Unitário (R\$)	Consumo Total	Custo total (R\$)
PILARES	Barra de aço CA-60	5,0	kg	1,000	4,07	1387,000	5.645,09
		6,0	kg	1,000	4,16	306,000	1.272,96
	Arame recozido Φ 1,25 mm / bitola: 18 BWG	1,25	kg	0,020	9,44	33,860	319,64
	Ajudante de armador	-	h	0,080	7,16	135,440	969,75
	Armador	-	h	0,080	9,53	135,440	1.290,74
VIGAS	Barra de aço CA-60	5,0	kg	1,000	4,07	1531,100	6.231,58
		6,0	kg	1,000	4,16	574,100	2.388,26
		8,0	kg	1,000	4,7	288,600	1.356,42
	Arame recozido Φ 1,25 mm / bitola: 18 BWG	1,25	kg	0,020	9,44	47,876	451,95
	Ajudante de armador	-	h	0,080	7,16	191,504	1.371,17
	Armador	-	h	0,080	9,53	191,504	1.825,03
LAJES	Barra de aço CA-60	5,0	kg	1,000	4,07	648,000	2.637,36
	Arame recozido Φ 1,25 mm / bitola: 18 BWG	1,25	kg	0,020	9,44	12,960	122,34
	Ajudante de armador	-	h	0,080	7,16	51,840	371,17
	Armador	-	h	0,080	9,53	51,840	494,04

Armadura de aço para pilares, vigas e lajes, CA-50, aço cortado e dobrado na obra – unidade: Kg

Peça	Insumo	Bitola (mm)	Unidade	Consumo unitário	Preço Unitário (R\$)	Consumo Total	Custo total (R\$)
PILARES	Barra de aço	10,0	kg	1,000	4,10	2581,000	10.582,10
		12,5	kg	1,000	3,90	428,000	1.669,20
		16,0	kg	1,000	3,90	830,000	3.237,00
		20,0	kg	1,000	3,65	1091,000	3.982,15
	Arame recozido Φ 1,25 mm / bitola: 18 BWG	1,25	kg	0,020	9,44	98,600	930,78
	Ajudante de armador	-	h	0,062	7,16	305,660	2.188,53
	Armador	-	h	0,062	9,53	305,660	2.912,94
VIGAS	Barra de aço	5,0	kg	1,000	4,63	216,500	1.002,40
		6,3	kg	1,000	4,30	193,700	832,91
		8,0	kg	1,000	4,82	2258,400	10.885,49
		10,0	kg	1,000	4,10	1673,000	6.859,30
		12,5	kg	1,000	3,90	2361,200	9.208,68
		16,0	kg	1,000	3,90	2607,900	10.170,81
		20,0	kg	1,000	3,65	34,000	124,10
	Arame recozido Φ 1,25 mm / bitola: 18 BWG	1,25	kg	0,020	9,44	186,894	1.764,28
	Ajudante de armador	-	h	0,093	7,16	869,057	6.222,45
	Armador	-	h	0,093	9,53	869,057	8.282,11
LAJES	Barra de aço	6,3	kg	1,000	4,30	4967,000	21.358,10
		8,0	kg	1,000	4,82	2621,000	12.633,22
		10,0	kg	1,000	4,10	3726,000	15.276,60
		12,5	kg	1,000	3,90	7368,000	28.735,20
		16,0	kg	1,000	3,90	1856,000	7.238,40
		20,0	kg	1,000	3,65	29,000	105,85
	Arame recozido Φ 1,25 mm / bitola: 18 BWG	1,25	kg	0,020	9,44	411,340	3.883,05
	Ajudante de armador	-	h	0,051	7,16	1048,917	7.510,25
	Armador	-	h	0,051	9,53	1048,917	9.996,18

Armadura de tela de aço CA – 60, para capa de concreto das lajes – unidade: Kg

Insumo	unidade	Consumo unitário	Preço Unitário (R\$)	Consumo Total	Custo total (R\$)
Ajudante de armador	h	0,04	7,16	188,92	1.352,698
Armador	h	0,02	9,53	94,46	900,225

Tela de aço soldada tipo Q138 (diâmetro do fio: 4,20 mm / dimensões da trama: 100 mm x 100 mm / tipo da malha: quadrangular)	kg	1,03	7,12	4864,80	34.637,394
Arame recozido (diâmetro do fio: 1,25 mm / bitola: 18 BWG)	kg	0,01	9,44	47,23	445,862

Concreto estrutural dosado em central (resistência 25 mpa), transporte, lançamento, adensamento e acabamento – unidade: m³

Insumo	Unidade	Consumo unitário	Preço Unitário (R\$)	Consumo Total	Custo total (R\$)
Concreto dosado em central convencional brita 1 e 2, fck = 25 MPa	m³	1,050	312,63	601,871	188.162,77
Pedreiro	h	1,620	9,53	928,600	8.849,56
Servente	h	1,620	7,18	928,600	6.667,35
Vibrador de imersão, elétrico, potência 2HP (1,5 kW) - vida útil de 4500 h	h prod	0,200	0,97	114,642	111,20

A.2 – Sistema estrutural de laje nervurada com redução de vigas e pilares

Quantitativo de materiais

Superfície total: 3548,47 m²				CA - 50 A (kg)								CA - 60 B (kg)		
Elemento	Formas (m²)	Volume (m³)	Barras (kg)	Ø5,0	Ø6,3	Ø8,0	Ø10	Ø12,5	Ø16,0	Ø20,0	Ø25,0	Ø5,0	Ø6,0	Ø8,0
LAJES	3193,53	307,02	19.018,00		5616	3186	3939	4930	758	71		518		
Vigas: fundo	325,33	189,16	12.105,00	234	302	1902	1649	2372	2599	392		1494	575	586
Forma lateral	1611,79													
Pilares (Sup, Formas)	694,7	50,31	8.796,00				2525	148	793	3131	509	1280	356	54
Total	5.825,35	546,49	39.919,00											
Índice (por m²)	1,642	0,154	11,25											

Quantitativo de materiais

Tela de aço CA-60 B para capa de concreto	4.726,424	kg
Caixote reaproveitável de polipropileno	7.058,000	unidades

Fôrmas pré- fabricada de chapa compensada considerando fabricação, montagem e desmontagem, com 5 aproveitamentos – unidade m²

Peça	Insumo	unidade	Consumo unitário	Preço Unitário (R\$)	Consumo Total	Custo total (R\$)
PILARES	Ajudante de carpinteiro	h	0,140	7,16	97,258	696,37
	Carpinteiro	h	0,560	9,53	389,032	3.707,47
	Desmoldante de fôrmas para concreto	L	0,020	9,98	13,894	138,66
	Prego 17 x 27 com cabeça dupla (comprimento: 62,1 mm / diâmetro da cabeça: 3,0 mm)	kg	0,100	7,86	69,470	546,03
	Fôrma pré-fabricada de madeira com chapa compensada plastificada de 12 mm, inclusive travamento	m ²	0,240	74,37	166,728	12.399,56
VIGAS	Ajudante de carpinteiro	h	0,198	7,16	383,550	2.746,22
	Carpinteiro	h	0,792	9,53	1534,199	14.620,92
	Desmoldante de fôrmas para concreto	L	0,020	9,98	38,742	386,65
	Prego 17 x 27 com cabeça dupla (comprimento: 62,1 mm / diâmetro da cabeça: 3,0 mm)	kg	0,100	7,86	193,712	1.522,58
	Fôrma pré-fabricada de madeira com chapa compensada plastificada de 12 mm, inclusive travamento	m ²	0,240	74,37	464,909	34.575,27
LAJES	Ajudante de carpinteiro	h	0,106	7,16	338,514	2.423,76
	Carpinteiro	h	0,424	9,53	1354,057	12.904,16
	Desmoldante de fôrmas para concreto	L	0,020	9,98	63,871	637,43
	Prego 17 x 27 com cabeça dupla (comprimento: 62,1 mm / diâmetro da cabeça: 3,0 mm)	kg	0,020	7,86	63,871	502,02
	Fôrma pré-fabricada de madeira de chapa compensada plastificada de 12 mm	m ²	0,240	74,37	766,447	57.000,68

Fôrma permanente de polipropileno para lajes nervuradas – unidade: unidade

Insumo	unidade	Consumo unitário	Preço Unitário (R\$)	Consumo Total	Custo total (R\$)
Servente	h	0,030	7,18	211,740	1.520,29
Caixote reaproveitável de polipropileno	un.	1,000	58,00	7058,000	27.290,93

Armadura de aço para pilares, vigas e lajes, CA-60, aço cortado e dobrado na obra – unidade: Kg

Peça	Insumo	Bitola (mm)	Unidade	Consumo unitário	Preço Unitário (R\$)	Consumo Total	Custo total (R\$)
PILARES	Barra de aço CA-60	5,0	kg	1,000	4,07	1280,000	5.209,60
		6,0	kg	1,000	4,16	356,000	1.480,96
		8,0	kg	1,000	4,7	54,000	253,80
	Arame recozido Φ 1,25 mm / bitola: 18 BWG	1,25	kg	0,020	9,44	33,800	319,07
	Ajudante de armador	-	h	0,080	7,16	135,200	968,03
	Armador	-	h	0,080	9,53	135,200	1.288,46
VIGAS	Barra de aço CA-60	5,0	kg	1,000	4,07	1494,000	6.080,58
		6,0	kg	1,000	4,16	575,000	2.392,00
		8,0	kg	1,000	4,7	586,000	2.754,20
	Arame recozido Φ 1,25 mm / bitola: 18 BWG	1,25	kg	0,020	9,44	53,100	501,26
	Ajudante de armador	-	h	0,080	7,16	212,400	1.520,78
	Armador	-	h	0,080	9,53	212,400	2.024,17
LAJES	Barra de aço CA-60	5,0	kg	1,000	4,07	518,000	2.108,26
	Arame recozido Φ 1,25 mm / bitola: 18 BWG	1,25	kg	0,020	9,44	10,360	97,80
	Ajudante de armador	-	h	0,080	7,16	41,440	296,71
	Armador	-	h	0,080	9,53	41,440	394,92

Armadura de aço para pilares, vigas e lajes, CA-50, aço cortado e dobrado na obra – unidade: Kg

Peça	Insumo	Bitola (mm)	Unidade	Consumo unitário	Preço Unitário (R\$)	Consumo Total	Custo total (R\$)
PILARES	Barra de aço	10,0	kg	1,000	4,10	2525,000	10.352,50
		12,5	kg	1,000	3,90	148,000	577,20
		16,0	kg	1,000	3,90	793,000	3.092,70
		20,0	kg	1,000	3,65	3131,000	11.428,15
		25,0	Kg	1,000	4,22	509,000	2.147,98
	Arame recozido Φ 1,25 mm / bitola: 18 BWG	1,25	kg	0,020	9,44	142,120	1.341,61
	Ajudante de armador	-	h	0,062	7,16	440,572	3.154,50
	Armador	-	h	0,062	9,53	440,572	4.198,65
VIGAS	Barra de aço	5,0	kg	1,000	4,63	234,000	1.083,42
		6,3	kg	1,000	4,30	302,000	1.298,60
		8,0	kg	1,000	4,82	1902,000	9.167,64
		10,0	kg	1,000	4,10	1649,000	6.760,90
		12,5	kg	1,000	3,90	2372,000	9.250,80
		16,0	kg	1,000	3,90	2599,000	10.136,10

		20,0	kg	1,000	3,65	392,000	1.430,80
	Arame recozido Φ 1,25 mm / bitola: 18 BWG	1,25	kg	0,020	9,44	189,000	1.784,16
	Ajudante de armador	-	h	0,093	7,16	878,850	6.292,57
	Armador	-	h	0,093	9,53	878,850	8.375,44
LAJES	Barra de aço	6,3	kg	1,000	4,30	5616,000	24.148,80
		8,0	kg	1,000	4,82	3186,000	15.356,52
		10,0	kg	1,000	4,10	3939,000	16.149,90
		12,5	kg	1,000	3,90	4930,000	19.227,00
		16,0	kg	1,000	3,90	758,000	2.956,20
		20,0	kg	1,000	3,65	71,000	259,15
	Arame recozido Φ 1,25 mm / bitola: 18 BWG	1,25	kg	0,020	9,44	370,000	3.492,80
	Ajudante de armador	-	h	0,051	7,16	943,500	6.755,46
	Armador	-	h	0,051	9,53	943,500	8.991,56

Armadura de tela de aço CA – 60, para capa de concreto das lajes – unidade: Kg

Insumo	unidade	Consumo unitário	Preço Unitário (R\$)	Consumo Total	Custo total (R\$)
Ajudante de armador	h	0,04	7,16	189,06	1.353,648
Armador	h	0,02	9,53	94,53	900,856
Tela de aço soldada tipo Q138 (diâmetro do fio: 4,20 mm / dimensões da trama: 100 mm x 100 mm / tipo da malha: quadrangular)	kg	1,03	7,12	4868,22	34.661,706
Arame recozido (diâmetro do fio: 1,25 mm / bitola: 18 BWG)	kg	0,01	9,44	47,26	446,174

Concreto estrutural dosado em central (resistência 25 mpa), transporte, lançamento, adensamento e acabamento – unidade: m³

Insumo	Unidade	Consumo unitário	Preço Unitário (R\$)	Consumo Total	Custo total (R\$)
Concreto dosado em central convencional brita 1 e 2, fck = 25 MPa	m³	1,050	312,63	573,815	179.391,63
Pedreiro	h	1,620	9,53	885,314	8.437,04
Servente	h	1,620	7,18	885,314	6.356,55
Vibrador de imersão, elétrico, potência 2HP (1,5 kW) - vida útil de 4500 h	h prod	0,200	0,97	109,298	106,02

A.3 – Sistema estrutural de laje Lisa

Quantitativo de materiais

Superfície total: 3548,47 m ²				CA - 50 A (kg)								CA - 60 B (kg)		
Elemento	Formas (m ²)	Volume (m ³)	Barras (kg)	Ø5,0	Ø6,3	Ø8,0	Ø10	Ø12,5	Ø16,0	Ø20,0	Ø25,0	Ø5,0	Ø6,0	Ø8,0
Lajes	3.331,86	383,3	26.990		4.547	2.378	5.481	8.116	3.490	2.460		518		
Vigas: fundo	188,26	112,49	5.949	119	260	1.341	1.115	1.154	977	34		674	158	117
Forma lateral	1.052,68													
Pilares (Sup, Formas)	731,6	53,46	9.834				2.202	281	1.359	3.261	1.023	1.124	485	99
Total	5.304,4	549,25	42.773											
Índice (por m ²)	1,495	0,155	12,05											

Quantitativo de materiais

Tela de aço CA-60 B para capa de concreto	4.931,153	kg
Caixote reaproveitável de polipropileno	5.899,000	unidades

Fôrmas pré- fabricada de chapa compensada considerando fabricação, montagem e desmontagem, com 5 aproveitamentos – unidade m²

Peça	Insumo	unidade	Consumo unitário	Preço Unitário (R\$)	Consumo Total	Custo total (R\$)
PILARES	Ajudante de carpinteiro	h	0,140	7,16	102,424	102,42
	Carpinteiro	h	0,560	9,53	409,696	3.904,40
	Desmoldante de fôrmas para concreto	L	0,020	9,98	14,632	146,03
	Prego 17 x 27 com cabeça dupla (comprimento: 62,1 mm / diâmetro da cabeça: 3,0 mm)	kg	0,100	7,86	73,160	575,04
	Fôrma pré-fabricada de madeira com chapa compensada plastificada de 12 mm, inclusive travamento	m ²	0,240	74,37	175,584	13.058,18
VIGAS	Ajudante de carpinteiro	h	0,198	7,16	245,706	1.759,26
	Carpinteiro	h	0,792	9,53	982,824	9.366,32
	Desmoldante de fôrmas para concreto	L	0,020	9,98	24,819	247,69
	Prego 17 x 27 com cabeça dupla (comprimento: 62,1 mm / diâmetro da cabeça: 3,0 mm)	kg	0,100	7,86	124,094	975,38
	Fôrma pré-fabricada de madeira com chapa compensada plastificada de 12 mm, inclusive travamento	m ²	0,240	74,37	297,826	22.149,29

LAJES	Ajudante de carpinteiro	h	0,106	7,16	353,177	2.528,75
	Carpinteiro	h	0,424	9,53	1412,709	13.463,11
	Desmoldante de fôrmas para concreto	L	0,020	9,98	66,637	665,04
	Prego 17 x 27 com cabeça dupla (comprimento: 62,1 mm / diâmetro da cabeça: 3,0 mm)	kg	0,020	7,86	66,637	523,77
	Fôrma pré-fabricada de madeira de chapa compensada plastificada de 12 mm	m²	0,240	74,37	799,646	59.469,70

Fôrma permanente de polipropileno para lajes nervuradas – unidade: unidade

Insumo	unidade	Consumo unitário	Preço Unitário (R\$)	Consumo Total	Custo total (R\$)
Servente	h	0,030	7,00	176,970	1.238,79
Caixote reaproveitável de polipropileno	un.	1,000	58,00	5899,000	22.809,47

Armadura de aço para pilares, vigas e lajes, CA-60, aço cortado e dobrado na obra – unidade: Kg

Peça	Insumo	Bitola (mm)	Unidade	Consumo unitário	Preço Unitário (R\$)	Consumo Total	Custo total (R\$)
PILARES	Barra de aço CA-60	5,0	kg	1,000	4,07	1124,000	4.574,68
		6,0	kg	1,000	4,16	485,000	2.017,60
	Arame recozido Φ 1,25 mm / bitola: 18 BWG	1,25	kg	0,020	9,44	34,160	322,47
	Ajudante de armador	-	h	0,080	7,16	136,640	978,34
	Armador	-	h	0,080	9,53	136,640	1.302,18
VIGAS	Barra de aço CA-60	5,0	kg	1,000	4,07	674,000	2.743,18
		6,0	kg	1,000	4,16	158,000	657,28
		8,0	kg	1,000	4,7	117,000	549,90
	Arame recozido Φ 1,25 mm / bitola: 18 BWG	1,25	kg	0,020	9,44	18,980	179,17
	Ajudante de armador	-	h	0,080	7,16	75,920	543,59
	Armador	-	h	0,080	9,53	75,920	723,52
LAJES	Barra de aço CA-60	5,0	kg	1,000	4,07	518,000	2.108,26
	Arame recozido Φ 1,25 mm / bitola: 18 BWG	1,25	kg	0,020	9,44	10,360	97,80
	Ajudante de armador	-	h	0,080	7,16	41,440	296,71
	Armador	-	h	0,080	9,53	41,440	394,92

Armadura de aço para pilares, vigas e lajes, CA-50, aço cortado e dobrado na obra – unidade: Kg

Peça	Insumo	Bitola (mm)	Unidade	Consumo unitário	Preço Unitário (R\$)	Consumo Total	Custo total (R\$)
PILARES	Barra de aço	10,0	kg	1,000	4,10	2202,000	9.028,20
		12,5	kg	1,000	3,90	281,000	1.095,90
		16,0	kg	1,000	3,90	1359,000	5.300,10
		20,0	kg	1,000	3,65	3261,000	11.902,65
		25,0	kg	1,000	4,22	1023,000	4.317,06
	Arame recozido Φ 1,25 mm / bitola: 18 BWG	1,25	kg	0,020	9,44	162,520	1.534,19
	Ajudante de armador	-	h	0,062	7,16	503,812	3.607,29
	Armador	-	h	0,062	9,53	503,812	4.801,33
VIGAS	Barra de aço	5,0	kg	1,000	4,63	119,000	550,97
		6,3	kg	1,000	4,30	260,000	1.118,00
		8,0	kg	1,000	4,82	1341,000	6.463,62
		10,0	kg	1,000	4,10	1115,000	4.571,50
		12,5	kg	1,000	3,90	1154,000	4.500,60
		16,0	kg	1,000	3,90	977,000	3.810,30
		20,0	kg	1,000	3,65	34,000	124,10
	Arame recozido Φ 1,25 mm / bitola: 18 BWG	1,25	kg	0,020	9,44	100,000	944,00
	Ajudante de armador	-	h	0,093	7,16	465,000	3.329,40
	Armador	-	h	0,093	9,53	465,000	4.431,45
LAJES	Barra de aço	6,3	kg	1,000	4,30	4547,000	19.552,10
		8,0	kg	1,000	4,82	2378,000	11.461,96
		10,0	kg	1,000	4,10	5481,000	22.472,10
		12,5	kg	1,000	3,90	8116,000	31.652,40
		16,0	kg	1,000	3,90	3490,000	13.611,00
		20,0	kg	1,000	3,65	2460,000	8.979,00
	Arame recozido Φ 1,25 mm / bitola: 18 BWG	1,25	kg	0,020	9,44	529,440	4.997,91
	Ajudante de armador	-	h	0,051	7,16	1350,072	9.666,52
	Armador	-	h	0,051	9,53	1350,072	12.866,19

Armadura de tela de aço CA – 60, para capa de concreto das lajes – unidade: Kg

Insumo	unidade	Consumo unitário	Preço Unitário (R\$)	Consumo Total	Custo total (R\$)
Ajudante de armador	h	0,04	7,16	197,25	1.412,282
Armador	h	0,02	9,53	98,62	939,878

Tela de aço soldada tipo Q138 (diâmetro do fio: 4,20 mm / dimensões da trama: 100 mm x 100 mm / tipo da malha: quadrangular)	kg	1,03	7,12	5079,09	36.163,102
Arame recozido (diâmetro do fio: 1,25 mm / bitola: 18 BWG)	kg	0,01	9,44	49,31	465,501

Concreto estrutural dosado em central (resistência 25 mpa), transporte, lançamento, adensamento e acabamento – unidade: m³

Insumo	Unidade	Consumo unitário	Preço Unitário (R\$)	Consumo Total	Custo total (R\$)
Concreto dosado em central convencional brita 1 e 2, fck = 25 MPa	m ³	1,050	312,63	576,713	180.297,63
Pedreiro	h	1,620	9,53	889,785	8.479,65
Servente	h	1,620	7,18	889,785	6.388,66
Vibrador de imersão, elétrico, potência 2HP (1,5 kW) - vida útil de 4500 h	h prod	0,200	0,97	109,850	106,55

APÊNDICE B – Quantitativo e composição do custo total da superestrutura do modelo 2

B.1 – Sistema estrutural de laje nervurada.

Quantitativo de materiais

Superfície total: 1649,28 m ²				CA - 50 A (kg)						CA - 60 B (kg)
Elemento	Formas (m ²)	Volume (m ³)	Barras (kg)	Ø6,3	Ø8,0	Ø10	Ø12,5	Ø16,0	Ø20,0	Ø5,0
Lajes	1506,6	138,48	14361	658	706	2698	5060	3683	1556	
Vigas: fundo	128,04	96,12	11789	504	406	3421	1993	1689	3302	474
Forma lateral	764,88									
Pilares (Sup, Formas)	405,1	35,13	4283	277		789	871	468	1154	724
Total	2804,62	269,73	30433							
Índice (por m ²)	1,701	0,164	18,45							

Quantitativo de materiais

Tela de aço CA-60 B para capa de concreto	2.229,768	kg
Caixote reaproveitável de polipropileno	4.464,000	unidades

Fôrmas pré- fabricada de chapa compensada considerando fabricação, montagem e desmontagem, com 5 aproveitamentos – unidade m²

Peça	Insumo	unidade	Consumo unitário	Preço Unitário (R\$)	Consumo Total	Custo total (R\$)
PILARES	Ajudante de carpinteiro	h	0,140	7,16	56,714	406,07
	Carpinteiro	h	0,560	9,53	226,856	2.161,94
	Desmoldante de fôrmas para concreto	L	0,020	9,98	8,102	80,86
	Prego 17 x 27 com cabeça dupla (comprimento: 62,1 mm / diâmetro da cabeça: 3,0 mm)	kg	0,100	7,86	40,510	318,41
	Fôrma pré-fabricada de madeira com chapa compensada plastificada de 12 mm, inclusive travamento	m ²	0,240	74,37	97,224	7.230,55
VIGAS	Ajudante de carpinteiro	h	0,198	7,16	176,798	1.265,87
	Carpinteiro	h	0,792	9,53	707,193	6.739,55
	Desmoldante de fôrmas para concreto	L	0,020	9,98	17,858	178,23
	Prego 17 x 27 com cabeça dupla (comprimento: 62,1 mm / diâmetro da cabeça: 3,0 mm)	kg	0,100	7,86	89,292	701,84
	Fôrma pré-fabricada de madeira com chapa compensada plastificada de 12 mm, inclusive travamento	m ²	0,240	74,37	214,301	15.937,55
LAJES	Ajudante de carpinteiro	h	0,106	7,16	159,700	1.143,45
	Carpinteiro	h	0,424	9,53	638,798	6.087,75
	Desmoldante de fôrmas para concreto	L	0,020	9,98	30,132	300,72
	Prego 17 x 27 com cabeça dupla (comprimento: 62,1 mm / diâmetro da cabeça: 3,0 mm)	kg	0,020	7,86	30,132	236,84
	Fôrma pré-fabricada de madeira de chapa compensada plastificada de 12 mm	m ²	0,240	74,37	361,584	26.891,00

Fôrma permanente de polipropileno para lajes nervuradas – unidade: unidade

Insumo	unidade	Consumo unitário	Preço Unitário (R\$)	Consumo Total	Custo total (R\$)
Servente	h	0,030	7,18	133,920	961,55
Caixote reaproveitável de polipropileno	un.	1,000	58,00	4464,000	17.260,80

Armatura de aço para pilares, vigas e lajes, CA-60, aço cortado e dobrado na obra – unidade: Kg

Peça	Insumo	Bitola (mm)	Unidade	Consumo unitário	Preço Unitário (R\$)	Consumo Total	Custo total (R\$)
PILARES	Barra de aço CA-60	5,0	kg	1,000	4,07	724,000	2.946,68
	Arame recozido Φ 1,25 mm / bitola: 18 BWG	1,25	kg	0,020	9,44	14,480	136,69
	Ajudante de armador	-	h	0,080	7,16	57,920	414,71
	Armador	-	h	0,080	9,53	57,920	551,98
VIGAS	Barra de aço CA-60	5,0	kg	1,000	4,07	474,000	1.929,18
	Arame recozido Φ 1,25 mm / bitola: 18 BWG	1,25	kg	0,020	9,44	9,480	89,49
	Ajudante de armador	-	h	0,080	7,16	37,920	271,51
	Armador	-	h	0,080	9,53	37,920	361,38

Armatura de aço para pilares, vigas e lajes, CA-50, aço cortado e dobrado na obra – unidade: Kg

Peça	Insumo	Bitola (mm)	Unidade	Consumo unitário	Preço Unitário (R\$)	Consumo Total	Custo total (R\$)
PILARES	Barra de aço	6,3	kg	1,000	4,3	277	1191,1
		10,0	kg	1,000	4,10	789,000	3.234,90
		12,5	kg	1,000	3,90	871,000	3.396,90
		16,0	kg	1,000	3,90	468,000	1.825,20
		20,0	kg	1,000	3,65	1154,000	4.212,10
	Arame recozido Φ 1,25 mm / bitola: 18 BWG	1,25	kg	0,020	9,44	71,180	671,94
	Ajudante de armador	-	h	0,062	7,16	220,658	1.579,91
	Armador	-	h	0,062	9,53	220,658	2.102,87
VIGAS	Barra de aço	6,3	kg	1,000	4,30	504,000	2.167,20
		8,0	kg	1,000	4,82	406,000	1.956,92
		10,0	kg	1,000	4,10	3421,000	14.026,10
		12,5	kg	1,000	3,90	1993,000	7.772,70
		16,0	kg	1,000	3,90	1689,000	6.587,10
		20,0	kg	1,000	3,65	3302,000	12.052,30
	Arame recozido Φ 1,25 mm / bitola: 18 BWG	1,25	kg	0,020	9,44	226,300	2.136,27
	Ajudante de armador	-	h	0,093	7,16	1052,295	7.534,43
	Armador	-	h	0,093	9,53	1052,295	10.028,37
LAJES	Barra de aço	6,3	kg	1,000	4,30	658,000	2.829,40
		8,0	kg	1,000	4,82	706,000	3.402,92
		10,0	kg	1,000	4,10	2698,000	11.061,80
		12,5	kg	1,000	3,90	5060,000	19.734,00
		16,0	kg	1,000	3,90	3683,000	14.363,70
		20,0	kg	1,000	3,65	1556,000	5.679,40
	Arame recozido Φ 1,25 mm / bitola: 18 BWG	1,25	kg	0,020	9,44	287,220	2.711,36
	Ajudante de armador	-	h	0,051	7,16	732,411	5.244,06
	Armador	-	h	0,051	9,53	732,411	6.979,88

Armadura de tela de aço CA – 60, para capa de concreto das lajes – unidade: Kg

Insumo	unidade	Consumo unitário	Preço Unitário (R\$)	Consumo Total	Custo total (R\$)
Ajudante de armador	h	0,04	7,16	89,19	638,606
Armador	h	0,02	9,53	44,60	424,994
Tela de aço soldada tipo Q138 (diâmetro do fio: 4,20 mm / dimensões da trama: 100 mm x 100 mm / tipo da malha: quadrangular)	kg	1,03	7,12	2296,66	16.352,227
Arame recozido (diâmetro do fio: 1,25 mm / bitola: 18 BWG)	kg	0,01	9,44	22,30	210,490

Concreto estrutural dosado em central (resistência 25 mpa), transporte, lançamento, adensamento e acabamento – unidade: m³

Insumo	Unidade	Consumo unitário	Preço Unitário (R\$)	Consumo Total	Custo total (R\$)
Concreto dosado em central convencional brita 1 e 2, fck = 25 MPa	m³	1,050	312,63	283,217	88.541,97
Pedreiro	h	1,620	9,53	436,963	4.164,25
Servente	h	1,620	7,18	436,963	3.137,39
Vibrador de imersão, elétrico, potência 2HP (1,5 kW) - vida útil de 4500 h	h prod	0,200	0,97	53,946	52,33

B.2 – Sistema estrutural de laje lisa.

Quantitativo de materiais

Superfície total: 1649,28 m²				CA - 50 A (kg)							CA – 60 B (Kg)
Elemento	Formas (m²)	Volume (m³)	Barras (kg)	Ø6,3	Ø8,0	Ø10	Ø12,5	Ø16,0	Ø20,0	Ø25,0	Ø5,0
Lajes	1553,22	198,6	24067	447	311	1416	4702	6833	5127	5231	
Vigas: fundo	81,42	62,16	5877	381	399	2397	1386	731	160		423
Forma lateral	593,94										
Pilares (Sup, Formas)	429,3	37,65	5235	485	60	602	679	628	1506	734	541
Total	2657,88	298,41	35179								
Índice (por m²)	1,612	0,181	21,33								

Quantitativo de materiais

Tela de aço CA-60 B para capa de concreto	2.298,766	kg
Caixote reaproveitável de polipropileno	3.618,000	unidades

Fôrmas pré- fabricada de chapa compensada considerando fabricação, montagem e desmontagem, com 5 aproveitamentos – unidade m²

Peça	Insumo	unidade	Consumo unitário	Preço Unitário (R\$)	Consumo Total	Custo total (R\$)
PILARES	Ajudante de carpinteiro	h	0,140	7,16	60,102	430,33
	Carpinteiro	h	0,560	9,53	240,408	2.291,09
	Desmoldante de fôrmas para concreto	L	0,020	9,98	8,586	85,69
	Prego 17 x 27 com cabeça dupla (comprimento: 62,1 mm / diâmetro da cabeça: 3,0 mm)	kg	0,100	7,86	42,930	337,43
	Fôrma pré-fabricada de madeira com chapa compensada plastificada de 12 mm, inclusive travamento	m ²	0,240	74,37	103,032	7.662,49
VIGAS	Ajudante de carpinteiro	h	0,198	7,16	133,721	957,44
	Carpinteiro	h	0,792	9,53	534,885	5.097,46
	Desmoldante de fôrmas para concreto	L	0,020	9,98	13,507	134,80
	Prego 17 x 27 com cabeça dupla (comprimento: 62,1 mm / diâmetro da cabeça: 3,0 mm)	kg	0,100	7,86	67,536	530,83
	Fôrma pré-fabricada de madeira com chapa compensada plastificada de 12 mm, inclusive travamento	m ²	0,240	74,37	162,086	12.054,37
LAJES	Ajudante de carpinteiro	h	0,106	7,16	164,641	1.178,83
	Carpinteiro	h	0,424	9,53	658,565	6.276,13
	Desmoldante de fôrmas para concreto	L	0,020	9,98	31,064	310,02
	Prego 17 x 27 com cabeça dupla (comprimento: 62,1 mm / diâmetro da cabeça: 3,0 mm)	kg	0,020	7,86	31,064	244,17
	Fôrma pré-fabricada de madeira de chapa compensada plastificada de 12 mm	m ²	0,240	74,37	372,773	27.723,11

Fôrma permanente de polipropileno para lajes nervuradas – unidade: unidade

Insumo	unidade	Consumo unitário	Preço Unitário (R\$)	Consumo Total	Custo total (R\$)
Servente	h	0,030	7,18	108,540	779,32
Caixote reaproveitável de polipropileno	un.	1,000	58,00	3618,000	13.989,60

Armadura de aço para pilares, vigas e lajes, CA-60, aço cortado e dobrado na obra – unidade: Kg

Peça	Insumo	Bitola (mm)	Unidade	Consumo unitário	Preço Unitário (R\$)	Consumo Total	Custo total (R\$)
PILARES	Barra de aço CA-60	5,0	kg	1,000	4,07	541,000	2.201,87
	Arame recozido Φ 1,25 mm / bitola: 18 BWG	1,25	kg	0,020	9,44	10,820	102,14
	Ajudante de armador	-	h	0,080	7,16	43,280	309,88
	Armador	-	h	0,080	9,53	43,280	412,46
VIGAS	Barra de aço CA-60	5,0	kg	1,000	4,07	423,000	1.721,61
	Arame recozido Φ 1,25 mm / bitola: 18 BWG	1,25	kg	0,020	9,44	8,460	79,86
	Ajudante de armador	-	h	0,080	7,16	33,840	242,29
	Armador	-	h	0,080	9,53	33,840	322,50

Armadura de aço para pilares, vigas e lajes, CA-50, aço cortado e dobrado na obra – unidade: Kg

Peça	Insumo	Bitola (mm)	Unidade	Consumo unitário	Preço Unitário (R\$)	Consumo Total	Custo total (R\$)
PILARES	Barra de aço	6,3	kg	1,000	4,3	485	2085,50
		8	kg	1,000	4,82	60	289,20
		10,0	kg	1,000	4,10	602,000	2.468,20
		12,5	kg	1,000	3,90	679,000	2.648,10
		16,0	kg	1,000	3,90	628,000	2.449,20
		20,0	kg	1,000	3,65	1506,000	5.496,90
		25,0	kg	1,000	4,22	734,000	3.097,48
	Arame recozido Φ 1,25 mm / bitola: 18 BWG	1,25	kg	0,020	9,44	93,880	886,23
	Ajudante de armador	-	h	0,062	7,16	291,028	2.083,76
	Armador	-	h	0,062	9,53	291,028	2.773,50
VIGAS	Barra de aço	6,3	kg	1,000	4,30	381,000	1.638,30
		8,0	kg	1,000	4,82	399,000	1.923,18
		10,0	kg	1,000	4,10	2397,000	9.827,70
		12,5	kg	1,000	3,90	1386,000	5.405,40
		16,0	kg	1,000	3,90	731,000	2.850,90
		20,0	kg	1,000	3,65	160,000	584,00
	Arame recozido Φ 1,25 mm / bitola: 18 BWG	1,25	kg	0,020	9,44	109,080	1.029,72

	Ajudante de armador	-	h	0,093	7,16	507,222	3.631,71
	Armador	-	h	0,093	9,53	507,222	4.833,83
LAJES	Barra de aço	6,3	kg	1,000	4,30	447,000	1.922,10
		8,0	kg	1,000	4,82	311,000	1.499,02
		10,0	kg	1,000	4,10	1416,000	5.805,60
		12,5	kg	1,000	3,90	4702,000	18.337,80
		16,0	kg	1,000	3,90	6833,000	26.648,70
		20,0	kg	1,000	3,65	5127,000	18.713,55
		25,0	kg	1,000	4,22	5231,000	22.074,82
	Arame recozido Φ 1,25 mm / bitola: 18 BWG	1,25	kg	0,020	9,44	481,340	4.543,85
	Ajudante de armador	-	h	0,051	7,16	1227,417	8.788,31
	Armador	-	h	0,051	9,53	1227,417	11.697,28

Armadura de tela de aço CA – 60, para capa de concreto das lajes – unidade: Kg

Insumo	unidade	Consumo unitário	Preço Unitário (R\$)	Consumo Total	Custo total (R\$)
Ajudante de armador	h	0,04	7,16	91,95	658,366
Armador	h	0,02	9,53	45,98	438,145
Tela de aço soldada tipo Q138 (diâmetro do fio: 4,20 mm / dimensões da trama: 100 mm x 100 mm / tipo da malha: quadrangular)	kg	1,03	7,12	2367,73	16.858,227
Arame recozido (diâmetro do fio: 1,25 mm / bitola: 18 BWG)	kg	0,01	9,44	22,99	217,003

Concreto estrutural dosado em central (resistência 25 mpa), transporte, lançamento, adensamento e acabamento – unidade: m³

Insumo	Unidade	Consumo unitário	Preço Unitário (R\$)	Consumo Total	Custo total (R\$)
Concreto dosado em central convencional brita 1 e 2, fck = 25 MPa	m³	1,050	312,63	313,331	97.956,51
Pedreiro	h	1,620	9,53	483,424	4.607,03
Servente	h	1,620	7,18	483,424	3.470,99
Vibrador de imersão, elétrico, potência 2HP (1,5 kW) - vida útil de 4500 h	h prod	0,200	0,97	59,682	57,89

APÊNDICE C – Quantitativo e composição do custo total da fundação do modelo 1

C.1 – Sistema estrutural de laje nervurada sem redução de vigas e pilares, com atualização dos custos.

Quantitativo de materiais

CA-50-A (kg)						CA-60-B (kg)	Concreto (m³)		Fôrmas (m²)
Ø10	Ø12,5	Ø16	Ø20	Ø25	Total	Ø4,2	magro	C30	
106	496,86	626,14	330,25	457,52	2017	19,55	11,27	28,42	164,01

Fôrma de madeira para fundação, com tábuas e sarrafos, incluindo fabricação, montagem e desmontagem com 5 reaproveitamentos – unidade: m²

Insumo	Unidade	Consumo unitário	Preço Unitário (R\$)	Consumo Total	Custo total (R\$)
Ajudante de carpinteiro	h	0,390	7,16	63,964	457,98
Carpinteiro	h	1,562	9,53	256,184	2.441,43
Prego 17 x 21 com cabeça (comprimento: 48,3 mm / diâmetro da cabeça: 3,0 mm)	kg	0,036	8,35	5,904	49,30
Sarrafo 1" x 3" (altura: 75 mm / espessura: 25 mm)	m	0,750	3,39	123,008	417,00
Tábua 1" x 12" (espessura: 25 mm / largura: 300 mm)	m²	0,260	20,60	42,643	878,44
Desmoldante de fôrmas para concreto	L	0,400	9,98	65,604	654,73
Barra de aço CA-50 3/8" (bitola: 10,0 mm / massa linear: 0,617 kg/m)	kg	0,110	4,10	18,041	73,97
Prego 17 x 27 com cabeça dupla (comprimento: 62,1 mm / diâmetro da cabeça: 3,0 mm)	kg	0,100	7,86	16,401	128,91

Lastro de concreto magro, espessura 5cm, incluindo preparo e lançamento – unidade: m³

Insumo	Unidade	Consumo	Preço Unitário (R\$)	Quantidade	Total (R\$)
Pedreiro	h	2	9,53	22,540	214,81
Servente	h	6	7,18	67,620	485,51
Concreto não-estrutural, preparo com betoneira	m³	1	288,61	11,270	3.252,63

Concreto estrutural dosado em central, transporte, lançamento, adensamento e acabamento do concreto em fundação – unidade: m³

Insumo	Unidade	Consumo unitário	Preço Unitário (R\$)	Consumo Total	Custo total (R\$)
Concreto dosado em central convencional brita 1 e 2, fck = 30 MPa	m ³	1,050	323,16	29,841	9.643,42
Pedreiro	h	2,000	9,53	56,840	541,69
Servente	h	6,000	7,18	170,520	1.224,33
Vibrador de imersão, elétrico, potência 2 HP (1,5 kW) - vida útil 4.500 h	h prod	0,200	0,97	5,684	5,51

Armadura de aço para estruturas em geral, CA 60, aço cortado e dobrado na obra – unidade: Kg

Insumo	Unidade	Consumo unitário	Preço Unitário (R\$)	Consumo Total	Custo total (R\$)
Ajudante de armador	h	0,070	7,16	1,369	9,80
Armador	h	0,070	9,53	1,369	13,04
Bara de aço CA-60	kg	1,000	4,27	19,550	83,48
Arame recozido Φ 1,25 mm / bitola: 18 BWG	kg	0,020	9,44	0,391	3,69

Armadura de aço para estruturas em geral, CA-50 grossa, aço cortado e dobrado na obra – unidade: Kg

Insumo	Bitola (mm)	Unidade	Consumo unitário	Preço Unitário (R\$)	Consumo Total	Custo total (R\$)
Barras de aço CA-50	10	kg	1,000	4,10	106,230	435,54
	12,5	kg	1,000	3,90	496,860	1.937,75
	16	kg	1,000	3,90	626,140	2.441,95
	20	kg	1,000	3,65	330,250	1.205,41
	25	kg	1,000	4,22	457,520	1.930,73
Arame recozido Φ 1,25 mm / bitola: 18 BWG	1,25	kg	0,030	9,44	60,510	571,21
Ajudante de armador	-	h	0,100	7,16	201,700	1.444,17
Armador	-	h	0,100	9,53	201,700	1.922,20

C.2 – Sistema estrutural de laje nervurada com redução de vigas e pilares.

Quantitativo de materiais

CA-50-A (kg)						CA-60-B (kg)	Concreto (m³)		Fôrmas (m²)
Ø10	Ø12,5	Ø16	Ø20	Ø25	Total	Ø4,2	magro	C30	
105	543,37	493,75	764,15	385,76	2292	19,08	11,20	30,23	167,23

Fôrma de madeira para fundação, com tábuas e sarrafos, incluindo fabricação, montagem e desmontagem com 5 reaproveitamentos – unidade: m²

Insumo	Unidade	Consumo unitário	Preço Unitário (R\$)	Consumo Total	Custo total (R\$)
Ajudante de carpinteiro	h	0,390	7,16	65,218	466,96
Carpinteiro	h	1,562	9,53	261,205	2.489,29
Prego 17 x 21 com cabeça (comprimento: 48,3 mm / diâmetro da cabeça: 3,0 mm)	kg	0,036	8,35	6,020	50,27
Sarrafo 1" x 3" (altura: 75 mm / espessura: 25 mm)	m	0,750	3,39	125,419	425,17
Tábua 1" x 12" (espessura: 25 mm / largura: 300 mm)	m²	0,260	20,60	43,479	895,66
Desmoldante de fôrmas para concreto	L	0,400	9,98	66,890	667,56
Barra de aço CA-50 3/8" (bitola: 10,0 mm / massa linear: 0,617 kg/m)	kg	0,110	4,10	18,395	75,42
Prego 17 x 27 com cabeça dupla (comprimento: 62,1 mm / diâmetro da cabeça: 3,0 mm)	kg	0,100	7,86	16,723	131,44

Lastro de concreto magro, espessura 5cm, incluindo preparo e lançamento – unidade: m³

Insumo	Unidade	Consumo	Preço Unitário (R\$)	Quantidade	Total (R\$)
Pedreiro	h	2	9,53	22,395	213,42
Servente	h	6	7,18	67,184	482,38
Concreto não-estrutural, preparo com betoneira	m³	1	288,61	11,197	3.231,67

Concreto estrutural dosado em central, transporte, lançamento, adensamento e acabamento do concreto em fundação – unidade: m³

Insumo	Unidade	Consumo unitário	Preço Unitário (R\$)	Consumo Total	Custo total (R\$)
Concreto dosado em central convencional brita 1 e 2, fck = 30 MPa	m ³	1,050	323,16	31,742	10.257,58
Pedreiro	h	2,000	9,53	60,460	576,18
Servente	h	6,000	7,18	181,380	1.302,31
Vibrador de imersão, elétrico, potência 2 HP (1,5 kW) - vida útil 4.500 h	h prod	0,200	0,97	6,046	5,86

Armadura de aço para estruturas em geral, CA 60, aço cortado e dobrado na obra – unidade: Kg

Insumo	Unidade	Consumo unitário	Preço Unitário (R\$)	Consumo Total	Custo total (R\$)
Ajudante de armador	h	0,070	7,16	1,336	9,56
Armador	h	0,070	9,53	1,336	12,73
Bara de aço CA-60	kg	1,000	4,27	19,080	81,47
Arame recozido Φ 1,25 mm / bitola: 18 BWG	kg	0,020	9,44	0,382	3,60

Armadura de aço para estruturas em geral, CA-50 grossa, aço cortado e dobrado na obra – unidade: Kg

Insumo	Bitola (mm)	Unidade	Consumo unitário	Preço Unitário (R\$)	Consumo Total	Custo total (R\$)
Barras de aço CA-50	10	kg	1,000	4,10	104,680	429,19
	12,5	kg	1,000	3,90	543,370	2.119,14
	16	kg	1,000	3,90	493,750	1.925,63
	20	kg	1,000	3,65	764,150	2.789,15
	25	kg	1,000	4,22	385,760	1.627,91
Arame recozido Φ 1,25 mm / bitola: 18 BWG	1,25	kg	0,030	9,44	68,751	649,01
Ajudante de armador	-	h	0,100	7,16	229,171	1.640,86
Armador	-	h	0,100	9,53	229,171	2.184,00

C.3 – Sistema estrutural de laje lisa.

Quantitativo de materiais

CA-50-A (kg)						CA-60-B (kg)	Concreto (m³)		Fôrmas (m²)
Ø10	Ø12,5	Ø16	Ø20	Ø25	Total	Ø4,2	magro	C30	
95	559,27	516,28	650,82	555,74	2377,15	19,26	11,28	30,45	166,93

Fôrma de madeira para fundação, com tábuas e sarrafos, incluindo fabricação, montagem e desmontagem com 5 reaproveitamentos – unidade: m²

Insumo	Unidade	Consumo unitário	Preço Unitário (R\$)	Consumo Total	Custo total (R\$)
Ajudante de carpinteiro	h	0,390	7,16	65,101	466,12
Carpinteiro	h	1,562	9,53	260,737	2.484,82
Prego 17 x 21 com cabeça (comprimento: 48,3 mm / diâmetro da cabeça: 3,0 mm)	kg	0,036	8,35	6,009	50,18
Sarrafo 1" x 3" (altura: 75 mm / espessura: 25 mm)	m	0,750	3,39	125,194	424,41
Tábua 1" x 12" (espessura: 25 mm / largura: 300 mm)	m²	0,260	20,60	43,401	894,05
Desmoldante de fôrmas para concreto	L	0,400	9,98	66,770	666,36
Barra de aço CA-50 3/8" (bitola: 10,0 mm / massa linear: 0,617 kg/m)	kg	0,110	4,10	18,362	75,28
Prego 17 x 27 com cabeça dupla (comprimento: 62,1 mm / diâmetro da cabeça: 3,0 mm)	kg	0,100	7,86	16,693	131,20

Lastro de concreto magro, espessura 5cm, incluindo preparo e lançamento – unidade: m³

Insumo	Unidade	Consumo	Preço Unitário (R\$)	Quantidade	Total (R\$)
Pedreiro	h	2	9,53	22,568	215,07
Servente	h	6	7,18	67,703	486,11
Concreto não-estrutural, preparo com betoneira	m³	1	288,61	11,284	3.256,64

Concreto estrutural dosado em central, transporte, lançamento, adensamento e acabamento do concreto em fundação
– unidade: m³

Insumo	Unidade	Consumo unitário	Preço Unitário (R\$)	Consumo Total	Custo total (R\$)
Concreto dosado em central convencional brita 1 e 2, fck = 30 MPa	m³	1,050	323,16	31,973	10.332,23
Pedreiro	h	2,000	9,53	60,900	580,38
Servente	h	6,000	7,18	182,700	1.311,79
Vibrador de imersão, elétrico, potência 2 HP (1,5 kW) - vida útil 4.500 h	h prod	0,200	0,97	6,090	5,91

Armadura de aço para estruturas em geral, CA 60, aço cortado e dobrado na obra – unidade: Kg

Insumo	Unidade	Consumo unitário	Preço Unitário (R\$)	Consumo Total	Custo total (R\$)
Ajudante de armador	h	0,070	7,16	1,348	9,65
Armador	h	0,070	9,53	1,348	12,85
Bara de aço CA-60	kg	1,000	4,27	19,260	82,24
Arame recozido Φ 1,25 mm / bitola: 18 BWG	kg	0,020	9,44	0,385	3,64

Armadura de aço para estruturas em geral, CA-50 grossa, aço cortado e dobrado na obra – unidade: Kg

Insumo	Bitola (mm)	Unidade	Consumo unitário	Preço Unitário (R\$)	Consumo Total	Custo total (R\$)
Barras de aço CA-50	10	kg	1,000	4,10	95,040	389,66
	12,5	kg	1,000	3,90	559,270	2.181,15
	16	kg	1,000	3,90	516,280	2.013,49
	20	kg	1,000	3,65	650,820	2.375,49
	25	kg	1,000	4,22	555,740	2.345,22
Arame recozido Φ 1,25 mm / bitola: 18 BWG	1,25	kg	0,030	9,44	71,315	673,21
Ajudante de armador	-	h	0,100	7,16	237,715	1.702,04
Armador	-	h	0,100	9,53	237,715	2.265,42

APÊNDICE D – Quantitativo e composição do custo total da fundação do modelo 2

D.1 – Sistema estrutural de laje nervurada.

Quantitativo de materiais

CA-50-A (kg)						CA-60-B (kg)	Concreto (m³)		Fôrmas (m²)
Ø10	Ø12,5	Ø16	Ø20	Ø25	Total	Ø5,0	magro	C30	
20,3	428,43	169,44	570,69	303,28	1492,18	16,69	5,27	24	71,11

Fôrma de madeira para fundação, com tábuas e sarrafos, incluindo fabricação, montagem e desmontagem com 5 reaproveitamentos – unidade: m²

Insumo	Unidade	Consumo unitário	Preço Unitário (R\$)	Consumo Total	Custo total (R\$)
Ajudante de carpinteiro	h	0,390	7,16	27,731	198,55
Carpinteiro	h	1,562	9,53	111,066	1.058,46
Prego 17 x 21 com cabeça (comprimento: 48,3 mm / diâmetro da cabeça: 3,0 mm)	kg	0,036	8,35	2,560	21,37
Sarrafo 1" x 3" (altura: 75 mm / espessura: 25 mm)	m	0,750	3,39	53,329	180,78
Tábua 1" x 12" (espessura: 25 mm / largura: 300 mm)	m²	0,260	20,60	18,487	380,84
Desmoldante de fôrmas para concreto	L	0,400	9,98	28,442	283,85
Barra de aço CA-50 3/8" (bitola: 10,0 mm / massa linear: 0,617 kg/m)	kg	0,110	4,10	7,822	32,07
Prego 17 x 27 com cabeça dupla (comprimento: 62,1 mm / diâmetro da cabeça: 3,0 mm)	kg	0,100	7,86	7,111	55,89

Lastro de concreto magro, espessura 5cm, incluindo preparo e lançamento – unidade: m³

Insumo	Unidade	Consumo	Preço Unitário (R\$)	Quantidade	Total (R\$)
Pedreiro	h	2	9,53	10,550	100,54
Servente	h	6	7,18	31,649	227,24
Concreto não-estrutural, preparo com betoneira	m³	1	288,61	5,275	1.522,35

Concreto estrutural dosado em central, transporte, lançamento, adensamento e acabamento do concreto em fundação
– unidade: m³

Insumo	Unidade	Consumo unitário	Preço Unitário (R\$)	Consumo Total	Custo total (R\$)
Concreto dosado em central convencional brita 1 e 2, fck = 30 MPa	m ³	1,050	323,16	25,200	8.143,63
Pedreiro	h	2,000	9,53	48,000	457,44
Servente	h	6,000	7,18	144,000	1.033,92
Vibrador de imersão, elétrico, potência 2 HP (1,5 kW) - vida útil 4.500 h	h prod	0,200	0,97	4,800	4,66

Armadura de aço para estruturas em geral, CA 60, aço cortado e dobrado na obra – unidade: Kg

Insumo	Unidade	Consumo unitário	Preço Unitário (R\$)	Consumo Total	Custo total (R\$)
Ajudante de armador	h	0,070	7,16	1,168	8,37
Armador	h	0,070	9,53	1,168	11,13
Bara de aço CA-60	kg	1,000	4,27	16,690	71,27
Arame recozido Φ 1,25 mm / bitola: 18 BWG	kg	0,020	9,44	0,334	3,15

Armadura de aço para estruturas em geral, CA-50 grossa, aço cortado e dobrado na obra – unidade: Kg

Insumo	Bitola (mm)	Unidade	Consumo unitário	Preço Unitário (R\$)	Consumo Total	Custo total (R\$)
BARRAS DE AÇO CA-50	10	kg	1,000	4,10	20,340	83,39
	12,5	kg	1,000	3,90	428,430	1.670,88
	16	kg	1,000	3,90	169,440	660,82
	20	kg	1,000	3,65	570,690	2.083,02
	25	kg	1,000	4,22	303,280	1.279,84
Arame recozido Φ 1,25 mm / bitola: 18 BWG	1,25	kg	0,030	9,44	44,765	422,59
Ajudante de armador	-	h	0,100	7,16	149,218	1.068,40
Armador	-	h	0,100	9,53	149,218	1.422,05

D.2 – Sistema estrutural de laje lisa.

Quantitativo de materiais

CA-50-A (kg)							CA-60-B (kg)	Concreto (m³)		Fôrmas (m²)
Ø6,3	Ø10	Ø12,5	Ø16	Ø20	Ø25	Total	Ø5,0	magro	C30	
5,23	15,73	403,29	301,05	524,42	387,02	1636,74	12,99	5,46	25,56	75,92

Fôrma de madeira para fundação, com tábuas e sarrafos, incluindo fabricação, montagem e desmontagem com 5 reaproveitamentos – unidade: m²

Insumo	Unidade	Consumo unitário	Preço Unitário (R\$)	Consumo Total	Custo total (R\$)
Ajudante de carpinteiro	h	0,390	7,16	29,607	211,99
Carpinteiro	h	1,562	9,53	118,579	1.130,06
Prego 17 x 21 com cabeça (comprimento: 48,3 mm / diâmetro da cabeça: 3,0 mm)	kg	0,036	8,35	2,733	22,82
Sarrafo 1" x 3" (altura: 75 mm / espessura: 25 mm)	m	0,750	3,39	56,936	193,01
Tábua 1" x 12" (espessura: 25 mm / largura: 300 mm)	m²	0,260	20,60	19,738	406,60
Desmoldante de fôrmas para concreto	L	0,400	9,98	30,366	303,05
Barra de aço CA-50 3/8" (bitola: 10,0 mm / massa linear: 0,617 kg/m)	kg	0,110	4,10	8,351	34,24
Prego 17 x 27 com cabeça dupla (comprimento: 62,1 mm / diâmetro da cabeça: 3,0 mm)	kg	0,100	7,86	7,592	59,67

Lastro de concreto magro, espessura 5cm, incluindo preparo e lançamento – unidade: m³

Insumo	Unidade	Consumo	Preço Unitário (R\$)	Quantidade	Total (R\$)
Pedreiro	h	2	9,53	10,923	104,09
Servente	h	6	7,18	32,768	235,27
Concreto não-estrutural, preparo com betoneira	m³	1	288,61	5,461	1.576,17

Concreto estrutural dosado em central, transporte, lançamento, adensamento e acabamento do concreto em fundação
– unidade: m³

Insumo	Unidade	Consumo unitário	Preço Unitário (R\$)	Consumo Total	Custo total (R\$)
Concreto dosado em central convencional brita 1 e 2, fck = 30 MPa	m³	1,050	323,16	26,838	8.672,97
Pedreiro	h	2,000	9,53	51,120	487,17
Servente	h	6,000	7,18	153,360	1.101,12
Vibrador de imersão, elétrico, potência 2 HP (1,5 kW) - vida útil 4.500 h	h prod	0,200	0,97	5,112	4,96

Armadura de aço para estruturas em geral, CA 60, aço cortado e dobrado na obra – unidade: Kg

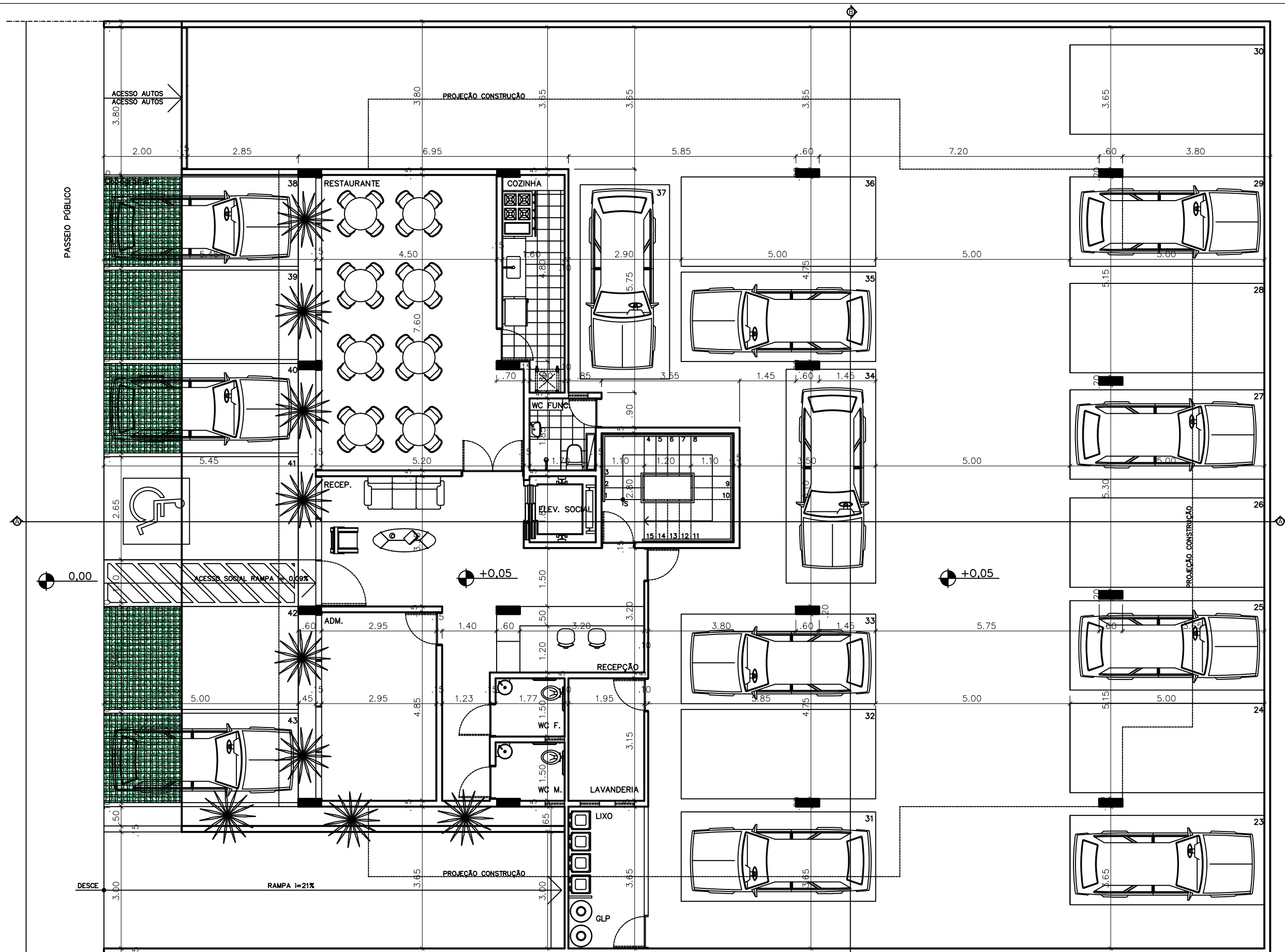
Insumo	Unidade	Consumo unitário	Preço Unitário (R\$)	Consumo Total	Custo total (R\$)
Ajudante de armador	h	0,070	7,16	0,909	6,51
Armador	h	0,070	9,53	0,909	8,67
Bara de aço CA-60	kg	1,000	4,27	12,990	55,47
Arame recozido Φ 1,25 mm / bitola: 18 BWG	kg	0,020	9,44	0,260	2,45

Armadura de aço para estruturas em geral, CA-50 grossa, aço cortado e dobrado na obra – unidade: Kg

Insumo	Bitola (mm)	Unidade	Consumo unitário	Preço Unitário (R\$)	Consumo Total	Custo total (R\$)
BARRAS DE AÇO CA-50	6,3	kg	1,000	4,3	5,230	22,49
	10	kg	1,000	4,10	15,730	64,49
	12,5	kg	1,000	3,90	403,290	1.572,83
	16	kg	1,000	3,90	301,050	1.174,10
	20	kg	1,000	3,65	524,420	1.914,13
	25	kg	1,000	4,22	387,020	1.633,22
Arame recozido Φ 1,25 mm / bitola: 18 BWG	1,25	kg	0,030	9,44	49,102	463,52
Ajudante de armador	-	h	0,100	7,16	163,674	1.171,91
Armador	-	h	0,100	9,53	163,674	1.559,81

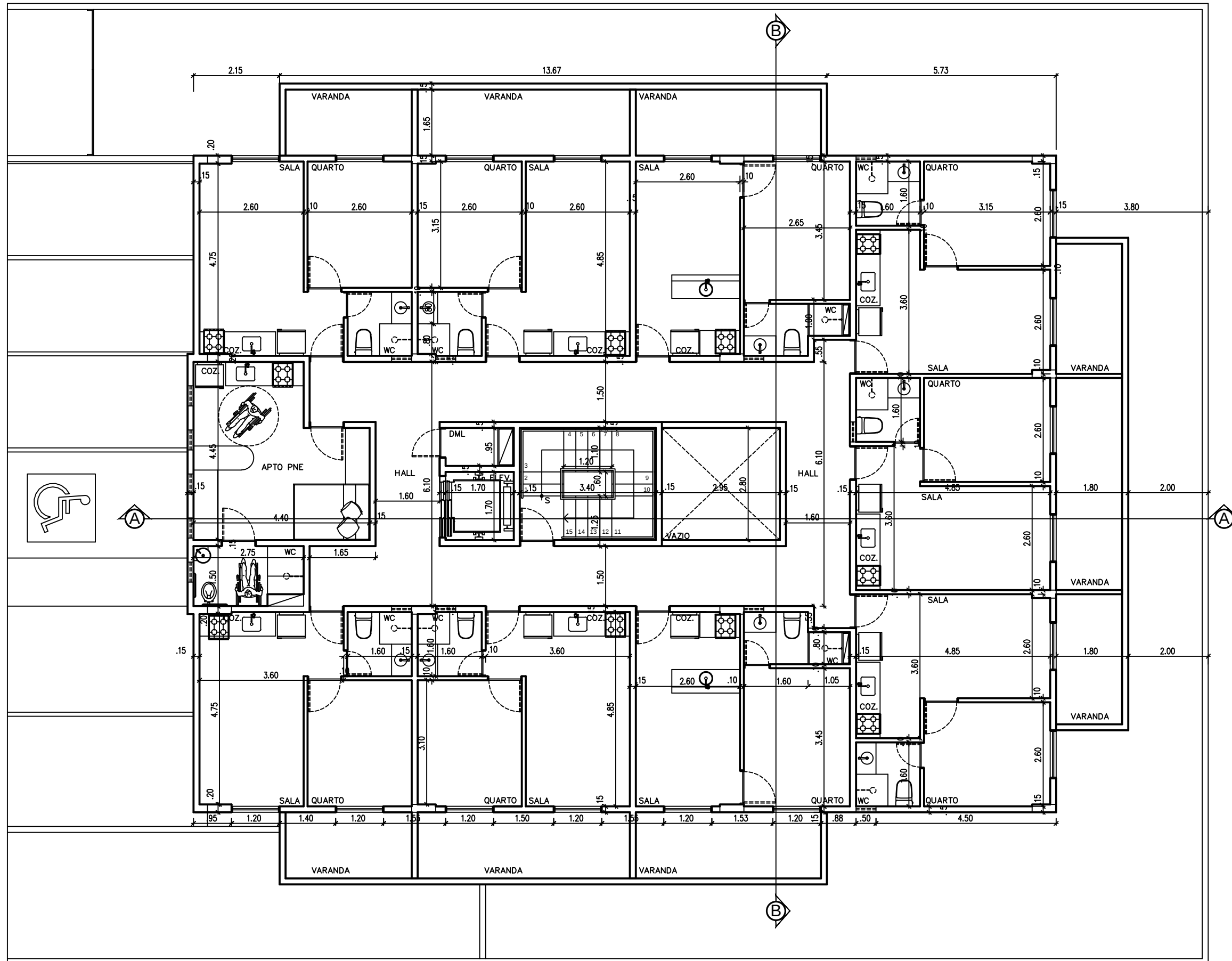
ANEXO

ANEXO A – Projeto arquitetônico estudo de caso 1



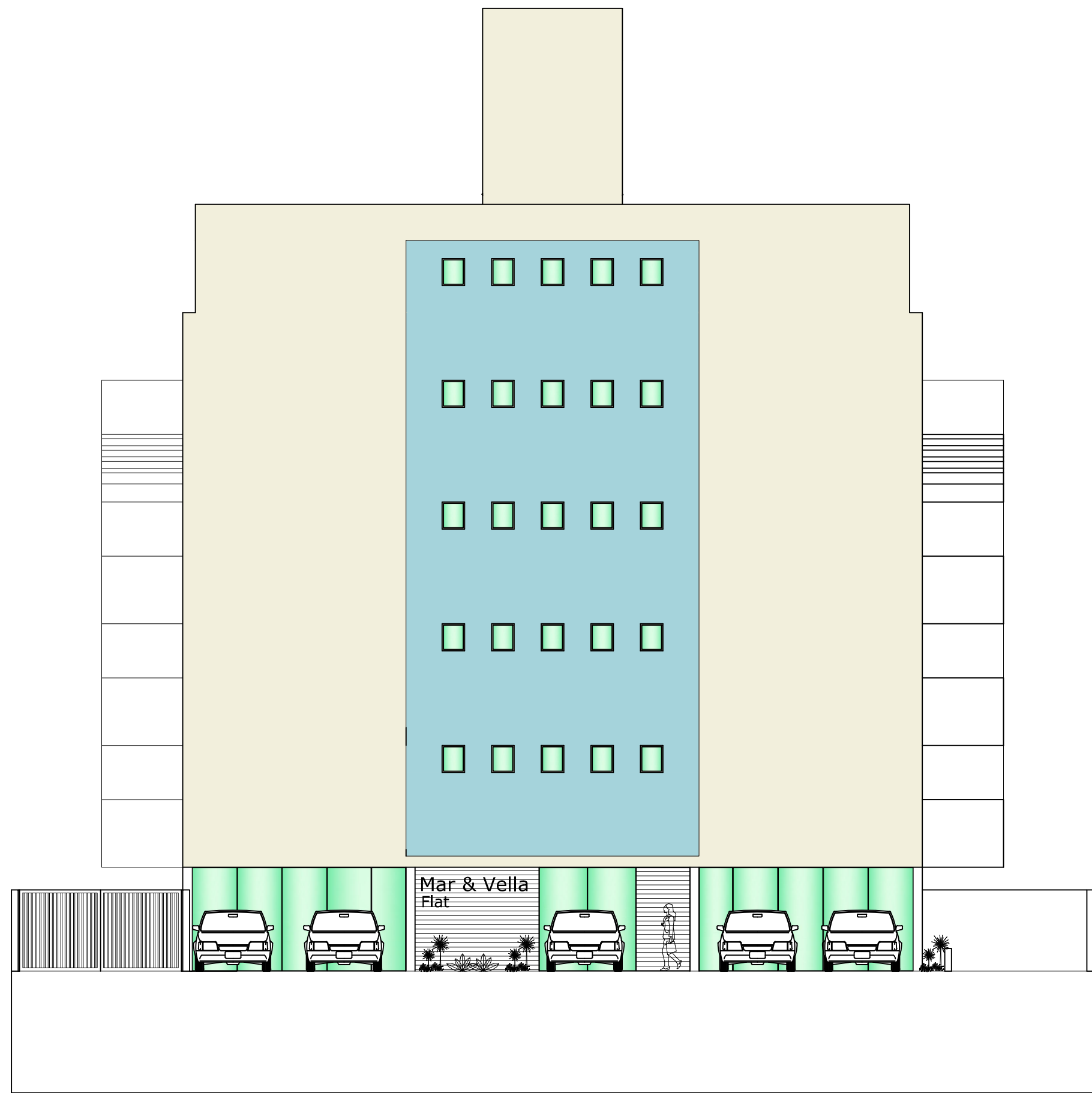
PLANTA BAIXA TÉRREO
ESCALA 1/75

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO		DATA:
CENTRO ACADÊMICO DE AGRESTE		FEV/2015
PROJETO : SP FLAT		
LOCALIZAÇÃO : João Pessoa - PB		
PROJETO:	TÍTULO: Planta baixa do térreo	
arquitetônica		
ESCALA:		PRANCHA:
1:75		1/3



PLANTA BAIXA PAV. TIPO
ESCALA 1/75

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE			DATA: FEV/2015
PROJETO : SP FLAT			
LOCALIZAÇÃO : João Pessoa - PB			
PROJETO: Arquitetônico	TÍTULO: Planta baixa do pavimento tipo		
ESCALA: 1:75			PRANCHA: 2/3

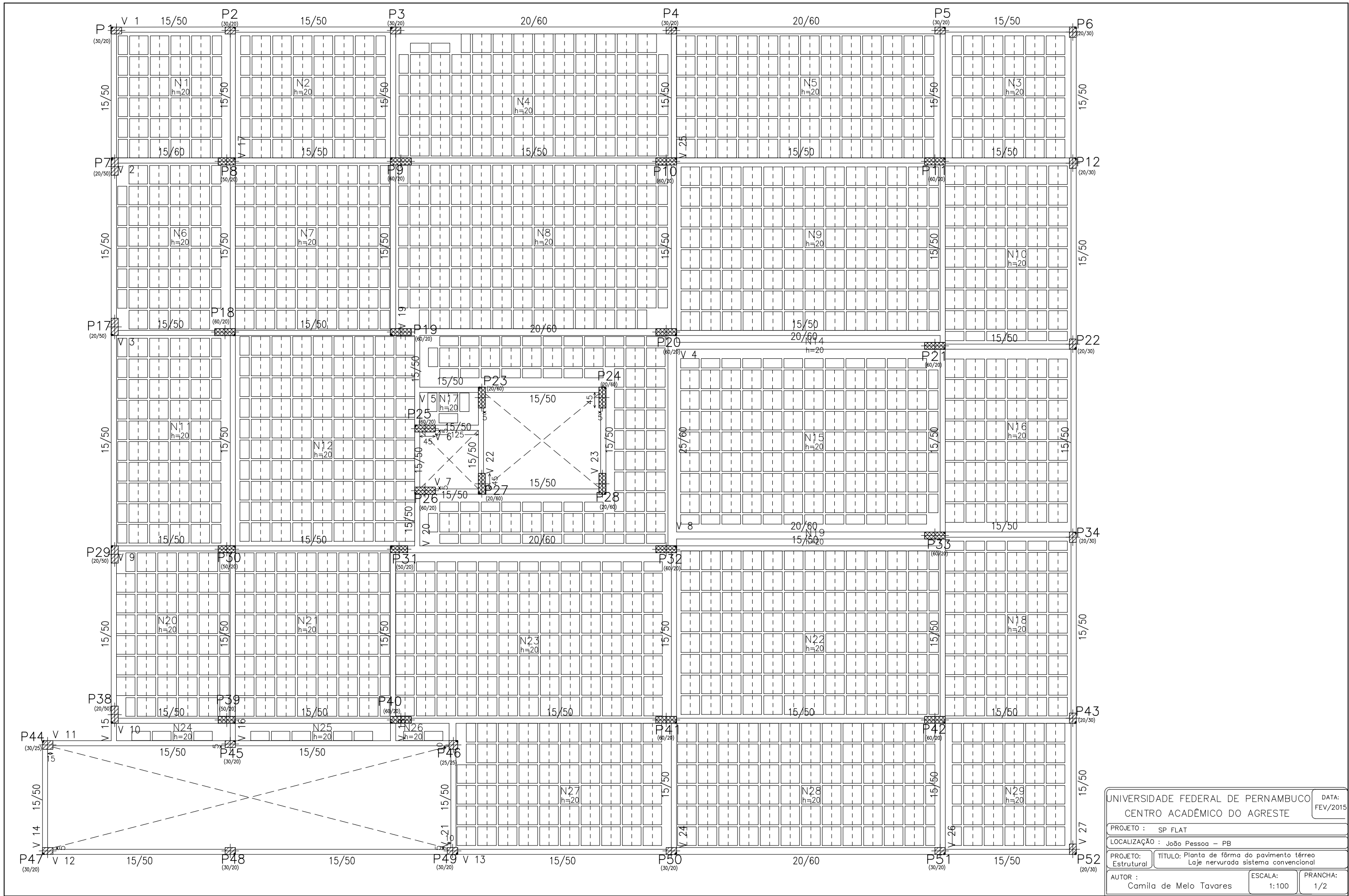


PROJEÇÃO DO SUBSOLO

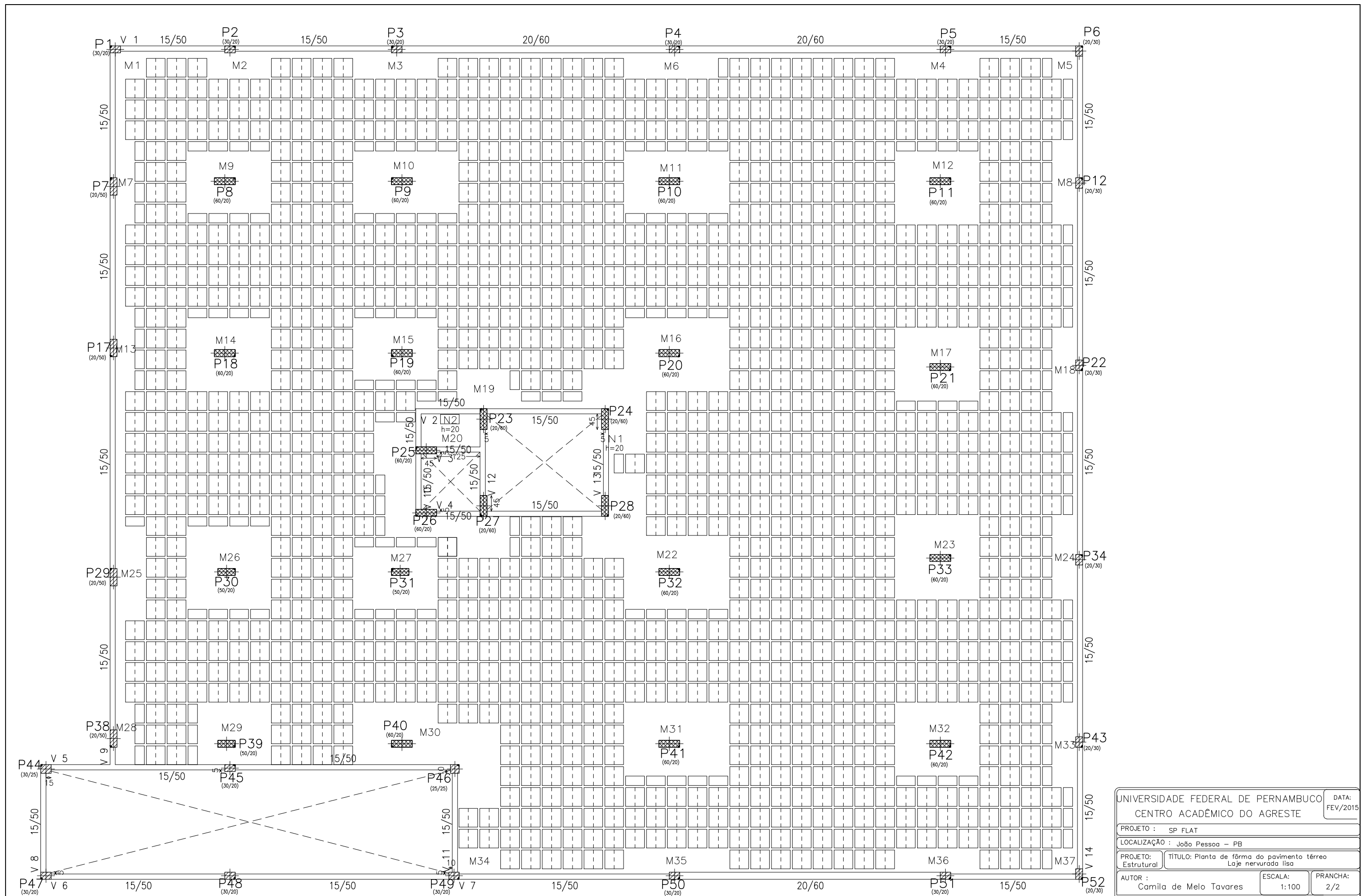
FACHADA OESTE
ESCALA 1/75

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO		DATA:
CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE		FEV/2015
PROJETO : SP FLAT		
LOCALIZAÇÃO : João Pessoa – PB		
PROJETO:	TÍTULO: Fachada Oeste	
Arquitetônica	ESCALA:	PRANCHA:
	1:75	3/3

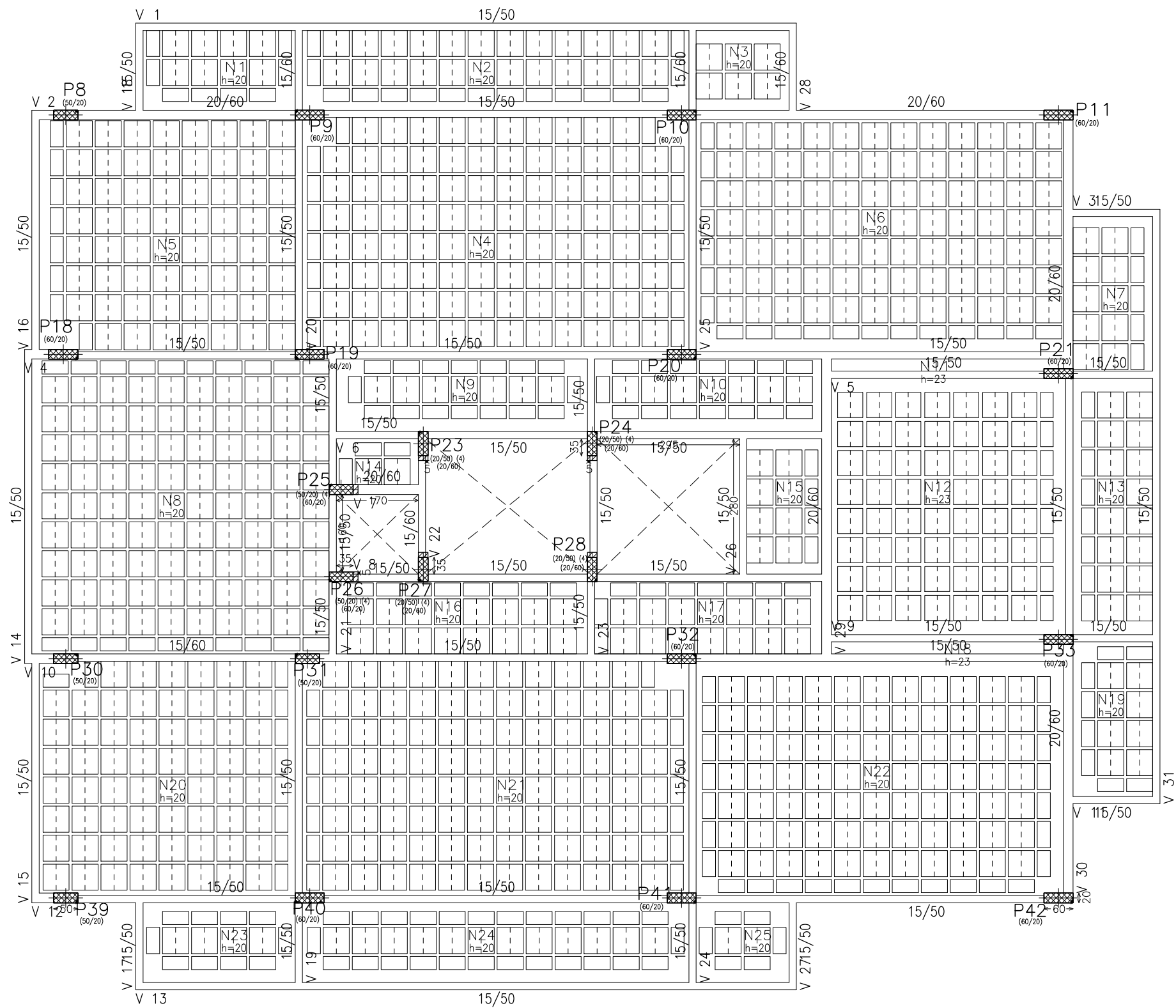
A.1 – Plantas de fôrmas do térreo estudo de caso 1



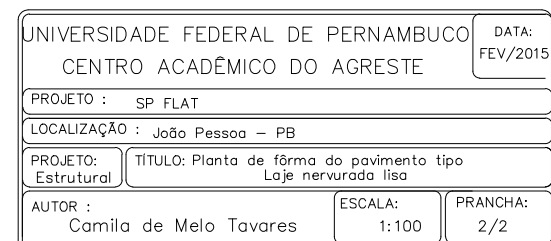
UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO		DATA:
CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE		FEV/2015
PROJETO : SP FLAT		
LOCALIZAÇÃO : João Pessoa - PB		
PROJETO: Estrutural	TÍTULO: Planta de fôrma do pavimento térreo Laje nervurada sistema convencional	
AUTOR : Camila de Melo Tavares	ESCALA: 1:100	PRANCHA: 1/2



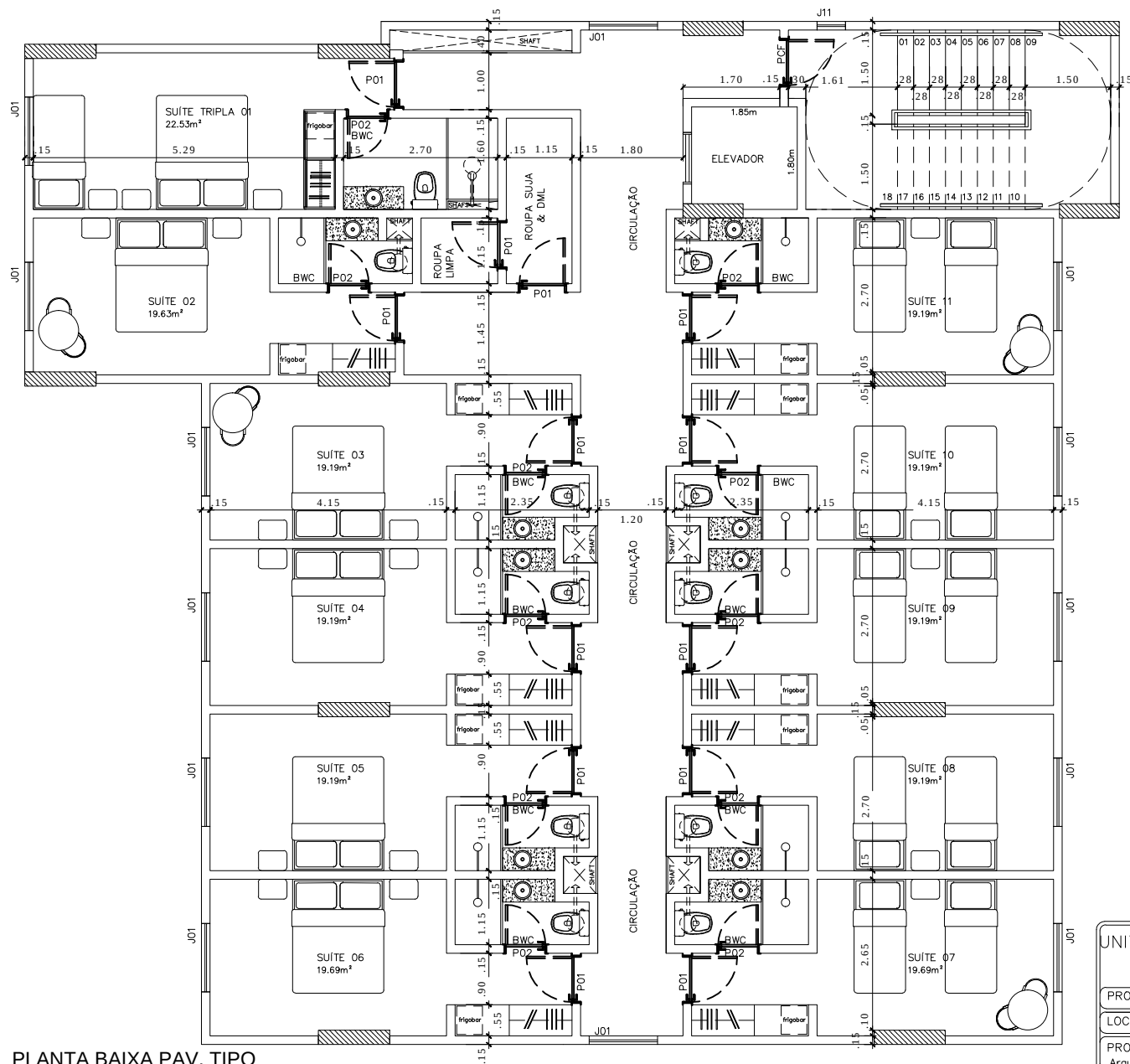
A.2 – Plantas de fôrmas do tipo estudo de caso 1



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO		DATA:
CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE		FEV/2015
PROJETO : SP FLAT		
LOCALIZAÇÃO : João Pessoa - PB		
PROJETO:	TÍTULO: Planta de fôrma do pavimento tipo	
Estrutural	Laje nervurada sistema convencional	
AUTOR :	ESCALA:	PRANCHA:
Camila de Melo Tavares	1:100	1/2



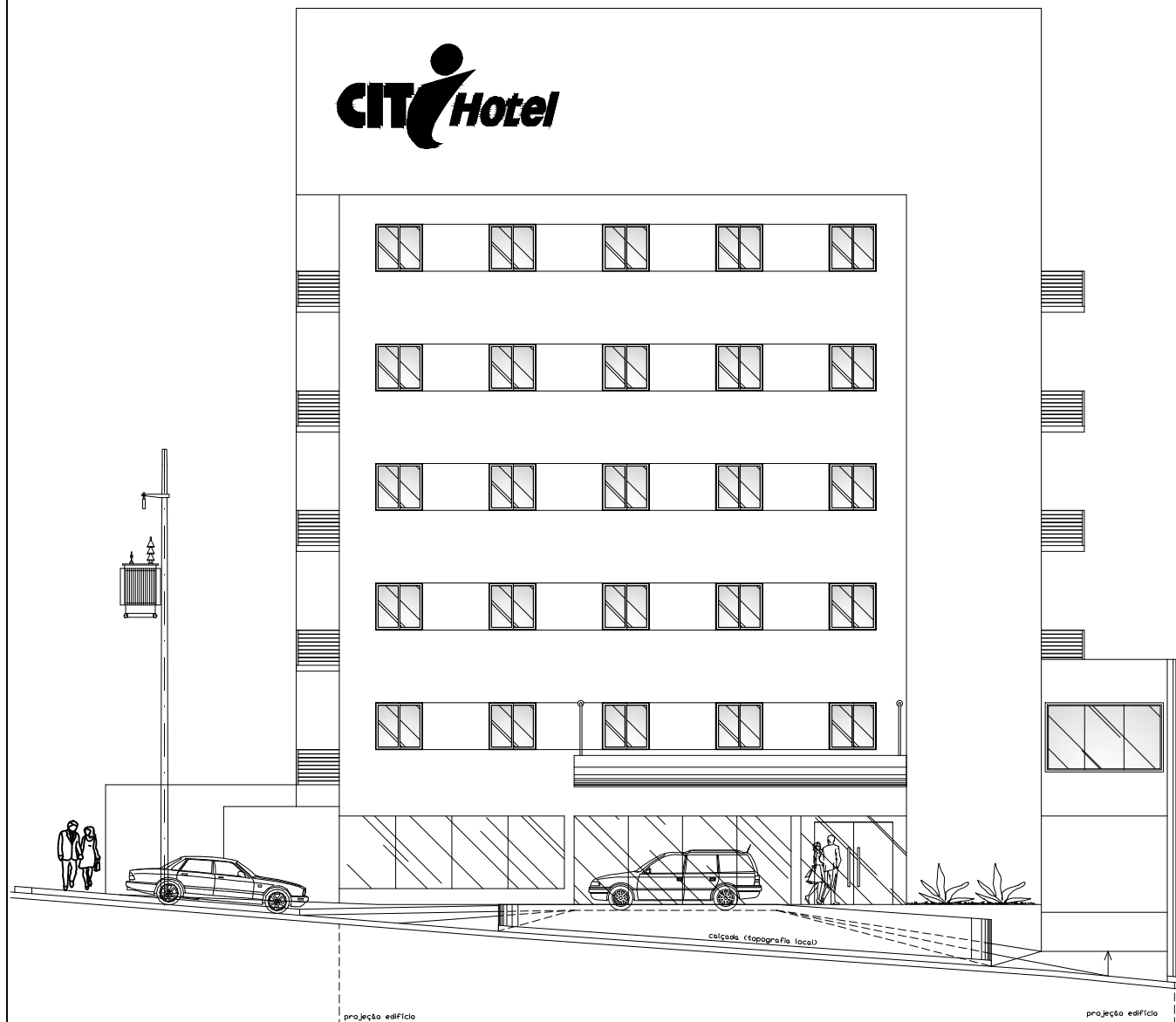
ANEXO B – Projeto arquitetônico estudo de caso 2



PLANTA BAIXA PAV. TIPO
SEM ESCALA

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO		DATA:
CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE		FEV/2015
PROJETO : HOTEL		
LOCALIZAÇÃO : Caruaru - PE		
PROJETO: Arquitetônico	TÍTULO: Planta baixa do pavimento tipo	
ESCALA: sem escala		PRANCHA: 1/2

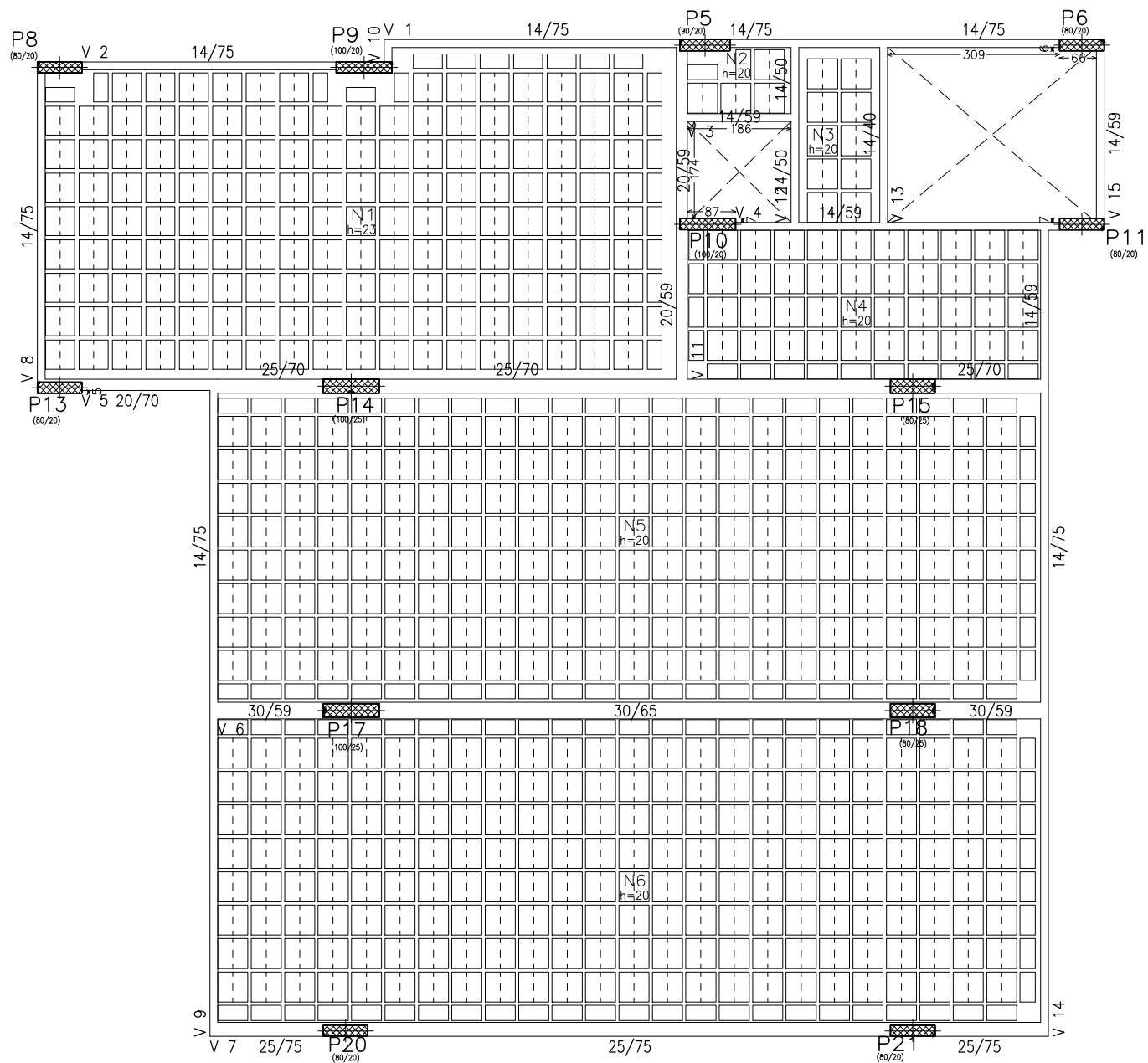
CITiHotel



FACHADA SUL
SEM ESCALA

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO		DATA:
CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE		FEV/2015
PROJETO : HOTEL		
LOCALIZAÇÃO : Caruaru - PE		
PROJETO: Arquitetônico	TÍTULO: Fachada Sul	
ESCALA: sem escala		PRANCHA: 2/2

B.1 – Plantas de fôrmas do tipo estudo de caso 2



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO		DATA:
CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE		FEV/2015
PROJETO : HOTEL		
LOCALIZAÇÃO : Caruaru - PE		
PROJETO: Estrutural	TÍTULO: Planta de fôrma do pavimento tipo Laje nervurada sistema convencional	
AUTOR :	ESCALA:	PRANCHA:
Camila de Melo Tavares	sem escala	1/2

