UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE
NÚCLEO DE TECNOLOGIA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

ANDRÉ FELIPE DE OLIVEIRA LOPES

ESTUDO TÉCNICO COMPARATIVO ENTRE LAJES MACIÇAS E NERVURADAS COM DIFERENTES TIPOS DE MATERIAIS DE ENCHIMENTO

Caruaru, 2012

ANDRÉ FELIPE DE OLIVEIRA LOPES

ESTUDO TÉCNICO COMPARATIVO ENTRE LAJES MACIÇAS E NERVURADAS COM DIFERENTES TIPOS DE MATERIAIS DE ENCHIMENTO

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 obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Área de concentração: Estruturas

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

Coorientador: Prof. Dr. Gustavo Bono

Caruaru, 2012

Catalogação na fonte
Bibliotecária Simone Xavier CRB4 - 1242

L864e Lopes, André Felipe de Oliveira.
Estudo técnico comparativo entre lajes maciças e nervuradas com diferentes tipos de materiais de enchimentos. / André Felipe de Oliveira Lopes. - Caruaru: O autor, 2012.
102f. : il. ; 30 cm.

Orientadora: Giuliana Furtado Franca Bono
Coorientador: Gustavo Bono
Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Universidade Federal de Pernambuco, CAA. Engenharia Civil, 2012.
Inclui bibliografia.

1. Concreto armado. 2. Laje maciça. 3. Laje nervurada. 4. Lajes de concreto. I. Bono, Giuliana Furtado Franca (orientadora). II. Bono, Gustavo (coorientador). III. Título.

620 CDD (23. ed.) UFPE (CAA 2012-54)

ANDRÉ FELIPE DE OLIVEIRA LOPES

ESTUDO TÉCNICO COMPARATIVO ENTRE LAJES MACIÇAS E NERVURADAS COM DIFERENTES TIPOS DE MATERIAIS DE ENCHIMENTO

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 obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Área de concentração: Estruturas

A banca examinadora composta pelos professores abaixo, considera o candidato ANDRÉ FELIPE DE OLIVEIRA LOPES APROVADO COM NOTA 10,0.

Caruaru, 25 de Outubro de 2012.

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

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

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

Prof. Dr. Elder Alpes de Vasconcelos
Universidade Federal de Pernambuco – UFPE (Coordenador da disciplina)

Dedico este trabalho à minha família em especial aos meus pais, Nelson e Maria do Carmo, 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 e ao meu Coorientador Prof. Dr. Gustavo 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 Elder Vasconcelos, Humberto Lima, Flávio Diniz, Anderson Paiva, Antônio Acácio, José Moura, Almir Cirilo, Ana Cecília e Saulo de Tarso, pela amizade, conselhos e conhecimentos transmitidos nas disciplinas.

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

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

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.

A todos os meus amigos, em especial, Alan Dayvison, Matheus Lopes, Kleiverson Oliveira, Fellipe Borba, Martina Cezano e Glauber Coelho pelo convívio, pela amizade e cumplicidade nas dificuldades e alegrias dessa jornada.

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

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

Albert Einstein

RESUMO

ESTUDO TÉCNICO COMPARATIVO ENTRE LAJES MACIÇAS E NERVURADAS COM DIFERENTES TIPOS DE MATERIAIS DE ENCHIMENTO

Diante do atual cenário de desenvolvimento da construção civil e do aumento da concorrência entre as empresas deste setor, faz-se necessário oferecer alternativas estruturais e construtivas que permitam flexibilidade, eficiência, eficácia e redução de custos. O grande desenvolvimento das tecnologias na área de informática nas últimas décadas vem propiciando cada vez mais condições para análises estruturais de alta complexidade, que estão materializadas em softwares comerciais de cálculo estrutural, os quais tornam o dimensionamento das estruturas mais produtivo e estão cada vez mais importantes na rotina do engenheiro estrutural. Este trabalho apresenta um estudo técnico comparativo entre lajes maciças e nervuradas com diferentes tipos de materiais de enchimento, tais como: blocos de EPS, blocos de concreto celular, blocos cerâmicos e caixotes reaproveitáveis de polipropileno. As simulações foram efetuadas utilizando modelos gerados em computador no software CYPECAD versão 2010, fundamentado na NBR 6118 de 2003 da Associação Brasileira de Normas Técnicas. Os cálculos dos esforços e deformações, assim como o dimensionamento da estrutura, foram obtidos através do referido programa, que, depois de verificados os resultados e feito às análises necessárias, permitiram a obtenção dos quantitativos referentes aos esforços cortantes, momentos fletores, deslocamentos, consumo de fôrmas, consumo de concreto, taxa de armadura e a composição do custo total da estrutura para cada sistema estrutural analisado.

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

ABSTRACT

TECHNICAL STUDY COMPARATIVE BETWEEN MASSIVE AND RIBBED SLABS WITH DIFFERENT TYPES OF FILLING MATERIALS

In the present scenario of development of civil construction and increased competition between companies in this sector, it is necessary to provide alternatives structural and constructive that allows flexibility, efficiency, effectiveness and cost reduction. The great development of technologies in computer science in recent decades has increasingly providing conditions for structural analysis of high complexity, which are materialized in commercials' software for structural design, which makes the design's structures more productive and increasingly important in structural engineer's routine. This paper presents a technical comparison between massive and ribbed slabs with different types of filling materials, such as: EPS' blocks, cellular concrete's blocks, ceramic's blocks and reusable polypropylene bins. The simulations were performed using models generated at computer on the CYPECAD version 2010's software, based on the NBR 6118 of 2003 of the Brazilian Association of Technical Standards. The calculations of efforts and deformations, as well as the structure's sizing, were obtained through this program, that, after checked the results and made the necessary analysis, allowed obtaining the quantitative referring of shear's efforts, bending moments, displacements, consumption formwork, concrete's consumption, reinforcement ratio and the composition of the total cost of the structure for each structural system analyzed.

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

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Funções estruturais das lajes. (a) Laje funcionando como placa e (b) Laje funcionando como chapa (FRANCA & FUSCO, 1997). 22

Figura 2.2 – Vãos da laje retangular armada em uma direção. 24

Figura 2.3 – Vãos da laje retangular armada em duas direções. 25

Figura 2.4 – Peso próprio calculado para 1 m² de laje maciça. 27

Figura 2.5 – Laje maciça apoiada sobre vigas. 32

Figura 2.6 – Detalhe das escoras, longarinas, travessas e assoalhos na execução de laje maciça (www.labrestauro.ufsc.br/wp-content//2a-processo-construtivo.PPT)... 34

Figura 2.7 – Armaduras, eletrodutos e caixas de passagem (www.labrestauro.ufsc.br/wp-content//2a-processo-construtivo.PPT) 34

Figura 2.8 – Molhar as fôrmas, concretagem da viga, colocação do vibrador e armadura negativa (www.labrestauro.ufsc.br/wp-content//2a-processo-construtivo.PPT) 35

Figura 2.9 – Processo de concretagem da laje maciça: a) lançamento e adensamento do concreto; b) retirada das guias; c) nivelamento e acabamento (www.labrestauro.ufsc.br/wp-content//2a-processo-construtivo.PPT) 36

Figura 2.10 – Processo de Desforma (www.labrestauro.ufsc.br/wp-content//2a-processo-construtivo.PPT) 37

Figura 2.11 – Laje nervurada com as células aparentes. 40

Figura 2.12 – Laje nervurada, normal, com as células não aparentes. 40

Figura 2.13 – Montagem dos blocos para as lajes nervuradas moldadas “in loco” (BOCCHI JR & GIONGO, 2010). 41

Figura 2.14 – Lançamento e adensamento do concreto em lajes nervuradas moldadas no local (BOCCHI Jr & GIONGO, 2010). 42

Figura 2.15 – Lajes com vigotas pré-moldadas e blocos cerâmicos como material de enchimento (SILVA, 2005). 45

Figura 2.16 – Retirada dos caixotes. (FORMPLAST, 1998 apud ALBUQUERQUE, 1999). 46

Figura 2.17 – Escoramento dos caixotes sem assoalho (ALBUQUERQUE, 1999). 46

Figura 2.18 – Detalhe de moldes de fôrmas de polipropileno (www.atex.com.br). 47

Figura 2.19 – Laje nervurada construída com caixotes (www.atex.com.br)..... 47

Figura 2.20 – Seção transversal de laje nervurada com placas escondendo as nervuras e os espaços vazios entre estas (SILVA, 2005)..... 48

Figura 2.21 – Vista dos blocos de EPS (FRANCA & FUSCO, 1997). 49

Figura 2.22 – Estrutura em 3D do edifício estudado gerada pelo CYPECAD. 52

Figura 3.1 – Janela para criação dos pavimentos no CYPECAD. 56

Figura 3.2 – Arquivos DWG/DXF importados do sistema CAD para o CYPECAD. 57

Figura 3.3 – Lançamento automático dos pilares no CYPECAD. 57

Figura 3.4 – Menu de dados gerais do CYPECAD. 58

Figura 3.5 – Edição das vigas no CYPECAD. 59

Figura 3.6 – Edição das lajes no CYPECAD. 60

Figura 3.7 – Visualização do pórtico espacial da estrutura no CYPECAD. 60

Figura 3.8 – Janela visível no instante do processamento da estrutura. 61

Figura 4.1 – Peso próprio da laje L22 para os diferentes sistemas construtivos 63

Figura 4.2 – Isovalores de deslocamentos verticais das lajes maciças do pavimento tipo..... 64

Figura 4.3 – Flecha máxima da laje mais solicitada dos sistemas construtivos no pavimento tipo..... 65

Figura 4.4 – Variação percentual das flechas máximas das lajes nervuradas em relação à laje maciça..... 66

Figura 4.5 – Momentos fletores máximos positivos na laje L22 do pavimento tipo 67

Figura 4.6 – Momentos fletores máximos negativos na laje L22 do pavimento tipo 67

Figura 4.7 – Esforço cortante máximo na laje L22 do pavimento tipo 68

Figura 4.8 – Redução do (a) consumo de concreto e da (b) taxa de aço nos sistemas de lajes nervuradas em relação ao sistema de laje maciça para a superestrutura do flat 69

Figura 4.9 – Redução percentual do (a) custo de concreto e do (b) custo da armadura da superestrutura para os sistemas de lajes nervuradas em relação ao de laje maciça 71

Figura 4.10 – Custo total de toda superestrutura dos sistemas estruturais analisados 72

Figura 4.11 – Redução percentual de aço, concreto e fôrma da fundação dos sistemas de lajes nervuradas em relação ao sistema de laje maciça 74

Figura 4.12 – Redução percentual dos custos de material, mão de obra e totais da fundação dos sistemas de lajes nervuradas em relação ao sistema de laje maciça 75

Figura 4.13 – Custo total de material 76

Figura 4.14 – Custo total de mão de obra 76

Figura 4.15 – Custo total da estrutura 77

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Valores mínimos das cargas verticais..... 29

Tabela 4.1 – Espessura, Peso próprio e flechas totais e admissíveis..... 62

Tabela 4.2 – Espessura equivalente em laje maciça das lajes nervuradas analisadas..... 63

Tabela 4.3 – Momentos fletores máximos positivos e negativos e cortante máximo na laje L22 do pavimento tipo 66

Tabela 4.4 – Consumo de fôrma, concreto e aço da superestrutura do flat..... 69

Tabela 4.5 – Custo total de fôrmas, concreto e armadura da superestrutura dos sistemas estruturais analisados..... 70

Tabela 4.6 – Custo com material, mão de obra e total da superestrutura dos sistemas estruturais analisados 72

Tabela 4.7 – Quantitativo de fôrmas ,armadura e concreto das fundações..... 73

Tabela 4.8 – Custos de material, mão de obra e totais das fundações..... 74

Tabela 4.9 – Custos de material, mão de obra e total de toda a estrutura do flat para os modelos estruturais analisados..... 75

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
NBR	Normas Brasileiras
EPS	Poliestireno Expandido
ELU	Estado Limite Último
ELS	Estado Limite de Serviço

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 18

1.1 Justificativa 19

1.2 Motivação 19

1.3 Objetivos 20

1.3.1 Objetivos Gerais 20

1.3.2 Objetivos Específicos 20

1.4 Revisão Bibliográfica 20

2. REFERENCIAL TEÓRICO 22

2.1 Lajes de Concreto Armado 22

2.1.1 Tipos de Lajes de Concreto Armado 23

2.1.2 Classificação das Lajes Quanto à Direção da Armadura principal 24

2.1.3 Vinculação Nas Bordas 25

2.2 Ações a Considerar no Dimensionamento de Lajes 26

2.2.1 Ações Permanentes 26

2.2.2 Ações Variáveis 29

2.2.3 Ações Excepcionais 30

2.3 Estados Limites para Projeto de Estruturas 30

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 32

2.6 Lajes Maciças de Concreto Armado 32

2.6.1 Materiais Constituintes e Processo de Execução 33

2.6.2 Vantagens e Desvantagens das Lajes Maciças 37

2.6.3 Espessura mínima das lajes maciças 38

2.7 Lajes Nervuradas de Concreto Armado 39

2.7.1 Tipologia das Lajes Nervuradas de Concreto Armado 39

2.7.2 Lajes Nervuradas Moldadas no Local 39

2.7.3 Materiais de Enchimento das Lajes Nervuradas 44
2.7.4 Dimensões e Prescrições da NBR 6118/03 para as Lajes Nervuradas de Concreto Armado 50
2.8 Software Comercial de Cálculo Estrutural – CYPECAD 51
3. METODOLOGIA 53
3.1 Considerações gerais 53
3.2 Tipologia e concepção dos sistemas estruturais adotados 53
3.3 Escolha do edifício exemplo 53
3.4 Características do solo e das fundações 54
3.5 Ferramentas de cálculo e análise estrutural 54
3.6 Parâmetros de comparação adotados 54
3.6.1 Índice de concreto i_c 54
3.6.2 Índice de aço i_a 55
3.6.3 Índice de formas i_f 55
3.7 Critérios para o cálculo dos custos 55
3.8 Lançamento e Cálculo Estrutural do Edifício no CYPECAD 56
3.9 Características do projeto estrutural 61
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO 62
4.1 Análise Estrutural 62
4.2 Análise de Custo 68
4.2.1 Estudo comparativo levando em consideração toda a superestrutura do Flat 68
4.2.2 Estudo comparativo das fundações do Flat 73
4.2.3 Estudo comparativo da estrutura global do edifício 75
5. CONCLUSÕES 78
5.1 Conclusões 78
5.2 Propostas para Trabalhos Futuros 79
REFERÊNCIAS 80

APÊNDICE 82
APÊNDICE A – Quantitativo e composição do custo total da superestrutura 82
A.1 – Sistema estrutural de laje maciça 82
A.2 – Sistema estrutural de laje nervurada com enchimento de tijolo cerâmico 85
A.3 – Sistema estrutural de laje nervurada com enchimento de EPS 88
A.4 – Sistema estrutural de lajes nervuradas com enchimento de polipropileno reaproveitável 92
APÊNDICE B – Quantitativo e composição do custo total da fundação 95
B.1 – Sistema estrutural de lajes maciças 95
B.2 – Sistema estrutural de lajes nervuradas com enchimento de tijolos cerâmicos 97
B.3 – Sistema estrutural de lajes nervuradas com enchimento de EPS 99
B.4 – Sistema estrutural de lajes nervuradas com enchimento de polipropileno reaproveitável 101
ANEXO I
ANEXO A – Projeto Arquitetônico do flat mar & vela I
ANEXO B – Plantas de fôrmas e armaduras do pavimento tipo XI
B.1 – Sistema estrutural de laje maciça XI
B.2 – Sistema estrutural de laje nervurada com enchimento de tijolos cerâmicos XV
B.3 – Sistema estrutural de laje nervurada com enchimento de EPS XX
B.4 – Sistema estrutural de laje nervurada com enchimento de caixote reaproveitável de polipropileno XXV

1. INTRODUÇÃO

Diante de um atual cenário de acirrada concorrência no setor da construção civil torna-se imprescindível reduzir custos que envolvem a construção de determinado empreendimento, por isso as empresas do setor vêm investindo incessantemente no conhecimento de novas técnicas que permitam minimizar o desperdício e, consequentemente, o custo total da obra. Esse fator pode ser bastante significativo quando aplicado às lajes, pois dependendo da redução da espessura de concreto e da quantidade de pavimentos que tal evento irá se repetir pode proporcionar vantagens econômicas e financeiras consideráveis. Essa compensação não é alcançada somente pelo lado da economia de materiais, mas também pela rapidez proporcionada pelo método construtivo.

Atualmente existem diversos sistemas estruturais que empregam lajes de concreto armado como lajes maciças, nervuradas (pré-fabricadas ou moldadas “in loco”), protendidas (alveolares), mistas etc. Onde cada sistema possui sua especificidade de aplicação com vantagens e desvantagens.

Devido ao grande número de sistemas estruturais encontrados no mercado da construção civil os profissionais precisam optar por um determinado tipo. Só que muitas vezes a escolha adotada não se adapta às condições específicas do empreendimento. Isso porque, cada obra possui características arquitetônicas particulares, dificultando a utilização de um modelo padrão.

As ferramentas de cálculo (programas) auxiliam no processo de análise e aceleram a produtividade no detalhamento dos projetos para os diversos sistemas estruturais existentes. No entanto, cabe ao engenheiro 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 crescente de industrialização, se torna necessário um estudo sobre os vários métodos construtivos de lajes através da comparação entre os diferentes sistemas em uso.

1.1 Justificativa

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

Inseridos neste atual momento de desenvolvimento econômico do país, os novos investimentos para o estado de Pernambuco impulsionam o crescimento populacional das cidades. Entretanto, o reduzido espaço físico das aglomerações urbanas com relação às áreas de ocupação com moradias acarreta o fenômeno da verticalização das cidades, onde o número de pavimentos das edificações tende a crescer.

Impulsionada pelos investimentos econômicos e em infraestrutura no estado de Pernambuco, a cidade de Caruaru experimenta um crescimento acelerado em sua economia. Tal fato está atraindo um maior número de pessoas em busca de oportunidade de emprego e, consequentemente, demandando um maior número de moradias. Diante deste contexto, as edificações estão sendo projetadas visando um número maior de apartamentos bem como o aumento do número de pavimentos.

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

1.2 Motivação

É extremamente importante para o aluno de graduação em engenharia civil conhecer detalhadamente os diversos tipos de 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.

Como já mencionado anteriormente, com o mercado cada vez mais competitivo e informatizado, torna-se indispensável à busca por projetos mais racionalizados. Desta

maneira, a utilização de softwares comerciais de cálculo estrutural estimula o profissional a buscar soluções ótimas do ponto de vista de desempenho, segurança e economia.

Num país em desenvolvimento como o Brasil, onde o setor da construção civil experimenta um momento histórico de crescimento, é extremamente importante à busca por soluções que possibilitem a otimização nas obras de engenharia através dos conhecimentos técnicos aplicados à escolha de sistemas estruturais e ao dimensionamento ótimo de estruturas.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivos Gerais

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 maciças e lajes nervuradas em concreto armado utilizando o software comercial de cálculo estrutural CYPECAD versão 2010. 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 decisão por um modelo estrutural a ser adotado.

1.3.2 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. E, a posteriori, desenvolver um estudo técnico comparativo entre os pavimentos de um edifício executados com lajes maciças e lajes nervuradas moldadas "in loco" utilizando diferentes tipos de materiais de enchimento. Os cálculos dos esforços e deformações, assim como o dimensionamento da estrutura, serão obtidos através do software CYPECAD versão 2010, o qual permite a obtenção dos quantitativos referentes aos esforços cortantes, momentos fletores, deslocamentos, consumo de fôrmas, consumo de concreto e taxa de armadura.

1.4 Revisão Bibliográfica

Diversos trabalhos da literatura técnica realizaram estudos comparativos de sistemas estruturais de lajes em concreto armado nas últimas décadas. Um problema comum em projetos estruturais é a minimização do consumo de materiais e, consequentemente, a redução

do custo total das estruturas atendendo aos critérios de normas técnicas quanto aos limites de tensões e deslocamentos.

ALBUQUERQUE (1999) desenvolveu uma análise de alternativas estruturais para edifícios em concreto armado onde foi utilizado o software TQS. Contatou-se que a estrutura convencional com lajes maciças apresentou o maior custo, além do que a grande quantidade de vigas desse sistema dificulta a execução e prejudica a arquitetura. E, segundo o autor, o uso desse sistema estrutural deve ser restringido a casos específicos. Enquanto que a estrutura convencional com lajes nervuradas utilizando caixotes de polipropileno foi a mais econômica, apresentando uma redução de 15,15% em relação à alternativa com lajes maciças. Esse sistema estrutural vem sendo muito utilizado na maioria das cidades brasileiras.

SILVA (2002) apresentou uma análise comparativa de custos de sistemas estruturais para pavimentos de concreto armado. O sistema estrutural mais econômico, neste caso, também foi o constituído por lajes nervuradas executadas com fôrmas de polipropileno. Em segundo lugar, tem-se o sistema estrutural convencional com lajes nervuradas preenchidas com blocos de EPS, que apresentou menor consumo de concreto. O sistema estrutural convencional com lajes maciças foi o economicamente menos viável devido ao alto consumo de concreto. Porém, percentualmente, os custos não diferiram significativamente entre os sistemas.

SPOHR (2008) realizou uma análise comparativa entre sistemas estruturais convencionais e estruturas de lajes nervuradas usando os programas comerciais de cálculo estrutural CYPECAD e ALTOQI/EBERICK GOLD. A alternativa que apresentou maior custo total foi o sistema estrutural convencional de lajes maciças, porque essa opção necessita de formas mais recortadas e grande número de vigas altas, o que dificulta a execução das mesmas. Além disso, a quantidade de aço e concreto foram superiores aos outros sistemas analisados. Neste estudo o custo final da laje nervurada com cubetas de polipropileno obteve uma redução de 18,1 % em relação ao sistema convencional de laje maciça, além de apresentar o menor consumo de concreto e taxa de armadura entre as soluções analisadas.

VITALLI (2010) desenvolveu um estudo comparativo entre lajes nervuradas com diferentes tipos de materiais de enchimento utilizando o programa comercial de cálculo estrutural CYPECAD. No resultado geral da pesquisa o enchimento que obteve o melhor desempenho em todos os itens analisados foi o enchimento de cubeta plástica de polipropileno, que apresentou o menor custo total da laje, e os menores índices de esforços e deformações entre os sistemas analisados.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Lajes de Concreto Armado

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

De modo geral as lajes têm uma dupla função estrutural, uma vez que funcionam como placas, ao suportarem as cargas verticais aplicadas ao longo dos pisos, e como chapas, ao se constituírem em diafragmas rígidos horizontais que distribuem pelos diferentes pilares da estrutura as forças horizontais atuantes. Sendo assim, as lajes podem ser entendidas como elementos estruturais 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.

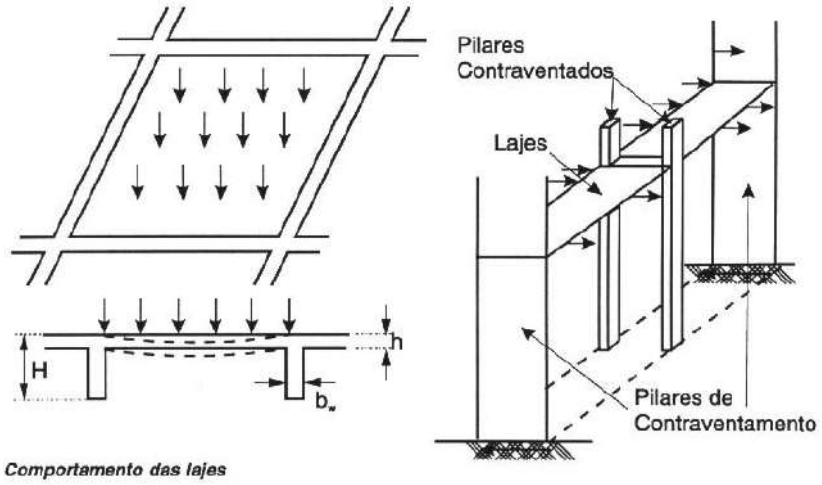


Figura 2.1 – Funções estruturais das lajes. (a) Laje funcionando como placa e (b) Laje funcionando como chapa (FRANCA & FUSCO, 1997).

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 pilares contraventados se apoiarem nos pilares de contraventamento, garantindo assim a estabilidade global da estrutura. Se por qualquer motivo este comportamento de chapa tiver sua eficiência diminuída, ou mesmo anulada, a segurança da construção em relação a um possível colapso

global ficará seriamente comprometida, pela impossibilidade de serem resistidos os esforços horizontais de contraventamento (FRANCA & FUSCO, 1997).

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

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

2.1.1 Tipos de Lajes de Concreto Armado

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

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

As lajes pré-moldadas recebem elementos pré-fabricados para a sua construção, normalmente produzidos fora do canteiro de obras, industrialmente. Tais elementos 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 um metro, sendo calculadas as nervuras como uma grelha de vigas e a mesa como uma laje independente;

b) Quanto ao tipo de apoio:

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

2.1.2 Classificação das Lajes Quanto à Direção da Armadura principal

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

a) Laje armada em uma direção

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

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

Onde: ℓ_x = lado menor;

ℓ_y = lado maior.

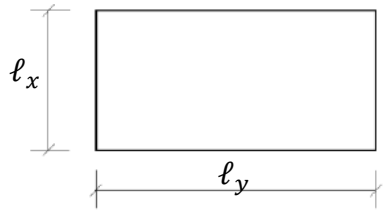


Figura 2.2 – Vãos da laje retangular armada em uma direção.

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 seção transversal mínima dada pela NBR 6118/03. Como a armadura principal é calculada para resistir à totalidade dos esforços, a armadura de distribuição tem o objetivo de solidarizar as faixas de laje da direção principal, prevendo-se, por exemplo, uma eventual concentração de esforços.

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

Nas lajes armadas em duas direções os esforços solicitantes são importantes segundo as duas direções principais da laje. A relação entre os lados é menor que dois como mostra a Figura 2.3.

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

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.

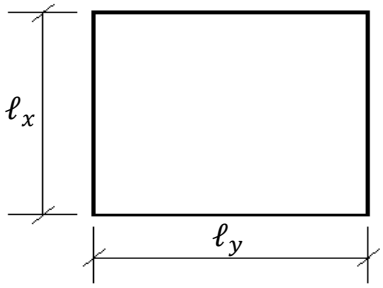


Figura 2.3 – Vãos da laje retangular armada em duas direções.

2.1.3 Vinculação Nas Bordas

Para o cálculo dos esforços solicitantes e das deformações nas lajes torna-se necessário estabelecer os vínculos da laje com os apoios, sejam eles pontuais como os pilares, ou lineares como as vigas de borda. Os tipos mais comuns de vínculo das lajes são o apoio simples e o engaste perfeito.

a) Bordas simplesmente apoiada

O apoio simples surge nas bordas onde não existe ou não se admite a continuidade da laje com outras lajes vizinhas.

b) Bordas engastadas

O engaste perfeito ocorre nas bordas onde há continuidade entre duas lajes vizinhas e no caso de lajes em balanço como marquises, varandas, etc.

2.2 Ações a Considerar no Dimensionamento de Lajes

O item 4.3 da NBR 8681/03 define ações como causas que provocam esforços ou deformações nas estruturas. Do ponto de vista prático, as forças e as deformações impostas pelas ações são consideradas como se fossem as próprias ações. As deformações impostas são por vezes designadas por ações indiretas e as forças, por ações diretas.

Para determinação das ações atuantes nas lajes deve-se recorrer às normas NBR 6118/03, 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 3.5 da NBR 8681/03 define ações permanentes como aquelas que ocorrem com valores constantes ou de pequena variação em torno de sua média, durante praticamente toda a vida da construção.

A NBR 8681/03, no item 4.2.1.1, classifica as ações permanentes em ações permanentes diretas e ações permanentes indiretas.

a) Ações Permanentes Diretas

As ações permanentes diretas são constituídas pelos pesos próprios dos elementos da construção, incluindo-se o peso próprio da estrutura e de todos os elementos construtivos permanentes, os pesos dos equipamentos fixos e os empuxos devidos ao peso próprio de terras não removíveis e de outras ações permanentes sobre elas aplicadas.

b) Ações Permanentes Indiretas

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

2.2.1.1 Ações Permanentes em Lajes

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

2.2.1.1.1 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}) a NBR 6120/80 indica o valor de 25 kN/m³. O peso próprio para lajes maciças com espessura constante é uniformemente distribuído na área da laje, e para um metro quadrado de laje (Figura 2.4) pode ser calculado como:

$$g_{pp} = \gamma_{conc} \cdot h = 25 \cdot h \tag{2.3}$$

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

h = altura da laje (m).

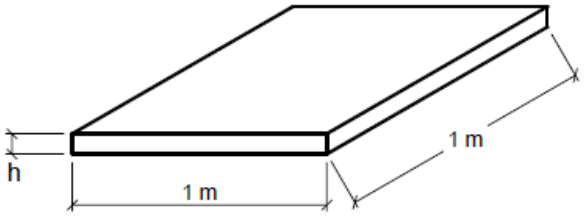


Figura 2.4 – Peso próprio calculado para 1 m² de laje maciça.

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. 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:

$$g_{contr} = \gamma_{contr} \cdot e = 21 \cdot e \tag{2.4}$$

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

e = espessura do contrapiso (m).

2.2.1.1.3 Revestimento do Teto

Na superfície inferior das lajes ou teto do pavimento inferior é comum executar-se uma camada de revestimento de argamassa, sobreposta à camada fina de chapisco. Para essa argamassa, menos rica em cimento, pode-se considerar, segundo a NBR 6120/80, o peso específico (γ_{rev}) de 19 kN/m³.

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

$$g_{rev.teto} = \gamma_{rev} \cdot e = 19 \cdot e \quad (2.5)$$

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

e = espessura do revestimento (m).

2.2.1.1.4 Piso

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

A 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.

2.2.1.1.5 Paredes

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

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

$$P = \gamma_{alv} \cdot e \cdot h \quad (2.6)$$

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 contem 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/m²)**
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.

2.3 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 6118/03 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.

As ações permanentes são consideradas em sua totalidade, enquanto que para as ações variáveis são consideradas apenas as parcelas que produzem efeitos desfavoráveis para a segurança.

2.4.1 Combinações Últimas

Segundo a NBR 6118/03, 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 6118/03, 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 6118/03 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 11.8.2.2 a NBR 6118/03 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, incêndio e colapso progressivo.

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 6118/03 e os coeficientes de ponderação estão dispostos nas tabelas 11.1 e 11.2 do item 11.7 da NBR 6118/03.

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 6118/03.

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) Pré-dimensionamento das espessuras das lajes;
2) Lançamento 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 software;
6) Verificação e edição dos elementos estruturais gerados pelo programa.

2.6 Lajes Maciças de Concreto Armado

As lajes maciças de concreto armado são placas de espessura uniforme composta por concreto, contendo armaduras longitudinais de flexão e eventualmente armaduras transversais, e apoiadas em vigas ou paredes ao longo das bordas (Figura 2.5). Lajes com bordas livres são casos particulares das lajes apoiadas nas bordas.

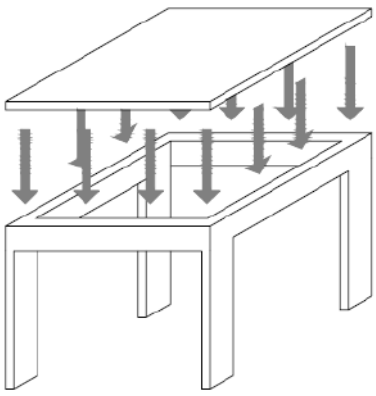


Figura 2.5 – Laje maciça apoiada sobre vigas.

2.6.1 Materiais Constituintes e Processo de Execução

2.6.1.1 Materiais constituintes

Os materiais que compõem as lajes maciças de concreto armado e possibilitam que elas atendam às necessidades de vãos, ações a serem suportadas, condições estáticas (simplesmente apoiadas, em balanço, contínuas), etc., são descritos a seguir.

a) Concreto

A NBR 6118/03, no item 8.2.1, estabelece que nos projetos estruturais de concreto armado devam ser empregado concretos compreendidos nas classes de resistência C20 ou superior, ou seja, concretos cuja resistência característica à compressão seja igual ou superior a 20 MPa. A classe C15 (concreto cuja resistência característica à compressão é igual a 15 MPa) pode ser usada apenas em fundações, conforme ABNT NBR 6122/96, e em obras provisórias.

b) Aço

O aço é uma liga metálica formada essencialmente por ferro e carbono, que adicionado ao concreto, constitui o concreto armado. Segundo a NBR 6118/03, item 8.3.1, nos projetos de estruturas de concreto armado deve ser utilizado aço classificado pela ABNT NBR 7480/96 com o valor característico da resistência de escoamento nas categorias CA-25, CA-50 e CA-60. Os diâmetros e seções transversais nominais devem ser os estabelecidos na Tabela 1 do anexo B da ABNT NBR 7480/96.

2.6.1.2 Processo de Execução

O processo de execução da laje maciça é relativamente simples e bem difundido. A seguir tem-se uma sequência de etapas relativas ao processo de execução das lajes maciças.

Etapa 1: Colocação das fôrmas e dos escoramentos

As fôrmas utilizadas nas estruturas de concreto armado têm por finalidade dar forma e sustentação antes que o concreto atinja resistência suficiente para se auto suportar. As fôrmas das lajes maciças podem ser de diversos materiais, entre eles destacam-se: madeira compensada e chapas de aço.

Esta etapa inicia-se com a confecção e o posicionamento das fôrmas e do cimbramento através das escoras, longarinas, travessas e assoalhos conforme a Figura 2.6. O item 7.2.1 da NBR 14931/04 afirma que o uso adequado possibilita o reaproveitamento de fôrmas e dos materiais utilizados para sua construção. No entanto, em um processo de utilização sucessiva,

devem ser verificadas as características e principalmente a capacidade resistente da fôrma e do material que a constitui.

Figura 2.6 – Detalhe das escoras, longarinas, travessas e assoalhos na execução de laje maciça (www.labrestauro.ufsc.br/wp-content//2a-processo-construtivo.PPT)

Etapa 2: Colocação das armaduras

Uma vez posicionadas as fôrmas e os cimbramentos, lança-se as armaduras principais e secundárias com o auxílio de espaçadores popularmente conhecidos por “caranguejos” com a função de evitar que a armadura negativa empregada nas regiões dos apoios ceda durante a execução da laje. Também nesta fase colocam-se espaçadores, os quais são popularmente conhecidos por “cocadas”, para garantir o recobrimento mínimo da estrutura necessário à proteção contra a corrosão.

Etapa 3: Preparação e lançamento do concreto

Antes do lançamento do concreto na laje definem-se as posições dos eletrodutos e das caixas de passagem referentes à instalação elétrica do edifício conforme mostra a Figura 2.7.

Figura 2.7 – Armaduras, eletrodutos e caixas de passagem (www.labrestauro.ufsc.br/wp-content//2a-processo-construtivo.PPT)

A NBR 14931/04 estabelece que antes da aplicação do concreto, deve ser feita a remoção cuidadosa de detritos. A superfície interna das fôrmas deve ser limpa e deve-se verificar a condição de estanqueidade das juntas, de maneira a evitar a perda de pasta ou argamassa. Fôrmas construídas com materiais que absorvam umidade ou facilitem a evaporação devem ser molhadas até a saturação, para minimizar a perda de água do concreto, fazendo-se furos para escoamento da água em excesso, salvo especificação contrária em projeto. A Figura 2.8 mostra a preparação que antecede o lançamento do concreto e a concretagem de uma viga adjacente a duas lajes.

Figura 2.8 – Molhar as fôrmas, concretagem da viga, colocação do vibrador e armadura negativa (www.labrestauro.ufsc.br/wp-content//2a-processo-construtivo.PPT)

O lançamento do concreto ocorre logo após o amassamento, não sendo permitido entre o fim deste e o lançamento intervalo superior a uma hora, sendo que este prazo deve ser contado a partir do fim da agitação na betoneira ao pé da obra. O uso de aditivos retardadores de pega faz com que se possa dilatar este prazo, de acordo com as propriedades do aditivo e as recomendações do fabricante (BOCCHI JR. & GIONGO, 2010).

Etapa 4: Adensamento do concreto

O item 9.5.1 da NBR 14931/04 prescreve que o concreto deve ser lançado e adensado de modo que toda a armadura, além dos componentes embutidos previstos no projeto, sejam adequadamente envolvidos na massa de concreto. O adensamento do concreto tem a finalidade 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 Figura 2.9 mostra a concretagem da laje, o processo de retirada das guias de concretagem, bem como o processo de nivelamento e acabamento da laje.

a) Lançamento e adensamento do concreto

b) Retirada das guias de concretagem

c) Nivelamento e acabamento

Figura 2.9 – Processo de concretagem da laje maciça: a) lançamento e adensamento do concreto; b) retirada das guias; c) nivelamento e acabamento (www.labrestauro.ufsc.br/wp-content//2a-processo-construtivo.PPT)

Etapa 5: Cura do concreto

O item 10.1 da NBR 14931/04 estabelece que enquanto não atingir endurecimento satisfatório, o concreto deve ser curado e protegido contra agentes prejudiciais tais como: mudanças bruscas de temperatura, secagem rápida, chuva forte, agentes químicos, etc. para evitar a perda de água de amassamento pela superfície exposta, assegurar uma superfície com resistência adequada e assegurar a formação de uma capa superficial durável.

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).

Etapa 6: Retirada das fôrmas e dos escoramentos

O item 10.2.2 da NBR 14931/04 estabelece que a retirada das fôrmas e do escoramento só pode ser feita quando o concreto estiver suficientemente endurecido para resistir às ações que sobre ele atuarem e não conduzir a deformações inaceitáveis, tendo em vista o baixo valor do módulo de elasticidade do concreto e a maior probabilidade de grande deformação diferida no tempo quando o concreto é solicitado com pouca idade.

O item 10.2.3 da NBR 14931/04 afirma que a retirada do escoramento e das formas deve ser efetuada sem choques e obedecer ao plano de desforma elaborado de acordo com o tipo da estrutura.

A Figura 2.10 mostra o processo de retirada das fôrmas da laje que deve atender aos requisitos estabelecidos na norma de execução de estruturas de concreto.

Figura 2.10 – Processo de Desforma (www.labrestauro.ufsc.br/wp-content//2a-processo-construtivo.PPT)

2.6.2 Vantagens e Desvantagens das Lajes Maciças

A seguir é apresentada uma lista de vantagens e desvantagens relacionadas a lajes maciças de concreto armado.

I) Vantagens:

- Oferece funções de placa e membrana (chapa);
- Bom desempenho em relação à capacidade de redistribuição dos esforços;
- Apropriada a situações de singularidade estrutural (por exemplo: Um, dois ou três bordos livres);

- A existência de muitas vigas, por outro lado, forma muitos pórticos, que garantem uma boa rigidez à estrutura de contraventamento;
- Foi durante anos o sistema estrutural mais utilizado nas construções de concreto, por isso a mão de obra já é bastante treinada;
- Menos suscetível a fissuras e trincas, uma vez que, depois de seco, o concreto torna-se um monobloco que dilata e contrai de maneira uniforme.

II) Desvantagens:

- Elevado consumo de fôrmas, escoras, concreto e aço;
- Elevado peso próprio implicando em maiores reações nos apoios (vigas, pilares e fundações);
- Elevado consumo de mão de obra referente às atividades dos profissionais: carpinteiro, armador, pedreiro e servente;
- Grande capacidade de propagação de ruídos entre pavimentos;
- Limitação quanto a sua aplicação a grandes vãos por conta da demanda de espessura média de concreto exigida para esta situação;
- Custo relativamente elevado;
- Devido aos limites impostos, apresenta uma grande quantidade de vigas, fato esse que deixa a forma do pavimento muito recortada, diminuindo a produtividade da construção;
- Tempo muito elevado para execução das fôrmas e da desforma.

2.6.3 Espessura mínima das lajes maciças

A NBR 6118/2003 no item 13.2.4.1 especifica que nas lajes maciças de concreto armado devem ser respeitados os seguintes limites mínimos para a espessura:

- 5 cm para lajes de cobertura não em balanço;
- 7 cm para lajes de piso ou de cobertura em balanço;
- 10 cm para lajes que suportem veículos de peso total menor ou igual a 30 kN;
- 12 cm para lajes que suportem veículos de peso total maior que 30 kN;
- 14 cm para lajes-cogumelo;
- 16 cm para lajes lisas.

2.7 Lajes Nervuradas de Concreto Armado

Segundo o item 14.7.7 da NBR 6118/03 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 e GIONGO, 1993 apud ARAÚJO, 2008).

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

2.7.1 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.

2.7.2 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 2.11 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.

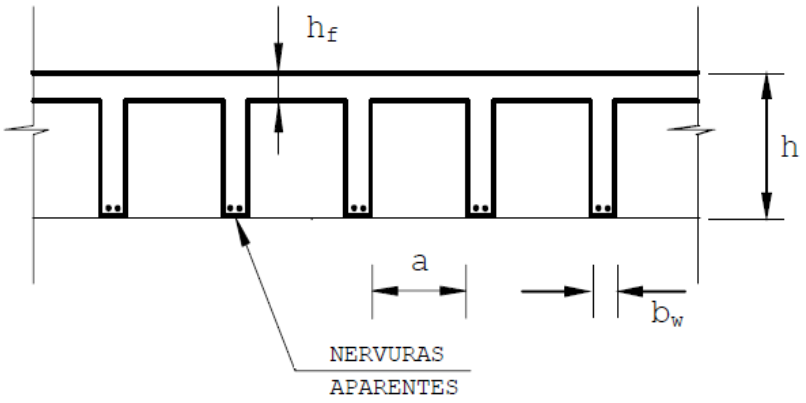


Figura 2.11 – Laje nervurada com as células aparentes.

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

A fim de evitar o uso de fôrmas entre as nervuras e a face inferior da mesa, é possível usar elementos inertes, sem função estrutural, constituídos por blocos que podem ser cerâmicos, de concreto celular, de poliestireno expandido (EPS), de polipropileno ou de outros materiais, conforme a Figura 2.12. 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.

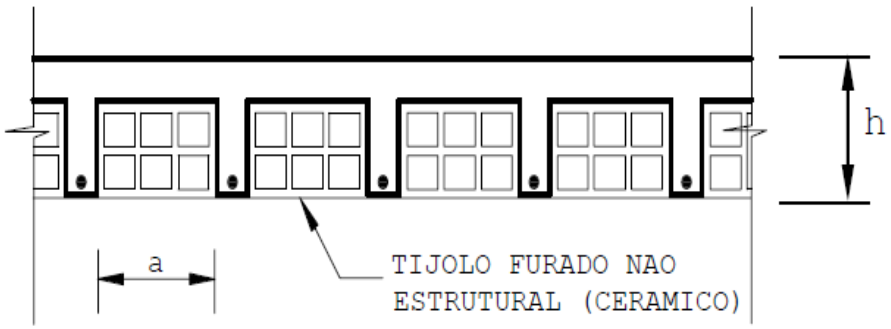


Figura 2.12 – Laje nervurada, normal, com as células não aparentes.

2.7.2.1 Processo de Execução

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

Etapa 1: Colocação das fôrmas e dos escoramentos

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

Os blocos são colocados sobre plataformas ou assoalhos (Figura 2.13), 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 2.13 – Montagem dos blocos para as lajes nervuradas moldadas “in loco” (BOCCHI JR & GIONGO, 2010).

Etapa 2: Colocação das armaduras

Após a colocação dos blocos obedecendo-se os espaçamentos especificados em projeto, colocam-se as barras das armaduras das nervuras com seus respectivos espaçadores, a fim de garantir o cobrimento necessário à proteção contra a corrosão. Caso a laje possua armadura transversal (estribos) esta precisa ser posicionada com o espaçamento previsto por meio de espaçadores de argamassa moldados na obra ou plásticos, evitando-se, assim, que estas não saiam da posição quando da concretagem da laje. A armadura da mesa precisa ser posicionada sobre os blocos, com os espaçamentos e cobrimentos convenientemente avaliados no projeto (BOCCHI JR. & GIONGO, 2010).

Etapa 3: Preparação e lançamento do concreto

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

Etapa 4: Adensamento do concreto

O concreto das lajes nervuradas precisa sempre ser vibrado, de preferência mecanicamente, a fim de garantir maior homogeneidade e redução do número de vazios permitindo-se, assim, que se tenha a resistência mínima do concreto prevista em projeto. A vibração é feita com vibradores de imersão (Figura 2.14) 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 2.14 – Lançamento e adensamento do concreto em lajes nervuradas moldadas no local (BOCCHI Jr & GIONGO, 2010).

Etapa 5: Cura do concreto

Enquanto o concreto não atingir o endurecimento satisfatório este deve ser protegido de agentes prejudiciais como: mudanças bruscas de temperatura, secagem rápida, chuva forte, agentes químicos, bem como contra choques e vibrações que possam produzir fissuras na

massa do concreto ou prejudicar a aderência às barras da armadura (BOCCHI JR & 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).

Etapa 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).

2.7.2.2 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.

2.7.3 Materiais de Enchimento das Lajes Nervuradas

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

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

2.7.3.1 Blocos cerâmicos

Os blocos cerâmicos normalmente são utilizados como material de enchimento na construção de lajes nervuradas pré-fabricadas armadas em uma quanto em duas direções. Deve-se tomar cuidado para que os blocos cerâmicos apresentem o mínimo de resistência necessária para que não quebrem durante o transporte até o local em que serão utilizados e

para que suportem o peso das pessoas e equipamentos que irão trafegar sobre os mesmos durante as etapas da sua colocação e durante a concretagem da laje.

Suas principais vantagens são:

- Apresentam facilidade de aquisição, com um baixo custo;
- Facilidade de execução;
- Melhores isolantes térmicos que o concreto maciço.

Apresentam também algumas desvantagens, como:

- Apresentam peso específico elevado para um simples material de enchimento;
- Incorporam carga permanente à laje;
- Absorvem água com facilidade, por isso devem ser molhados bastante e constantemente durante a concretagem da laje, a fim de que não absorvam a água de amassamento do concreto;
- São produzidos com poucas opções de dimensões e não permitem que sejam cortados, pois se quebrariam.

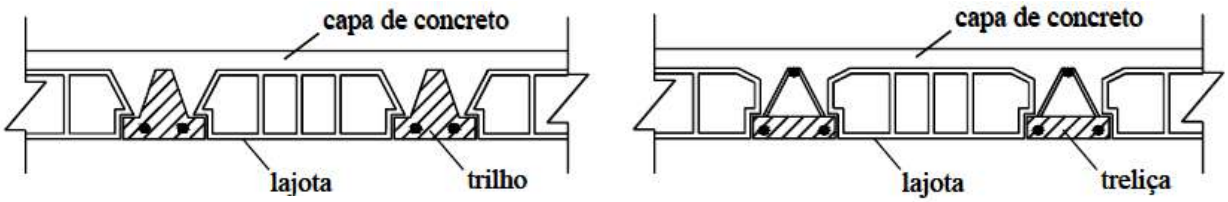


Figura 2.15 – Lajes com vigotas pré-moldadas e blocos cerâmicos como material de enchimento (SILVA, 2005).

2.7.3.2 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 2.16), permitindo o seu reaproveitamento. Segundo informações de empresas que comercializam moldes para lajes nervuradas que empregam este sistema, um caixote pode ser reutilizado até cem vezes.

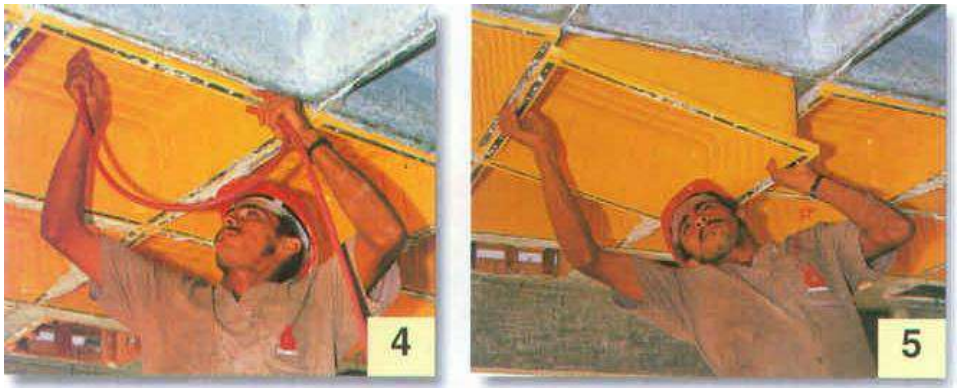


Figura 2.16 – Retirada dos caixotes. (FORMPLAST, 1998 apud ALBUQUERQUE, 1999).

Existe uma tendência de se substituir o assoalho da laje por escoras, barroteamentos e contra-barroteamentos (Figura 2.17). 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 2.17 – 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 2.18);
- 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 2.19);
- Possibilidade da utilização de forro falso que permite a passagem de dutos de instalações não embutidos na estrutura.

Figura 2.18 – Detalhe de moldes de fôrmas de polipropileno (www.atex.com.br).

Figura 2.19 – 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 2.20), aumentando o custo do sistema.

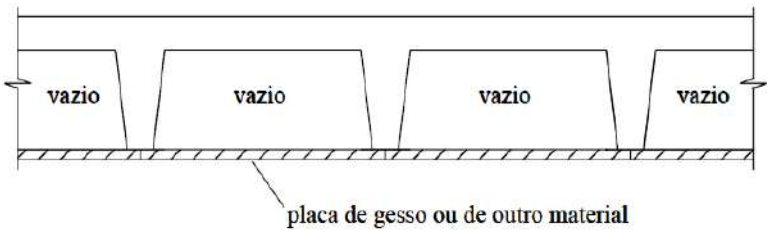


Figura 2.20 – Seção transversal de laje nervurada com placas escondendo as nervuras e os espaços vazios entre estas (SILVA, 2005)

2.7.3.3 Blocos de EPS (poliestireno expandido)

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

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

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

- Por apresentar baixo peso específico, o EPS proporciona uma significativa redução do peso próprio da estrutura e consequentemente economia em aço, concreto e na fundação. Essa sua propriedade favorece o seu manuseio, tanto no transporte vertical quanto no horizontal, acarretando economia de mão-de-obra. Tudo isso aumenta a produtividade, diminui o tempo de execução e reduz mão-de-obra;
- É produzido em grandes blocos, permitindo recortes nas dimensões desejadas. Os cortes no EPS são muito fáceis de serem feitos (com uso de facas ou de serrotes, por exemplo) e não há perda devido a quebras (Figura 2.21). Há, também, facilidade em executar cortes para passagem de tubulações utilizando-se;
- Por ser um material que possui baixa absorção de água, não prejudica a cura do concreto;

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

Figura 2.21 – Vista dos blocos de EPS (FRANCA & FUSCO, 1997).

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

- Por apresentar baixo peso específico, o processo de concretagem torna-se mais difícil;
- Incorporam carga permanente à laje, quando comparado com fôrmas constituídas e moldes de polipropileno;
- O EPS não pode receber diretamente o revestimento. O revestimento da face inferior da laje deve ser feito com chapisco, utilizando-se um aditivo de base acrílica (PVA), que estabeleça a ponte de ligação estável entre o EPS e os materiais de natureza cristalina (chapisco).

2.7.4 Dimensões e Prescrições da NBR 6118/03 para as Lajes Nervuradas de Concreto Armado

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

Basicamente, a seção transversal de uma laje nervurada apresenta as seguintes dimensões:

- Espessura da mesa;
- Espessura das nervuras;
- Espaçamento entre eixos das nervuras;
- Altura total da laje.

Em relação às espessuras da mesa e das nervuras a NBR 6118/03, no item 13.2.4.2, prescreve que:

a) A espessura da mesa, quando não houver tubulações horizontais embutidas, precisa ser maior ou igual a 1/15 da distância entre nervuras e não menor que 3 cm; o valor mínimo absoluto deve ser 4 cm quando existirem tubulações embutidas de diâmetro máximo 12,5 mm;
b) A espessura das nervuras não podem ser inferior a 5 cm; nervuras com espessura menor que 8 cm não devem conter armadura de compressão (caso de armadura dupla).

Sobre o espaçamento entre os eixos das nervuras, a NBR 6118/03, no item 13.4.2.2, faz uma referência apenas para fim de determinação dos esforços solicitantes e verificação da segurança estrutural, onde precisam ser obedecidas as seguintes condições:

a) Para lajes com espaçamento entre eixos de nervuras menor ou igual a 65 cm, pode ser dispensada a verificação da flexão da mesa, e para a verificação do cisalhamento da região das nervuras, permite-se a consideração dos critérios de laje;
b) Para lajes com espaçamento entre eixos de nervuras entre 65 cm e 110 cm, exige-se a verificação da flexão da mesa e as nervuras devem ser verificadas ao cisalhamento como vigas; permite-se essa verificação como lajes se o espaçamento entre eixos de nervuras for menor que 90 cm e a espessura média das nervuras for maior que 12 cm;

c) Para lajes nervuradas com espaçamento entre eixos de nervuras maior que 110 cm, a mesa deve ser projetada como laje maciça, apoiada na grelha de vigas, respeitando-se os seus limites mínimos de espessura.

2.8 Software Comercial de Cálculo Estrutural – CYPECAD

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

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

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

O software permite trabalhar com ampla gama de elementos estruturais, verificando a estrutura em diversas situações, fornecendo ao engenheiro uma solução completa sem a necessidade de calcular manualmente situações como: Reservatórios, Estruturas Mistas, Alvenaria Estrutural, Consolos, e outros.

A norma NBR 6118/03 encontra-se implementada no programa, onde é possível desatacar alguns itens importantes encontrados na memória de cálculo do programa, listados a seguir.

A análise das solicitações realiza-se por meio de um cálculo espacial em 3D, pelo método dos elementos finitos, considerando-se todos os elementos que definem a estrutura: pilares, paredes, muros, vigas e lajes.

Estabelece-se a compatibilidade de deformações em todos os nós, considerando-se seis graus de liberdade, e cria-se a hipótese de indeformabilidade do plano de cada piso para

simular o comportamento rígido da laje, impedindo-se os deslocamentos relativos entre os nós do mesmo (diafragma rígido). Por isso, cada piso apenas poderá rodar e deslocar-se no seu conjunto (três graus de liberdade).

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

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

Além da NBR 6118/2003, o CYPECAD realiza o dimensionamento de acordo com as seguintes normas:

- ✓ Fundações – NBR 6122/1996;
- ✓ Carregamentos – NBR 6120/1980;
- ✓ Vento – NBR 6123/1988;
- ✓ Barras – NBR 7480/1996;
- ✓ Ações e Combinações - NBR 868/2003.

A Figura 2.22 mostra a estrutura de um edifício em 3D gerada pelo CYPECAD.

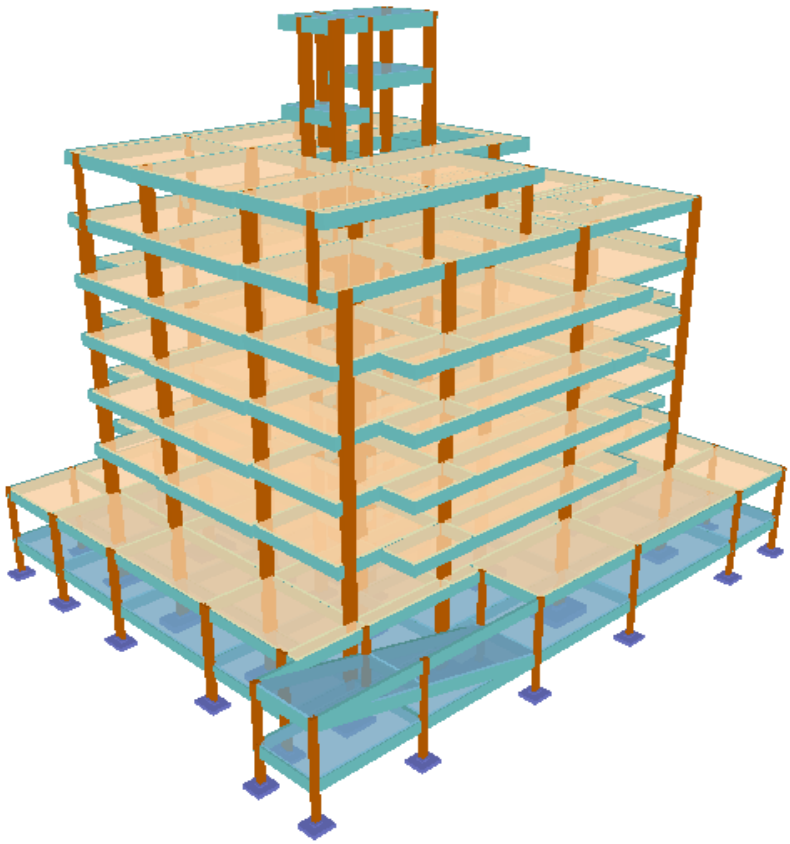


Figura 2.22 – Estrutura em 3D do edifício estudado gerada pelo CYPECAD.

3. METODOLOGIA

3.1 Considerações gerais

Neste presente trabalho é apresentada uma análise comparativa entre os sistemas estruturais de concreto armado. Primeiramente, foram definidos os sistemas estruturais a serem analisados, em seguida, foi escolhido um edifício modelo para ser utilizado como base para as concepções estruturais de cada um dos sistemas em análise.

Numa segunda etapa, fez-se o lançamento e análise da estrutura para os sistemas estruturais estudados, obtendo-se os quantitativos de materiais, que permitiram calcular os índices definidos para comparação. Foram comparados 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 preços, chegando-se a um valor global para cada tipologia adotada.

3.2 Tipologia e concepção dos sistemas estruturais adotados

a) Sistema Estrutural:

- Estrutura convencional com lajes maciças;
- Estrutura convencional com lajes nervuradas moldadas no local com diferentes materiais de enchimento.

b) Etapas consideradas

- Análise estrutural das lajes mais solicitadas do pavimento tipo;
- Análise de custo da estrutura propriamente dita: sapatas, pilares, vigas e lajes.

c) Os serviços e insumos envolvidos são:

- Concreto;
- Aço;
- Fôrmas;
- Materiais de enchimento;
- Mão de obra.

3.3 Escolha do edifício exemplo

A arquitetura do edifício exemplo foi gentilmente cedida pela empresa ESCALA – Escritório de Cálculos Estruturais Ltda. Esse edifício constitui-se de um Flat e localiza-se à

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. As plantas referentes ao projeto arquitetônico encontram-se no Anexo A.

3.4 Características do solo e das fundações

Adotou-se, para fins de comparação, a tensão admissível do solo local igual a 0,6 MPa para todos os sistemas analisados. Foram utilizadas sapatas como elementos de fundação direta, em que os quantitativos de concreto e armadura das sapatas foram obtidos através de listagens emitidas pelo programa de cálculo, enquanto que o quantitativo da área de fôrmas foi obtido segundo ALONSO (2010).

3.5 Ferramentas de cálculo e análise estrutural

Para a realização do trabalho utilizou-se o software de cálculo estrutural de concreto armado CYPECAD versão 2010 para a análise e detalhamento dos diversos sistemas estruturais. Esse programa permite a modelagem de estruturas de concreto armado para o dimensionamento de lajes maciças, nervuradas moldadas no local e pré-moldadas, dentre outras finalidades.

Devido ao fato do CYPECAD não calcular a flecha diferida no tempo em lajes maciças e nervuradas, levando em conta a fluência, a verificação da flecha diferida nas lajes foram realizadas conforme o processo do item 17.3.2.1.2 da NBR 6118/03 para cálculo da flecha diferida no tempo em estruturas de concreto armado.

As análises foram feitas considerando-se o comportamento elástico-linear dos elementos estruturais e foram extraídas do programa plantas de fôrmas, detalhamentos de armaduras e quantitativos, tais como o volume de concreto, taxa de armadura e o consumo de fôrmas.

3.6 Parâmetros de comparação adotados

3.6.1 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.

3.6.2 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.

3.6.3 Índice de formas i_f

É a razão entre a área de fôrmas constante 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.

3.7 Critérios para o cálculo dos custos

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

Optou-se por utilizar as composições usuais para todos os serviços considerados. As composições consideram apenas os serviços propriamente ditos, sendo assim, não se consideram os custos relacionados aos serviços iniciais, de instalação da obra, do terreno, administrativos ou quaisquer outros não relacionados diretamente com os serviços abordados neste trabalho. Também não estão sendo considerados neste trabalho os custos com a estrutura da escada e dos cimbramentos (Apêndices A e B).

As composições adotadas, com pequenas adaptações, foram obtidas da coletânea publicada periodicamente pela PINI. Essas composições são apresentadas nas “Tabelas para Composições 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 agosto de 2012.

3.8 Lançamento e Cálculo Estrutural do Edifício no CYPECAD

De maneira geral as etapas executadas para realização do lançamento e do cálculo estrutural no programa CYPECAD são as seguintes:

1ª Etapa: Definição do número de pisos, bem como suas características, tais como, cotas, pé-direito e nomenclaturas.

Neste arranjo é definido o esquema vertical dos andares da estrutura como subsolo, térreo, pavimentos tipo, cobertura, casa de máquina e laje para cobertura, com suas respectivas alturas, onde pode ser ativado ou desativado conforme o edifício. Também neste arranjo devem ser definidas as cargas permanentes (exceto peso próprio da laje) e acidentais para cada pavimento, conforme mostra a Figura 3.1.

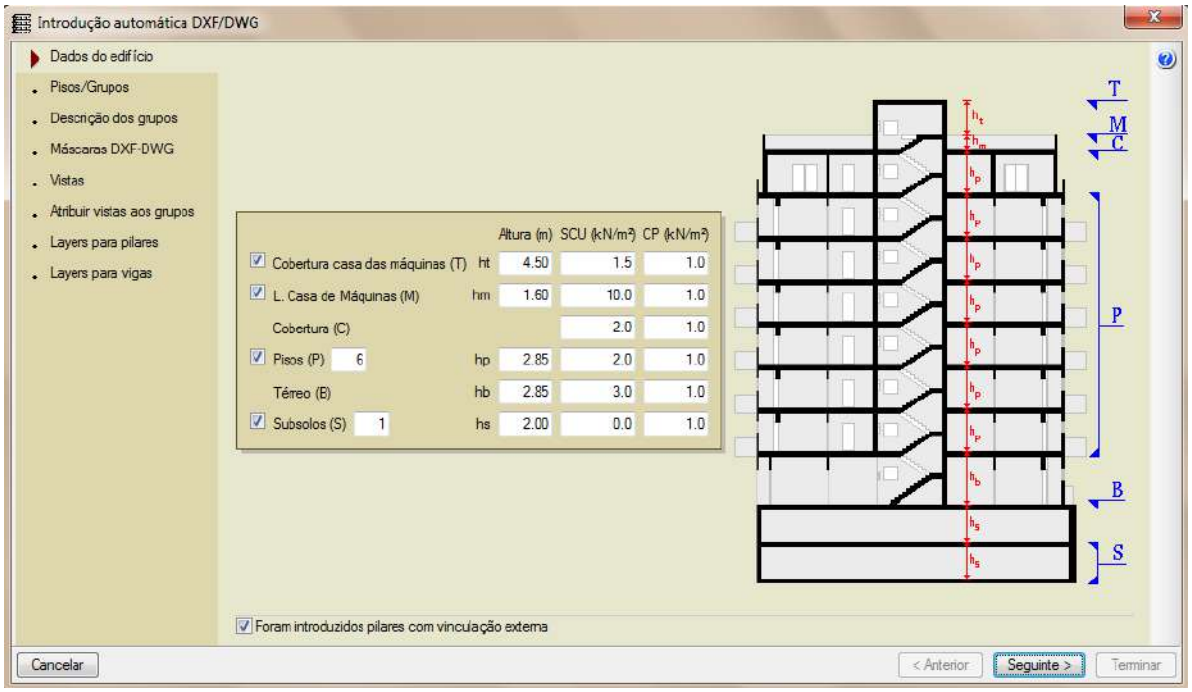


Figura 3.1 – Janela para criação dos pavimentos no CYPECAD.

2ª Etapa: Importação de arquivos DXF/DWG

O usuário seleciona os arquivos DWG ou DXF para cada andar de modo que o desenho seja utilizado como uma máscara, na modelagem da estrutura, como mostrado na Figura 3.2.

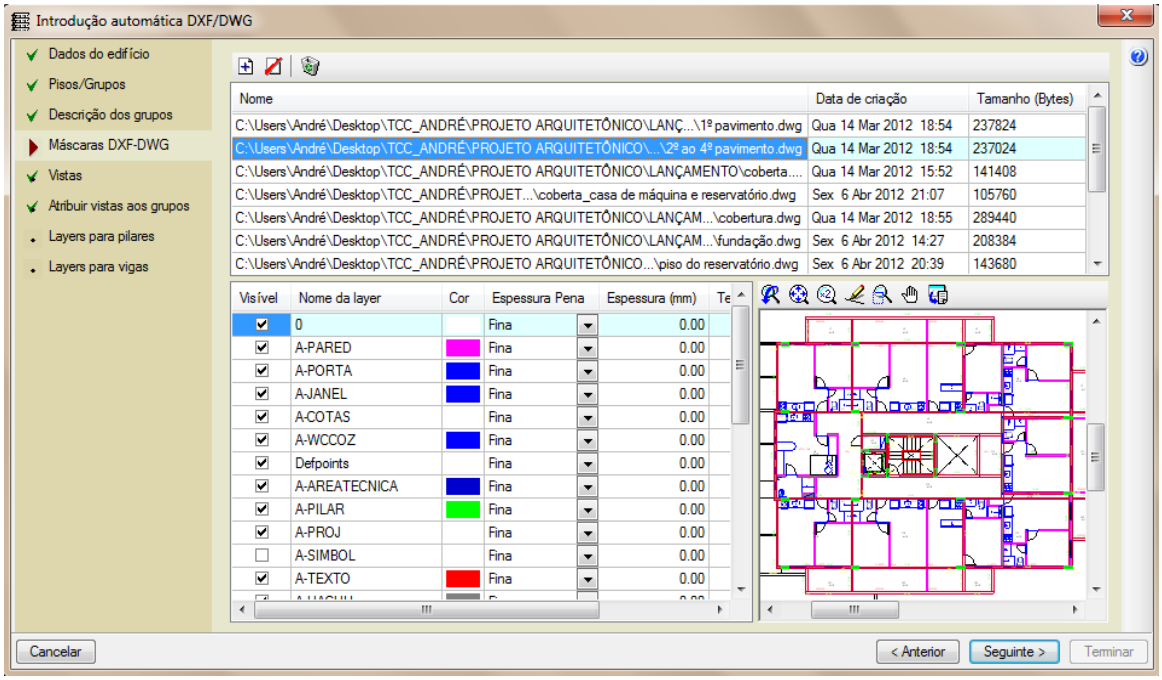


Figura 3.2 – Arquivos DWG/DXF importados do sistema CAD para o CYPECAD.

Uma das vantagens do software CYPECAD é a associação das camadas (layers) importada do arquivo DWG/DXF das vigas e pilares, onde o software lança automaticamente conforme a geometria do projeto arquitetônico, mesmo o pilar mudando sua seção ao longo da prumada do edifício, como mostra a Figura 3.3.

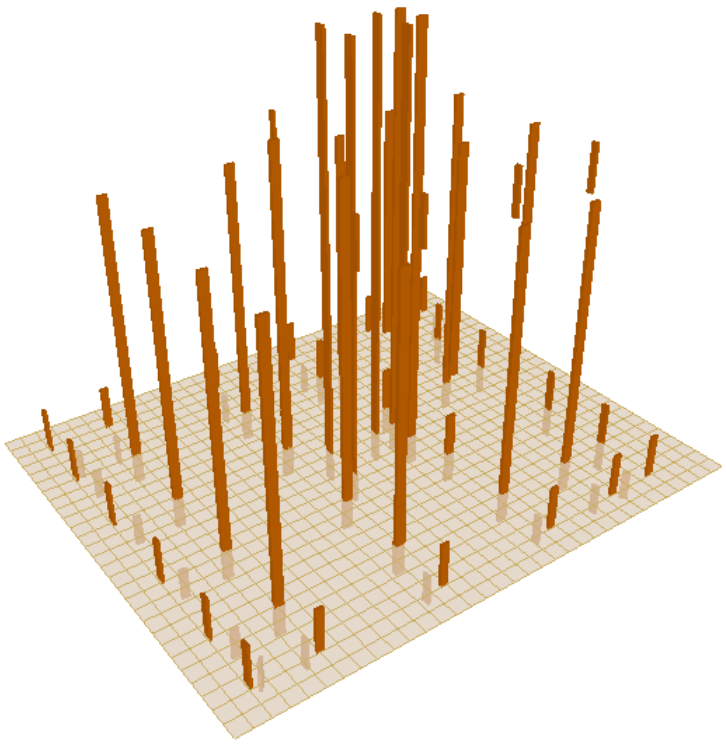


Figura 3.3 – Lançamento automático dos pilares no CYPECAD.

3ª Etapa: Dados Gerais

No menu “Dados gerais” pode ser escolhida a norma NBR 6118/03. Nesta janela são definidas as propriedades do concreto e aço, tais como, resistência, módulo de elasticidade e peso próprio. É possível considerar o vento existente na edificação de acordo com a NBR 6123/88, onde a velocidade do vento pode ser consultada diretamente das curvas isopletas, onde são geradas automaticamente todas as combinações com os coeficientes de majoração e minoração, podendo ser criadas a hipótese de carregamento se for necessário. Outro item importante é a modificação na tabela de armadura, visto que é possível modificar os cobrimentos. A Figura 3.4 mostra o menu de dados gerais do CYPECAD.

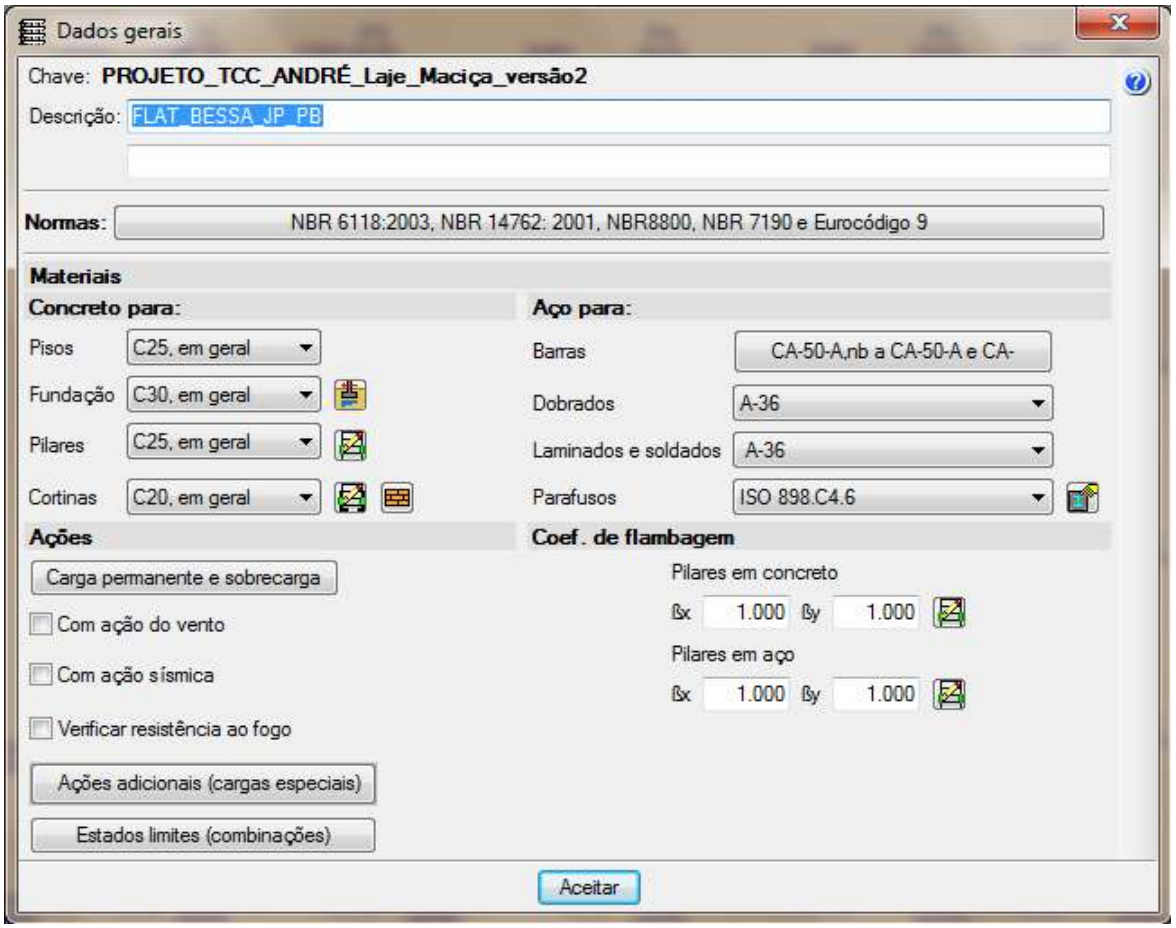


Figura 3.4 – Menu de dados gerais do CYPECAD.

4ª Etapa: Lançamento das Vigas

As vigas podem ser de vários tipos, vigas altas, vigas embutidas na laje (viga rasa, chata ou plana), nervura não estrutural, vigas apoiadas sobre o solo, vigas metálicas, seção T ou invertidas, como mostra a Figura 3.5.

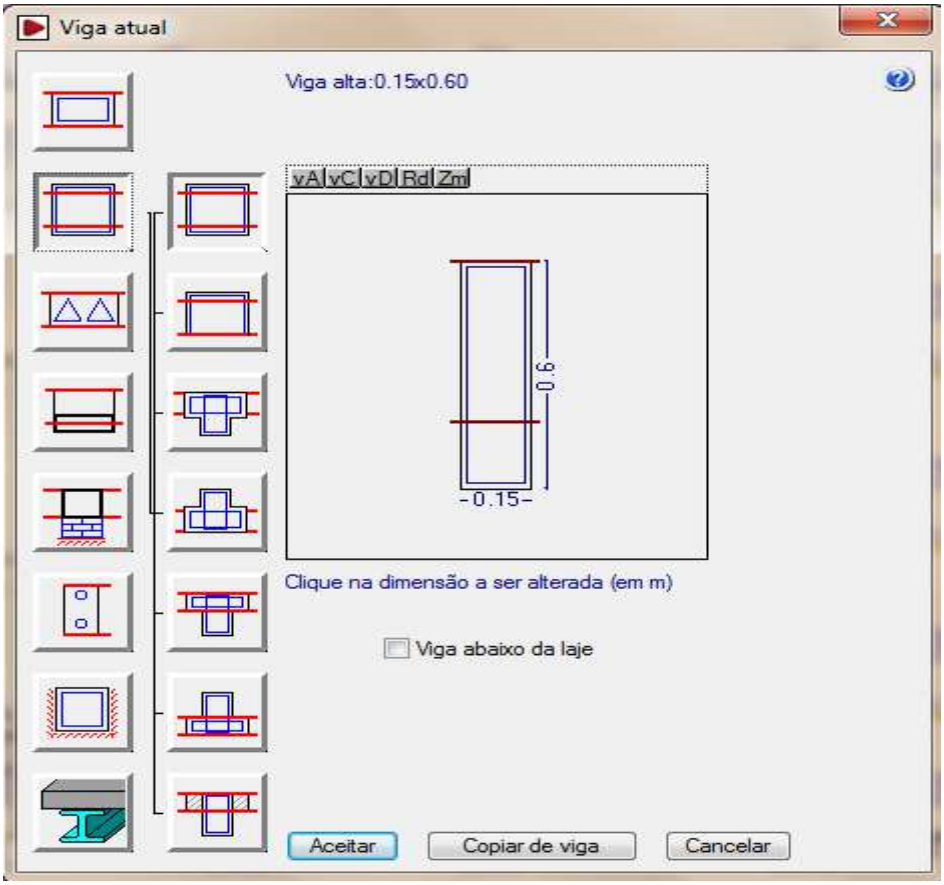


Figura 3.5 – Edição das vigas no CYPECAD.

O lançamento das vigas é feito de uma maneira bem simples: clica-se sobre o ponto inicial e o ponto final da viga, com o software reconhecendo automaticamente os apoios intermediários. Uma viga contínua pode ter tramos com seções diferentes e conta com recursos importantes como editar uma viga depois de lançada, apagar ou mesmo deslocar.

O lançamento das vigas também pode ser executado pelo recurso de captura de vigas, aumentando muito a produtividade do lançamento estrutural. Esse recurso consiste em inserir a viga conforme o desenho de arquitetura, ou seja, ao clicar sobre a linha da parede a viga é lançada automaticamente.

5ª Etapa: Lançamento das Lajes

O programa calcula diversos tipos de lajes tais como: maciças, nervuradas, pré-fabricadas, alveolares e mistas. O processo de lançamento das lajes é muito simples, uma vez inseridas as vigas o software cria panos de lajes onde permite a inserção das mesmas através da opção dados de lajes, conforme mostra a Figura 3.6.

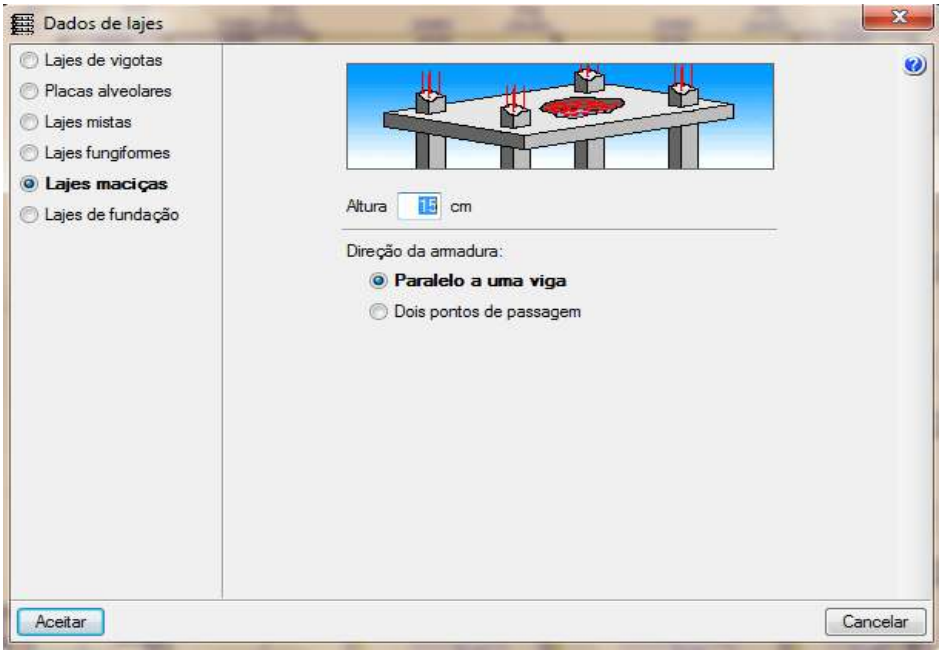


Figura 3.6 – Edição das lajes no CYPECAD.

Conforme a estrutura é modelada, a qualquer momento pode-se optar pela visualização espacial 3D, Conforme é possível visualizar na Figura 3.7.

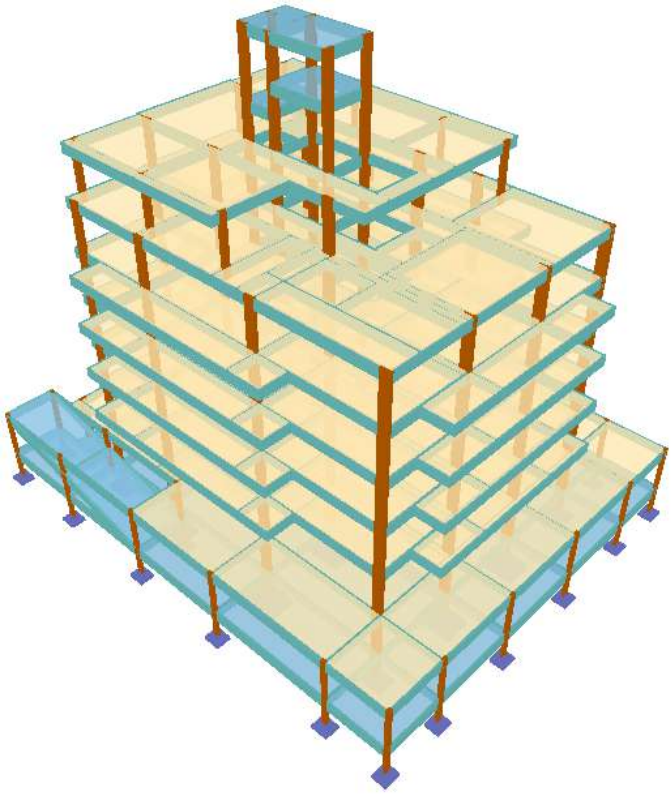


Figura 3.7 – Visualização do pórtico espacial da estrutura no CYPECAD.

6ª Etapa: Cálculo da estrutura

Depois de todos os parâmetros estabelecidos pelo usuário, como dimensões da estrutura, carregamento, resistência do concreto, entre outros, a estrutura pode ser calculada através da opção “calcular”. A Figura 3.8 mostra a janela que é exibida durante o processamento dos cálculos.

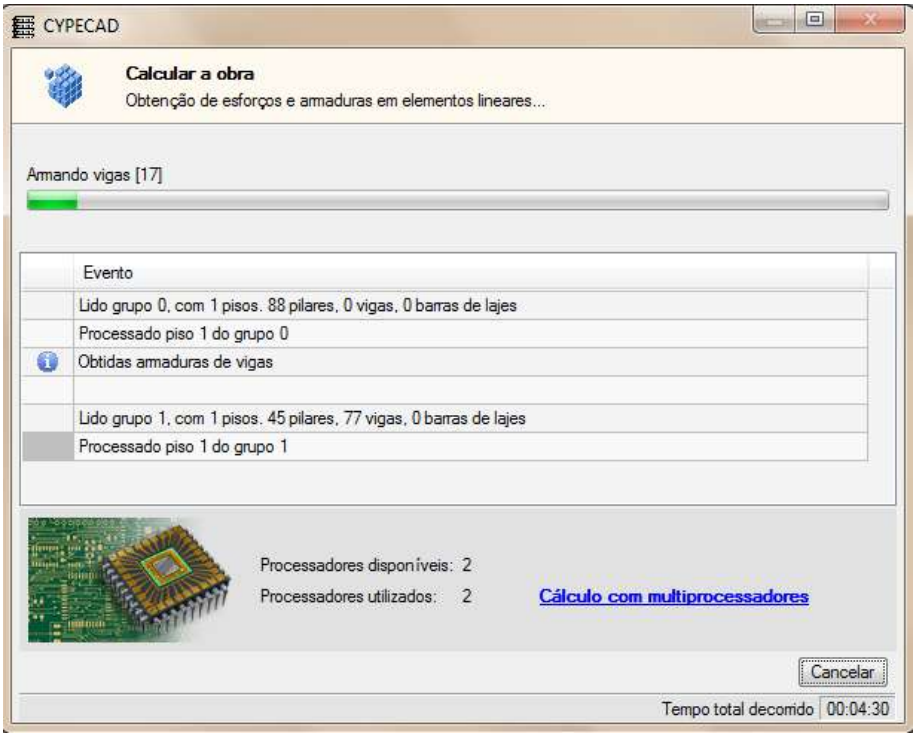


Figura 3.8 – Janela visível no instante do processamento da estrutura.

3.9 Características do projeto estrutural

Considerou-se a resistência característica à compressão do concreto (fck) igual a 25 MPa para todos os elementos da superestrutura (lajes, vigas e pilares), e 30 MPa para as sapatas da fundação.

Foi adotado classe de agressividade ambiental I, logo os cobrimentos das armaduras de vigas e pilares são iguais a 2,5 cm, enquanto que para as lajes são iguais a 2,0 cm segundo o item 7.4 da NBR 6118/03.

No sistema estrutural de laje nervurada consideraram-se nervuras bidirecionais com espessura das almas iguais a 8,0 cm, intereixos iguais a 68,0 cm para as que utilizam tijolo cerâmico e EPS, e 60,0 cm para as que usam caixotes reaproveitáveis de polipropileno (Atex 150) por se tratarem de fôrmas industrialmente padronizadas.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após o lançamento e o dimensionamento da estrutura com todos os quatro modelos de sistemas estruturais convencionais de lajes, serão apresentados os resultados da análise estrutural e de custo de todos os modelos avaliados na pesquisa.

Os modelos estudados seguem a seguinte nomenclatura para efeito de comparação:

LM: Estrutura convencional com lajes maciças

LN1: Estrutura convencional com lajes nervuradas (enchimento de tijolos cerâmicos)

LN2: Estrutura convencional com lajes nervuradas (enchimento de EPS)

LN3: Estrutura convencional com lajes nervuradas (enchimento de caixote reaproveitável de polipropileno)

4.1 Análise Estrutural

A Tabela 4.1 mostra os valores de espessura, peso próprio e flechas total e admissível para a laje mais solicitada do pavimento tipo, a qual está representada pela laje L22 (sistema convencional com laje maciça) ou N22 (sistema convencional com lajes nervuradas) nas plantas de fôrmas nos anexos.

Tabela 4.1 – Espessura, Peso próprio e flechas totais e admissíveis

Sistema construtivo	Espessura da laje (cm)	Peso próprio (kN/m²)	Flecha total (mm)	Flecha admissível (mm)
LM	15	3,75	20,96	20
LN1	20	2,80	13,87	
LN2	20	2,13	12,99	
LN3	20	2,11	12,84	

Na Figura 4.1 tem-se um gráfico em barras do valor de peso próprio da laje mais solicitada do pavimento tipo para os diferentes sistemas construtivos analisados, onde se observa que, embora a espessura da laje seja menor no sistema construtivo de lajes maciças, o peso próprio é menor no sistema de lajes nervuradas.

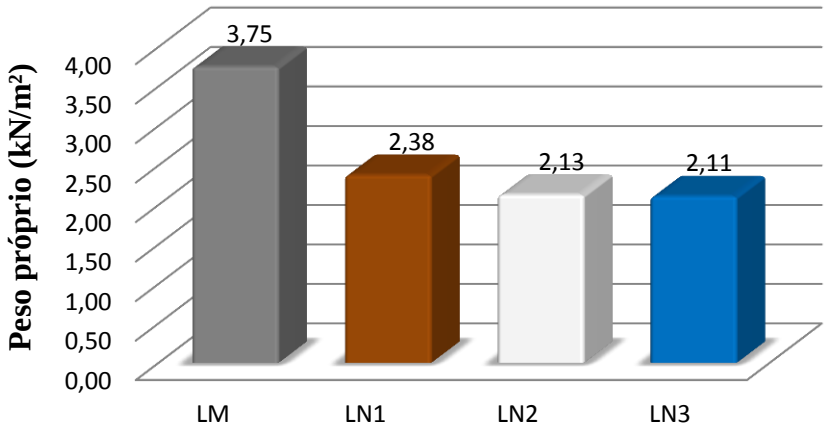


Figura 4.1 – Peso próprio da laje L22 para os diferentes sistemas construtivos

O peso próprio é menor no sistema de lajes nervuradas porque há uma diminuição do volume de concreto na estrutura através da substituição de parte do concreto da região tracionada por materiais inertes sem função estrutural e de menor peso específico.

A Tabela 4.2 mostra a espessura equivalente em laje maciça das lajes nervuradas analisadas considerando o peso específico do concreto armado igual a 25,0 kN/m³.

Tabela 4.2 – Espessura equivalente em laje maciça das lajes nervuradas analisadas

Sistema construtivo	Peso próprio (kN/m²)	Espessura da laje maciça equivalente (cm)
LN1	2,80	11,2
LN2	2,13	8,5
LN3	2,11	8,4

Entre as lajes nervuradas, aquelas que apresentaram os menores valores de pesos próprios foram as que se utilizam de material de enchimento de menor peso específico como o EPS e o polipropileno.

O peso próprio da laje é muito importante do ponto de vista estrutural e, consequentemente, econômico, uma vez que lajes mais leves transmitem menos cargas para os elementos estruturais de apoio, implicando em uma economia de material resistente na estrutura conforme se verá adiante na análise de custo.

As flechas totais foram calculadas a partir das flechas imediatas obtidas no guia isovalores do software CypeCAD 2010 (Figura 4.2) 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 segundo a Tabela 17.1 do item 17.3.2.1.2 da NBR 6118/2003.

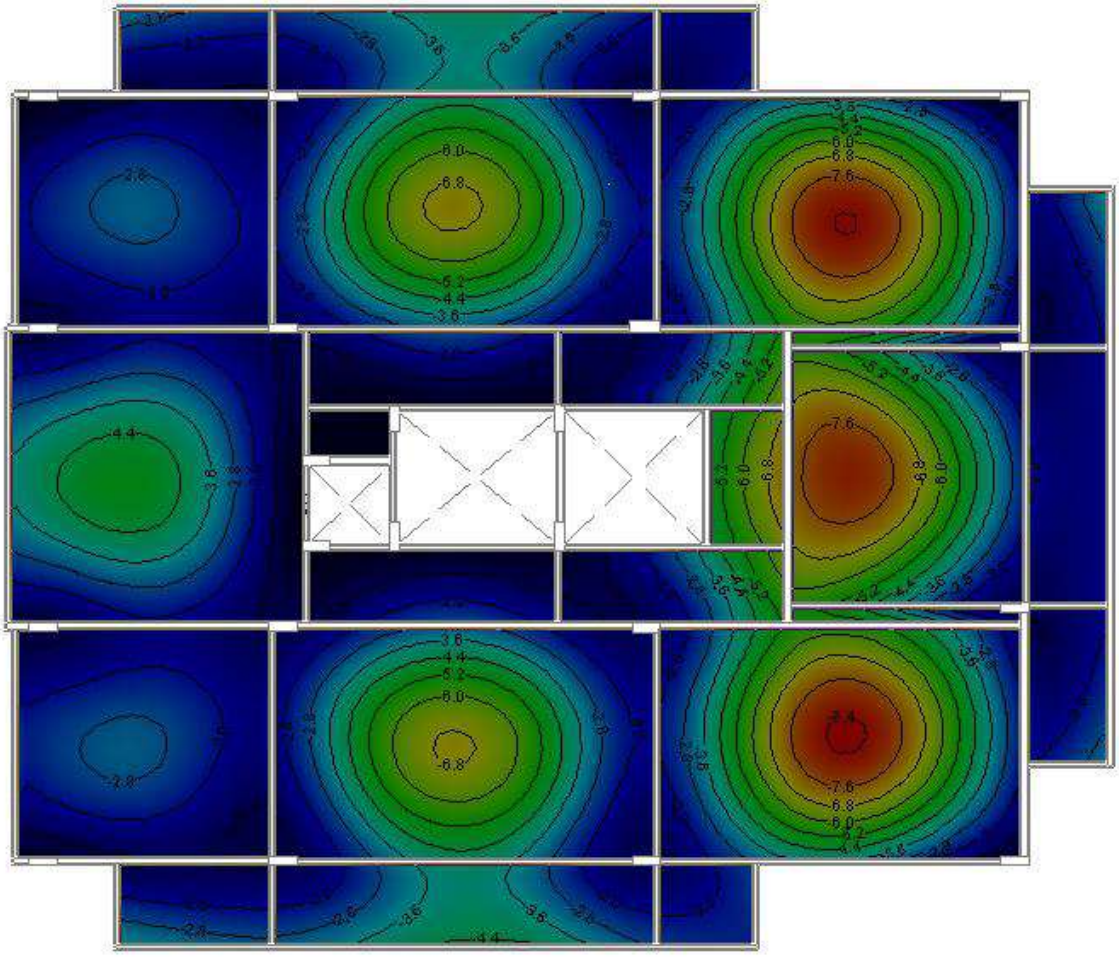


Figura 4.2 – Isovalores de deslocamentos verticais das lajes maciças do pavimento tipo

Na Tabela 4.1 observa-se que a flecha total da laje L22 no sistema convencional de lajes maciças encontra-se acima do limite de flecha admissível e, segundo a tabela 13.2 do item 13.3 da NBR 6118/2003, para suprir essa deformação pode ser dada uma contraflecha máxima de:

$$a_{cf.max} = \frac{\ell}{350} = \frac{5000\ mm}{350} = 14{,}29\ mm$$

Sendo assim, a contraflecha de 0,96 mm (20,96 mm – 20,00 mm) necessária para atender a situação de deformação excessiva é menor do que a contraflecha máxima permitida de 14,29 mm, ou seja, atende aos requisitos da norma NBR 6118/2003.

Na Figura 4.3 têm-se os valores das flechas totais, em milímetros, da laje mais solicitada do pavimento tipo para todos os sistemas estruturais analisados. Observa-se que o sistema convencional de laje maciça obteve o maior valor de flecha total seguido, respectivamente, dos sistemas convencionais de lajes nervuradas com enchimento de tijolo cerâmico, EPS e polipropileno. Este fato está relacionado com o peso próprio das lajes, pois se observa na Figura 4.1 e na Figura 4.3 que as lajes com os maiores valores de flechas totais são aquelas de maiores pesos próprios.

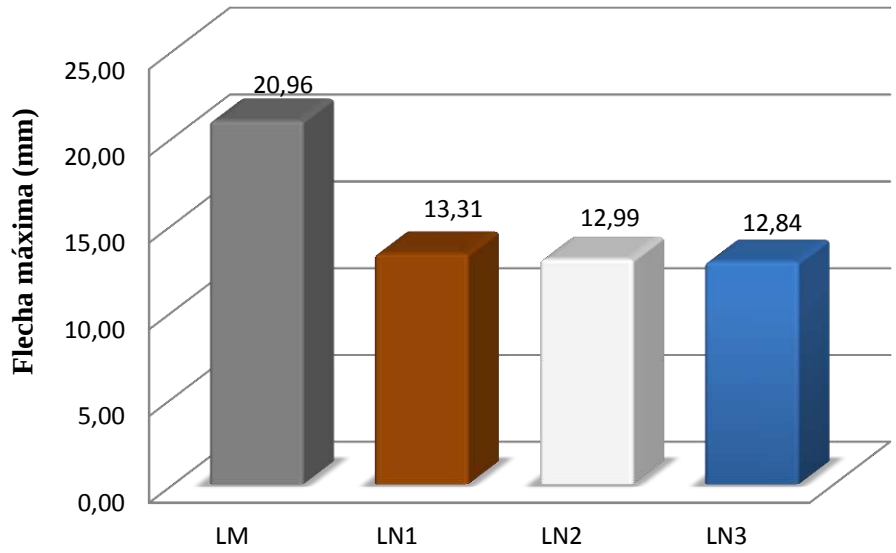


Figura 4.3 – Flecha máxima da laje mais solicitada dos sistemas construtivos no pavimento tipo

O fato da laje nervurada com enchimento reaproveitável de polipropileno apresentar o menor peso próprio quando comparado com as demais lajes implica no menor valor de flecha. Isto garante certa vantagem desse sistema em relação aos demais, pois é muito importante a busca de projetos estruturais que minimizem os valores de deslocamentos por questões de segurança, funcionalidade e estética das edificações.

A Figura 4.4 mostra a redução percentual dos valores de flechas totais das lajes nervuradas analisadas em relação à laje maciça, onde a média de diminuição da flecha é de 37,75% e atinge, respectivamente, 38,02% e 38,74% na laje nervurada com enchimento de EPS e de polipropileno. Tal fato deixa evidente, do ponto de vista da análise de flechas, a

vantagem de se adotar o sistema de lajes nervuradas ao invés de lajes maciças e, mais ainda, a adoção do sistema de laje nervurada com enchimento de polipropileno.

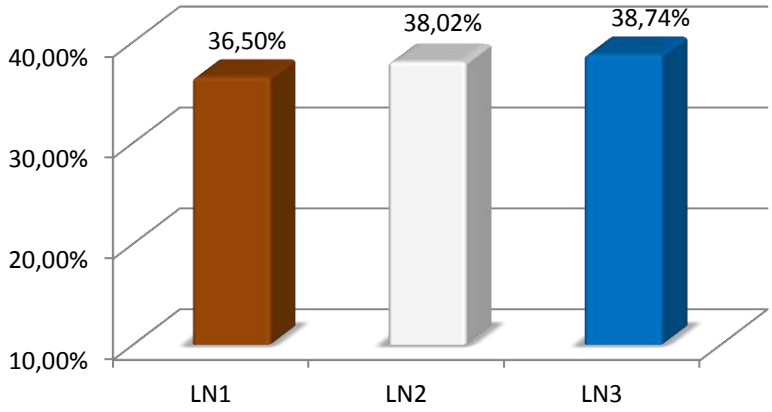


Figura 4.4 – Variação percentual das flechas máximas das lajes nervuradas em relação à laje maciça

Na Tabela 4.3 encontram-se os valores de momentos fletores máximos positivos e negativos, bem como o esforço cortante máximo na laje L22 do pavimento tipo para os modelos estruturais analisados. Foram analisados os esforços tanto na direção *x* quanto na direção *y*, e constatou-se que os esforços eram maiores na direção *y*, pois existe uma carga linearmente distribuída de parede atuando nesta direção da laje. Sendo assim, os esforços da Tabela 4.3 representam os esforços de dimensionamento na direção *y* da laje estudada.

Tabela 4.3 – Momentos fletores máximos positivos e negativos e cortante máximo na laje L22 do pavimento tipo

Sistema construtivo	Momento fletor máximo positivo (kN.m/m)	Momento fletor máximo negativo (kN.m/m)	Cortante máximo (kN/m)
LM	19,03	29,73	44,44
LN1	14,54	22,76	36,44
LN2	13,55	21,04	21,50
LN3	13,30	21,00	20,81

Na Figura 4.5 tem-se um gráfico em barras dos valores dos momentos fletores máximos positivos, os quais são responsáveis pelo dimensionamento das armaduras que resistem aos esforços de tração na parte inferior da laje. Observa-se que as lajes de maiores pesos próprios estão submetidas aos maiores carregamentos e, consequentemente, resultam em esforços mais

elevados. Assim como para as flechas, o sistema de laje maciça apresentou os maiores momentos fletores seguido, respectivamente, das lajes nervuradas com enchimento de tijolo cerâmico, EPS e polipropileno. O sistema estrutural de laje nervurada com enchimento de polipropileno apresentou uma redução de 30,11 % no momento fletor máximo positivo em relação ao sistema de laje maciça.

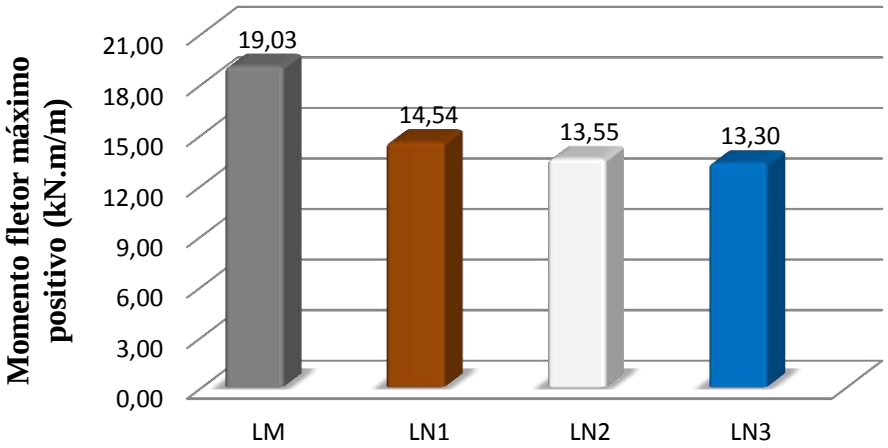


Figura 4.5 – Momentos fletores máximos positivos na laje L22 do pavimento tipo

O gráfico em barras da Figura 4.6 mostra os valores dos momentos fletores máximos negativos para os quatro modelos estruturais analisados, onde estes esforços são utilizados para o dimensionamento das armaduras superiores nas regiões de engaste das lajes. O sistema com laje maciça apresentou o maior valor de momento fletor negativo com 29,73 kN.m/m, enquanto que o sistema de laje nervurada com caixotes reaproveitáveis de polipropileno apresentou o menor valor de 21,00 kN.m/m, representando uma redução no momento fletor negativo de 29,36 %.

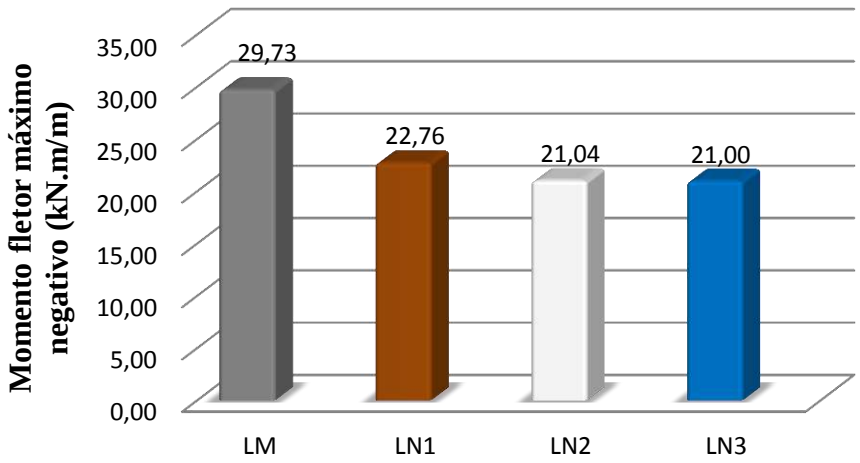


Figura 4.6 – Momentos fletores máximos negativos na laje L22 do pavimento tipo

Com relação aos esforços cortantes máximos na laje estudada, a Figura 4.7 mostra que, assim como nos demais parâmetros estruturais analisados anteriormente, o sistema estrutural de laje maciça apresenta o maior valor de cortante com 44,44 kN/m e o sistema de laje nervurada com caixotes reaproveitáveis de polipropileno obteve o menor valor com 20,81 kN/m, ou seja, no mesmo pano de laje houve uma redução de 53,17 % do esforço cortante somente empregando sistemas estruturais diferentes.

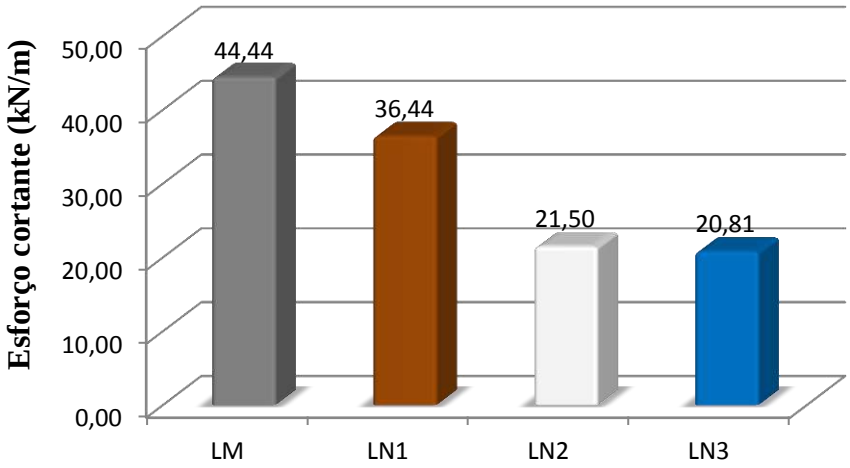


Figura 4.7 – Esforço cortante máximo na laje L22 do pavimento tipo

4.2 Análise de Custo

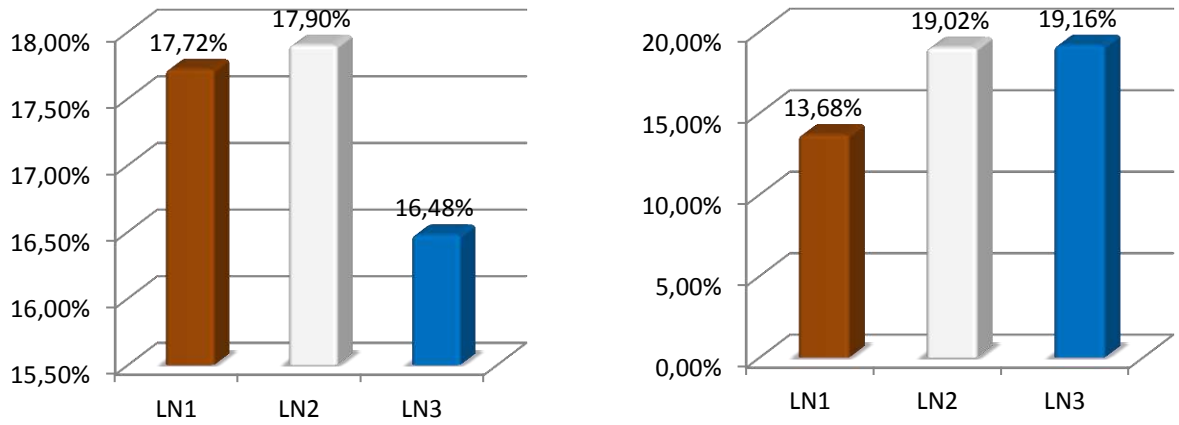
4.2.1 Estudo comparativo levando em consideração toda a superestrutura do Flat

A Tabela 4.4 mostra o consumo de materiais (fôrmas, concreto e aço) por metro quadrado da superestrutura (lajes, vigas e pilares) do Flat nos quatro modelos estruturais estudados. O índice de fôrmas é igual para todos os sistemas de lajes nervuradas porque se considera o uso do assoalho que serve de apoio para a execução das lajes em todos estes modelos e também não está sendo considerado o custo com cimbramentos. Contudo no modelo de lajes nervuradas ocorre uma redução da área necessária de fôrmas laterais de algumas vigas, o que explica o porquê da inferioridade no índice de fôrmas em relação ao sistema de laje maciça. O menor valor de peso próprio no sistema estrutural de lajes nervuradas em relação ao sistema de laje maciça implica em um menor valor total de carga atuando nas lajes, as quais transferem menos cargas para os elementos de apoio como vigas e pilares e, consequentemente, necessitam de menor quantidade de material para resistir aos esforços solicitantes. Este fato explica o porquê das reduções nos consumos de concreto e armadura nos sistemas estruturais de lajes nervuradas em relação ao de laje maciça.

Tabela 4.4 – Consumo de fôrma, concreto e aço da superestrutura do flat

Sistema estrutural	Índice de fôrmas (m^2/m^2)	Consumo de concreto (m^3/m^2)	Taxa de aço (kg/m^2)
LM	1,773	0,193	13,797
LN1	1,719	0,159	11,910
LN2	1,719	0,159	11,173
LN3	1,719	0,162	11,153

Na Figura 4.8 tem-se em (a) e (b), respectivamente, a redução percentual do consumo de concreto e da taxa de armadura nos sistemas estruturais com lajes nervuradas em relação ao sistema estrutural com laje maciça considerando toda a superestrutura do flat. O modelo de laje nervurada com enchimento de EPS apresentou a maior redução de consumo de concreto com 17,90% seguido pelos modelos com enchimento de tijolo cerâmico com 17,72% e de polipropileno com 16,48%. Vale salientar que esta redução do consumo de concreto poderia ter sido maior se tivesse sido considerada a redução das seções de vigas e pilares na concepção do projeto estrutural devido à redução do peso próprio dos sistemas com lajes nervuradas.



(a) (b)

Figura 4.8 – Redução do (a) consumo de concreto e da (b) taxa de aço nos sistemas de lajes nervuradas em relação ao sistema de laje maciça para a superestrutura do flat

O sistema estrutural de lajes nervuradas com enchimento de caixotes recuperáveis de polipropileno apresentou a maior redução da taxa de armadura para toda a superestrutura com 19,16%, isto porque este modelo apresenta o menor peso próprio e, consequentemente,

transmite menos carga para os elementos de sustentação das lajes como as vigas e os pilares, sendo assim, esses elementos necessitam de menos armadura para resistir aos esforços quando comparado aos mesmos elementos dos outros modelos analisados.

Na Tabela 4.5 estão os custos totais de fôrmas, materiais de enchimento, concreto e armadura da superestrutura em função do sistema estrutural adotado. Observa-se que todas as alternativas estruturais de lajes nervuradas apresentaram o mesmo custo de fôrmas, pois todos estes modelos têm os mesmos índices de fôrmas, como também o custo apresentado pelo modelo de laje maciça é maior porque seu índice de fôrmas é maior.

Tabela 4.5 – Custo total de fôrmas, concreto e armadura da superestrutura dos sistemas estruturais analisados

Sistema estrutural	Custo de fôrmas (R$)	Custo de enchimento (R$)	Custo de concreto (R$)	Custo de armadura (R$)
LM	148.097,04	-	253.405,38	273.365,63
LN1	143.140,93	33.178,63	208.502,16	252.149,11
LN2	143.140,93	40.612,52	208.044,30	238.157,57
LN3	143.140,93	25.924,18	211.651,77	218.619,92

Vale ressaltar que o custo de fôrmas do sistema LN3 pode ser significativamente reduzido se não for utilizado o assoalho que serve de apoio para as “cubetas” de polipropileno, as quais seriam colocadas diretamente sobre o cimbramento metálico que lhe dá suporte. Todavia, conforme explicado anteriormente, entre engenheiros, esse não é ponto pacífico, pois alguns alegam que os trabalhadores nessa condição estariam mais expostos a acidentes de trabalho (NAZAR, 2007).

Com relação ao material de enchimento sem função estrutural dos sistemas de lajes nervuradas, o sistema estrutural com caixotes recuperáveis de polipropileno (com reaproveitamento de 15 vezes) apresentou o menor custo seguido, respectivamente, pelos de tijolos cerâmicos e blocos de EPS. A economia no uso do caixote de polipropileno chega a 36,17% (R$ 14.688,34) em relação ao bloco de EPS.

O custo de concreto de toda a superestrutura é menor nas alternativas que se utilizam de lajes nervuradas. Embora o sistema de laje nervurada com enchimento de caixote recuperável de polipropileno apresente o menor peso próprio dos modelos estudados, seu custo de concreto é maior do que nos outros sistemas de lajes nervuradas analisadas, uma vez que não

foi considerada a redução de seção transversal de vigas e pilares entre os modelos analisados, e a geometria das "cubetas" de polipropileno utilizadas neste estudo (Atex 150) favorece um maior consumo de concreto em relação aos demais materiais de enchimento. Sendo assim, a laje nervurada com enchimento de EPS, que é o segundo modelo de menor peso próprio, apresentou o menor custo de concreto seguido, respectivamente, pelo sistema com material cerâmico, caixote de polipropileno e o sistema com laje maciça.

A Figura 4.9 mostra em (a) e (b), respectivamente, as reduções em percentagem dos custos de concreto e armadura nos sistemas de lajes nervuradas em relação ao de laje maciça para o pavimento tipo. Observa-se novamente a grande vantagem econômica do sistema de lajes nervuradas. O modelo de laje nervurada que utiliza o EPS como material de enchimento obteve a maior redução do custo de concreto em relação ao sistema de laje maciça com 17,90% (R$ 6.565,08), enquanto que a de polipropileno obteve a maior redução do custo de armadura com 20,03% (R$ 3.375,41).

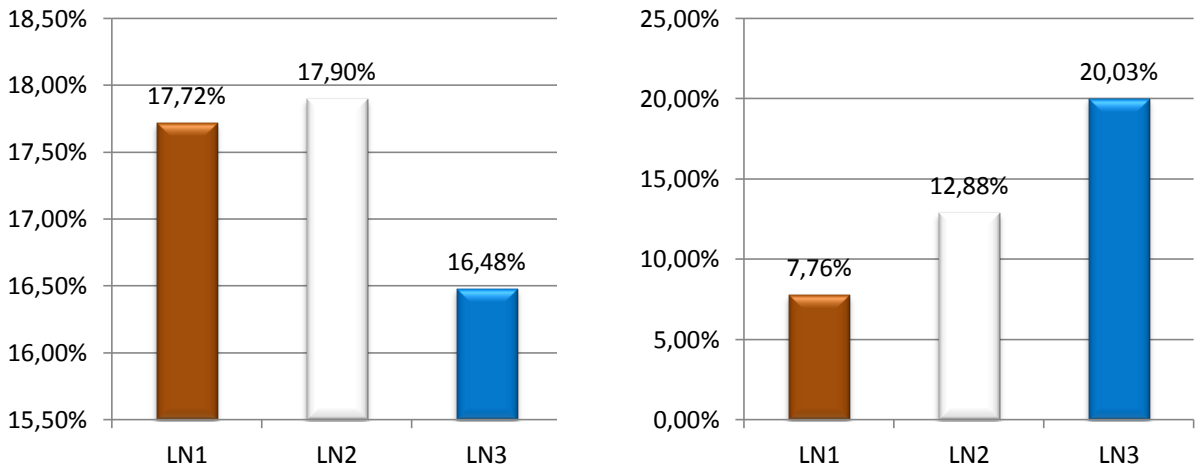


Figura 4.9 – Redução percentual do (a) custo de concreto e do (b) custo da armadura da superestrutura para os sistemas de lajes nervuradas em relação ao de laje maciça

Na Tabela 4.6 encontram-se os custos totais, de material e mão de obra da superestrutura para os quatro modelos estruturais analisados. Percebe-se a vantagem econômica devido ao menor custo de material e mão de obra dos sistemas que empregam lajes nervuradas. Observa-se que em todos os modelos estruturais o custo com materiais é maior do que o custo com mão de obra, onde o sistema com laje maciça apresentou o maior valor de custo com material e com mão de obra, respectivamente, R$ 561.215,65 e R$ 113.652,39, enquanto o sistema de laje nervurada com enchimento de polipropileno recuperável

apresentou os menores valores com R$ 499.508,22 e R$ 99.828,58. Portanto, tem-se, respectivamente, uma economia de R$ 61.707,43 (11,0%) e R$ 13.823,81 (12,16%) no custo de material e mão de obra do sistema nervurado com enchimento de polipropileno em relação ao modelo com laje maciça.

Tabela 4.6 – Custo com material, mão de obra e total da superestrutura dos sistemas estruturais analisados

Sistema estrutural	Custo com Material (R$)	Custo com mão de obra (R$)	Custo Total (R$)
LM	561.215,65	113.652,39	674.868,04
LN1	532.095,22	104.875,62	636.970,83
LN2	527.922,25	102.033,07	629.955,32
LN3	499.508,22	99.828,58	599.336,80

A Figura 4.10 apresenta por meio de barras o custo total da superestrutura dos quatro modelos estruturais analisados. A superestrutura que foi projetada no sistema estrutural de laje maciça apresentou o maior valor de custo com R$ 674.868,04, enquanto que a dimensionada com enchimento de caixote reaproveitável de polipropileno obteve o menor valor de custo com R$ 599.336,80, o que representa uma economia de R$ 75.531,24 (11,19%).

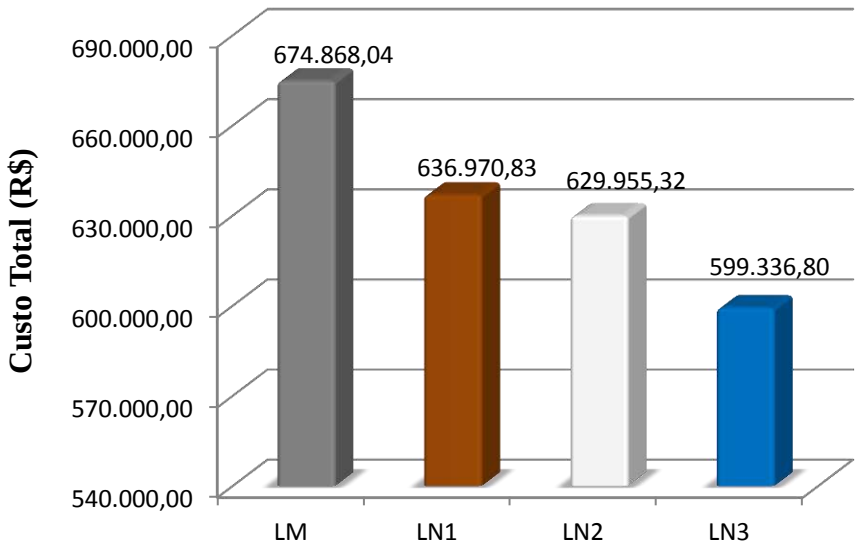


Figura 4.10 – Custo total de toda superestrutura dos sistemas estruturais analisados

4.2.2 Estudo comparativo das fundações do Flat

Devido às diferenças existentes entre os pesos totais das estruturas adotadas, as cargas transmitidas ao solo através das sapatas da fundação também são diferentes. Isto acarreta num consumo de material e mão de obra para a execução da fundação diferente entre os sistemas estudados.

Na Tabela 4.7 têm-se os quantitativos de fôrmas, armadura e concreto empregados na execução das sapatas da fundação para todos os modelos estruturais analisados. Observa-se que o quantitativo de materiais diminui à medida que se reduzem os pesos totais transmitidos à infraestrutura através da superestrutura, ou seja, ocorre um maior consumo de materiais nas fundações dos sistemas estruturais projetados com lajes maciças seguidas, respectivamente, pelos sistemas de lajes nervuradas com enchimento de tijolo cerâmico, bloco de EPS e caixotes recuperáveis de polipropileno.

Tabela 4.7 – Quantitativo de fôrmas ,armadura e concreto das fundações

Sistema estrutural	Fôrmas (m^2)	Armadura (kg)	Volume de concreto (m^3)
LM	166,45	2.522,98	43,15
LN1	165,09	2.439,69	41,35
LN2	164,22	2.062,45	39,87
LN3	164,01	2.036,55	39,69

A Figura 4.11 mostra a redução percentual dos quantitativos de aço, concreto e fôrmas dos modelos estruturais que empregam lajes nervuradas em relação ao sistema com laje maciça. Percebe-se a forte influência que a redução do peso próprio nos pavimentos dos sistemas de lajes nervuradas exerce no consumo de armadura em relação ao sistema de laje maciça, principalmente nas que utilizam EPS e polipropileno como materiais de enchimento, em que a redução atingiu, respectivamente, 18,25% e 19,28%.

Com relação à redução do volume de concreto em relação ao modelo de laje maciça destacam-se as reduções de 7,60% e 8,01% obtidas, respectivamente, nos sistemas de lajes nervuradas com enchimento de EPS e polipropileno. As reduções nos consumos de fôrmas dos modelos de lajes nervuradas em relação ao modelo de laje maciça não foram muito significativas, todavia a laje nervurada com enchimento de polipropileno obteve o melhor resultado com 1,46%.

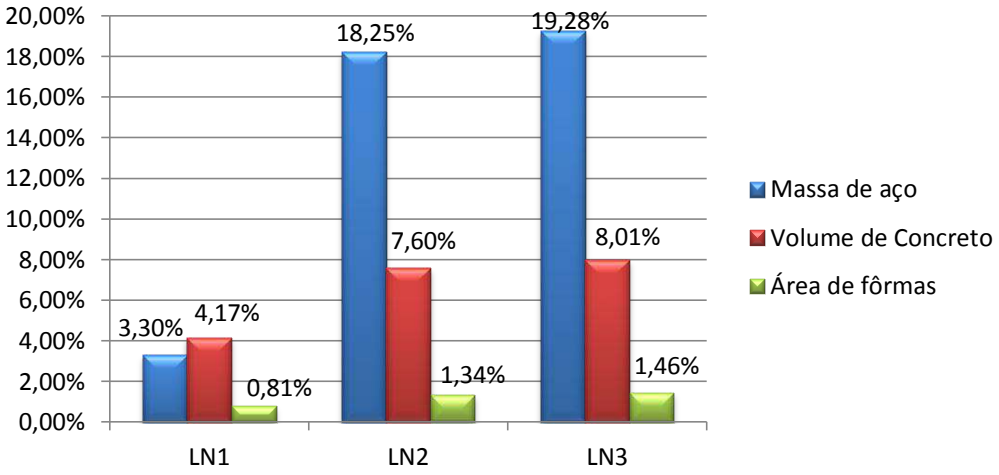


Figura 4.11 – Redução percentual de aço, concreto e fôrma da fundação dos sistemas de lajes nervuradas em relação ao sistema de laje maciça

Na Tabela 4.8 têm-se os valores de custos de material, mão de obra e totais das fundações para os modelos estruturais estudados. As reduções dos consumos de materiais dos sistemas de lajes nervuradas implicam em reduções de custos tanto de material quanto de mão de obra, onde se observa que a fundação mais atraente do ponto de vista econômico é aquela cuja superestrutura fora executada no sistema de laje nervurada com enchimento de polipropileno reaproveitável, onde o custo com material e mão de obra foi, respectivamente, R$ 24.131,24 e R$ 8.700,36 totalizando um montante de R$ 32.831,60.

Tabela 4.8 – Custos de material, mão de obra e totais das fundações

Sistema estrutural	Custo total de material (R$)	Custo total de mão de obra (R$)	Custo Total (R$)
LM	27.407,58	9.773,60	37.181,18
LN1	26.391,79	9.500,33	35.892,13
LN2	24.302,10	8.758,66	33.060,76
LN3	24.131,24	8.700,36	32.831,60

A Figura 4.12 mostra a redução em percentagem dos custos totais de material e mão de obra das fundações dos sistemas estruturais de lajes nervuradas em relação ao sistema de laje maciça. Destacam-se as reduções de 11,95% (R$ 3.276,34) no custo de material, 10,98% (R$

1.073,24) no custo de mão de obra e 11,70% (R$ 4.349,58) no custo total da fundação obtida com o emprego do sistema de laje nervurada com enchimento reaproveitável de polipropileno.

Também é importante destacar as reduções de 11,33% (R$ 3.105,48) no custo de material, 10,38% (1.014,94) no custo de mão de obra e 11,08% (4.120,42) no custo total de fundação obtida com o emprego do sistema estrutural de laje nervurada com enchimento de EPS em relação ao modelo de laje maciça.

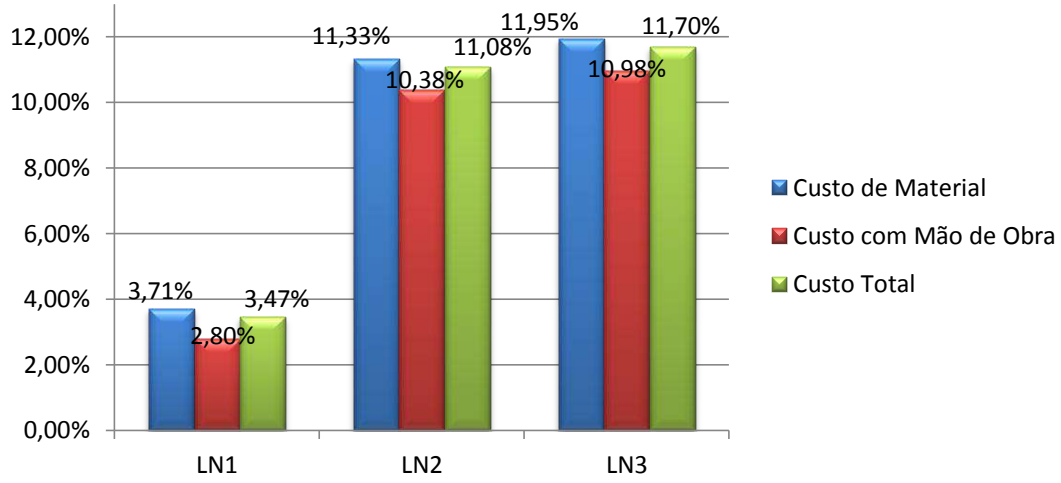


Figura 4.12 – Redução percentual dos custos de material, mão de obra e totais da fundação dos sistemas de lajes nervuradas em relação ao sistema de laje maciça

4.2.3 Estudo comparativo da estrutura global do edifício

Na Tabela 4.9 têm-se os valores de custos totais, de material e mão de obra de toda a estrutura (fundação e superestrutura) do flat para os quatro modelos estruturais analisados. Observa-se uma tendência de redução no custo tanto de material quanto de mão de obra para o sistema estrutural de lajes nervuradas.

Tabela 4.9 – Custos de material, mão de obra e total de toda a estrutura do flat para os modelos estruturais analisados

Sistema estrutural	Custo total de material (R$)	Custo total de mão de obra (R$)	Custo Total (R$)
LM	588.623,23	123.425,99	712.049,22
LN	558.487,01	114.375,95	672.862,96
LN2	552.224,36	110.791,73	663.016,08
LN3	523.639,46	108.528,95	632.168,40

Na Figura 4.13 é possível observar por meio de barras a distribuição dos custos com materiais dos modelos estudados. O sistema estrutural de laje maciça obteve o maior custo de material com R$ 588.623,23, enquanto que o modelo com enchimento de caixote recuperável de polipropileno apresentou o menor valor de custo com R$ 523.639,46, o que representa uma economia de R$ 64.983,77 (aproximadamente 11,04%) de material.

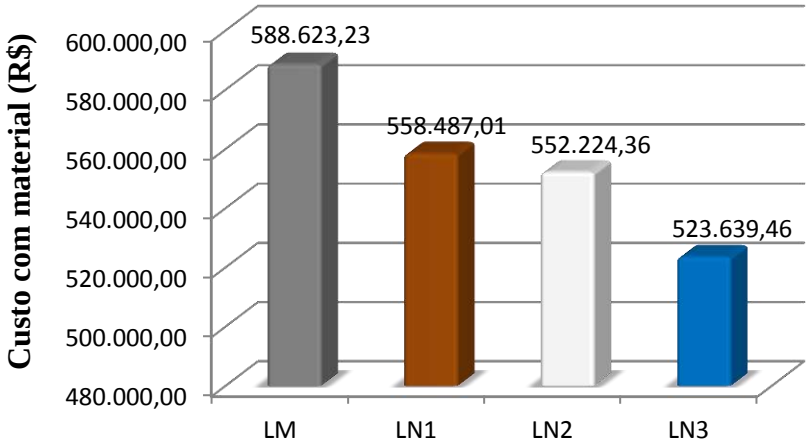


Figura 4.13 – Custo total de material

Analisando as duas alternativas que apresentaram os menores resultados de custo com material, observa-se que há uma economia de R$ 28.584,90 (aproximadamente 5,18%) quando se utiliza o sistema de laje nervurada com enchimento de polipropileno em relação ao modelo com EPS.

A Figura 4.14 mostra o custo total com mão de obra da estrutura do flat para os sistemas estruturais analisados.

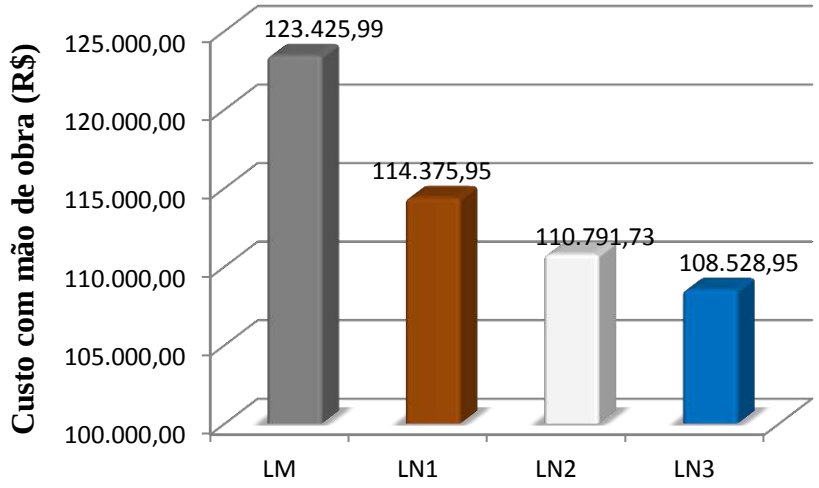


Figura 4.14 – Custo total de mão de obra

Observa-se que o sistema estrutural de laje maciça apresentou o maior custo total de mão de obra com R$ 123.425,99, enquanto que o sistema de laje nervurada com enchimento de polipropileno obteve o menor custo com R$ 108.528,95, representando uma economia de R$ 14.897,04 (aproximadamente 12,07%).

Na Figura 4.15 tem-se o custo total da estrutura do flat para todos os modelos analisados. Onde o sistema de laje maciça apresentou o maior valor de custo total com R$ 712.049,22, enquanto o sistema de lajes nervuradas que se utilizam de polipropileno como material de enchimento obteve o menor valor com R$ 632.168,40, o que representa uma economia de R$ 79.880,82 (aproximadamente 11,22%) no custo total da obra. Enquanto que o sistema de laje nervurada com enchimento de EPS apresentou uma economia de R$ 49.033,14 (aproximadamente 6,87%) em relação ao modelo com laje maciça.

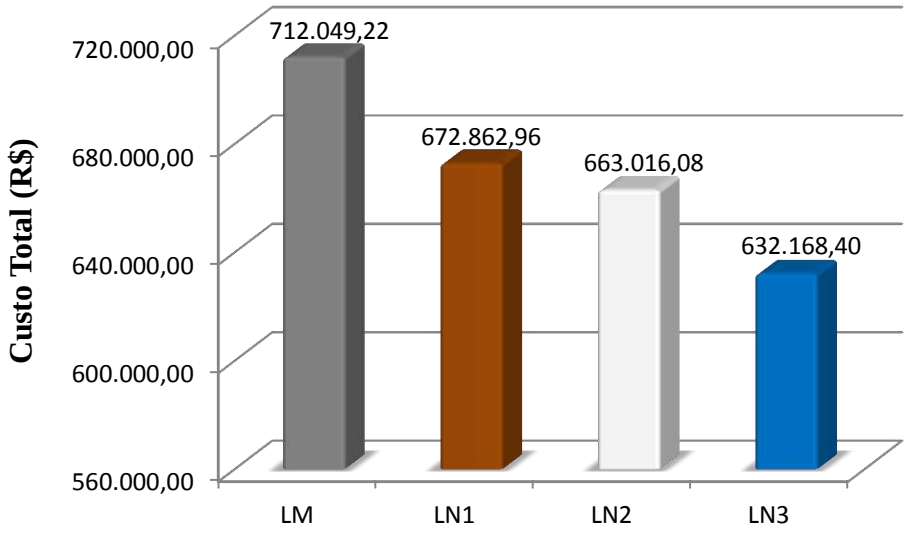


Figura 4.15 – Custo total da estrutura

Embora o sistema estrutural de laje nervurada com enchimento de tijolo cerâmico tenha apresentado o pior desempenho econômico em relação aos modelos com EPS e polipropileno, pode-se observar que este sistema cumpriu seu papel de redução de custo em relação ao modelo de laje maciça, uma vez que se obteve uma economia R$ 39.186,26 (aproximadamente 5,50%).

Comparando as duas alternativas que apresentaram os menores resultados de custo total, observa-se que há uma economia de R$ 30.847,68 (aproximadamente 4,65%) quando se utiliza o sistema de laje nervurada com enchimento de polipropileno em relação ao modelo com EPS.

5. CONCLUSÕES

5.1 Conclusões

As lajes desempenham importantes funções nas estruturas dos edifícios, além de serem responsáveis pelo consumo de elevada parcela do volume total de concreto utilizado. Portanto, a escolha de um sistema estrutural do pavimento de uma edificação deve sempre ser feita analisando-se aspectos econômicos, de funcionamento, de execução, e os relacionados à interação com os demais subsistemas da edificação.

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

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

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

O sistema estrutural convencional com o melhor desempenho do ponto de vista da análise estrutural é aquele constituído por lajes nervuradas executadas com enchimento de polipropileno reaproveitável, uma vez que por não adicionar carga permanente na estrutura como nos outros tipos de materiais de enchimento, obteve as maiores reduções, na laje L22 ou N22 do pavimento tipo analisado, de peso próprio (43,73%), flecha total (38,74%), momento fletor positivo (30,11%), momento fletor negativo (29,26%) e esforço cortante máximo (53,17%) em relação ao sistema estrutural constituído por lajes maciças.

O sistema estrutural convencional mais econômico é aquele constituído por lajes nervuradas executadas com enchimento de polipropileno reaproveitável, em função, especialmente, do baixo consumo de material e mão de obra em relação aos outros modelos analisados. Neste caso, foi possível obter uma economia de R$ 79.880,82 (aproximadamente 11,22%) no custo total da obra em relação ao sistema estrutural constituído por lajes maciças.

5.2 Propostas para Trabalhos Futuros

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

- Análise comparativa dos diversos sistemas estruturais considerando esforços horizontais devidos ao vento e ao sismo;
- Consideração da redução das seções de concreto das vigas e pilares dos sistemas analisados;
- Consideração de outros sistemas estruturais como, por exemplo, lajes pré-fabricadas, planas (lisa e cogumelo), protendidas e mistas;
- Análise comparativa para um ou mais sistemas estruturais com variação da quantidade de pavimentos de uma edificação;
- Quantificação do tempo de execução e prazos finais da obra, assim como das etapas envolvidas;
- Análise comparativa dos sistemas de cimbramentos para os diversos sistemas estruturais.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – NORMA BRASILEIRA. **Projeto de estruturas de concreto – Procedimento**, NBR 6118. Rio de Janeiro: ABNT, 2003, 221p.

_____. NBR 6120 – Cargas para o cálculo das edificações. Rio de Janeiro: ABNT, 1980, 6p.

_____. NBR 6122 – Projeto e execução de fundações. Rio de Janeiro: ABNT, 1996, 33p.

_____. NBR 6123 – Forças devidas ao vento em edificações. Rio de Janeiro: ABNT, 1988, 66p.

_____. NBR 7480 – Barras e fios de aço destinados a armaduras para concreto armado – Especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 1996, 7p.

_____. NBR 8681 – Ações e segurança nas estruturas – Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2003, 18p.

_____. NBR 12721 – Avaliação de custos unitários de construção para incorporação imobiliária e outras disposições para condomínios edilícios – Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2007, 99p.

_____. NBR 14931 – Execução de estruturas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2004, 59p.

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

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

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

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

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

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

O processo construtivo da estrutura. Universidade Federal de Santa Catarina. Departamento de Arquitetura e Urbanismo. Tecnologia da Edificação III. Disponível em <http://www.labrestauro.ufsc.br/wp-content//2a-processo-construtivo.PPT>. Acesso em: 10 abr. 2012.

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

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

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.

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

APÊNDICE

APÊNDICE A – Quantitativo e composição do custo total da superestrutura

A.1 – Sistema estrutural de laje maciça

Quantitativo de materiais

Superfície:		3548,47	m²	CA - 50 A (kg)								CA - 60 B (kg)		
Elemento	Formas (m²)	Volume (m)	Barras (kg)	Ø 5,0	Ø 6,3	Ø 8,0	Ø 10	Ø 12,5	Ø 16,0	Ø 20,0	Ø 25,0	Ø 5,0	Ø 6,0	Ø 8,0
lajes	3191,29	419,91	27535		12170	9847	1662	328				3528		
Vigas: fundo Forma lateral	324,51	209,84	13306	267	168	2050	1403	2930	3309	684		1520	477	498
	2044,81													
Pilares (Sup, Formas)	729,1	56,54	8118				2422	359	1622	1081	871	1315	375	73
Total	6289,71	686,29	48959,1											

Fôrma 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	7,58	102,074	773,72
	Carpinteiro	h	0,560	9,30	408,296	3.797,15
	Deslmoldante de fôrmas para concreto	L	0,020	8,89	14,582	129,63
	Prego 17 x 27 com cabeça dupla (comprimento: 62,1 mm / diâmetro da cabeça: 3,0 mm)	kg	0,100	6,01	72,910	438,19
	Fôrma pré-fabricada de madeira com chapa compensada plastificada de 12 mm, inclusive travamento	m²	0,240	68,90	174,984	12.056,40
VIGAS	Ajudante de carpinteiro	h	0,198	7,58	469,125	3.555,97
	Carpinteiro	h	0,792	9,30	1876,501	17.451,46
	Deslmoldante de fôrmas para concreto	L	0,020	8,89	47,386	421,27
	Prego 17 x 27 com cabeça dupla (comprimento: 62,1 mm / diâmetro da cabeça: 3,0 mm)	kg	0,100	6,01	236,932	1.423,96

	Fôrma pré-fabricada de madeira com chapa compensada plastificada de 12 mm, inclusive travamento	m²	0,240	68,90	568,637	39.179,08
LAJES	Ajudante de carpinteiro	h	0,106	7,58	338,277	2.564,14
	Carpinteiro	h	0,424	9,30	1353,107	12.583,89
	Deslmoldante de fôrmas para concreto	L	0,020	8,89	63,826	567,41
	Prego 17 x 27 com cabeça dupla (comprimento: 62,1 mm / diâmetro da cabeça: 3,0 mm)	kg	0,020	6,01	63,826	383,59
	Fôrma pré-fabricada de madeira de chapa compensada plastificada de 12 mm	m²	0,240	68,90	765,910	52.771,17

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

Insumo	Bitola (mm)	Unidade	Consumo unitário	Preço Unitário (R$)	Consumo Total	Custo total (R$)
Bara de aço CA-60	5,0	kg	1,000	4,63	851,700	3.943,37
	6,0	kg	1,000	4,57	571,200	2.610,38
	8,0	kg	1,000	4,57	6363,400	29.080,74
Arame recozido Φ 1,25 mm / bitola: 18 BWG	1,25	kg	0,020	7,59	155,726	1.181,96
Ajudante de armador	-	h	0,080	7,58	622,904	4.721,61
Armador	-	h	0,080	9,3	622,904	5.793,01

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	4,06	2422,000	9.833,32
		12,5	kg	1,000	3,94	359,000	1.414,46
		16,0	kg	1,000	4,00	1622,000	6.488,00
		20,0	kg	1,000	3,89	1081,000	4.205,09
		25,0	kg	1,000	3,89	871,000	3.388,19
	Arame recozido Φ 1,25 mm / bitola: 18 BWG	1,25	kg	0,020	7,59	127,100	964,69
	Ajudante de armador	-	h	0,062	7,58	394,010	2.986,60
	Armador	-	h	0,062	9,30	394,010	3.664,29
VIGAS	Barra de aço	5,0	kg	1,000	4,63	266,900	1.235,75
		6,3	kg	1,000	4,57	168,200	768,67
		8,0	kg	1,000	4,29	2050,400	8.796,22

		10,0	kg	1,000	4,06	1402,700	5.694,96
		12,5	kg	1,000	3,94	2929,700	11.543,02
		16,0	kg	1,000	4,00	3308,500	13.234,00
		20,0	kg	1,000	3,89	684,400	2.662,32
	Arame recozido Φ 1,25 mm / bitola: 18 BWG	1,25	kg	0,020	7,59	216,216	1.641,08
	Ajudante de armador	-	h	0,093	7,58	1005,404	7.620,97
	Armador	-	h	0,093	9,30	1005,404	9.350,26
LAJES	Barra de aço	6,3	kg	1,000	4,57	12170,00	55.616,90
		8,0	kg	1,000	4,29	9847,000	42.243,63
		10,0	kg	1,000	4,06	1662,000	6.747,72
		12,5	kg	1,000	3,94	328,000	1.292,32
	Arame recozido Φ 1,25 mm / bitola: 18 BWG	1,25	kg	0,020	7,59	480,140	3.644,26
	Ajudante de armador	-	h	0,051	7,58	1224,357	9.280,63
	Armador	-	h	0,051	9,30	1224,357	11.386,52

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	326,35	720,605	235.169,28
Pedreiro	h	1,620	9,30	1111,790	10.339,65
Servente	h	1,620	7,00	1111,790	7.782,53
Vibrador de imersão, elétrico, potência 2HP (1,5 kW) - vida útil de 4500 h	h prod	0,200	0,83	137,258	113,92

A.2 – Sistema estrutural de laje nervurada com enchimento de tijolo cerâmico

Quantitativo de materiais

Superfície: 3548,47 m²				CA - 50 A (kg)								CA - 60 B (kg)		
Elemento	Formas (m²)	Volume (m3)	Barras (kg)	Ø 5,0	Ø 6,3	Ø 8,0	Ø 10	Ø 12,5	Ø 16,0	Ø 20,0	Ø 25,0	Ø 5,0	Ø 6,0	Ø 8,0
LAJES	3191,29	298,26	22533		4952	2606	4617	6743	2601	340		674		
Vigas: fundo	324,51	209,88	12423	231	141	2155	1619	2741	2795	144		1434	643	520
Forma lateral	1855,51													
Pilares (Sup, Formas)	729,1	56,54	7306				2537	342	839	1351	532	1371	289	45
Total	6100,41	564,68	42261,7											

Quantitativo de materiais			
Tela de aço CA-60	4.723,109	kg	Volume
Nº de blocos de tijolos cerâmicos	84.858	unidades	254,57 m³

Fôrma 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	7,58	102,074	773,72
	Carpinteiro	h	0,560	9,30	408,296	3.797,15
	Deslmoldante de fôrmas para concreto	L	0,020	8,89	14,582	129,63
	Prego 17 x 27 com cabeça dupla (comprimento: 62,1 mm / diâmetro da cabeça: 3,0 mm)	kg	0,100	6,01	72,910	438,19
	Fôrma pré-fabricada de madeira com chapa compensada plastificada de 12 mm, inclusive travamento	m²	0,240	68,90	174,984	12.056,40
VIGAS	Ajudante de carpinteiro	h	0,198	7,58	431,644	3.271,86
	Carpinteiro	h	0,792	9,30	1726,576	16.057,16
	Deslmoldante de fôrmas para concreto	L	0,020	8,89	43,600	387,61
	Prego 17 x 27 com cabeça dupla (comprimento: 62,1 mm / diâmetro da cabeça: 3,0 mm)	kg	0,100	6,01	218,002	1.310,19

	Fôrma pré-fabricada de madeira com chapa compensada plastificada de 12 mm, inclusive travamento	m²	0,240	68,90	523,205	36.048,81
LAJES	Ajudante de carpinteiro	h	0,106	7,58	338,277	2.564,14
	Carpinteiro	h	0,424	9,30	1353,107	12.583,89
	Deslmoldante de fôrmas para concreto	L	0,020	8,89	63,826	567,41
	Prego 17 x 27 com cabeça dupla (comprimento: 62,1 mm / diâmetro da cabeça: 3,0 mm)	kg	0,020	6,01	63,826	383,59
	Fôrma pré-fabricada de madeira de chapa compensada plastificada de 12 mm	m²	0,240	68,90	765,910	52.771,17

Fôrma permanente de tijolos cerâmicos de 6 furos para lajes nervuradas- unidade: m³

Insumo	Unidade	Consumo unitário	Preço Unitário (R$)	Consumo Total	Custo total (R$)
Servente	h	1,000	7,00	254,574	1.782,02
Tijolo cerâmico de 6 furos	m³	1,000	123,33	254,574	31.396,61

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

Insumo	Bitola (mm)	Unidade	Consumo unitário	Preço Unitário (R$)	Consumo Total	Custo total (R$)
Bara de aço CA-60	5,0	kg	1,000	4,63	3478,900	16.107,31
	6,0	kg	1,000	4,57	932,200	4.260,15
	8,0	kg	1,000	4,57	564,600	2.580,22
Arame recozido Φ 1,25 mm / bitola: 18 BWG	1,25	kg	0,020	7,59	99,514	755,31
Ajudante de armador	-	h	0,080	7,58	398,056	3.017,26
Armador	-	h	0,080	9,3	398,056	3.701,92

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	4,06	2537,000	10.300,22
		12,5	kg	1,000	3,94	342,000	1.347,48
		16,0	kg	1,000	4,00	839,000	3.356,00
		20,0	kg	1,000	3,89	1351,000	5.255,39

		25,0	kg	1,000	3,89	532,000	2.069,48
	Arame recozido Φ 1,25 mm / bitola: 18 BWG	1,25	kg	0,020	7,59	112,020	850,23
	Ajudante de armador	-	h	0,062	7,58	347,262	2.632,25
	Armador	-	h	0,062	9,30	347,262	3.229,54
VIGAS	Barra de aço	5,0	kg	1,000	4,63	231,300	1.070,92
		6,3	kg	1,000	4,57	141,100	644,83
		8,0	kg	1,000	4,29	2154,900	9.244,52
		10,0	kg	1,000	4,06	1619,100	6.573,55
		12,5	kg	1,000	3,94	2740,900	10.799,15
		16,0	kg	1,000	4,00	2794,600	11.178,40
		20,0	kg	1,000	3,89	144,100	560,55
	Arame recozido Φ 1,25 mm / bitola: 18 BWG	1,25	kg	0,020	7,59	196,520	1.491,59
	Ajudante de armador	-	h	0,093	7,58	913,818	6.926,74
	Armador	-	h	0,093	9,30	913,818	8.498,51
LAJES	Barra de aço	6,3	kg	1,000	4,57	4952,000	22.630,64
		8,0	kg	1,000	4,29	2606,000	11.179,74
		10,0	kg	1,000	4,06	4617,000	18.745,02
		12,5	kg	1,000	3,94	6743,000	26.567,42
		16,0	kg	1,000	4,00	2601,000	10.404,00
		20,0	kg	1,000	3,89	340,000	1.322,60
	Arame recozido Φ 1,25 mm / bitola: 18 BWG	1,25	kg	0,020	7,59	437,180	3.318,20
	Ajudante de armador	-	h	0,051	7,58	1114,809	8.450,25
	Armador	-	h	0,051	9,30	1114,809	10.367,72

Armadura de tela de aço , CA-60, para capa de concreto das lajes nervuradas - unidade: kg

Insumo	Unidade	Consumo unitário	Preço Unitário (R$)	Consumo Total	Custo total (R$)
Ajudante de armador	h	0,04	7,58	188,92	1.432,047
Armador	h	0,02	9,30	94,46	878,498
Tela de aço soldada tipo Q92 (diâmetro do fio: 4,20 mm / dimensões da trama: 150 mm x 150 mm / tipo da malha: quandrangular)	kg	1,03	4,12	4864,80	20.042,986
Arame recozido (diâmetro do fio: 1,25 mm / bitola: 18 BWG)	kg	0,01	7,59	47,23	358,484

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	326,35	592,914	193.497,48
Pedreiro	h	1,620	9,30	914,782	8.507,47
Servente	h	1,620	7,00	914,782	6.403,47
Vibrador de imersão, elétrico, potência 2HP (1,5 kW) - vida útil de 4500 h	h prod	0,200	0,83	112,936	93,74

A.3 – Sistema estrutural de laje nervurada com enchimento de EPS

Quantitativo de materiais

Superfície: 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	Ø5,0	Ø6,0	Ø8,0
lajes	3191,29	297,02	21215		4967	2621	3726	7368	1856	29	648		
Vigas: fundo Forma lateral	324,51 1855,51	209,88	11777	228	195	2184	1699	2179	2784	68	1607	428	407
Pilares (Sup, Formas)	729,10	56,54	6655				2613	354	1064	925	1394	305	
Total	6100,41	563,44	39647										

Quantitativo de materiais

Tela de aço CA-60	4.723,109	kg	Volume
Nº de blocos de EPS	14.144	unidades	254,59 m³

Fôrma 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	7,58	102,074	773,72
	Carpinteiro	h	0,560	9,30	408,296	3.797,15
	Deslmoldante de fôrmas para concreto	L	0,020	8,89	14,582	129,63
	Prego 17 x 27 com cabeça dupla (comprimento: 62,1 mm / diâmetro da cabeça: 3,0 mm)	kg	0,100	6,01	72,910	438,19
	Fôrma pré-fabricada de madeira com chapa compensada plastificada de 12 mm, inclusive travamento	m²	0,240	68,90	174,984	12.056,40
VIGAS	Ajudante de carpinteiro	h	0,198	7,58	431,644	3.271,86
	Carpinteiro	h	0,792	9,30	1726,576	16.057,16
	Deslmoldante de fôrmas para concreto	L	0,020	8,89	43,600	387,61
	Prego 17 x 27 com cabeça dupla (comprimento: 62,1 mm / diâmetro da cabeça: 3,0 mm)	kg	0,100	6,01	218,002	1.310,19
	Fôrma pré-fabricada de madeira com chapa compensada plastificada de 12 mm, inclusive travamento	m²	0,240	68,90	523,205	36.048,81
LAJES	Ajudante de carpinteiro	h	0,106	7,58	338,277	2.564,14
	Carpinteiro	h	0,424	9,30	1353,107	12.583,89
	Deslmoldante de fôrmas para concreto	L	0,020	8,89	63,826	567,41
	Prego 17 x 27 com cabeça dupla (comprimento: 62,1 mm / diâmetro da cabeça: 3,0 mm)	kg	0,020	6,01	63,826	383,59
	Fôrma pré-fabricada de madeira de chapa compensada plastificada de 12 mm	m²	0,240	68,90	765,910	52.771,17

Fôrma permanente de EPS para lajes nervuradas- unidade: m³

Insumo	Unidade	Consumo unitário	Preço Unitário (R$)	Consumo Total	Custo total (R$)
Servente	h	1,000	7,00	254,592	1.782,14
Bloco de EPS	m³	1,000	152,52	254,592	38.830,37

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

Insumo	Bitola (mm)	Unidade	Consumo unitário	Preço Unitário (R$)	Consumo Total	Custo total (R$)
Barra de aço CA-60	5,0	kg	1,000	4,63	3649,200	16.895,80
	6,0	kg	1,000	4,57	732,800	3.348,90
	8,0	kg	1,000	4,29	406,500	1.743,89
Arame recozido Φ 1,25 mm / bitola: 18 BWG	1,25	kg	0,020	7,59	95,770	726,89
Ajudante de armador	-	h	0,080	7,58	383,080	2.903,75
Armador	-	h	0,080	9,3	383,080	3.562,64

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	4,06	2613,000	10.608,78
		12,5	kg	1,000	3,94	354,000	1.394,76
		16,0	kg	1,000	4,00	1064,000	4.256,00
		20,0	kg	1,000	3,89	925,000	3.598,25
	Arame recozido Φ 1,25 mm / bitola: 18 BWG	1,25	kg	0,020	7,59	99,120	752,32
	Ajudante de armador	-	h	0,062	7,58	307,272	2.329,12
	Armador	-	h	0,062	9,30	307,272	2.857,63
VIGAS	Barra de aço	5,0	kg	1,000	4,63	227,500	1.053,33
		6,3	kg	1,000	4,57	195,100	891,61
		8,0	kg	1,000	4,29	2183,500	9.367,22
		10,0	kg	1,000	4,06	1698,600	6.896,32
		12,5	kg	1,000	3,94	2178,900	8.584,87
		16,0	kg	1,000	4,00	2783,900	11.135,60

	Arame recozido Φ 1,25 mm / bitola: 18 BWG	1,25	kg	0,020	7,59	186,712	1.417,14
	Ajudante de armador	-	h	0,093	7,58	868,211	6.581,04
	Armador	-	h	0,093	9,30	868,211	8.074,36
LAJES	Barra de aço	6,3	kg	1,000	4,57	4967,000	22.699,19
		8,0	kg	1,000	4,29	2621,000	11.244,09
		10,0	kg	1,000	4,06	3726,000	15.127,56
		12,5	kg	1,000	3,94	7368,000	29.029,92
		16,0	kg	1,000	4,00	1856,000	7.424,00
		20,0	kg	1,000	3,89	29,000	112,81
	Arame recozido Φ 1,25 mm / bitola: 18 BWG	1,25	kg	0,020	7,59	411,340	3.122,07
	Ajudante de armador	-	h	0,051	7,58	1048,917	7.950,79
	Armador	-	h	0,051	9,30	1048,917	9.754,93

Armadura de tela de aço , CA-60, para capa de concreto das lajes nervuradas - unidade: kg

Insumo	Unidade	Consumo unitário	Preço Unitário (R$)	Consumo Total	Custo total (R$)
Ajudante de armador	h	0,04	7,58	188,92	1.432,047
Armador	h	0,02	9,30	94,46	878,498
Tela de aço soldada tipo Q138 (diâmetro do fio: 4,20 mm / dimensões da trama: 100 mm x 100 mm / tipo da malha: quandrangular)	kg	1,03	4,12	4864,80	20.042,986
Arame recozido (diâmetro do fio: 1,25 mm / bitola: 18 BWG)	kg	0,01	7,59	47,23	358,484

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	326,35	591,612	193.072,58
Pedreiro	h	1,620	9,30	912,773	8.488,79
Servente	h	1,620	7,00	912,773	6.389,41
Vibrador de imersão, elétrico, potência 2HP (1,5 kW) - vida útil de 4500 h	h prod	0,200	0,83	112,688	93,53

A.4 – Sistema estrutural de lajes nervuradas com enchimento de polipropileno reaproveitável

Quantitativo de materiais

Superfície: 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	Ø5,0	Ø6,0	Ø8,0
Lajes	3191,29	306,82	21215		4967	2621	3726	7368	1856	29	648		
Vigas: fundo Forma lateral	324,51 1855,51	209,85	11739	217	194	2258	1673	2361	2608	34	1531	574	289
Pilares (Sup, Formas)	729,1	56,54	6623				2581	428	830	1091	1387	306	
Total	6100,41	573,21	39577										

Quantitativo de materiais

Tela de aço CA-60 B para capa de concreto	480,275	kg
Caixote reaproveitável de polipropileno	7.051,000	unidades

Fôrma 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	7,58	102,074	773,72
	Carpinteiro	h	0,560	9,30	408,296	3.797,15
	Deslmoldante de fôrmas para concreto	L	0,020	8,89	14,582	129,63
	Prego 17 x 27 com cabeça dupla (comprimento: 62,1 mm / diâmetro da cabeça: 3,0 mm)	kg	0,100	6,01	72,910	438,19
	Fôrma pré-fabricada de madeira com chapa compensada plastificada de 12 mm, inclusive travamento	m²	0,240	68,90	174,984	12.056,40
VIGAS	Ajudante de carpinteiro	h	0,198	7,58	431,644	3.271,86
	Carpinteiro	h	0,792	9,30	1726,576	16.057,16
	Deslmoldante de fôrmas para concreto	L	0,020	8,89	43,600	387,61
	Prego 17 x 27 com cabeça dupla (comprimento: 62,1 mm / diâmetro da cabeça: 3,0 mm)	kg	0,100	6,01	218,002	1.310,19

	Fôrma pré-fabricada de madeira com chapa compensada plastificada de 12 mm, inclusive travamento	m²	0,240	68,90	523,205	36.048,81
LAJES	Ajudante de carpinteiro	h	0,106	7,58	338,277	2.564,14
	Carpinteiro	h	0,424	9,30	1353,107	12.583,89
	Deslmoldante de fôrmas para concreto	L	0,020	8,89	63,826	567,41
	Prego 17 x 27 com cabeça dupla (comprimento: 62,1 mm / diâmetro da cabeça: 3,0 mm)	kg	0,020	6,01	63,826	383,59
	Fôrma pré-fabricada de madeira de chapa compensada plastificada de 12 mm	m²	0,240	68,90	765,910	52.771,17

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	211,530	1.480,71
Caixote reaproveitável de polipropileno	un.	1,000	52,00	7051,000	24.443,47

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

Insumo	Bitola (mm)	Unidade	Consumo unitário	Preço Unitário (R$)	Consumo Total	Custo total (R$)
Bara de aço CA-60	5,0	kg	1,000	4,63	3566,100	16.511,04
	6,0	kg	1,000	4,57	880,100	4.022,06
	8,0	kg	1,000	4,29	288,600	1.238,09
Arame recozido Φ 1,25 mm / bitola: 18 BWG	1,25	kg	0,020	7,59	94,696	718,74
Ajudante de armador	-	h	0,080	7,58	378,784	2.871,18
Armador	-	h	0,080	9,3	378,784	3.522,69

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	4,06	2581,000	10.478,86
		12,5	kg	1,000	3,94	428,000	1.686,32
		16,0	kg	1,000	4,00	830,000	3.320,00
		20,0	kg	1,000	3,89	1091,000	4.243,99
	Arame recozido Φ 1,25 mm /	1,25	kg	0,020	7,59	98,600	748,37

	bitola: 18 BWG						
	Ajudante de armador	-	h	0,062	7,58	305,660	2.316,90
	Armador	-	h	0,062	9,30	305,660	2.842,64
VIGAS	Barra de aço	5,0	kg	1,000	4,63	216,500	1.002,40
		6,3	kg	1,000	4,57	193,700	885,21
		8,0	kg	1,000	4,29	2258,400	9.688,54
		10,0	kg	1,000	4,06	1673,000	6.792,38
		12,5	kg	1,000	3,94	2361,200	9.303,13
		16,0	kg	1,000	4,00	2607,900	10.431,60
		20,0	kg	1,000	3,89	34,000	132,26
	Arame recozido Φ 1,25 mm / bitola: 18 BWG	1,25	kg	0,020	7,59	186,894	1.418,53
	Ajudante de armador	-	h	0,093	7,58	869,057	6.587,45
	Armador	-	h	0,093	9,30	869,057	8.082,23
LAJES	Barra de aço	6,3	kg	1,000	4,57	4967,000	22.699,19
		8,0	kg	1,000	4,29	2621,000	11.244,09
		10,0	kg	1,000	4,06	3726,000	15.127,56
		12,5	kg	1,000	4,06	7368,000	29.914,08
		16,0	kg	1,000	4,06	1856,000	7.535,36
		20,0	kg	1,000	4,06	29,000	117,74
	Arame recozido Φ 1,25 mm / bitola: 18 BWG	1,25	kg	0,020	7,59	411,340	3.122,07
	Ajudante de armador	-	h	0,051	7,58	1048,917	7.950,79
	Armador	-	h	0,051	9,30	1048,917	9.754,93

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	326,35	601,871	196.420,44
Pedreiro	h	1,620	9,30	928,600	8.635,98
Servente	h	1,620	7,00	928,600	6.500,20
Vibrador de imersão, elétrico, potência 2HP (1,5 kW) - vida útil de 4500 h	h prod	0,200	0,83	114,642	95,15

APÊNDICE B – Quantitativo e composição do custo total da fundação

B.1 – Sistema estrutural de lajes maciças

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	
103,5	510,22	494,57	916,54	478,59	2503,44	19,54	11,59	31,56	166,45

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	7,58	64,914	492,04
Carpinteiro	h	1,562	9,30	259,987	2.417,88
Prego 17 x 21 com cabeça (comprimento: 48,3 mm / diâmetro da cabeça: 3,0 mm)	kg	0,036	6,39	5,992	38,29
Sarrafo 1" x 3" (altura: 75 mm / espessura: 25 mm)	m	0,750	2,99	124,834	373,25
Tábua 1" x 12" (espessura: 25 mm / largura: 300 mm)	m²	0,260	20,49	43,276	886,72
Desmoldante de fôrmas para concreto	L	0,400	8,89	66,578	591,88
Barra de aço CA-50 3/8" (bitola: 10,0 mm / massa linear: 0,617 kg/m)	kg	0,110	4,06	18,309	74,33
Prego 17 x 27 com cabeça dupla (comprimento: 62,1 mm / diâmetro da cabeça: 3,0 mm)	kg	0,100	6,01	16,645	100,03

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

Insumo	Unidade	Consumo	Preço Unitário (R$)	Quantidade	Total (R$)
Pedreiro	h	2	9,30	23,176	215,54
Servente	h	6	7,00	69,529	486,70
Concreto não-estrutural, preparo com betoneira	m³	1	262,82	11,588	3.045,59

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	356,03	33,138	11.798,12
Pedreiro	h	2,000	9,30	63,120	587,02
Servente	h	6,000	7,00	189,360	1.325,52
Vibrador de imersão, elétrico, potência 2 HP (1,5 kW) - vida útil 4.500 h	h prod	0,200	0,83	6,312	5,24

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	7,58	1,368	10,37
Armador	h	0,070	9,3	1,368	12,72
Bara de aço CA-60	kg	1,000	4,63	19,540	90,47
Arame recozido Φ 1,25 mm / bitola: 18 BWG	kg	0,020	7,59	0,391	2,97

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	4,06	103,520	420,29
	12,5	kg	1,000	3,94	510,220	2.010,27
	16	kg	1,000	4,00	494,570	1.978,28
	20	kg	1,000	3,89	916,540	3.565,34
	25	kg	1,000	3,89	478,590	1.861,72
Arame recozido Φ 1,25 mm / bitola: 18 BWG	1,25	kg	0,030	7,59	75,103	570,03
Ajudante de armador	-	h	0,100	7,58	250,344	1.897,61
Armador	-	h	0,100	9,30	250,344	2.328,20

B.2 – Sistema estrutural de lajes nervuradas com enchimento de tijolos cerâmicos

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	374,44	579,81	1041,08	318,59	2420,12	19,57	11,47	29,88	165,09

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	7,58	64,385	488,04
Carpinteiro	h	1,562	9,30	257,871	2.398,20
Prego 17 x 21 com cabeça (comprimento: 48,3 mm / diâmetro da cabeça: 3,0 mm)	kg	0,036	6,39	5,943	37,98
Sarrafo 1" x 3" (altura: 75 mm / espessura: 25 mm)	m	0,750	2,99	123,818	370,21
Tábua 1" x 12" (espessura: 25 mm / largura: 300 mm)	m²	0,260	20,49	42,923	879,50
Desmoldante de fôrmas para concreto	L	0,400	8,89	66,036	587,06
Barra de aço CA-50 3/8" (bitola: 10,0 mm / massa linear: 0,617 kg/m)	kg	0,110	4,06	18,160	73,73
Prego 17 x 27 com cabeça dupla (comprimento: 62,1 mm / diâmetro da cabeça: 3,0 mm)	kg	0,100	6,01	16,509	99,22

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

Insumo	Unidade	Consumo	Preço Unitário (R$)	Quantidade	Total (R$)
Pedreiro	h	2	9,30	22,940	213,34
Servente	h	6	7,00	68,820	481,74
Concreto não-estrutural, preparo com betoneira	m³	1	262,82	11,470	3.014,55

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	356,03	31,374	11.170,09
Pedreiro	h	2,000	9,30	59,760	555,77
Servente	h	6,000	7,00	179,280	1.254,96
Vibrador de imersão, elétrico, potência 2 HP (1,5 kW) - vida útil 4.500 h	h prod	0,200	0,83	5,976	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	7,58	1,370	10,38
Armador	h	0,070	9,3	1,370	12,74
Bara de aço CA-60	kg	1,000	4,63	19,570	90,61
Arame recozido Φ 1,25 mm / bitola: 18 BWG	kg	0,020	7,59	0,391	2,97

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	4,06	106,200	431,17
	12,5	kg	1,000	3,94	374,440	1.475,29
	16	kg	1,000	4,00	579,810	2.319,24
	20	kg	1,000	3,89	1041,080	4.049,80
	25	kg	1,000	3,89	318,590	1.239,32
Arame recozido Φ 1,25 mm / bitola: 18 BWG	1,25	kg	0,030	7,59	72,604	551,06
Ajudante de armador	-	h	0,100	7,58	242,012	1.834,45
Armador	-	h	0,100	9,30	242,012	2.250,71

B.3 – Sistema estrutural de lajes nervuradas com enchimento de EPS

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	498,69	593,59	477,91	366,33	2042,89	19,56	11,29	28,58	164,22

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	7,58	64,046	485,47
Carpinteiro	h	1,562	9,30	256,512	2.385,56
Prego 17 x 21 com cabeça (comprimento: 48,3 mm / diâmetro da cabeça: 3,0 mm)	kg	0,036	6,39	5,912	37,78
Sarrafo 1" x 3" (altura: 75 mm / espessura: 25 mm)	m	0,750	2,99	123,165	368,26
Tábua 1" x 12" (espessura: 25 mm / largura: 300 mm)	m²	0,260	20,49	42,697	874,87
Desmoldante de fôrmas para concreto	L	0,400	8,89	65,688	583,97
Barra de aço CA-50 3/8" (bitola: 10,0 mm / massa linear: 0,617 kg/m)	kg	0,110	4,06	18,064	73,34
Prego 17 x 27 com cabeça dupla (comprimento: 62,1 mm / diâmetro da cabeça: 3,0 mm)	kg	0,100	6,01	16,422	98,70

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

Insumo	Unidade	Consumo	Preço Unitário (R$)	Quantidade	Total (R$)
Pedreiro	h	2,0	9,30	22,580	209,99
Servente	h	6,0	7,00	67,740	474,18
Concreto não-estrutural, preparo com betoneira	m³	1,0	262,82	11,290	2.967,24

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	356,03	30,009	10.684,10
Pedreiro	h	2,000	9,30	57,160	531,59
Servente	h	6,000	7,00	171,480	1.200,36
Vibrador de imersão, elétrico, potência 2 HP (1,5 kW) - vida útil 4.500 h	h prod	0,200	0,83	5,716	4,74

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	7,58	1,369	10,38
Armador	h	0,070	9,3	1,369	12,73
Bara de aço CA-60	kg	1,000	4,63	19,560	90,56
Arame recozido Φ 1,25 mm / bitola: 18 BWG	kg	0,020	7,59	0,391	2,97

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	4,06	106,370	431,86
	12,5	kg	1,000	3,94	498,690	1.964,84
	16	kg	1,000	4,00	593,590	2.374,36
	20	kg	1,000	3,89	477,910	1.859,07
	25	kg	1,000	3,89	366,330	1.425,02
Arame recozido Φ 1,25 mm / bitola: 18 BWG	1,25	kg	0,030	7,59	61,287	465,17
Ajudante de armador	-	h	0,100	7,58	204,289	1.548,51
Armador	-	h	0,100	9,30	204,289	1.899,89

B.4 – Sistema estrutural de lajes nervuradas com enchimento de polipropileno reaproveitável

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	7,58	63,964	484,85
Carpinteiro	h	1,562	9,30	256,184	2.382,51
Prego 17 x 21 com cabeça (comprimento: 48,3 mm / diâmetro da cabeça: 3,0 mm)	kg	0,036	6,39	5,904	37,73
Sarrafo 1" x 3" (altura: 75 mm / espessura: 25 mm)	m	0,750	2,99	123,008	367,79
Tábua 1" x 12" (espessura: 25 mm / largura: 300 mm)	m²	0,260	20,49	42,643	873,75
Desmoldante de fôrmas para concreto	L	0,400	8,89	65,604	583,22
Barra de aço CA-50 3/8" (bitola: 10,0 mm / massa linear: 0,617 kg/m)	kg	0,110	4,06	18,041	73,25
Prego 17 x 27 com cabeça dupla (comprimento: 62,1 mm / diâmetro da cabeça: 3,0 mm)	kg	0,100	6,01	16,401	98,57

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

Insumo	Unidade	Consumo	Preço Unitário (R$)	Quantidade	Total (R$)
Pedreiro	h	2	9,30	22,540	209,62
Servente	h	6	7,00	67,620	473,34
Concreto não-estrutural, preparo com betoneira	m³	1	262,82	11,270	2.961,98

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	356,03	29,841	10.624,29
Pedreiro	h	2,000	9,30	56,840	528,61
Servente	h	6,000	7,00	170,520	1.193,64
Vibrador de imersão, elétrico, potência 2 HP (1,5 kW) - vida útil 4.500 h	h prod	0,200	0,83	5,684	4,72

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

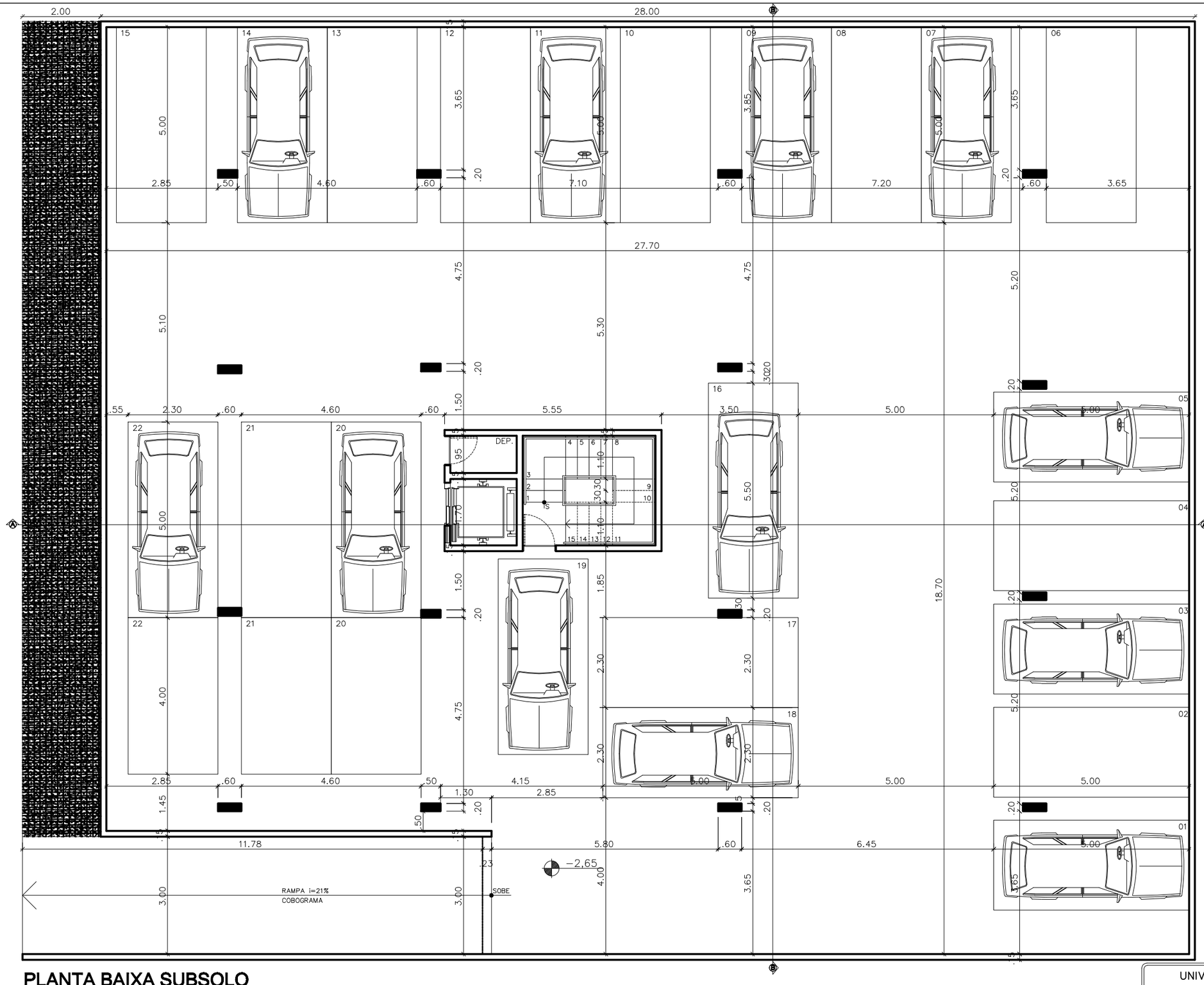
Insumo	Unidade	Consumo unitário	Preço Unitário (R$)	Consumo Total	Custo total (R$)
Ajudante de armador	h	0,070	7,58	1,369	10,37
Armador	h	0,070	9,3	1,369	12,73
Bara de aço CA-60	kg	1,000	4,63	19,550	90,52
Arame recozido Φ 1,25 mm / bitola: 18 BWG	kg	0,020	7,59	0,391	2,97

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	4,06	106,230	431,29
	12,5	kg	1,000	3,94	496,860	1.957,63
	16	kg	1,000	4,00	626,140	2.504,56
	20	kg	1,000	3,89	330,250	1.284,67
	25	kg	1,000	3,89	457,520	1.779,75
Arame recozido Φ 1,25 mm / bitola: 18 BWG	1,25	kg	0,030	7,59	60,510	459,27
Ajudante de armador	-	h	0,100	7,58	201,700	1.528,89
Armador	-	h	0,100	9,30	201,700	1.875,81

ANEXO

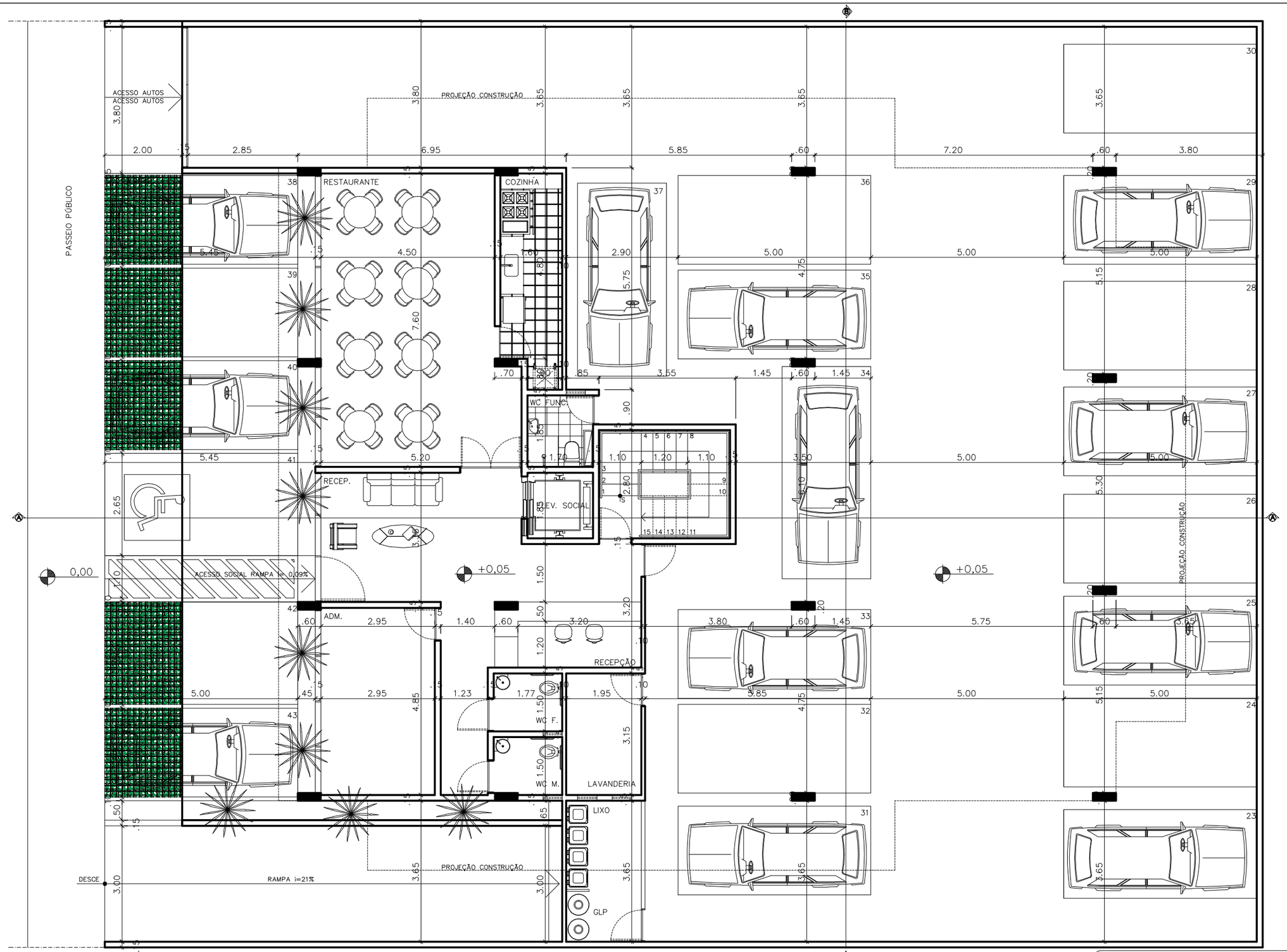
ANEXO A – Projeto Arquitetônico do flat mar & vela



PLANTA BAIXA SUBSOLO

ESCALA 1/75

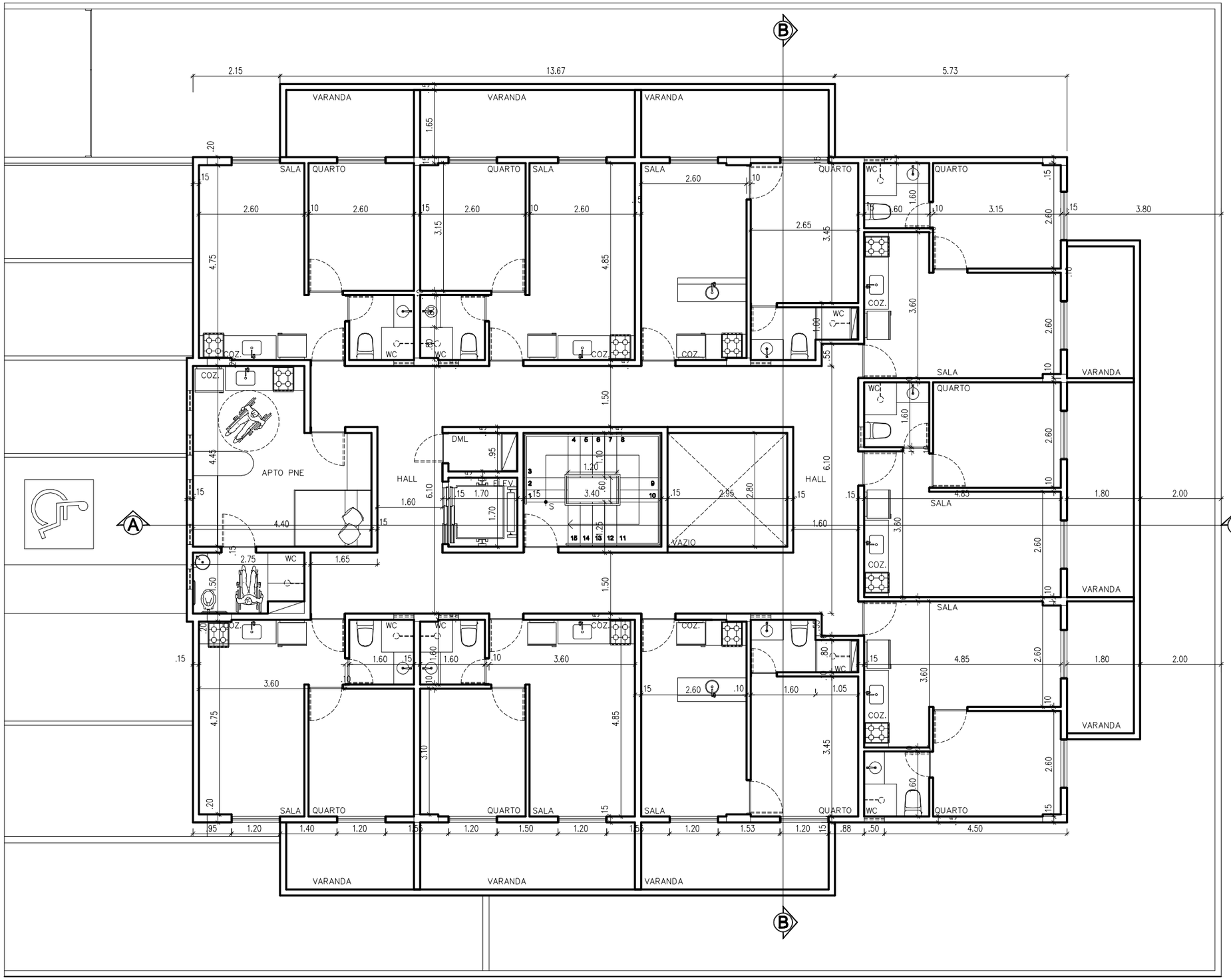
UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO CENTRO ACADÊMICO DE AGRESTE	DATA: OUT/2012
PROJETO : SP FLAT	
LOCALIZAÇÃO : João Pessoa – PB	
PROJETO: arquitetônica	TÍTULO: Planta baixa do subsolo
ESCALA: 1:75	PRANCHA: 1/9



PLANTA BAIXA TÉRREO

ESCALA 1/75

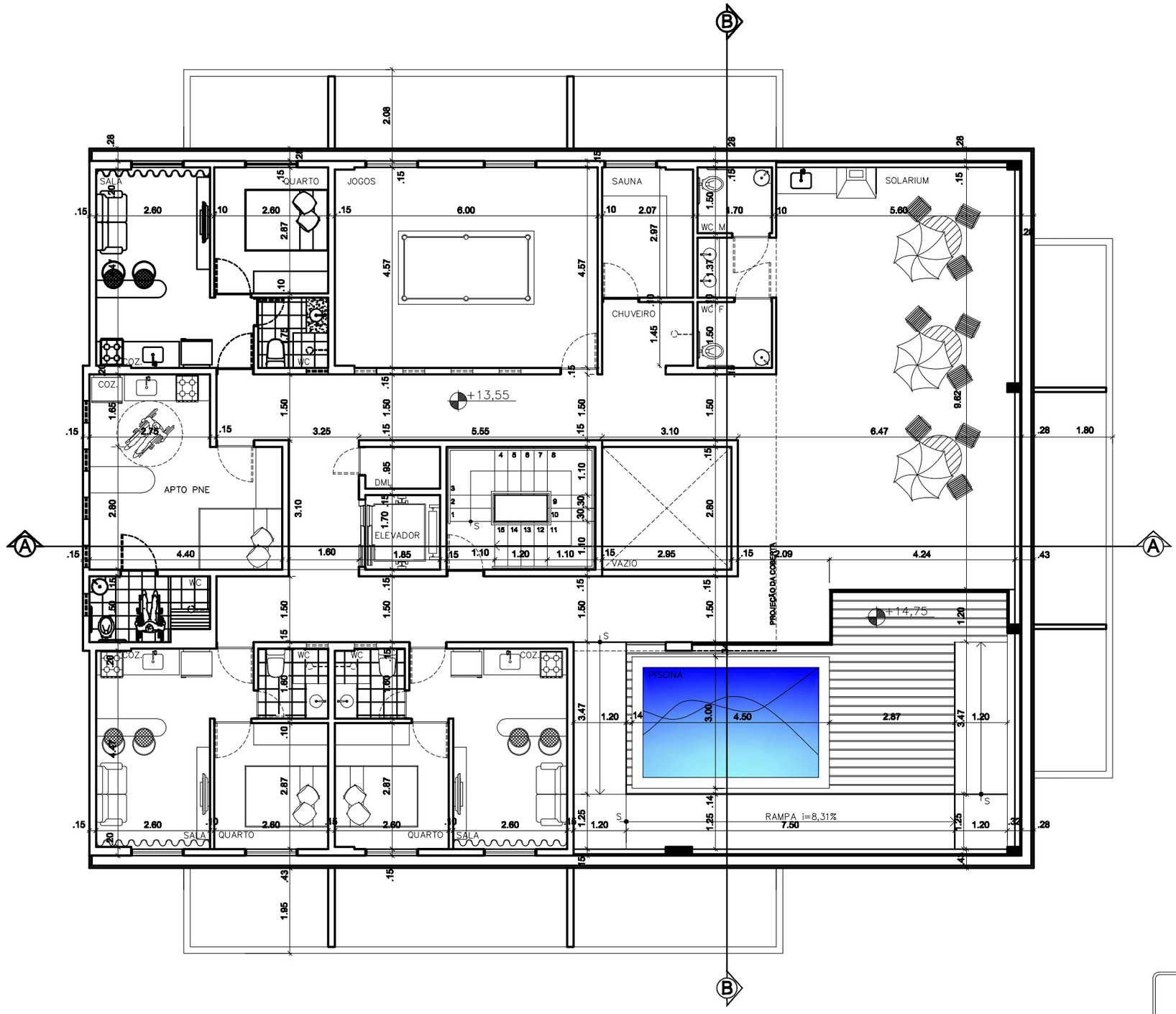
UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO CENTRO ACADÊMICO DE AGRESTE		DATA: OUT/2012
PROJETO : SP FLAT		
LOCALIZAÇÃO : João Pessoa – PB		
PROJETO: arquitetônica	TÍTULO: Planta baixa do térreo	
	ESCALA: 1:75	PRANCHA: 2/9



PLANTA BAIXA PAV. TIPO

ESCALA 1/75

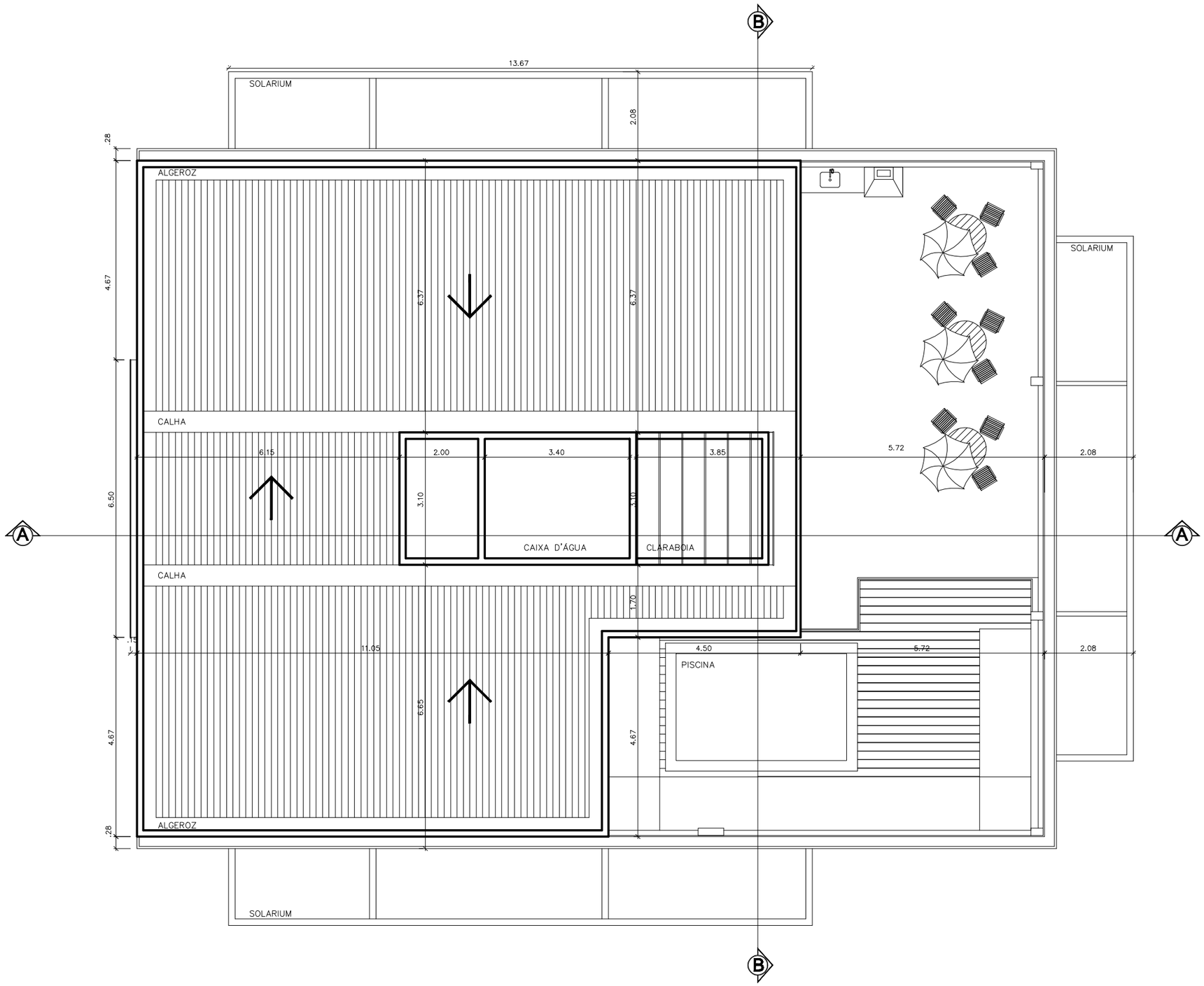
UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE		DATA: OUT/2012
PROJETO : SP FLAT		
LOCALIZAÇÃO : João Pessoa – PB		
PROJETO: Arquitetônico	TÍTULO: Planta baixa do pavimento tipo	
	ESCALA: 1:75	PRANCHA: 3/9



PLANTA BAIXA COBERTURA

ESCALA 1/75

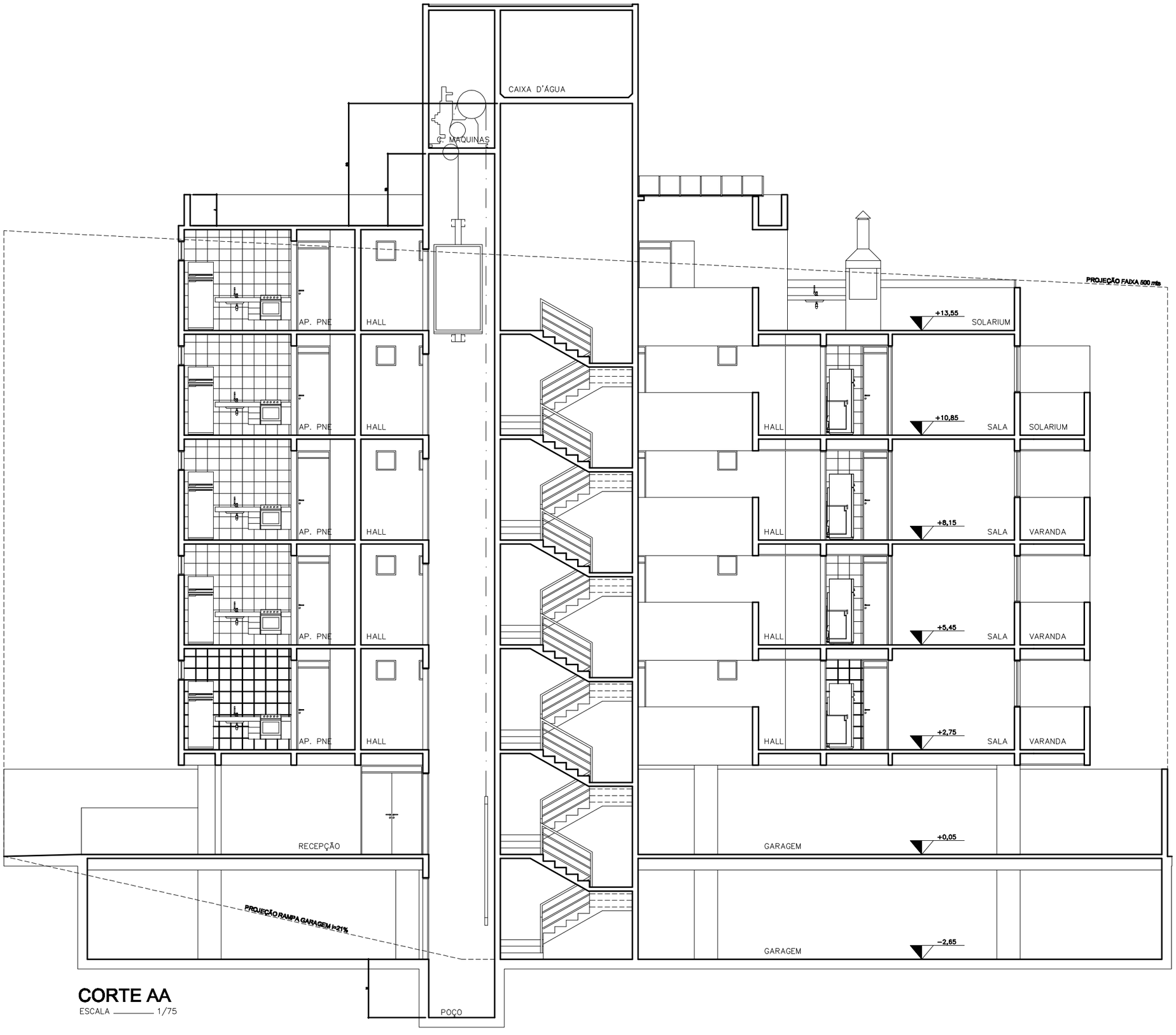
UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE	DATA: OUT/2012
PROJETO : SP FLAT	
LOCALIZAÇÃO : João Pessoa – PB	
PROJETO: Arquitetônico	TÍTULO: Planta baixa da cobertura
	ESCALA: 1:75 / PRANCHA: 4/9



PLANTA BAIXA DE COBERTA

ESCALA 1/75

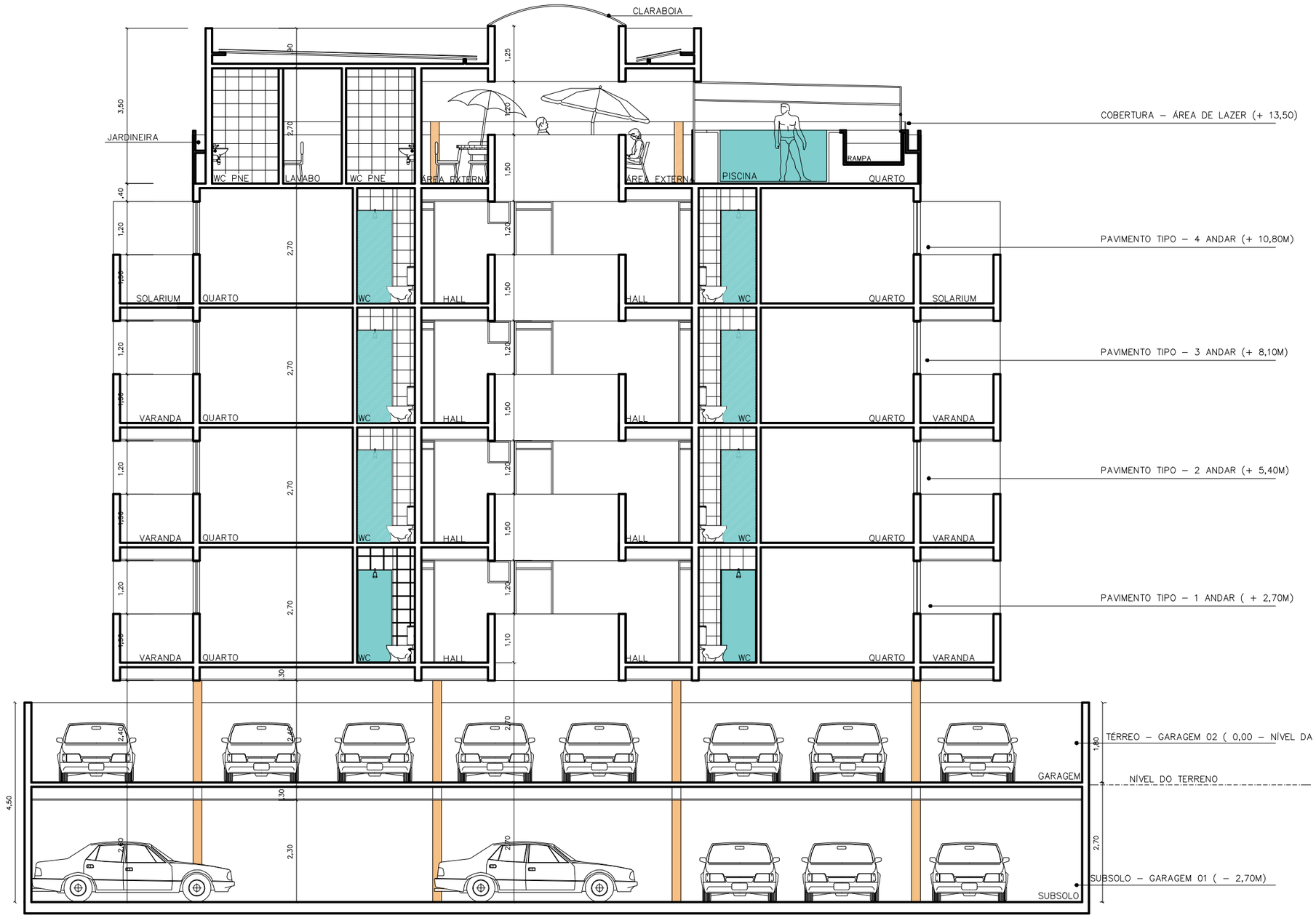
UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE	DATA: OUT/2012
PROJETO : SP FLAT	
LOCALIZAÇÃO : João Pessoa – PB	
PROJETO: Arquitetônico	TÍTULO: Planta baixa de coberta
	ESCALA: 1:75 / PRANCHA: 5/9



CORTE AA

ESCALA ——— 1/75

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE		DATA: OUT/2012
PROJETO : SP FLAT		
LOCALIZAÇÃO : João Pessoa – PB		
PROJETO: Arquitetônico	TÍTULO: Planta de corte AA	
	ESCALA: 1:75	PRANCHA: 6/9



CORTE BB

ESCALA ——— 1/75

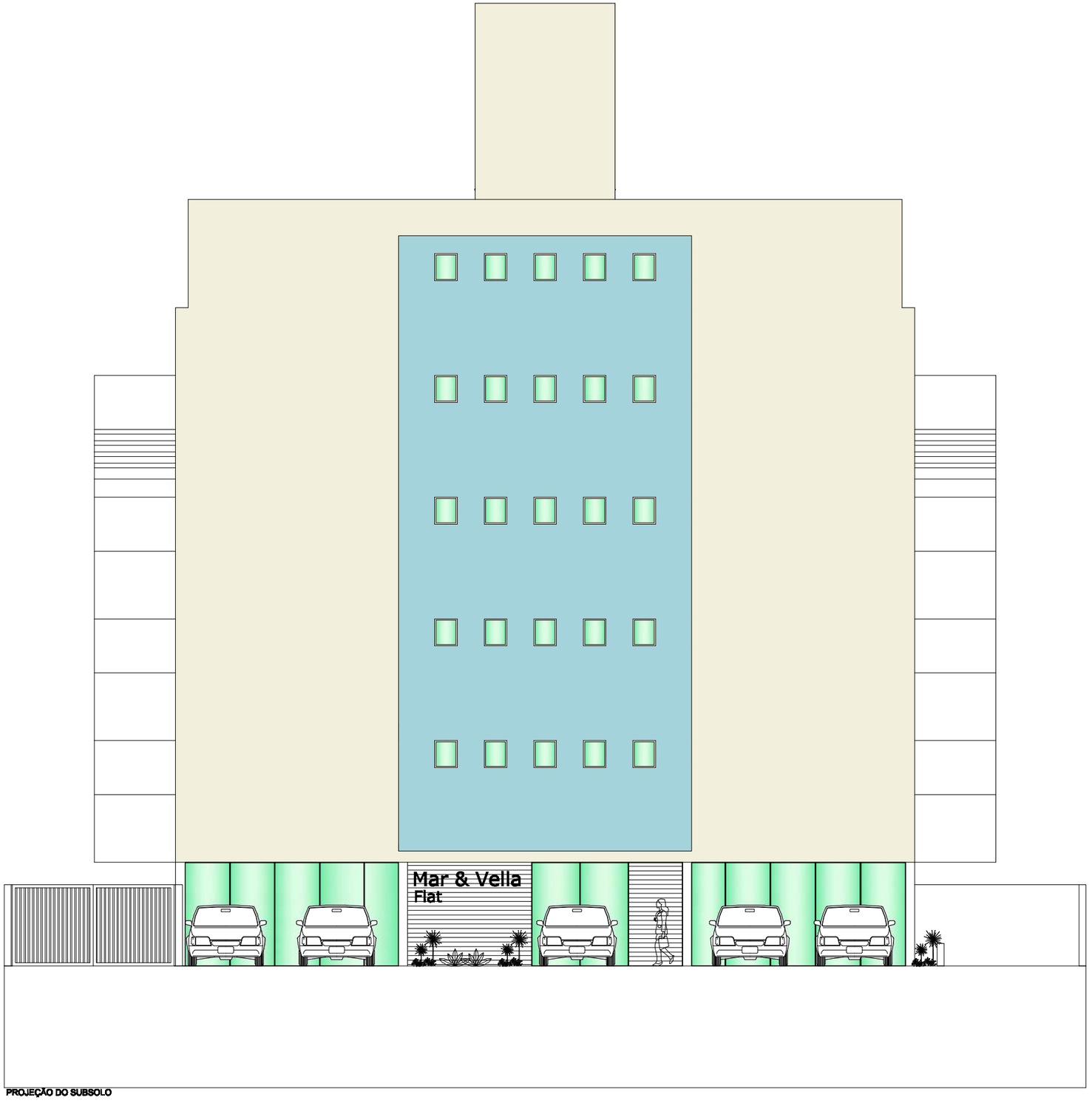
UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE		DATA: OUT/2012
PROJETO : SP FLAT		
LOCALIZAÇÃO : João Pessoa – PB		
PROJETO: Arquitetônico	TÍTULO: Planta de corte BB	
	ESCALA: 1:75	PRANCHA: 7/9

PROJEÇÃO DO SUBSOLO

FACHADA SUL

ESCALA 1/75

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE		DATA: OUT/2012
PROJETO : SP FLAT		
LOCALIZAÇÃO : João Pessoa – PB		
PROJETO: Arquitetônico	TÍTULO: Fachada Sul	
	ESCALA: 1:75	PRANCHA: 8/9



PROJEÇÃO DO SUBSOLO

FACHADA OESTE

ESCALA 1/75

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE

DATA: OUT/2012

PROJETO : SP FLAT

LOCALIZAÇÃO : João Pessoa – PB

PROJETO: Arquitetônico

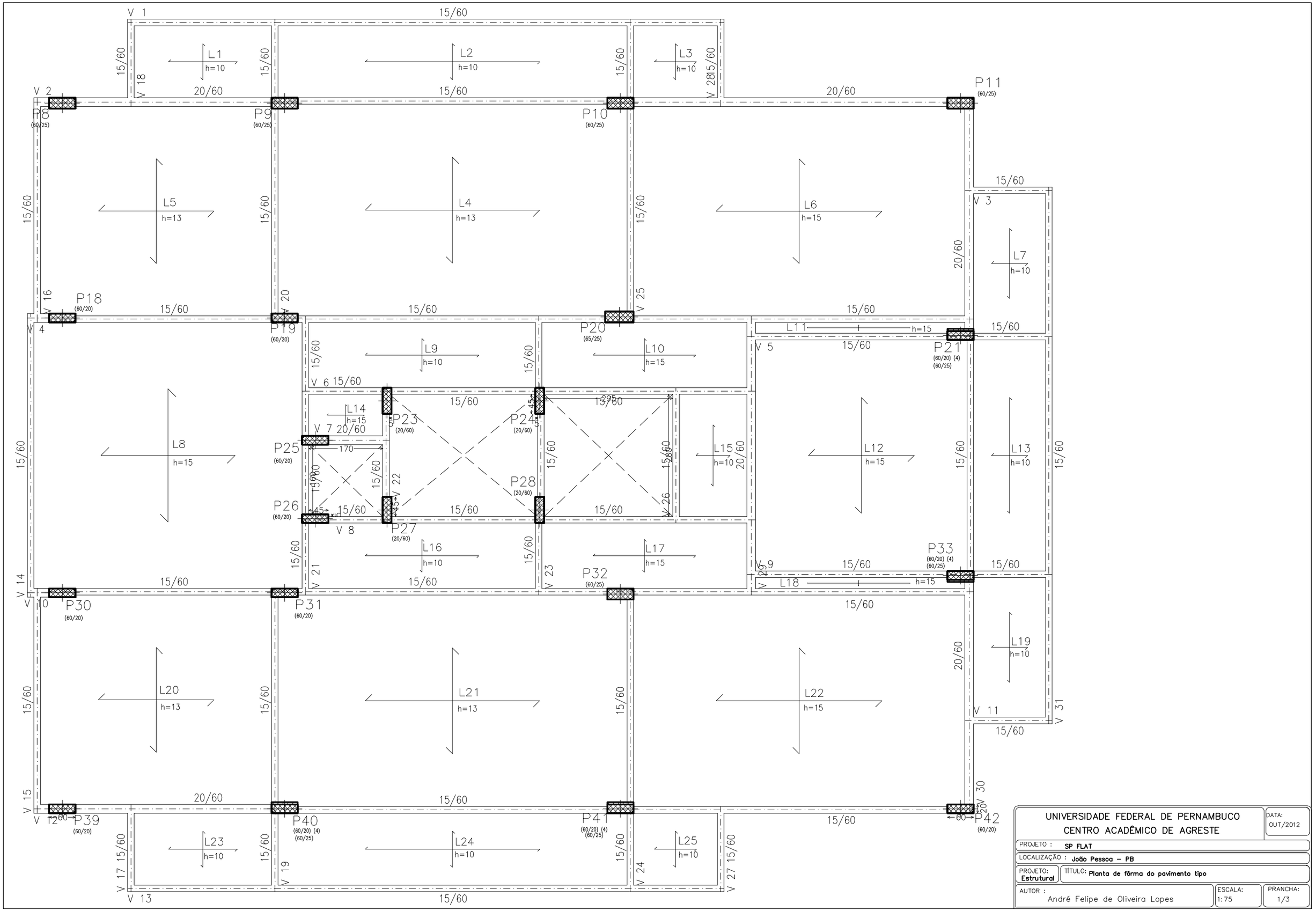
TÍTULO: Fachada Oeste

ESCALA: 1:75

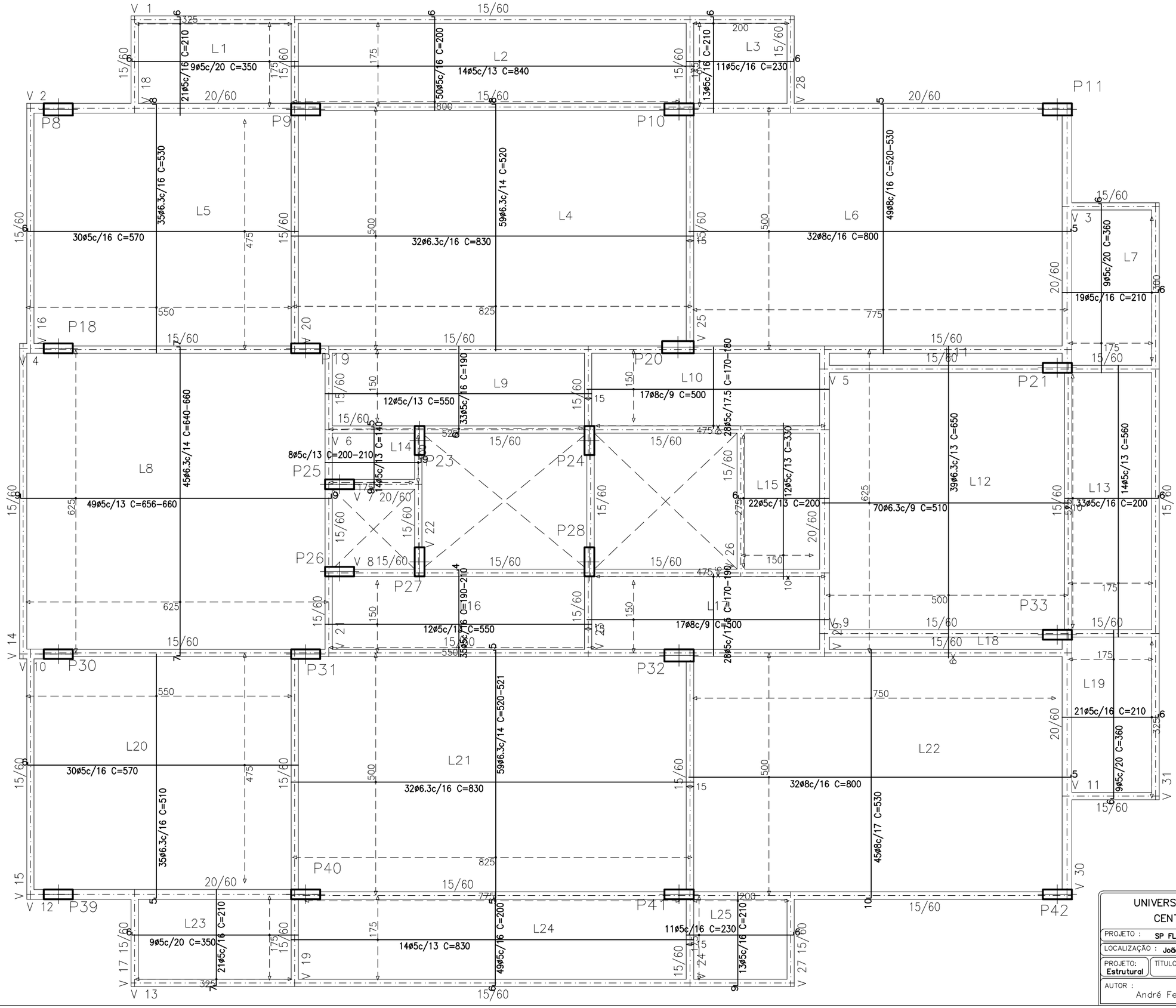
PRANCHA: 9/9

ANEXO B – Plantas de fôrmas e armaduras do pavimento tipo

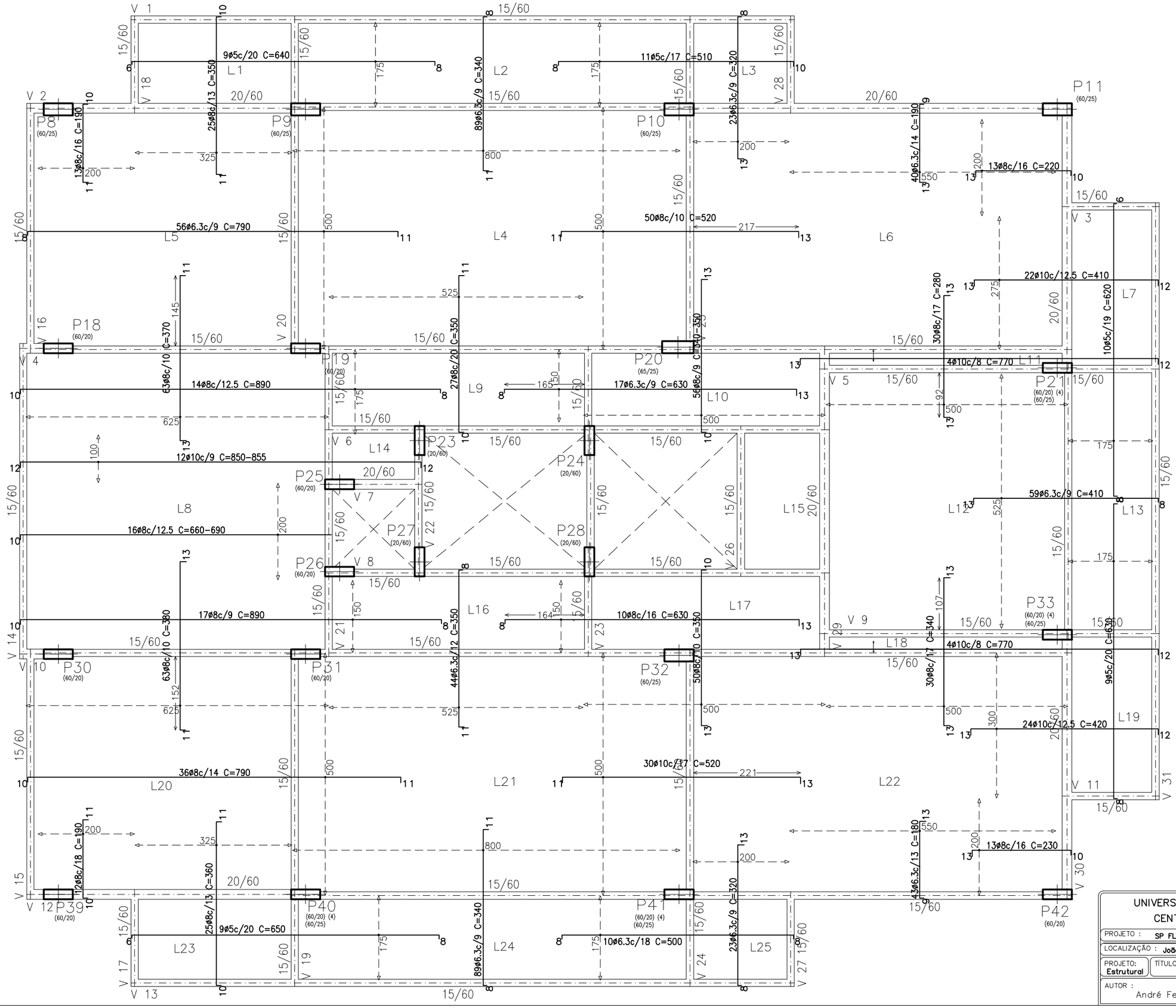
B.1 – Sistema estrutural de laje maciça



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO CENTRO ACADÊMICO DE AGRESTE		DATA: OUT/2012
PROJETO : **SP FLAT**		
LOCALIZAÇÃO : **João Pessoa – PB**		
PROJETO: **Estrutural**	TÍTULO: **Planta de fôrma do pavimento tipo**	
AUTOR : André Felipe de Oliveira Lopes	ESCALA: 1:75	PRANCHA: 1/3

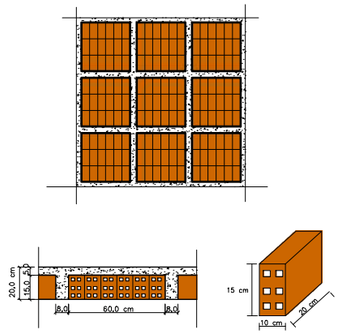


UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO CENTRO ACADÊMICO DE AGRESTE		DATA: OUT/2012
PROJETO : SP FLAT		
LOCALIZAÇÃO : João Pessoa – PB		
PROJETO: Estrutural	TÍTULO: Planta de armaduras positivas	
AUTOR : André Felipe de Oliveira Lopes	ESCALA: 1:75	PRANCHA: 2/3



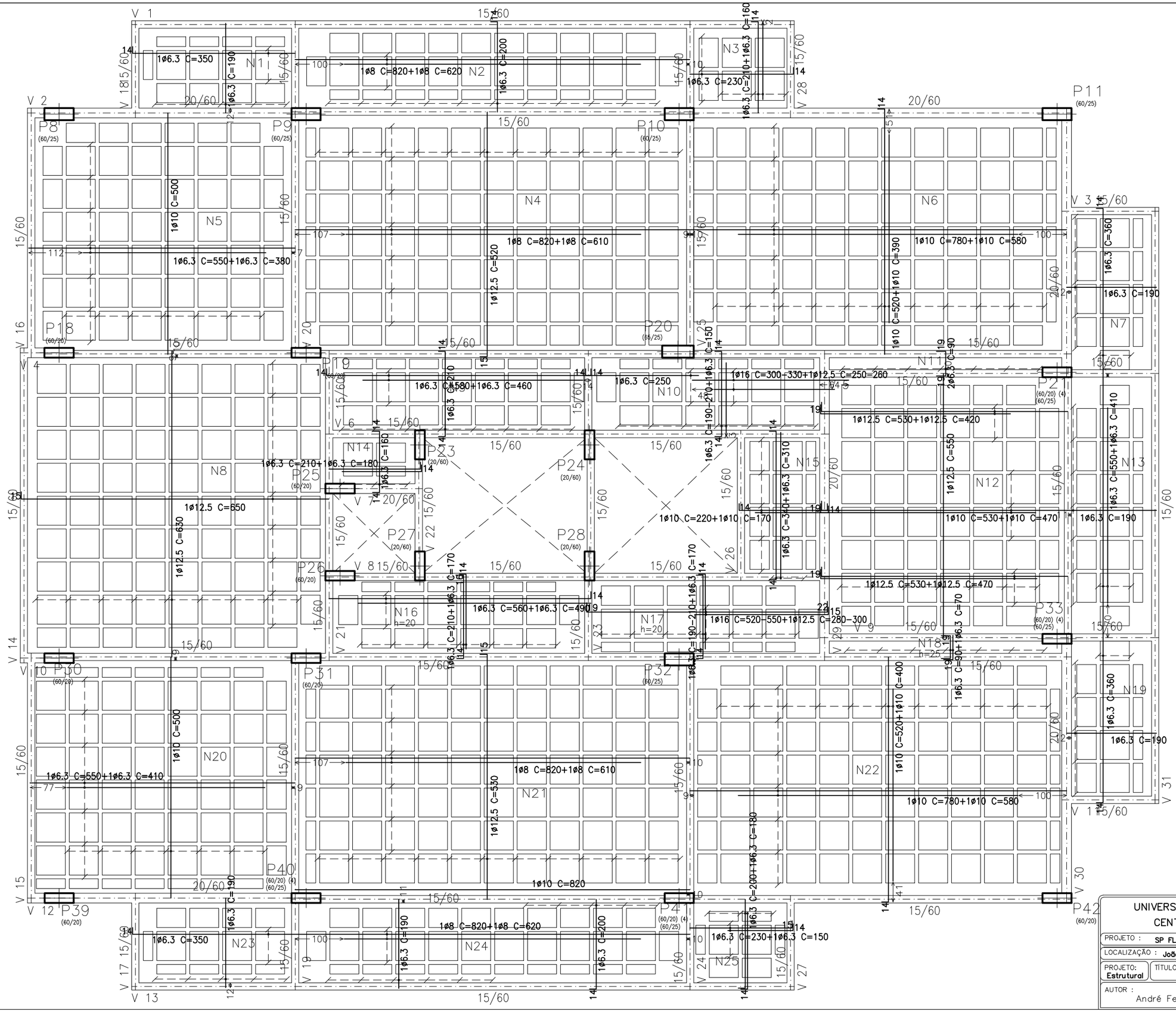
UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO CENTRO ACADÊMICO DE AGRESTE	DATA: OUT/2012
PROJETO : SP FLAT	
LOCALIZAÇÃO : João Pessoa – PB	
PROJETO: Estrutural	TÍTULO: Planta de armaduras negativas
AUTOR : André Felipe de Oliveira Lopes	ESCALA: 1: 75 / PRANCHA: 3/3

B.2 – Sistema estrutural de laje nervurada com enchimento de tijolos cerâmicos

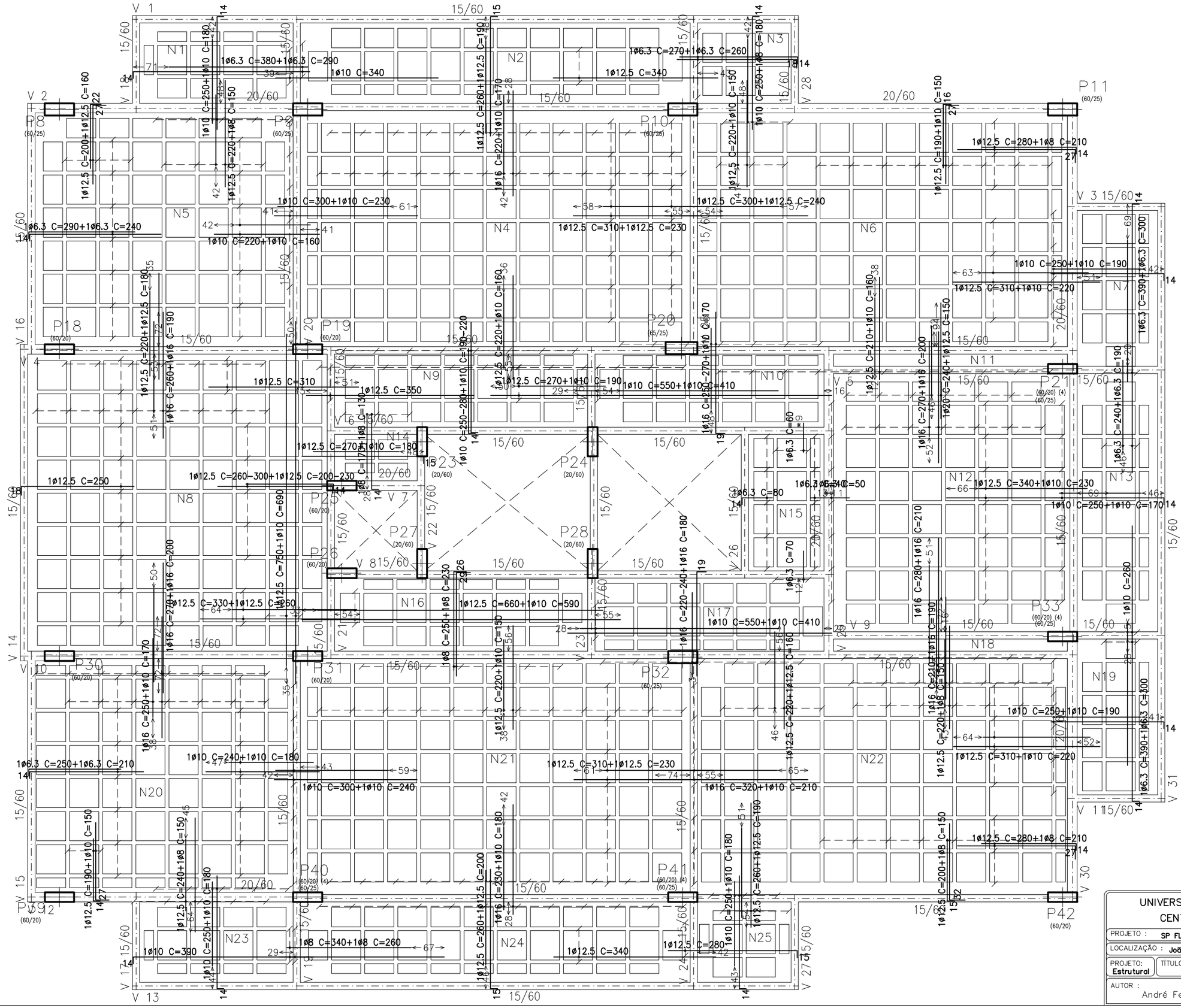


Detalhe dos blocos de tijolos de 6 furos como materiais de enchimento

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE	DATA: OUT/2012
PROJETO : SP FLAT	
LOCALIZAÇÃO : João Pessoa – PB	
PROJETO: Estrutural	TÍTULO: Planta de fôrma do pavimento tipo
AUTOR : André Felipe de Oliveira Lopes	ESCALA: 1:75 / PRANCHA: 1/4



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE		DATA: OUT/2012
PROJETO : SP FLAT		
LOCALIZAÇÃO : João Pessoa – PB		
PROJETO: Estrutural	TÍTULO: Planta de armaduras positivas	
AUTOR : André Felipe de Oliveira Lopes	ESCALA: 1:75	PRANCHA: 2/4



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE

DATA: OUT/2012

PROJETO : SP FLAT

LOCALIZAÇÃO : João Pessoa – PB

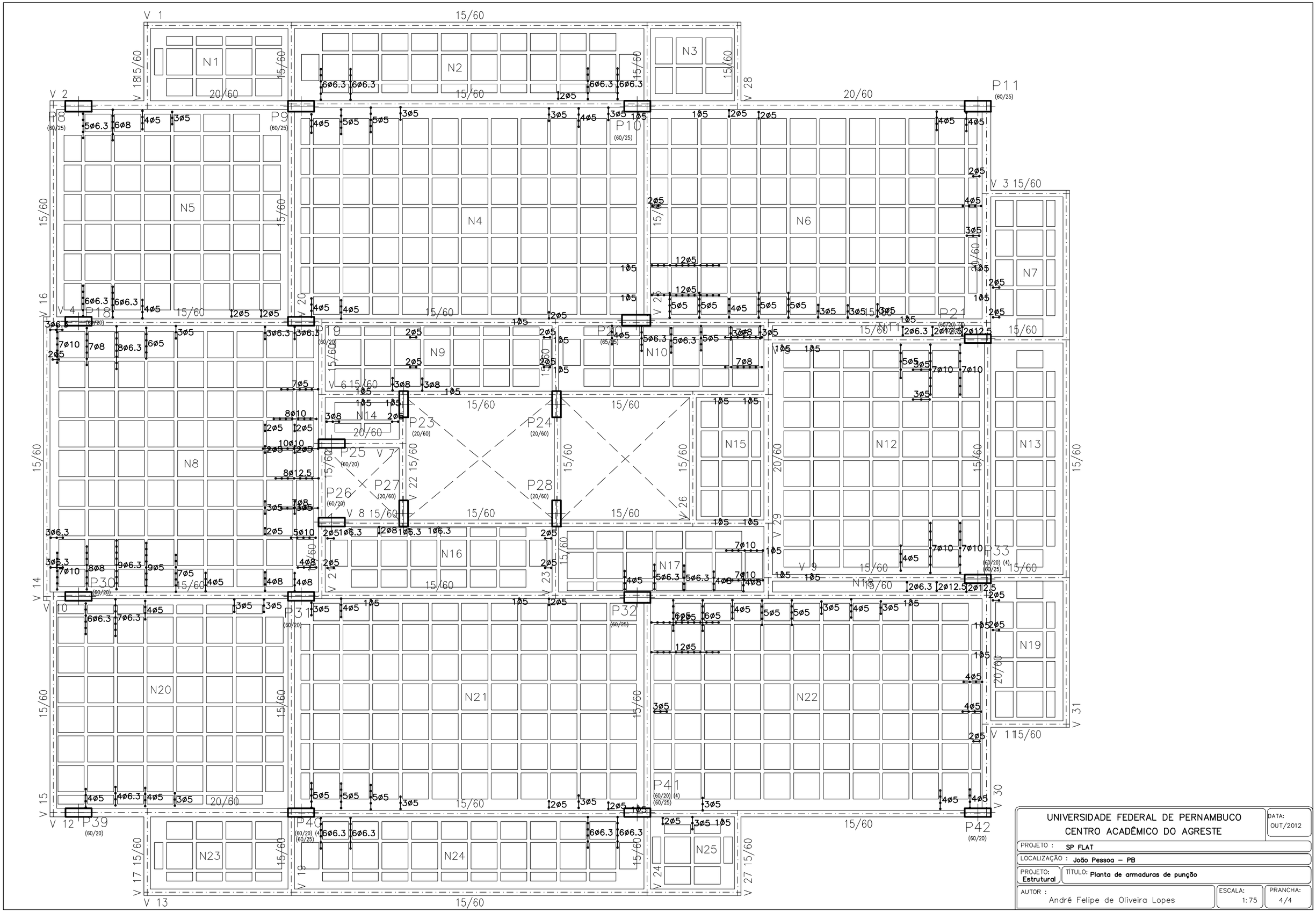
PROJETO: Estrutural

TÍTULO: Planta de armaduras negativas

AUTOR : André Felipe de Oliveira Lopes

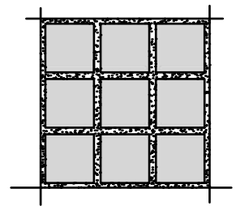
ESCALA: 1:75

PRANCHA: 3/4



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE		DATA: OUT/2012
PROJETO : SP FLAT		
LOCALIZAÇÃO : João Pessoa – PB		
PROJETO: Estrutural	TÍTULO: Planta de armaduras de punção	
AUTOR : André Felipe de Oliveira Lopes	ESCALA: 1:75	PRANCHA: 4/4

B.3 – Sistema estrutural de laje nervurada com enchimento de EPS



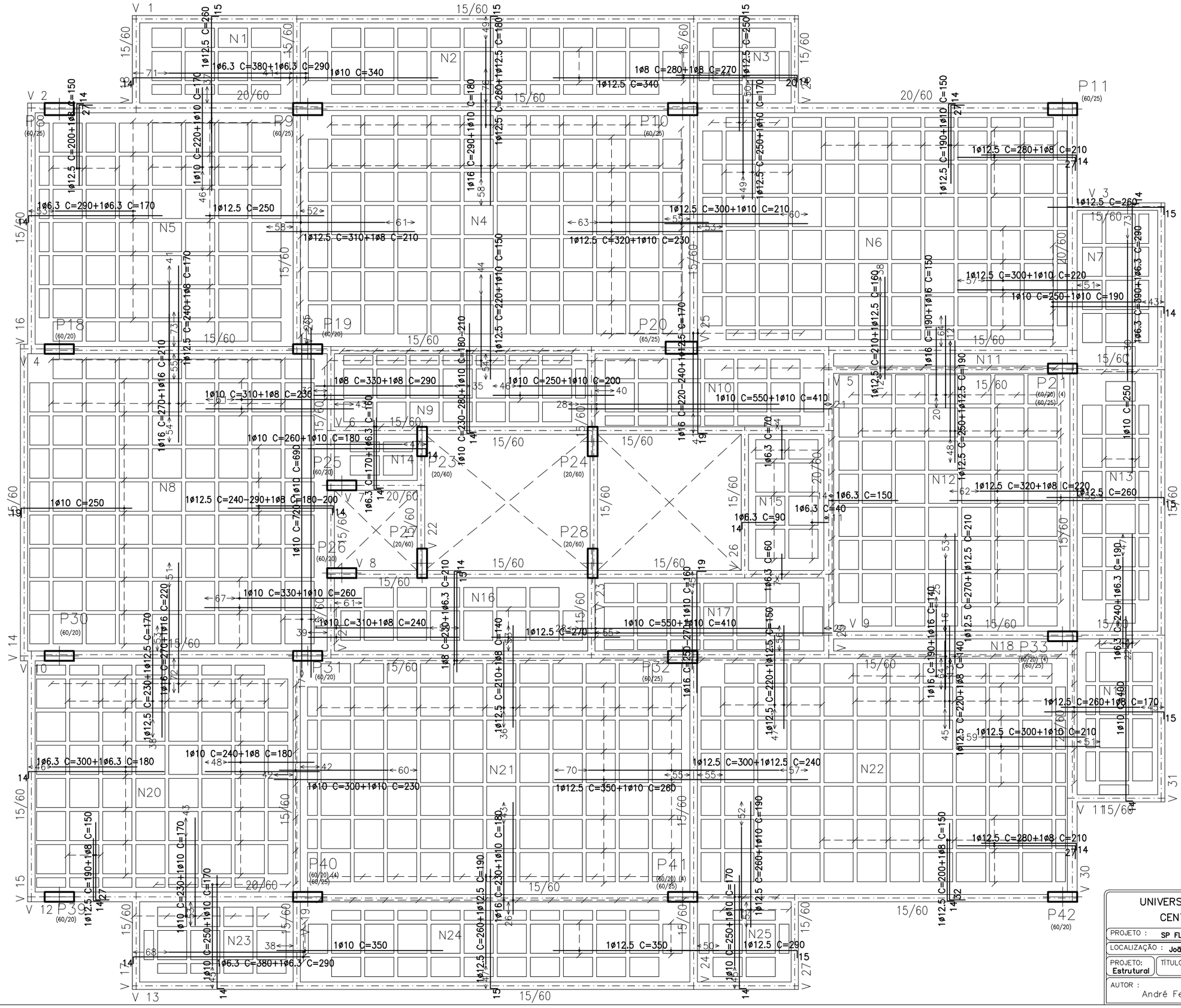
Em planta

Em corte

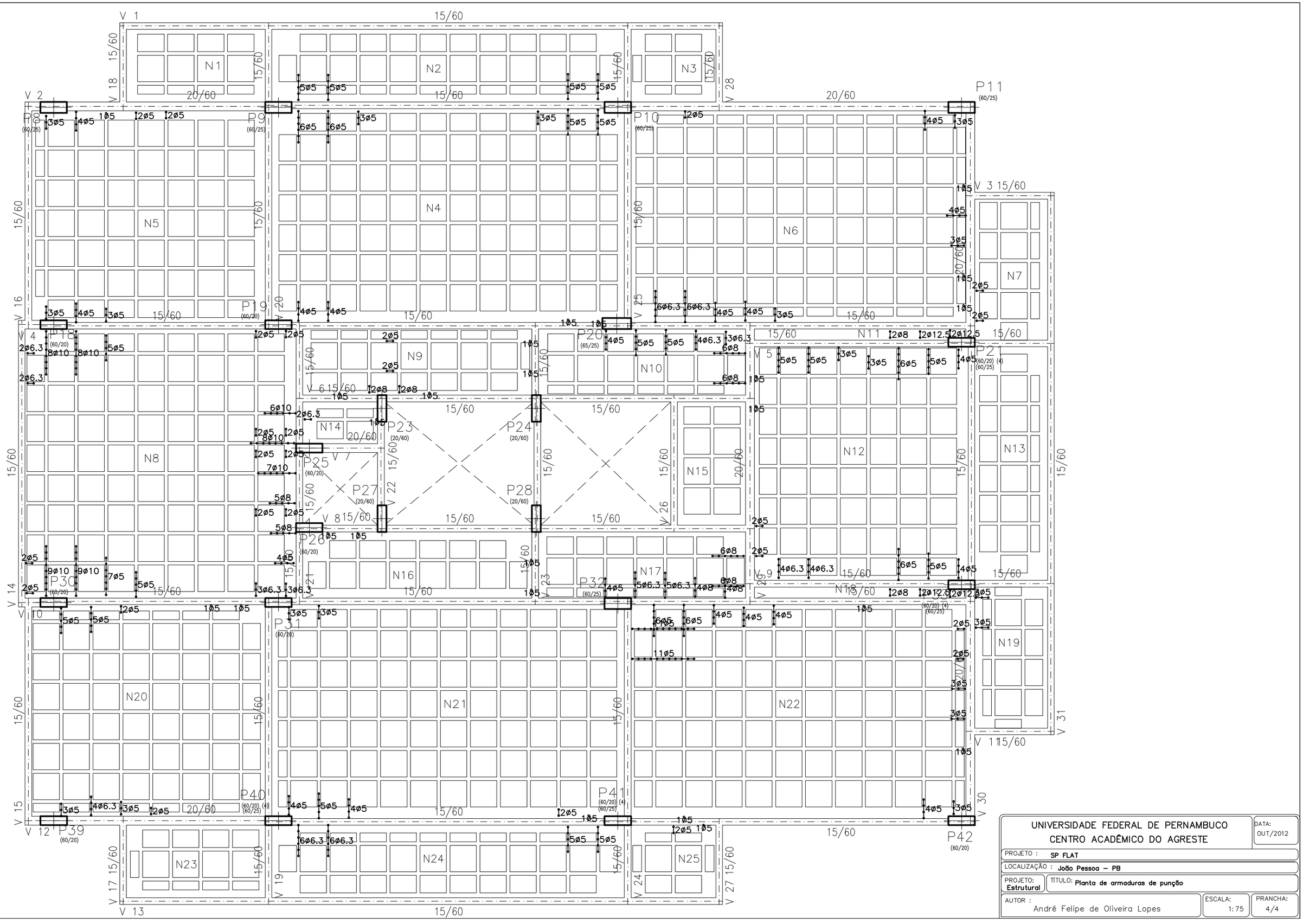
Detalhe dos blocos de EPS como materiais de enchimento

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE		DATA: OUT/2012
PROJETO : SP FLAT		
LOCALIZAÇÃO : João Pessoa – PB		
PROJETO: Estrutural	TÍTULO: Planta de fôrma do pavimento tipo	
AUTOR : André Felipe de Oliveira Lopes	ESCALA: 1:75	PRANCHA: 1/4

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE	DATA: OUT/2012
PROJETO : SP FLAT	
LOCALIZAÇÃO : João Pessoa – PB	
PROJETO: Estrutural	TÍTULO: Planta de armaduras positivas
AUTOR : André Felipe de Oliveira Lopes	ESCALA: 1:75 / PRANCHA: 2/4



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE	DATA: OUT/2012
PROJETO : SP FLAT	
LOCALIZAÇÃO : João Pessoa – PB	
PROJETO: Estrutural	TÍTULO: Planta de armaduras negativas
AUTOR : André Felipe de Oliveira Lopes	ESCALA: 1:75 / PRANCHA: 3/4

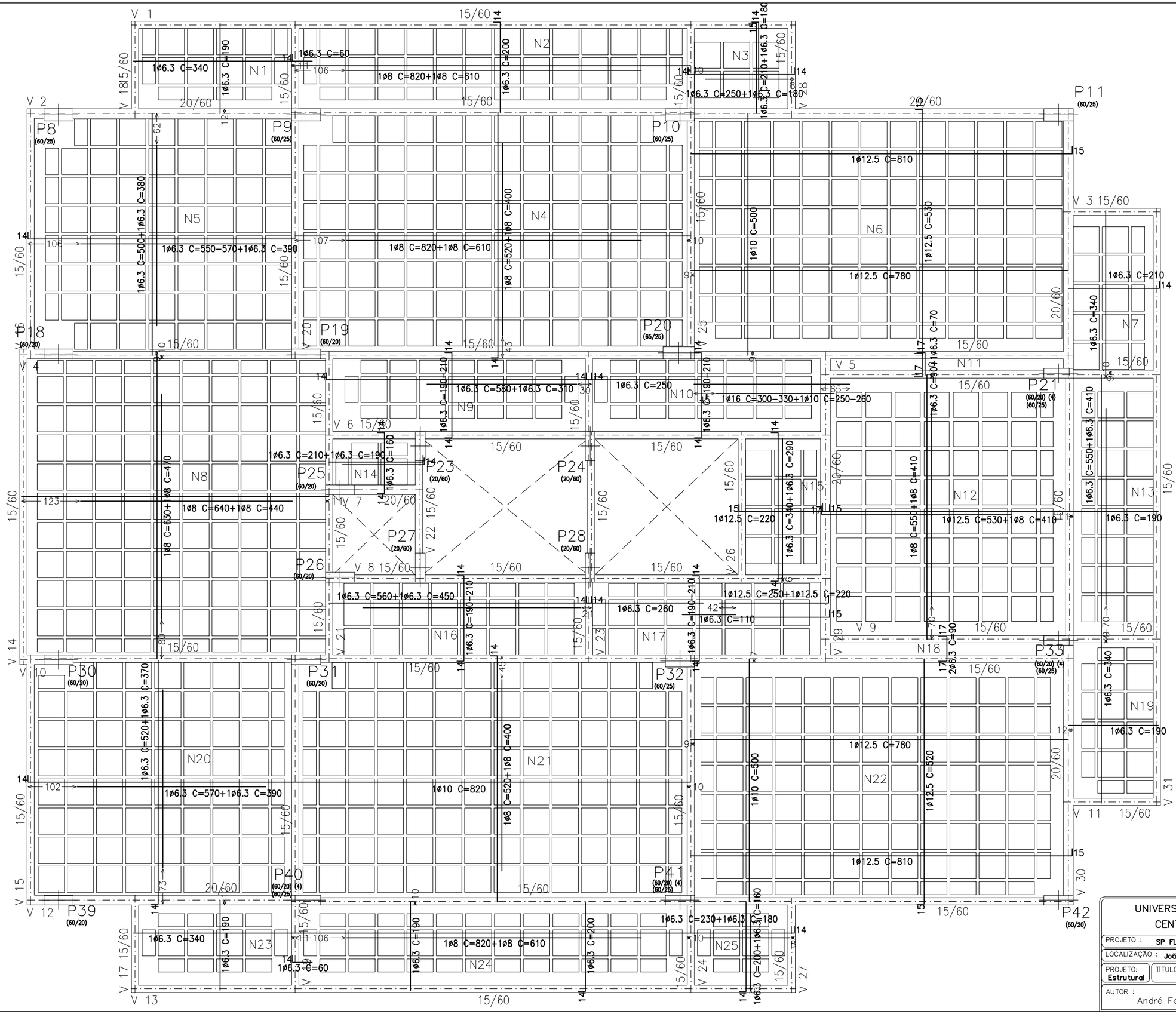


UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE	DATA: OUT/2012
PROJETO : SP FLAT	
LOCALIZAÇÃO : João Pessoa – PB	
PROJETO: Estrutural	TÍTULO: Planta de armaduras de punção
AUTOR : André Felipe de Oliveira Lopes	ESCALA: 1:75 / PRANCHA: 4/4

B.4 – Sistema estrutural de laje nervurada com enchimento de caixote reaproveitável de polipropileno

Detalhe dos caixotes de polipropileno como materiais de enchimento

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO CENTRO ACADÊMICO DE AGRESTE	DATA: OUT/2012
PROJETO : SP FLAT	
LOCALIZAÇÃO : João Pessoa – PB	
PROJETO: Estrutural	TÍTULO: Planta de fôrma do pavimento tipo
AUTOR : André Felipe de Oliveira Lopes	ESCALA: 1:75
	PRANCHA: 1/4



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO ACADÊMICO DE AGRESTE

DATA: OUT/2012

PROJETO : SP FLAT

LOCALIZAÇÃO : João Pessoa – PB

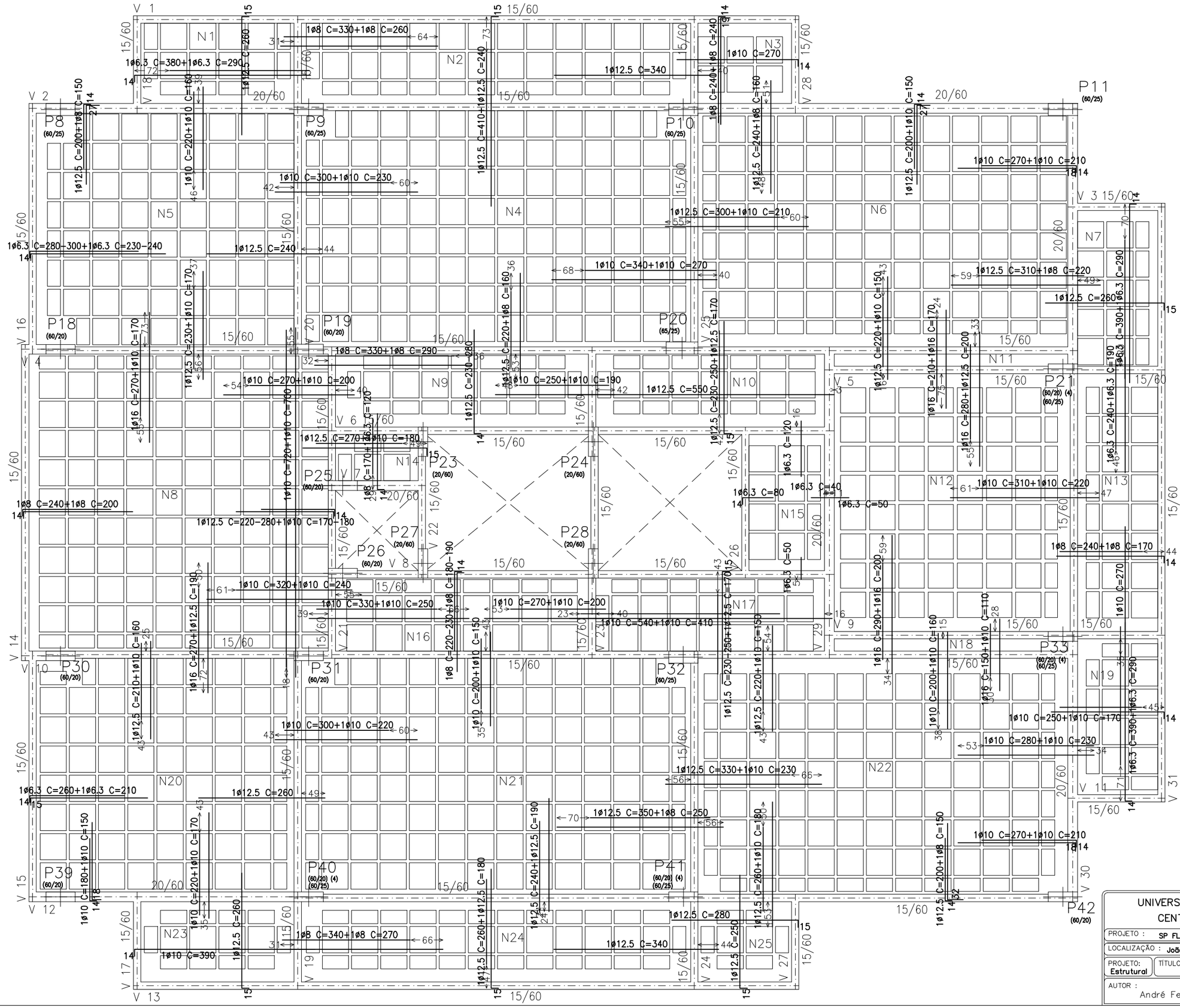
PROJETO: Estrutural

TÍTULO: Planta de armaduras positivas

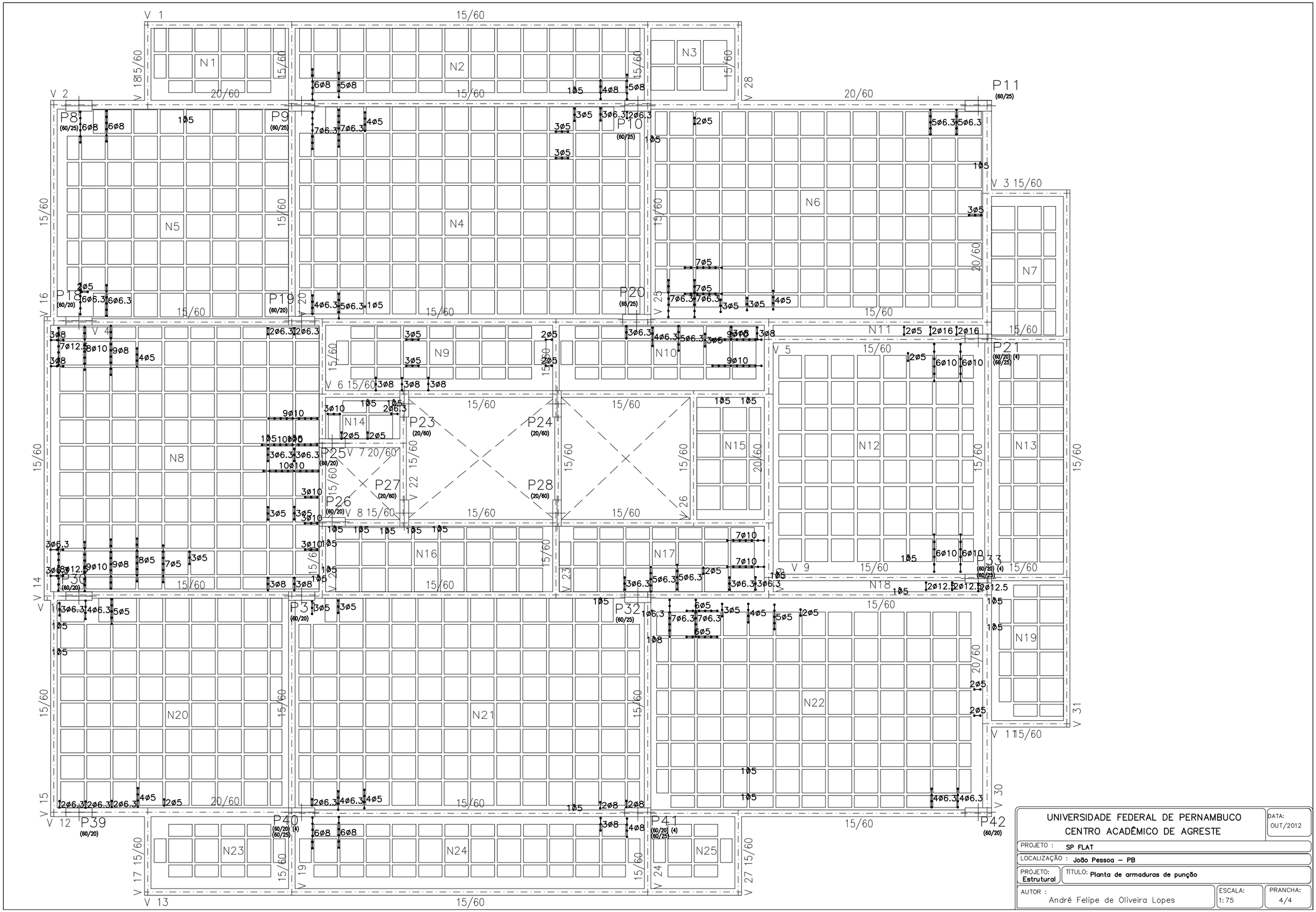
AUTOR : André Felipe de Oliveira Lopes

ESCALA: 1:75

PRANCHA: 2/4



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO CENTRO ACADÊMICO DE AGRESTE		DATA: OUT/2012
PROJETO : SP FLAT		
LOCALIZAÇÃO : João Pessoa – PB		
PROJETO: Estrutural	TÍTULO: Planta de armaduras negativas	
AUTOR : André Felipe de Oliveira Lopes	ESCALA: 1:75	PRANCHA: 3/4



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO CENTRO ACADÊMICO DE AGRESTE		DATA: OUT/2012
PROJETO : SP FLAT		
LOCALIZAÇÃO : João Pessoa – PB		
PROJETO: Estrutural	TÍTULO: Planta de armaduras de punção	
AUTOR : André Felipe de Oliveira Lopes	ESCALA: 1:75	PRANCHA: 4/4