

**ANDRÉ PEREIRA MENDES
THIAGO CAMPOS DA SILVA**

**CASA GUAECÁ: INTERAÇÃO ENTRE ARQUITETURA E
ENGENHARIA NA CONSTRUÇÃO DO EDIFÍCIO**

Projeto de Formatura apresentado à
Escola Politécnica da Universidade
de São Paulo, no âmbito do curso de
Engenharia Civil

**SÃO PAULO
2017**

ANDRÉ PEREIRA MENDES
THIAGO CAMPOS DA SILVA

**CASA GUAECÁ: INTERAÇÃO ENTRE ARQUITETURA E
ENGENHARIA NA CONSTRUÇÃO DO EDIFÍCIO**

Projeto de Formatura apresentado à
Escola Politécnica da Universidade
de São Paulo, no âmbito do curso de
Engenharia Civil
Orientador: Prof. Dr. Silvio Burrattino
Melhado

SÃO PAULO
2017

AGRADECIMENTO

Dedicamos o trabalho às nossas famílias e aos nossos amigos, pelo incentivo e apoio, e à Escola por nossa preparação e formação. Agradecemos ao Eng. Jorge Zaven pelo atendimento prestado e à TQS Informática Ltda. pela disponibilização de software de cálculo estrutural.

FICHA DE CATALOGAÇÃO

Mendes, André Pereira

CASA GUAECÁ: INTERAÇÃO ENTRE ARQUITETURA E ENGENHARIA
NA CONSTRUÇÃO DO EDIFÍCIO / A. P. Mendes, T. C. Silva -- São Paulo,
2017.

150 p.

Trabalho de Formatura - Escola Politécnica da Universidade de São
Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil.

1.Construção civil (Projeto) 2.Residência unifamiliar 3.Lajes atirantadas
I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de
Engenharia de Construção Civil II.t. III.Silva, Thiago Campos da

RESUMO

O presente trabalho de formatura se propõe a documentar o processo de desenvolvimento de um projeto de habitação residencial unifamiliar, localizado na região do litoral norte de São Paulo. Como era uma premissa englobar conhecimentos de arquitetura e engenharia, o grupo entende que tal proposta possibilita bem a associação dos conhecimentos de ambos os cursos num único trabalho. Assim como também é uma oportunidade que o grupo enxerga como potencial de aprendizado prático ao aproximar as teorias aprendidas ao longo do curso à prática profissional.

Trata-se de uma casa de alto padrão, com estrutura em laje maciça atirantada, como resposta ao partido arquitetônico que previa a elevação da casa, a prática de grandes vãos e a manutenção de vista livre de elementos estruturais em seu pavimento térreo. As definições se deram a partir do programa de necessidades proveniente do cliente, ideias do grupo, restrições construtivas, análise de comportamento estrutural, e também de consultas a professores da Escola Politécnica e da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da USP.

O desenvolvimento da estrutura foi o núcleo do trabalho, dado que é o sistema central do projeto e seu maior desafio. O lançamento inicial foi feito segundo regras de pré-dimensionamento de edifícios, sendo posteriormente verificado através de ferramentas computacionais. Para as leituras iniciais de comportamento da estrutura e limites de deslocamento foi utilizado o software estudantil FTool. Segundo os resultados obtidos e a partir de iterações com o projeto de arquitetura, foi construído um modelo mais representativo da estrutura, fazendo uso do software de cálculo estrutural TQS. O modelo permitiu a análise mais clara dos esforços solicitantes, através de resultados em pórticos espaciais, e foi utilizado para verificação dos estados limites da estrutura, validando a solução.

De forma complementar, o escopo do trabalho engloba o estudo de interfaces entre os sistemas e a escolha de soluções técnicas, avaliadas segundo critérios técnicos e financeiros.

Índice de Figuras

Figura 1 - Fluxograma de desenvolvimento do projeto. Fonte: AUTOR (2017).	5
Figura 2 - Comparação entre viga de concreto (a) e viga de concreto armado (b).	9
Figura 3 - Edifício Copan, de Oscar Niemeyer.....	10
Figura 4 - Concrete House, de Vanguarda Architects.....	11
Figura 5 - Exemplos de lajes maciças.....	12
Figura 6 - Armação de laje maciça, com sistemas embutidos.	12
Figura 7 - Classificação das lajes segundo sua direção: armada em uma direção (a); armada em duas direções ou em cruz (b).....	13
Figura 8 - Classificação de lajes segundo vinculação das bordas.	13
Figura 9 - Laje nervurada cogumelo, sem uso de vigas.	14
Figura 10 - Laje nervurada com vigas-faixa.	15
Figura 11 - Designações do subsistema de telhados.	18
Figura 12 - Elementos de um madeiramento e sua terminologia.	18
Figura 13 - Exemplo genérico de um sistema de pisos e seus elementos.	19
Figura 14 - Corte esquemático do perfil do terreno.....	22
Figura 15 - Localização da região em relação ao território brasileiro.....	22
Figura 16 - Localização da região no litoral de São Paulo (1).....	23
Figura 17 - Localização da região no litoral de São Paulo (2).....	23
Figura 18 - Detalhe da região da Praia de Guaecá.....	24
Figura 19 - Foto do terreno atual.	24
Figura 20 - Levantamento planialtimétrico cadastral.....	25
Figura 21 - Custo unitário básico no Estado de São Paulo, novembro de 2017. .	27
Figura 22 – Representação do terreno (em cinza claro), do seu entorno e de sua proximidade ao mar. Fonte: AUTOR (2017).....	30
Figura 23 - Estudos iniciais de implantação. Fonte: AUTOR (2017).....	31
Figura 24 - Os primeiros esboços da ideia de erguer a casa na posição mais definitiva. Fonte: AUTOR (2017).	32
Figura 25 - Desenhos em fase intermediária do trabalho (Térreo, fora de escala). Fonte: AUTOR (2017).	33
Figura 26 - Desenhos em fase intermediária do trabalho (1o pavimento, fora de escala). Fonte: AUTOR (2017).....	34
Figura 27 - Elevação e cobertura, com elementos estruturais destacados (1) de ideia parcialmente descartada em fase intermediária do trabalho. Fonte: AUTOR (2017).....	34
Figura 28 - Elevação e cobertura, sem destaque nos elementos estruturais, de ideia parcialmente descartada em fase intermediária do trabalho. Fonte: AUTOR (2017).....	35
Figura 29 - Planta do pavimento térreo. Fonte: AUTOR (2017).....	37
Figura 30 - Planta do 1º pavimento. Fonte: AUTOR (2017).....	38
Figura 31 - Planta da cobertura. Fonte: AUTOR (2017).	38
Figura 32 - Elevação sul (vista frontal). Fonte: AUTOR (2017).....	39
Figura 33 - Elevação oeste. Fonte: AUTOR (2017).	39
Figura 34 - Corte longitudinal. Fonte: AUTOR (2017).....	40
Figura 35 - Corte transversal. Fonte: AUTOR (2017).	41
Figura 36 - Corte transversal. Fonte: AUTOR (2017).	42
Figura 37 - Elevação norte (vista posterior). Fonte: AUTOR (2017).	43

Figura 38 - Elevação leste. Fonte: AUTOR (2017).	43
Figura 39 – Planta do pavimento térreo. Fonte: AUTOR (2017).	44
Figura 40 - Planta Pav1 (sem cor). Fonte: AUTOR (2017).	45
Figura 41 - Planta cobertura (sem cor). Fonte: AUTOR (2017).	45
Figura 42 - Esquema 3D - Fachada frontal. Fonte: AUTOR (2017).	46
Figura 43 - Esquema 3D - Insolação conseguida com afastamento da implantação ao muro dos fundos. Fonte: AUTOR (2017).	46
Figura 44 - Esquema 3D - Entrada à esquerda e ideia da vegetação no centro abaixo da escada central. Fonte: AUTOR (2017).	47
Figura 45 - Modelo e carregamentos da estrutura. Fonte: AUTOR (2017).	54
Figura 46 - Diagrama de força normal, em kN. Fonte: AUTOR (2017).	54
Figura 47 - Diagrama de força cortante, em kN. Fonte: AUTOR (2017).	54
Figura 48 - Diagrama de momento fletor, em kN.m. Fonte: AUTOR (2017).	55
Figura 49 - Diagrama de deformação da estrutura. Fonte: AUTOR (2017).	55
Figura 50 - Modelo e carregamentos da estrutura, considerando a adição de tirante. Fonte: AUTOR (2017).	56
Figura 51 - Diagrama de força normal, em kN, considerando a adição de tirante. Fonte: AUTOR (2017).	56
Figura 52 - Diagrama de força cortante, em kN, considerando a adição de tirante. Fonte: AUTOR (2017).	57
Figura 53 - Diagrama de momento fletor, em kN.m, considerando a adição de tirante. Fonte: AUTOR (2017).	57
Figura 54 - Diagrama de deformação, considerando a adição de tirante. Fonte: AUTOR (2017).	57
Figura 55 - Corte esquemático do edifício.	61
Figura 56 – Janela de propriedades de cobrimento, estabelecidos segundo NBR6118:2014.	62
Figura 57 - Mapa de isopletras, adaptado da NBR6123:1988. Fonte: AUTOR (2017).	63
Figura 58 - Planta da cobertura, após lançamento dos elementos estruturais e inserção das cargas adicionais.	64
Figura 59 - Janela de edição dos dados de fundação. Fonte: AUTOR (2017). ...	64
Figura 60 - Modelo 1: representação do pórtico espacial. Fonte: AUTOR (2017).	66
Figura 61 - Modelo 2: representação do pórtico espacial. Fonte: AUTOR (2017).	67
Figura 62 - Modelo 3: representação do pórtico espacial. Fonte: AUTOR (2017).	68
Figura 63 - Dados de lançamento de pilares/tirantes. Fonte: AUTOR (2017).	69
Figura 64 - Definição de condições de contorno para lançamento de tirantes. Fonte: AUTOR (2017).	70
Figura 65 - Modelo 4: representação do pórtico espacial. Fonte: AUTOR (2017).	70
Figura 66 - Modelo 5: representação do pórtico espacial. Fonte: AUTOR (2017).	71
Figura 67 - Modelo 6: representação do pórtico espacial. Fonte: AUTOR (2017).	72
Figura 68 - Modelo 7: representação do pórtico espacial. Fonte: AUTOR (2017).	73

Figura 69 - Modelo 8: representação do pórtico espacial. Fonte: AUTOR (2017).	74
Figura 70 - Deslocamentos na laje da cobertura, em cm. Visualização espacial. Fonte: AUTOR (2017).	75
Figura 71 - Deslocamentos da laje da cobertura, em cm. Visualização em isovalores. Fonte: AUTOR (2017).	75
Figura 72 - Deslocamentos da laje do 1º pavimento, em cm. Visualização espacial. Fonte: AUTOR (2017).	76
Figura 73 - Deslocamentos da laje do 1º pavimento, em cm. Visualização em isovalores.	76
Figura 74 - Deslocamentos nas lajes e vigas, em cm. Vista frontal. Fonte: AUTOR (2017).	76
Figura 75 - Deslocamentos nas lajes e vigas, em cm. Vista lateral. Fonte: AUTOR (2017).	77
Figura 76 - Diagrama espacial de momentos fletores nas vigas. Fonte: AUTOR (2017).	77
Figura 77 - Diagrama de momentos fletores nas vigas, em kN.m. Vista frontal. Fonte: AUTOR (2017).	77
Figura 78 - Diagrama de momentos fletores nas vigas, em kN.m. Vista lateral. Fonte: AUTOR (2017).	78
Figura 79 - Diagrama espacial de força cortante. Fonte: AUTOR (2017).	78
Figura 80 - Diagrama de força cortante nas vigas, em kN. Vista frontal. Fonte: AUTOR (2017).	79
Figura 81 - Diagrama de força cortante nas vigas, em kN. Vista frontal. Fonte: AUTOR (2017).	79
Figura 82 – Deslocamento vertical nas vigas, em cm. Visualização espacial. Fonte: AUTOR (2017).	80
Figura 83 – Deslocamento vertical nas vigas, em cm. Vista frontal. Fonte: AUTOR (2017).	80
Figura 84 – Deslocamento vertical nas vigas, em cm. Vista lateral. Fonte: AUTOR (2017).	80
Figura 85 - Deslocamento horizontal dos pórticos, em cm. Vista frontal. Fonte: AUTOR (2017).	81
Figura 86 - Deslocamento horizontal dos pórticos, em cm. Vista lateral. Fonte: AUTOR (2017).	81
Figura 87 - Ferramentas auxiliares disponíveis no sistema CAD/TQS. Fonte: AUTOR (2017).	82
Figura 88 - Pontos tomados para verificação de abertura de fissuras. Fonte: AUTOR (2017).	83
Figura 89 - Seção da viga V1 (30x90) no trecho A e respectivas fissuras, para solicitação de -44,4 tf.m.	83
Figura 90 - Seção da viga V1 (30x90) no trecho B e respectivas fissuras, para solicitação de 29,0 tf.m. Fonte: AUTOR (2017).	84
Figura 91 - Seção da viga V2 (30x90) no trecho C e respectivas fissuras, para solicitação de 44,1 tf.m. Fonte: AUTOR (2017).	86
Figura 92 - Seção da viga V3 (30x90) e respectivas fissuras, para solicitação de 14,1 tf.m. Fonte: AUTOR (2017).	87
Figura 93 - Seção da viga V4 (70x90) e respectivas fissuras, para solicitação de -157,2 tf.m. Fonte: AUTOR (2017).	88
Figura 94 - Fundação: planta de locação dos blocos. Fonte: AUTOR (2017).	91

Figura 95 - Fundação: planta de formas. Fonte: AUTOR (2017).	92
Figura 96 - 1º pavimento: planta de formas. Fonte: AUTOR (2017).	93
Figura 97 - 1º pavimento: mapa de carregamentos. Fonte: AUTOR (2017).	93
Figura 98 - 1º pavimento: armadura negativa principal. Fonte: AUTOR (2017)...94	
Figura 99 - 1º pavimento: armadura negativa secundária. Fonte: AUTOR (2017).	94
Figura 100 - 1º pavimento: armadura positiva principal. Fonte: AUTOR (2017). .95	
Figura 101 - 1º pavimento: armadura positiva secundária. Fonte: AUTOR (2017).	95
Figura 102 - Cobertura: planta de formas. Fonte: AUTOR (2017).	96
Figura 103 - Cobertura: mapa de carregamentos. Fonte: AUTOR (2017).	96
Figura 104 - Cobertura: armadura negativa principal. Fonte: AUTOR (2017).....97	
Figura 105 - Cobertura: armadura negativa secundária. Fonte: AUTOR (2017)..97	
Figura 106 - Cobertura: armadura positiva principal. Fonte: AUTOR (2017).	98
Figura 107 - Cobertura: armadura positiva secundária. Fonte: AUTOR (2017)...98	
Figura 108 - Baldrame: detalhamento da viga V1. Fonte: AUTOR (2017).....99	
Figura 109 - Baldrame: detalhamento da viga V2. Fonte: AUTOR (2017).....100	
Figura 110 - Baldrame: detalhamento das vigas V3 e V4. Fonte: AUTOR (2017).	100
Figura 111 - Baldrame: detalhamento das vigas V5 e V6. Fonte: AUTOR (2017).	101
Figura 112 - Cobertura: detalhamento da viga V1. Fonte: AUTOR (2017).	102
Figura 113 - Cobertura: detalhamento da viga V2. Fonte: AUTOR (2017).	102
Figura 114 - Cobertura: detalhamento das vigas V3 e V4. Fonte: AUTOR (2017).	103
Figura 115 - Cobertura: detalhamento das vigas V5 e V6. Fonte: AUTOR (2017).	103
Figura 116 - Detalhamento pilares P2, P7, P9, P11 e P16. Fonte: AUTOR (2017).	104
Figura 117 - Visualização da força normal nos pilares e tirantes. Fonte: AUTOR (2017).....107	
Figura 118 - Planta de formas do pavimento baldrame. Fonte: AUTOR (2017).108	
Figura 119 - Coeficientes F1 e F2 em função da estaca empregada. Fonte: http://www.ufjf.br/nugeo/files/2009/11/GF06-CapCargaProf-por-meio-SPT-2009.pdf	109
Figura 120 - Distribuição da fiação – Térreo. Fonte: AUTOR (2017).	115
Figura 121 - Esquema 3D da distribuição da fiação – Térreo. Fonte: AUTOR (2017).....115	
Figura 122 – Distribuição da fiação no 1º pavimento. Fonte: AUTOR (2017)...116	
Figura 123 – Esquema 3D da distribuição da fiação no 1º pavimento. Fonte: AUTOR (2017).	116
Figura 124 - Quadro de cargas do térreo. Fonte: AUTOR (2017).....127	
Figura 125 – Quadro de cargas do 1º pavimento. Fonte: AUTOR (2017).	127
Figura 126 – Fiação prevista para máquinas de ar-condicionado na cobertura. Fonte: AUTOR (2017).	127
Figura 127 - Detalhe da tubulação de esgoto e chapa para acabamento estético na região embaixo da tubulação dos banheiros. Fonte: AUTOR (2017).	129
Figura 128 - Representação isométrica dos sistemas de água fria e água quente. Fonte: AUTOR (2017).	130

Figura 129 - Configuração inicial da cobertura, com caimento de águas em calha junto à viga (solução descartada). Fonte: AUTOR (2017).	133
Figura 130 – Configuração final da cobertura, com caimento de águas diretamente para fora. Fonte: AUTOR (2017).	134
Figura 131 - Configuração de águas pluviais no pavimento térreo. Fonte: AUTOR (2017).	134
Figura 132 - Detalhe em planta e corte das caixas de areia. Fonte: AUTOR (2017).	135
Figura 133 - Rede de esgoto do pavimento térreo. Fonte: AUTOR (2017).	136
Figura 134 - Rede de esgoto 1º pavimento. Fonte: AUTOR (2017).	137
Figura 135 - Tubulação de esgoto do 1º pavimento: detalhe 1 e legendas. Fonte: AUTOR (2017).	138
Figura 136 - Rede de esgoto do 1º pavimento: detalhes 2 e 3. Fonte: AUTOR (2017).	138
Figura 137 - Posicionamento dos splits de ar condicionado. Fonte: AUTOR (2017).	141
Figura 138 - Detalhe da vedação vertical entre os quartos. Fonte: AUTOR (2017).	142
Figura 139 - Detalhe da junta parede/laje. Fonte: AUTOR (2017).	142
Figura 140 - Detalhe do caimento da água na laje em balanço e pingadeiras. Fonte: AUTOR (2017).	143
Figura 141 - Detalhe das camadas da cobertura verde e coletora de águas pluviais. Fonte: AUTOR (2017).	144

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	2
1.1.	Objetivo	3
1.2.	Justificativa	4
1.3.	Metodologia	4
1.4.	Estruturação do trabalho	6
2.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	7
2.1.	Desempenho em Edificações Habitacionais.....	7
2.2.	Sistemas Estruturais.....	8
2.3.	Sistemas de Vedações Verticais	16
2.4.	Sistemas de Coberturas	17
2.5.	Sistemas de Pisos	19
3.	ESTUDO PRELIMINAR	21
3.1.	Programa de Necessidades	21
3.2.	Localização do terreno e análise do entorno	21
3.3.	Restrições de Uso e Ocupação do Solo	25
3.4.	Estimativa de Custos	26
4.	O PROJETO	28
4.1.	Projeto de Arquitetura.....	28
4.2.	Projeto de Estrutura.....	47
4.2.1.	Configuração inicial: casa e edícula como volumes independentes...	50
4.2.1.1.	Pré-dimensionamento: lajes.....	51
4.2.1.2.	Pré-dimensionamento: vigas.....	51
4.2.1.3.	Pré-dimensionamento: pilares e tirantes	51
4.2.1.4.	Modelagem em FTool: considerações e resultados.....	53
4.2.2.	Configuração final: casa com volume da edícula incorporado	58
4.2.2.1.	Pré-dimensionamento: lajes.....	59
4.2.2.2.	Pré-dimensionamento: vigas.....	59
4.2.2.3.	Pré-dimensionamento: pilares e tirantes	60
4.2.2.4.	Criação de modelo em software.....	61
4.2.2.5.	Evolução dos modelos	65
4.2.2.6.	Modelagem em TQS: resultados.....	74
4.2.2.7.	Processo construtivo	90
4.2.2.8.	Detalhamento: lajes	91
4.2.2.9.	Detalhamento: vigas	99
4.2.2.10.	Detalhamento: pilares	104
4.2.2.11.	Quantitativos da estrutura por pavimento	104
4.3.	Projeto de Fundação	107
4.4.	Projetos Complementares	115
4.4.1.	Elétrica	115
4.4.2.	Hidráulica	129
4.4.2.1.	Água fria e água quente	130
4.4.2.2.	Águas pluviais	132
4.4.2.3.	Esgoto.....	136
4.4.3.	Ar condicionado.....	141
4.4.4.	Vedação Vertical	141
4.4.5.	Cobertura	143
5.	CONCLUSÃO	145
6.	REFERÊNCIAS.....	147

1. INTRODUÇÃO

Partindo da ideia de aplicar as soluções de Engenharia como resposta às demandas da Arquitetura e estudar a interação entre essas áreas, o grupo fez uso do contato com um potencial cliente para ter como ponto de partida um programa de necessidades definido por ele.

A Engenharia Civil, por compreender um amplo campo de projeto, gerenciamento e execução de obras, apresenta soluções a demandas de diversas naturezas. O projeto de casas populares requer uma solução que atenda a restrições orçamentárias, ao mesmo tempo em que viabiliza sua reprodução em larga escala. Projetos mais arrojados, como edifícios altos e de formas complexas, podem exigir soluções inovadoras, seja do ponto de vista técnico, de materiais ou de métodos construtivos.

A exemplo, uma solução estrutural icônica em resposta a uma necessidade e partido arquitetônico é a do MASP (Museu de Arte de São Paulo), com sua laje atirantada a 8m do nível da Avenida Paulista, foi a resposta da arquiteta Lina Bo Bardi para uma demanda bem específica. O vão livre foi a solução encontrada para a edificação do MASP para atender a uma exigência de quem doou o terreno à prefeitura de São Paulo: qualquer coisa que se construísse ali não poderia atrapalhar a vista do local para a Avenida Nove de Julho, que emerge de um túnel que passa exatamente sob o terreno do museu, algumas dezenas de metros abaixo.

O projeto de uma casa não convencional, que apresente liberdade de criação a partir do desenho e que esteja inicialmente preocupado em responder a questões de partido arquitetônico e interação com o ambiente em que será construído irá também exigir soluções de Engenharia de forma singular. Particularmente, a solução estrutural deve estar muito ligada à concepção arquitetônica, sendo a recíproca verdadeira: ambas as partes devem conversar de modo a se obter uma solução arquitetura-estrutura em estado da arte, mas também em total funcionalidade.

O fato de pensar o projeto em termos de estrutura, com base na convicção de que 'somente se pode imaginar aquilo que se sabe construir', está de fato na base de uma arquitetura que já inclui, desde o momento da concepção, as próprias condições de possibilidade e

que consegue, de tal modo, fugir do fetichismo da técnica e voltá-la para seus objetivos pessoais, sem com isso sujeita-la: ‘a liberdade nos é dada pela técnica’, porque ‘aquilo que parece ser a técnica não é a técnica, mas a reflexão, a razão’. (PISANI, 2013, p. 42)

O trecho faz a síntese da relação arquitetura/engenharia. Não cabe à arquitetura apenas idealizar formas inexecutáveis, deve trazer em si reflexões sobre a técnica; e não basta à estrutura se limitar apenas a garantir que o projeto “se mantenha de pé”. O bom projeto deve apresentar bom desempenho, visando à viabilidade técnico-financeira, construtibilidade, operação, vida útil e estética.

Embora o foco do trabalho esteja sobre a relação entre Arquitetura e Estrutura, o trabalho oferece um conteúdo a ser explorado que vai além desses tópicos principais. Para que a implantação, o desenvolvimento do partido arquitetônico e a definição estrutural levem a um projeto bem resolvido, deve ser garantida a compatibilidade dos demais sistemas, através do estudo de interação de interfaces, soluções técnicas, materiais, processos construtivos, análise financeira, entre outros.

1.1. Objetivo

O objetivo do trabalho é explorar a relação entre a Arquitetura e a Engenharia Civil, com maior enfoque ao sistema estrutural, em um projeto de residência unifamiliar, de padrão elevado, harmonizando a interação entre as disciplinas através de demandas e soluções. As demandas são inerentes ao processo de criação, e deverão ser respondidas por soluções técnicas apropriadas.

Espera-se mostrar que, para um projeto com as características apresentadas, a relação entre Arquitetura e Engenharia deve ser dinâmica, interativa e iterativa, a fim de se obter soluções otimizadas e um projeto bem resolvido.

O sistema estrutural será tratado em maior detalhe, pois é o sistema que conversa diretamente com as definições da arquitetura, sendo vital a comunicação, integração e compatibilização entre concepção e solução técnica. Assim, o grupo pretende apresentar soluções bem definidas e dimensionadas para o sistema estrutural, e demonstrar a viabilidade executiva e operacional dos demais sistemas.

1.2. Justificativa

Atualmente, o curso de Engenharia Civil apresenta, ao longo de sua extensão, conteúdo que pode ser aplicado pelos alunos em projetos de residências. As disciplinas de concreto, tecnologia da construção, sistemas prediais apresentam diretrizes gerais para edifícios de múltiplos pavimentos, as quais podem ser adaptadas a um projeto de menor escala. Contudo, o grupo considera que há uma lacuna por não haver uma disciplina que integre as disciplinas abordadas ao longo do curso.

As casas unifamiliares constituem um importante nicho de mercado. Dessa maneira, também se justifica o trabalho por representar aos alunos uma opção de atuação no mercado, com a vantagem de familiarização aos aspectos característicos dessa linha de projeto.

A existência de um cliente, e a disposição encontrada com o mesmo, para discussão de determinados aspectos do projeto trouxeram contribuição interessante. É da opinião do grupo que a possibilidade de abranger o contato com dificuldades reais do projeto representa um aprendizado importante. Ainda, visitas ao local possibilitam rica experiência para encaminhamento de soluções. Por fim, as exigências normativas que regem a construção no local – o plano diretor de São Sebastião - atuaram no sentido de conscientizar os alunos das restrições que devem ser incorporadas às decisões de projeto.

Assim, um trabalho de formatura nesse campo agrega muito à formação do engenheiro por condensar o conhecimento adquirido ao longo do curso, preparar o aluno para o mercado e inserí-lo no ambiente de projetos, aproximando-o da prática profissional.

1.3. Metodologia

Como forma de atingir os objetivos apontados, o trabalho foi dividido em duas etapas: pesquisa bibliográfica e desenvolvimento do projeto.

A pesquisa bibliográfica foi feita para garantir o embasamento das escolhas de soluções técnicas, métodos construtivos, materiais e mão de obra, no contexto dos sistemas que integram o projeto. Foram utilizados artigos em revistas técnicas, normas técnicas e outras recomendações. Além disso, também se estendeu em

buscar referências de projetos de casas modernas, que oferecessem ideias inovadoras de criação e uso das formas estruturais.

As soluções estruturais passaram por duas fases principais. A primeira delas, de pré-dimensionamento, fez uso de fórmulas empíricas para determinar as dimensões dos elementos estruturais. A partir das dimensões dos elementos, o edifício foi modelado no software estudantil FTool para verificação de seu comportamento estrutural.

Na segunda fase, a partir das informações obtidas no pré-dimensionamento e incorporando modificações propostas pela arquitetura, foi desenvolvido um modelo mais próximo da realidade da estrutura. Para tanto, foi utilizado o software TQS, através do qual foram realizadas as verificações de ELU e ELS, e a obtenção de diagramas de esforços solicitantes e deformações. De forma conjunta à resolução da estrutura, foram desenvolvidos os projetos complementares de modo a integrar as soluções.

O desenvolvimento do projeto contou com reuniões e discussões entre os integrantes do grupo para encaminhamento de ideias, seguidas de reuniões com professores da Poli e da FAU e reuniões com o cliente. As interações implicaram em atualizações nas soluções anteriormente propostas.

O desenvolvimento do projeto, do ponto de vista de gestão do processo, seguiu conforme o fluxograma da Figura 1:

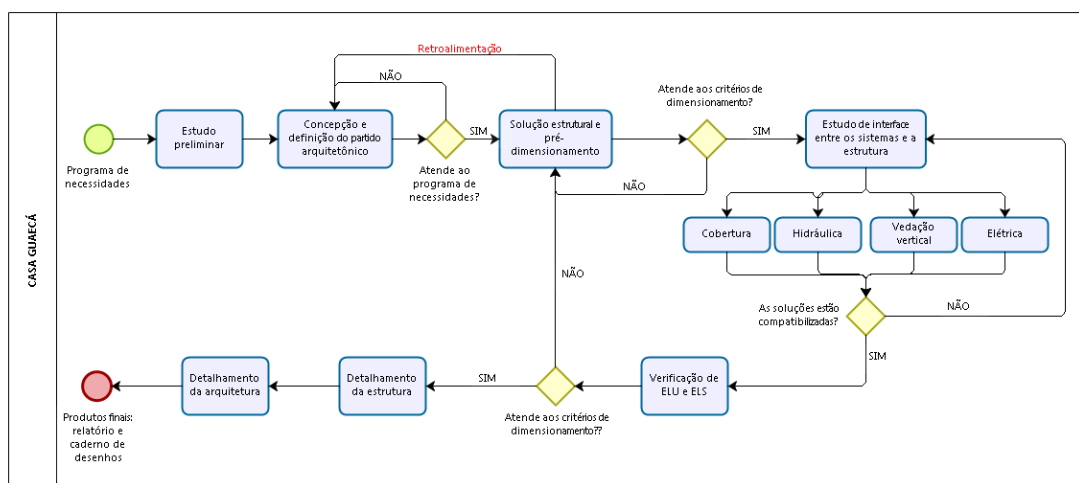


Figura 1 - Fluxograma de desenvolvimento do projeto. Fonte: AUTOR (2017).

1.4. Estruturação do trabalho

O trabalho está estruturado em sete capítulos, conforme descrição a seguir.

O primeiro capítulo é introdutório, faz a contextualização da escolha do tema e sua justificativa, apresenta os objetivos do trabalho e a metodologia adotada.

O segundo capítulo trata brevemente de soluções, materiais, processos construtivos, requisitos de desempenho e outros aspectos dos projetos que compõem os edifícios habitacionais, seguindo os principais sistemas listados na NBR 15575:2013.

O terceiro capítulo envolve o estudo preliminar. Na primeira parte é definido o partido arquitetônico e são feitos os estudos de viabilidade considerando as exigências presentes no programa de necessidades. Em complemento à caracterização da arquitetura são discutidos tópicos do planejamento de execução da obra.

O quarto capítulo compreende o desenvolvimento do projeto, tratando com maior enfoque o sistema estrutural. São dimensionados e detalhados os elementos estruturais, e é configurado um conjunto de documentos técnicos, nos quais constam informações necessárias à execução da obra.

O quinto capítulo é conclusivo e traz uma visão dos alunos sobre os desafios encontrados, aprendizado adquirido e impacto do projeto como trabalho de formatura.

Será entregue em anexo um caderno A3 reunindo desenhos com maiores detalhes dos projetos realizados.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O capítulo trata do conteúdo bibliográfico explorado para embasamento do trabalho. É iniciado tratando do desempenho de edificações habitacionais, tema muito ligado à qualidade dos projetos, já que representa as exigências e necessidades dos clientes. A partir desse contexto são elencados os principais sistemas de uma habitação e suas características gerais.

2.1. Desempenho em Edificações Habitacionais

Os projetos de construção civil de edifícios residenciais ou comerciais irão tratar, invariavelmente, de diversos sistemas que se complementam e devem atender a requisitos de desempenho, os quais impactam diretamente no atendimento às necessidades do cliente, nas características de uso e operação e na vida útil do projeto. Uma vez que os sistemas atendam às especificações de desempenho e estejam trabalhando de forma compatibilizada, a construção estará cumprindo aos critérios gerais de desempenho.

As normas NBR 15575:2013 representam um conjunto de normas de desempenho relacionadas a edificações habitacionais, divididas em seis partes e que tratam dos diversos sistemas das edificações. São complementares às normas prescritivas, que tratam de critérios e requisitos de produtos ou procedimentos. A primeira delas, a NBR 15575-1:2013 apresenta requisitos gerais de desempenho em edificações habitacionais e aborda conceitos que, em geral, não eram considerados em normas prescritivas. Os requisitos são divididos de forma geral em segurança, habitabilidade e sustentabilidade e são retomados de forma mais detalhada nos capítulos que tratam de sistemas específicos.

Cada grupo de requisitos é composto por um conjunto de fatores, explicitados como a seguir:

Segurança:

- Segurança estrutural
- Segurança contra fogo
- Segurança no uso e na operação

Habitabilidade:

- Estanqueidade

- Desempenho térmico
- Desempenho acústico
- Desempenho lumínico
- Saúde, higiene e qualidade do ar
- Funcionalidade e acessibilidade
- Conforto tátil e antropodinâmico

Sustentabilidade:

- Durabilidade
- Manutenibilidade
- Impacto ambiental

Esses aspectos representam, de forma padronizada, os critérios e requisitos dos usuários em relação às edificações habitacionais. Os principais sistemas que compõem essas edificações são listados nas normas de desempenho e compreendem: sistemas estruturais, sistemas de pisos, sistemas de vedações verticais internas e externas, sistemas de coberturas e sistemas de hidrossanitários.

Embora a abordagem do conteúdo e a aplicação das normas não seja foco do presente trabalho, entende-se que um bom projeto deve atender às necessidades do cliente, garantir sua operacionalidade e manutenibilidade e apresentar vida útil condizente à sua classe de projeto. Assim, ao estudar os sistemas que fazem parte da edificação, é importante considerar soluções técnicas que atendam aos requisitos de desempenho.

2.2. Sistemas Estruturais

O sistema estrutural está definido como a combinação ou disposição racional de elementos estruturais, tendo como principal função receber, resistir e transmitir as ações sofridas para o solo. A estrutura de uma edificação desempenha papel muito significativo, uma vez que além de garantir estabilidade ao edifício, sua escolha e especificação irão ter influências diretas nos demais sistemas. Dessa forma, trata-se de um ponto crítico no desenvolvimento do projeto a escolha de materiais, métodos construtivos e outros aspectos do sistema estrutural. A norma NBR 15575:2013, ao tratar dos sistemas estruturais, estabelece que a estabilidade e a resistência devem ser garantidas segundo critérios de estado limite último e estado limite de serviço. Tais limites estão respectivamente associados à ruína da estrutura (ruptura, perda de estabilidade, deformações ou fissuras excessivas) e ao comprometimento do

desempenho da estrutura (deslocamentos, fissuras, vibrações ou falhas excessivas). Os principais elementos estruturais em um edifício são as vigas, pilares e lajes.

As lajes são o primeiro elemento estrutural a receber carga e apresentam dois tipos de comportamentos: atuam como placas, recebendo as cargas verticais perpendiculares à sua superfície e as transmitindo para os apoios; e atuam também como chapas, distribuindo as cargas horizontais entre os pilares da estrutura, agindo como diafragmas horizontais rígidos. As vigas trabalham principalmente à flexão, recebendo as cargas verticais através das lajes e as distribuindo para os pilares. Já os pilares serão os responsáveis por levar as cargas até a fundação da estrutura – são projetados para trabalhar sob compressão.

Os sistemas construtivos envolvem o uso de diferentes tipos de materiais, com destaque para madeira, aço e concreto armado.

Concreto armado

O concreto armado é hoje o material mais empregado na construção civil. Seu uso está associado a diferentes tipos de estrutura, apresentando variedade de resistência, acabamento e forma. A combinação de concreto, que possui alta resistência à compressão, tem uma aplicação muito apropriada em elementos estruturais que resistam a esses esforços. O aço, por sua vez, posicionado de forma conveniente, confere ao concreto a resistência necessária para se comportar bem sob esforços de flexão. Embora ocorra o surgimento de fissuras, a ruptura brusca é impedida, garantindo que a estrutura continue trabalhando.

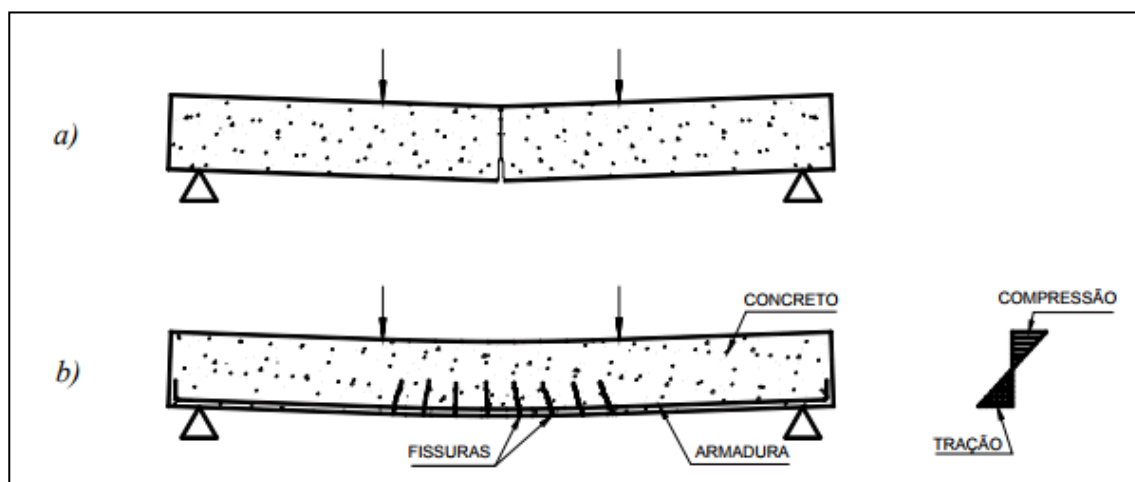


Figura 2 - Comparação entre viga de concreto (a) e viga de concreto armado (b).
Fonte: Estruturas de Concreto I - Fundamentos do Concreto Armado (2006).

Ainda, o concreto é um material apresenta baixo custo e alta durabilidade, o que o torna um material de uso viável em praticamente todas as regiões. Por fim, o conjunto de concreto armado resiste bem ao fogo e à corrosão, desde que a cobertura de concreto seja atendida, protegendo o aço no interior dos elementos estruturais.

O concreto armado possui peso próprio elevado, o que deve ser considerado na determinação de vãos e no dimensionamento da fundação da edificação. O peso elevado resulta em fundações mais robustas e pode comprometer o espaço interno das construções, exigindo uma disposição mais concentrada de pilares, garantindo que os limites de deslocamento em vãos sejam obedecidos.

Historicamente, pelo uso comum e amplo de concreto armado, a mão de obra geralmente é vasta e de baixo custo, ressaltando que se trata de uma mão de obra pouco especializada. Contudo, pode exigir diferentes profissionais na obra, uma vez que a execução das estruturas de concreto depende de armadores, pedreiros, carpinteiros e ajudantes.

Dada a versatilidade do uso do concreto armado, é válido notar que projetos que envolvam padrões elevados de acabamento ou formas estruturais mais complexas, implicarão em custos relacionados ao material e à mão de obra mais elevados. Os custos relativos às formas, que em geral representam a maior parcela no custo total do concreto armado, serão ainda maiores.



Figura 3 - Edifício Copan, de Oscar Niemeyer.
Fonte: <http://www.copansp.com.br/> (2017).

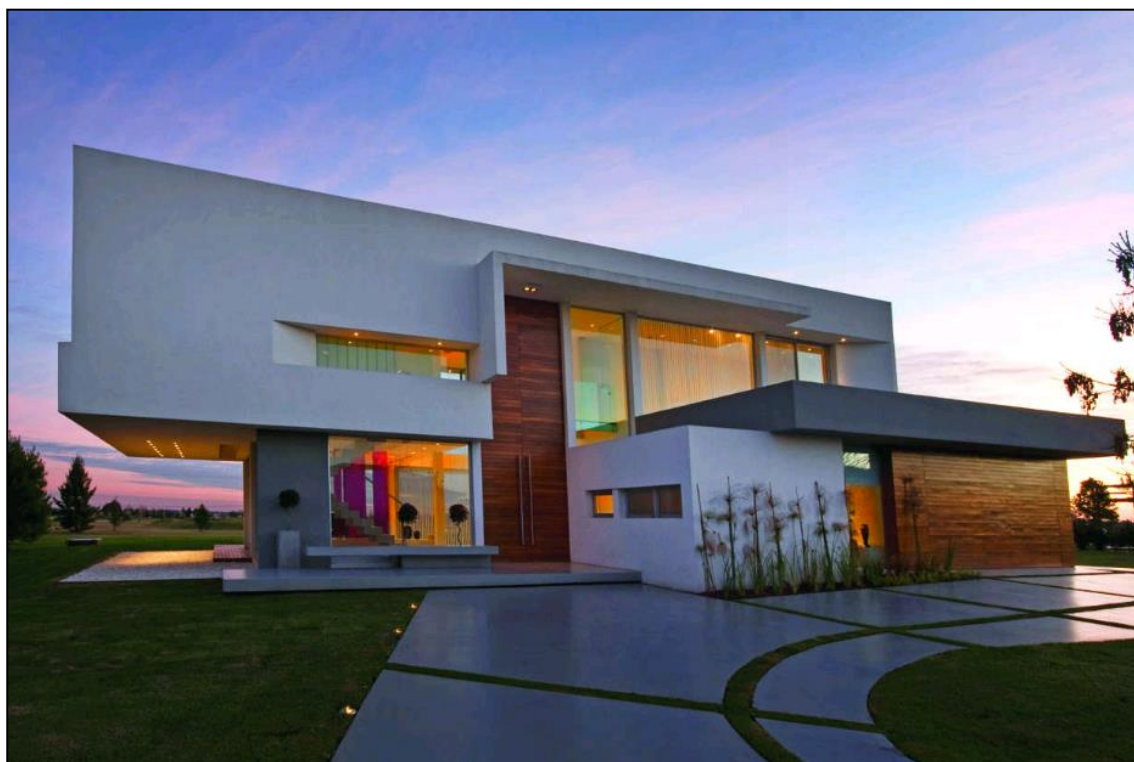


Figura 4 - Concrete House, de Vanguarda Architects.

Fonte: <https://www.archdaily.com/140734/concrete-house-in-buenos-aires-vanguardia-architects> (2017).

Laje maciça

As lajes maciças são lajes que tem todo o seu volume composto por concreto, com armaduras longitudinais dispostas ao longo de uma de suas direções, podendo haver também armaduras transversais. O concreto pode ser armado ou protendido. Comumente, são classificadas como lajes maciças aquelas que têm bordas apoiadas sobre vigas ou paredes. Contudo, casos particulares como a laje lisa e a laje cogumelo, que se apoiam diretamente sobre os pilares, também são lajes maciças.

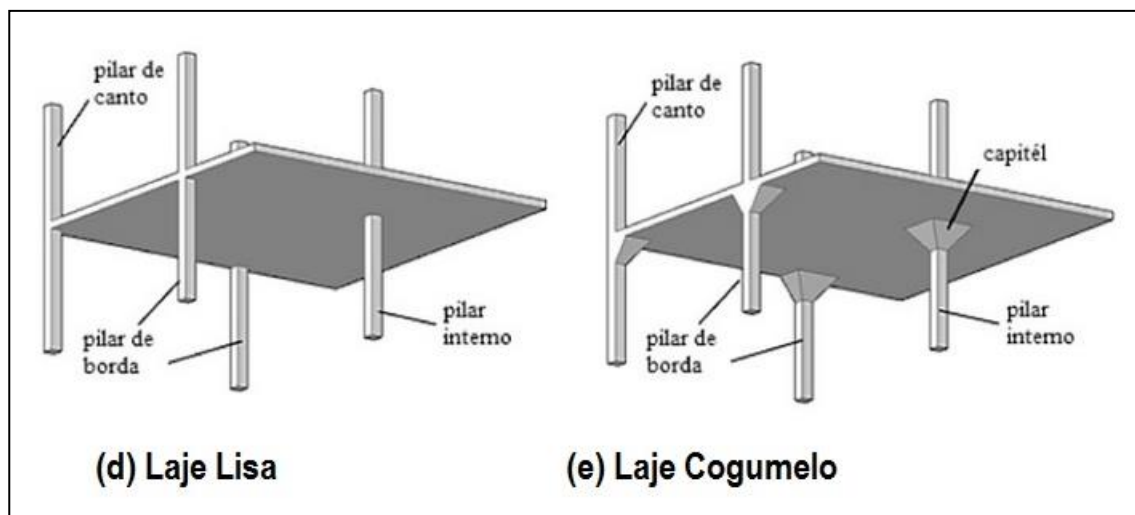


Figura 5 - Exemplos de lajes maciças.

Fonte: <https://maisenengenharia.files.wordpress.com/2014/10/post07-tipos-lajes.jpg> (2017).

São as lajes mais comuns, sendo a opção mais utilizada em edifícios de múltiplos pavimentos, sejam eles comerciais ou residenciais. Outras aplicações envolvem prédios de indústrias, escolas, reservatórios, pontes e outras estruturas ou construções de grande porte. Pode ocorrer seu uso em estruturas de pequeno porte ou residenciais, embora as soluções em lajes pré-moldadas ou em sistemas mistos apresentem mais vantagens.

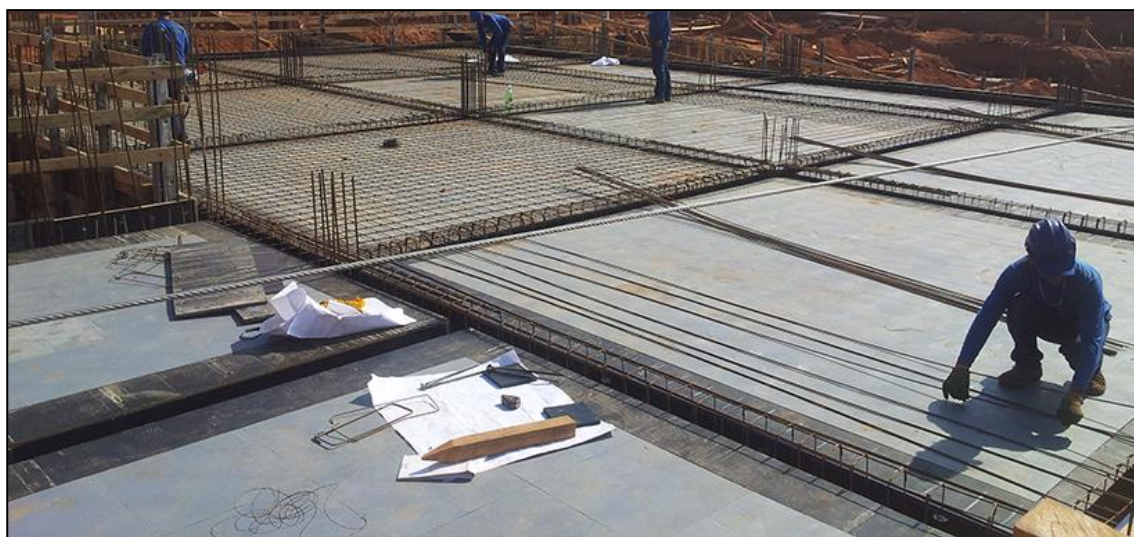


Figura 6 - Armação de laje maciça, com sistemas embutidos.

Fonte: <http://www.atex.com.br/blog/laje/conheca-os-principais-tipos-de-laje/> (2017).

As lajes maciças podem ser classificadas quanto à sua direção, existindo dois tipos: laje armada em uma direção ou laje armada em duas direções. Essa é a classificação mais importante, mas existem outras classificações, como por exemplo, em relação à sua geometria e aos tipos de vínculo de apoio.

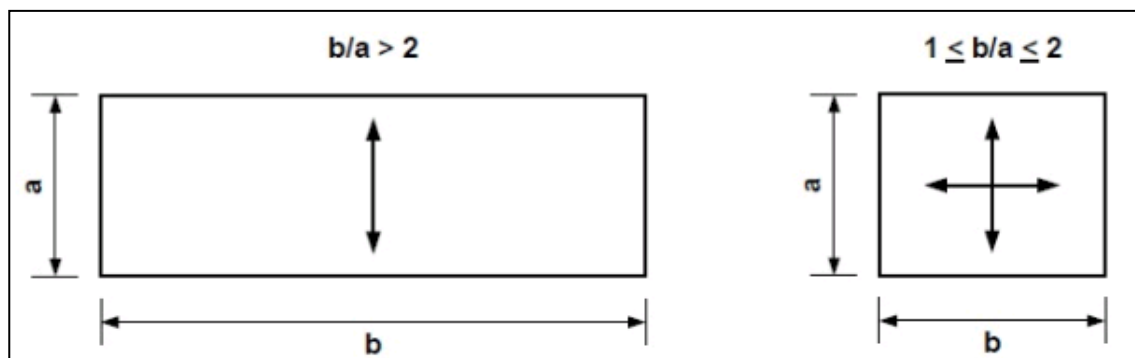


Figura 7 - Classificação das lajes segundo sua direção: armada em uma direção (a); armada em duas direções ou em cruz (b).

Fonte: <https://maisengenharia.wordpress.com/2014/10/06/tipos-de-laje/> (2017).

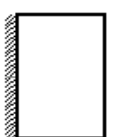
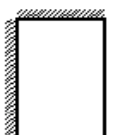
Caso	Vinculação	Caso	Vinculação	Caso	Vinculação
1		2A		2B	
Quatro bordas simplesmente apoiadas		Uma borda menor engastada		Uma borda maior engastada	
3		4A		4B	
Duas bordas adjacentes engastadas		Duas bordas menores engastadas		Duas bordas maiores engastadas	
5A		5B		6	
Uma borda maior apoiada		Uma borda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

Figura 8 - Classificação de lajes segundo vinculação das bordas.

Fonte: <http://www.set.eesc.usp.br/mdidatico/concreto/Textos/11%20Lajes%20Macicas.pdf>.

Laje nervurada

As lajes nervuradas são formadas por um conjunto de vigas solidarizadas pela mesa, e apresentam comportamento com características intermediárias entre a laje maciça e a grelha. Podem ser moldadas no local ou construídas com nervuras pré-moldadas, e possuem nervuras na região de tração, onde pode haver o uso de material inerte como preenchimento. As nervuras causam redução no peso próprio

aliada à economia de material e conferem um melhor aproveitamento do aço e do concreto.

Para as lajes moldadas “in loco” se faz necessário o uso de fôrmas e escoramentos, de modo semelhante ao das lajes maciças moldadas no local. As fôrmas são encontradas em medidas modulares, em polipropileno ou metal, e requerem o uso de desmoldantes para sua retirada. No caso das lajes nervuradas pré-moldadas, é dispensado o uso do tabuleiro tradicional, já que se faz uso de vigotas capazes de suportar seu peso próprio e as ações de construção. Nesse caso é utilizado apenas um escoramento intermediário, o que representa menor volume de escoras.



Figura 9 - Laje nervurada cogumelo, sem uso de vigas.
Fonte: <http://www.atex.com.br/pt/solucoes> (2017).

Nas regiões de apoio, onde há concentração de tensões, pode ser necessário o uso de capitéis ou vigas-faixa. Os capitéis são configurados pelo enchimento de uma região maciça em volta dos pilares, enquanto as vigas-faixa são representadas por regiões maciças ao longo de uma ou duas direções da laje. Os reforços buscam evitar a ruína por punção ou cisalhamento, dando preferência, caso ocorra, a ruína por flexão.



Figura 10 - Laje nervurada com vigas-faixa.
Fonte: <http://www.atex.com.br/pt/solucoes> (2017).

Suas principais vantagens estão relacionadas à possibilidade de vencimento de grandes vãos, devido a maiores inércias da seção com menor consumo de concreto, sendo muito utilizada em regiões onde se requer o uso de poucos pilares. Como citado anteriormente, a redução de peso próprio leva a melhor utilização do concreto e do aço, por conta da menor quantidade de concreto abaixo da linha neutra. Ainda, o sistema de forma é geralmente mais simples e leva a redução do consumo de formas.

Parte das desvantagens está associada às etapas de concepção e detalhamento da estrutura. Há exigência de mais cuidado no posicionamento e modulação das nervuras e resolução de interferências, e o modelo de cálculo é mais elaborado. As características da seção levam a redução do pé direito, o que deve ser ponderado durante as fases iniciais de projeto. Executivamente, a montagem das armações deve ser cuidadosa, garantindo o posicionamento correto das barras nas nervuras.

2.3. Sistemas de Vedações Verticais

As esquadrias e os revestimentos verticais constituem o sistema de vedações verticais. As principais atribuições do sistema estão relacionadas ao conforto térmico e acústico, tendo como função definir os fechamentos e limites de ambientes, e garantir o controle de ações externas nesses espaços. O sistema pode ainda desempenhar funções secundárias, como abrigo e proteção de sistemas prediais.

A influência desse conjunto se dá não apenas pelas funções que desempenha, mas também pela interação e impacto que exerce em outras partes do edifício. A depender da escolha, pode constituir material estrutural, ou estar conectados à estrutura de tal modo que fissuras e outros problemas estruturais sejam analisados levando em conta o sistema de vedação vertical. Ainda, é possível que haja interferência com as instalações prediais, exigindo planejamento de obra, compatibilização de projetos e estudo da sequência de execução.

As classificações são diversas, e podem ser feitas em função dos seguintes aspectos:

- Posição de ocupação no edifício
- Técnica de execução
- Mobilidade
- Densidade superficial
- Distribuição de esforços
- Acabamento
- Continuidade superficial

Dentre os elementos que constituem o sistema de vedação vertical se destacam as paredes, podendo ser de alvenaria, maciças moldadas in loco ou maciças pré-moldadas; divisórias leves, em gesso acartonado ou dry-wall; e ainda vedações leves de fachada, divididas em vedações em fachada cortina, vedação em esquadrias ou vedação em telhas.

As características a serem analisadas na escolha do tipo de vedação devem incorporar a conformidade em relação às exigências do usuário e requisitos de desempenho e consideração de aspectos construtivos, compatibilidade com demais soluções técnicas e facilidade de manutenção. Construtivamente, é desejável que a escolha apresente facilidade de montagem e rapidez de execução, levando a maior produtividade.

2.4. Sistemas de Coberturas

O sistema de coberturas tem como principais funções garantir privacidade, proteção do espaço interno e conforto dos usuários, devendo para tanto ser estanque e possuir propriedades de isolamento térmico e acústico. O sistema se localiza no topo dos edifícios e por essa razão deve oferecer proteção contra as intempéries aos demais sistemas. Ainda, deve garantir captação e distribuição das águas pluviais.

As coberturas podem ser de diferentes tipos, abrangendo telhados, lajes, coberturas verdes, coberturas-terraço e outras soluções. As opções listadas podem ainda ser divididas em sub-classes, as quais possuem características próprias relacionadas ao projeto, execução, uso e manutenção.

Os telhados, solução muito popular no Brasil, envolvem dois sistemas que se complementam, a cobertura (telhamento) e a sustentação (madeiramento), e são caracterizados por um ou mais planos inclinados, denominados águas. O principal elemento de construção do telhamento é a telha, que pode ser encontrada em diferentes formatos, materiais, tamanhos e outras especificações técnicas. As principais constituições são de cerâmica, concreto, amianto, metal e vidro, entre outros.

A Figura 11 representa o esquema geral apresentado na NBR15575-5:2013, que trata dos requisitos de desempenho para sistemas de cobertura. Na Figura 12 temos a disposição genérica do sistema de madeiramento.

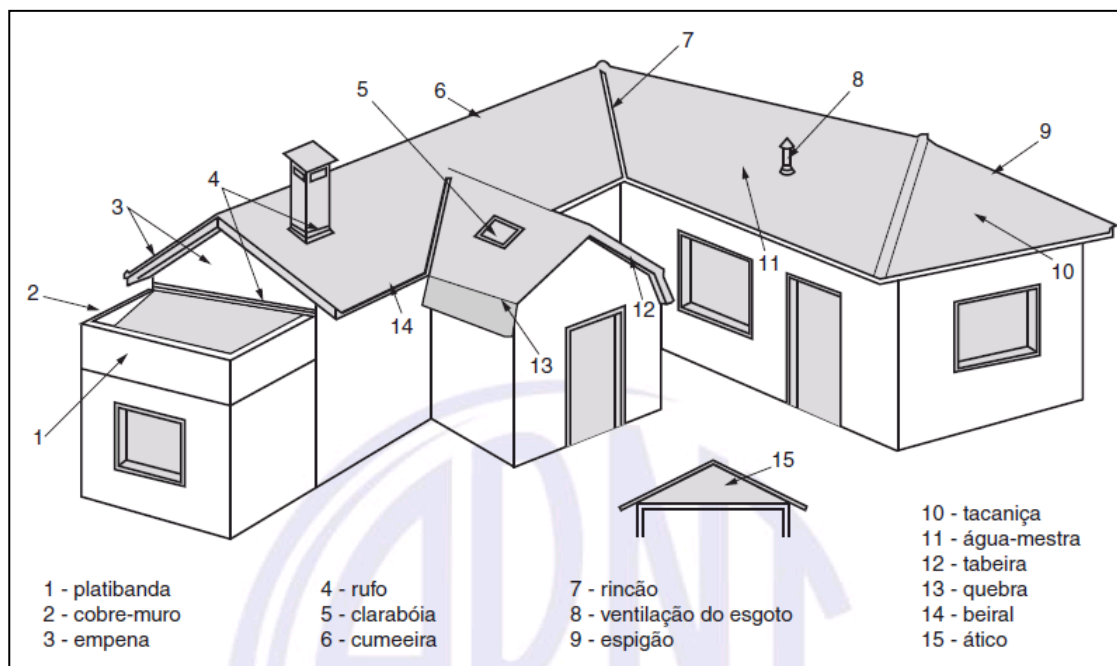


Figura 11 - Designações do subsistema de telhados.

Fonte: NBR15575-5.

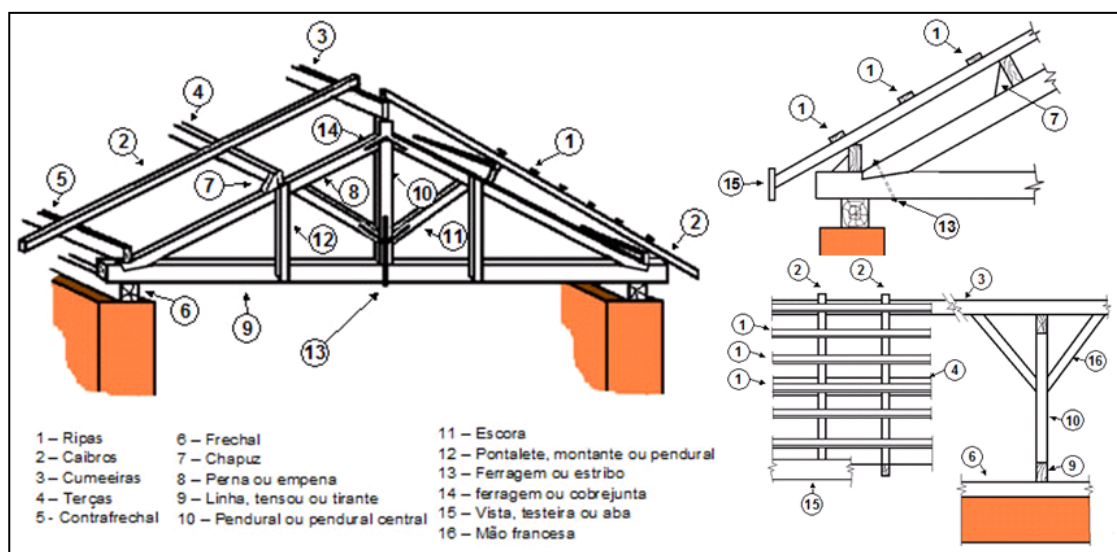


Figura 12 - Elementos de um madeiramento e sua terminologia.

Fonte: <http://www.metalica.com.br/coberturas-os-diversos-tipos-e-suas-caracteristicas>.

Outra solução que vem se popularizando é a cobertura “verde”. Originada de técnicas de paisagismo, a cobertura verde transforma a capacidade natural das plantas de absorver gás carbônico e reter calor em ferramenta que trabalha para diminuir a temperatura do ambiente.

“Estudos conduzidos pela EPA (Environmental Protection Agency), órgão do governo americano para o meio ambiente, apontaram que a temperatura média no verão em um telhado verde pode ser registrada entre 33 e 48 graus, enquanto que, num telhado

convencional, chega a atingir a marca de 76 graus.” (REVISTA EXAME, 11 de novembro de 2011).

2.5. Sistemas de Pisos

A NBR 15575-3:2013 define o sistema de pisos como um sistema tanto horizontal quanto vertical, constituído por um conjunto de camadas, que deve atender às funções de estrutura, vedação e tráfego.

O isolamento acústico é uma das principais funções do sistema de pisos, e deve controlar a transferência de ruídos entre unidades ou pavimentos. Os ruídos podem ser provenientes de impacto no piso (passos e queda de objetos) ou do tipo aéreo (conversas, volume alto de TV).

Do exemplo genérico apresentado na Figura 13, o sistema pode conter todas as camadas ou apenas parte delas.



Figura 13 - Exemplo genérico de um sistema de pisos e seus elementos.
Fonte: NBR 15575-3:2013.

A camada estrutural representa a laje do edifício, e deve apresentar resistência mecânica conforme as cargas previstas e transmitir os carregamentos aos demais componentes estruturais. A camada de impermeabilização pode não ser necessária nas áreas internas, entretanto é recomendado que seja utilizada nas áreas inundáveis, como boxes de banheiros e áreas de sacadas. Sua função é evitar a penetração de água e a deterioração no pavimento inferior.

A camada isolante é mais empregada em regiões que apresentam baixas temperaturas. No Brasil, embora não seja comumente executada nas vedações internas, tem seu uso recomendado nas coberturas, de modo a evitar variações

térmicas que podem comprometer a estrutura, levando a elevado grau de fissuração e causando danos à estanqueidade do sistema.

As principais funções da camada de contrapiso são transmitir as cargas para as camadas estruturais, permitir os desníveis e declividades necessários entre ambientes vizinhos ou áreas molháveis, e regularizar o substrato, possibilitando a colocação do revestimento do piso. Pode também ser utilizada para embutimento de instalações.

A camada de revestimento é a camada mais externa e a que sofrerá diretamente a ação de cargas, impactos e outras solicitações. Assim, o desempenho dessa camada é vital para o atendimento do sistema aos critérios normativos e de satisfação ao cliente.

As soluções possíveis são diversas, incluindo cerâmicas, porcelanatos, laminados de madeira, granitos e mármore, tacos, cimento queimado e ardósia, entre outras opções. A escolha deve ser pensada levando em consideração as características de projeto desejadas, as propriedades dos materiais e o atendimento às normas de desempenho. Critérios como resistência a impacto e abrasão, abrasão, capacidade de reflexão e coeficientes de dilatação térmica e permeabilidade devem ser analisados em face do uso a que o sistema de pisos estará submetido, como o tráfego esperado, incidência solar, clima do entorno, destinação do ambiente, frequência geral de uso.

3. ESTUDO PRELIMINAR

3.1. Programa de Necessidades

O programa posto pelo cliente pode ser resumido de modo simples como sendo:

- 6 suítes
- cozinha com comunicação/integração com a sala na casa
- ambientes integrados com o jardim
- preservação máxima do jardim tal como está
- espaço para utensílios de praia e pranchas de surf
- (integrado posteriormente um escritório)

3.2. Localização do terreno e análise do entorno

O terreno em questão se localiza na praia de Guaecá, que faz parte do município de São Sebastião, no litoral de São Paulo. Segundo o Censo de 2010, São Sebastião possui 73.942 habitantes, com uma área total de 495,679 km². A cidade é considerada uma estância balneária e recebe verba do Estado destinada para incentivo ao turismo regional. Assim, trata-se de uma região valorizada, na qual a construção de uma casa no local pode ser um bom investimento a longo prazo.

Partindo de São Paulo, o acesso à região se dá principalmente através da Rodovia Ayrton Senna, seguindo pela Rodovia dos Tamoios. A praia de Guaecá se encontra a cerca de 10 km do centro de São Sebastião.

O transporte de materiais de construção não aparenta ser problemático, já que o município apresenta grau avançado de desenvolvimento. Foram identificados ao menos dois depósitos de materiais de construção, assim como fornecedores de concreto na região central de São Sebastião.

Quanto à condição do solo do terreno, Eugenio Pabst, engenheiro geotécnico, prestou consultoria ao grupo, para reconhecimento do solo e determinação de suas camadas e do nível d'água. Em inspeção superficial realizada pelo engenheiro, foi obtida a informação de que a linha d'água está a -1,80 m e que o solo tem uma camada de 2,00 m de aterro, se aprofundando em uma camada espessa de areia. A Figura 14 representa um corte esquemático do terreno.

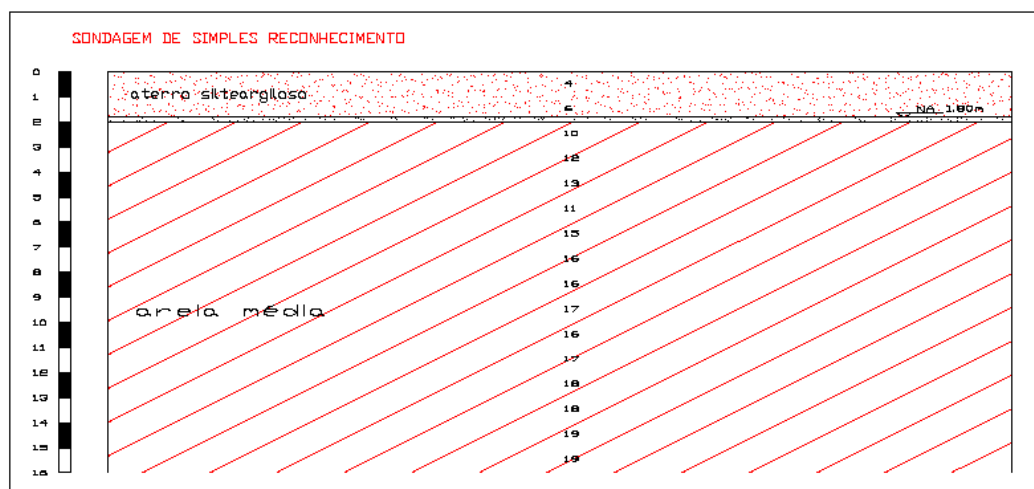


Figura 14 - Corte esquemático do perfil do terreno.
Fonte: EUGÊNIO PABST, ENGENHEIRO CIVIL GEOTÉCNICO (2017).

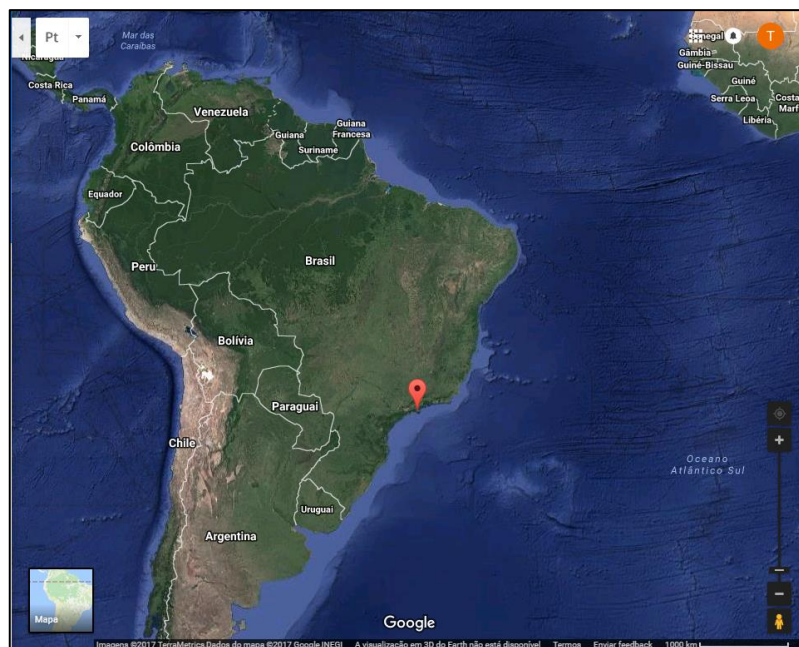


Figura 15 - Localização da região em relação ao território brasileiro.
Fonte: Google Earth (2017).

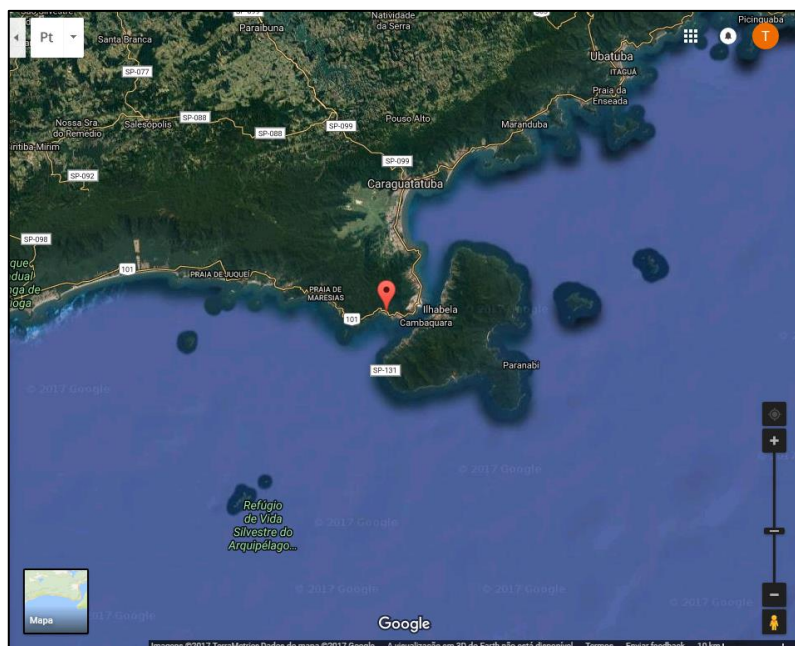


Figura 16 - Localização da região no litoral de São Paulo (1).
Fonte: Google Earth (2017).



Figura 17 - Localização da região no litoral de São Paulo (2).
Fonte: Google Earth (2017).

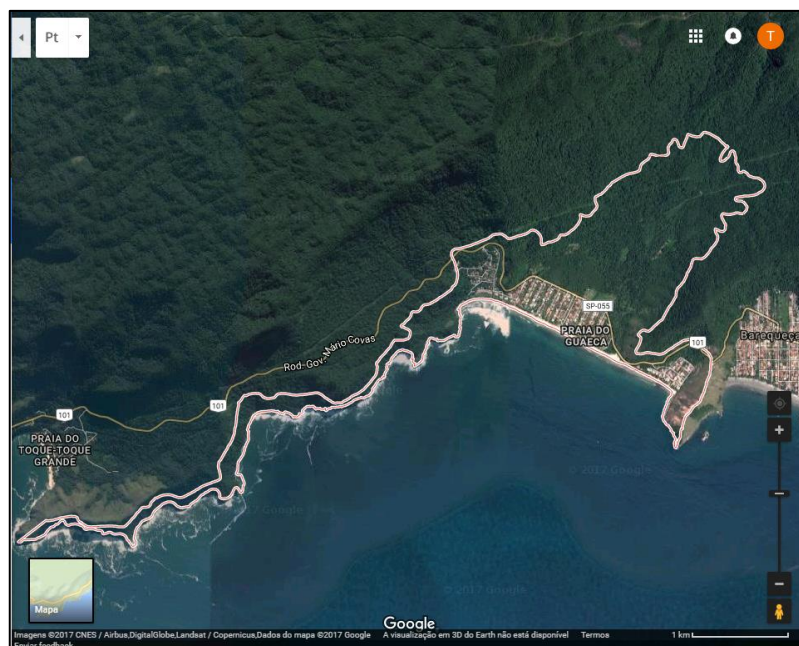


Figura 18 - Detalhe da região da Praia de Guaecá.
Fonte: Google Earth (2017).



Figura 19 - Foto do terreno atual.
Fonte: Google View (2017).

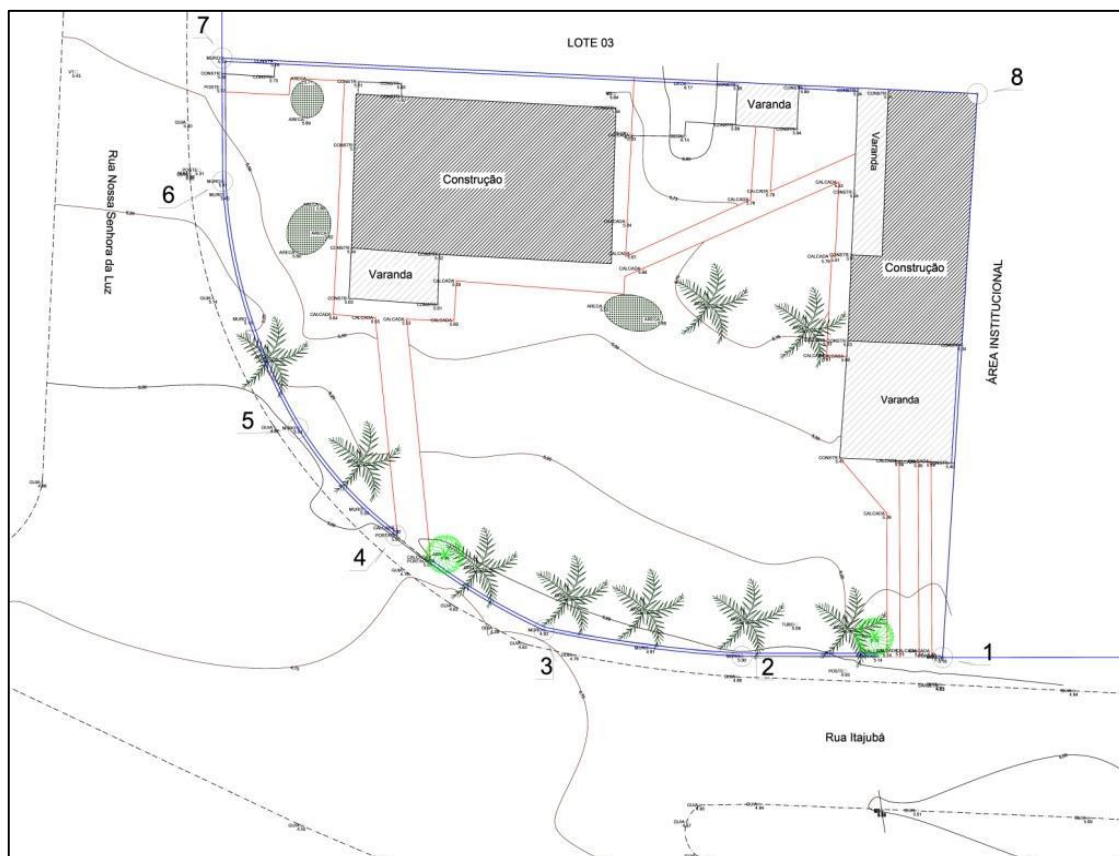


Figura 20 - Levantamento planialtimétrico cadastral.
Fonte: CARLOS PIAN, TOPÓGRAFO (2017).

3.3. Restrições de Uso e Ocupação do Solo

- O terreno para o projeto tem uma área de 856,25 m²
- Taxa de ocupação (TO): 60%
- Coeficiente de aproveitamento (CA): 1
- A casa deve ter um afastamento de no mínimo 1,5 m das divisas com os vizinhos.
- A casa deve ter um afastamento de no mínimo 5,0 m do limite com as ruas.
- A redação original do art. 51 da Lei nº 561/1987 previa o gabarito máximo de 8m para edificações de qualquer uso, contados a partir do ponto mais alto. A Lei 962/1994 acresceu um metro a esse limite, alterando o dispositivo. E, por fim, a Lei nº 1062/1995 novamente modificou o artigo, esclarecendo que os mesmos 9 m seriam contados a partir da cobertura original do terreno (não mais do ponto mais alto), podendo apresentar três pavimentos, quando verificado mezanino, subsolo ou pilotis. A última lei ainda

inseriu o parágrafo único ao artigo 51, para estabelecer a possibilidade de aumentar o gabarito para 12 m unicamente para a instalação de caixas d'água sobre as edificações.

- Para a edificação da edícula pode-se ter uma cota máxima de 6 m até o limite da caixa d'água.
- A edícula pode ter apenas 1 pavimento.
- A edícula deve estar afastada de no mínimo 2 m da casa.

3.4. Estimativa de Custos

O cliente propôs como premissa uma casa de elevado padrão, onde a obra atendesse alto nível de qualidade, independente de restrições orçamentárias. Como estimativa inicial, foi utilizado o indicador CUB (custo unitário básico) para a execução de uma casa de alto padrão. A Figura 21 apresenta a relação de custo unitário básico para diferentes configurações. A casa foi classificada de padrão alto, configuração R-1. Os valores divergiram em relação à busca feita em campo, quando em contato com profissionais empreiteiros para discussão do projeto, o valor estimado ficou em torno de R\$ 3.000,00/m², contra os dados de R\$ 1803,18/m² do CUB. A explicação para a diferença está na especificação de caixilhos e acabamentos, que são escolhas de grande impacto no orçamento da obra, e que tem grande disponibilidade e variedade, tornando difícil estimativas mais precisas em fases iniciais de projeto. A conclusão a que se chegou foi de que o CUB, como parâmetro de qualidade para estimativa de custos de uma obra de alto padrão, é pouco preciso, sendo mais apropriado como indicador de inflação.

Custo unitário básico no Estado de São Paulo, padrão R8-N, novembro de 2017		
	R\$/m²	Participação (%)
Mão-de-obra (com encargos sociais)*	719,91	58,65
Material	464,84	37,87
Despesas Administrativas	42,75	3,48
Total	1.227,50	100,00
(*) Encargos Sociais: 141,37%		
Custo unitário básico no Estado de São Paulo*, novembro de 2017 em R\$/m²		
	Padrão Baixo	
	Custo m²	% mês
R-1	1.223,34	0,07
PP-4	1.115,30	0,07
R-8	1.060,76	0,07
PIS	828,99	0,04
	Padrão Normal	
	Custo m²	%mês
R-1	1.501,62	0,05
PP-4	1.411,71	0,04
R-8	1.227,50	0,04
R-16	1.189,77	0,05
	Padrão Alto	
	Custo m²	% mês
R-1	1.803,18	0,07
R-8	1.444,69	0,07
R-16	1.544,88	0,04
(*) Conforme Lei 4.591 de 16 de dezembro de 1964 e disposto na NBR 12.721 da ABNT. Na formação do Custo Unitário Básico não foram incluídos os itens descritos na seção 8.3.5 da NBR 12.721/06		
Custo da construção comercial, industrial e popular no Estado de São Paulo, novembro de 2017 em R\$/m²		
CAL (comercial andares livres) e CSL(comercial - salas e lojas), GI (galpão industrial) e RP1Q (residência popular)		
	Padrão Normal	
	Custo m²	% mês
CAL-8	1.411,83	0,05
CSL-8	1.221,72	0,05
CSL-16	1.625,54	0,05
	Padrão Alto	
	Custo m²	% mês
CAL-8	1.499,52	0,06
CSL-8	1.321,39	0,06
CSL-16	1.755,94	0,05
	Padrão Baixo	
	Custo m²	% mês
RP1Q	1.324,92	0,01
GI	687,03	0,06
(*) Conforme Lei 4.591 de 16 de dezembro de 1964 e disposto na NBR 12.721 da ABNT. Na formação do Custo Unitário Básico não foram incluídos os itens descritos na seção 8.3.5 da NBR 12.721/06		

Figura 21 - Custo unitário básico no Estado de São Paulo, novembro de 2017.

Fonte: <https://www.sindusconsp.com.br/wp-content/uploads/2017/12/11-Novembro-Desonerado.pdf>.

4. O PROJETO

4.1. Projeto de Arquitetura

O prof. Rudolph Arnheim argumenta que é pela aplicação controlada de forças que os fenômenos visuais nos podem ser comunicados como uma expressão das forças que governam nossas vidas, indicando equilíbrio ou discordância, crescimento, tensão ou interações desses fenômenos. Discutindo as forças subjacentes à expressão artística, explica que a obra de arte está longe de ser meramente uma imagem de equilíbrio... Assim como a ênfase da vida está na atividade dirigida e não em um repouso vazio, a ênfase da obra de arte não está no equilíbrio, na harmonia, na unidade, mas em um padrão de forças que estão sendo equilibradas, ordenadas, unificadas.

Concluindo uma discussão sobre a distribuição das células nos organismos, D'Arcy Wentworth Thompson descreve o comportamento das células no ponto de crescimento como 'determinado não por algum caráter específico ou propriedades próprias, mas pela posição das forças às quais estão submetidas no sistema do qual são parte'.

Este princípio de crescimento, no qual os organismos adquirem sua forma de acordo com as forças que os circundam, tem uma semelhança com o modo como a forma arquitetônica resulta em parte da resolução de um problema particular, mas também das forças características do contexto em que está situada. Edifícios se relacionam com seu entorno da maneira mais positiva, levando em conta fatores tais como uma vista, a posição do Sol ou a proximidade de uma via. Os fatores do lugar, tais como uma colina ou um vale, um rio ou uma estrada, podem ser considerados como forças e, como tal, atuam direta ou indiretamente sobre a forma. (BAKER, 1998 p.4).

O terreno do projeto em questão se encontra a 100 m do mar. Com uma queda suave o terreno é praticamente plano na cota +5 m, separado do mar apenas por uma casa térrea à frente já a 1 m abaixo neste desnível que leva até o mar.

Desta configuração vem, naturalmente, que a maior força do lugar está nas vistas que se ganha, da montanha para o Norte e do mar para o Sul, para o caso em que as cotas de visada superam os obstáculos vizinhos.

Portanto, de forma a tanto proporcionar a manutenção do jardim o maior possível quanto para ganhar as vistas respeitando as restrições de uso vigentes, eis que a casa se ergue. Para tanto, após aproximações iniciais de implantação, optou-se por erguê-la inicialmente sobre quatro pilares pelos quais se atiranta a laje do primeiro pavimento em vigas invertidas no último, de modo que esta laje configure um grande vão ao nível do térreo, sem vigas, proporcionando maior amplitude àqueles ao nível da rua. A viga invertida ainda configurará o peitoril do que se pretende ser uma área de telhado verde, uma cobertura como espaço de contemplação, de onde se desfrutará de vista ainda mais privilegiada. Consegue-se assim não só se manter a área do jardim tal como está como ganhar uma ampliação e ainda ter outra em cota de +7 m acima do nível da rua.

Nas primeiras aproximações do projeto tentou-se tirar proveito das vantagens de implantação que uma edícula tinha a oferecer, sendo, principalmente, a possibilidade de se encostar a edificação à divisa com o vizinho.

Foram pensadas algumas configurações dessa forma, tendo algumas delas sido mais elaboradas e levadas até o meio do ano pelo grupo. A estrutura da edícula se dava de modo a compor um padrão de elevação semelhante ao bloco da casa, onde uma movimentação de terra era prevista para adequação às normas que só permitem 1 pé direito útil, de modo que se extinguiria a área abaixo de sua laje para isso.



Figura 22 – Representação do terreno (em cinza claro), do seu entorno e de sua proximidade ao mar.
Fonte: AUTOR (2017).

Nessa imagem mostra-se a proximidade do terreno com o mar e os obstáculos vizinhos ao Sul, assim como possíveis cones de visada ao mar à altura do térreo.

A seguir, algumas imagens de estudos iniciais de implantação que foram descartados:

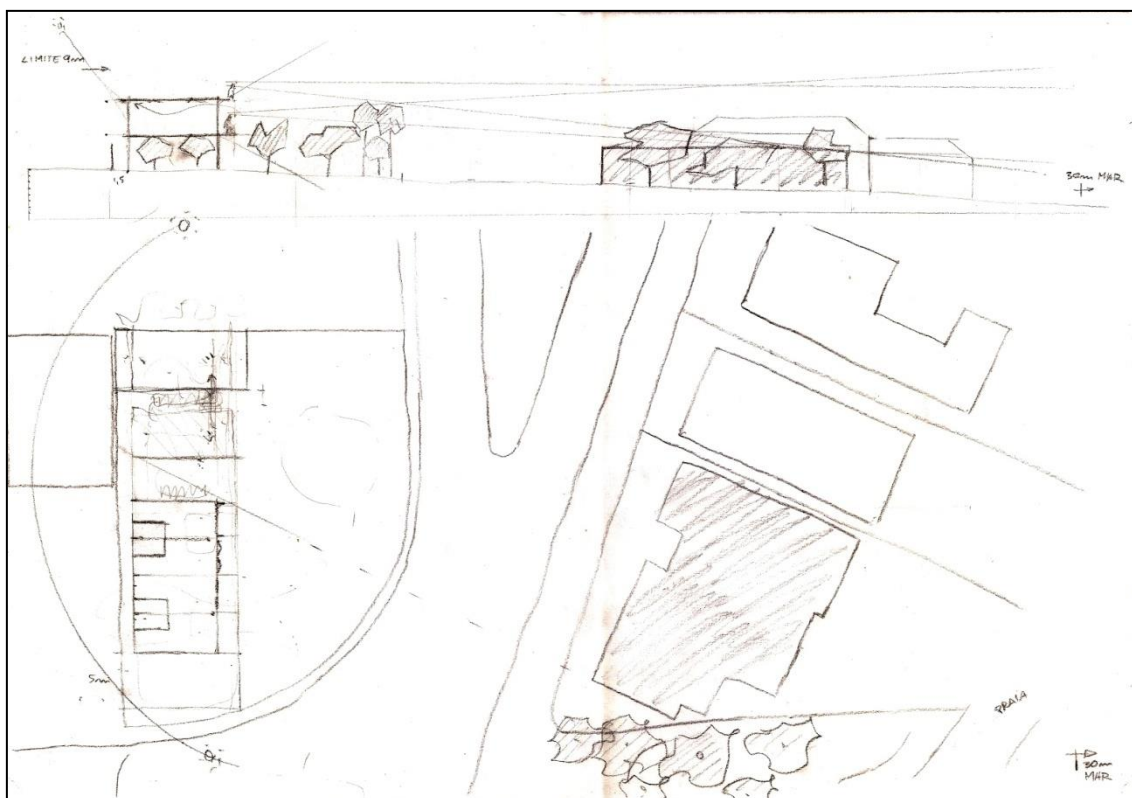


Figura 24 - Os primeiros esboços da ideia de erguer a casa na posição mais definitiva. Fonte: AUTOR (2017).

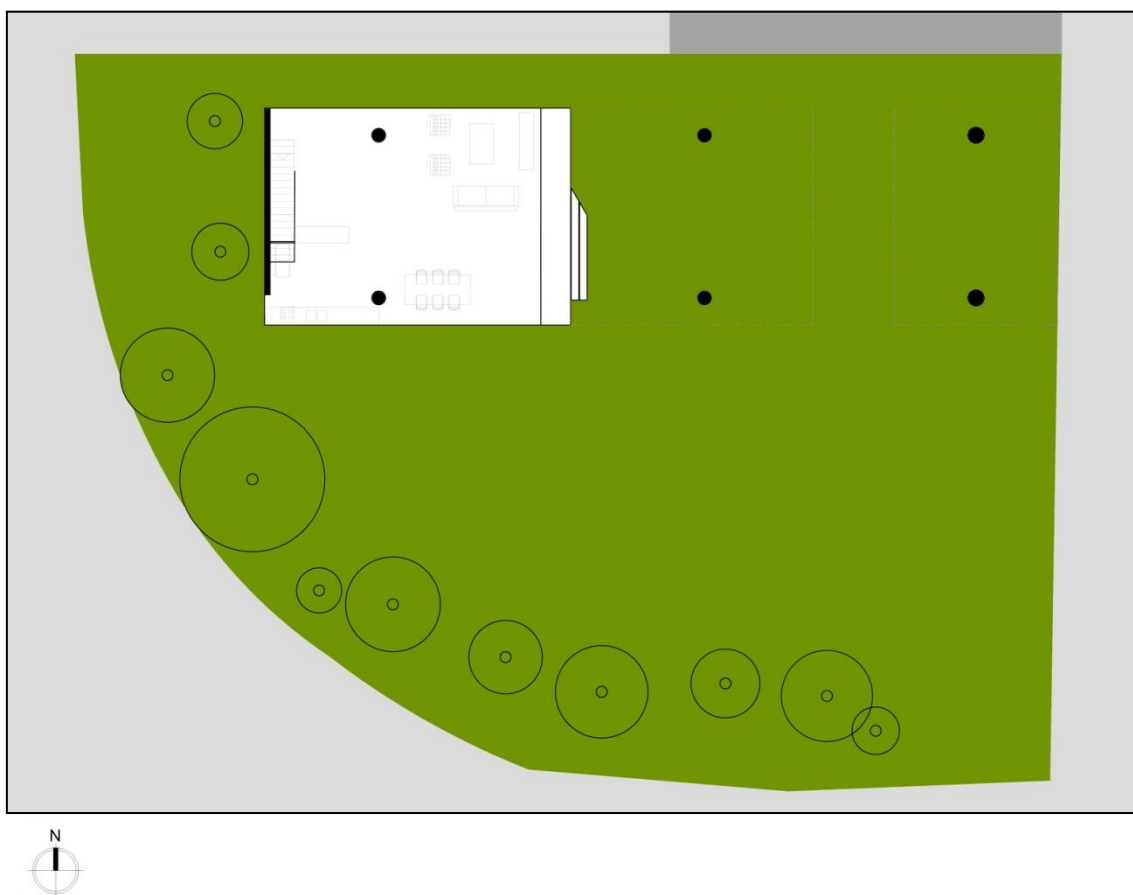


Figura 25 - Desenhos em fase intermediária do trabalho (Térreo, fora de escala). Fonte: AUTOR (2017).

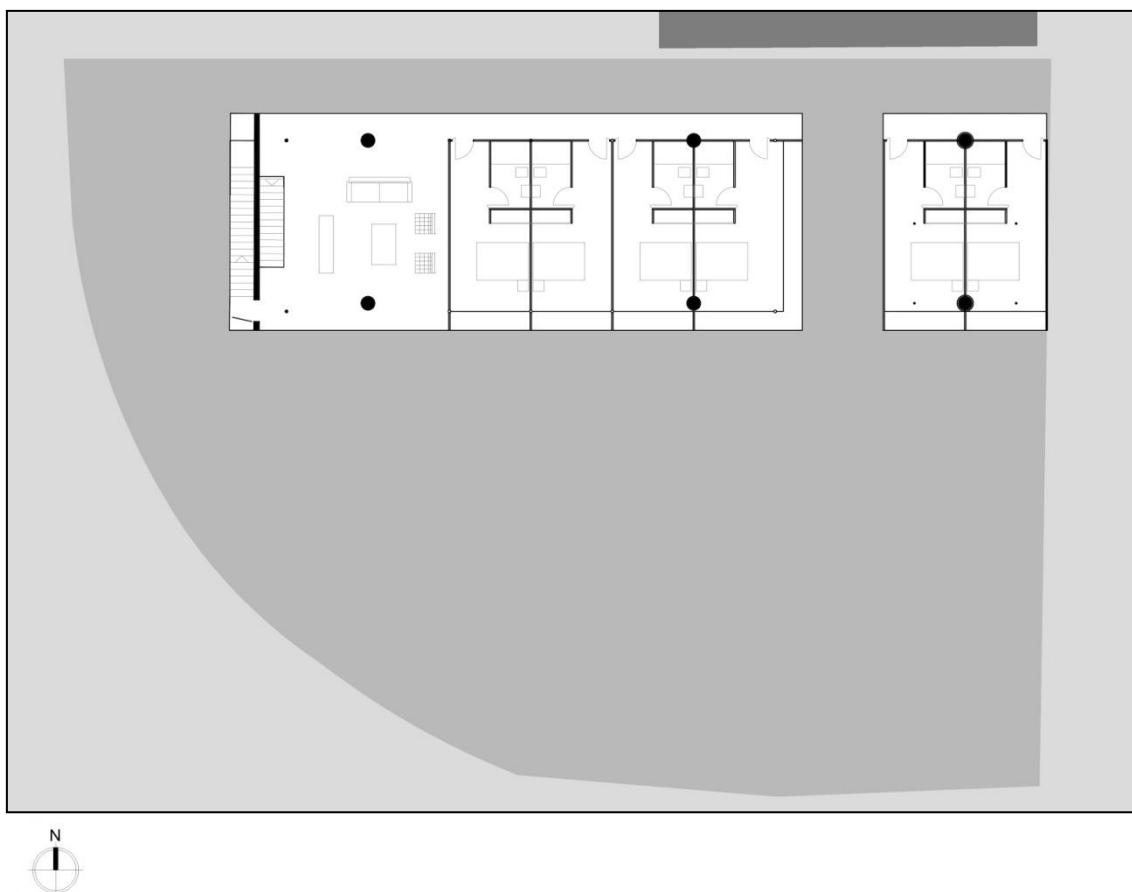


Figura 26 - Desenhos em fase intermediária do trabalho (1o pavimento, fora de escala). Fonte: AUTOR (2017).

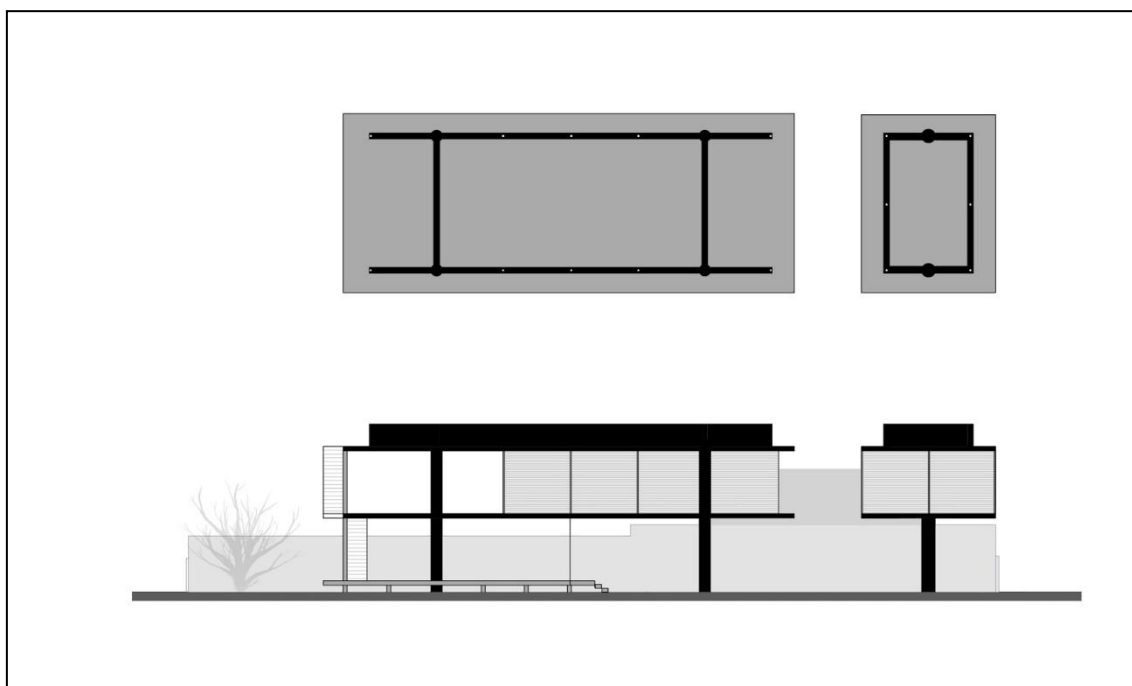


Figura 27 - Elevação e cobertura, com elementos estruturais destacados (1) de ideia parcialmente descartada em fase intermediária do trabalho. Fonte: AUTOR (2017).

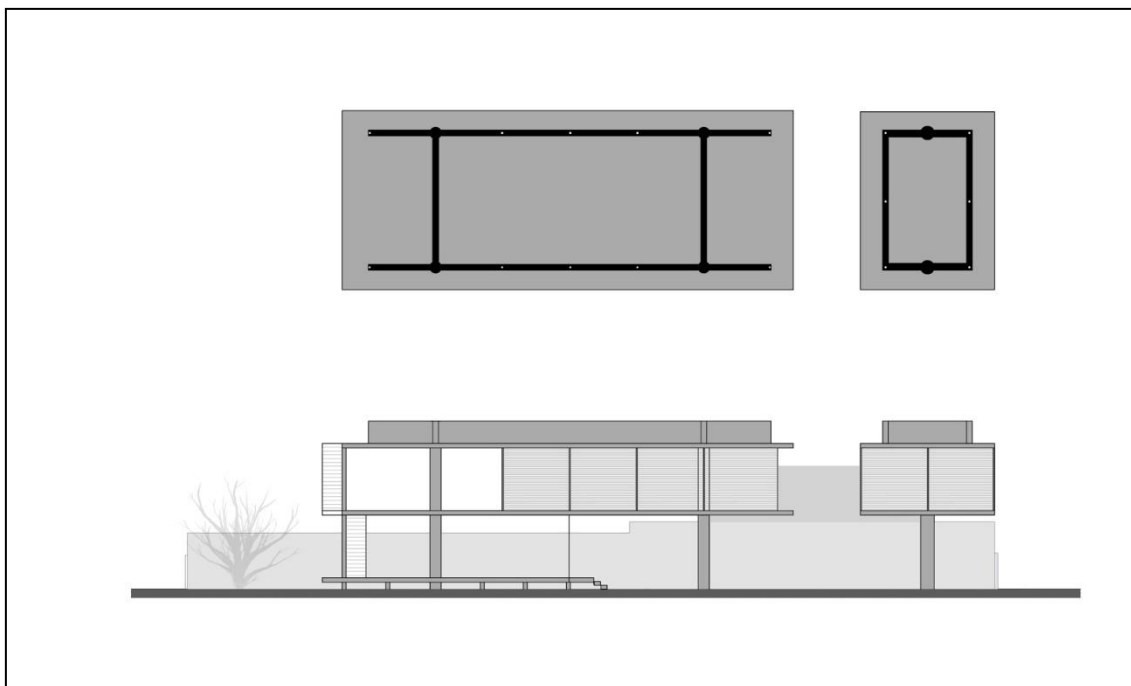


Figura 28 - Elevação e cobertura, sem destaque nos elementos estruturais, de ideia parcialmente descartada em fase intermediária do trabalho. Fonte: AUTOR (2017).

Com o abandono da ideia de se aproveitar a implantação com uma edícula, o projeto caminhou para a uma simples junção do volume da edícula à casa, com pouca alteração no conceito de modo geral. Uniu-se os volumes previamente separados e obteve-se, ao final de interações e adaptações, um resultado final de laje com 26,0 m por 8,2 m.

Simultaneamente à nova disposição de laje e pilares, foi pensada uma escada central como solução para circulação vertical, de modo que assim foi possível atender também ao desejo de ter-se acesso do térreo à cobertura por um mesmo eixo.

Com a interferência da viga central na cobertura, impedindo que a escada caracol chegasse sem bloqueios à última laje, foi necessário repensar o segundo lance de escada. A solução, dada as restrições impostas pelo quarto de um lado do pilar e sala de estar do outro, foi seguir em linha reta depois de circundar 90° do pilar central, aproveitando-se do apoio deste para o começo da escada em conjunto com a amarração da escada em uma das vigas da cobertura em seu trecho final. Assim ficando solucionada a questão de circulação vertical, e acessos à cobertura de lazer que por sua vez tem acesso à área técnica onde se encontram na cobertura a caixa d'água, o boiler, painéis para aquecimento de água por circulação e assim como espaço para painéis fotovoltaicos previsto.

Tendo sido solucionado o percurso da escada, houve a discussão quanto à sua cobertura e proteção, dado a abertura na laje do último pavimento, e por não se querer fechar o acesso superior com uma porta ou cobrimento maior deixou-se a escada inteira como algo “externo” aos ambientes da casa. Então, podendo-se fazer breve alusão ao projeto de Vilanova Artigas para o edifício da FAU, onde o “dentro” e o “fora” se diluem, a escada, mesmo no cerne da construção, encontra-se “fora”, dos ambientes internos.

Um acréscimo ao programa de necessidades se deu com pedido de incluir um espaço para escritório reservado na casa, e esse foi pensado de modo a preservar o conceito estrutural preservando os grandes vãos sendo então definido como bloco separado da laje superior, despregado, para evidenciar o jogo de planos conseguido pelo pano liso da laje sem vigas do primeiro pavimento.

Junto à implantação do novo elemento foram definidas duas movimentações de terra a fim de se criar dois patamares, um com 80 cm e outro com 40 cm. A ideia é que pode-se assim atingir maiores cotas para a cobertura (+7 m) sem que a altura do pé direito da cozinha e sala fique demasiada excessiva (2,85 m). A circulação entre a sala e o escritório se dá por uma passarela metálica com vedo vazado de ripas de madeira de 3x8 cm. Preservando a passagem de luz que se dá por esse espaço debaixo da laje. Continuando com o jogo de poder-se estar “dentro” e “fora” da edificação, a depender da interpretação.

Outro pedido feito no desenvolver do projeto foi um aumento para o tamanho de, ao menos, um dos quartos, que pela disposição inicial eram todos iguais. Com esse aumento, e tentando manter a disposição em equilíbrio, chegou-se à configuração de 2 quartos maiores a oeste da casa e 4 menores a leste. Usando para isso espaço que estava, de certa forma, exagerado para o espaço de convivência central.

Com o novo arranjo das divisórias foi possível pensar em nova disposição dos tirantes, de modo que optou-se por embuti-los dentro das paredes e, com a nova configuração de vãos, foi possível a subtração de 1 par de tirantes, livrando totalmente as vistas do vão central do espaço de convivência.

Para a cozinha que queria-se integrada foi pensado um nicho central que auxiliou na distribuição do programa, o espaço comporta uma área de serviço, com acesso externo, e aloca também um lavabo necessário no térreo, servindo também de apoio à passagem de tubulações para o térreo. Assim, concluindo-se a

disposição dos ambientes, todos abertos e integrados, porém mantendo sua área bem definida.

Concluindo a resposta ao programa, foi pensado um depósito, afastado de 1,5 m pela restrição do plano diretor a ser preenchido com árvores, para o armazenamento dos utensílios de praia e pranchas de surf, posto a leste da casa, também como bloco separado da construção, contribuindo para o jogo de planos e panos despegados entre si dos elementos da construção.

Os desenhos a seguir das plantas, elevações e cortes, serão anexados em caderno A3 com escala ampliada e maior resolução.

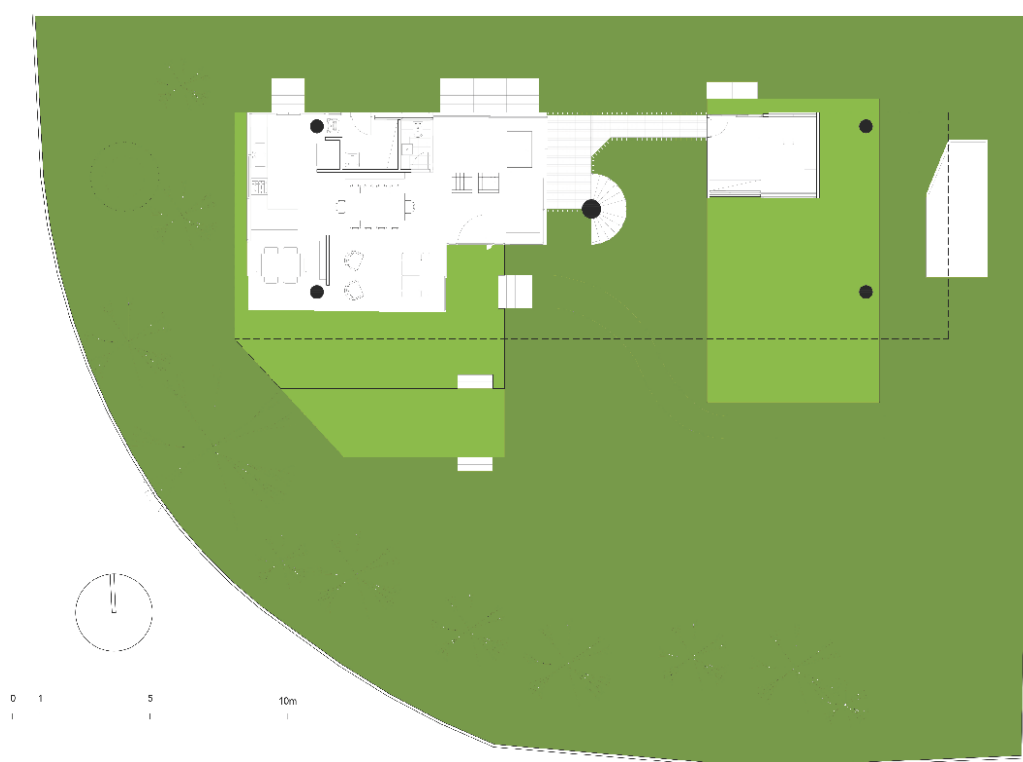


Figura 29 - Planta do pavimento térreo. Fonte: AUTOR (2017).

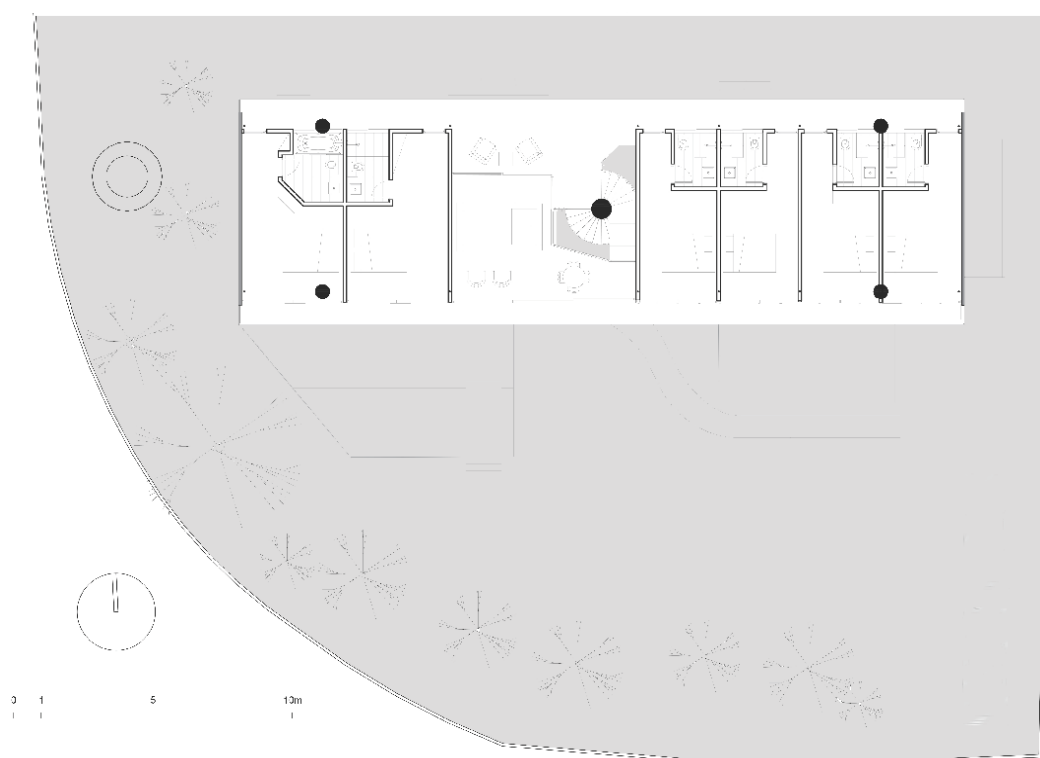


Figura 30 - Planta do 1º pavimento. Fonte: AUTOR (2017).

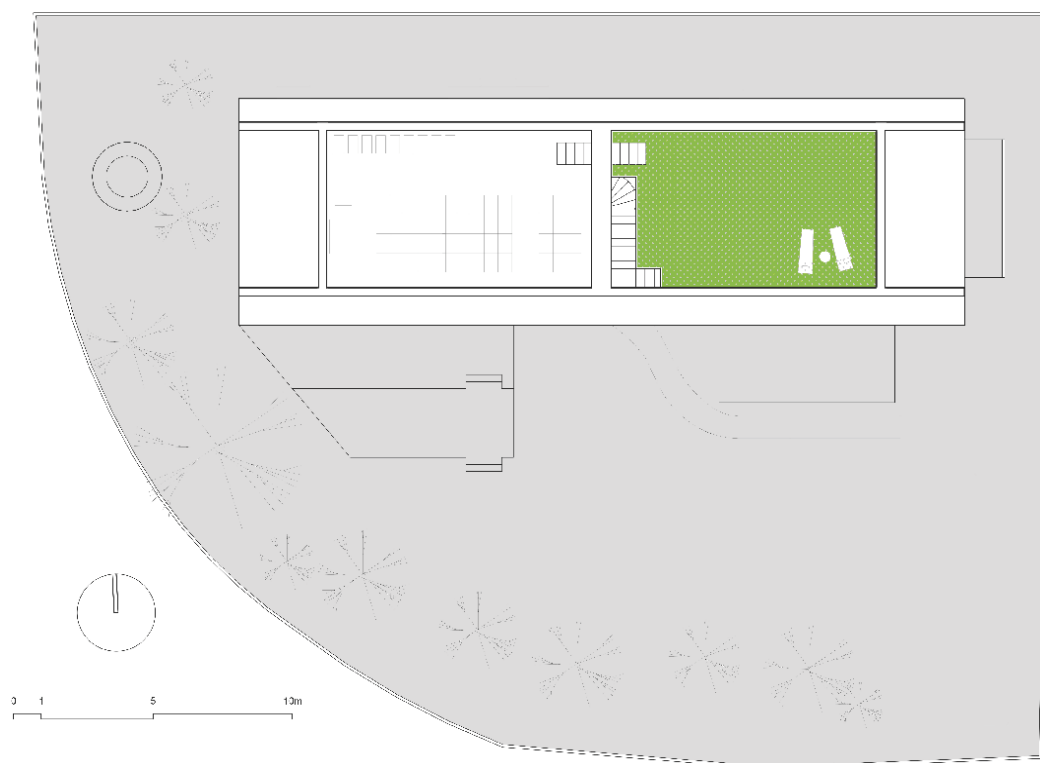


Figura 31 - Planta da cobertura. Fonte: AUTOR (2017).

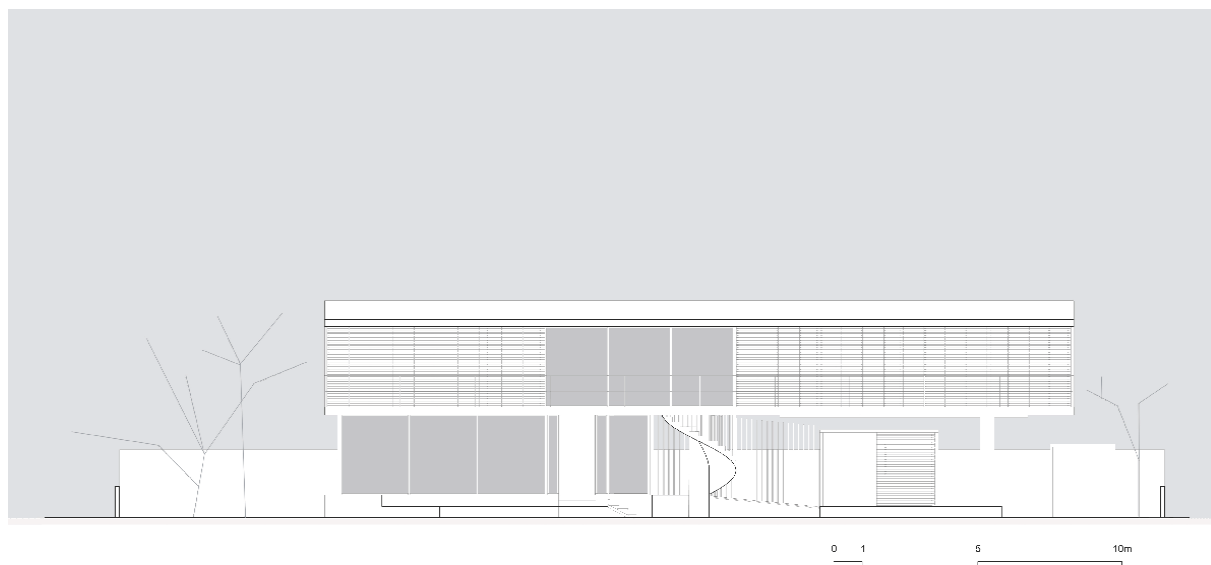


Figura 32 - Elevação sul (vista frontal). Fonte: AUTOR (2017).

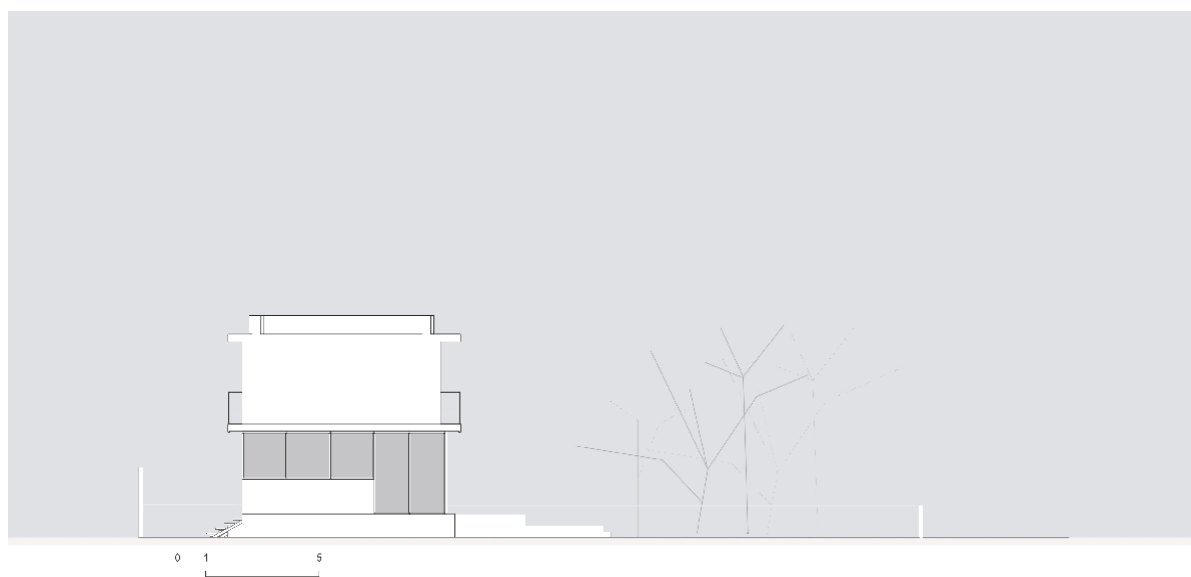


Figura 33 - Elevação oeste. Fonte: AUTOR (2017).



Figura 34 - Corte longitudinal. Fonte: AUTOR (2017).

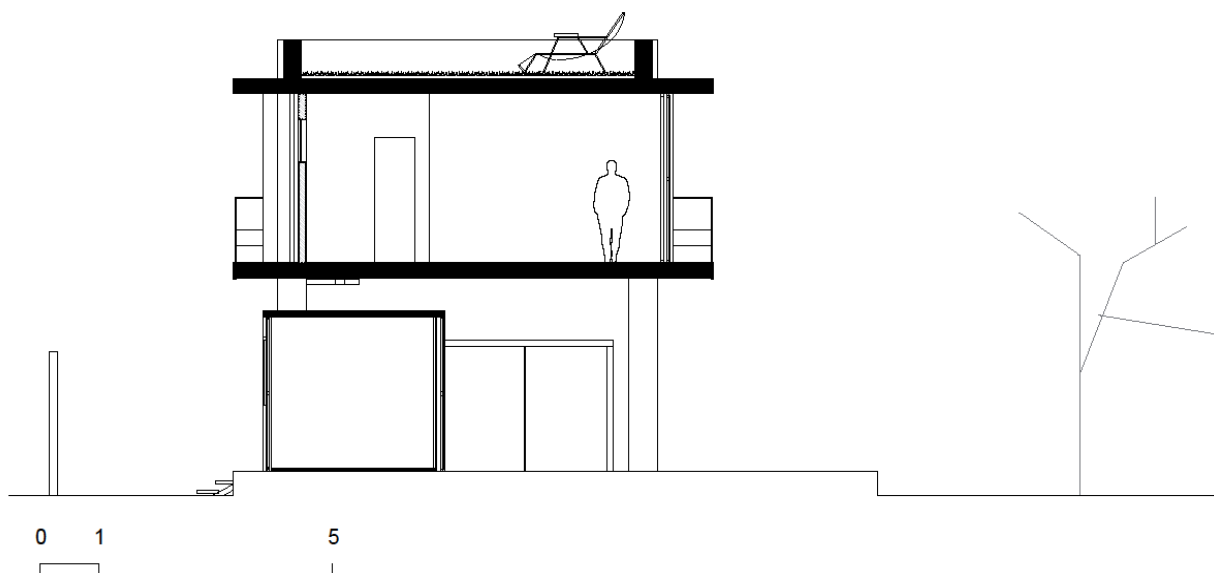


Figura 35 - Corte transversal. Fonte: AUTOR (2017).

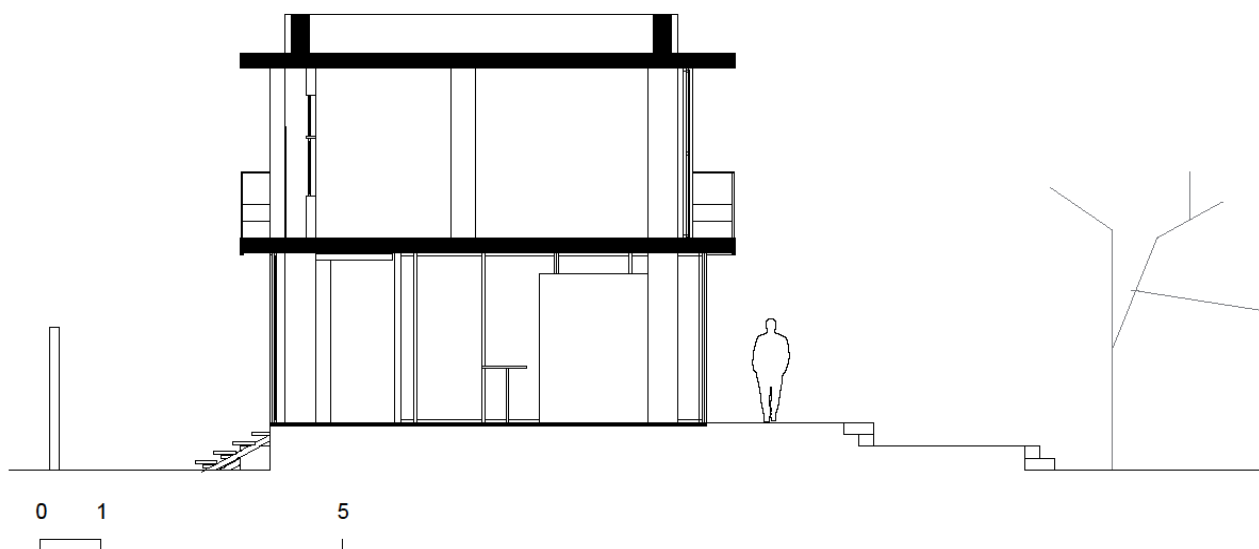


Figura 36 - Corte transversal. Fonte: AUTOR (2017).

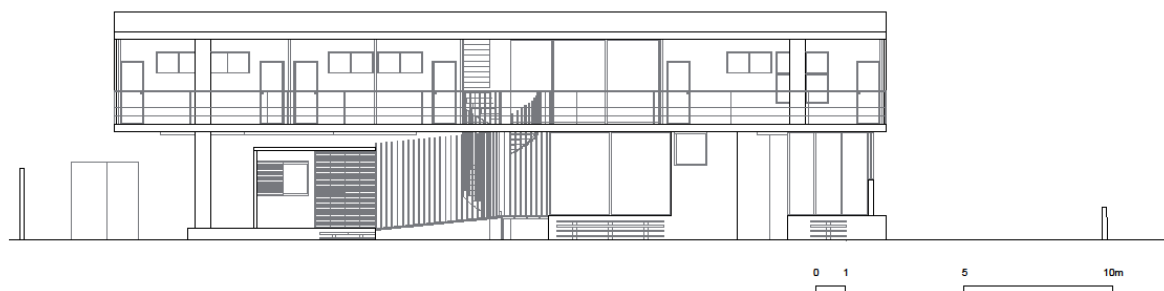


Figura 37 - Elevação norte (vista posterior). Fonte: AUTOR (2017).

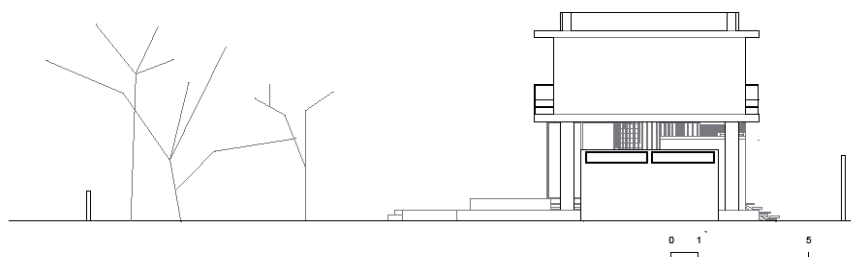


Figura 38 - Elevação leste. Fonte: AUTOR (2017).

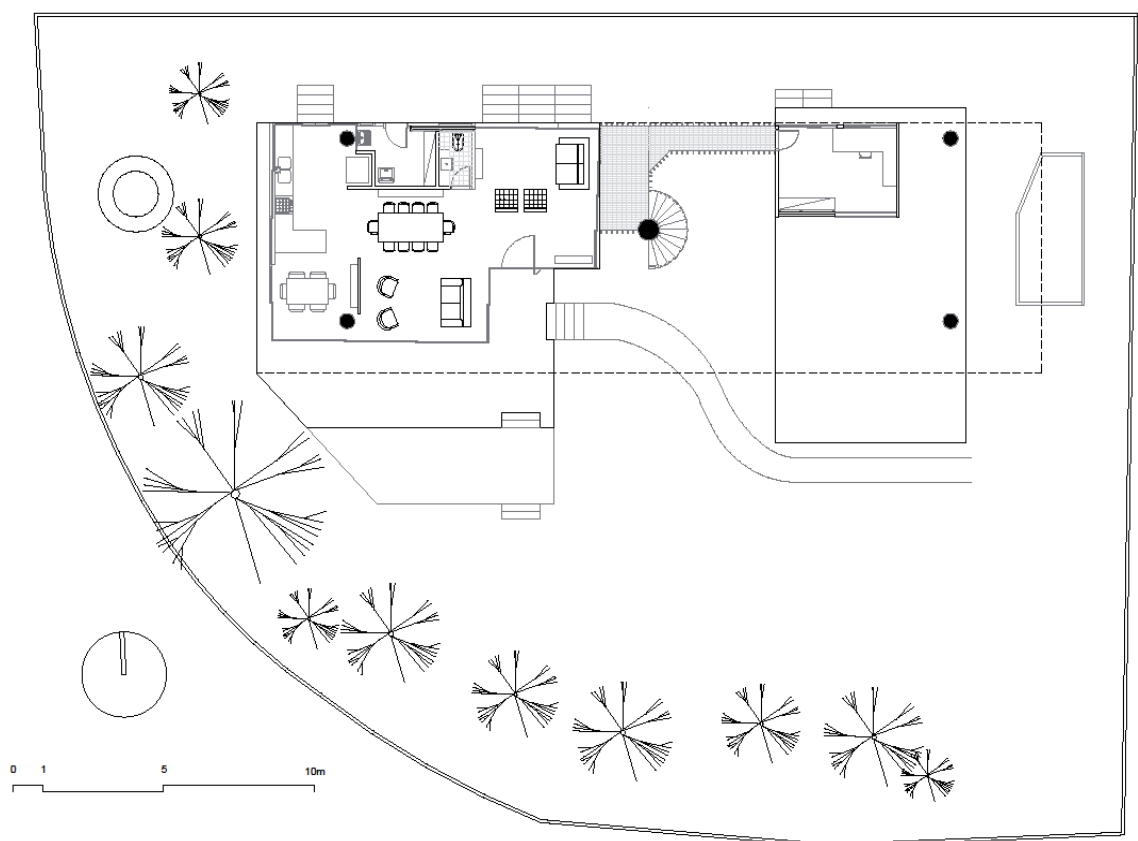


Figura 39 – Planta do pavimento térreo. Fonte: AUTOR (2017).

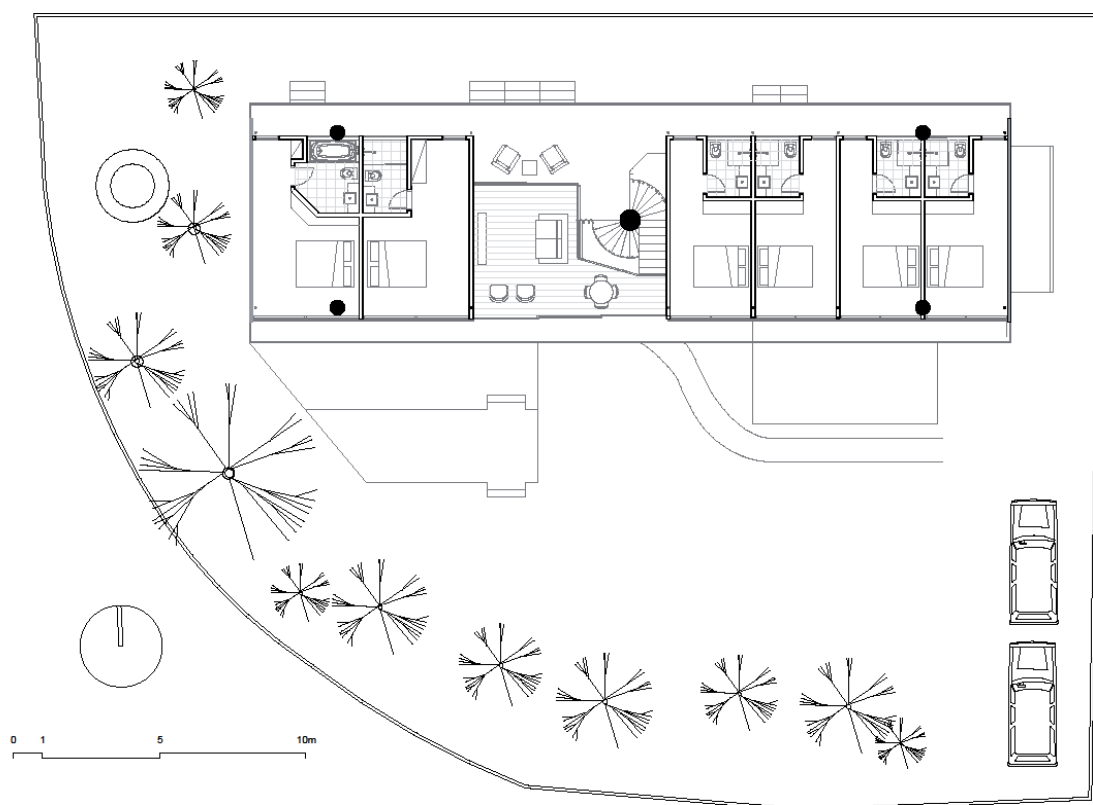


Figura 40 - Planta Pav1 (sem cor). Fonte: AUTOR (2017).

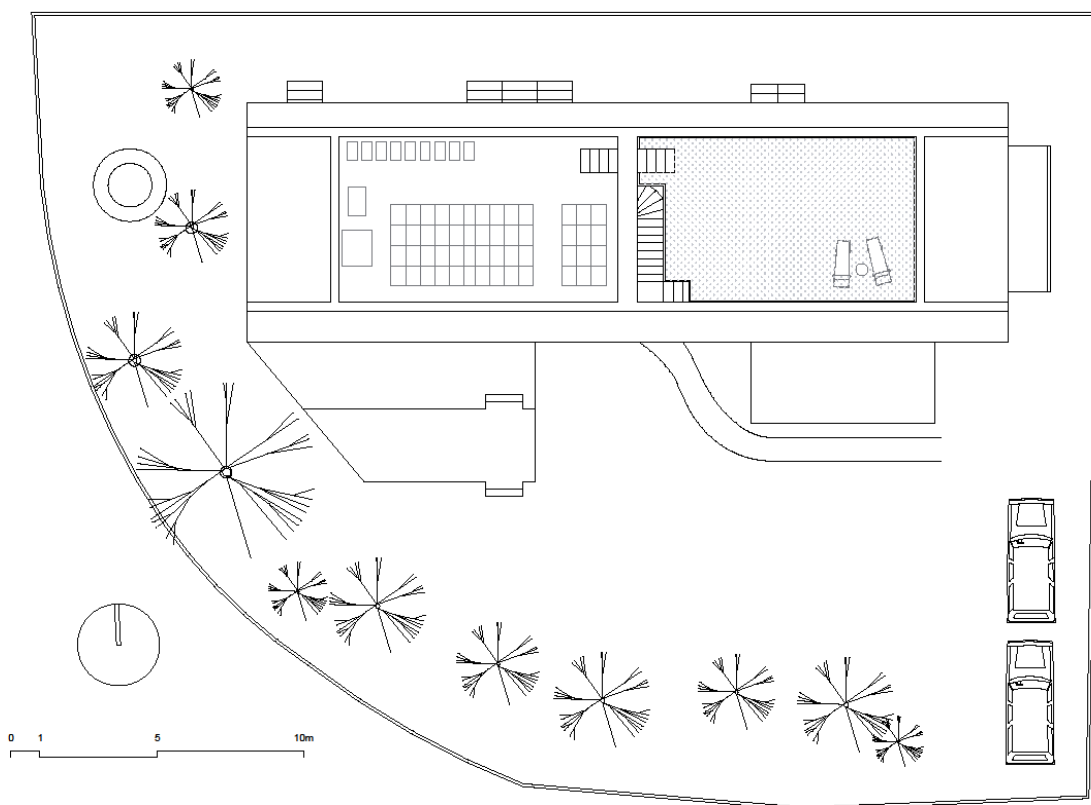


Figura 41 - Planta cobertura (sem cor). Fonte: AUTOR (2017).



Figura 42 - Esquema 3D - Fachada frontal. Fonte: AUTOR (2017).



Figura 43 - Esquema 3D - Insolação conseguida com afastamento da implantação ao muro dos fundos. Fonte: AUTOR (2017).



Figura 44 - Esquema 3D - Entrada à esquerda e ideia da vegetação no centro abaixo da escada central. Fonte: AUTOR (2017).

4.2. Projeto de Estrutura

A definição de uma arquitetura não ordinária, que não se restringe aos métodos construtivos mais amplamente difundidos, tem impactos diretos na resolução da estrutura, e esse é um ponto interessante no trabalho, pois se trata de uma interação que o grupo tinha interesse de explorar quando decidiu abordar o projeto em questão.

A solução inicial arquitetura foi definida segundo configurações do cliente, de início prevendo a separação entre a casa e a edícula, e após decidindo pela integração das áreas destinadas a cada construção. Em ambos os casos, as principais implicações da arquitetura sobre a estrutura são referentes à estética e ao aproveitamento do espaço interior (diminuindo o uso de pilares e de vigas aparentes) junto a um partido arquitetônico que tem como premissa a elevação da estrutura.

A opção de material a ser utilizado na execução da estrutura foi feita pensando, além do ponto de vista estético e da flexibilidade em atender às formas estruturais, na capacidade de adaptação em relação aos demais sistemas, e disponibilidade de material e mão de obra para a execução.

Assim, o uso do concreto armado se mostrou como boa solução, uma vez que a combinação entre concreto e aço garante ótimo comportamento em face à maioria dos esforços presentes na estrutura. Contudo, o desafio de liberar espaço interno nas áreas de uso exige que, uma vez adotada a solução de concreto armado, a disposição dos elementos seja pensada de forma estratégica, garantindo que a estrutura continue a desempenhar bem a sua função, não estando sujeita a rupturas (atendimento ao ELU) ou deslocamentos, fissuras e vibrações excessivas (atendimento ao ELS).

A principal condição estrutural para liberação de espaço interno e noção de amplitude proporcionada por grandes vãos foi o uso reduzido de pilares. O impacto estrutural se dá na diminuição dos pontos de apoio para a laje, o que se requer mais atenção quando se combina a ausência de vigas aparentes, deixando apenas o pano de lajes à mostra. O encaminhamento da solução levou à adoção de tirantes, a serem sustentados pelo pavimento superior.

A inspiração, presente nas obras de referência, remete ao clássico arranjo estrutural do MASP, como citado anteriormente, e requer da estrutura elementos resistentes de grande robustez. As cargas deverão caminhar das lajes para os tirantes, daí para as vigas e das vigas para os pilares, chegando então à fundação. Assim, as vigas deverão ter um maior porte, dado que sustentam mais do que uma laje e recebem cargas concentradas dos tirantes.

Para noções iniciais da ordem de grandeza da estrutura, foi realizado o pré-dimensionamento da construção, inicialmente para a disposição de casa separada da edícula e posteriormente para a configuração final dos ambientes em um só volume. Os resultados obtidos através das análises em FTool foram úteis para indicar soluções iniciais a serem adotadas no dimensionamento. Ao mesmo tempo, conferiram melhor visualização à solução arquitetônica e permitiram desenhos mais claros, onde já se tornava possível visualizar interações com outros sistemas.

Nesse ponto, foram estudadas as interfaces entre os sistemas, com destaque para os detalhes de acesso aos pavimentos superiores, fechamentos verticais, disposição dos tirantes e adequação à modulação dos ambientes.

A maior preocupação em relação à solução inicial estava relacionada às verificações de ELS. A NBR6118 apresenta roteiro de dimensionamento e verificação ao ELU e ELS, e há outros roteiros que sintetizam as etapas de cálculos, sendo considerada, por exemplo, a sequência de cálculo segundo a teoria das lajes de Czerny. Contudo, para desenvolvimento desse roteiro é necessária a classificação das lajes segundo critérios de apoio. Os grupos de lajes são divididos em modelos retangulares, com disposição variada dos apoios, que podem ser simplesmente apoiados ou engastados.

Para a Casa Guaecá, as singularidades das lajes representaram grande dificuldade na sua classificação segundo os tipos descritos na tabela. Havia preocupação principalmente em relação à função dos tirantes, que trabalham suportando parte da carga da laje do primeiro pavimento, aliviando flechas e contribuindo para o comportamento da estrutura. A atuação desses elementos possivelmente não seria considerada de forma correta ao se adotar uma das classificações. Além disso, o fato de se ter uma laje lisa, apoiada diretamente sobre os pilares, sem o uso de viga, tornava difícil a caracterização das regiões limites das lajes.

Assim, se fez a opção por utilizar um software de cálculo estrutural para avaliar a solução da estrutura, sendo a opção o sistema CAD/TQS. A alternativa de modelar de forma digital é ideal para estruturas diferenciadas, já que é possível maior aproximação entre o modelo e o comportamento real, além de tornar mais prática iterações da solução estrutural. Roteiros de cálculo geralmente incluem hipóteses simplificadoras, nem sempre aplicáveis a todos os modelos, levando a grandes aproximações e possivelmente a resultados com grandes margens de erro.

Para a criação dos modelos no TQS, foram tomados dados de entrada correspondentes às dimensões obtidas no pré-dimensionamento, mais tarde refinados através dos processamentos. A solução final foi definida após diversas iterações sobre o modelo, embora mantendo a mesma concepção estrutural de lajes atirantadas. A escolha foi realizada tomando como principal parâmetro o atendimento ao critério de flechas, no ELS. Para cada modelo, eram variadas as dimensões de um ou mais elementos estruturais, sendo analisado o impacto das mudanças em relação à solução anterior.

Uma vez atendido ao critério de flechas no ELS, foram verificados os limites de fissuração em trechos críticos de vigas e lajes.

4.2.1. Configuração inicial: casa e edícula como volumes independentes

A área construída tem projeção em planta aproximada de 8x20 m². A casa irá possuir dois andares, sendo a ideia inicial sustentar a estrutura em quatro pilares, com o uso de uma viga invertida no último nível, sustentando as lajes dos dois pavimentos. O suporte da laje da cobertura se dará diretamente pela ligação monolítica, enquanto a laje do 1º pavimento estará suspensa por tirantes e travada aos pilares para diminuição do comprimento de flambagem destes e para melhor travamento da estrutura.

A viga em questão irá atuar vencendo o extenso vão existente e resistindo ao peso das lajes. Ainda, de acordo com o projeto de arquitetura, as vigas irão servir de contorno a um teto verde e área aberta ao uso dos proprietários. Essas observações implicam em mudanças no valor médio de carga a ser considerado na cobertura.

Para dimensionamentos iniciais, os valores usuais de carga para edifícios de concreto variam de 1,0 a 1,2 tf/m² para pisos e 0,8 tf/m² para coberturas. Adaptando os valores para o empreendimento em questão, foi considerado o valor médio de 1,1 tf/m² para o piso, e para a cobertura foi tomado o valor de 1,2 tf/m², levando em conta a situação descrita anteriormente e pré-dimensionando a estrutura para maior coeficiente de segurança.

Vale ponderar que os carregamentos adotados, assim como as fórmulas utilizadas a seguir, são indicados para o pré-dimensionamento de edifícios de múltiplos pavimentos em concreto armado, para lajes regulares de seção retangular, com vínculos de apoio bem definidos (engaste ou apoio simples, contínuo ao longo das bordas). O projeto prevê panos de laje lisos, com ausência de vigas, aliados ao uso de tirantes como pontos de apoio. Os resultados obtidos podem se distanciar do comportamento real da estrutura devido às nuances entre as condições de aplicação e de desenvolvimento das fórmulas.

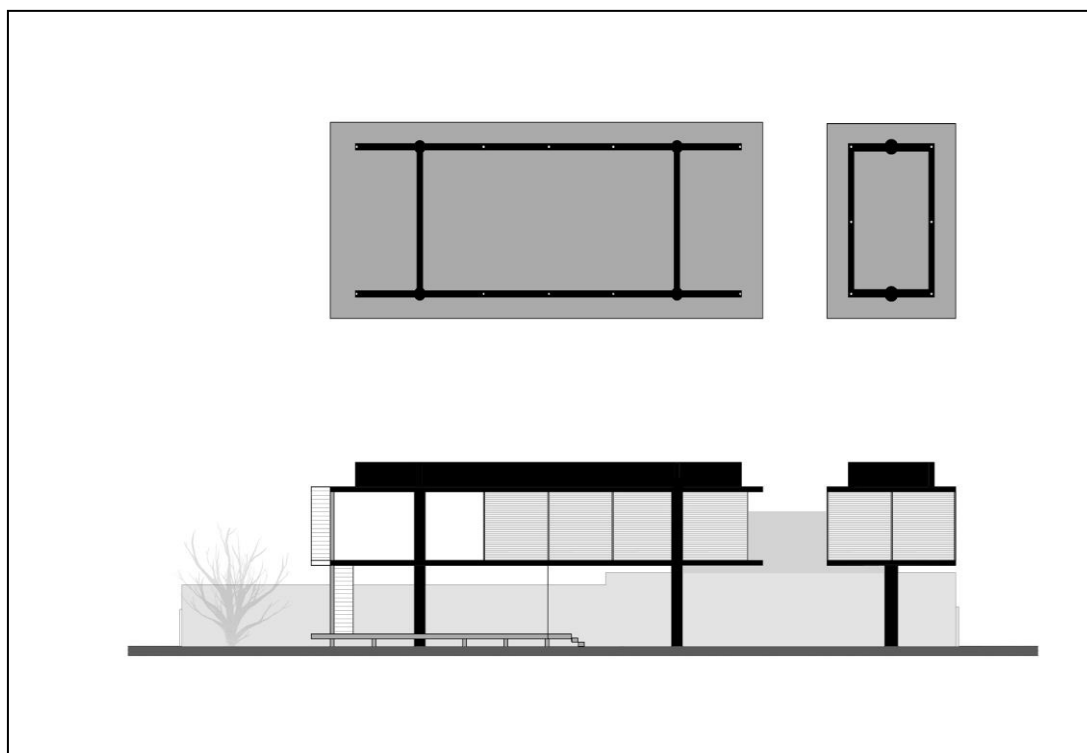


Figura 17 - Elevação e cobertura, com elementos estruturais destacados (2).
Fonte: AUTOR (2017).

4.2.1.1. Pré-dimensionamento: lajes

O dimensionamento das lajes é função dos vãos l_x e l_y , sendo l_x o menor vão da laje. O maior vão considerado, em ambos os pavimentos, é de 12 metros, tomado entre os dois pilares ao longo do maior comprimento da construção. O valor de l_x é de 8 metros.

Temos a condição em que $l_y < 2 \cdot l_x$, assim a altura calculada é de 20 cm, obtida a partir de:

$$h = 0,02 * \frac{l_x + l_y}{2}$$

4.2.1.2. Pré-dimensionamento: vigas

A dimensão das vigas é também dependente do vão em questão (l), de forma que $h = 0,1 \cdot l$. Por esses critérios, as vigas teriam alturas de 1,2m no vão de 12 metros e 0,6 m no vão de 6 metros. Foi adotada a altura de 1,0 m comum a todos os trechos da viga invertida.

4.2.1.3. Pré-dimensionamento: pilares e tirantes

Para o pré-dimensionamento dos pilares foram consideradas as cargas de 1,1 tf/m² no piso do 1º pavimento e 1,2 tf/m² na cobertura, como citados anteriormente. A

seguir, foram definidas áreas de influência que, no caso, eram idênticas para todos os pilares. Calcula-se a seção, para cada pilar:

$$A = \frac{P}{0,1} (cm^2)$$

A tabela abaixo apresenta possibilidades de seção retangular ou circular. Para o primeiro caso, sendo fixado um dos lados, o outro foi obtido a partir da área calculada. A seção circular sai diretamente da área calculada.

Tabela 1 - Pré-dimensionamento dos pilares em configuração inicial.

Pré-dimensionamento pilares									
Pilar	Apiso (m²)	P (tf)	Acob (m²)	P (tf)	Apilar (cm²)	b (cm)	h (cm)	D (cm)	Seção adotada
P1	40,0	44,0	40,0	48,0	920,0	20	46	34	D = 50 cm
P2	40,0	44,0	40,0	48,0	920,0	20	46	34	D = 50 cm
P3	40,0	44,0	40,0	48,0	920,0	20	46	34	D = 50 cm
P4	40,0	44,0	40,0	48,0	920,0	20	46	34	D = 50 cm

A seção adotada é circular e apresenta considerável margem acima da calculada. A decisão se deu devido à robustez das vigas que se apoiam nos pilares aqui dimensionados. Assim, buscou-se uma seção de maior diâmetro, de forma que as vigas e os pilares apresentassem inércia de ordem mais próxima. Dessa forma, são evitadas deformações decorrentes de ligações não rígidas entre os elementos. A adoção de seção circular parte de definições da arquitetura.

Tabela 2 - Estimativa de cargas nos tirantes em configuração inicial.

Cargas nos tirantes					
Tirante	l ₁	l ₂	A (m²)	P (tf)	P (kN)
T1	2,5	4,0	10,0	11,0	110,0
T2	4,0	4,0	16,0	17,6	176,0
T3	4,0	4,0	16,0	17,6	176,0
T4	2,5	4,0	10,0	11,0	110,0
T5	2,5	4,0	10,0	11,0	110,0
T6	4,0	4,0	16,0	17,6	176,0
T7	4,0	4,0	16,0	17,6	176,0

T8	2,5	4,0	10,0	11,0	110,0
----	-----	-----	------	------	-------

4.2.1.4. Modelagem em FTool: considerações e resultados

Em posse das dimensões dos elementos estruturais, foi desenvolvido um modelo utilizando o software FTool, para que pudessem ser obtidas mais informações sobre a estrutura e seu comportamento.

Para criação do modelo, foram feitas algumas considerações. São elas:

- Aproximação e utilização de simetria para definição de áreas de influência;
- Caminhamento de cargas passando de laje a vigas (carregamento linear) e de vigas a pilares (carregamento concentrado);
- Trechos da laje que passam pelas linhas de tirantes do piso do 1º pavimento trabalhando como viga;
- Desconsideração do piso elevado do térreo no modelo, uma vez que este se apoia no solo;
- Tirantes trabalhando apenas a cargas normais.

Os resultados são apresentados a seguir.

[illegible]

Figura 47 - Diagrama de força cortante, em kN. Fonte: AUTOR (2017).

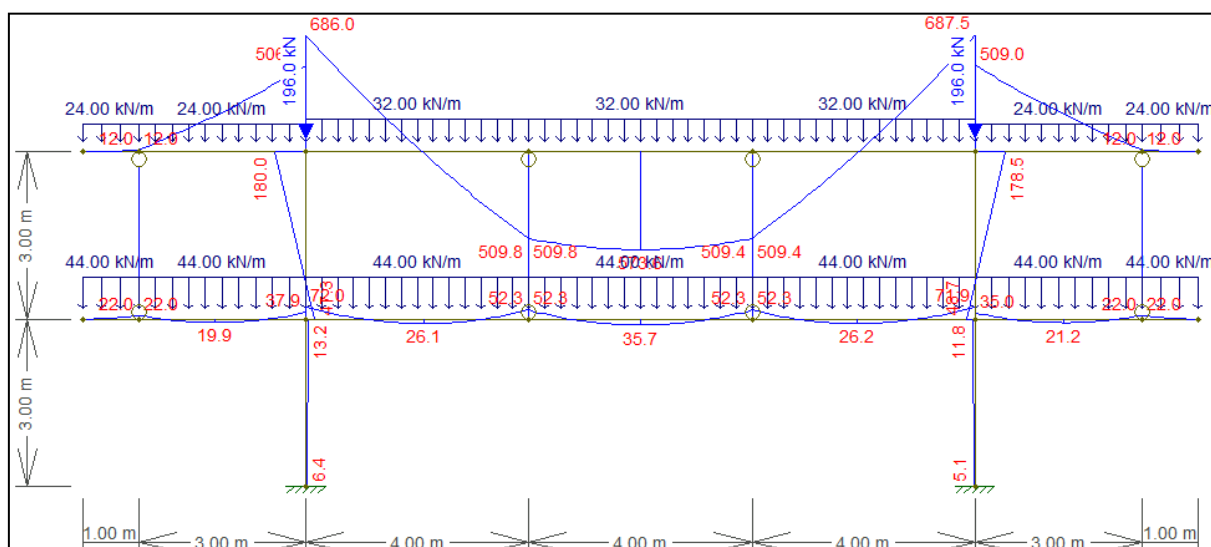


Figura 48 - Diagrama de momento fletor, em kN.m. Fonte: AUTOR (2017).

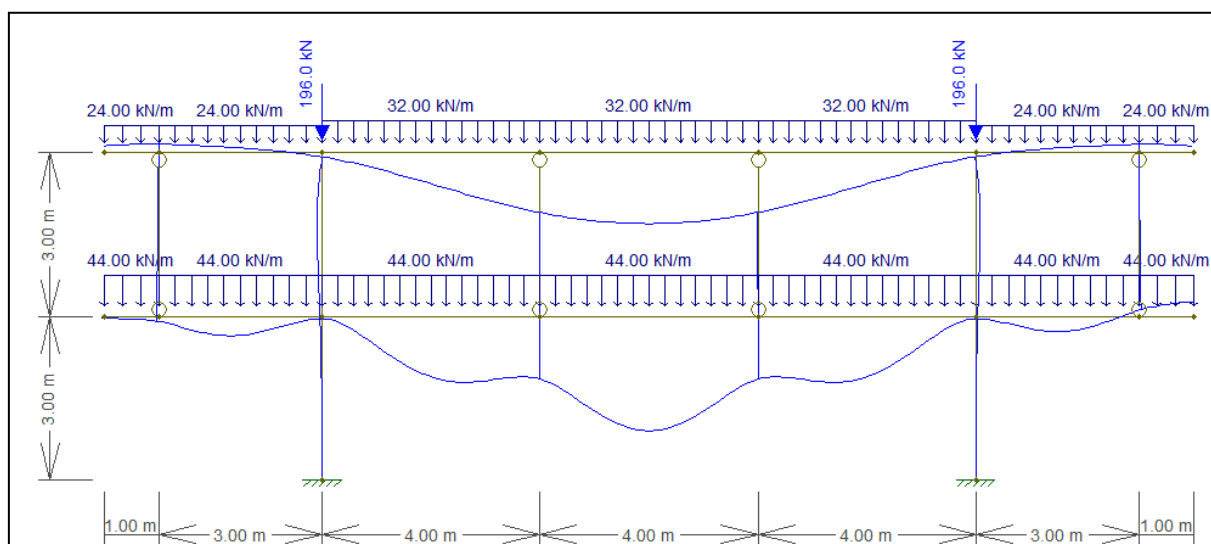


Figura 49 - Diagrama de deformação da estrutura. Fonte: AUTOR (2017).

Deslocamentos máximos no vão central:

- Cobertura: -1,5 cm
- 1º pavimento: -2,5 cm.

Limites:

$$flecha\ diferida = l/250$$

- Cobertura: $12/250 = -4,8$ cm
- 1º pavimento: $4/250 = -1,6$ cm

A estrutura definida apresenta bom comportamento estrutural, e responde bem aos esforços a que é apresentada. Contudo, nota-se que deve haver maior

preocupação referente às flechas desenvolvidas, devido aos grandes vãos praticados. O valor encontrado para a flecha no vão central do 1º pavimento excede o limite definido em norma, que considera $l/250$. Entretanto, em face às características do empreendimento e às possibilidades de aprimoramento que a solução oferece, o grupo entendeu que essa era uma definição apropriada para apresentação em fase de pré-dimensionamento.

Como feedback da arquitetura, por questões de distribuição do layout e para se aproveitar a simetria, foi pensada a inserção de um par de tirantes adicionais, um por viga, no vão de 12 m, colaborando com a diminuição da flecha.

São apresentados os novos valores de esforços solicitantes e a nova deformada da estrutura, considerada a adição do tirante.

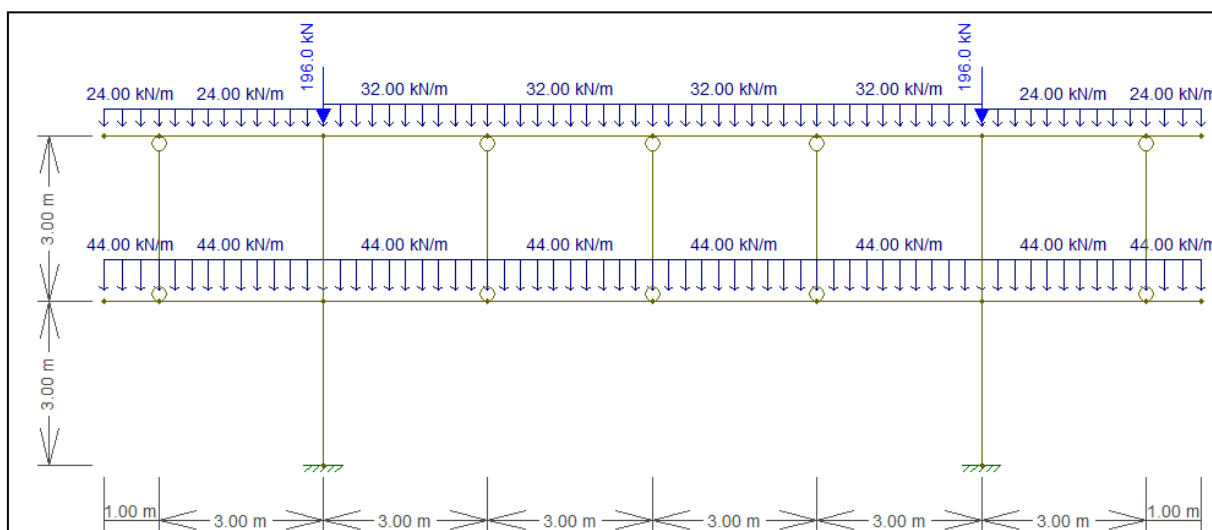


Figura 50 - Modelo e carregamentos da estrutura, considerando a adição de tirante. Fonte: AUTOR (2017).

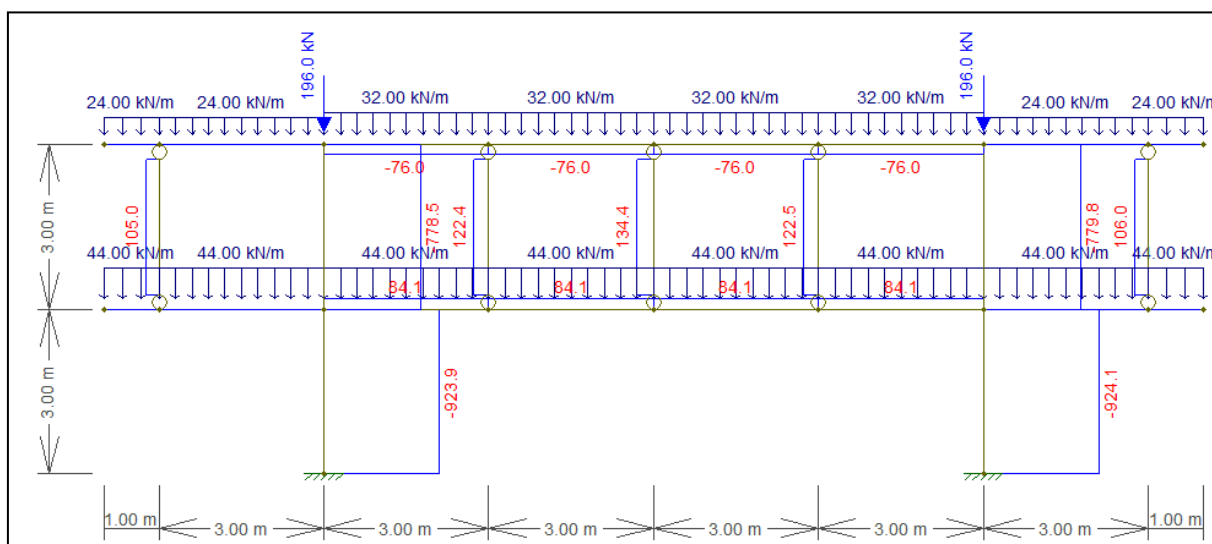


Figura 51 - Diagrama de força normal, em kN, considerando a adição de tirante. Fonte: AUTOR (2017).

[illegible]

The diagram illustrates a two-story, two-bay frame structure. The total height is 6.00 m, with each story being 3.00 m high. The total length is 18.00 m, with each bay being 3.00 m wide. The structure is supported by two fixed supports at the base. The top horizontal members are subjected to a uniformly distributed load of 24.00 kN/m. The bottom horizontal members are subjected to a uniformly distributed load of 44.00 kN/m. The vertical members are subjected to a point load of 196.0 kN at the top. The diagram also shows the resulting bending moment distribution, with moments in kN/m indicated at the joints.

Figura 54 - Diagrama de deformação, considerando a adição de tirante. Fonte: AUTOR (2017).

A nova solução reduz o valor crítico de flecha (no 1º pavimento). Nos vãos centrais, temos agora os seguintes valores:

- Cobertura: -1,6 cm (valor próximo ao caso anterior)
- 1º pavimento: -1,8 cm (redução de 0,7 cm)

4.2.2. Configuração final: casa com volume da edícula incorporado

Para a nova configuração, a área construída passa a ser 8,2x26 m², sendo mantido o mesmo número de pavimentos. É mantido o mesmo arranjo estrutural, consistindo de reduzido número de pilares, e lajes sustentadas por tirantes e vigas invertidas. No entanto, a disposição de apenas quatro pilares resultaria em um vão de 20 metros e lajes em balanço de 3 metros. Para garantir vãos tão extensos, as alturas de viga tornariam inviável o projeto. Assim, um novo lançamento de pilares e vigas deve ser estudado, ainda preocupado com a liberdade de espaço interno e sensação de amplitude dada por grandes vãos.

De forma imediata, a adição de novo par de pilares no centro da casa a resolveria estruturalmente, reduzindo o vão das lajes de 20 para 10 metros. Contudo, em interações com a arquitetura, a solução mostrou conflitos com o uso do espaço e com a sensação e vista que se pretendia oferecer aos usuários. Uma questão paralela revolve em torno da solução a ser adotada para a escada, assim como seu ponto de instalação e forma de execução.

A solução foi definida adicionando-se um pilar no ponto central da casa, associado a uma nova viga. As vigas já existentes irão descarregar parte de sua carga na viga central, e as cargas caminharão por essa viga, seguindo através do novo pilar até a fundação. Os novos elementos deverão ter maior robustez, uma vez que seu carregamento será cerca de duas vezes aquele dos demais.

As cargas consideradas serão mantidas, e os vãos entre lajes serão considerados de 10 metros. As formulações utilizadas são aquelas apresentadas no item 4.2.1, sendo mantidos os carregamentos das lajes e o vão passa a ser considerado de 10 metros. São mantidas as ressalvas feitas anteriormente: os carregamentos e fórmulas adotados são indicados para pré-dimensionamento de edifícios de múltiplos pavimentos em concreto armado, com lajes regulares de seção retangular, e apoios bem definidos.

4.2.2.1. Pré-dimensionamento: lajes

A projeção da área construída representa acréscimo de 6 metros na maior direção. Embora os pilares de canto distem 20 m entre si, o vão considerado para os cálculos iniciais será menor. A adição de um pilar robusto garante maior rigidez à região central, e nele se pretende travar parte da laje inferior.

De forma complementar, a sustentação das lajes pelos tirantes será melhor avaliada: embora implementados na solução anterior, sua atuação não foi pensada no pré-dimensionamento. Para os cálculos a seguir, foi feita a consideração de que os tirantes, atuando como apoios elásticos ou molas, irão conferir um comportamento intermediário às lajes. Não se pode admitir que o vão seja aquele entre os tirantes (já que não se trata de apoios rígidos nem contínuos), mas é intuitivo admitir que o comportamento da laje seja melhorado, quando considerado o apoio simples sobre pilares. Ao se tomar um vão qualquer, é esperado que as flechas praticadas sem o uso de tirantes sejam muito superiores ao caso em que se faz uso destes.

Feitas as considerações a respeito da atuação do pilar central e dos tirantes, resultam dimensões de 8m e 10 m para os lados dos panos de laje. Tais dimensões são bem semelhantes aos valores calculados no item 4.2.1, e o resultado está dentro do esperado para o caso, adota-se novamente uma laje de 20 cm.

Embora as considerações realizadas possam ter incorrido em erro contra a segurança, a espessura de laje foi considerada um valor plausível, de acordo com projetos de referência. Assim, o grupo decidiu por manter o valor encontrado para a espessura da laje, sendo este verificado em etapas posteriores.

Tabela 3 - Pré-dimensionamento das lajes.

Lados		Altura	
		$l_y < 2l_x$	$l_y > 2l_x$
l_x (m)	l_y (m)	h (m)	h (m)
8	10	0,18	0,36

4.2.2.2. Pré-dimensionamento: vigas

A estimativa para altura das vigas se manteve em 1 m, em função de um décimo do comprimento dos vãos. Para buscar otimização, os modelos iniciais em TQS foram construídos com altura de 80 cm.

4.2.2.3. Pré-dimensionamento: pilares e tirantes

A nova área construída e a inserção de um novo pilar implicam em novas áreas de influência para o dimensionamento. Os resultados, embora ainda atendam à seção adotada anteriormente, indicam o acréscimo de carga no pilar central em relação aos demais. Para responder melhor a esse carregamento elevado, é possível que o pilar P5 seja revisado para uma seção maior. As áreas A_{i1} e A_{i2} se referem às áreas de influência respectivas ao 1º pavimento e à cobertura.

Tabela 4 - Pré-dimensionamento dos pilares em configuração final.

Pilar	A_{i1} (m ²)	P_1 (tf)	A_{i2} (m ²)	P_2 (tf)	A (cm ²)	b (cm)	h (cm)	D (cm)	Seção adotada
P1	32,0	35,2	32,0	38,4	736,0	20	37	31	D = 50 cm
P2	32,0	35,2	32,0	38,4	736,0	20	37	31	D = 50 cm
P3	32,0	35,2	32,0	38,4	736,0	20	37	31	D = 50 cm
P4	32,0	35,2	32,0	38,4	736,0	20	37	31	D = 50 cm
P5	80,0	88,0	80,0	96,0	1840,0	20	92	48	D = 50 cm

Tabela 5 - Cargas estimadas nos tirantes em configuração final.

Tirante	L1	L2	A_i	P (tf)	P (kN)
P1	1,5	4	6	6,6	66,0
P3	5,65	4	22,6	24,9	248,6
P4	5,3	4	21,2	23,3	233,2
P5	3	4	12	13,2	132,0
P6	3	4	12	13,2	132,0
P8	1,5	4	6	6,6	66,0
P10	1,5	4,2	6,3	6,9	69,3
P12	5,65	4,2	23,73	26,1	261,0
P13	5,3	4,2	22,26	24,5	244,9
P14	3	4,2	12,6	13,9	138,6
P15	3	4,2	12,6	13,9	138,6
P17	1,5	4,2	6,3	6,9	69,3

Tabela 6 - Pré-dimensionamento dos tirantes em configuração final.

	Maior carga		Menor Carga	
	260	kN	66	kN
CA50	500	Mpa	500	Mpa
seção	0,00052	m ²	0,000132	m ²
Área	5,2	cm ²	1,32	cm ²
Raio	1,28655	cm ²	0,648204	cm ²
D	2,5731	cm	1,296409	cm

D	25,731	mm	12,96409	mm
Ø	32	mm	20	mm
Øadotado	40	mm	40	mm

Na Tabela 5, a partir das áreas de influência do 1º pavimento, são estimadas as cargas para os tirantes. O cálculo do tirante a ser utilizado considera seção maciça de aço estrutural CA50. A adoção de bitola superior à calculada visa conferir maior rigidez aos tirantes, combatendo o alongamento do aço e evitando problemas de vibração.

É importante prever proteção emborrachada ou em PVC para os tirantes. O intuito é a proteger o aço devido ao ambiente de forte agressividade ambiental (salinidade marinha) e também permitir que o tirante trabalhe independente da argamassa, para o caso de estar embutido nas paredes de alvenaria.

4.2.2.4. Criação de modelo em software

Os modelos calculados a partir do CAD/TQS utilizam como base a NBR6118:2014. Para criação do modelo foram definidos os pavimentos, o tipo de modelo estrutural, as características de material e cargas de vento. O tipo de estrutura foi definido como concreto armado, em modelo de vigas, pilares e grelha de lajes planas.

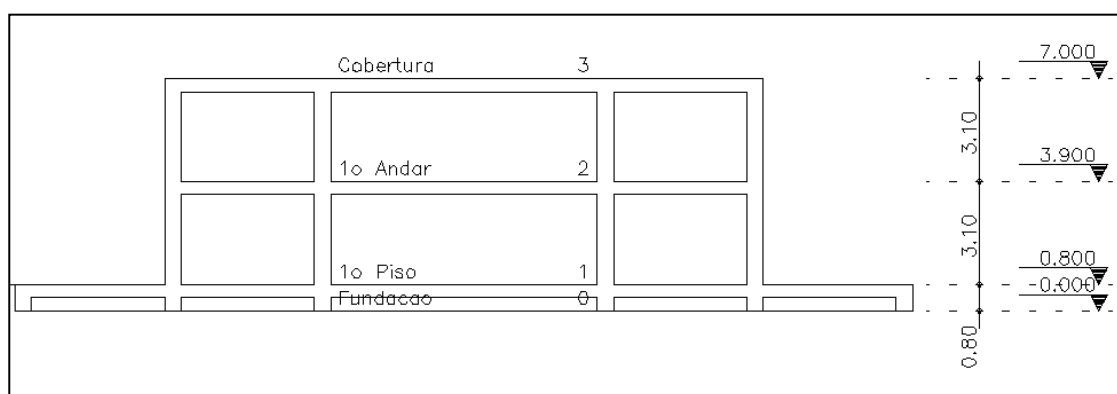


Figura 55 - Corte esquemático do edifício.
Fonte: AUTOR (2017).

A classe de agressividade ambiental foi definida como III – Forte – Marinha/Industrial, para concreto classe C45 ($f_{ck} = 45 \text{ Mpa}$), utilizado em todos os pavimentos e em todos os elementos estruturais. Os cobrimentos, de acordo com a classe de agressividade definida, foram estabelecidos segundo as recomendações de norma e constam na Figura 56.

Tabela 7 - Classes de agressividade ambiental. Fonte: NBR6118:2014.

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Frac	Rural	Insignificante
		Submersa	
II	Moderada	Urbana ^{a, b}	Pequeno
III	Forte	Marinha ^a	Grande
		Industrial ^{a, b}	
IV	Muito forte	Industrial ^{a, c}	Elevado
		Respingos de maré	

Tabela 8- Correspondência entre a classe de agressividade e a qualidade do concreto.
Fonte: NBR6118:2014.

Concreto ^a	Tipo ^{b, c}	Classe de agressividade (Tabela 6.1)			
		I	II	III	IV
Relação água/cimento em massa	CA	≤ 0,65	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,45
	CP	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,50	≤ 0,45
Classe de concreto (ABNT NBR 8953)	CA	≥ C20	≥ C25	≥ C30	≥ C40
	CP	≥ C25	≥ C30	≥ C35	≥ C40

Gerais | Modelo | Pavimentos | Materiais | Cobrimentos | Cargas | Critérios | Gerenciamento

Cobrimentos em cm

	Inferior	Superior	Diferença secundária	
Lajes em geral	3.5	3.5	1	1
Lajes protendidas	4	4	1	
Vigas	4			
Pilares	4			
Fundações	4		1	

Valores de norma

Valores diferenciados por planta

Pré-moldados

Fatores atenuantes

☐ Rígido controle de qualidade e de tolerância de medidas na obra

Cobrimento de elementos em contato com o solo em cm

Vigas e lajes	4	Pilares	4.5
---------------	---	---------	-----

Verificação de cobrimentos mínimos

Maior altura de laje	60	mm
Maior bitola de viga/pilar	25	mm
Maior bitola de lajes	12.5	mm

☐ Desativar a verificação dos cobrimentos mínimos

Classe de agressividade ambiental

III - Forte - Marinha / Industrial

Alterar

Figura 56 – Janela de propriedades de cobrimento, estabelecidos segundo NBR6118:2014.
Fonte: AUTOR (2017).

A velocidade básica do vento foi aproximada a partir do mapa de isopletras, sendo obtido o valor de 38 m/s para a região do litoral norte de São Paulo. Essa

velocidade é definida na NBR6123:1988 como a “velocidade de uma rajada de 3s, excedida em média uma vez em 50 anos, a 10 m acima do terreno, em campo aberto e plano”.

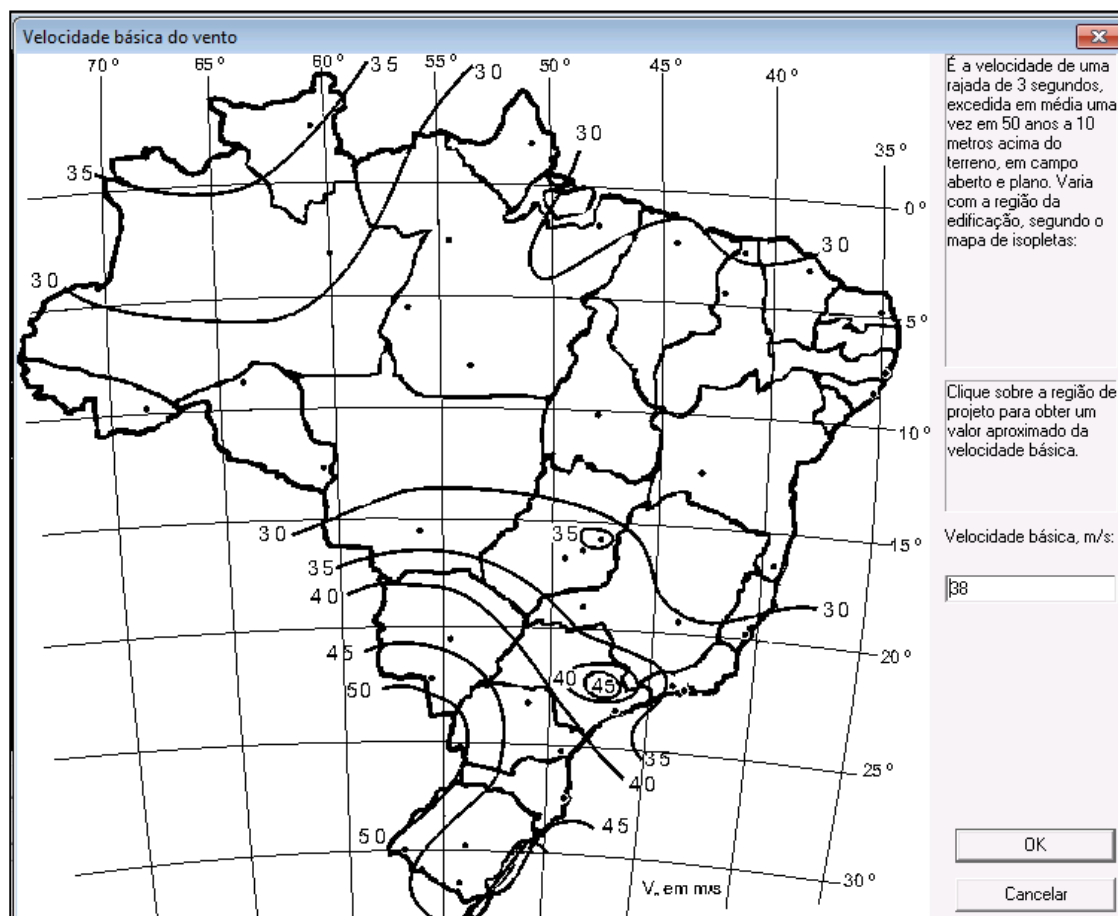


Figura 57 - Mapa de isopletras, adaptado da NBR6123:1988. Fonte: AUTOR (2017).

Fornecidas as propriedades gerais do edifício, foi iniciado o lançamento da estrutura, fazendo uso da planta de arquitetura para locação. A sequência de lançamento da estrutura foi feita para cada pavimento, se iniciando pelos pilares, seguidos por vigas e então lajes. Feito o lançamento das lajes foram inseridos, em etapa posterior, os carregamentos adicionais, que no projeto foram:

- Cargas lineares: paredes de alvenaria, caixilharia, carregamento de escada.
- Cargas por área: reservatório de água, boiler, unidades de ar condicionado.

Além da definição dos elementos estruturais dos pavimentos, é possível definir o tipo de fundação, conforme Figura 59.

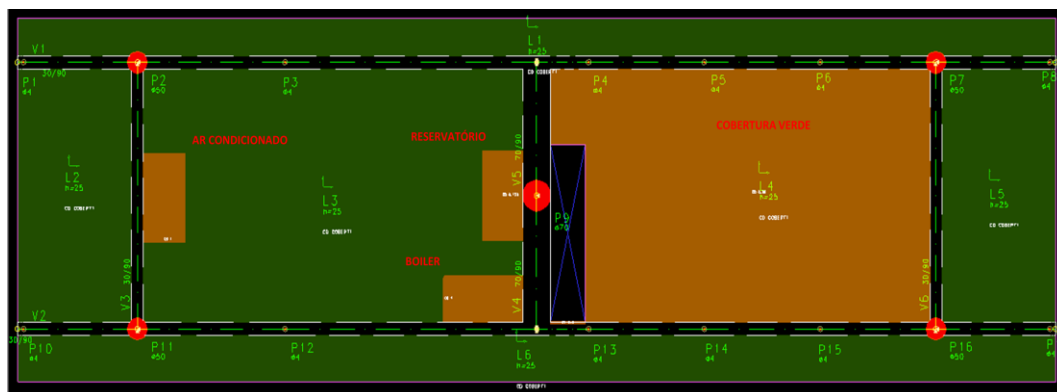


Figura 58 - Planta da cobertura, após lançamento dos elementos estruturais e inserção das cargas adicionais.
Fonte: AUTOR (2017).

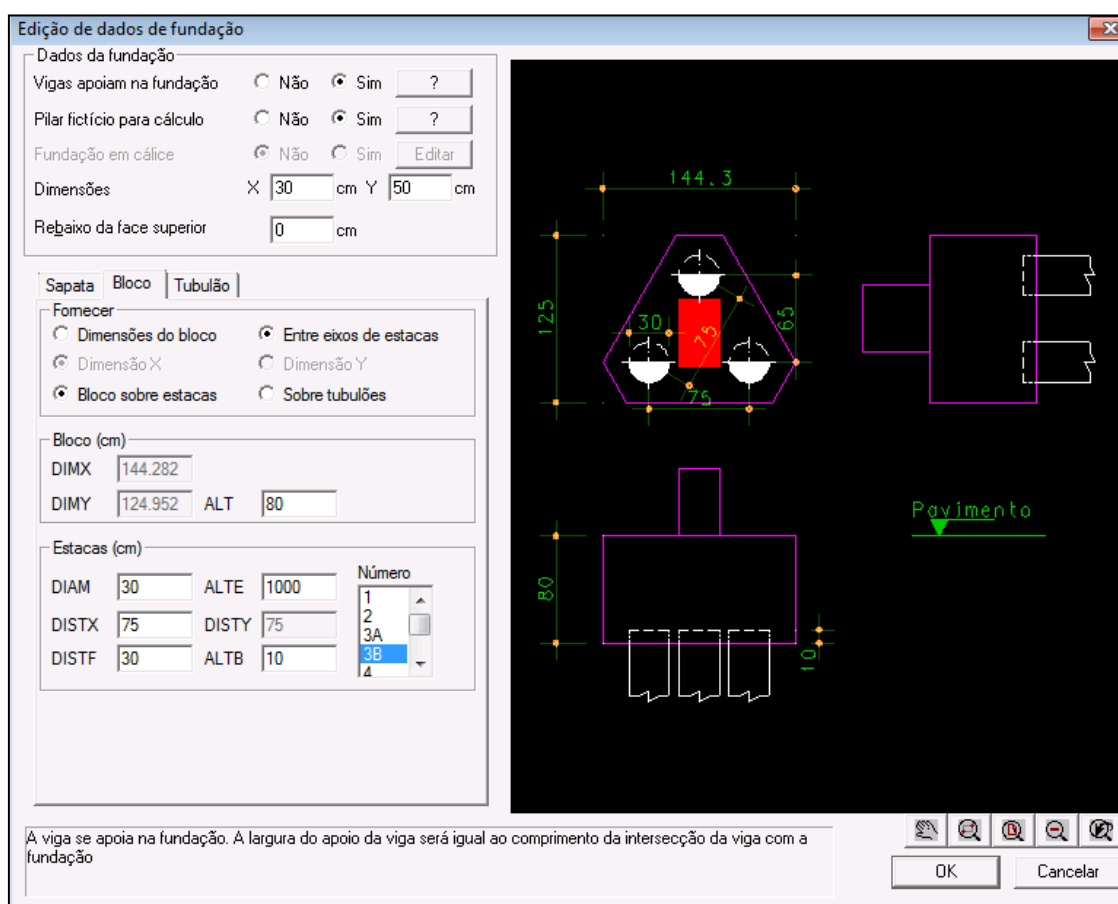


Figura 59 - Janela de edição dos dados de fundação. Fonte: AUTOR (2017).

Finalizado o lançamento da estrutura e a edição de seus elementos, foi realizado seu processamento, no qual foram verificados, calculados e detalhados os pilares, vigas e lajes. Os blocos de fundação tiveram suas dimensões pré-definidas, mas não foi realizado o seu detalhamento.

4.2.2.5. Evolução dos modelos

O modelo inicial foi elaborado ainda com base em uma estrutura que não compreendia o volume da edícula. Assim, as dimensões eram menores, com o comprimento longitudinal de 12 metros e, embora já estivessem definidos os tirantes e as lajes em balanço, o modelo foi montado desconsiderando esses elementos. A ideia era partir de um modelo padrão, ao qual seriam adicionados os elementos mais complexos. Em relação aos carregamentos, foram definidos apenas os carregamentos de uso de cada ambiente, e o peso próprio da estrutura, fornecidos pela própria ferramenta. Os carregamentos adicionais, de alvenaria, do reservatório, de equipamentos de ar condicionado e de água quente, a serem incididos nas lajes do 1º pavimento e da cobertura, não foram considerados nas iterações iniciais dos modelos.

Características principais:

- modelo básico, inicial
- sapatas como elemento de fundação
- pilares de seção retangular
- ausência de tirantes
- laje do primeiro pavimento sem vigas
- lajes em balanço com dimensões irregulares e não definitivas

Os limites de deslocamento foram calculados segundo a tabela 13.2 da NBR6118:2014. O limite considerado foi aquele que afeta os elementos estruturais. Para evitar o controle em elementos não estruturais, estão previstos detalhes nas vedações verticais que garantam comportamento independente em relação à estrutura. Assim, o valor limite é dado pela aceitabilidade sensorial.

$$flecha\ total\ (diferida) \leq \frac{l}{250}$$

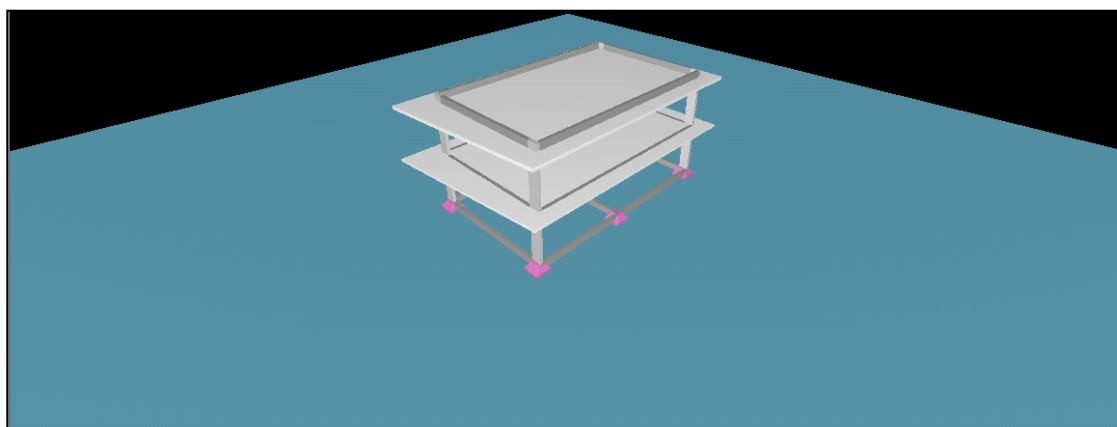
Os valores de deslocamentos obtidos no visualizador de pórticos do TQS incorporam os deslocamentos por deformação lenta de forma simplificada, através de um fator multiplicativo.

Tabela 9 - Limites para deslocamentos. Fonte: NBR6118:2014.

Tipo de efeito	Razão da limitação	Exemplo	Deslocamento a considerar	Deslocamento limite
Aceitabilidade sensorial	Visual	Deslocamentos visíveis em elementos estruturais	Total	$\ell / 250$
	Outro	Vibrações sentidas no piso	Devido a cargas acidentais	$\ell / 350$
Efeitos estruturais em serviço	Superfícies que devem drenar água	Coberturas e varandas	Total	$\ell / 250^{1)}$
	Pavimentos que devem permanecer planos	Ginásios e pistas de boliche	Total	$\ell / 350 + \text{contraflecha}^{2)}$
			Ocorrido após a construção do piso	$\ell / 600$
	Elementos que suportam equipamentos sensíveis	Laboratórios	Ocorrido após nivelamento do equipamento	De acordo com recomendação do fabricante do equipamento
Efeitos em elementos não estruturais	Paredes	Alvenaria, caixilhos e revestimentos	Após a construção da parede	$\ell / 500^{3)}$ ou 10 mm ou $\theta = 0,0017 \text{ rad}^{4)}$
		Divisórias leves e caixilhos telescópicos	Ocorrido após a instalação da divisória	$\ell / 250^{3)}$ ou 25 mm
		Movimento lateral de edifícios	Provocado pela ação do vento para combinação freqüente ($\psi_1=0,30$)	$H/1700$ ou $H/850^{5)}$ entre pavimentos ⁶⁾
		Movimentos térmicos verticais	Provocado por diferença de temperatura	$\ell / 400^{7)}$ ou 15 mm
	Forros	Movimentos térmicos horizontais	Provocado por diferença de temperatura	$H/500$
		Revestimentos colados	Ocorrido após construção do forro	$\ell / 350$
		Revestimentos pendurados ou com juntas	Deslocamento ocorrido após construção do forro	$\ell / 175$
	Pontes rolantes	Desalinhamento de trilhos	Deslocamento provocado pelas ações decorrentes da frenagem	$H/400$
Efeitos em elementos estruturais	Afastamento em relação às hipóteses de cálculo adotadas	Se os deslocamentos forem relevantes para o elemento considerado, seus efeitos sobre as tensões ou sobre a estabilidade da estrutura devem ser considerados, incorporando-os ao modelo estrutural adotado.		

Tabela 10 - Características gerais do modelo 1.

Modelo	Dimensões em planta (m²)		Altura da laje (cm)	Seção dos Pilares				Seção das vigas da cobertura		ϕ tirantes (cm)	Flecha (cm)		Limite (cm)		Cargas adicionais
				Canto	Central						Vão	Balanço	Vão	Balanço	
1	8	12	15	20	60	-	-	20	60	-	22,9	7,4	4,8	0,2	Não

**Figura 60 - Modelo 1: representação do pórtico espacial. Fonte: AUTOR (2017).**

Devido a dificuldades encontradas na interpretação de erros após o processamento do primeiro modelo, foi gerado um modelo mais simples, com elementos de formas mais regulares, que conferissem maior estabilidade à estrutura, e que permitisse mudanças parciais em sua complexidade.

Principais alterações:

- mudança de vigas invertidas para vigas comuns
- exclusão dos balanços
- aumento na largura da seção das vigas
- laje do 1º pavimento apoiada em vigas

As mudanças resultaram em menor valor de flecha no vão principal e maior controle sobre o processamento do edifício.

Tabela 11 - Características gerais do modelo 2.

Modelo	Dimensões em planta (m²)		Altura da laje (cm)	Seção dos Pilares				Seção das vigas da cobertura		Ø tirantes (cm)	Flecha (cm)		Limite (cm)		Cargas adicionais
				Canto		Central					Vão	Balanço	Vão	Balanço	
1	8	12	15	20	60	-	-	20	60	-	22,9	7,4	4,8	0,2	Não
2	8	12	15	30	50	-	-	30	60	-	11,8	-	4,8	-	Não

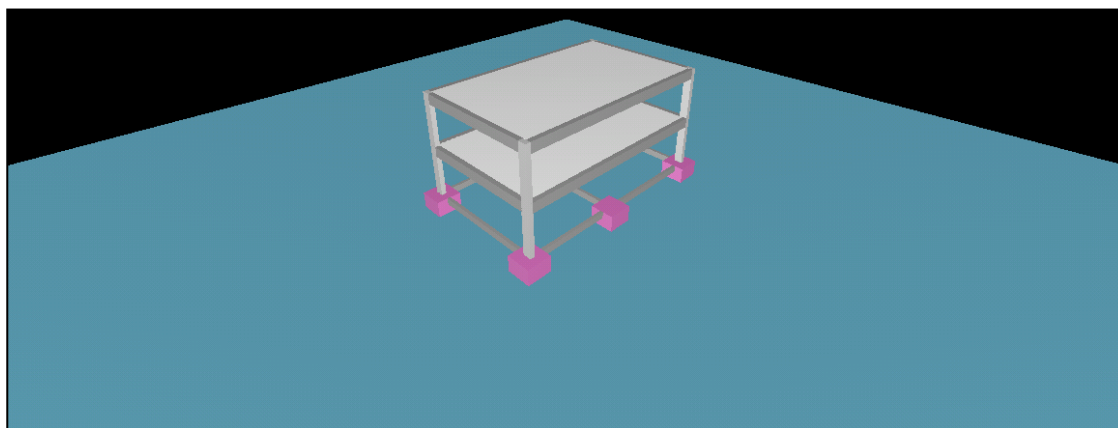


Figura 61 - Modelo 2: representação do pórtico espacial. Fonte: AUTOR (2017).

O modelo 3 passou a incorporar o volume da edícula, tendo sua área construída aumentada. Como consequência imediata, tendo um vão principal de 20 m, as flechas geradas estavam na ordem de 75 cm. Dessa forma, foram adicionados pilares na região central para simular o efeito dos tirantes, e reduzir a flecha para limites aceitáveis, enquanto outras modificações eram realizadas no modelo.

O uso de pilares, embora efetivo do ponto de vista estrutural, apresentava incompatibilidade com a arquitetura, pois bloqueava a vista e prejudicava o uso da área, principalmente no pavimento térreo. Além disso, a robustez dos pilares passou

a ser discutida, uma vez que as vigas da cobertura passaram a ter uma seção de grande inércia, fazendo necessário repensar as dimensões dos pilares, para obtenção de elementos estruturais de mesma ordem de rigidez. Essa discussão levou a alterações no modelo seguinte.

As vigas de apoio para a laje do 1º pavimento foram mantidas, mas consideradas como “vigas falsas”, de seção 20x25. Nesse momento, o lançamento das vigas no pavimento se fez necessário para definição do contorno das lajes.

As flechas apresentaram reduções significativas (11,8 para 3,7 cm), embora as cargas adicionais ainda não estivessem consideradas.

Tabela 12 - Características gerais do modelo 3.

Tabela 12 - Características gerais do modelo 3.															
Modelo	Dimensões em planta (m²)		Altura da laje (cm)	Seção dos Pilares				Seção das vigas da cobertura		Ø tirantes (cm)	Flecha (cm)		Limite (cm)		Cargas adicionais
				Canto		Central					Vão	Balanço	Vão	Balanço	
1	8	12	15	20	60	-	-	20	60	-	22,9	7,4	4,8	0,2	Não
2	8	12	15*	30	50	-	-	30	60	-	11,8	-	4,8	-	Não
3	8	26	20	30	50	30	60	30	80	-	3,7	1,2	4	1,2	Não

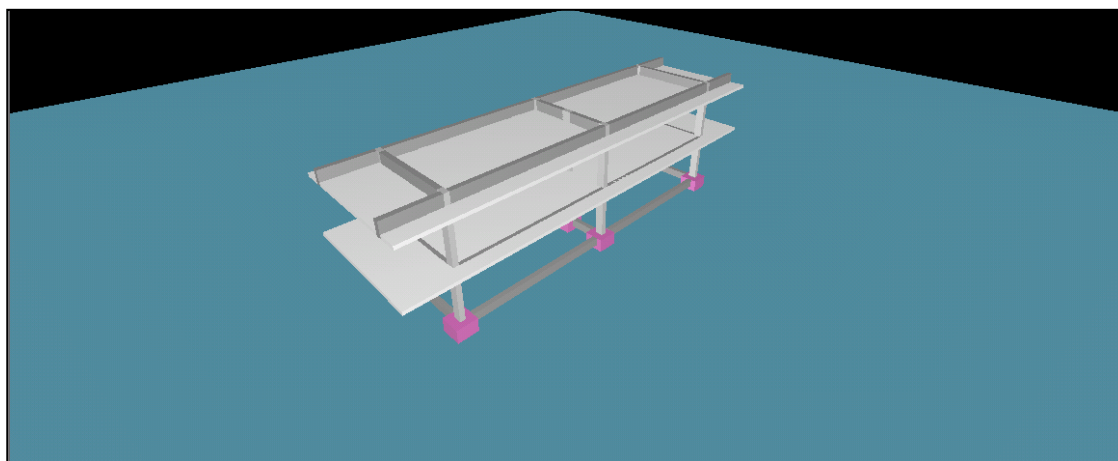


Figura 62 - Modelo 3: representação do pórtico espacial. Fonte: AUTOR (2017).

No modelo 4 foram realizadas alterações visando o aumento da rigidez da estrutura, ao passo em que se administrava o espaço útil do pavimento térreo. Complementando essa questão, a discussão da solução a ser adotada e do ponto de instalação da escada ajudaram a definir a disposição estrutural e a o arranjo de layout dos ambientes, envolvendo os projetos de engenharia e arquitetura.

A concepção inicial previa o acesso aos pavimentos superiores através de uma escada externa, faceando uma das laterais do edifício. Porém, por serem

regiões de menor rigidez, sustentadas por tirantes, a escada precisaria de uma estrutura rígida auxiliar. Assim, procurou-se fazer uso da necessidade de apoio na região central da casa de forma conjunta à solução da escada. A discussão passou por duas alternativas:

- manutenção dos pilares centrais como no modelo 3 e escada apoiada em viga inclinada, solidarizada aos pilares
- uso de pilar central, de seção mais robusta, com solução em escada caracol

Por atender tanto às questões estruturais quanto arquitetônicas, foi adotada a segunda opção. Entretanto, o uso de pilar central requeria a permanência da viga superior, e a exclusão dos pilares de borda aumentavam as exigências de rigidez tanto da viga quanto do pilar central.

Outra resolução se deu na adição dos tirantes, que a princípio se mostraram de difícil modelagem na interface do software estrutural. A configuração dos tirantes passou pela definição do tipo de material (aço estrutural), regime de trabalho (somente tração) e definição de articulações (rotulado na base e no topo). Foram mantidas as vigas falsas no 1º pavimento, uma vez que o lançamento de pilares na interface só é aceito sobre vigas. Na região de encontro tirante/laje está previsto um detalhe, conforme o item 4.2.2.3, onde consta também o pré-dimensionamento dos tirantes. A seção foi arbitrada inicialmente apenas de forma ilustrativa.

Para compreensão do lançamento dos tirantes no modelo estrutural, foi consultado o artigo “Lajes suspensas por tirantes”, por HERBERT MAEZANO (2009), específico para a interface TQS.

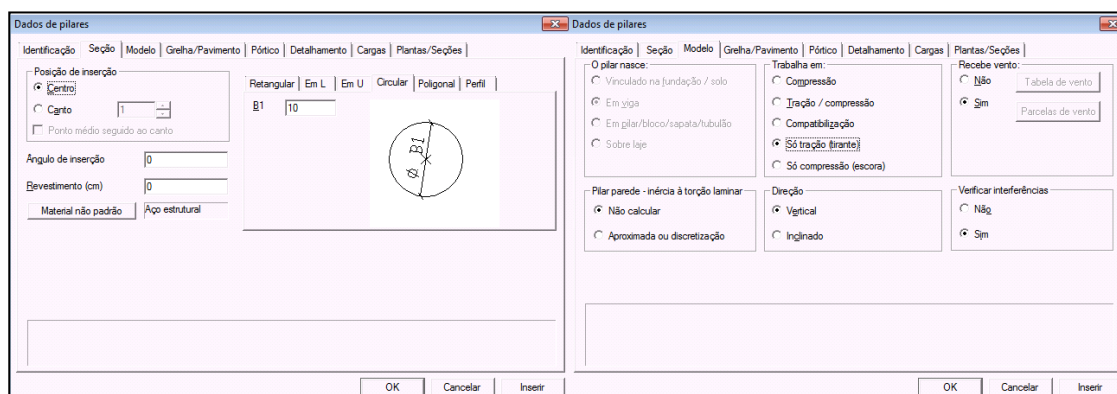


Figura 63 - Dados de lançamento de pilares/tirantes. Fonte: AUTOR (2017).

Projeto Guaecá 4 - 0001 - Pórtico TQS - Condições de Contorno para Geração de Pórtico Espacial

Redutor de Flexão | Redutor de Torção | **Articulação de Pilares** | Coeficientes de Molas | Pasta de Pilares

Articular o pilar: ☒ Na base e no topo ☐ Na base ☐ No Topo

Parâmetros de Articulação de Pilares

Pilar Inicial	Pilar Final	Pavimento	Piso Inicial	Piso Final
1	1	Todos	-1	
3	3	Todos	-1	
4	4	Todos	-1	
5	5	Todos	-1	
6	6	Todos	-1	
7	7	Todos	-1	
9	9	Todos	-1	
11	11	Todos	-1	
13	13	Todos	-1	

Inserir

Apagar

CONTPOR.DAT

Ajuda OK Cancelar

Figura 64 - Definição de condições de contorno para lançamento de tirantes. Fonte: AUTOR (2017).

Tabela 13 - Características gerais do modelo 4.

Modelo	Dimensões em planta (m²)		Altura da laje (cm)	Seção dos Pilares				Seção das vigas da cobertura		Ø tirantes (cm)	Flecha (cm)		Limite (cm)		Cargas adicionais
				Canto		Central					Vão	Balanço	Vão	Balanço	
1	8	12	15	20	60	-	-	20	60	-	22,9	7,4	4,8	0,2	Não
2	8	12	15*	30	50	-	-	30	60	-	11,8	-	4,8	-	Não
3	8	26	20	30	50	30	60	30	80	-	3,7	1,2	4	1,2	Não
4	8	26	20	Ø45		Ø60		30	80	10*	3,1	0,8	4	1,2	Não

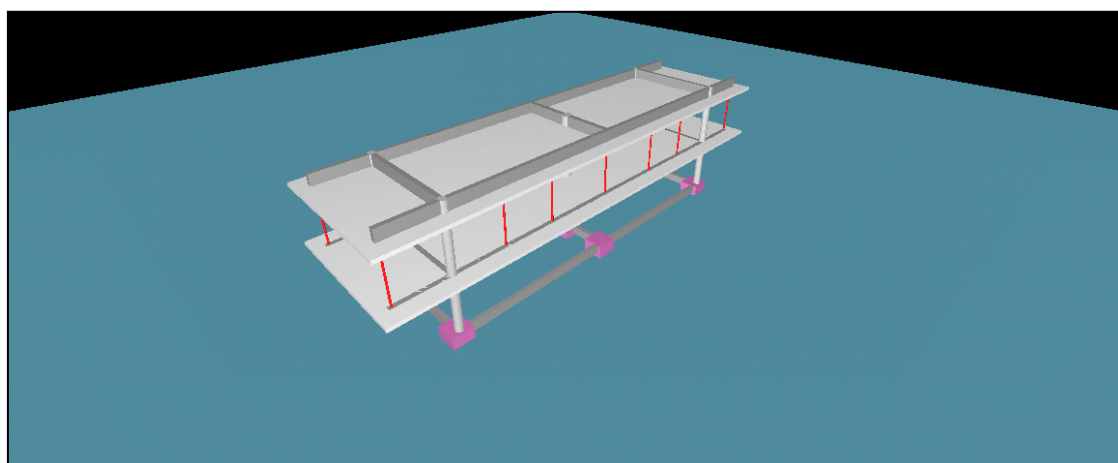


Figura 65 - Modelo 4: representação do pórtico espacial. Fonte: AUTOR (2017).

Os pontos de lançamento dos pilares foram pensados inicialmente de forma compatível com a arquitetura, buscando ao mesmo tempo simetria e boa

distribuição, para resistir aos esforços e garantir pequenas flechas. Foram feitas aberturas nas lajes do 1º pavimento e da cobertura, para passagem da escada e acesso entre os pavimentos. Enquanto não estava definida como se daria a ligação entre laje-pilar-escada, foram inseridos tirantes para simular a resistência conferida à laje pela estrutura da escada, na região da abertura. As flechas apresentaram variação praticamente nula.

Tabela 14 - Características gerais do modelo 5.

Modelo	Dimensões em planta (m²)		Altura da laje (cm)	Seção dos Pilares				Seção das vigas da cobertura		Ø tirantes (cm)	Flecha (cm)		Limite (cm)		Cargas adicionais
				Canto		Central					Vão	Balanço	Vão	Balanço	
1	8	12	15	20	60	-	-	20	60	-	22,9	7,4	4,8	0,2	Não
2	8	12	15*	30	50	-	-	30	60	-	11,8	-	4,8	-	Não
3	8	26	20	30	50	30	60	30	80	-	3,7	1,2	4	1,2	Não
4	8	26	20	Ø45		Ø60		30	80	10*	3,1	0,8	4	1,2	Não
5	8	26	20	Ø45		Ø60		30	80	10*	3,1	0,8	4	1,2	Não

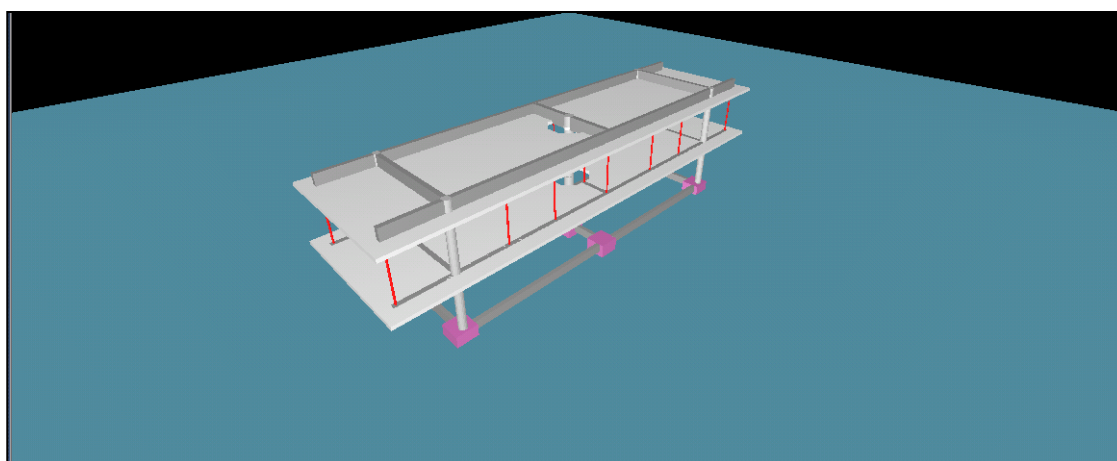


Figura 66 - Modelo 5: representação do pórtico espacial. Fonte: AUTOR (2017).

As cargas adicionais passaram a ser consideradas no modelo 6, tendo impacto negativo nas flechas. Os pontos de maior deslocamento chegaram a 4,3 cm no vão principal, superando o valor limite. Os carregamentos adicionais, referentes aos equipamentos de ar condicionado e hidráulica, e ao peso da escada, incidindo na cobertura, passaram a exigir uma estrutura resistente mais robusta.

Tabela 15 - Características gerais do modelo 6.

Tabela 10 - Características gerais do modelo 6:															
Modelo	Dimensões em planta (m²)		Altura da laje (cm)	Seção dos Pilares				Seção das vigas da cobertura		Ø tirantes (cm)	Flecha (cm)		Limite (cm)		Cargas adicionais
				Canto		Central					Vão	Balanço	Vão	Balanço	
1	8	12	15	20	60	-	-	20	60	-	22,9	7,4	4,8	0,2	Não

2	8	12	15*	30	50	-	-	30	60	-	11,8	-	4,8	-	Não
3	8	26	20	30	50	30	60	30	80	-	3,7	1,2	4	1,2	Não
4	8	26	20	Ø45		Ø60		30	80	10*	3,1	0,8	4	1,2	Não
5	8	26	20	Ø45		Ø60		30	80	10*	3,1	0,8	4	1,2	Não
6	8,2	26	25	Ø45		Ø60		30	80	10*	4,3	1,5	4	1,2	Sim

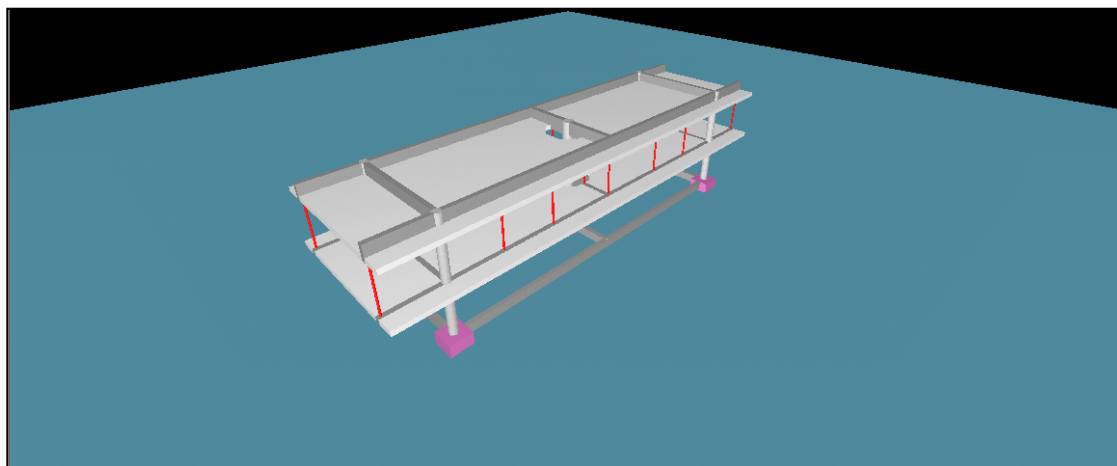


Figura 67 - Modelo 6: representação do pórtico espacial. Fonte: AUTOR (2017).

Durante o período de desenvolvimento dos modelos 6 e 7, por indicação do professor Angelo Bucci, foi procurada a consultoria do escritório de cálculo estrutural KF Projetos (engenheiros Jorge Zaven Kurkdjian e Julio Fruchtengarten). O projeto foi discutido do ponto de vista da concepção estrutural, e verificado segundo regras de pré-dimensionamento.

A consulta foi útil para questionar o encaminhamento que era dado até então para a estrutura, segundo os seguintes tópicos: caminhamento das cargas; resistência às cargas verticais e horizontais; importância do projeto de fundação; dimensionamento e proteção dos tirantes; detalhe de encontro laje/tirante; cuidados relativos ao alongamento do aço; ordem de grandeza dos elementos estruturais; processo construtivo; entre outros.

As iterações anteriores, ainda no modelo 6, foram focadas no aumento da altura da viga, o que apresentou pouca contribuição na diminuição das flechas. O aumento da taxa de armadura não era aconselhável nesse ponto, pois já se tratava de uma preocupação que sua execução fosse prejudicada por espaçamentos reduzidos. A recomendação obtida na consultoria indicou que a largura da viga deveria ser acrescida, garantindo a resistência necessária e facilitando a execução das armações.

Para compatibilizar o pilar central à nova seção da viga principal (70x90 cm²), seu diâmetro foi aumentado de 60 cm para 70 cm. Da mesma forma o restante da estrutura passou a ter elementos mais resistentes: as demais vigas da cobertura passaram de 25x80 cm² para 30x90 cm², e os demais pilares passaram de D = 45 cm para D = 50 cm.

Os novos valores de deslocamento, com folga em relação ao limite, deram à arquitetura a liberdade de retirar um dos pares de tirantes, adotando a opção de deixar todos protegidos pela alvenaria.

Ainda nessa iteração, foi incorporada uma mudança solidarizando o patamar da escada no nível do 1º pavimento ao pilar principal, conferindo maior rigidez à laje. As alterações estruturais foram finalizadas no modelo 7, as adaptações posteriores foram feitas apenas no posicionamento de cargas e compatibilização e ajustes finais de dimensões com a arquitetura.

Tabela 16 - Características gerais do modelo 7.

Modelo	Dimensões em planta (m²)		Altura da laje (cm)	Seção dos Pilares				Seção das vigas da cobertura		Ø tirantes (cm)	Flecha (cm)		Limite (cm)		Cargas adicionais
				Canto		Central					Vão	Balanço	Vão	Balanço	
1	8	12	15	20	60	-	-	20	60	-	22,9	7,4	4,8	0,2	Não
2	8	12	15*	30	50	-	-	30	60	-	11,8	-	4,8	-	Não
3	8	26	20	30	50	30	60	30	80	-	3,7	1,2	4	1,2	Não
4	8	26	20	Ø45		Ø60		30	80	10*	3,1	0,8	4	1,2	Não
5	8	26	20	Ø45		Ø60		30	80	10*	3,1	0,8	4	1,2	Não
6	8,2	26	25	Ø45		Ø60		30	80	10*	4,3	1,5	4	1,2	Sim
7	8,2	26	25	Ø50		Ø70		70*	80*	4	3,6	1,2	4	1,2	Sim

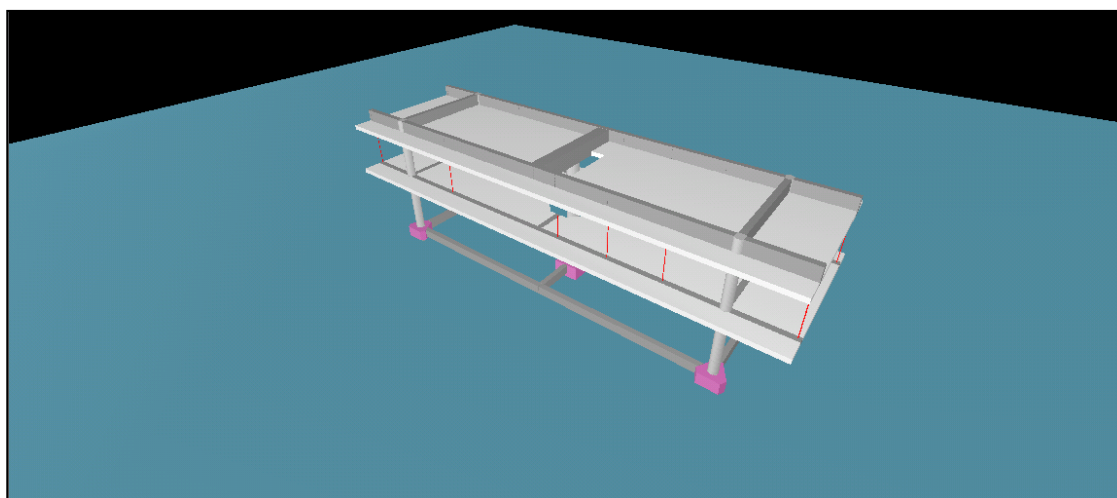


Figura 68 - Modelo 7: representação do pórtico espacial. Fonte: AUTOR (2017).

O modelo 8 é ilustrativo e busca apenas evidenciar o trabalho exercido pelos tirantes. Sem seu uso, as flechas sofrem acréscimos de dezenas de centímetros.

Tabela 17 - Características gerais do modelo 8.

Modelo	Dimensões em planta (m²)		Altura da laje (cm)	Seção dos Pilares				Seção das vigas da cobertura		Ø tirantes (cm)	Flecha (cm)		Limite (cm)		Cargas adicionais
				Canto		Central					Vão	Balanço	Vão	Balanço	
1	8	12	15	20	60	-	-	20	60	-	22,9	7,4	4,8	0,2	Não
2	8	12	15*	30	50	-	-	30	60	-	11,8	-	4,8	-	Não
3	8	26	20	30	50	30	60	30	80	-	3,7	1,2	4	1,2	Não
4	8	26	20	Ø45		Ø60		30	80	10*	3,1	0,8	4	1,2	Não
5	8	26	20	Ø45		Ø60		30	80	10*	3,1	0,8	4	1,2	Não
6	8,2	26	25	Ø45		Ø60		30	80	10*	4,3	1,5*	4	1,2	Sim
7	8,2	26	25	Ø50		Ø70		70	90	4	3,6	1,2	4	1,2	Sim
8	8	26	20	Ø45		Ø60		30	80	-	49,6	4,9	4	1,2	Não

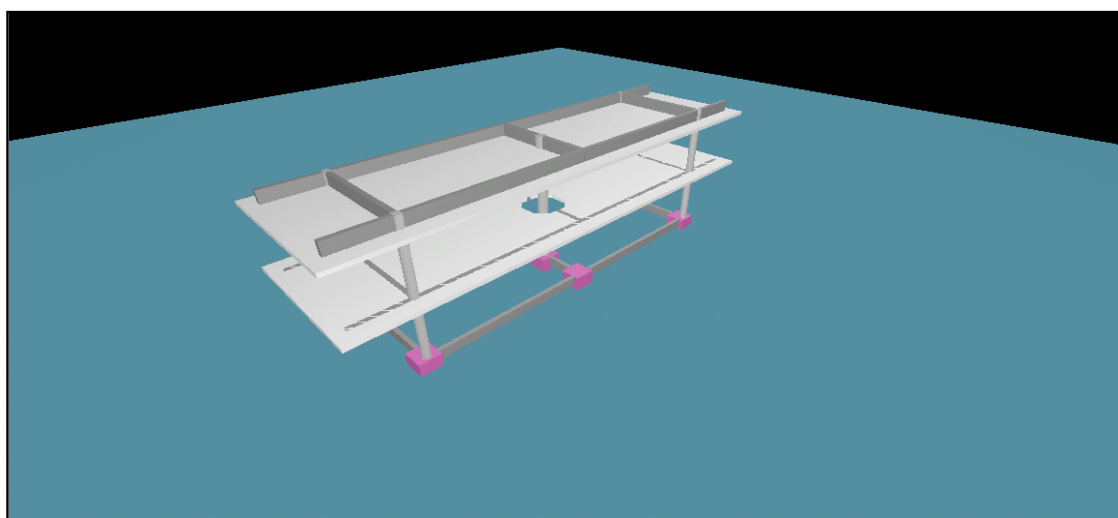


Figura 69 - Modelo 8: representação do pórtico espacial. Fonte: AUTOR (2017).

4.2.2.6. Modelagem em TQS: resultados

Valores obtidos através do visualizador de grelhas e pórticos, nas seguintes configurações:

- ELU: momento fletor, força normal e força cortante
- ELS: deslocamentos horizontais e verticais

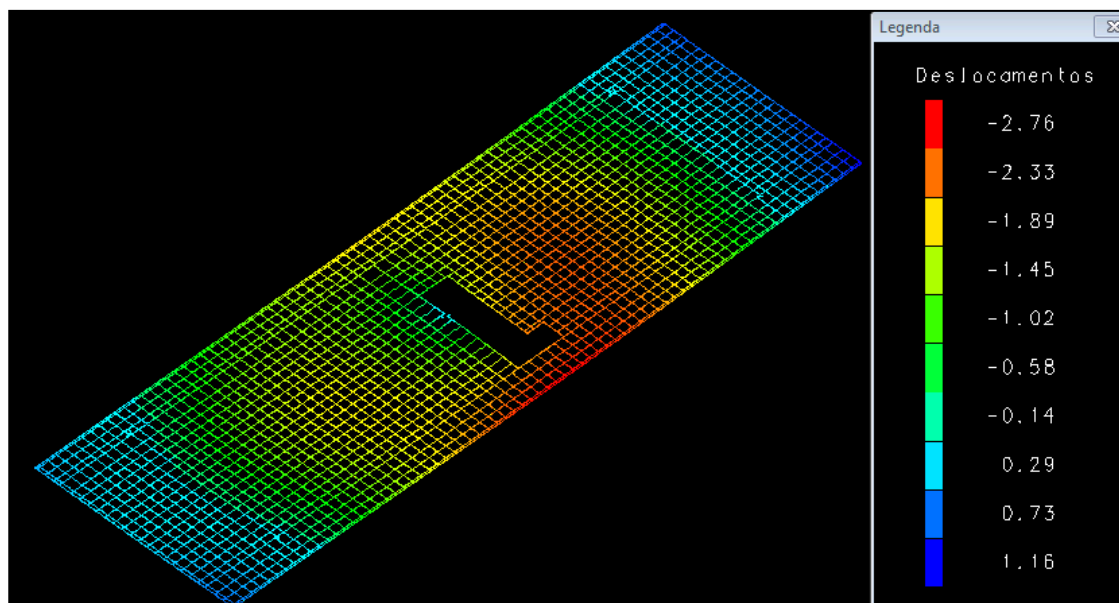


Figura 70 - Deslocamentos na laje da cobertura, em cm. Visualização espacial. Fonte: AUTOR (2017).

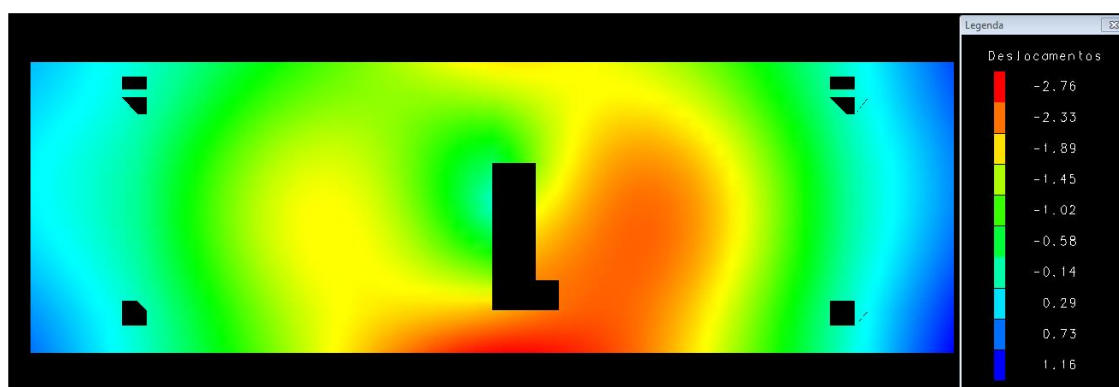


Figura 71 - Deslocamentos da laje da cobertura, em cm. Visualização em isovalores. Fonte: AUTOR (2017).

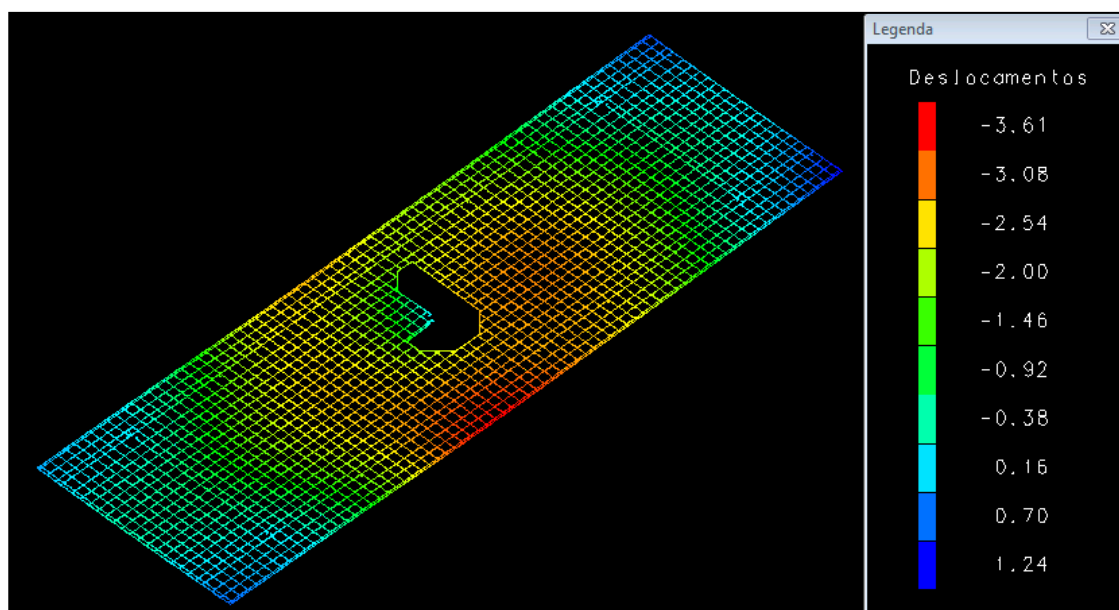


Figura 72 - Deslocamentos da laje do 1º pavimento, em cm. Visualização espacial. Fonte: AUTOR (2017).

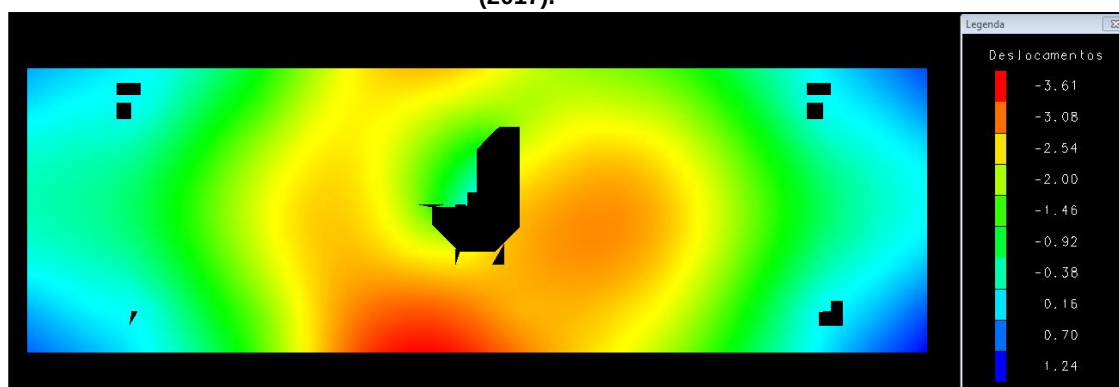


Figura 73 - Deslocamentos da laje do 1º pavimento, em cm. Visualização em isovalores.

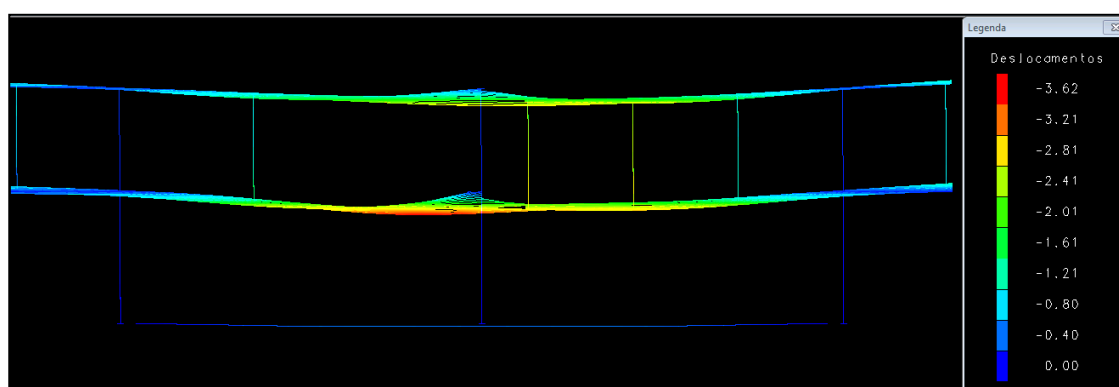


Figura 74 - Deslocamentos nas lajes e vigas, em cm. Vista frontal. Fonte: AUTOR (2017).

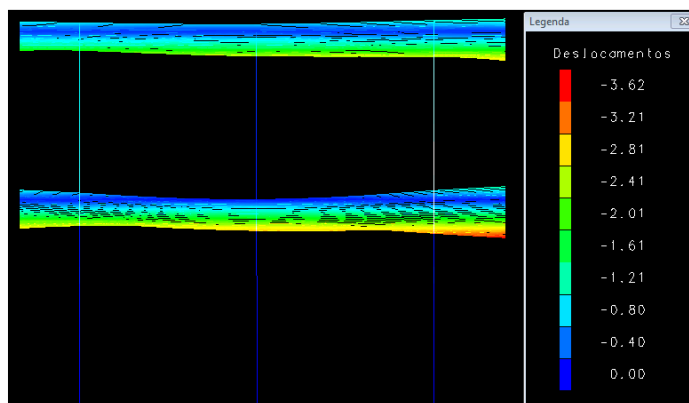


Figura 75 - Deslocamentos nas lajes e vigas, em cm. Vista lateral. Fonte: AUTOR (2017).

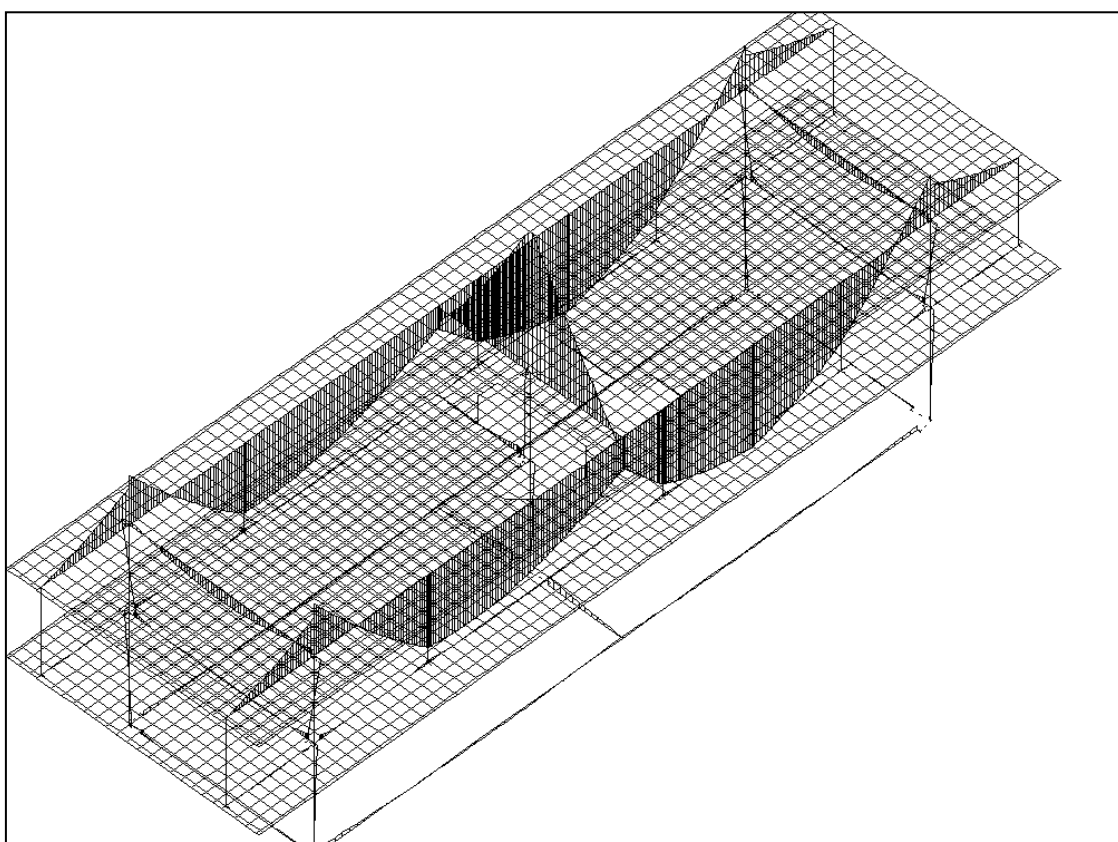


Figura 76 - Diagrama espacial de momentos fletores nas vigas. Fonte: AUTOR (2017).

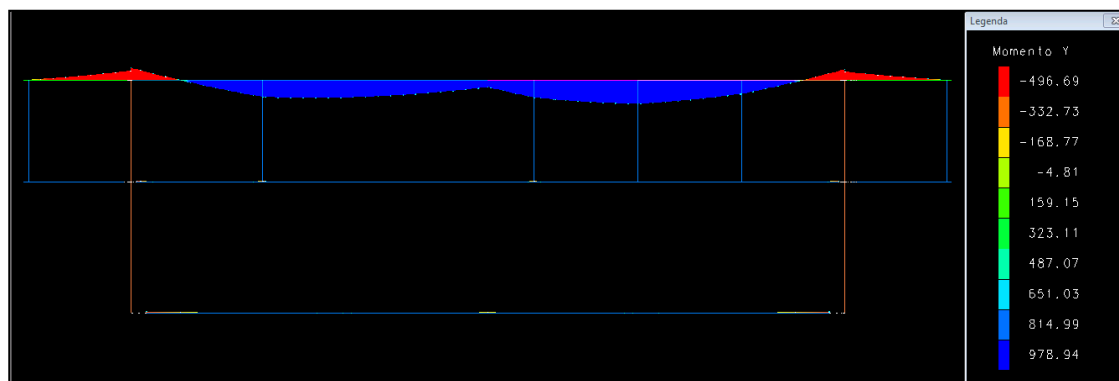


Figura 77 - Diagrama de momentos fletores nas vigas, em kN.m. Vista frontal. Fonte: AUTOR (2017).

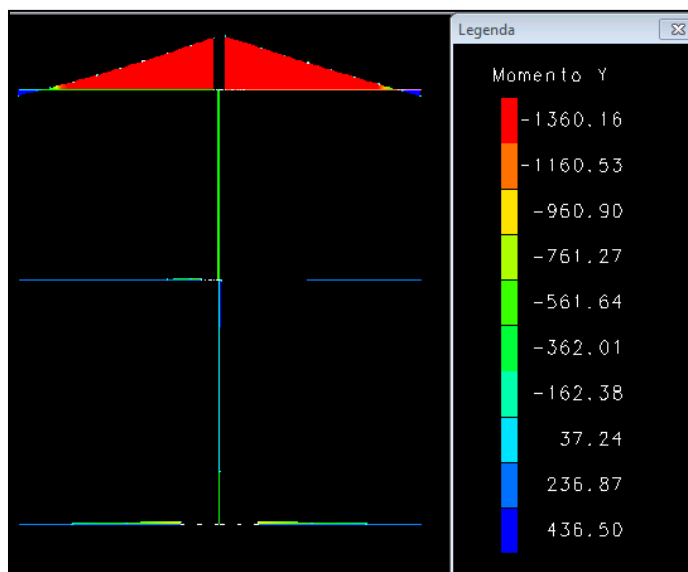


Figura 78 - Diagrama de momentos fletores nas vigas, em kN.m. Vista lateral. Fonte: AUTOR (2017).

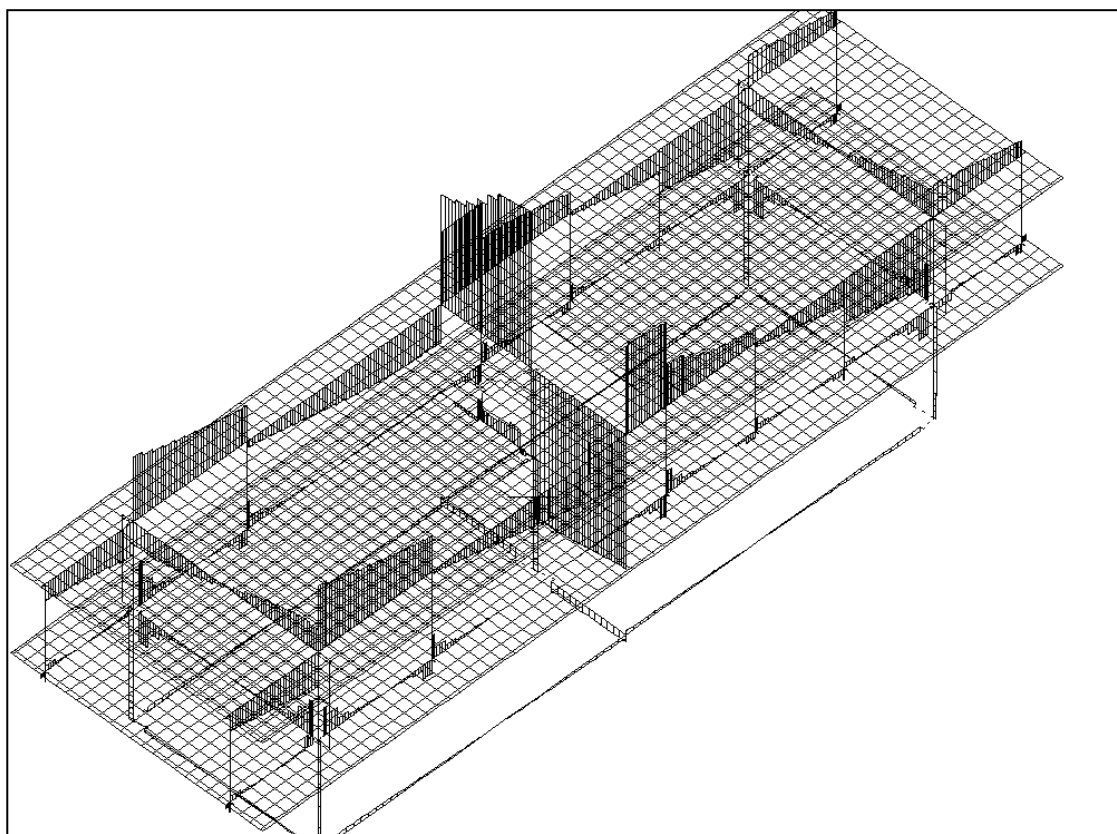


Figura 79 - Diagrama espacial de força cortante. Fonte: AUTOR (2017).

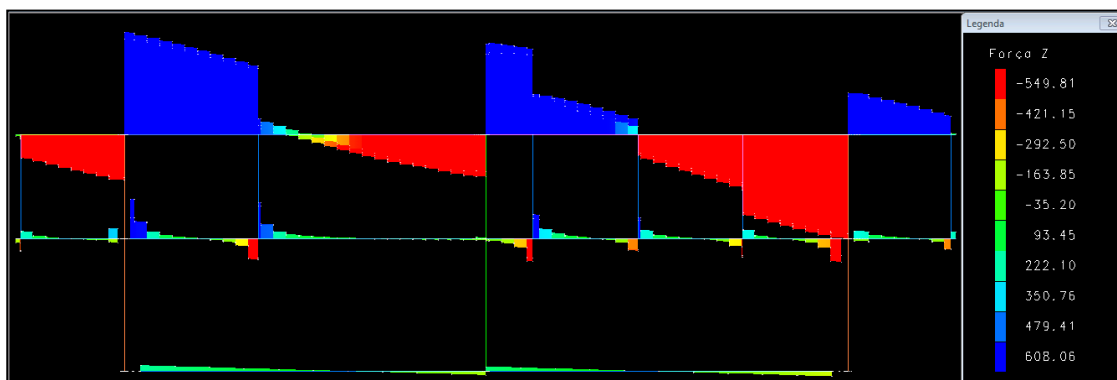


Figura 80 - Diagrama de força cortante nas vigas, em kN. Vista frontal. Fonte: AUTOR (2017).

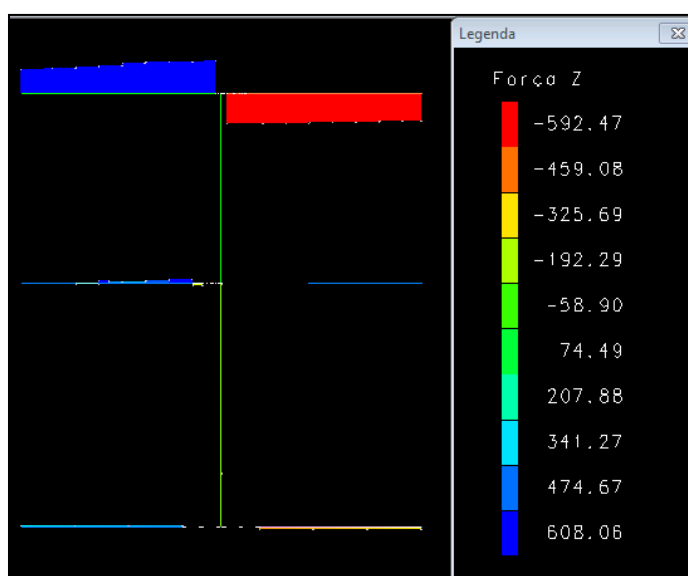


Figura 81 - Diagrama de força cortante nas vigas, em kN. Vista frontal. Fonte: AUTOR (2017).

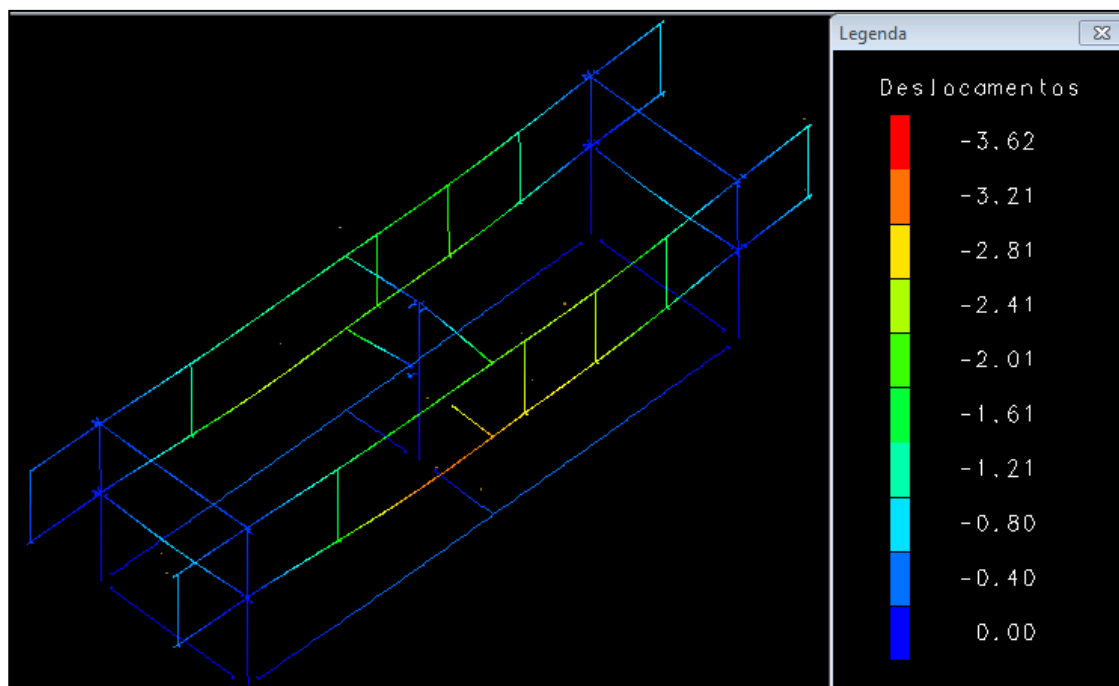


Figura 82 – Deslocamento vertical nas vigas, em cm. Visualização espacial. Fonte: AUTOR (2017).

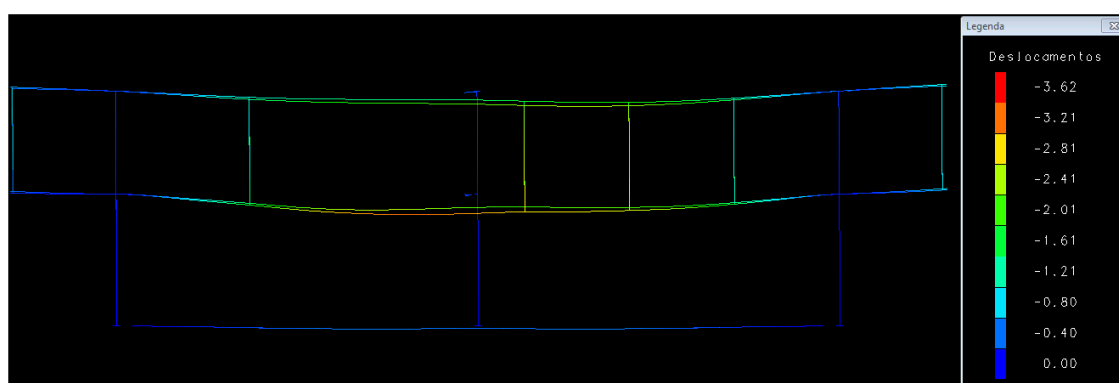


Figura 83 – Deslocamento vertical nas vigas, em cm. Vista frontal. Fonte: AUTOR (2017).

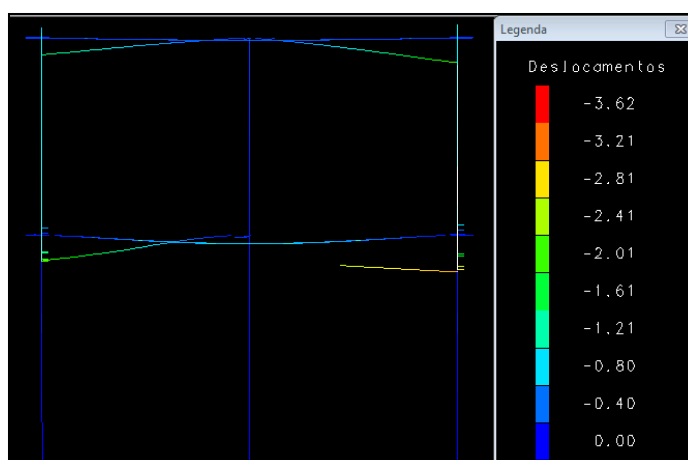


Figura 84 – Deslocamento vertical nas vigas, em cm. Vista lateral. Fonte: AUTOR (2017).

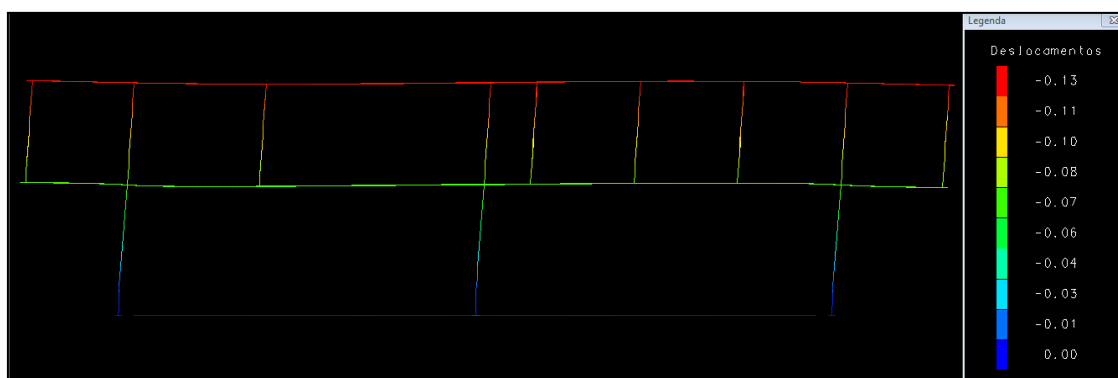


Figura 85 - Deslocamento horizontal dos pórticos, em cm. Vista frontal. Fonte: AUTOR (2017).

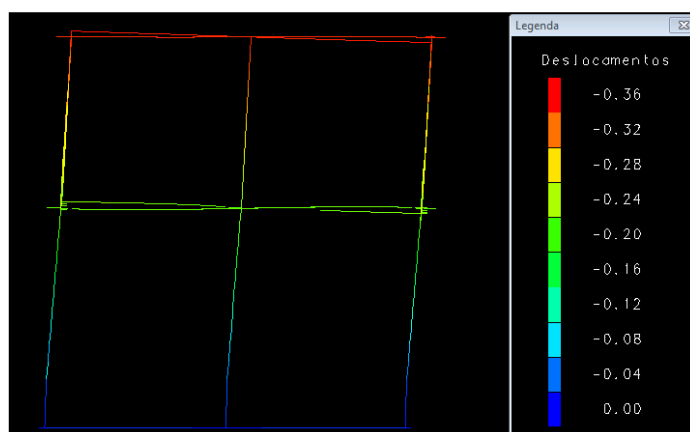


Figura 86 - Deslocamento horizontal dos pórticos, em cm. Vista lateral. Fonte: AUTOR (2017).

Os valores de deslocamento lateral estão dentro dos limites aceitáveis, segundo a Tabela 18. A altura do edifício é de 7 metros, resultando no limite de $7/1700 = 0,41$ cm. Se considerada a altura da viga invertida, o limite passa a ser $7,65/1700 = 0,45$ cm.

Tabela 18 - Limites para deslocamento lateral de edifícios. Fonte: NBR6118:2014.

Efeitos em elementos não estruturais	Paredes	Alvenaria, caixilhos e revestimentos	Após a construção da parede	$\ell/500^c$ e 10 mm e $\theta = 0,0017 \text{ rad}^d$
		Divisórias leves e caixilhos telescópicos	Ocorrido após a instalação da divisória	$\ell/250^c$ e 25 mm
		Movimento lateral de edifícios	Provocado pela ação do vento para combinação frequente ($\psi_1 = 0,30$)	$H/1700$ e $H_i/850^e$ entre pavimentos ^f
		Movimentos térmicos verticais	Provocado por diferença de temperatura	$\ell/400^g$ e 15 mm

O visualizador de pórticos/grelhas não fornece resultados de fissuração na estrutura. Para tanto, foi feito uso de ferramenta disponibilizada no TQS, mas fora do ambiente do edifício em projeto.



Figura 87 - Ferramentas auxiliares disponíveis no sistema CAD/TQS. Fonte: AUTOR (2017).

Devem ser fornecidas as posições das barras da armadura, a seção e a solicitação sofrida. Fazendo uso da simetria do edifício, foram tomados pontos críticos que melhor representassem a estrutura (Figura 88).

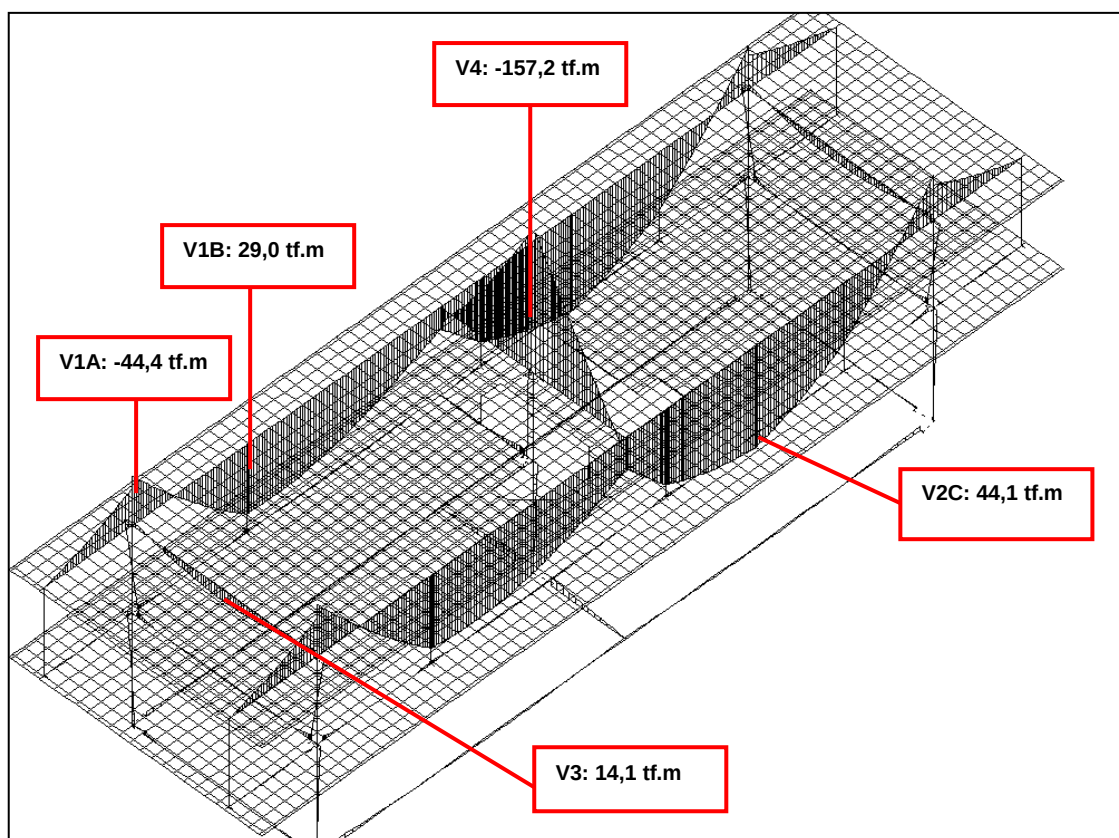


Figura 88 - Pontos tomados para verificação de abertura de fissuras. Fonte: AUTOR (2017).

- V1A:

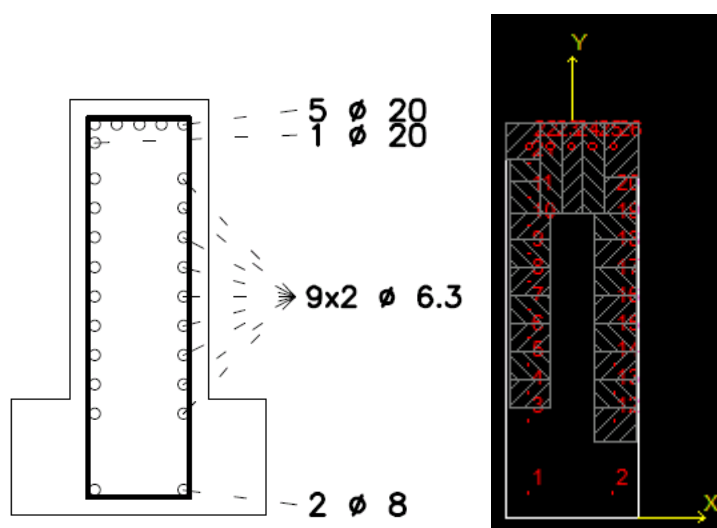


Figura 89 - Seção da viga V1 (30x90) no trecho A e respectivas fissuras, para solicitação de -44,4 tf.m. Fonte: AUTOR (2017).

Tabela 19 - Tabela de fissuras trecho V1A.

Ø	Posição	Posição armadura		w (mm)	
		x	y	Obtida	Limite
8	1	-9,6	5,4	0	0,3
8	2	9,6	5,4	0	0,3
6,3	3	-9,7	9,6	0	0,3

6,3	4	-9,7	16,0	0	0,3
6,3	5	-9,7	22,4	0	0,3
6,3	6	-9,7	28,7	0,01	0,3
6,3	7	-9,7	35,1	0,01	0,3
6,3	8	-9,7	41,5	0,02	0,3
6,3	9	-9,7	47,9	0,03	0,3
6,3	10	-9,7	54,2	0,04	0,3
6,3	11	-9,7	60,6	0,06	0,3
6,3	12	9,7	9,6	0	0,3
6,3	13	9,7	16,0	0	0,3
6,3	14	9,7	22,4	0	0,3
6,3	15	9,7	28,7	0,01	0,3
6,3	16	9,7	35,1	0,02	0,3
6,3	17	9,7	41,5	0,02	0,3
6,3	18	9,7	47,9	0,03	0,3
6,3	19	9,7	54,2	0,05	0,3
6,3	20	9,7	60,6	0,06	0,3
20	21	-9,7	80,6	0,08	0,3
20	22	-4,8	84,6	0,14	0,3
20	23	0,0	84,6	0,19	0,3
20	24	4,8	84,6	0,19	0,3
20	25	9,6	84,6	0,19	0,3
20	26	9,7	84,6	0,19	0,3

- V1B:

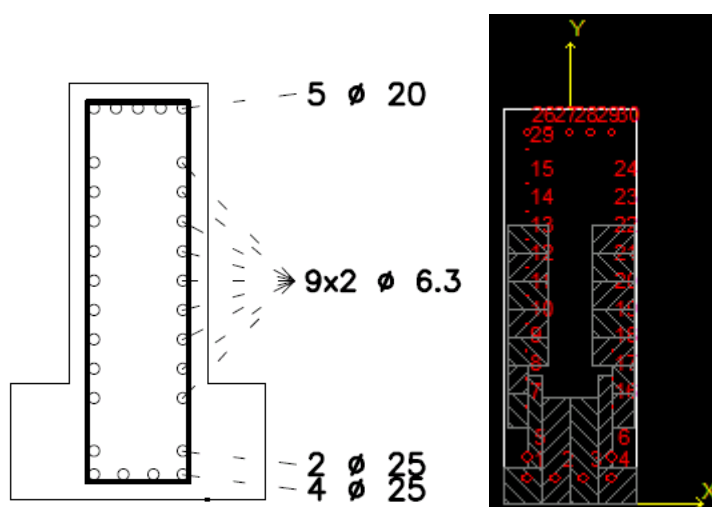


Figura 90 - Seção da viga V1 (30x90) no trecho B e respectivas fissuras, para solicitação de 29,0 tf.m.
Fonte: AUTOR (2017).

Tabela 20 - Tabela de fissuras trecho V1B.

Ø	Posição	Posição armadura		w (mm)	
		x	y	Obtida	Limite
25	1	-9,6	5,4	0,06	0,3
25	2	-3,2	5,4	0,06	0,3
25	3	3,2	5,4	0,06	0,3
25	4	9,6	5,4	0,06	0,3
25	5	-9,6	10,4	0,05	0,3
25	6	9,6	10,4	0,05	0,3
6,3	7	-9,7	21,8	0,01	0,3
6,3	8	-9,7	28,2	0,01	0,3
6,3	9	-9,7	34,6	0	0,3
6,3	10	-9,7	40,9	0	0,3
6,3	11	-9,7	47,3	0	0,3
6,3	12	-9,7	53,7	0	0,3
6,3	13	-9,7	60,0	0	0,3
6,3	14	-9,7	66,4	0	0,3
6,3	15	-9,7	72,8	0	0,3
6,3	16	9,7	21,8	0,01	0,3
6,3	17	9,7	28,2	0,01	0,3
6,3	18	9,7	34,6	0	0,3
6,3	19	9,7	40,9	0	0,3
6,3	20	9,7	47,3	0	0,3
6,3	21	9,7	53,7	0	0,3
6,3	22	9,7	60,0	0	0,3
6,3	23	9,7	66,4	0	0,3
6,3	24	9,7	72,8	0	0,3
20	25	-9,7	80,6	0	0,3
20	26	-9,7	84,6	0	0,3
20	27	-4,8	84,6	0	0,3
20	28	0,0	84,6	0	0,3
20	29	4,8	84,6	0	0,3
20	30	9,7	84,6	0	0,3

- V2C:

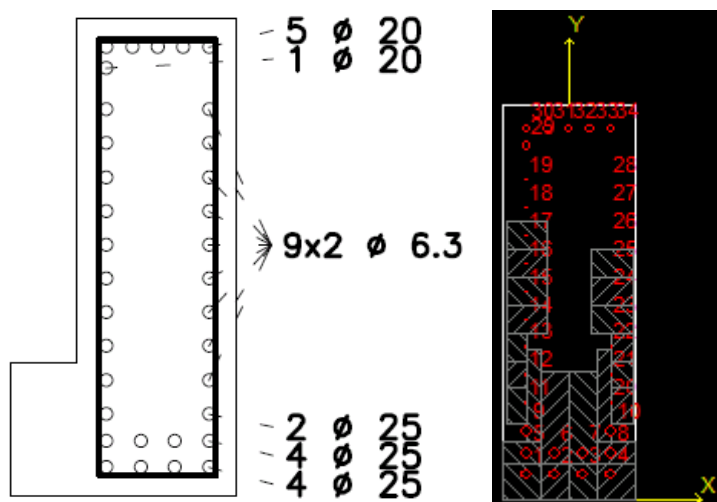


Figura 91 - Seção da viga V2 (30x90) no trecho C e respectivas fissuras, para solicitação de 44,1 tf.m.
Fonte: AUTOR (2017).

Tabela 21 - Tabela de fissuras trecho V2C.

Ø	Posição	Posição armadura		w (mm)	
		x	y	Obtida	Limite
25	1	-9,6	5,4	0,06	0,3
25	2	-3,2	5,4	0,05	0,3
25	3	3,2	5,4	0,05	0,3
25	4	9,6	5,4	0,06	0,3
25	5	-9,6	10,4	0,04	0,3
25	6	-3,2	10,4	0,05	0,3
25	7	3,2	10,4	0,05	0,3
25	8	9,6	10,4	0,04	0,3
25	9	-9,6	15,4	0,04	0,3
25	10	9,6	15,4	0,04	0,3
6,3	11	-9,7	21,8	0,01	0,3
6,3	12	-9,7	28,2	0,01	0,3
6,3	13	-9,7	34,6	0	0,3
6,3	14	-9,7	40,9	0	0,3
6,3	15	-9,7	47,3	0	0,3
6,3	16	-9,7	53,7	0	0,3
6,3	17	-9,7	60,0	0	0,3
6,3	18	-9,7	66,4	0	0,3
6,3	19	-9,7	72,8	0	0,3
6,3	20	9,7	21,8	0,01	0,3
6,3	21	9,7	28,2	0	0,3
6,3	22	9,7	34,6	0	0,3
6,3	23	9,7	40,9	0	0,3
6,3	24	9,7	47,3	0	0,3

6,3	25	9,7	53,7	0	0,3
6,3	26	9,7	60,0	0	0,3
6,3	27	9,7	66,4	0	0,3
6,3	28	9,7	72,8	0	0,3
20	29	-9,7	80,6	0	0,3
20	30	-9,7	84,6	0	0,3
20	31	-4,8	84,6	0	0,3
20	32	0,0	84,6	0	0,3
20	33	4,8	84,6	0	0,3
20	34	9,7	84,6	0	0,3

- V3:

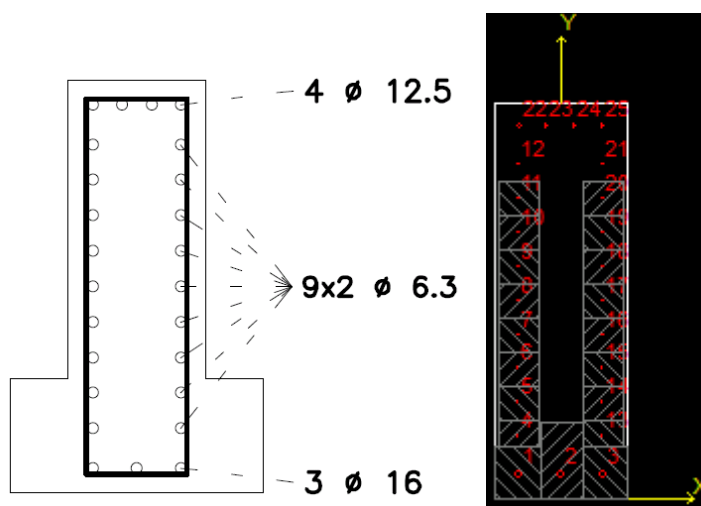


Figura 92 - Seção da viga V3 (30x90) e respectivas fissuras, para solicitação de 14,1 tf.m. Fonte: AUTOR (2017).

Tabela 22 - Tabela de fissuras trecho V3.

Ø	Posição	Posição armadura		w (mm)	
		x	y	Obtida	Limite
16	1	-9,6	5,4	0,11	0,3
16	2	0,0	5,4	0,11	0,3
16	3	9,6	5,4	0,11	0,3
6,3	4	-9,6	14,0	0,03	0,3
6,3	5	-9,6	21,7	0,03	0,3
6,3	6	-9,6	29,5	0,02	0,3
6,3	7	-9,6	37,2	0,01	0,3
6,3	8	-9,6	45,0	0,01	0,3
6,3	9	-9,6	52,8	0	0,3
6,3	10	-9,6	60,5	0	0,3
6,3	11	-9,6	68,3	0	0,3
6,3	12	-9,6	76,0	0	0,3

6,3	13	9,6	14,0	0,03	0,3
6,3	14	9,6	21,7	0,03	0,3
6,3	15	9,6	29,5	0,02	0,3
6,3	16	9,6	37,2	0,01	0,3
6,3	17	9,6	45,0	0,01	0,3
6,3	18	9,6	52,8	0	0,3
6,3	19	9,6	60,5	0	0,3
6,3	20	9,6	68,3	0	0,3
6,3	21	9,6	76,0	0	0,3
12,5	22	-9,6	84,6	0	0,3
12,5	23	-3,2	84,6	0	0,3
12,5	24	3,2	84,6	0	0,3
12,5	25	9,6	84,6	0	0,3

- V4:

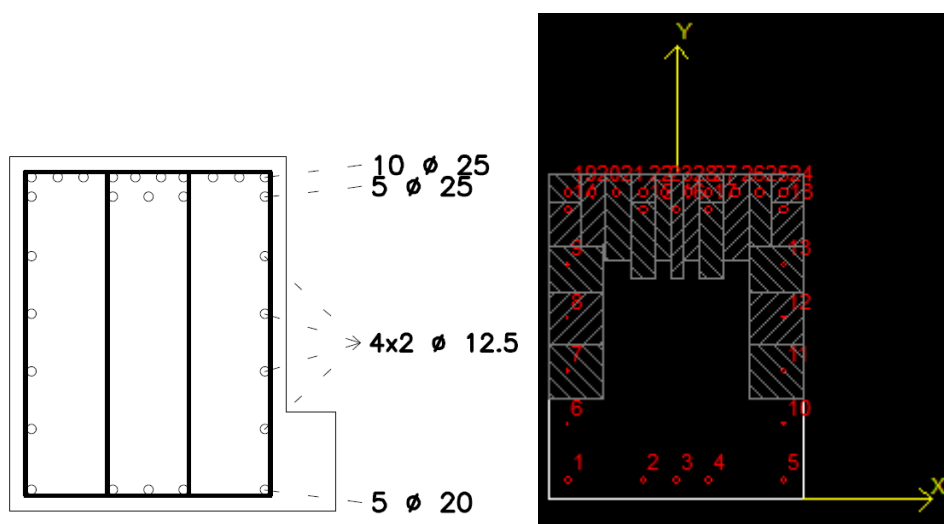


Figura 93 - Seção da viga V4 (70x90) e respectivas fissuras, para solicitação de -157,2 tf.m. Fonte: AUTOR (2017).

Tabela 23 - Tabela de fissuras trecho V4.

Ø	Posição	Posição armadura		w (mm)	
		x	y	Obtida	Limite
20	1	-29,6	5,4	0	0,3
20	2	-9,0	5,4	0	0,3
20	3	0,0	5,4	0	0,3
20	4	9,0	5,4	0	0,3
20	5	29,6	5,4	0	0,3
12,5	6	-29,6	20,8	0	0,3
12,5	7	-29,6	35,4	0	0,3
12,5	8	-29,6	50,0	0,03	0,3
12,5	9	-29,6	64,6	0,08	0,3

12,5	10	29,6	20,8	0	0,3
12,5	11	29,6	35,4	0	0,3
12,5	12	29,6	50,0	0,03	0,3
12,5	13	29,6	64,6	0,08	0,3
25	14	-29,6	79,7	0,17	0,3
25	15	-9,0	79,7	0,2	0,3
25	16	0,0	79,7	0,16	0,3
25	17	9,0	79,7	0,2	0,3
25	18	29,6	79,7	0,17	0,3
25	19	-29,6	84,6	0,14	0,3
25	20	-23,0	84,6	0,21	0,3
25	21	-16,5	84,6	0,25	0,3
25	22	-9,0	84,6	0,12	0,3
25	23	-3,3	84,6	0,19	0,3
25	24	29,6	84,6	0,14	0,3
25	25	23,0	84,6	0,21	0,3
25	26	16,5	84,6	0,25	0,3
25	27	9,0	84,6	0,12	0,3
25	28	3,3	84,6	0,19	0,3

As fissuras praticadas obedecem ao limite para a classe de agressividade ambiental do projeto, conforme a Tabela 24.

Tabela 24 - Exigências relativas à fissuração e à proteção da armadura. Fonte: NBR6118:2014.

Tipo de concreto estrutural	Classe de agressividade ambiental (CAA) e tipo de protensão	Exigências relativas à fissuração	Combinação de ações em serviço a utilizar
Concreto simples	CAA I a CAA IV	Não há	--
Concreto armado	CAA I	ELS-W $w_k \leq 0,4$ mm	Combinação freqüente
	CAA II e CAA III	ELS-W $w_k \leq 0,3$ mm	
	CAA IV	ELS-W $w_k \leq 0,2$ mm	
Concreto protendido nível 1 (protensão parcial)	Pré-tração com CAA I ou Pós-tração com CAA I e II	ELS-W $w_k \leq 0,2$ mm	Combinação freqüente
Concreto protendido nível 2 (protensão limitada)	Pré-tração com CAA II ou Pós-tração com CAA III e IV	Verificar as duas condições abaixo	
		ELS-F	Combinação freqüente
		ELS-D ¹⁾	Combinação quase permanente
Concreto protendido nível 3 (protensão completa)	Pré-tração com CAA III e IV	Verificar as duas condições abaixo	
		ELS-F	Combinação rara
		ELS-D ¹⁾	Combinação freqüente

4.2.2.7. Processo construtivo

O processo construtivo será desenvolvido conforme as seguintes etapas:

- 1) Terraplenagem.
- 2) Instalação do canteiro de obra.
- 3) Marcação dos eixos construtivos.
- 4) Locação dos blocos/pilares.
- 5) Execução das estacas.
- 6) Execução dos blocos e das vigas baldrame.
- 7) Montagem das formas dos pilares.
- 8) Concretagem dos pilares até o nível da cobertura.
 - a. Prever sistema de formas/escoramentos que garanta estabilidade horizontal
 - b. Prever armaduras de espera para a posterior concretagem da laje do 1º pavimento e da escada
- 9) Montagem de formas/escoramentos para laje/vigas da cobertura.
 - a. Prever inserção de contra flecha na laje/vigas, a partir da montagem das formas/escoramentos
- 10) Armação das lajes e vigas.
 - a. Realizar passagem dos sistemas
 - b. Lançar os tirantes a partir das vigas da cobertura
 - c. Prever espera para ancoragem da escada
- 11) Concretagem da laje/vigas da cobertura.
- 12) Espera do tempo de cura do concreto, excedendo o período de 28 dias, se possível.
- 13) Retirada das formas da cobertura.
- 14) Montagem das formas/escoramentos do 1º pavimento.
 - a. Prever inserção de contra flecha na laje, a partir da montagem das formas/escoramentos
- 15) Armação da laje do 1º pavimento.
- 16) Concretagem da laje do 1º pavimento.
- 17) Concretagem do lance inicial da escada.
- 18) Concretagem do lance final da escada.

4.2.2.8. Detalhamento: lajes

Nota: os arquivos presentes nessa seção estarão anexos no caderno de desenho, em escala ampliada e melhor resolução.

Fundação

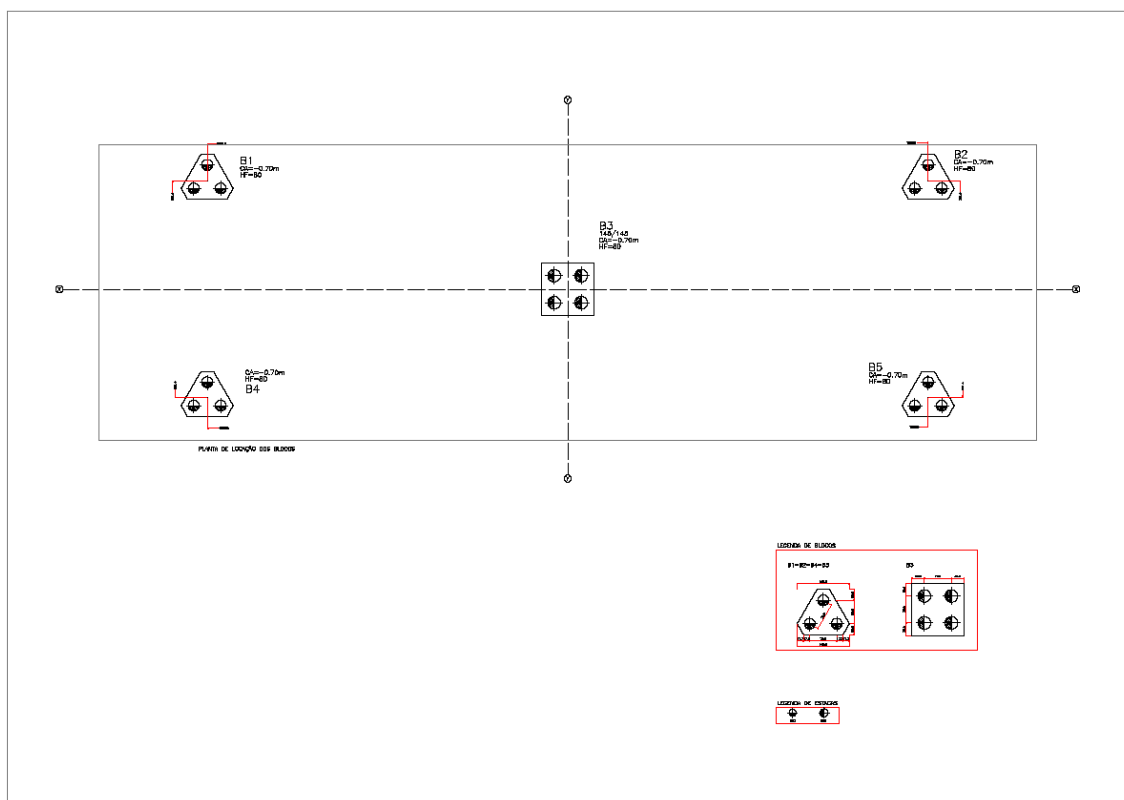


Figura 94 - Fundação: planta de localização dos blocos. Fonte: AUTOR (2017).

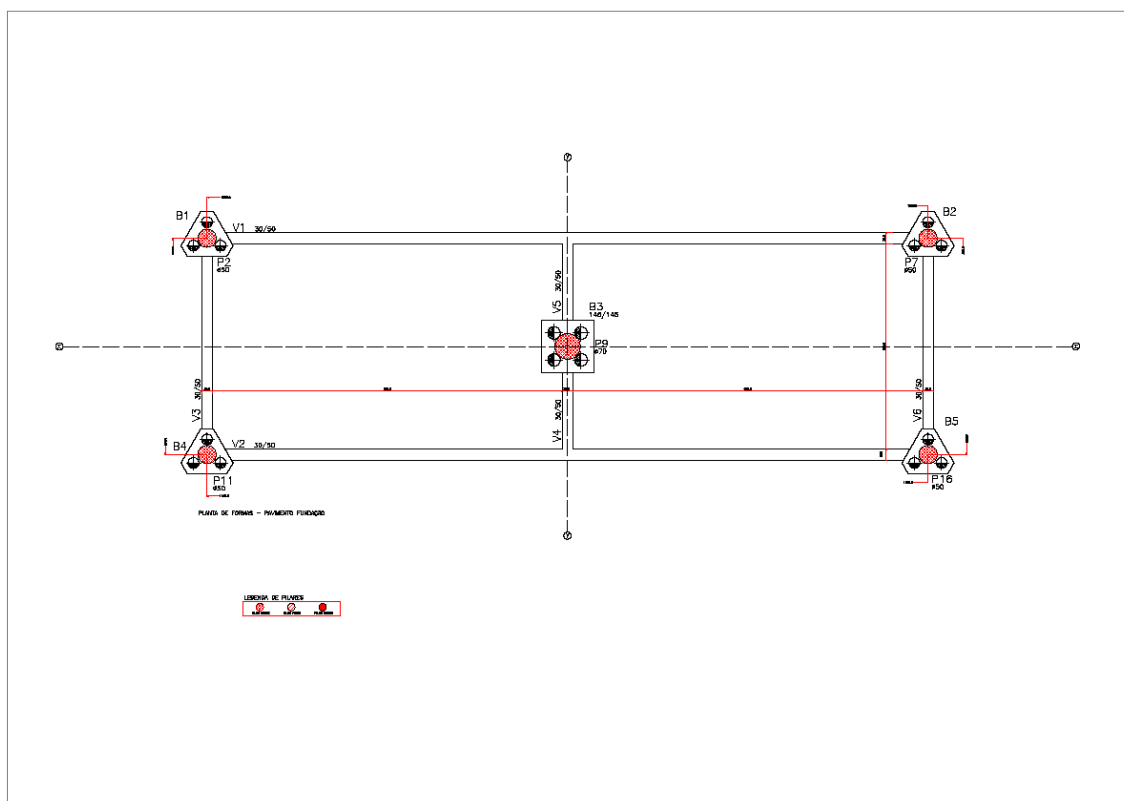


Figura 95 - Fundação: planta de formas. Fonte: AUTOR (2017).

1º Pavimento

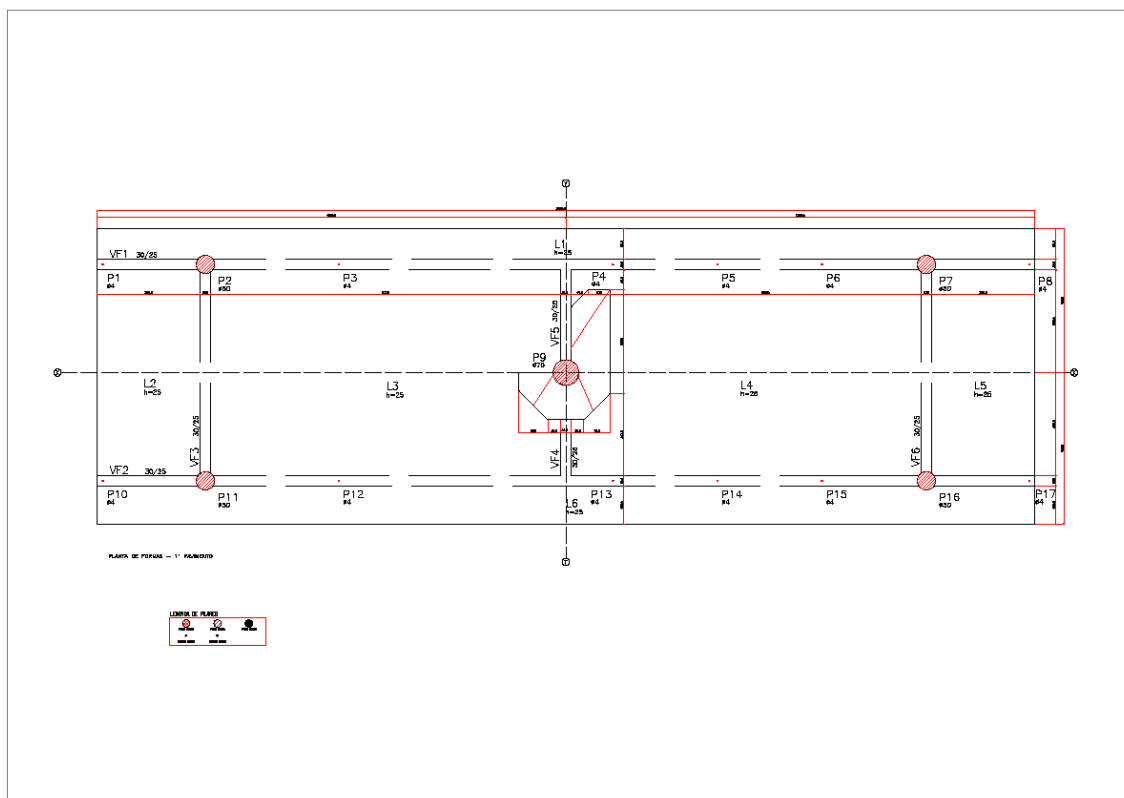


Figura 96 - 1º pavimento: planta de formas. Fonte: AUTOR (2017).

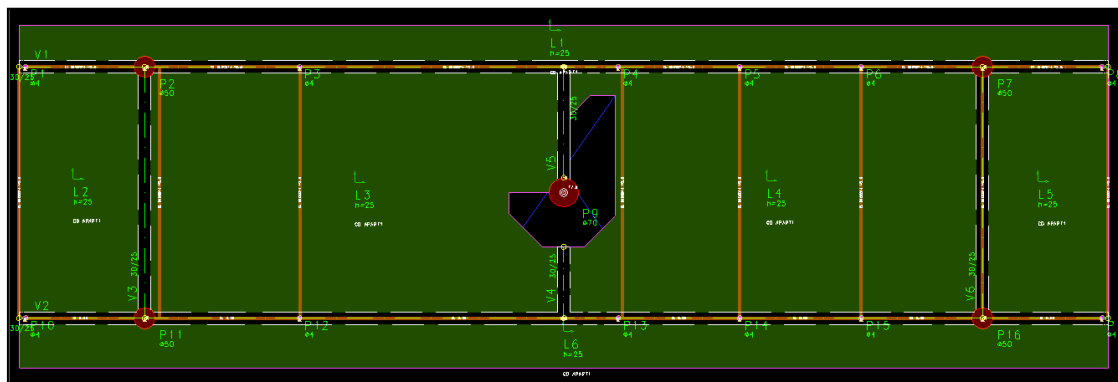


Figura 97 - 1º pavimento: mapa de carregamentos. Fonte: AUTOR (2017).

1o Andar – Armadura negativa principal

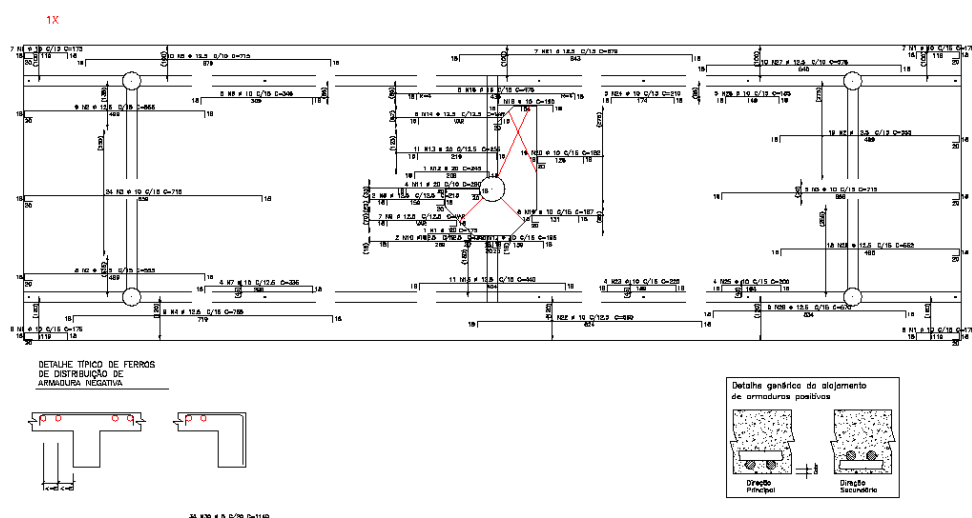


Figura 98 - 1º pavimento: armadura negativa principal. Fonte: AUTOR (2017).

1o Andar – Armadura negativa secundária

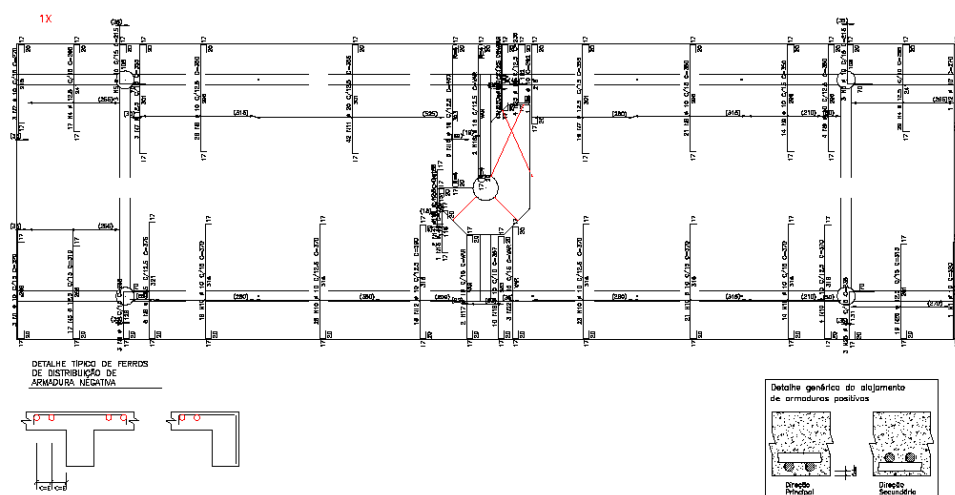


Figura 99 - 1º pavimento: armadura negativa secundária. Fonte: AUTOR (2017).

1o Andar – Armadura positiva principal

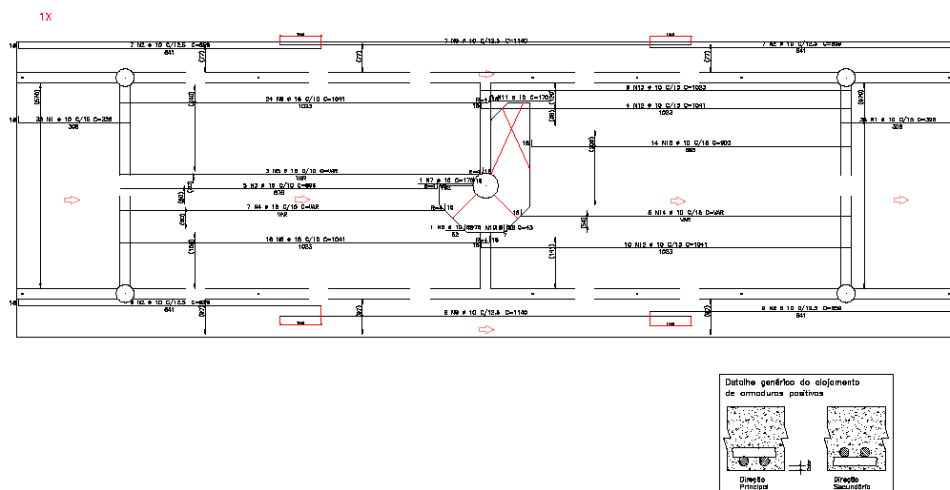


Figura 100 - 1º pavimento: armadura positiva principal. Fonte: AUTOR (2017).

1o Andar – Armadura positiva secundaria

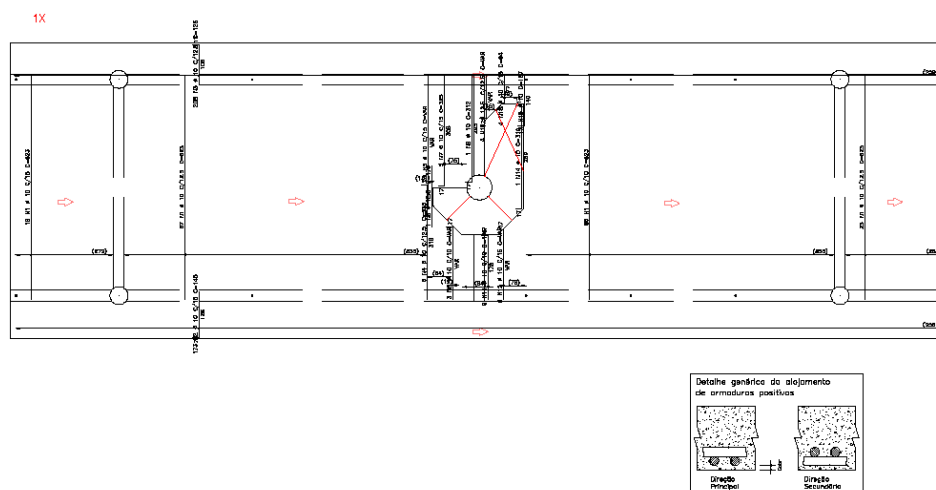


Figura 101 - 1º pavimento: armadura positiva secundária. Fonte: AUTOR (2017).

Cobertura

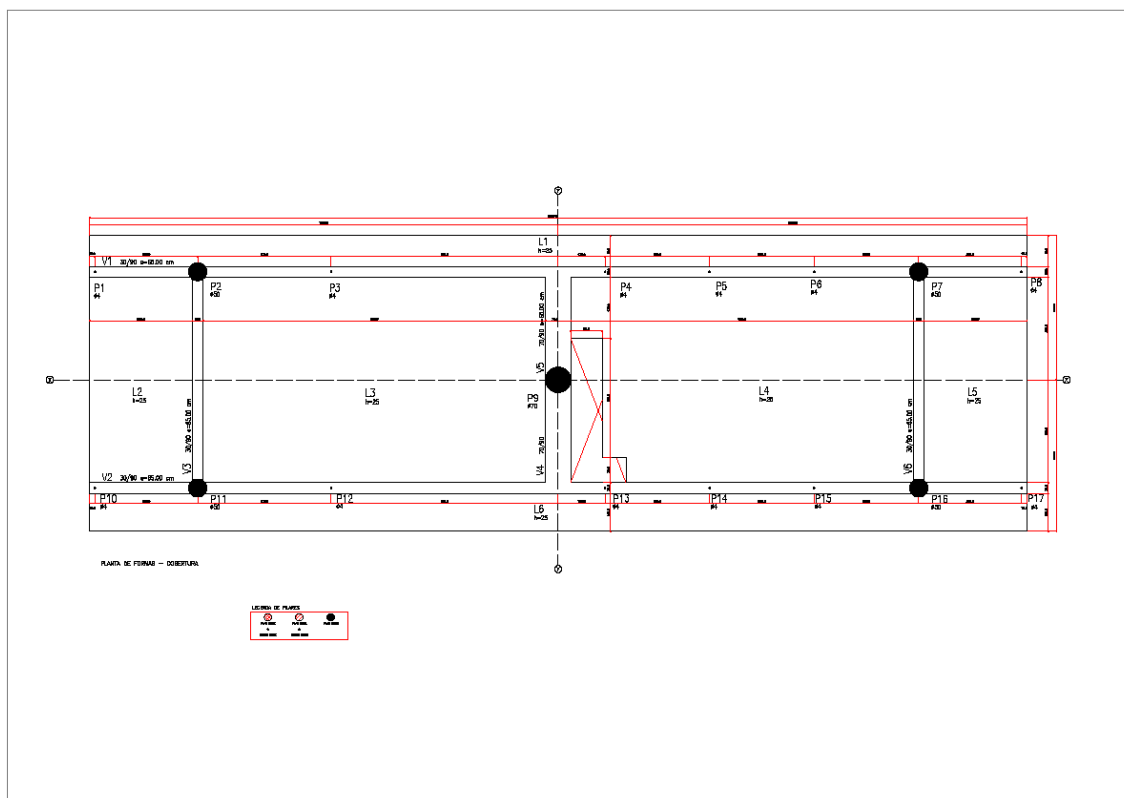


Figura 102 - Cobertura: planta de formas. Fonte: AUTOR (2017).

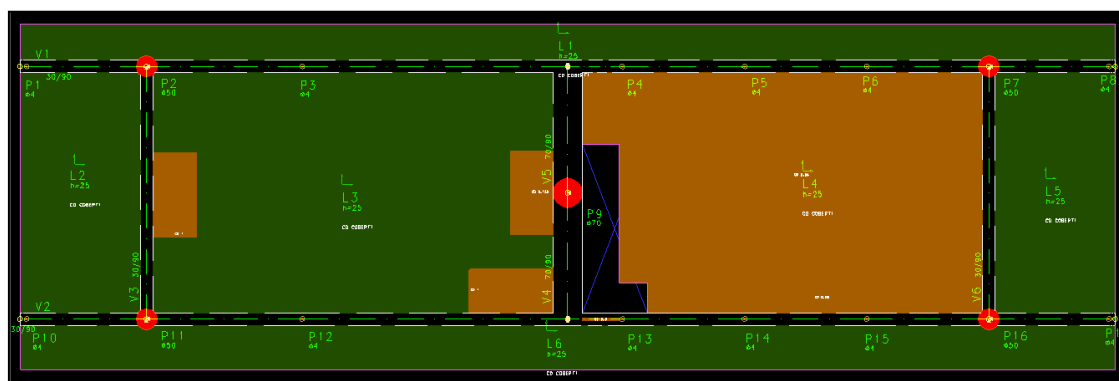


Figura 103 - Cobertura: mapa de carregamentos. Fonte: AUTOR (2017).

Cobertura – Armadura negativa principal

1X

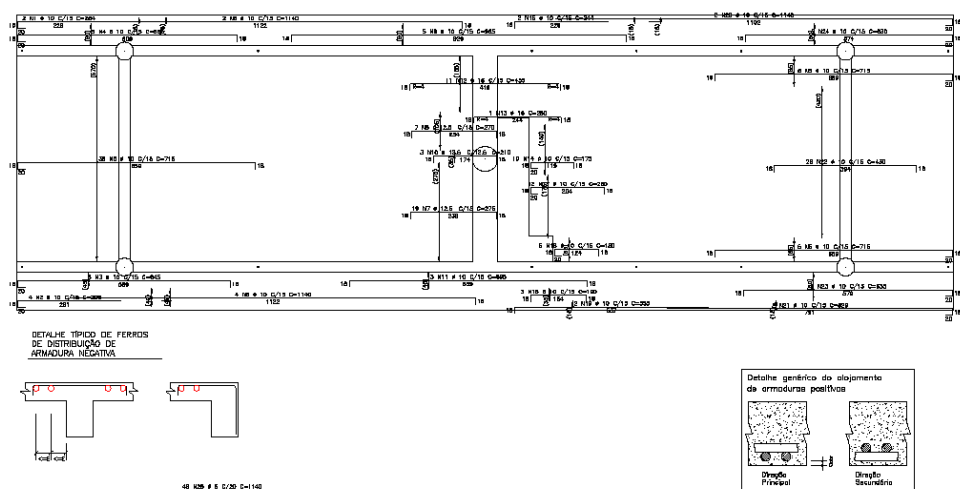


Figura 104 - Cobertura: armadura negativa principal. Fonte: AUTOR (2017).

Cobertura – Armadura negativa secundária

1X

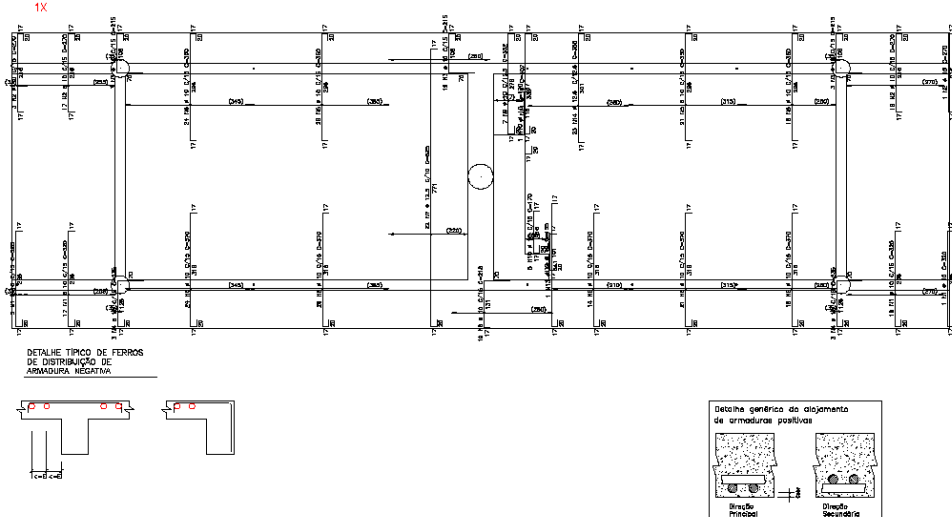


Figura 105 - Cobertura: armadura negativa secundária. Fonte: AUTOR (2017).

Cobertura — Armadura positiva principal

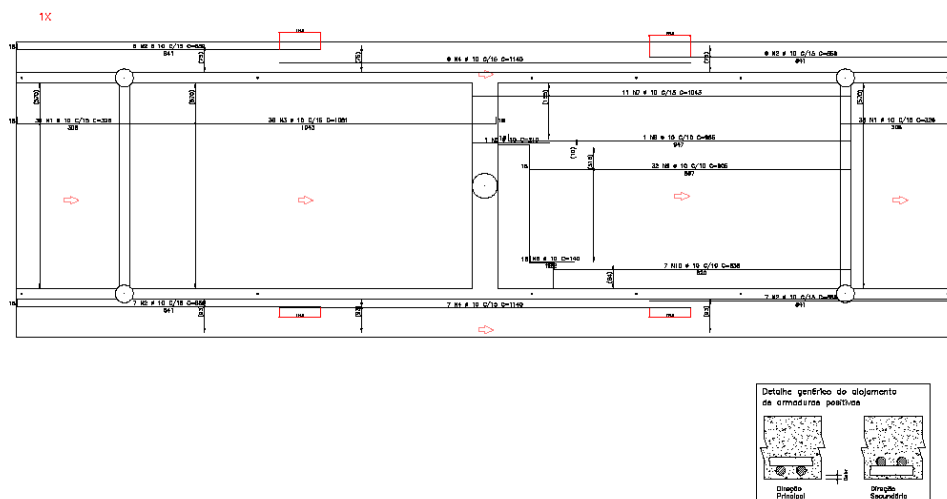


Figura 106 - Cobertura: armadura positiva principal. Fonte: AUTOR (2017).

Cobertura — Armadura positiva secundária

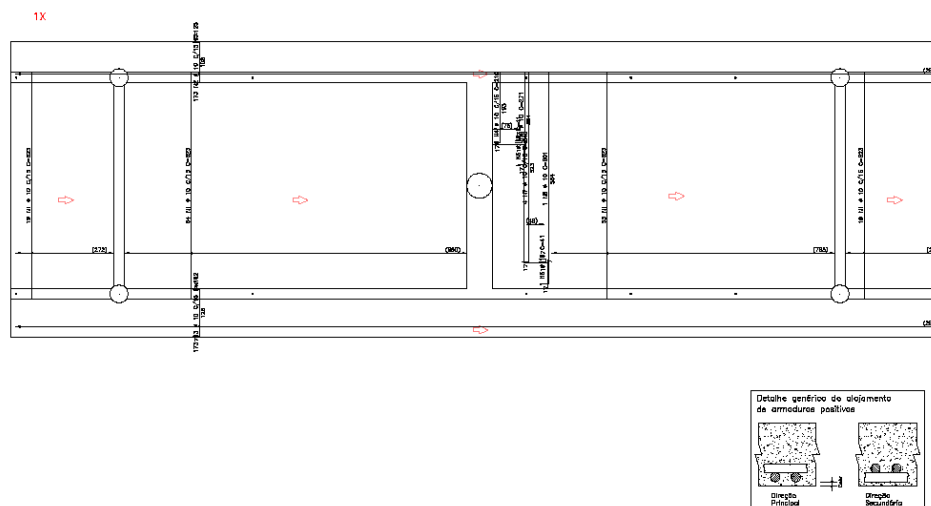


Figura 107 - Cobertura: armadura positiva secundária. Fonte: AUTOR (2017).

4.2.2.9. Detalhamento: vigas

Nota: os arquivos presentes nessa seção estarão anexos no caderno de desenho, em escala ampliada e melhor resolução.

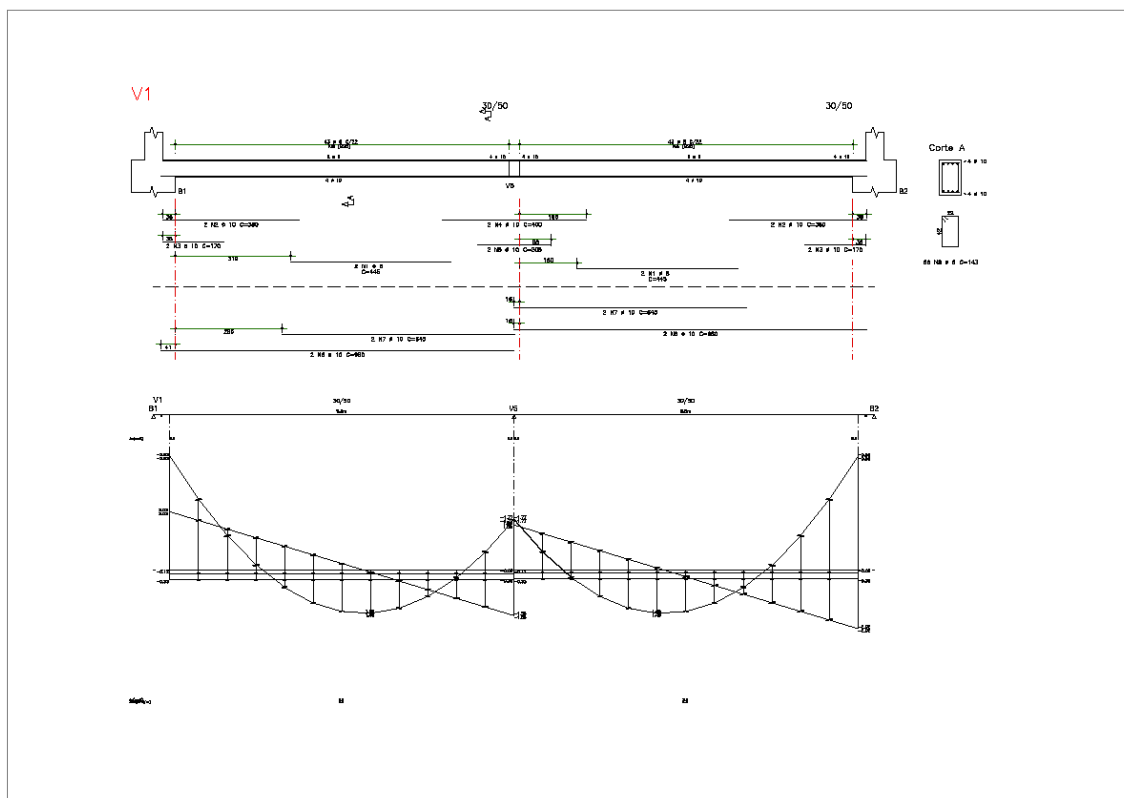
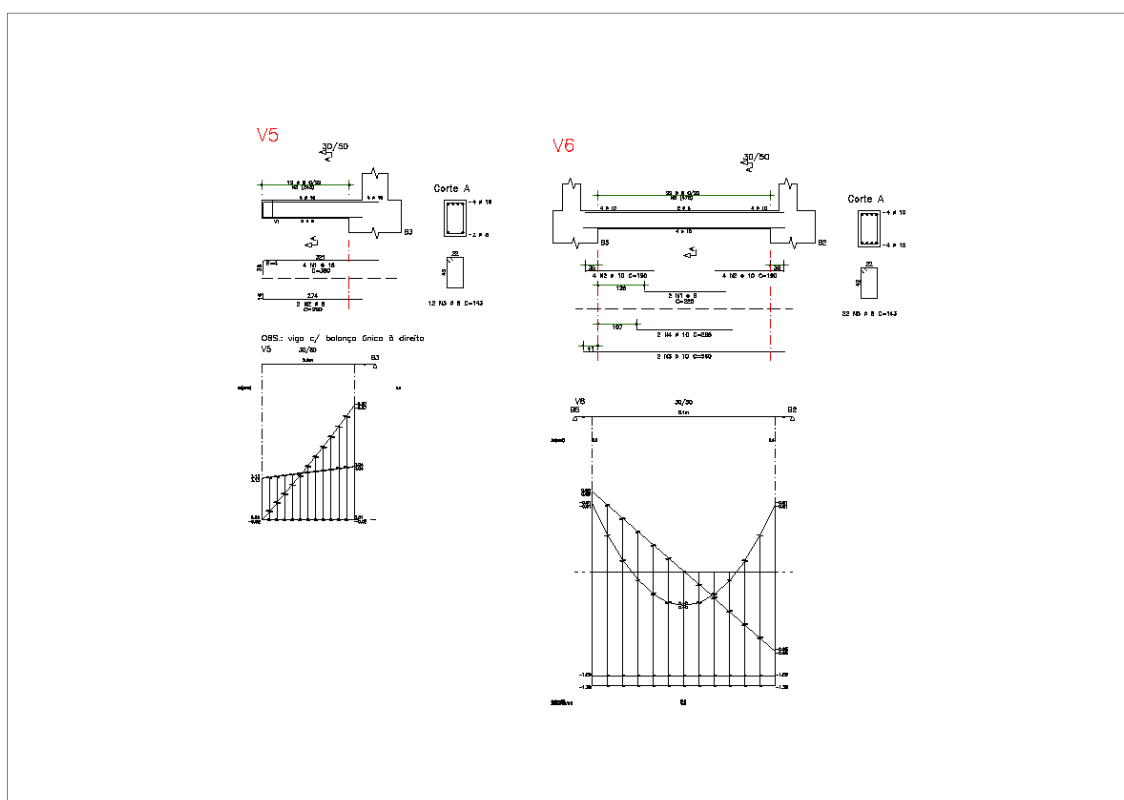


Figura 108 - Baldrame: detalhamento da viga V1. Fonte: AUTOR (2017).

[illegible]

Figura 110 - Baldrame: detalhamento das vigas V3 e V4. Fonte: AUTOR (2017).



Cobertura

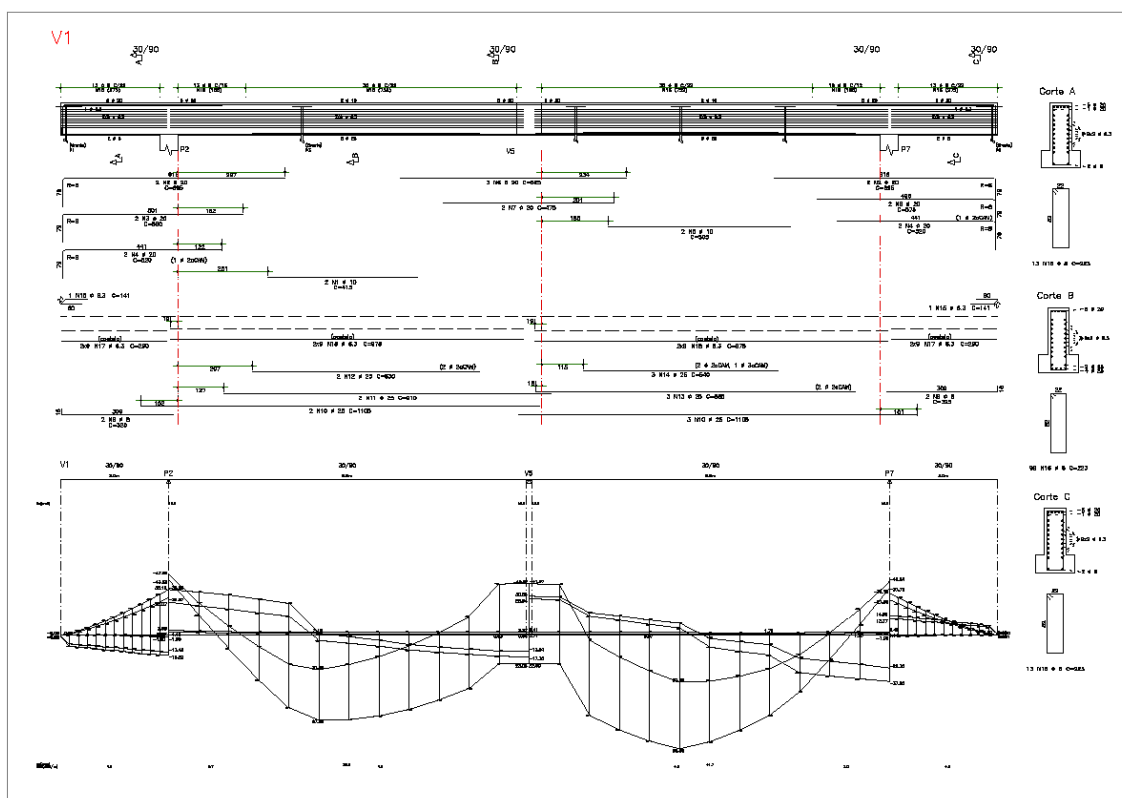


Figura 112 - Cobertura: detalhamento da viga V1. Fonte: AUTOR (2017).

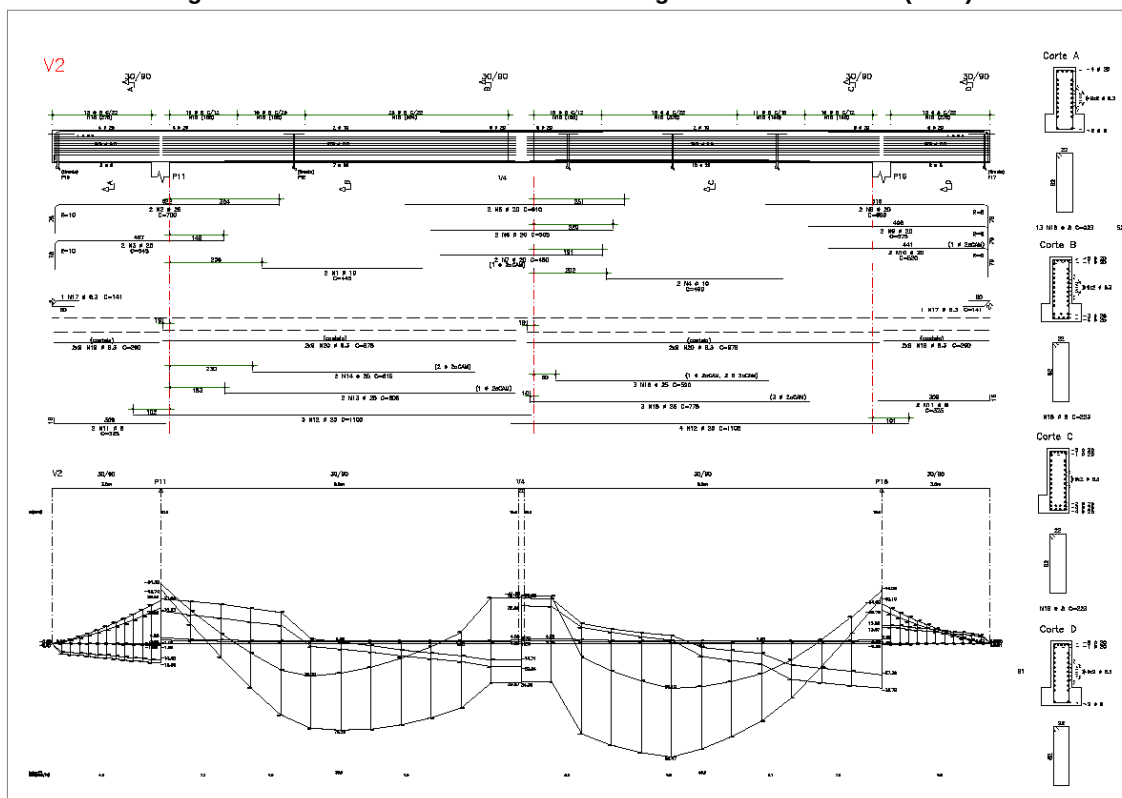


Figura 113 - Cobertura: detalhamento da viga V2. Fonte: AUTOR (2017).

[illegible]

Figura 115 - Cobertura: detalhamento das vigas V5 e V6. Fonte: AUTOR (2017).

4.2.2.10. Detalhamento: pilares

Nota: os arquivos presentes nessa seção estarão anexos no caderno de desenho, em escala ampliada e melhor resolução.

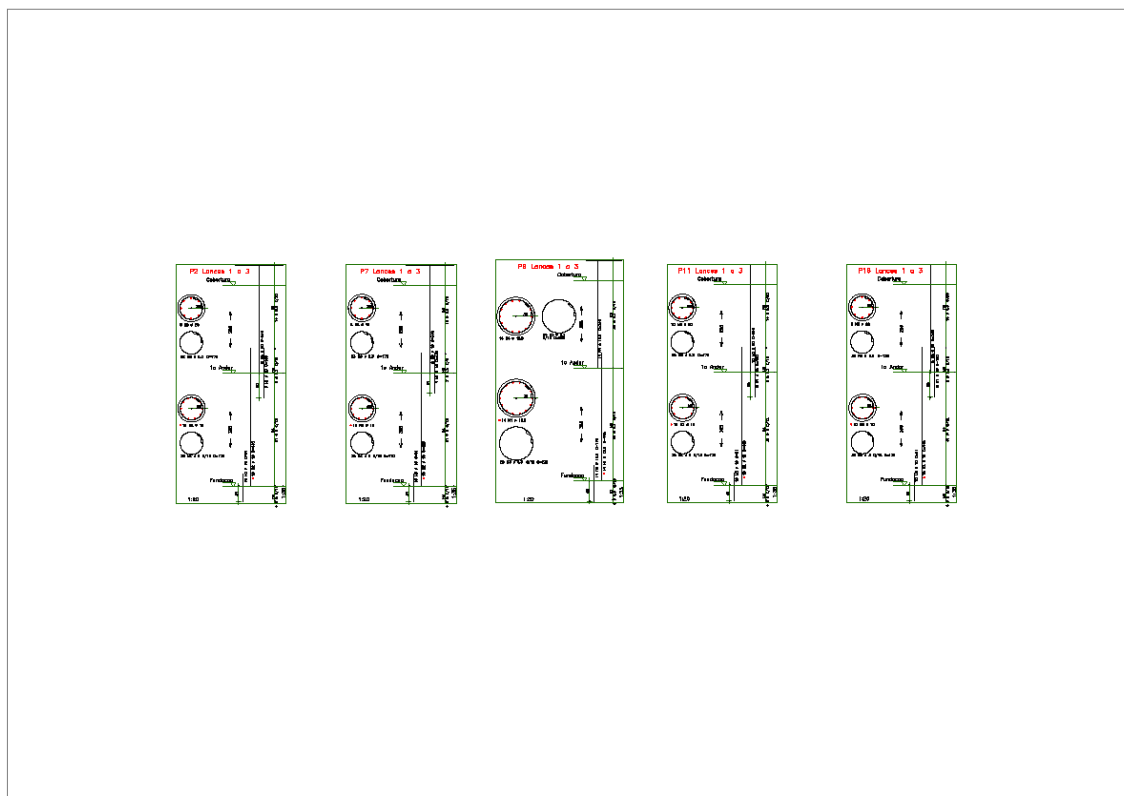


Figura 116 - Detalhamento pilares P2, P7, P9, P11 e P16. Fonte: AUTOR (2017).

4.2.2.11. Quantitativos da estrutura por pavimento

Tabela 25 - Tabela de aço: fundação.

Ø (mm)	Comp. Total	kg/m	Peso (kg)
5	0	0,140	0,0
6,3	0	0,248	0,0
8	39940	0,393	157,0
10	26180	0,624	163,4
12,5	0	0,988	0,0
16	2880	1,570	45,2
20	0	2,480	0,0
25	0	2,980	0,0
		Total	366
	1,1	Total	402

Tabela 26 - Tabela de aço: 1º pavimento.

Ø (mm)	Comp. Total	kg/m	Peso (kg)
5	38760	0,140	54,3
6,3	0	0,248	0,0
8	0	0,393	0,0
10	417045	0,624	2602,4
12,5	104687	0,988	1034,3
16	61802	1,570	970,3
20	19000	2,480	471,2
25	0	2,980	0,0
		Total	5132
	1,1	Total	5646

Tabela 27 - Tabela de aço: cobertura.

Ø (mm)	Comp. Total	kg/m	Peso (kg)
5	52440	0,140	73,4
6,3	113028	0,248	280,3
8	86280	0,393	339,1
10	504952	0,624	3150,9
12,5	45819	0,988	452,7
16	7080	1,570	111,2
20	20505	2,480	508,5
25	44395	2,980	1323,0
		Total	6239
	1,1	Total	6863

Tabela 28 - Tabela de aço: pilares.

Ø (mm)	Comp. Total	kg/m	Peso (kg)
5	23800	0,140	33,3
6,3	0	0,248	0,0
8	0	0,393	0,0
10	21280	0,624	132,8
12,5	0	0,988	0,0
16	3280	1,570	51,5
20	12196	2,480	302,5
25	0	2,980	0,0
		Total	520
	1,1	Total	572

Tabela 29 - Tabela de aço do edifício. Extraído do TQS*.

Ø (mm)	Peso (kg)	Fábrica		Canteiro	
		R\$/kg	R\$	R\$/kg	R\$
5	161,0	4,37	704	2,8	451
6,3	280,3	4,90	1374	3	841
8	496,0	4,47	2217	3	1488
10	6083,3	4,27	25976	2,8	17033
12,5	1487,0	4,17	6201	2,65	3941
16	1178,2	4,17	4913	2,65	3122
20	1282,2	4,17	5347	2,65	3398
25	1323,0	4,17	5517	2,65	3506
Total	12290,9	Total	52247	Total	33779
1,1*Total	13520,0	1,1*Total	57472	1,1*Total	37157

* Auxiliado por tabela de preços: <http://construcaomercado17.pini.com.br/negocios-incorporacao-construcao/143/artigo299682-1.aspx>.

Tabela 30 - Tabela de custos: concreto. Extraído do TQS.

-	C45	Totais
Piso 3: Cobertura	13.920,00	13.920,00
Piso 2: 1o Andar	11.020,00	11.020,00
Piso 1: 1o Piso	180,00	180,00
Piso 0: Fundacao	2.860,00	2.860,00
Cortinas	-	0,00
Totais R\$	27.980,00	27.980,00

Tabela 31 - Tabela de custos: formas. Extraído do TQS.

-	Totais
Piso 3: Cobertura	11.165,00
Piso 2: 1o Andar	8.120,00
Piso 1: 1o Piso	245,00
Piso 0: Fundacao	2.975,00
Cortinas	0,00
Totais R\$	22.505,00

Custo total da estrutura: R\$ 87.642,00.

4.3. Projeto de Fundação

Definido o modelo, aplicadas as cargas e dimensionados os elementos estruturais, foram obtidos os carregamentos resultantes na fundação da estrutura. Os valores foram obtidos através da geração da planta de cargas da estrutura, na qual constam casos de carregamento crítico respectivos a cada esforço solicitante. A Figura 117 ilustra as faixas de carregamento para pilares e tirantes.

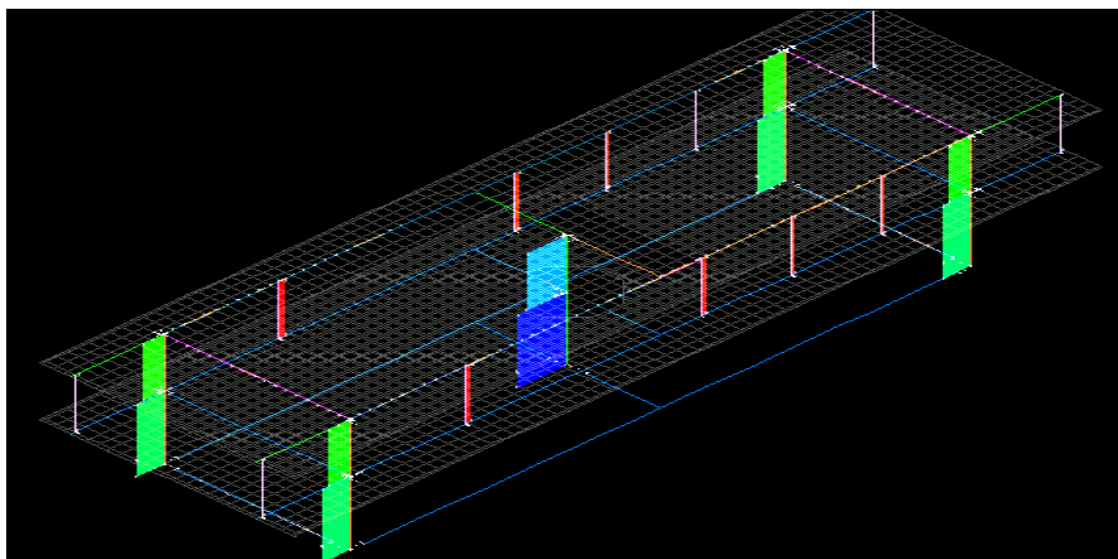


Figura 117 - Visualização da força normal nos pilares e tirantes. Fonte: AUTOR (2017).

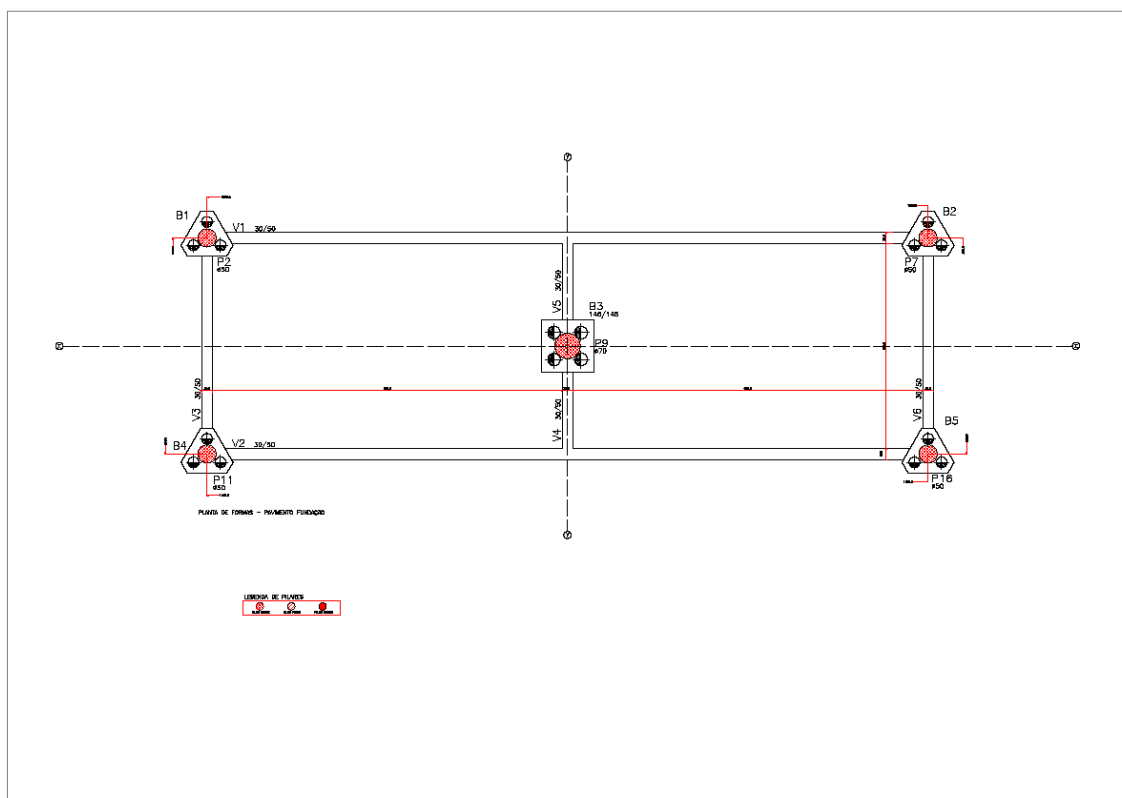


Figura 118 - Planta de formas do pavimento baldrame. Fonte: AUTOR (2017).

A solução de fundação foi definida levando em conta a necessidade de se garantir deslocamentos mínimos. Dada a configuração estrutural com número reduzido de apoios e elementos resistentes especiais, que devem ter suas condições de funcionamento sob controle, soluções sujeitas a movimentos na estrutura poderiam levar a recalques diferenciais e posteriores danos à construção.

Dessa forma, foi tomada a decisão por estacas, a serem dimensionadas pelo método estatístico de Aoki-Velloso. O método faz uso de correlações entre ensaios de solo (penetração estática x dinâmica) para o cálculo das resistências unitárias de ponta e de atrito lateral.

Para tanto, são determinados os parâmetros K e α , em função do tipo de solo, conforme a Tabela 33. A partir do valor de K e do número de SPT N do solo, pode ser calculada a resistência unitária de ponta:

$$R_p = K * N$$

Já a resistência unitária lateral é dada por:

$$R_l = \alpha * R_p$$

Os coeficientes $F1$ e $F2$ são definidos em função da solução adotada para as estacas e são apresentados na Figura 119. Seu uso é feito para considerar diferenças entre o modelo da estaca e do cone de penetração.

TIPO DE SOLO	F ₁ - reavaliados (1988)	F ₂ - reavaliados (1988)
Franki	2,5	5,0 - 2,0
Metálica	1,75 - 1,7	3,5 - 3,0
Pré-moldada de concreto D < 60 cm	1,75 - 1,9	3,5 - 1,4
Pré-moldada de concreto D > 60 cm	2,5	1,4
Escavada D < 60 cm	3,0 - 6,1	6,0 - 5,2
Strauss	4,2	3,8

Figura 119 - Coeficientes F₁ e F₂ em função da estaca empregada. Fonte: <http://www.ufjf.br/nugeo/files/2009/11/GF06-CapCargaProf-por-meio-SPT-2009.pdf>.

As correções feitas através das relações:

$$R'_p = \frac{R_p}{F_1}$$

$$R'_l = \frac{R_l}{F_2}$$

Nesse ponto, foi definido o tipo de estaca, a opção sendo feita por hélice contínua, que são estacas escavadas. A solução apresenta diversas vantagens, como facilidade de execução, alta produtividade, não causar vibração na execução, e ser aplicável na maioria dos tipos de terrenos. A carga de trabalho é compatível com a solicitação e há grande variedade de seções. Para a solução foi adotado o valor médio de F₁ = 4,55 e F₂ = 5,60.

O dimensionamento deve atender às seguintes condições, dispostas na NBR6122:1996:

$$\text{Resistência ao atrito lateral} = \sum R'_l \geq 80\% \text{ da carga de trabalho}$$

$$\text{Carga de ruptura} \geq 2 * \text{carga aplicada na estaca}$$

O requisito de carga de ruptura é alcançado facilmente, dependendo pouco do comprimento da estaca e mais do SPT da camada de solo. Já a resistência lateral total é dada pelo somatório das parcelas de resistência lateral de cada trecho da camada do solo, e é a condição que irá definir o comprimento das estacas.

O cálculo considera, de forma simplificada, apenas o carregamento de força normal em cada estaca, obtido pela divisão da carga total no bloco pelo número de estacas. Para cálculo mais elaborado, é importante a consideração dos momentos fletores, levando a diferentes valores de solicitação nas estacas de um mesmo bloco.

Tabela 32 - Descrição das camadas de solo conforme corte esquemático.

Cota	Sondagem			
	Solo	K (kPa)	α	SPT
1	Silte argiloso	230	0,034	4
2	Silte argiloso	230	0,034	5
3	Areia	1000	0,014	4
4	Areia	1000	0,014	6
5	Areia	1000	0,014	10
6	Areia	1000	0,014	11
7	Areia	1000	0,014	12
8	Areia	1000	0,014	11
9	Areia	1000	0,014	13
10	Areia	1000	0,014	12
11	Areia	1000	0,014	11
12	Areia	1000	0,014	14
13	Areia	1000	0,014	15
14	Areia	1000	0,014	14
15	Areia	1000	0,014	16
16	Areia	1000	0,014	17

Tabela 33 - Parâmetros K e α segundo o tipo de solo.

SOLO	K (kPa)	α	CÓDIGO
AREIA	1000	0,014	100
AREIA SILTOSA	800	0,02	120
AREIA SILTO-ARGILOSA	700	0,024	123
AREIA ARGILOSA	600	0,03	130
AREIA ARGILO-SILTOSA	500	0,028	132
SILTE	400	0,03	200
SILTE ARENOSO	550	0,022	210
SILTE ARENOSO-ARGILOSO	450	0,028	213
SILTE ARGILOSO	230	0,034	230
SILTE ARGILO-ARENOSO	250	0,03	231
ARGILA	200	0,06	300
ARGILA ARENOSA	350	0,024	310
ARGILA ARENO-SILTOSA	300	0,028	312
ARGILA SILTOSA	220	0,04	320
ARGILA SILTO-ARENOSA	330	0,03	321

Tabela 34 - Relação dos pilares e carregamentos na base.

Bloco	Pilar	Ø Pilar (cm)	Carga (tf)	Carga (kN)
1	2	50	85,3	853
2	7	50	87,2	872
3	9	70	181,5	1815
4	11	50	86,7	867
5	16	50	86,1	861

A Tabela 35 apresenta, para o bloco 1, os resultados obtidos ao final do dimensionamento. A carga e a tensão admissível são dadas, o número de estacas por bloco e a seção da estaca devem ser definidos pelo projetista, de modo a se obter uma carga admissível superior à carga de trabalho em cada estaca, para a seção escolhida. O comprimento da estaca é definido segundo a somatória das parcelas de resistência lateral, cujo cálculo se encontra na Tabela 37, referente ao bloco 1.

Tabela 35 – Dimensionamento da fundação do bloco 1.

Bloco	Pilar	Carga no bloco (kN)	Nº estacas	Carga na estaca (kN)	Tensão adm (kN/cm²)	D (cm)	Area (cm²)	Carga adm (kN)	Carga adm total (kN)	Lestaca
1	2	853	3	284,3	0,5	30	706,9	353,4	1060,3	11
						35	962,1	481,1	1443,2	-
						40	1256,6	628,3	1885,0	-
						50	1963,5	981,7	2945,2	-
						60	2827,4	1413,7	4241,2	-
						70	3848,5	1924,2	5772,7	-
						80	5026,5	2513,3	7539,8	-
						90	6361,7	3180,9	9542,6	-
						100	7854,0	3927,0	11781,0	-

Tabela 36 - Resumo do dimensionamento das fundações.

Bloco	Pilar	Carga no bloco (kN)	Nº estacas	Carga na estaca (kN)	Ø (cm)	Lestaca (m)
1	2	853	3	284,3	30	11
2	7	872	3	290,7	30	11
3	9	1815	4	453,8	35	15
4	11	867	3	289,0	30	11
5	16	861	3	287,0	30	11

Tabela 37 - Cálculo da capacidade de carga no bloco 1.

Cota	K (kPa)	a	SPT	Resistência de ponta		Resistência lateral			Resist. Total	RI' acum./ carga pilar
				Rp	Rp'	RI	RI'	RI' acum.		
1	230	0,034	4	920	202,20	31,28	5,59	5,59	415,57	2%
2	230	0,034	5	1150	252,75	39,1	6,98	12,57	530,63	4%
3	1000	0,014	4	4000	879,12	56	10,00	22,57	1803,38	8%
4	1000	0,014	6	6000	1318,68	84	15,00	37,57	2712,50	13%
5	1000	0,014	10	10000	2197,80	140	25,00	62,57	4520,74	22%
6	1000	0,014	11	11000	2417,58	154	27,50	90,07	5015,30	32%
7	1000	0,014	12	12000	2637,36	168	30,00	120,07	5514,86	42%
8	1000	0,014	11	11000	2417,58	154	27,50	147,57	5130,30	52%
9	1000	0,014	13	13000	2857,14	182	32,50	180,07	6074,42	63%
10	1000	0,014	12	12000	2637,36	168	30,00	210,07	5694,86	74%
11	1000	0,014	11	11000	2417,58	154	27,50	237,57	5310,30	84%
12	1000	0,014	14	14000	3076,92	196	35,00	272,57	6698,98	96%
13	1000	0,014	15	15000	3296,70	210	37,50	310,07	7213,54	109%
14	1000	0,014	14	14000	3076,92	196	35,00	345,07	6843,98	121%
15	1000	0,014	16	16000	3516,48	224	40,00	385,07	7803,10	135%
16	1000	0,014	17	17000	3736,26	238	42,50	427,57	8327,66	150%

Tabela 38 - Cálculo da capacidade de carga no bloco 2.

Cota	K (kPa)	a	SPT	Resistência de ponta		Resistência lateral			Resist. Total	RI' acum./ carga pilar
				Rp	Rp'	RI	RI'	RI' acum.		
1	230	0,034	4	920	202,20	31,28	5,59	5,59	415,57	2%
2	230	0,034	5	1150	252,75	39,1	6,98	12,57	530,63	4%
3	1000	0,014	4	4000	879,12	56	10,00	22,57	1803,38	8%
4	1000	0,014	6	6000	1318,68	84	15,00	37,57	2712,50	13%
5	1000	0,014	10	10000	2197,80	140	25,00	62,57	4520,74	22%
6	1000	0,014	11	11000	2417,58	154	27,50	90,07	5015,30	31%
7	1000	0,014	12	12000	2637,36	168	30,00	120,07	5514,86	41%
8	1000	0,014	11	11000	2417,58	154	27,50	147,57	5130,30	51%
9	1000	0,014	13	13000	2857,14	182	32,50	180,07	6074,42	62%
10	1000	0,014	12	12000	2637,36	168	30,00	210,07	5694,86	72%
11	1000	0,014	11	11000	2417,58	154	27,50	237,57	5310,30	82%
12	1000	0,014	14	14000	3076,92	196	35,00	272,57	6698,98	94%
13	1000	0,014	15	15000	3296,70	210	37,50	310,07	7213,54	107%
14	1000	0,014	14	14000	3076,92	196	35,00	345,07	6843,98	119%
15	1000	0,014	16	16000	3516,48	224	40,00	385,07	7803,10	132%
16	1000	0,014	17	17000	3736,26	238	42,50	427,57	8327,66	147%

Tabela 39 - Cálculo da capacidade de carga no bloco 3.

Cota	K (kPa)	a	SPT	Resistência de ponta		Resistência lateral			Resist. Total	RI' acum./ carga pilar
				Rp	Rp'	RI	RI'	RI' acum.		
1	230	0,034	4	920	202,20	31,28	5,59	5,59	415,57	1%
2	230	0,034	5	1150	252,75	39,1	6,98	12,57	530,63	3%
3	1000	0,014	4	4000	879,12	56	10,00	22,57	1803,38	5%
4	1000	0,014	6	6000	1318,68	84	15,00	37,57	2712,50	8%
5	1000	0,014	10	10000	2197,80	140	25,00	62,57	4520,74	14%
6	1000	0,014	11	11000	2417,58	154	27,50	90,07	5015,30	20%
7	1000	0,014	12	12000	2637,36	168	30,00	120,07	5514,86	26%
8	1000	0,014	11	11000	2417,58	154	27,50	147,57	5130,30	33%
9	1000	0,014	13	13000	2857,14	182	32,50	180,07	6074,42	40%
10	1000	0,014	12	12000	2637,36	168	30,00	210,07	5694,86	46%
11	1000	0,014	11	11000	2417,58	154	27,50	237,57	5310,30	52%
12	1000	0,014	14	14000	3076,92	196	35,00	272,57	6698,98	60%
13	1000	0,014	15	15000	3296,70	210	37,50	310,07	7213,54	68%
14	1000	0,014	14	14000	3076,92	196	35,00	345,07	6843,98	77%
15	1000	0,014	16	16000	3516,48	224	40,00	385,07	7803,10	85%
16	1000	0,014	17	17000	3736,26	238	42,50	427,57	8327,66	94%

Tabela 40 - Cálculo da capacidade de carga no bloco 4.

Cota	K (kPa)	a	SPT	Resistência de ponta		Resistência lateral			Resist. Total	RI' acum./ carga pilar
				Rp	Rp'	RI	RI'	RI' acum.		
1	230	0,034	4	920	202,20	31,28	5,59	5,59	415,57	2%
2	230	0,034	5	1150	252,75	39,1	6,98	12,57	530,63	4%
3	1000	0,014	4	4000	879,12	56	10,00	22,57	1803,38	8%
4	1000	0,014	6	6000	1318,68	84	15,00	37,57	2712,50	13%
5	1000	0,014	10	10000	2197,80	140	25,00	62,57	4520,74	22%
6	1000	0,014	11	11000	2417,58	154	27,50	90,07	5015,30	31%
7	1000	0,014	12	12000	2637,36	168	30,00	120,07	5514,86	42%
8	1000	0,014	11	11000	2417,58	154	27,50	147,57	5130,30	51%
9	1000	0,014	13	13000	2857,14	182	32,50	180,07	6074,42	62%
10	1000	0,014	12	12000	2637,36	168	30,00	210,07	5694,86	73%
11	1000	0,014	11	11000	2417,58	154	27,50	237,57	5310,30	82%
12	1000	0,014	14	14000	3076,92	196	35,00	272,57	6698,98	94%
13	1000	0,014	15	15000	3296,70	210	37,50	310,07	7213,54	107%
14	1000	0,014	14	14000	3076,92	196	35,00	345,07	6843,98	119%
15	1000	0,014	16	16000	3516,48	224	40,00	385,07	7803,10	133%
16	1000	0,014	17	17000	3736,26	238	42,50	427,57	8327,66	148%

Tabela 41 - Cálculo da capacidade de carga no bloco 5.

Cota	K (kPa)	a	SPT	Resistência de ponta		Resistência lateral			Resist. Total	RI' acum./ carga pilar
				Rp	Rp'	RI	RI'	RI' acum.		
1	230	0,034	4	920	202,20	31,28	5,59	5,59	415,57	2%
2	230	0,034	5	1150	252,75	39,1	6,98	12,57	530,63	4%
3	1000	0,014	4	4000	879,12	56	10,00	22,57	1803,38	8%
4	1000	0,014	6	6000	1318,68	84	15,00	37,57	2712,50	13%
5	1000	0,014	10	10000	2197,80	140	25,00	62,57	4520,74	22%
6	1000	0,014	11	11000	2417,58	154	27,50	90,07	5015,30	31%
7	1000	0,014	12	12000	2637,36	168	30,00	120,07	5514,86	42%
8	1000	0,014	11	11000	2417,58	154	27,50	147,57	5130,30	51%
9	1000	0,014	13	13000	2857,14	182	32,50	180,07	6074,42	63%
10	1000	0,014	12	12000	2637,36	168	30,00	210,07	5694,86	73%
11	1000	0,014	11	11000	2417,58	154	27,50	237,57	5310,30	83%
12	1000	0,014	14	14000	3076,92	196	35,00	272,57	6698,98	95%
13	1000	0,014	15	15000	3296,70	210	37,50	310,07	7213,54	108%
14	1000	0,014	14	14000	3076,92	196	35,00	345,07	6843,98	120%
15	1000	0,014	16	16000	3516,48	224	40,00	385,07	7803,10	134%
16	1000	0,014	17	17000	3736,26	238	42,50	427,57	8327,66	149%

Tabela 42 - Quantitativo de estacas.

Bloco	N estacas	Ø (cm)	Lestaca	R\$/m*	R\$
1	3	30	11	32,27	1065
2	3	30	11	32,27	1065
3	4	35	15	37,78	2267
4	3	30	11	32,27	1065
5	3	30	11	32,27	1065
				Sub-total	6526
Taxa de mobilização de equipamento					12915
				Total	19441

*Valores extraídos de:

http://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/upload/arquivos/secretarias/infraestrutura urbana/tabelas_de_custos/set2006/Insumos.xls.

4.4. Projetos Complementares

Nota: os arquivos presentes nessa seção estarão anexos no caderno de desenho, em escala ampliada e melhor resolução.

4.4.1. Elétrica

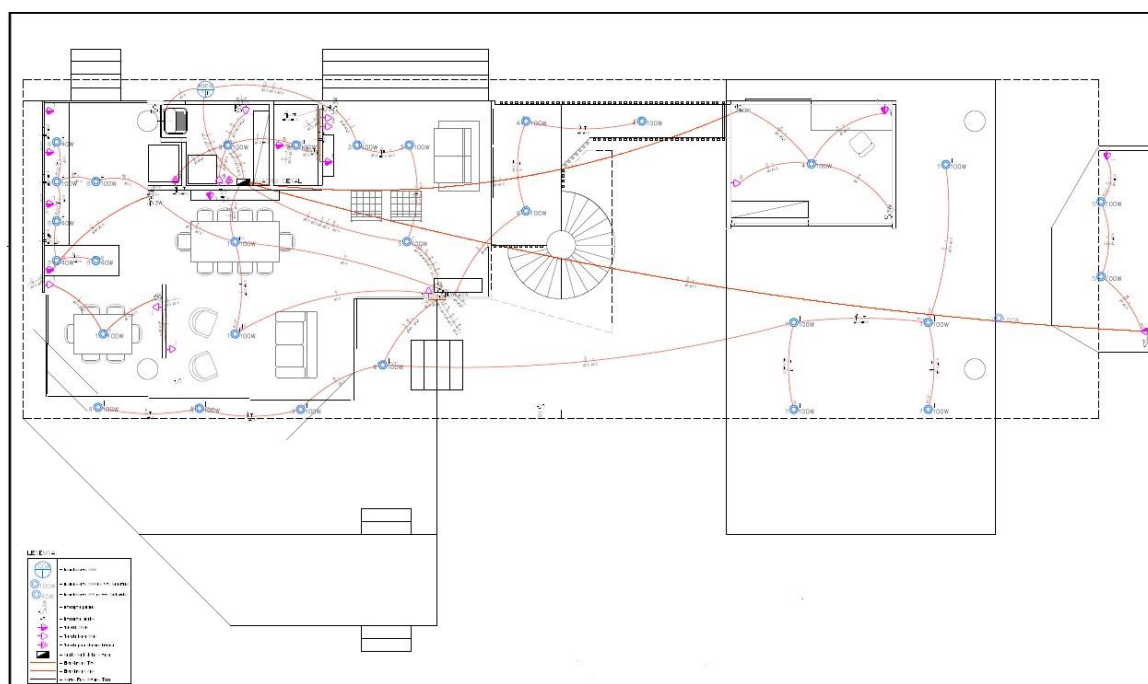


Figura 120 - Distribuição da fiação – Térreo. Fonte: AUTOR (2017).

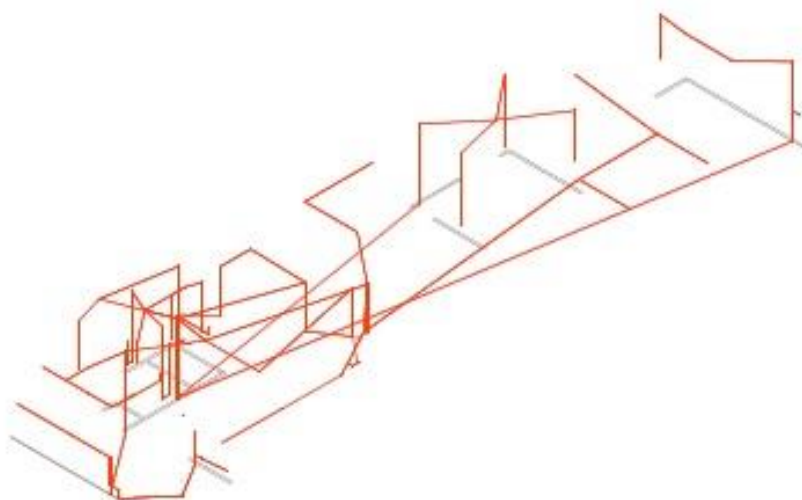


Figura 121 - Esquema 3D da distribuição da fiação – Térreo. Fonte: AUTOR (2017).

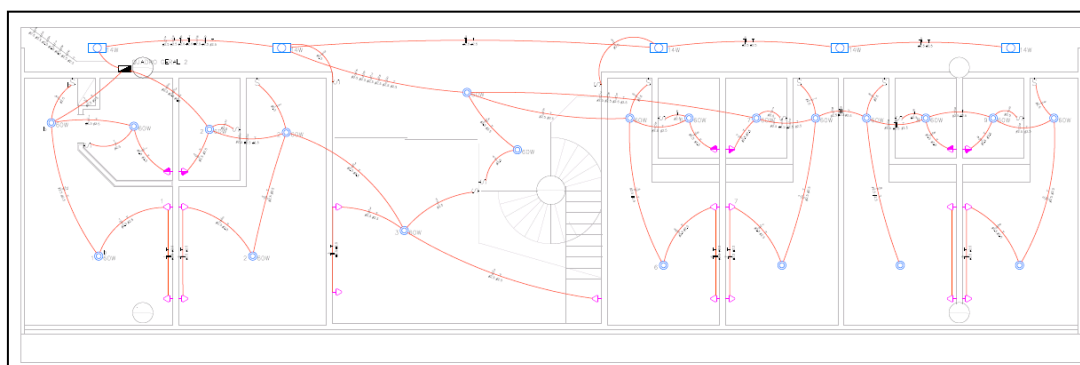


Figura 122 – Distribuição da fiação no 1º pavimento. Fonte: AUTOR (2017).

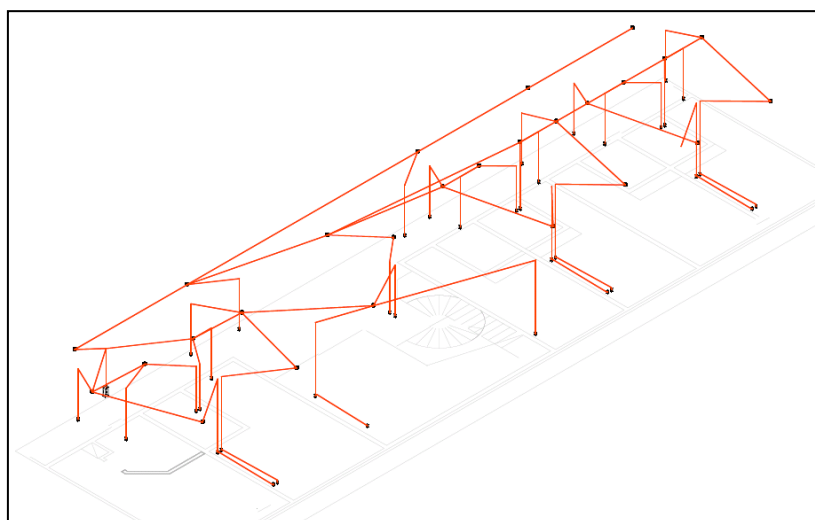


Figura 123 – Esquema 3D da distribuição da fiação no 1º pavimento. Fonte: AUTOR (2017).

Com o projeto de Elétrica visou-se, principalmente, estabelecer o caminhamento da fiação de modo a entender como seria viabilizada a integração com a estrutura.

Como tem-se a ideia, pelo partido arquitetônico, de possivelmente deixar o concreto aparente nas lajes (teto), é preciso ter bem estabelecido os pontos de luz pois estes estariam fixados junto com a concretagem.

Para isso foi feito Cálculo Luminotécnico para todos os ambientes, visando ter a distribuição correta dos pontos de luz. O cálculo foi feito a partir da geometria dos ambientes, iluminação necessária para cada ambiente obtida por tabelas de referência (NBR 5413) e iluminação de luminárias ou lâmpadas específicas escolhidas.

Para os ambientes do pavimento térreo:

- Cozinha

Geometria:

largura = 3.36 m

comprimento = 3.36 m

altura útil = 2.25 m

Lâmpada:

(Incand.) STD-127 V 100 W

Fluxo luminoso unitário = 1560 lumens

Utilização:

Áreas gerais da edificação

Refeitório/Cantinas

Iluminação necessária: 200 lux

Fator de Área: 0.75

Fator de Utilização: 0.50

Fator de Perdas: 0.80

$$\text{Fluxo total} = \frac{\text{comprimento} * \text{largura} * \text{iluminação}}{f.\text{utilização} * f.\text{perdas}}$$

$$\text{Fluxo total} = \frac{3,36 * 3,36 * 200}{0,5 * 0,8} = 5638,5 \text{ lumens}$$

$$\text{Número de lâmpadas} = \frac{\text{fluxo total}}{\text{fluxo unitário}}$$

$$\text{Número de lâmpadas} = \frac{5638,5}{1560}$$

Número de lâmpadas calculado = 3.61

Número de lâmpadas adotado = 4

- Copa

Geometria:

largura = 2.36 m

comprimento = 2.36 m

altura útil = 2.25 m

Lâmpada:

(Incand.) STD-127 V 200 W

Fluxo luminoso unitário = 3400 lumens

Utilização:

Áreas gerais da edificação

Salas de descanso

Iluminação necessária: 100 lux

Fator de Área: 0.52

Fator de Utilização: 0.40

Fator de Perdas: 0.80

$$\text{Fluxo total} = \frac{\text{comprimento} * \text{largura} * \text{iluminação}}{f.\text{utilização} * f.\text{perdas}}$$

$$\text{Fluxo total} = \frac{2,36 * 2,36 * 100}{0,4 * 0,8} = 1734,4 \text{ lumens}$$

$$\text{Número de lâmpadas} = \frac{\text{fluxo total}}{\text{fluxo unitário}}$$

$$\text{Número de lâmpadas} = \frac{1734,4}{3400}$$

Número de lâmpadas calculado = 0.51

Número de lâmpadas adotado = 1

- Sala de estar da frente

Geometria:

largura = 3.41m

comprimento = 3.41m

altura útil = 2.25m

Lâmpada:

(Incand.) STD-127 V 100 W

Fluxo luminoso unitário = 1560 lumens

Utilização:

Áreas gerais da edificação

Salas de descanso

Iluminação necessária: 100 lux

Fator de Área: 0.76

Fator de Utilização: 0.50

Fator de Perdas: 0.80

$$\text{Fluxo total} = \frac{\text{comprimento} * \text{largura} * \text{iluminação}}{f.\text{utilização} * f.\text{perdas}}$$

$$\text{Fluxo total} = \frac{3,41 * 3,41 * 100}{0,5 * 0,8} = 2900,6 \text{ lumens}$$

$$\text{Número de lâmpadas} = \frac{\text{fluxo total}}{\text{fluxo unitário}}$$

$$\text{Número de lâmpadas} = \frac{2900,6}{1560}$$

Número de lâmpadas = 1.86

Número de lâmpadas = 2

- Espaço mesa de jantar

Geometria:

largura = 2.97 m

comprimento = 2.97 m

altura útil = 2.25 m

Lâmpada:

(Incand.) STD-127 V 100 W

Fluxo luminoso unitário = 1560 lumens

Utilização:

Áreas gerais da edificação

Salas de descanso

Iluminação necessária: 100 lux

Fator de Área: 0.66

Fator de Utilização: 0.40

Fator de Perdas: 0.80

$$\text{Fluxo total} = \frac{\text{comprimento} * \text{largura} * \text{iluminação}}{f.\text{utilização} * f.\text{perdas}}$$

$$\text{Fluxo total} = \frac{2,97 * 2,97 * 100}{0,4 * 0,8} = 2753,6 \text{ lumens}$$

$$\text{Número de lâmpadas} = \frac{\text{fluxo total}}{\text{fluxo unitário}}$$

$$\text{Número de lâmpadas} = \frac{2753,6}{1560}$$

Número de lâmpadas = 1.77

Número de lâmpadas = 2

- Área de serviço

Geometria:

largura = 1.99 m

comprimento = 1.99 m

altura útil = 2.25 m

Lâmpada:

(Incand.) STD-127 V 100 W

Fluxo luminoso unitário = 1560 lumens

Utilização:

Áreas gerais da edificação

Depósitos, estoques, câmara fria

Iluminação necessária: 100 lux

Fator de Área: 0.44

Fator de Utilização: 0.40

Fator de Perdas: 0.80

$$\text{Fluxo total} = \frac{\text{comprimento} * \text{largura} * \text{iluminação}}{f.\text{utilização} * f.\text{perdas}}$$

$$\text{Fluxo total} = \frac{1,99 * 1,99 * 100}{0,4 * 0,8} = 1243,3 \text{ lumens}$$

$$\text{Número de lâmpadas} = \frac{\text{fluxo total}}{\text{fluxo unitário}}$$

$$\text{Número de lâmpadas} = \frac{1243,3}{1560}$$

Número de lâmpadas = 0.80

Número de lâmpadas = 1

Para os ambientes do 1º pavimento:

- Quartos

Geometria:

largura = 3.45 m

comprimento = 3.50 m

altura útil = 2.25 m

Lâmpada:

(Fluores.) TL5-49 W-HO/840

Fluxo luminoso unitário = 5000 lumens

Utilização:

Áreas gerais da edificação

Salas de descanso

Iluminação necessária: 100 lux

Fator de Área: 0.77

Fator de Utilização: 0.50

Fator de Perdas: 0.80

$$\text{Fluxo total} = \frac{\text{comprimento} * \text{largura} * \text{iluminação}}{f.\text{utilização} * f.\text{perdas}}$$

$$\text{Fluxo total} = \frac{3,5 * 3,45 * 100}{0,5 * 0,8} = 3018,8 \text{ lumens}$$

$$\text{Número de lâmpadas} = \frac{\text{fluxo total}}{\text{fluxo unitário}}$$

$$\text{Número de lâmpadas} = \frac{3018,8}{5000}$$

Número de lâmpadas = 0.60

Número de lâmpadas = 1

- Sala TV/jogos

Geometria:

largura = 4.55 m

comprimento = 6.58 m

altura útil = 2.25 m

Lâmpada:

(Fluores.)TL5-49 W-HO/840

Fluxo luminoso unitário = 5000 lumens

Utilização:

Áreas gerais da edificação

Salas de descanso

Iluminação necessária: 100 lux

Fator de Área: 1.20

Fator de Utilização: 0.65

Fator de Perdas: 0.80

$$\text{Fluxo total} = \frac{\text{comprimento} * \text{largura} * \text{iluminação}}{f. \text{utilização} * f. \text{perdas}}$$

$$\text{Fluxo total} = \frac{6,58 * 4,55 * 100}{0,65 * 0,8} = 5757,6 \text{ lumens}$$

$$\text{Número de lâmpadas} = \frac{\text{fluxo total}}{\text{fluxo unitário}}$$

$$\text{Número de lâmpadas} = \frac{5757,6}{5000}$$

Número de lâmpadas = 1.15

Número de lâmpadas = 2

- Circulação quartos 2

Geometria:

largura = 0.69 m

comprimento = 10.90 m

altura útil = 2.25 m

Lâmpada:

MASTER LEDbulb D 13-75 W

Fluxo luminoso unitário = 1055 lumens

Utilização:

Áreas gerais da edificação

Áreas de circulação e corredores

Iluminação necessária: 100 lux

Fator de Área: 0.29

Fator de Utilização: 0.40

Fator de Perdas: 0.80

$$\text{Fluxo total} = \frac{\text{comprimento} * \text{largura} * \text{iluminação}}{f.\text{utilização} * f.\text{perdas}}$$

$$\text{Fluxo total} = \frac{10,9 * 0,69 * 100}{0,4 * 0,8} = 2339,2 \text{ lumens}$$

$$\text{Número de lâmpadas} = \frac{\text{fluxo total}}{\text{fluxo unitário}}$$

$$\text{Número de lâmpadas} = \frac{2339,2}{1055}$$

Número de lâmpadas = 2.22

Número de lâmpadas = 3

- Circulação quartos 1

Geometria:

largura = 0.81 m

comprimento = 6.36 m

altura útil = 2.25 m

Lâmpada:

MASTER LEDbulb D 13-75 W

Fluxo luminoso unitário = 1055 lumens

Utilização:

Áreas gerais da edificação

Áreas de circulação e corredores

Iluminação necessária: 100 lux

Fator de Área: 0.32

Fator de Utilização: 0.40

Fator de Perdas: 0.80

$$\text{Fluxo total} = \frac{\text{comprimento} * \text{largura} * \text{iluminação}}{f.\text{utilização} * f.\text{perdas}}$$

$$\text{Fluxo total} = \frac{6,36 * 0,81 * 100}{0,4 * 0,8} = 1618 \text{ lumens}$$

$$\text{Número de lâmpadas} = \frac{\text{fluxo total}}{\text{fluxo unitário}}$$

$$\text{Número de lâmpadas} = \frac{1618}{1055}$$

Número de lâmpadas = 1.53

Número de lâmpadas = 2

- Escada/circulação

Geometria:

largura = 2.39 m

comprimento = 2.39 m

altura útil = 2.25 m

Lâmpada:

PLE/T-20 W-120 V-D

Fluxo luminoso unitário = 1100 lumens

Utilização:

Áreas gerais da edificação

Áreas de circulação e corredores

Iluminação necessária: 100 lux

Fator de Área: 0.53

Fator de Utilização: 0.40

Fator de Perdas: 0.80

$$\text{Fluxo total} = \frac{\text{comprimento} * \text{largura} * \text{iluminação}}{f.\text{utilização} * f.\text{perdas}}$$

$$\text{Fluxo total} = \frac{2,39 * 2,39 * 100}{0,4 * 0,8} = 1792,5 \text{ lumens}$$

$$\text{Número de lâmpadas} = \frac{\text{fluxo total}}{\text{fluxo unitário}}$$

$$\text{Número de lâmpadas} = \frac{1792,5}{1100}$$

Número de lâmpadas = 1.63

Número de lâmpadas = 2

- Banheiros

Geometria:

largura = 1.50 m

comprimento = 1.95 m

altura útil = 2.25 m

Lâmpada:

(Fluores.) TLTRS40 W-ELD-25

Fluxo luminoso unitário = 2600 lumens

Utilização:

Áreas gerais da edificação

Vestiários, banheiros, toaletes

Iluminação necessária: 200 lux

Fator de Área: 0.38

Fator de Utilização: 0.40

Fator de Perdas: 0.80

$$\text{Fluxo total} = \frac{\text{comprimento} * \text{largura} * \text{iluminação}}{f.\text{utilização} * f.\text{perdas}}$$

$$\text{Fluxo total} = \frac{1,95 * 1,50 * 100}{0,4 * 0,8} = 1828,1 \text{ lumens}$$

$$\text{Número de lâmpadas} = \frac{\text{fluxo total}}{\text{fluxo unitário}}$$

$$\text{Número de lâmpadas} = \frac{1828,1}{2600}$$

Número de lâmpadas = 0.70

Número de lâmpadas = 1

Pela tabela abaixo (NBR 5410) é possível calcular (e/ou estimar) o número de tomadas.

Tabela 43 - Tabela para cálculo/estimativa do número de tomadas. Fonte: NBR5410:2004.

RECINTO	QUANTIDADE MÍNIMA
Cômodos ou dependências com área igual ou inferior a 6m ²	No mínimo 1 tomada de 100 VA
Cômodos ou dependências com mais de 6 m ²	No mínimo 1 tomada de 100 VA para cada 5 m + 1 de 100 VA se houver fração de perímetro, espaçadas tão uniformemente quanto possível
Subsolos, varandas, garagens ou sótãos	1 tomada de 100 VA independente da área, (mínimo)
Banheiros	1 tomada de 100 VA junto à pia, com distância mínima de 60 cm do boxe, independente da área
Copa e Cozinha ou Área de Serviço	1 tomada a cada 3 m de 600 VA sendo o máximo de 3 tomadas (até 9 m) + 1 tomada a cada 3 m de 100 VA + 1 de 100 VA se houver fração de perímetro

Posteriormente, com a soma das cargas, das luminárias junto aos pontos de tomada, é possível calcular e distribuir fiação. Os cálculos de fiação foram feitos com auxílio do software CAD/Multiplus.

A fiação subirá pelo “shaft” previsto no pilar que passa pela cozinha e se distribuirá pela laje, descendo pelas paredes de alvenaria.

Quadro de Cargas															
QUADRO GERAL															
Circ.	Descrição	Iluminação			Tomadas		Chuveiro 4500W	Pot. W	Pot. V.A	Fat. Pot.	Corr. Pot.	Fases	Prot. A	Cond. mm2	Fases ABC
		40W	100W		300W										
1	Tomadas		5		11			3800,0	4625,0	0,80*	36,42	1	63A	2,5	C
2	Geladeira					1		4500,0	4500,0	1,00	20,46	2	25A	4	BC
3	Tomadas		2		3			1100,0	1325,0	0,80*	10,43	1	13A	2,5	A
4	Escritório/circul		4		2			1000,0	1150,0	0,80*	9,06	1	13A	4	A
5	Depósito		2		2			800,0	950,0	0,80*	7,48	1	10A	4	C
6	Iluminação	4	2					360,0	360,0	1,00	2,83	1	6A	1,5	A
7	Iluminação		5					500,0	500,0	1,00	3,94	1	6A	2,5	B
8	Iluminação		4					400,0	400,0	1,00	3,15	1	6A	1,5	C
9	Lavabo/Serviço/tv		2		2	1		5300,0	5450,0	0,80*	24,78	2	32A	2,5	AB
Total		4	26		20	2		17760,0	19260,0						
Aliment.	C=10m QT=2%							7202,5	7716,1	0,93	20,30	3	63A	16	ABC
Potência Total (17760.0 W) (19260.0 V.A) Potência Demandada: 40.55% (7202.5 W) (7716.1 V.A)															
Corrente nas Fases: A=22.1A B=20.9A C=22.5A															

Figura 124 - Quadro de cargas do térreo. Fonte: AUTOR (2017).

Quadro de Cargas																
QUADRO GERAL 2																
Circ.	Descrição	Iluminação			Tomadas			Pot. W	Pot. V.A	Fat. Pot.	Corr. A	Fases	Prot. A	Cond. mm2	Fases ABC	
		14W	60W		50W	300W	500W									
1	Iluminação		3		1	1	1		1030.0	1242.5	0.80*	9.78	1	13A	2.5	C
2	Iluminação		3		2	1			580.0	680.0	0.80*	5.35	1	10A	2.5	C
3	Tomadas		1			3			960.0	1185.0	0.80*	9.33	1	13A	2.5	C
4	Iluminação		2						120.0	120.0	1.00	0.94	1	6A	2.5	A
5	Iluminação	5							70.0	77.8	0.90	0.61	1	6A	2.5	B
6	Iluminação		3			3			1080.0	1305.0	0.80*	10.28	1	13A	2.5	B
7	Iluminação		3			3			1080.0	1305.0	0.80*	10.28	1	13A	2.5	A
8	Iluminação		3			3			1080.0	1305.0	0.80*	10.28	1	13A	2.5	A
9	Iluminação					3			1080.0	1305.0	0.80*	10.28	1	13A	2.5	B
Total		5	21		3	17	1		7080.0	8525.3						
Aliment.	C=10m QT=2%								4258.0	5127.2	0.83	13.50	3	16A	2.5	ABC
Potência Total (7080.0 W) (8525.3 V.A) Potência Demandada: 60.14% (4258.0 W) (5127.2 V.A)																
Corrente nas Fases: A=12.9A B=12.7A C=14.7A																

Figura 125 – Quadro de cargas do 1º pavimento. Fonte: AUTOR (2017).

Diagram illustrating a single-phase electrical circuit configuration. A central black square represents the 'QUADRO ARCOND' (condensator unit). Six red lines radiate from this square to six purple triangle symbols, representing individual loads. A label '#2.5' with an arrow points to the black square, indicating the cable size for the main supply line.

QUADRO ARCONDICIONADOS

Circuito	Fases	Carga Demandada (V.A)	Demanda (V)	Corrente (A)	Fator Correção	Compr. (m)	Bitola Q.Tensão	Bitola Cap.Cor.	Bitola Mínima	Bitola Proteção	Bitola Utilizada	Proteção (A)
2	1	1172.5	127	9.23 A	1.00	4.01	1.5 mm2	0.8 mm2	2.5 mm2		2.5 mm2	13
3	1	1172.5	127	9.23 A	1.00	3.70	1.5 mm2	0.8 mm2	2.5 mm2		2.5 mm2	13
4	1	1172.5	127	9.23 A	1.00	3.42	1.5 mm2	0.8 mm2	2.5 mm2		2.5 mm2	13
5	1	1172.5	127	9.23 A	1.00	3.22	1.5 mm2	0.8 mm2	2.5 mm2		2.5 mm2	13
6	1	1172.5	127	9.23 A	1.00	3.11	1.5 mm2	0.8 mm2	2.5 mm2		2.5 mm2	13
7	1	1172.5	127	9.23 A	1.00	3.15	1.5 mm2	0.8 mm2	2.5 mm2		2.5 mm2	13
	1	1172.5	127	9.23 A	1.00	4.35	1.5 mm2	0.8 mm2	2.5 mm2		2.5 mm2	13

Figura 126 – Fiação prevista para máquinas de ar-condicionado na cobertura. Fonte: AUTOR (2017).

NBR-5444					
Nu m.	Qua nt.	Un d.	Descrição	Preço(R\$)	Valor(R\$)
1	44	pc	CAIXA DE LIGAÇÃO de PVC para eletroduto flexível , retangular, dimensões 4 x 2"	2,74	120,51
2	120,76	m	ELETRODUTO de PVC flexível corrugado Ø 20 mm (1/2")	2,31	278,83
3	58,45	m	ELETRODUTO de PVC flexível corrugado Ø 25 mm (3/4")	0	0
4	3,43	m	ELETRODUTO de PVC flexível corrugado Ø 32 mm (1")	3,46	11,89
5	11,87	m	ELETRODUTO de PVC rígido roscável, sem conexões Ø 20 mm (1/2")	2,97	35,28
6	1	pc	QUADRO de distribuição de luz em chapa de aço de embutir, até 28 divisões modulares, dimensões externas 522 x 360 x 100 mm	245,18	245,18
7	4	pc	TOMADA dois pólos mais terra 20 A - 250 V	10,77	43,07
8	40	pc	TOMADA universal dois pólos 10 A - 250 V	5,05	202,1
9	59	pc	Caixa Sextavada		
10	5	pc	Curva roscável macho - PVC rígido roscável	sem conexões Ø 20 mm (1/2""")	
11	2,8	m	Eletroduto Flexível - Parede		
12	22,22	m	Eletroduto Flexível - Piso		
13	51	pc	Incandescente 100W no teto (embutido)		
14	8	pc	Incandescente 40W no teto (embutido)		
15	10	pc	Luva roscável - PVC rígido roscável	sem conexões Ø 20 mm (1/2""")	
Interruptor com letra S					
Nu m.	Qua nt.	Un d.	Descrição	Preço(R\$)	Valor(R\$)
1	32	pc	CAIXA DE LIGAÇÃO de PVC para eletroduto flexível , quadrada, dimensões 4 x 4"	3,84	122,85
2	14	pc	INTERRUPTOR , uma tecla paralelo 10 A - 250 V	6,91	96,7
3	18	pc	INTERRUPTOR , uma tecla simples 10 A - 250 V	4,95	89,15
4	1	pc	Caixa Sextavada		
5	1	pc	Incandescente 100W		
Fiação e Dispositivos de Proteção					
Nu m.	Qua nt.	Un d.	Descrição	Preço(R\$)	Valor(R\$)
1	74,54	m	FIO ISOLADO de PVC seção 1,5 mm² - 750 V - 70°C	1,31	97,34
2	544,59	m	FIO ISOLADO de PVC seção 2,5 mm² - 750 V - 70°C	1,65	899,43
3	202,45	m	FIO ISOLADO de PVC seção 4 mm² - 750 V - 70°C	2,22	449,79
				Total =	2692,12

4.4.2. Hidráulica

O projeto de hidráulica visou preservar a forma esbelta da estrutura, portanto, buscou-se evitar rasgar horizontalmente a laje, principalmente com o esgoto, o que a enfraqueceria e podendo haver necessidade de engrossamento. Para isso, solucionou-se perfurando a laje verticalmente num furo direto, que pouco afeta a resistência da estrutura, e, para não deixar a tubulação aparente (interesse do cliente) em seu caminhamento até os shafts no pilar, a solução estética foi um cobrimento com chapas de aço corten, que confere acabamento estético diferenciado apreciado pelo cliente.

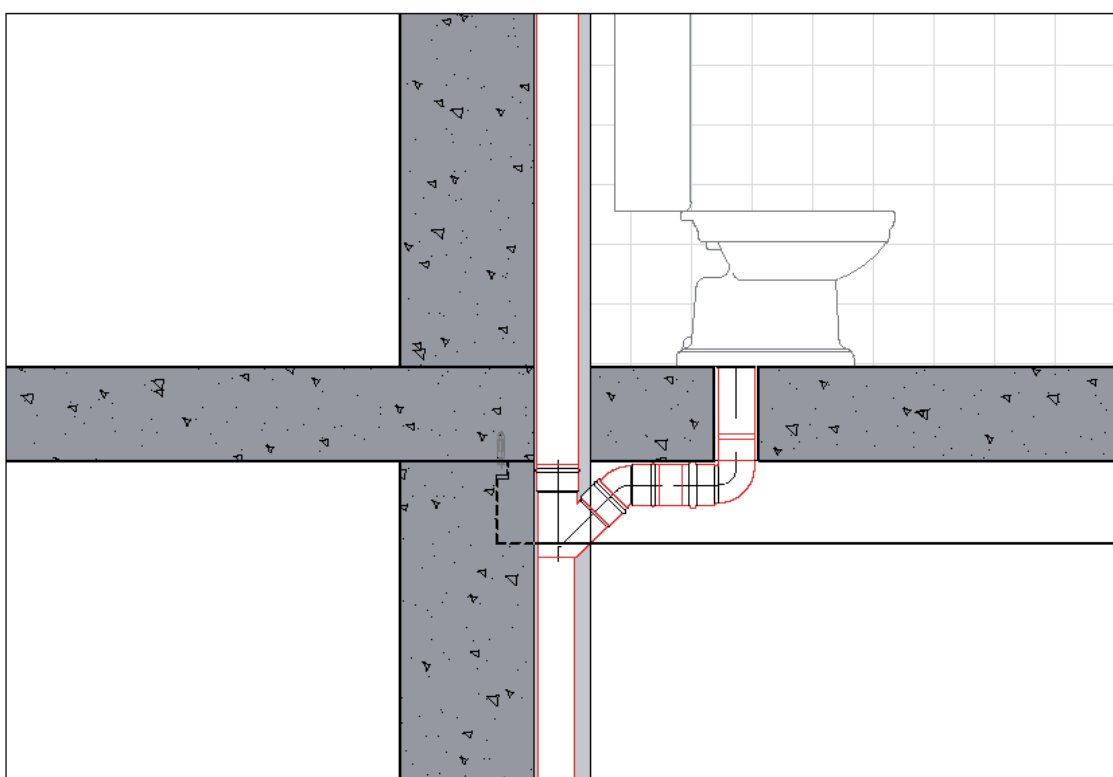


Figura 127 - Detalhe da tubulação de esgoto e chapa para acabamento estético na região embaixo da tubulação dos banheiros. Fonte: AUTOR (2017).

Para água fria e água quente também foi pensada uma distribuição que minimizasse a interferência com a estrutura. Isso se deu de forma que a tubulação varria verticalmente a laje em pontos que dão em cima das paredes, para posterior caminhamento até os pontos de uso. A cidade se encontra no litoral paulista e, em maior parte do tempo, é muito quente, portanto, foi descartada a necessidade de água quente no térreo.

Foi feito o dimensionamento de modo a garantir $>10\text{kPa}$ com $>3\text{m/s}$ nos pontos de uso. Posteriormente feito o levantamento de material com cotação de preços com base na TCPO.

Com opção do cliente por tubulação em cobre, cotou-se e viu-se que um custo muito elevado se concentrava nas tubulações de maior diâmetro na distribuição na cobertura. Para tais, mudaram-se as tubulações para PVC marrom, e uma economia de 3 mil reais foi possível apenas com essa troca.

4.4.2.1. Água fria e água quente

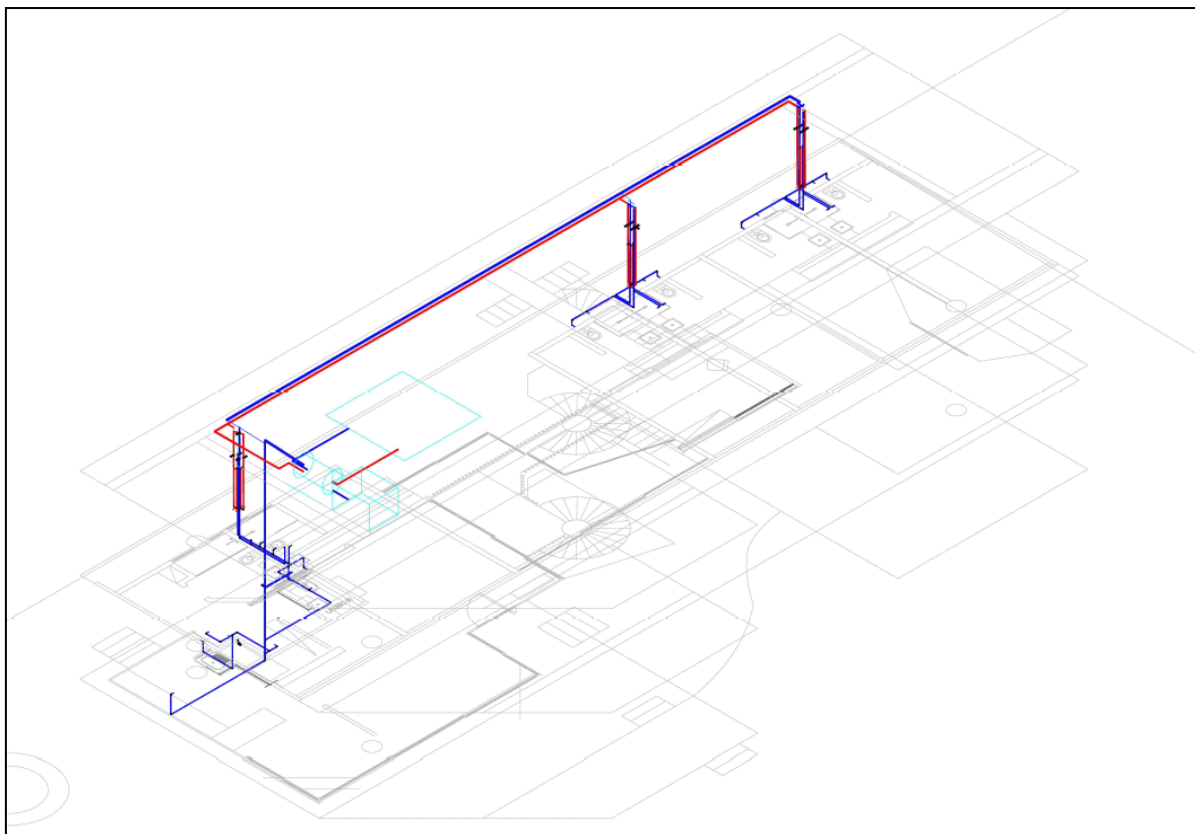


Figura 128 - Representação isométrica dos sistemas de água fria e água quente. Fonte: AUTOR (2017).

PVC Soldável marrom				
Quant.	Unid.	Descrição	Preço(R\$)	Valor(R\$)
19,28	m	TUBO de PVC soldável, sem conexões Ø 50 mm	8,63	166,36
19,65	m	TUBO de PVC soldável, sem conexões Ø 50 mm	8,63	169,52
			Total =	335,88

Cobre e Bronze				

Quant.	Unid.	Código	Descrição	Preço(R\$)	Valor(R\$)
5.52	m	15144.8.23.1	TUBO de cobre soldável, com conexões Ø 15 mm (1/2")	18.92	104.43
0.7	m	15144.8.23.1	TUBO de cobre soldável, com conexões Ø 15 mm (1/2")	18.92	13.25
38.92	m	15144.8.23.2	TUBO de cobre soldável, com conexões Ø 22 mm (3/4")	28.78	1119.85
11.83	m	15144.8.23.2	TUBO de cobre soldável, com conexões Ø 22 mm (3/4")	28.78	340.35
76.42	m	15144.8.23.3	TUBO de cobre soldável, com conexões Ø 28 mm (1")	35.62	2721.84
2.26	m	15144.8.23.3	TUBO de cobre soldável, com conexões Ø 28 mm (1")	35.62	80.49
0.1	m	15144.8.23.4	TUBO de cobre soldável, com conexões Ø 35 mm (1 1/4")	47.17	4.72
2.2	m	15144.8.23.5	TUBO de cobre soldável, com conexões Ø 42 mm (1 1/2")	61.78	135.92
66.9	m	15144.8.23.5	TUBO de cobre soldável, com conexões Ø 42 mm (1 1/2")	61.78	4133.01
2.2	Barra		Tubo Cobre 1"		
3	pc	15144.8.1.2	CONECTOR soldável de bronze bolsa x bolsa, Ø 22 mm x 3/4"	10.1	30.3
2	pc	15144.8.1.12	CONECTOR soldável de bronze bolsa x ponta, Ø 42 mm x 1 1/2"	21.72	43.43
18	pc	15144.8.3.6	COTOVELO soldável de cobre bolsa x bolsa, Ø 28 mm (1")	10.86	195.41
4	pc	15144.8.16.2	TÊ de redução central soldável de cobre e bronze bolsa x bolsa, Ø 28 x 15 x 28 mm	20.15	80.61
6	pc	15144.8.16.3	TÊ de redução central soldável de cobre e bronze bolsa x bolsa, Ø 28 x 22 x 28 mm	20.15	120.92
1	pc	15144.8.19.2	TÊ soldável de bronze bolsa x bolsa, Ø 42 mm (1 1/2")	22.53	22.53
1	pc	15144.8.19.4	TÊ soldável de bronze bolsa x bolsa, Ø 66 mm (2 1/2")	104.84	104.84
10	pc	15144.8.20.3	TÊ soldável de cobre bolsa x bolsa, Ø 28 mm (1")	11.55	115.5
8	pc		Joelho 90 22mm		
1	pc		Joelho 90 42mmx22mm		
5	pc		Joelho 90 com bucha de latão 22mmx1/2"		
1	pc		Joelho 90 com bucha de latão 22mmx15mm		
20	pc		Joelho 90 de redução bolsa e rosca 22mmx1/2"		
1	pc		Registro de Gaveta bruto 42mm		
1	pc		Tê c/bucha de latão na bolsa central 22mmx1/2"x22mm		

Registros					
Quant.	Unid.	Código	Descrição	Preço(R\$)	Valor(R\$)
12	pc		Registro de Gaveta bruto 1'''		
				Total =	9369.75

4.4.2.2. Águas pluviais

Dados de cálculo

Para águas pluvias

Intensidade Pluviométrica (mm/h):

$$I = 149$$

Área de Contribuição (m²):

A = 27.000 (área de influência para cada duto vertical ~3x9m)

Vazão de Projeto (L/min):

$$Q = I * \frac{A}{60} = 149 * \frac{27000}{60} = 67,1$$

Coef. Multiplicativo da vazão = 1.20

Coeficiente de rugosidade: n = 0.011

Declividade da Calha (m/m) = 0.010

Declividade do Condutor Horiz.(m/m) = 0.010

Dimensionamento da calha

Seção da Calha: Retangular

Aplicando 'Manning-Strickler':

$$Q = \frac{K * S * Rh^{\frac{2}{3}} * I^{\frac{1}{2}}}{n}$$

Onde: K = 60000

S = Área da seção molhada em (m²)

Rh = Raio Hidráulico em (m)

I = Declividade da calha em (m/m)

n = Coeficiente de rugosidade

Q = Vazão de projeto em (L/min)

Obtendo a seção da calha: 100x24mm (considerou-se a calha a região ocupada pelo tubo envolto a bidim como ilustrado acima)

Dimensionamento do condutor vertical

Quantidade de tubos fixada em: 1

Encontrar o diâmetro de cada tubo

Aplicando 'Manning-Strickler', temos o diâmetro de 1 tubo = 41mm

Tendo a quantidade de 1 tubo(s) de 41mm

Dimensionamento do condutor horizontal

Aplicando 'Manning-Strickler' para altura de 2/3 da seção circular, obtemos o diâmetro de = 58mm.

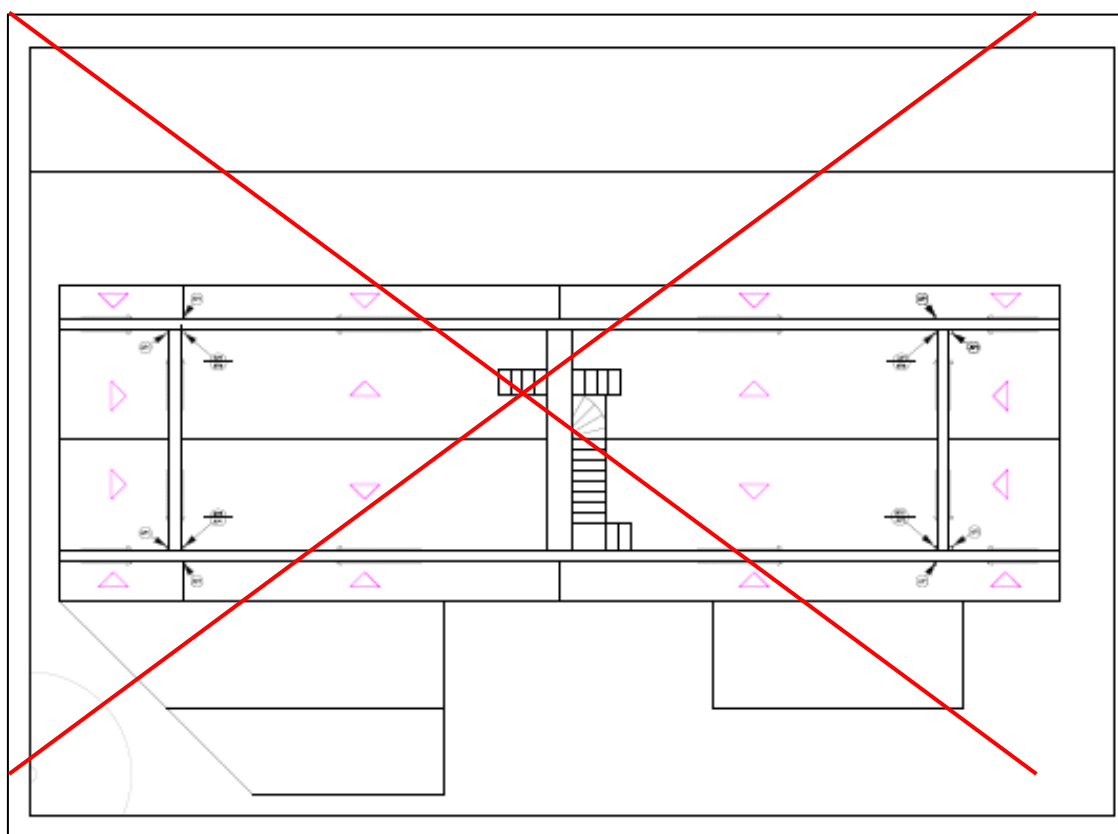


Figura 129 - Configuração inicial da cobertura, com caimento de águas em calha junto à viga (solução descartada). Fonte: AUTOR (2017).

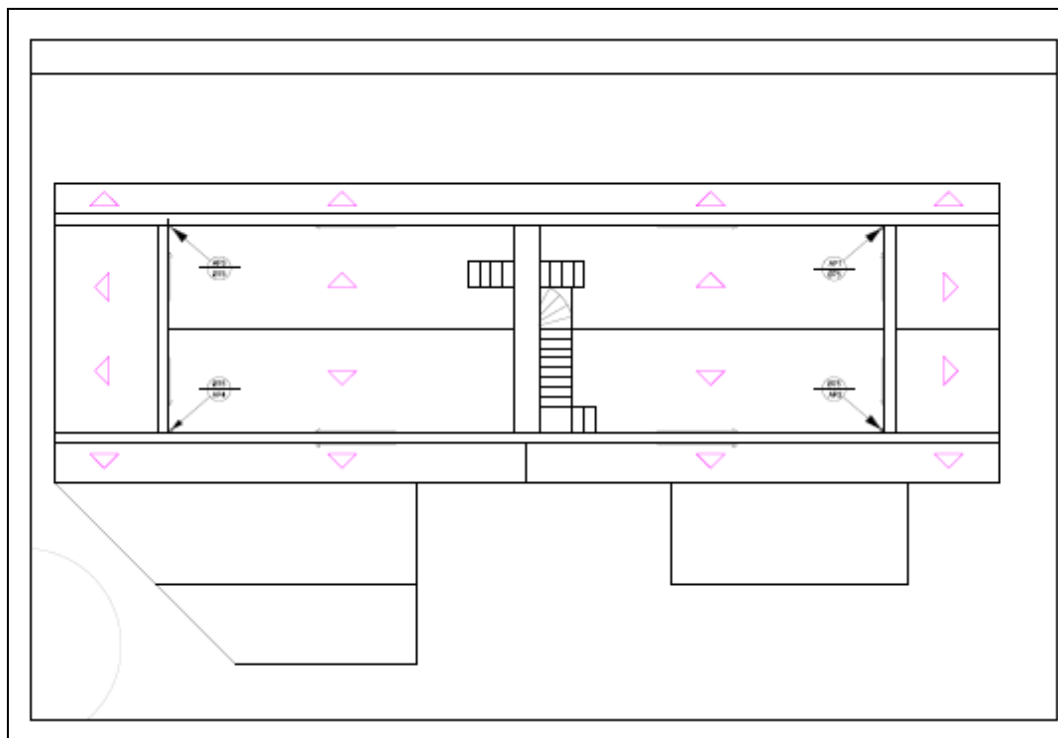


Figura 130 – Configuração final da cobertura, com caimento de águas diretamente para fora. Fonte: AUTOR (2017).

Para águas no térreo foram escolhidos pontos de ralo em regiões que julgou-se de possível acúmulo, de acordo com as curvas de nível sobrepostas ao desenho, e conduziu-se dos ralos à caixas de areia junto ao caimento.

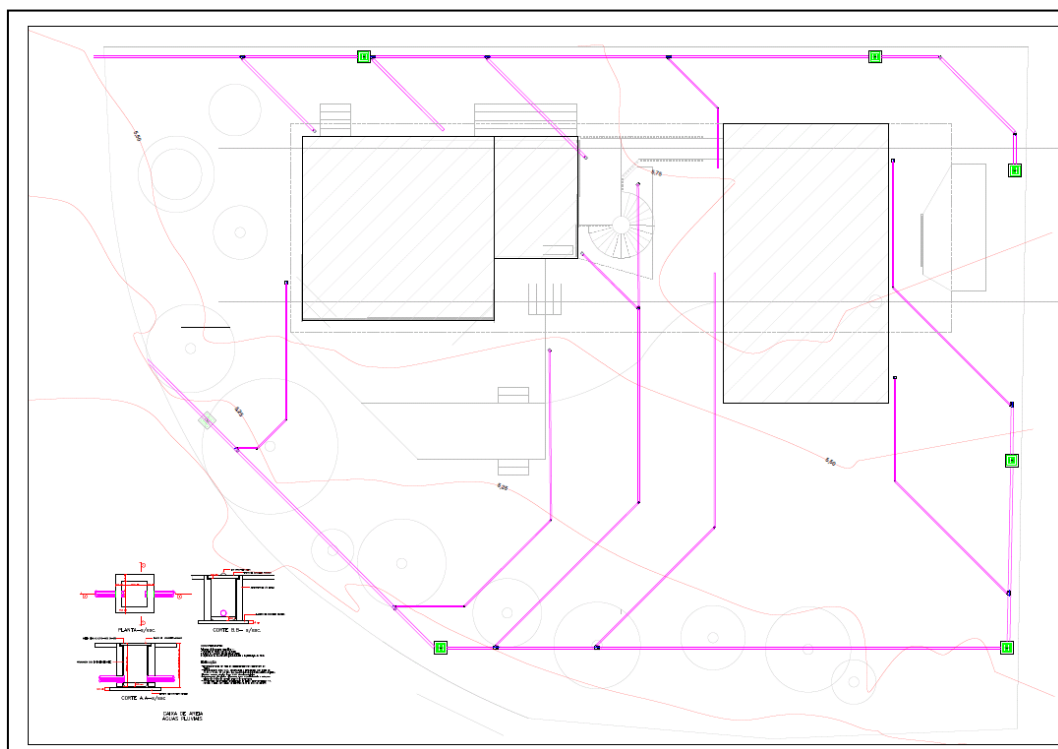


Figura 131 - Configuração de águas pluviais no pavimento térreo. Fonte: AUTOR (2017).

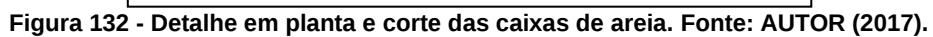


Figura 132 - Detalhe em planta e corte das caixas de areia. Fonte: AUTOR (2017).

4.4.2.3. Esgoto

Para dimensionamento do esgoto foram somados os pesos atribuídos às peças sanitárias e utilizou-se a tabela de Unidades Hunter de Distribuição, pela NBR8160, e para definir os diâmetros das tubulações. O caminhamento foi pensado de modo a viabilizar toda a passagem da tubulação, como mostrada em maior detalhe abaixo, tentando se minimizar ao máximo as interferências.

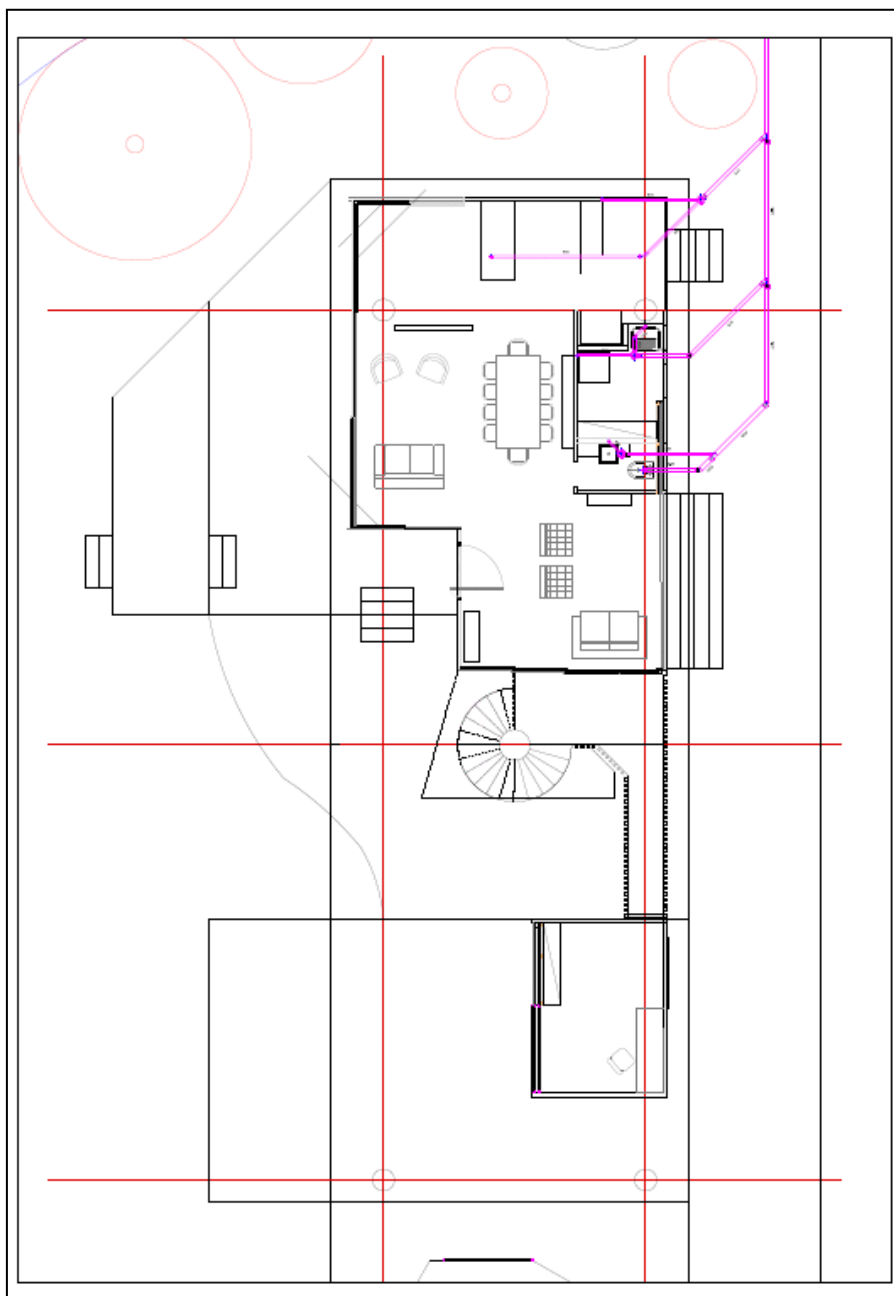


Figura 133 - Rede de esgoto do pavimento térreo. Fonte: AUTOR (2017).

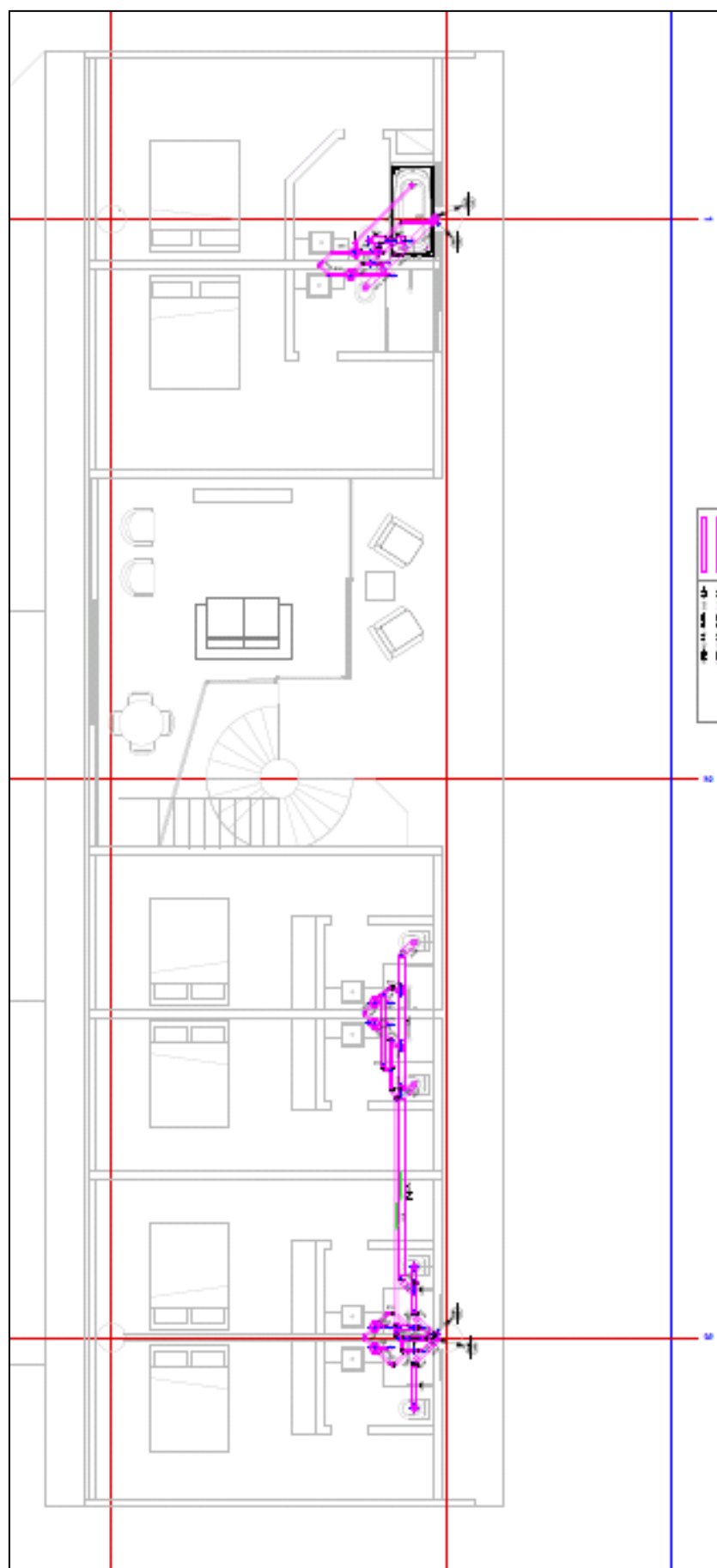


Figura 134 - Rede de esgoto 1º pavimento. Fonte: AUTOR (2017).

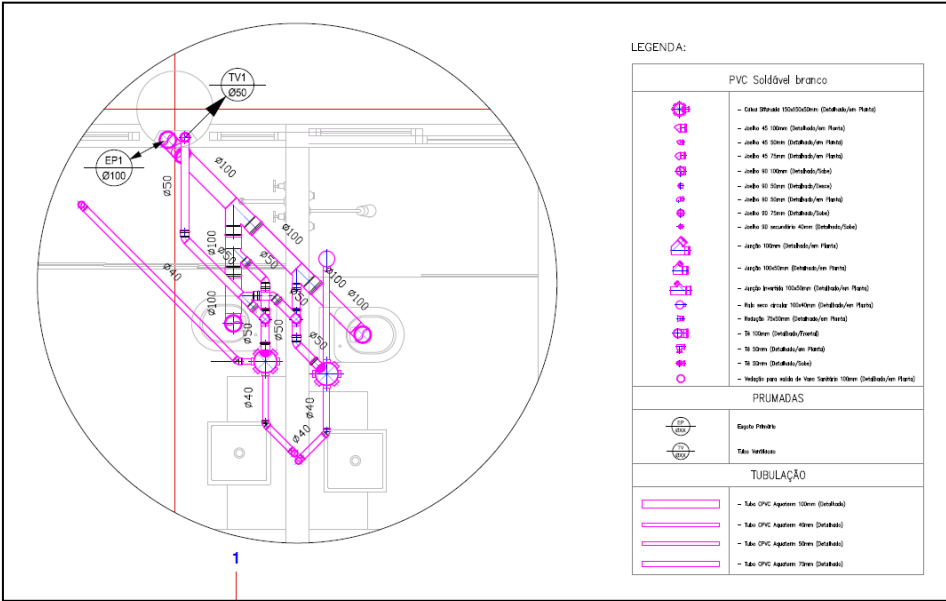


Figura 135 - Tubulação de esgoto do 1º pavimento: detalhe 1 e legendas. Fonte: AUTOR (2017).

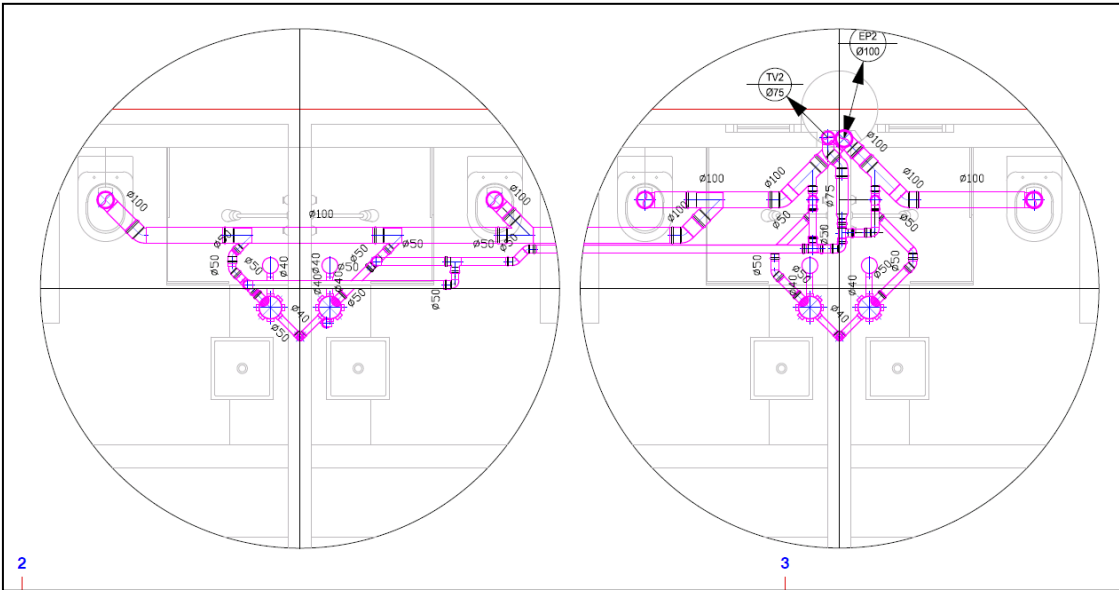


Figura 136 - Rede de esgoto do 1º pavimento: detalhes 2 e 3. Fonte: AUTOR (2017).

PVC Soldável branco				
Quan t.	Uni d.	Descrição	Preço (R\$)	Sub-total (R\$)
7	pc	CAIXA sifonada de PVC com grelha branca, 100 x 100 x 50 mm	12,37	86,62
2	pc	CAIXA sifonada de PVC com grelha branca, 150 x 185 x 75 mm	24,63	49,27
1	pc	CURVA 45° longa de PVC branco , ponta bolsa e virola, Ø 50 mm	7,6	7,6
6	pc	JOELHO 45° de PVC branco , ponta bolsa e virola, Ø 100 mm	8,88	53,28
15	pc	JOELHO 45° de PVC branco , ponta bolsa e virola, Ø 50 mm	4,62	69,33
3	pc	JOELHO 45° de PVC branco , ponta e bolsa soldável, Ø 40 mm	3,73	11,19

3	pc	JOELHO 45° de PVC reforçado bege pérola , ponta bolsa e virola, Ø 150 mm	38,4	115,21
8	pc	JOELHO 90° de PVC branco , ponta bolsa e virola, Ø 100 mm	8,69	69,52
23	pc	JOELHO 90° de PVC branco , ponta bolsa e virola, Ø 50 mm	4,1	94,35
1	pc	JOELHO 90° de PVC branco , ponta bolsa e virola, Ø 75 mm	6,48	6,48
4	pc	JUNÇÃO 45° de PVC branco , ponta bolsa e virola, Ø 100 x 100 mm	15,46	61,83
1	pc	JUNÇÃO 45° de PVC branco , ponta bolsa e virola, Ø 50 x 50 mm	7,23	7,23
5	pc	JUNÇÃO 45° de PVC branco com redução, ponta bolsa e virola, Ø 100 x 50 mm	13,13	65,64
2	pc	JUNÇÃO 45° de PVC branco com redução, ponta bolsa e virola, Ø 100 x 75 mm	16,95	33,9
10	pc	TÊ 90° de PVC branco , ponta bolsa e virola, Ø 50 x 50 mm	7,02	70,22
2	pc	Junção Invertida 100mmx50mm		
5	pc	Ralo seco circular 100mmx40mm		
1	pc	Redução 75mmx50mm		
1	pc	Tê 100mm		
1	pc	Vedação para saída de Vaso Sanitário 100mm		
6,1	Barr a	TUBO de PVC branco, sem conexões , ponta bolsa e virola, Ø 100 mm	10,95	66,795
1,5	Barr a	TUBO de PVC branco, sem conexões , ponta bolsa e virola, Ø 50 mm	6,72	10,08
7,2	Barr a	TUBO de PVC branco, sem conexões , ponta bolsa e virola, Ø 75 mm	9,39	67,608
1,8	Barr a	TUBO de PVC branco, sem conexões , ponta e bolsa soldável, Ø 40 mm	4,43	7,974
			Total =	954,127

Memória de cálculo: Dimensionamento - Esgoto - NBR 8160/99

- Ramal de esgoto

Local:

Compomentes: 1 Bacia sanitária (pç)

1 Chuveiro de residência (pç)

1 Lavatório de residência (pç)

Somatório UHC = 9 <= 160 <com contribuição de bacia sanitária> DN = 100mm

- Ramal de esgoto

Local:

Compomentes: 4 Bacia sanitária (pç)

4 Chuveiro de residência (pç)

4 Lavatório de residência (pç)

Somatório UHC = 36 $\leq$ 160 <com contribuição de bacia sanitária> DN = 100mm

- Tubos de Queda - Vertical - Até 3 Pavimentos

Local:

Compomentes: 4 Bacia sanitária (pç)

4 Chuveiro de residência (pç)

4 Lavatório de residência (pç)

Somatório UHC = 36 $\leq$ 240 <com contribuição de bacia sanitária> DN = 100mm

- Ramal de ventilação - com bacia sanitária

Local:

Compomentes: 4 Bacia sanitária (pç)

4 Chuveiro de residência (pç)

4 Lavatório de residência (pç)

Somatório UHC = 36 $\leq$ 60 DN = 75mm

4.4.3. Ar condicionado

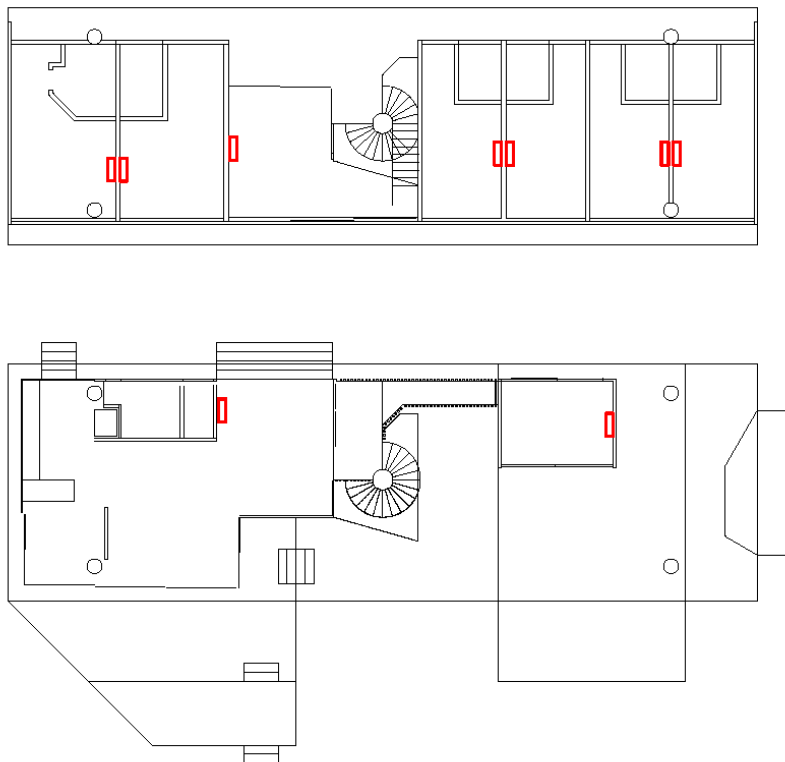


Figura 137 - Posicionamento dos splits de ar condicionado. Fonte: AUTOR (2017).

4.4.4. Vedação Vertical

O projeto de vedação foi estabelecido de modo que a condição de fachada sul, “frente” da casa, fosse melhor explorada. Por não receber insolação e, portanto, permitirem abertura completa para o meio externo sem consequências negativas do ponto de vista de ganhos térmicos, as janelas da fachada da frente foram pensadas para se abrirem totalmente. Uma maneira encontrada para aproveitar o máximo da abertura foi a combinação de portas tipo camarão com caixilharia de alumínio e vidro.

Quanto às paredes das divisões internas foi feita a opção por alvenaria comum de tijolinho por facilitar as compatibilizações (embutimento de tirantes e tubulações). O fechamento entre a parede e a laje foi pensado de forma que se permita a livre deformação da laje evitando a formação de fissuras (espuma de poliuretano).

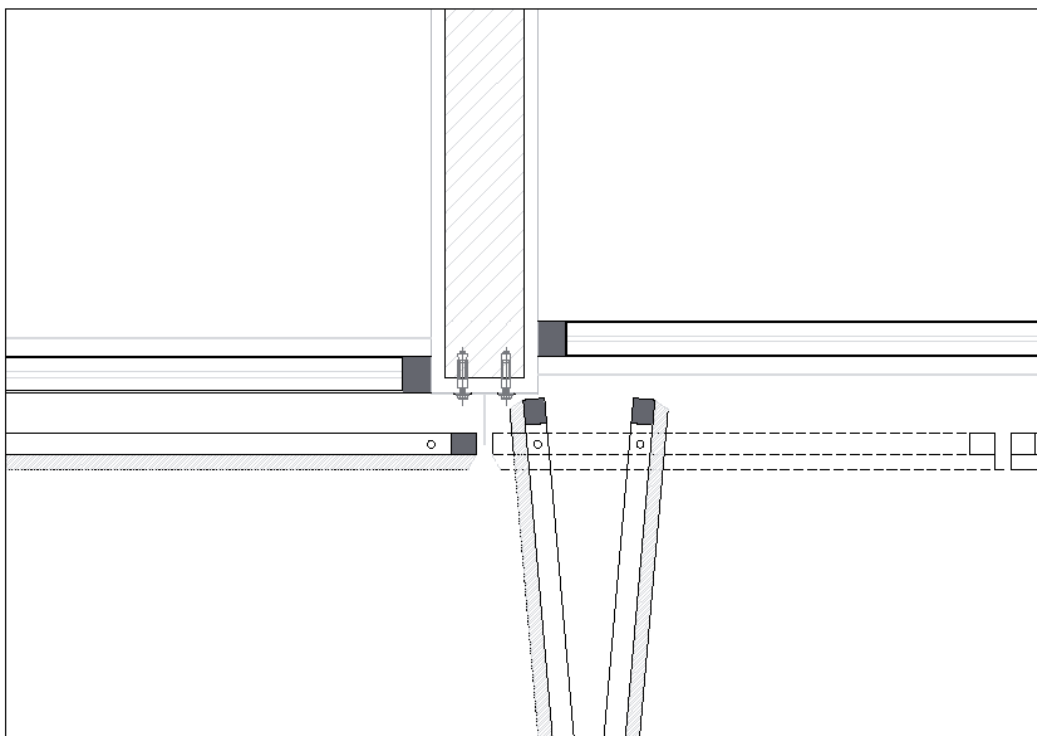


Figura 138 - Detalhe da vedação vertical entre os quartos. Fonte: AUTOR (2017).

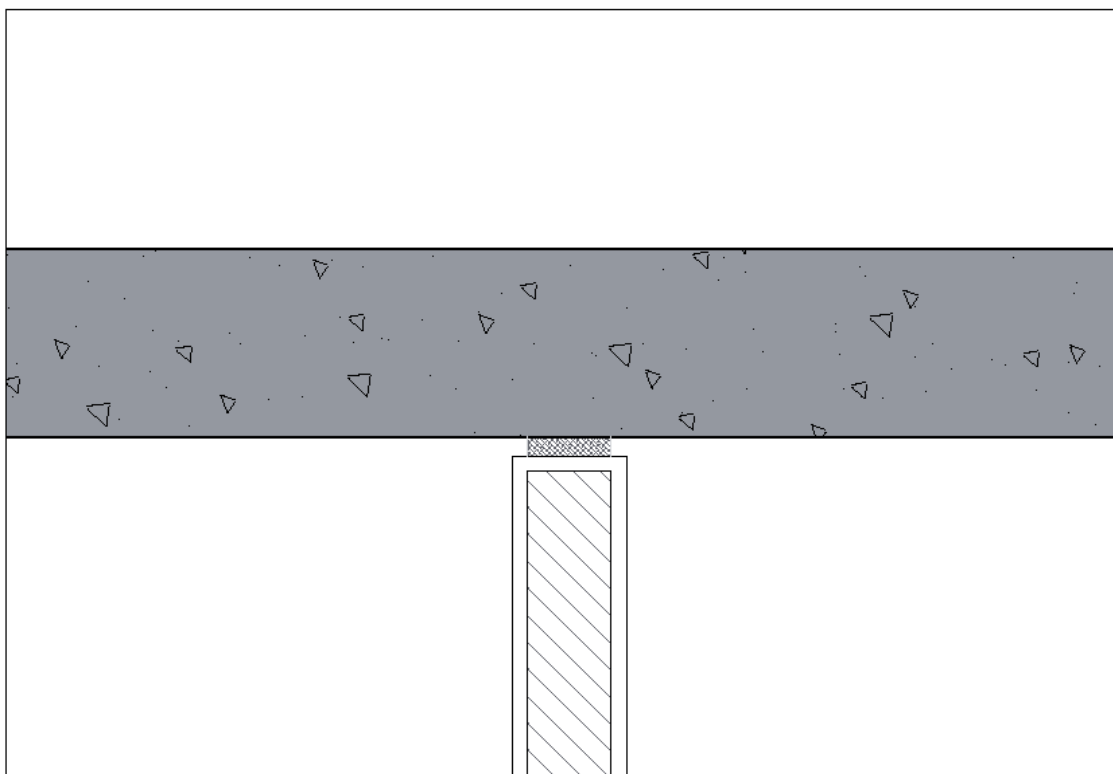


Figura 139 - Detalhe da junta parede/laje. Fonte: AUTOR (2017).

4.4.5. Cobertura

O projeto desde o princípio visava uma cobertura verde, como área de contemplação. Para tanto, o projeto prevê uma camada de impermeabilização, uma camada que protege a laje contra crescimentos de raízes, uma camada de drenagem para escoamento da água pluvial e uma de solo sintético de cerca de 10 cm para vegetação baixa.

Nos cantos passa-se um tubo perfurado envolto em manta permeável bidim, a fim de conduzir o escoamento da água para os pilares, onde um duto desce verticalmente em shaft previsto.

Para o caimento da água nas lajes em balanço optou-se por fazer um caimento, pós concretagem, para fora, com pingadeiras, evitando necessidade de mais furações e interferências com a estrutura.

Seguem imagens ilustrando:

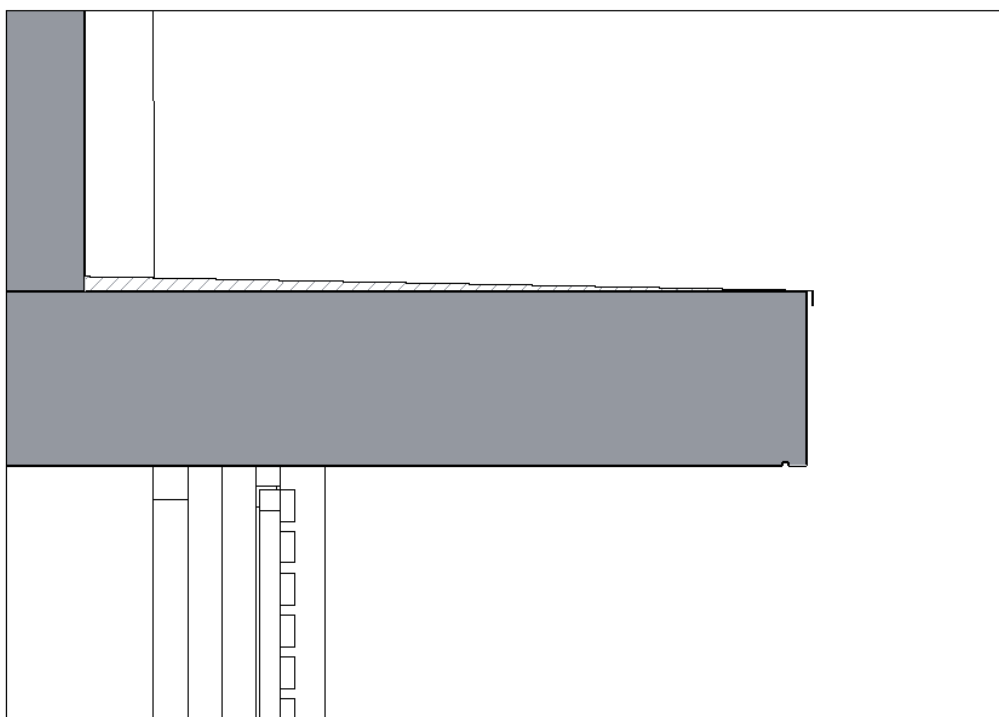


Figura 140 - Detalhe do caimento da água na laje em balanço e pingadeiras. Fonte: AUTOR (2017).

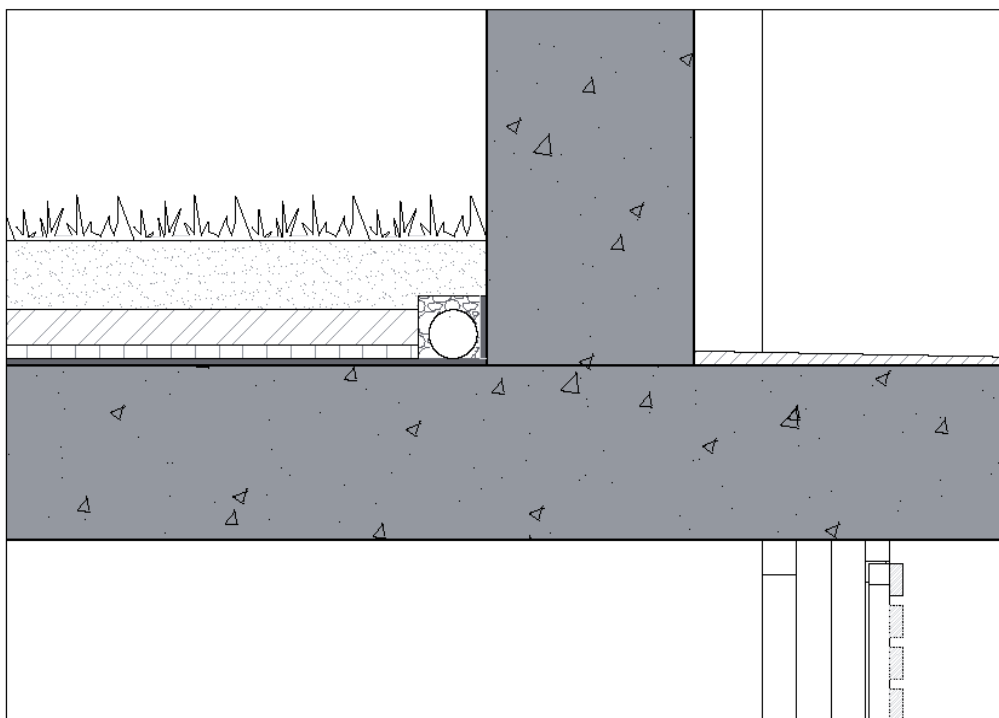


Figura 141 - Detalhe das camadas da cobertura verde e coletora de águas pluviais. Fonte: AUTOR (2017).

5. CONCLUSÃO

O trabalho deu oportunidade de se analisar diversos pontos de uma construção civil em cima de um partido arquitetônico. Também, pela natureza da dupla formação com a FAU de um dos integrantes do grupo, o trabalho teve enriquecida essa interação entre as áreas que é uma realidade fora da escola.

Durante o trabalho o grupo por diversas vezes percebeu o quanto essa interação, entre arquitetura e engenharia, precisa funcionar bem para um bom andamento e geração de produtos que viabilizam uma obra. Como a maior parte da carga que temos em nossa formação é voltada à Construção Civil propriamente, ter essa amplitude de questões e pontos a serem pensados num único trabalho proporcionou um bom amadurecimento com relação a temas que tangem à profissão.

Além do desenvolvimento e integração com o curso de arquitetura, o trabalho permitiu se aplicar bem conceitos que são aprendidos ao longo de toda a graduação, proporcionando motivação que advém do uso de conhecimento aplicado. Pode-se afirmar que ao se estudar e definir uma solução de estrutura a partir de uma demanda real de arquitetura, assim como ao estudar as diferentes soluções construtivas analisando o impacto que decisões causam nas interfaces de um projeto, encara-se conflitos e desafios que se mostraram uma boa fonte de aprendizado.

Os objetivos estabelecidos para este trabalho foram atingidos com certo atraso por conta de dificuldades encontradas pelo grupo em resolver questões cujas ferramentas de resolução não eram totalmente dominadas. Teve-se o trabalho enveredado por caminhos que apresentavam desafios em tópicos não diretamente abordados pelo curso.

Em compensação, a busca do grupo por profissionais que pudessem auxiliar em tópicos diretamente ligados à problemática do trabalho (como lajes atirantadas e soluções executivas mais específicas), não poderia ter sido mais feliz. O grupo teve a oportunidade memorável de riquíssimas horas de conversa, consultoria e experiência adquirida com o engenheiro Jorge Zaven. Este, calculista que trabalhou diversas vezes com o tão premiado arquiteto Paulo Mendes da Rocha - outra grande inspiração para o grupo.

A sinergia provida por estes ricos encontros, incluindo aqueles com o professor Angelo Bucci, nos quais o compartilhamento de seu conhecimento - advindo da experiência profissional na construção e balanceado com a experiência acadêmica - foi fundamental para o grupo conseguir aperfeiçoar soluções para o projeto, conseguindo-se chegar a um projeto bem definido, com detalhamento e respectiva análise de desempenho estrutural.

Assim, conclui-se que não só uma integração entre os estudos de arquitetura e engenharia se mostra fundamental para um melhor desenvolvimento na área que seja conjunta a essas profissões, mas também que o aluno e o seu conhecimento acadêmico se beneficiam enormemente de mentores que agreguem conhecimentos adquiridos na prática da profissão. Essa, que estamos a um passo de exercer.

6. REFERÊNCIAS

40 DETALHES CONSTRUTIVOS DE CONCRETO. Disponível em: < <https://www.archdaily.com.br/br/799552/40-detalhes-construtivos-de-concreto> >.

AÇO DOBRADO E CORTADO EM OBRA X ARMADURA PREPARADA NO CANTEIRO. Disponível em: < <http://construcaomercado17.pini.com.br/negocios-incorporacao-construcao/143/artigo299682-1.aspx> >.

APRESENTAÇÃO DE PROJETOS – MANUAL DE INSTRUÇÕES. Disponível em: < <http://www.justica.pr.gov.br/arquivos/File/licitacao2013/MANUALSEIL.pdf> >.

ANÁLISE DE RESULTADOS/TQS. Disponível em: < <http://www.tqs.com.br/conheca-os-sistemas-cadtqs/analise-estrutural/analise-de-resultados> >.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2013). NBR15575-1:2013. Edificações habitacionais – Desempenho Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro, ABNT.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2013). NBR15575-2:2013. Edificações habitacionais – Desempenho Parte 2: Requisitos para os sistemas estruturais. Rio de Janeiro, ABNT.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2013). NBR15575-3:2013. Edificações habitacionais – Desempenho Parte 3: Requisitos para os sistemas de pisos. Rio de Janeiro, ABNT.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2013). NBR15575-4:2013. Edificações habitacionais – Desempenho Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas — SVVIE. Rio de Janeiro, ABNT.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2013). NBR15575-5:2013. Edificações habitacionais – Desempenho Parte 5: Requisitos para os sistemas de coberturas. Rio de Janeiro, ABNT.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2013). NBR15575-6:2013. Edificações habitacionais – Desempenho Parte 6: Requisitos para os sistemas hidrossanitários. Rio de Janeiro, ABNT.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2014). NBR6118:2014. Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro, ABNT.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2013). NBR6123:2013. Forças devidas ao vento em edificações. Rio de Janeiro, ABNT.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1994). NBR6492:1994. Representações em projetos de arquitetura. Rio de Janeiro, ABNT.

BAKER, G. (1998). Le Corbusier: uma análise da forma. São Paulo: Martins Fontes, 1998. p. 4.

CÁRDENAS, Alexandra Silva (2015). MASP: estrutura, proporção e forma. São Paulo: ECidade, 2015. 140p.

CASA EM UBATUBA. Disponível em: < <https://www.archdaily.com.br/br/01-986/casa-em-ubatuba-sp-br-arquitetos> >.

COBERTURAS: OS DIVERSOS TIPOS E SUAS CARACTERÍSTICAS. Disponível em: < <http://wwwo.metallica.com.br/coberturas-os-diversos-tipos-e-suas-caracteristicas> >.

CONCRETE HOUSE IN BUENOS AIRES / VANGUARDA ARCHITECTS. Disponível em: < <https://www.archdaily.com/140734/concrete-house-in-buenos-aires-vanguardia-architects> >.

CUB – CUSTO UNITÁRIO BÁSICO DA CONSTRUÇÃO CIVIL. Disponível em: < <https://www.sindusconsp.com.br/cub/> >.

VIAMETAL – ESQUADRIAS PARA PROJETOS DE ALTO PADRÃO. Disponível em: < <https://www.viametal.com.br/> >.

GREEN ROOF TYPES – WEIGHT COMPARISON TABLE – SIG. Disponível em: < <http://www.singleply.co.uk/wp-content/uploads/2013/08/Green-Roof-Types-Weight-Comparison-Table-SIG.pdf> >.

HERBERT MAEZANO. Laje suspensa por tirantes (2009). Disponível em: < <http://www.tqs.com.br/suporte-e-servicos/biblioteca-digital-tqs/70-lajes/151-laje-suspensa-por-tirantes> >.

KIMURA, ALIO; NELSON COVAS. Os estados limites de serviço (2009). Disponível em: < <http://www.tqs.com.br/suporte-e-servicos/biblioteca-digital-tqs/89-artigos/202-os-estados-limites-de-servico> >.

MANUAIS TQS (2017). Disponível em: < http://www.tqs.com.br/recursos-do-site/downloads/cat_view/106-manuais-tqs >.

MARANGON, M. Métodos diretos para cálculo da capacidade de carga por meio do SPT (2009). Disponível em: < <http://www.ufjf.br/nugeo/files/2009/11/GF06-CapCargaProf-por-meio-SPT-2009.pdf> >.

PISANI, D. (2013). Paulo Mendes da Rocha – Obra completa. São Paulo: 2013. p. 16.

RESUMO EXECUTIVO DE SÃO SEBASTIÃO. Disponível em: < <http://litoralsustentavel.org.br/wp-content/uploads/2013/12/Resumo-executivo-Sao-Sebastiao-Litoral-Sustentavel.pdf> >.

SISTEMAS DE COBERTURAS. Disponível em: < <http://construcaomercado17.pini.com.br/negocios-incorporacao-construcao/145/artigo293399-1.aspx> >.

TELHADOS VERDES PODEM DISPENSAR O USO DE AR CONDICIONADO. Disponível em: < <https://exame.abril.com.br/tecnologia/telhados-verdes-podem-dispensar-o-uso-de-ar-condicionado/> >.