



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA – UFPB

CENTRO DE TECNOLOGIA – DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E
AMBIENTAL

CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

BRUNA DE OLIVEIRA SOUZA DE MATTOS

**ANÁLISE COMPARATIVA DE CUSTOS ENTRE LAJES TRELIÇADA, MACIÇA E
NERVURADA UTILIZADAS NA ESTRUTURA DA ESCOLA PADRÃO DO
GOVERNO DO ESTADO DA PARAÍBA**

JOÃO PESSOA

2024

BRUNA DE OLIVEIRA SOUZA DE MATTOS

**ANÁLISE COMPARATIVA DE CUSTOS ENTRE LAJES TRELIÇADA, MACIÇA E
NERVURADA UTILIZADAS NA ESTRUTURA DA ESCOLA PADRÃO DO
GOVERNO DO ESTADO DA PARAÍBA**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à
Coordenação do curso de Engenharia Civil da
Universidade Federal da Paraíba, como um
dos requisitos obrigatórios para obtenção do
título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Enildo Tales Ferreira.

JOÃO PESSOA

2024

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

M444a Mattos, Bruna de Oliveira Souza de.

Análise comparativa de custos entre lajes treliçada, maciça e nervurada utilizadas na estrutura da escola padrão do governo do estado da Paraíba / Bruna de Oliveira Souza de Mattos. - João Pessoa, 2024.
114 f. : il.

Orientação: Enildo Tales Ferreira.
TCC (Graduação) - UFPB/CT.

1. Laje maciça. 2. Laje treliçada. 3. Laje nervurada. 4. Análise de custos. 5. Estruturas em concreto armado. I. Ferreira, Enildo Tales. II. Título.

UFPB/CT

CDU 624(043.2)

FOLHA DE APROVAÇÃO

BRUNA DE OLIVEIRA SOUZA DE MATTOS

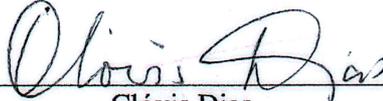
**ANÁLISE COMPARATIVA DE CUSTOS ENTRE LAJES TRELIÇADA, MACIÇA E
NERVURADA UTILIZADAS NA ESTRUTURA DA ESCOLA PADRÃO DO
GOVERNO DO ESTADO DA PARAÍBA**

Trabalho de Conclusão de Curso em 24/10/2024 perante a seguinte Comissão Julgadora:



Enildo Tales Ferreira
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

APROVADO



Clóvis Dias
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

APROVADO



Aline Flávia Nunes Remígio Antunes
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

APROVADO

Dedico este trabalho à minha mãe, Suelene, minha maior fortaleza, cuja força, amor e apoio incondicional foram essenciais nesta jornada. E ao meu pai, Breno (*in memoriam*), que, apesar de nossa breve convivência, permanece em meu coração em todos os momentos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, antes de tudo, a Deus, por me dar forças e sabedoria para completar essa jornada, ajudando-me a superar todos os desafios ao longo do caminho e aquietando meu coração nos momentos de ansiedade.

À minha mãe, Suelene, que é a razão de tudo o que sou e de tudo o que conquistei. A senhora foi meu apoio incondicional nos momentos de tristeza e dificuldade. Sempre investiu em mim para que eu tivesse uma educação de qualidade. Sua coragem e dedicação são inspirações em minha vida. A senhora é meu maior amor e, sem dúvida, o exemplo mais lindo de força, inteligência, amor e perseverança que alguém poderia ter. Sou eternamente grata por tudo que fez e continua a fazer por mim.

Ao meu pai, Breno, que, mesmo não estando presente fisicamente, permanece como meu maior exemplo de estudo e dedicação. Seus ensinamentos moldaram a pessoa que sou hoje, e guardo cada lembrança com carinho. Embora sua partida tenha sido prematura, seu legado de amor e apoio sempre estará comigo, me guiando em cada passo da minha jornada.

Ao meu irmão, Bruno, quero que saiba o quanto o amo, mesmo quando não consigo expressar isso em palavras. É um presente compartilhar minha vida com você, e sou muito grata por ter você como meu irmão.

À minha avó, Socorro, que é o meu maior exemplo de fé, força e determinação. Quero ser como a senhora quando crescer! Com 80 anos, a senhora é linda, ativa, saudável e inteligente, ainda estudando piano e mantendo uma família linda e unida ao seu redor. Tenho certeza de que tudo isso é fruto das suas orações e do amor que a senhora sempre nos dedicou.

A todos os meus outros familiares, em especial ao meu avô, Tião (*in memoriam*), aos meus tios e tias – Suely, Nelson, Beto e Betão, Ricardo, Sérgio, Maria e Oriana – e aos meus primos – Tatiane, Rafael e Hericlys – que sempre me cercaram de carinho e apoio.

Ao meu namorado e melhor amigo, Marcelo, quero que saiba que você é meu porto seguro. Você me ajudou, deu forças e teve paciência para lidar com minha ansiedade nessa reta final, sempre enxergando o meu potencial. Sou imensamente grata por tudo o que você fez e continua a fazer por mim. Sem dúvida, você foi o maior presente que o curso me deu, e sua presença faz toda a diferença na minha vida.

Agradeço também aos meus sogros e ao meu cunhado, que me acolheram de braços abertos e sempre fizeram o possível para me ajudar desde o momento que me conheceram.

Ao meu professor orientador, Enildo Tales Ferreira, que, além de se dispor a me orientar com paciência e sabedoria, disponibilizou o seu programa Eberick® para elaboração do meu TCC.

Agradeço também aos professores da banca examinadora, Aline Flávia Nunes Remígio Antunes e Clóvis Dias, por aceitarem o convite e por serem não apenas profissionais incríveis, mas também pessoas adoráveis.

A todos os que foram meus professores, especialmente ao professor Fábio, ao professor Hidelbrando e à professora Andrea, que me orientaram em outros trabalhos, e ao professor Taurino, cuja didática me inspirou a seguir na área de Estruturas.

Ao Daniel, da coordenação, pelo seu comprometimento e paciência ao longo do curso.

Às minhas amigas de escola, Joice e Olga, com quem tenho o privilégio de compartilhar a vida desde os 6 anos. Juntas, testemunhamos o crescimento umas das outras, seguindo caminhos que, embora diferentes, nunca foram capazes de diminuir o carinho e a amizade que construímos ao longo desses 18 anos. Sou eternamente grata por tê-las na minha vida e por todos os momentos especiais que ainda vamos viver juntas.

À Rebeca, minha duplinha, que caminhou ao meu lado desde o primeiro dia de universidade. Juntas, enfrentamos os altos e baixos da vida acadêmica, e sua amizade foi uma das melhores coisas que me aconteceram. Obrigada por cada risada, cada desabafo e cada momento compartilhado. Você é muito especial para mim!

Aos meus amigos da universidade, em especial à Caio, Cairo, Marcelo, Pedro, Raffael, Rebeca e Rodrigo, por todos os desafios superados juntos, por todo o apoio, amizade, choros risadas e brigas. Minha experiência no curso foi melhor graças à presença de vocês.

À Raquel, da Aerocarta, à toda a equipe da SUPLAN, especialmente aos engenheiros Victor, Mônica e Michel, à equipe da CAIXA, em especial para a arquiteta Viviani, e aos engenheiros Ewerson, Roberto e Maria Luíza da Construtora Gomes, por todo o aprendizado e experiência compartilhados.

A todos que, de alguma forma, colaboraram para o meu sucesso, mesmo que não tenham sido citados diretamente.

E por fim, agradeço à Bruna Mattos do passado, por ter se dedicado tanto e por nunca ter desistido, mesmo com todas as dificuldades e imprevistos, muito obrigada!

“Sabe, as máquinas nunca têm peças sobrando. Elas têm o número e o tipo exato de peças que precisam. Então, eu imagino que, se o mundo inteiro é uma grande máquina, eu devo estar aqui por algum motivo. E isso quer dizer que você, também, deve estar aqui por algum motivo.”

(SELZNICK, 2007, p. 378)

RESUMO

A construção civil é fundamental para o desenvolvimento da infraestrutura educacional e para garantir acesso à educação de qualidade, conforme o Art. 205 da Constituição Federal de 1988. A construção de escolas públicas é uma prioridade dos governos, e otimizar os recursos usados nesse processo é essencial. Projetos estruturais eficientes ajudam a racionalizar o uso de materiais e a reduzir custos, assegurando a viabilidade econômica das obras. Este trabalho tem como objetivo realizar uma análise comparativa de custos entre três tipos de lajes – maciça, treliçada e nervurada – utilizadas na estrutura de uma escola padrão do governo da Paraíba. O estudo segue as normas vigentes de dimensionamento de estruturas de concreto armado, com o intuito de identificar a solução mais econômica e eficiente para o modelo arquitetônico escolhido. Foram lançadas três soluções estruturais distintas no *software* Eberick® 2022 e calculados os quantitativos de materiais, como área de fôrmas, volume de concreto e peso do aço. O levantamento de custos foi feito com base em dados do SINAPI e ORSE, referentes aos meses de agosto e junho de 2024, respectivamente. Os resultados indicam que a laje treliçada apresentou o menor custo total, sendo 29,11% mais econômica que a laje maciça e 17,11% mais barata que a laje nervurada. A conclusão reforça a viabilidade da adoção da laje treliçada como a melhor solução estrutural, considerando a menor demanda de materiais e a facilidade de execução, o que também pode contribuir para a otimização do cronograma e dos recursos em obras públicas para projetos em condições similares.

Palavras-chave: Laje maciça; Laje treliçada; Laje nervurada; Análise de custos; Estruturas em concreto armado.

ABSTRACT

Civil construction is essential for the development of educational infrastructure and to ensure access to quality education, as per Art. 205 of the 1988 Federal Constitution. The construction of public schools is a priority for governments, and optimizing the resources used in this process is essential. Efficient structural designs help to rationalize the use of materials and reduce costs, ensuring the economic forecast of the works. This work aims to perform a comparative cost analysis between three types of slabs – elevated, lattice and ribbed – used in the structure of a standard school of the government of Paraíba. The study follows the current standards for dimensioning reinforced concrete structures, with the aim of identifying the most economical and efficient solution for the modern model chosen. Three different structural solutions were launched in the Eberick® 2022 software and calculations of the quantities of materials, such as formwork area, concrete volume and steel weight. The cost survey was based on data from SINAPI and ORSE, referring to the months of August and June 2024, respectively. The results indicate that the lattice slab presented the lowest total cost, being 29.11% more economical than the accumulated slab and 17.11% cheaper than the ribbed slab. We advise reinforcing the forecast of adopting the lattice slab as the best structural solution, considering the lower demand for materials and ease of execution, which can also contribute to the optimization of the schedule and resources in public works for projects in similar conditions.

Keywords: Solid slab; Lattice slab; Ribbed slab; Cost analysis; Reinforced concrete structures.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Montagem de uma viga.....	24
Figura 2 – Laje treliçada.....	27
Figura 3 – Laje nervurada com uso de cubetas.	29
Figura 4 – Fluxograma da metodologia do trabalho.....	38
Figura 5 – Planta baixa do pavimento térreo.....	39
Figura 6 – Planta baixa do pavimento superior.	40
Figura 7 – Planta baixa da cobertura.	41
Figura 8 – Planta baixa do barrilete.....	42
Figura 9 – Gráfico para carga nos pilares.....	43
Figura 10 – Gráfico para a flambagem.....	43
Figura 11 – Gráfico para vigas de concreto.....	44
Figura 12 – Gráfico para laje de concreto.	44
Figura 13 – Gráfico para laje nervurada.....	45
Figura 14 – Tamanho de fôrmas do Brasil Fôrmas.....	45
Figura 15 – Materiais e durabilidade.....	47
Figura 16 – Isopletas de velocidade básica.	48
Figura 17 – Cálculo de carga de parede nas vigas.....	50
Figura 18 – Escolha do grupo de ocupação.....	53
Figura 19 – Variação de temperatura e retração.	57
Figura 20 – Fundação com bloco de concreto ciclópico.	58
Figura 21 – Lançamento laje maciça do pavimento superior.....	60
Figura 22 – Lançamento laje maciça do pavimento cobertura.	60
Figura 23 – Lançamento laje maciça do pavimento fundo da caixa d’água.....	61
Figura 24 – Pórtico unifilar de momento fletor (laje maciça).	61
Figura 25 – Representação tridimensional do modelo com laje maciça (frontal).....	62
Figura 26 – Representação tridimensional do modelo com laje maciça (traseira).....	62
Figura 27 – Lançamento laje treliçada do pavimento superior.....	63
Figura 28 – Lançamento laje treliçada do pavimento cobertura.....	64
Figura 29 – Lançamento laje treliçada do pavimento fundo da caixa d’água.	64
Figura 30 – Pórtico unifilar de momento fletor (laje treliçada).....	65
Figura 31 – Representação tridimensional do modelo com laje treliçada (frontal).....	65
Figura 32 – Representação tridimensional do modelo com laje treliçada (traseira).	65

Figura 33 – Lançamento laje nervurada do pavimento superior.	67
Figura 34 – Lançamento laje nervurada do pavimento coberta.....	67
Figura 35 – Lançamento laje nervurada do pavimento fundo da caixa d'água.	68
Figura 36 – Pórtico unifilar de momento fletor (laje nervurada).	68
Figura 37 – Representação tridimensional do modelo com laje nervurada (frontal).	69
Figura 38 – Representação tridimensional do modelo com laje nervurada (traseira).	69
Figura 39 – Custo por material (laje maciça).	72
Figura 40 – Custo por elemento estrutural (laje maciça).....	72
Figura 41 – Custo por material (laje treliçada).	74
Figura 42 – Custo por elemento estrutural (laje treliçada).	75
Figura 43 – Custo por material (laje nervurada).	77
Figura 44 – Custo por elemento estrutural (laje nervurada).	78
Figura 45 – Consumo de aço por tipo de laje.	78
Figura 46 – Consumo de fôrma por tipo de laje.	79
Figura 47 – Consumo de concreto por tipo de laje.....	80
Figura 48 – Custo por tipo de laje.	80

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Consumo por elemento estrutural expandido (laje maciça).....	71
Tabela 2 – Consumo por elemento estrutural (laje maciça).	71
Tabela 3 – Consumo por elemento estrutural expandido (laje treliçada).	73
Tabela 4 – Consumo por elemento estrutural (laje treliçada).....	74
Tabela 5 – Consumo de aço por tipo de treliça.....	74
Tabela 6 – Consumo por tipo de EPS.	74
Tabela 7 – Consumo por tipo de bloco de enchimento.....	76
Tabela 8 – Consumo por elemento estrutural expandido (laje nervurada).	77
Tabela 9 – Consumo por elemento estrutural (laje nervurada).....	77

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Coeficiente adicional de majoração dos esforços solicitantes.....	24
Quadro 2 – Coeficiente adicional de majoração para lajes em balanço.	26
Quadro 3 – Classes de agressividade ambiental.....	32
Quadro 4 – Classe de agressividade e qualidade do concreto.	33
Quadro 5 – Classe de agressividade e cobrimento nominal.	33
Quadro 6 – Coeficientes de minoração da resistência do aço e do concreto.....	35
Quadro 7 – Seleção de laje treliçada.	46
Quadro 8 – Classe de agressividade ambiental da edificação.	47
Quadro 9 – Cobrimentos nominais dos elementos estruturais.	48
Quadro 10 – Cargas de alvenaria.....	49
Quadro 11 – Cargas de revestimentos de pisos e impermeabilizações.....	51
Quadro 12 – Cargas de telhados.	51
Quadro 13 – Cargas de acordo com o seu uso – áreas técnicas.....	52
Quadro 14 – Cargas de acordo com o seu uso - coberturas.....	52
Quadro 15 – Cargas de acordo com o seu uso – escadas, passarelas e escolas.....	52
Quadro 16 – Classificação das edificações quanto à sua ocupação.	54
Quadro 17 – Tempos requeridos de resistência ao fogo, em minutos.	54
Quadro 18 – Dimensões mínimas das vigas biapoiadas.....	55
Quadro 19 – Dimensões mínimas das vigas contínuas.....	55
Quadro 20 – Dimensões mínimas das lajes maciças.	56
Quadro 21 – Dimensões mínimas das lajes nervuradas.	56
Quadro 22 – Dimensões mínimas das lajes treliçadas armadas em uma só direção.	56

LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ART	Anotação de Responsabilidade Técnica
CA	Concreto Armado
CREA	Conselho Regional de Engenharia e Agronomia
ELS	Estado Limite de Serviço
ELU	Estado Limite Último
EPS	Poliestireno Expandido
FCK	Resistência Característica do Concreto à Compressão
NBR	Norma Brasileira
ORSE	Sistema de Orçamento de Obras de Sergipe
SINAPI	Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil
TRRF	Tempo Requerido de Resistência ao Fogo

LISTA DE SÍMBOLOS

q	Carga da parede (kgf/m)
P	Peso tabelado (kN/m ²)
H_{Atv}	Altura da alvenaria (m)
q_{esp}	Peso específico (kgf/m ³)
e	Espessura total da parede (m)

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	19
1.1 Problemática	20
1.2 Justificativa	20
1.3 Objetivos.....	21
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	22
2.1 Sistemas e Elementos Estruturais	22
2.1.1 Pilares.....	22
2.1.2 Vigas	24
2.1.3 Lajes	25
2.2 Materiais.....	29
2.2.1 Concreto	29
2.2.2 Aço	30
2.2.3 Fôrmas.....	30
2.2.4 Escoramento	31
2.2.5 Material de Enchimento e Cubetas.....	31
2.3 Estrutura de Concreto Armado.....	31
2.4 Estados Limites.....	33
2.5 Ações	35
2.6 Pré-dimensionamento de Elementos Estruturais de Concreto.....	36
2.7 Segurança Contra Incêndio	36
3. METODOLOGIA.....	37
3.1 Caracterização do Objeto	38
3.2 Ferramenta Computacional	42
3.3 Pré-dimensionamento.....	42
3.4 Parâmetros do Projeto	46
3.5 Lançamento da Estrutura.....	59
3.6 Processamento e Dimensionamento	59

3.6.1 Laje Maciça	59
3.6.2 Laje Trelaçada	62
3.6.3 Laje Nervurada	66
4. RESULTADOS.....	69
4.1 Modelo com Laje Maciça	70
4.2 Modelo com Laje Trelaçada	72
4.3 Modelo com Laje Nervurada.....	75
4.4 Análise Comparativa.....	78
5. CONCLUSÃO.....	81
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	83
APÊNDICE A – CORTES (LAJE MACIÇA).....	86
APÊNDICE B – FÔRMAS (LAJE MACIÇA)	88
APÊNDICE C – CORTES (LAJE TRELIÇADA)	92
APÊNDICE D – FÔRMAS (LAJE TRELIÇADA)	94
APÊNDICE E – CORTES (LAJE NERVURADA).....	98
APÊNDICE F – FÔRMAS (LAJE NERVURADA)	100
APÊNDICE G – DIMENSÕES DOS ELEMENTOS.....	104
APÊNDICE H – ORÇAMENTO DOS TIPOS DE LAJE	107
ANEXO A – CORTES LONGITUDINAIS DO PROJETO ARQUITETÔNICO.....	113
ANEXO B – CORTES TRANSVERSAIS DO PROJETO ARQUITETÔNICO	114

1. INTRODUÇÃO

A construção civil desempenha um papel crucial no desenvolvimento de infraestruturas essenciais para a sociedade, como escolas e hospitais. De acordo com o Art. 205 da Constituição Federal de 1988, a educação é direito de todos e dever do Estado e da família, devendo ser promovida e incentivada (Brasil, 1988). Sendo assim, no Brasil a construção de escolas públicas é uma prioridade dos governos para garantir o acesso à educação de qualidade. Diante disso, é necessário planejar a construção da escola, que é constituída por várias etapas, sendo uma das mais importantes o projeto estrutural.

Um projeto estrutural bem elaborado é fundamental para garantir a segurança de uma construção. Ele assegura que a edificação seja capaz de suportar todos os esforços a que estará submetida, além de contribuir para a racionalização do consumo de materiais e otimização de custos. Esse tipo de projeto deve ser compatível com a arquitetura da edificação e ser assinado por um engenheiro civil, que deve registrar uma Anotação de Responsabilidade Técnica (ART) no Conselho Regional de Engenharia e Agronomia (CREA), garantindo que todas as normas vigentes foram respeitadas (Bezerra, 2018).

A relevância desse estudo reside na necessidade de avaliar e comparar diferentes modelos estruturais utilizados na construção de escolas-padrão do Governo do Estado da Paraíba. Considerando o contexto econômico e social do Brasil, onde o investimento em infraestrutura educacional precisa ser otimizado devido à limitação dos recursos disponíveis, é fundamental identificar soluções que ofereçam o melhor equilíbrio entre custo e eficiência.

Entre as soluções existentes, as lajes maciças, treliçadas e nervuradas são amplamente utilizadas no Brasil. Sendo assim, neste estudo será feita uma revisão bibliográfica acerca dos três tipos de laje, detalhando seus materiais constituintes e procedimentos de execução. Em seguida, a estrutura será lançada no software Eberick®, específico para dimensionamento de estruturas, com o qual pretende-se desenvolver as 3 soluções estruturais projetadas para essa edificação escolar. Desta forma, irá ser obtido o quantitativo de aço, concreto, fôrmas e material de enchimento. Após isso, os custos de material e mão de obra serão levantados por meio do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI) e a partir desses dados, será feita uma análise comparativa do custo total entre as 3 soluções estruturais adotadas.

Assim, espera-se que os resultados desse estudo possam identificar o tipo de laje mais econômica para o projeto arquitetônico escolhido, a fim de promover melhorias na construção de escolas públicas no Brasil bem como o uso otimizado dos recursos públicos.

1.1 Problemática

No contexto da construção civil, faz-se necessário o desenvolvimento de um projeto estrutural eficiente. A escolha do tipo de laje a ser adotada é fundamental para otimizar os recursos financeiros e garantir a viabilidade dos projetos. Sendo assim, a seleção do tipo de laje pode influenciar significativamente no custo da obra. No entanto, identificar a solução estrutural mais econômica para a construção de uma escola envolve diversos aspectos, levantando a seguinte questão: qual o tipo de laje mais econômica na construção de uma escola padrão do Governo do Estado da Paraíba?

Para responder essa questão é necessário analisar as características técnicas e os custos associados às diferentes opções de laje disponíveis no mercado. A comparação deve levar em conta o custo de materiais e mão de obra, utilizando as referências do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI).

Dentre os aspectos envolvidos na identificação da solução mais econômica, estão o conhecimento dos materiais que compõe o elemento estrutural, suas características, o dimensionamento desses elementos, bem como os custos envolvidos no processo de execução. Dessa forma, é importante estudar as lajes maciças, treliçadas e nervuradas para determinar qual delas proporciona o melhor custo-benefício, considerando tanto aspectos técnicos, quanto econômicos e, dessa forma, analisar comparativamente os três tipos de laje para identificar a opção mais vantajosa.

1.2 Justificativa

No âmbito das obras públicas, é importante a análise criteriosa de diversos fatores, como a segurança, durabilidade e a viabilidade econômica do sistema estrutural adotado. Nesse sentido, a escolha do tipo de laje mais econômica na construção de escolas-padrão do Governo do Estado da Paraíba é crucial para maximizar os recursos públicos, garantindo construções seguras, duráveis e financeiramente viáveis.

Este estudo justifica-se pela necessidade de otimizar os recursos destinados à educação, analisando comparativamente lajes maciças, treliçadas e nervuradas para determinar a melhor opção em termos de custo-benefício.

A análise da viabilidade econômica dos sistemas estruturais é essencial para assegurar que os recursos públicos sejam utilizados de maneira eficiente e sustentável. Escolher o tipo de laje mais econômico pode resultar em benefícios como a otimização dos recursos públicos, a redução de custos de construção, um menor tempo de construção, além de demonstrar responsabilidade com o dinheiro público.

A construção de escolas pelo governo tem um impacto social e econômico significativo, contribuindo diretamente para a educação e o bem-estar das comunidades. A escolha de um sistema estrutural mais vantajoso nesse caso pode reduzir custos de construção, liberando recursos para outros investimentos na educação. Portanto, a análise do sistema estrutural mais econômico e eficiente é essencial para garantir que o investimento nas obras da Paraíba produza o máximo de benefícios possíveis, estabelecendo uma base sólida para o desenvolvimento educacional contínuo no estado da Paraíba.

1.3 Objetivos

- Objetivo geral:

Identificar o tipo de laje mais econômica na construção de uma escola padrão do governo da Paraíba, através do estudo de três tipos diferentes de laje: a maciça, a treliçada e a nervurada, a fim de encontrar a solução mais vantajosa para o modelo arquitetônico escolhido.

- Objetivos específicos:

- Realizar o lançamento da estrutura, conforme o projeto arquitetônico da escola considerando 3 soluções estruturais diferentes;

- Dimensionar a estrutura considerando as 3 soluções estruturais diferentes, com o auxílio do *software* Eberick® 2022;

- Extrair o consumo de materiais utilizado em cada modelo de laje adotado. Isso inclui examinar a área de fôrmas necessária, o volume de concreto utilizado e o peso do aço empregado em cada um deles;

- Levantar os custos dos serviços necessários para a execução da estrutura;

- Comparar os resultados dos custos totais de cada solução estrutural.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Ao realizar o projeto estrutural de uma edificação, é essencial conhecer os diferentes sistemas e elementos estruturais que compõe a estrutura, assim como os materiais utilizados e as normas técnicas que regulamentam esse processo. A seguir, será apresentada uma visão geral desses componentes.

2.1 Sistemas e Elementos Estruturais

De acordo com Carvalho e Figueiredo Filho (2022, p. 23), os elementos estruturais são componentes, com uma ou duas dimensões que prevalecem sobre as demais, e que compõe a estrutura da edificação. Exemplos desses elementos incluem vigas, lajes e pilares. O sistema estrutural, por sua vez, refere-se ao arranjo e à disposição desses elementos na construção.

O sistema estrutural, quando concluído, pesará algumas toneladas, assim, sua execução é feita por etapas. Além disso, a estrutura pode ser moldada no local ou pré-moldada. No primeiro caso, os elementos estruturais são moldados diretamente no local da construção, exigindo o uso de fôrmas e escoramento, resultando em uma estrutura monolítica, onde não há uma separação física entre as peças. Enquanto isso, no segundo caso, os elementos estruturais são produzidos separadamente, geralmente fora do local da obra, e depois transportados ao local, onde são montados, formando uma estrutura não monolítica, sendo mais fácil identificar cada um de seus elementos devido à separação física entre eles (Carvalho; Figueiredo Filho, 2022, p. 24).

Ainda segundo Carvalho e Figueiredo Filho (2022, p. 27), para determinar o esforço ao qual o solo estará submetido, é necessário considerar que a laje suporta seu peso próprio, revestimentos, paredes (se houver) e cargas acidentais, como água da chuva e pessoas, entre outras. A carga da laje é transmitida para as vigas, que também podem receber carga das paredes. Isso tudo, juntamente como peso próprio das vigas, é transmitido para os pilares, que por sua vez, direcionam todas as cargas, juntamente com seu próprio peso, para as fundações que finalmente transmitem o esforço para o solo.

2.1.1 Pilares

A ABNT NBR 6118:2023 define pilares como “elementos lineares de eixo reto, usualmente dispostos na vertical, em que as forças normais de compressão são preponderantes” (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2023, p. 84). Possuem como função resistir todas as cargas da edificação e transmiti-las para a fundação. Eles podem ser produzidos com

diferentes materiais como madeira, aço e o mais usual, concreto. Além disso, pode possuir seções de diferentes formatos, sendo a mais comum a retangular.

No entanto, o tipo de pilar depende da finalidade e da localização do elemento estrutural no projeto. Apesar das forças normais de compressão serem preponderantes, os pilares também estão sujeitos à esforços de flexão, podendo ser classificados como pilar de canto, submetido à flexo-compressão oblíqua, pilar de borda, submetido à flexo-compressão normal e pilar interno/central, submetido à compressão simples (Viva Decora, 2022).

Os pilares de concreto armado são compostos por armaduras longitudinais dispostas na direção de seu comprimento, com objetivo de dividir as cargas de compressão com o concreto, e suportar os esforços de tração resultantes do momento fletor. Além disso, as armaduras transversais, conhecidas como estribos são dispostas ao longo da direção transversal do pilar, para manter as barras longitudinais corretamente posicionadas, resistir à tensão diagonal causada pelo cisalhamento transversal e confinar as armaduras próximas à superfície do pilar, garantindo sua estabilidade e melhorando a capacidade de carga (Oliveira Júnior, 2023).

No processo de dimensionamento de um pilar, é necessário considerar alguns fatores. Isso inclui não apenas as cargas verticais e horizontais que ele irá suportar, mas também os momentos fletores a que estará submetido (Oliveira Júnior, 2023). Além, disso deve ser considerada as cargas permanentes, como o peso próprio da estrutura e os acabamentos e as cargas variáveis, como o vento. Também é essencial analisar as propriedades dos materiais e a geometria do pilar.

Segundo a ABNT NBR 6118:2023, a seção transversal dos pilares não deve apresentar dimensão menor que 19 cm, a menos que haja circunstâncias especiais. Nestes casos, é permitido o uso de dimensões entre 14 cm e 19 cm, desde que seja aplicado um coeficiente adicional que majora os esforços solicitantes durante o dimensionamento da estrutura. No entanto, é fundamental que a área da seção transversal seja superior a 360 cm² para garantir a capacidade estrutural adequada (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2023, p. 73). Os valores do coeficiente adicional podem ser visualizados no Quadro 1.

Quadro 1 – Coeficiente adicional de majoração dos esforços solicitantes.

b cm	≥ 19	18	17	16	15	14
γ_n	1,00	1,05	1,10	1,15	1,20	1,25

onde
 $\gamma_n = 1,95 - 0,05 b$;
 b é a menor dimensão da seção transversal, expressa em centímetros (cm).

NOTA O coeficiente γ_n deve majorar os esforços solicitantes finais de cálculo quando de seu dimensionamento.

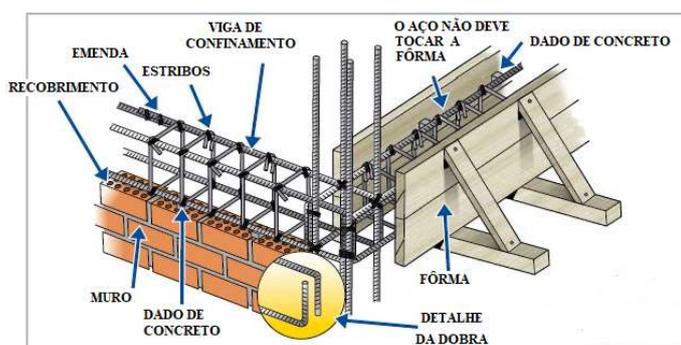
Fonte: ABNT NBR 6118:2023.

2.1.2 Vigas

Segundo a ABNT NBR 6118:2023, as vigas são elementos lineares cujo esforço solicitante predominante é a flexão (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2023, p. 83). Sua função é de vencer os vãos e transmitir as cargas recebidas por ela e seu peso para os pilares. Além disso, deve-se respeitar uma largura mínima de 12 cm para vigas comuns e 15 cm para vigas-parede, salvo casos excepcionais no qual a largura mínima absoluta é de 10 cm. No entanto, o encaixe das armaduras e suas interferências com armaduras de outros elementos devem possuir espaçamentos e cobrimento consoantes com a norma, e o lançamento e a vibração do concreto devem ser respeitar a ABNT NBR 14931 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2023, p. 73).

Existem vigas de diversos materiais, sendo a mais comum a viga de concreto armado. A montagem da viga de concreto armado é composta pelas armaduras, fôrmas e espaçadores, conhecidos popularmente como dados de concreto ou “cocada”, arame para a amarração de armaduras, prego para fixação das fôrmas e o concreto, como pode ser visualizado na Figura 1.

Figura 1 – Montagem de uma viga.



Fonte: Adaptado de Aceros Arequipa, 2023.

Duas armaduras que a viga deve conter são a longitudinal, cuja função principal é a resistência à flexão, sendo também responsável por resistir esforços de tração, além de ajudar a distribuir as tensões de forma mais uniforme na viga, e a armadura transversal, também conhecida como armadura para torção ou estribos, que reforçam a seção transversal da peça, lhe conferindo resistência ao esforço cortante além de ajudar as barras da armadura a se manterem adequadamente espaçadas e resistir aos esforços de tração provocados pela torção (Carvalho, 2023).

No entanto, segundo a ABNT NBR 6118:2023 há uma terceira armadura que deve ser utilizada em caso de vigas com altura superior a 60 cm, as armaduras de pele (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2023, p. 133). Ela possui como função principal minimizar problemas causados pela fissuração, retração e variações de temperatura, além de controlar a abertura de fissuras de flexão na alma das vigas (Carvalho; Figueiredo Filho, 2022, p.177).

2.1.3 Lajes

Carvalho e Figueiredo Filho (2022, p.319) definem lajes como placas de concreto cuja espessura é relativamente pequena comparada à largura e comprimento. Elas estão sujeitas principalmente a ações normais a seu plano. São diversos os tipos de lajes existentes na construção civil, dentre elas estão as lajes maciças, treliçadas e nervuradas.

- Laje Maciça

De acordo com Dorneles (2014, p. 18), as lajes maciças são compostas por placas de concreto armado ou protendido, que devido sua longa trajetória no mercado, possuem uma disponibilidade maior de mão de obra treinada. No entanto, possuem um alto peso-próprio, devido à ausência de material de enchimento, há um elevado consumo de concreto, elevado consumo de fôrmas e não conseguem vencer grandes vãos, recomendando-se um vão entre 3,5 e 5m. Além disso, faz-se uso de armaduras longitudinais para combater a flexão, raramente necessitando de armaduras transversais.

As espessuras mínimas das lajes maciças são definidas conforme sua classificação, prescrita pela ABNT NBR 6118:2023:

- Coberturas que não estão em balanço: 7 cm;
- Lajes de piso que não estão em balanço: 8 cm;
- Lajes em balanço: 10 cm;

- Lajes que suportam veículos com peso total até 30 kN: 10 cm;
- Lajes que suportam veículos com peso total superior a 30 kN: 12 cm;
- Lajes com protensão apoiadas em vigas: 15 cm, com um mínimo de $L/42$ para lajes de piso biapoiadas e $L/50$ para lajes de piso contínuas.
- Lajes lisas: 16 cm;
- Lajes-cogumelo, fora do capitel: 14 cm.

No entanto, no caso do dimensionamento das lajes em balanço, deve-se multiplicar os esforços solicitantes por um coeficiente adicional, caso a espessura da laje seja inferior a 19 cm conforme o Quadro 2 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2023, p. 74).

Quadro 2 – Coeficiente adicional de majoração para lajes em balanço.

h cm	≥ 19	18	17	16	15	14	13	12	11	10
γ_n	1,00	1,05	1,10	1,15	1,20	1,25	1,30	1,35	1,40	1,45
onde $\gamma_n = 1,95 - 0,05 h$; h é a altura da laje, expressa em centímetros (cm). NOTA O coeficiente γ_n deve majorar os esforços solicitantes finais de cálculo nas lajes em balanço, quando de seu dimensionamento.										

Fonte: ABNT NBR 6118:2023.

Algumas vantagens da utilização da laje maciça na construção de um edifício incluem o fato dela realizar uma distribuição de suas reações em todas as suas vigas de contorno, proporcionando bom aproveitamento das vigas, pois estas últimas, a depender dos vãos e condições de contorno, poderão estar submetidas a cargas de mesmo grau de grandeza, evitando a sobrecarga de uma ou mais vigas. Além disso, há uma maior facilidade na colocação de instalações elétricas e hidrossanitárias antes da concretagem (Carvalho; Figueiredo Filho, 2022, p. 319).

Segundo Dorneles (2014, p. 20) sua execução é composta pelas fôrmas e escoramento, seguida da colocação da ferragem, lançamento do concreto, adensamento e nivelamento, cura do concreto, desforma e retirada de escoramento.

- Laje Treliçada

A laje treliçada surge como uma alternativa para agilizar a execução da estrutura, diminuir seu peso, reduzir a necessidade de escoras e trazer melhorias termoacústicas quando utilizado o EPS como material de enchimento. Além disso, devido à baixa resistência do concreto à tração, optou-se por substituir o concreto tracionado por elementos inertes com menor peso, os materiais de enchimento, a exemplo do EPS e lajotas cerâmicas, ficando à cargo do aço resistir à tração (Chaves, 2021, p. 214).

Segundo Avilla Júnior (2010, p. 68-69), algumas das vantagens da laje treliçada em relação à laje maciça incluem a redução do consumo de fôrmas, utilizando vigas-faixa, de borda e capitéis com elementos pré-fabricados treliçados; menor consumo de escoramentos, já que as vigotas treliçadas atuam como vigas metálicas; e seu peso próprio reduzido, permitindo um maior espaçamento entre as escoras para resistir aos esforços durante a concretagem e cura. Além disso, destaca-se a alta produtividade, precisão no posicionamento e fixação dos elementos de enchimento, que, em conjunto com as vigotas, funcionam como uma plataforma de trabalho, resultando em redução da mão de obra e maior velocidade de execução.

No entanto, a laje treliçada possui algumas limitações, como o fato de não poder atender grandes vãos, trabalhando bem em vãos de até 6 metros, e a existência de grandes cargas acidentais, que devido à má aderência entre a vigota e a capa de concreto, ocorrem fissuras na laje com o passar do tempo (Diniz *et al*, 2021).

A execução é composta das seguintes etapas: escoramento, colocação das vigotas e material de enchimento e caso necessário elementos do sistema hidráulico e elétrico, disposição de armaduras complementares, concretagem, cura do concreto e retirada do escoramento (Dorneles, 2014, p. 28-31). A execução da laje treliçada pode ser vista na Figura 2.

Figura 2 – Laje treliçada.



Fonte: Avilla Júnior, 2010.

- Laje nervurada com uso de cubetas

Uma laje nervurada é um tipo de laje de concreto armado que utiliza fôrmas de polipropileno reutilizáveis para criar nervuras no concreto. Essas nervuras, que funcionam como vigas em T, são moldadas entre as fôrmas, que permanecem no lugar até que o concreto esteja totalmente curado. As fôrmas de polipropileno, também chamadas de caixotes reaproveitáveis ou cubetas, são leves, reforçadas internamente e projetadas para facilitar a desmontagem após o capeamento do concreto (Dorneles, 2014, p. 55).

Dentre as vantagens comparadas com a laje maciça descritas por Dorneles (2014, p. 58-59) encontram-se a redução do uso de fôrmas de madeira, possibilidade de compatibilização de projetos, devido ao uso de forro, e característica estética diferenciada se utilizada sem forro, além disso possui a facilidade de desforma, as cubetas são reaproveitáveis, leves e de fácil estocagem e apresenta uma estrutura global mais leve. No entanto, necessita de mão de obra especializada, possui maior vulnerabilidade à acidentes devido à ausência de assoalho durante a montagem e custo inicial alto.

Segundo Avilla Júnior (2010, p. 66-67) as lajes nervuradas apresentam algumas vantagens, como o menor consumo de madeira, visto a eliminação do assoalho da laje, a redução da mão de obra, maior velocidade de execução, reutilização das fôrmas, facilidade de montagem e desmontagem, acabamento de ótima qualidade e redução de cargas na estrutura, bem como economia nas fundações. Entretanto, o uso desse tipo de laje traz algumas limitações como um maior gasto com utilização de forro falso para passagem de eletrodutos e dutos de utilidades, necessidade de um pé direito maior, levando à necessidade de maior altura na edificação, as fôrmas removíveis (cubetas) apresentam alturas e dimensões padronizadas, entre outros fatores.

Em relação à sua execução, é composta pela colocação das fôrmas, cubetas e escoramento, colocação da armadura, concretagem, cura do concreto, desforma e retirada de escoras e cubetas (Dorneles, 2014, p. 56-58). A execução desse tipo de laje pode ser visualizada na Figura 3.

Figura 3 – Laje nervurada com uso de cubetas.



Fonte: Dorneles, 2014.

2.2 Materiais

2.2.1 Concreto

O concreto é um material proveniente da mistura de cimento, agregado fino, agregado graúdo e água. Caso necessário obter um concreto mais resistente deve-se, portanto, melhorar as suas propriedades por meio da utilização de aditivos (Carvalho; Figueiredo Filho, 2022, p. 29).

Esse material quando fresco possui propriedades como consistência, trabalhabilidade e homogeneidade. Uma das formas para medir a consistência do concreto é o abatimento do tronco de cone, que mede a deformação vertical, também chamada de abatimento ou *slump*. Quando o concreto possui menor consistência o ideal é utilizá-lo em elementos com alta taxa de armadura e caso não haja muita armadura, utilizar concretos com maior consistência. Em relação à homogeneidade, quanto mais uniformes os agregados dispersos na massa sem apresentar desagregação, melhor a qualidade do concreto (Carvalho; Figueiredo Filho, 2022, p. 30-31).

De acordo com Carvalho e Figueiredo Filho (2022, p. 31-32), algumas etapas importantes na produção de estruturas de concreto são:

- Adensamento: Geralmente realizado por meio de vibração mecânica, com o objetivo de evitar a formação de bolhas de ar, vazios e segregação de materiais;
- Início do endurecimento (pega): Recomenda-se que o tempo entre o preparo do concreto e o final da concretagem não ultrapasse 2 horas e 30 minutos;

- Cura do concreto: Devido à tendência de evaporação da água existente na mistura, devem-se adotar medidas que conservem a umidade necessária ou evitem a evaporação precoce.

Após endurecido, o concreto deve apresentar boa resistência à compressão. No entanto, por ser pouco resistente à tração, utiliza-se o aço em conjunto com o concreto, formando o concreto armado.

2.2.2 Aço

Carvalho e Figueiredo Filho (2022, p. 44) definem aço como um material cujo teor de carbono é inferior a 2,04%. Suas barras e fios destinados para estruturas de concreto armado possuem como denominação a sigla CA (Concreto Armado) e são divididos em três tipos: CA25, CA50 e CA60. Em relação às suas características mecânicas, destaca-se 3 mais importantes: a resistência característica de escoamento, limite de resistência e alongamento na ruptura.

2.2.3 Fôrmas

Magalhães (2022) define fôrmas como moldes cuja função é permitir a concretagem dos elementos estruturais de uma edificação, definindo seus formatos finais e preservando o concreto até que atinja sua resistência adequada. Este material deve resistir aos esforços gerados pelo seu próprio peso, pelo peso do concreto e por eventuais cargas aplicadas. Além disso, deve garantir a integridade funcional e estética dos elementos estruturais. As fôrmas podem ser feitas de diferentes materiais, como:

- Madeira: geralmente usada em obras de pequeno a médio porte;
- Aço: indicado para obras que demandam agilidade e eficiência, sendo mais cara e recomendada apenas para reutilização intensa;
- Papelão: recomendado para estruturas de formato circular devido à sua flexibilidade;
- Alumínio: indicado para construções que demandam agilidade, como pequenos edifícios habitacionais.

Quanto às espessuras das fôrmas, elas podem variar com o comprimento ou seções dos elementos estruturais, devendo obedecer às seguintes especificações:

- 5 mm para seções menores ou iguais a 60 cm ou comprimento menor ou igual a 3 m;

- 7 mm para dimensões entre 60 mm e 120 mm;
- 10 mm para dimensões entre 120 mm e 250 mm e comprimento entre 3 m e 5 m;
- 0,4% da dimensão para dimensões maiores que 250 mm;
- 15 mm para comprimento entre 5 m e 15 m;
- 20 mm para comprimento maior que 15 m.

2.2.4 Escoramento

No setor da construção, o escoramento desempenha um papel essencial como estrutura temporária, suportando e transmitindo cargas permanentes e variáveis durante a fase de concretagem. Desde o lançamento do concreto fresco até que ele atinja a resistência prevista, o escoramento atua como uma estrutura de suporte, assegurando a estabilidade e segurança da obra. Sua importância está na prevenção de colapsos e deformações durante o processo de cura do concreto, garantindo a integridade da estrutura e a segurança dos trabalhadores (Costa, s.d.).

2.2.5 Material de Enchimento e Cubetas

Dentre as opções de materiais de enchimento no *software* Eberick® a serem utilizados na laje nervurada estão o EPS, também conhecido como poliestireno expandido e as lajotas cerâmicas. Além disso, para formar as nervuras há a opção das cubetas plásticas.

2.3 Estrutura de Concreto Armado

Carvalho e Figueiredo Filho (2022, p. 19-21) afirmam que, para a utilização estrutural, o concreto, apesar de sua boa resistência à compressão, não é adequado como elemento resistente devido à sua baixa resistência à tração, que é dez vezes inferior à resistência à compressão. Assim, para uma maior resistência, é indicado associar o concreto ao aço, um material com boa resistência à tração e maior deformabilidade. Dessa forma, o concreto simples e a armadura passiva deverão trabalhar solidariamente, graças às forças de aderência que permitem que, com a deformação do concreto, as barras de aço sejam alongadas, caracterizando o concreto armado como material estrutural.

O uso do concreto armado apresenta diversas vantagens, como boa resistência à grande parte das solicitações, boa trabalhabilidade, durabilidade e resistência ao fogo superior em relação ao aço e madeira, além de permitir a obtenção de estruturas monolíticas e possuir técnicas de execução dominadas em boa parte do país. No entanto, seu peso próprio elevado

umenta seu custo e limita seu uso em algumas ocasiões, sendo também um bom condutor térmico e acústico, o que pode ser um problema na questão do conforto ao usuário, além de requerer a utilização de fôrmas e escoramentos (Carvalho; Figueiredo Filho, 2022, p. 21-22).

Em relação à durabilidade das estruturas de concreto armado, a NBR 6118:2023 estipula que estas devem ser projetadas e executadas de modo a conservar sua segurança, estabilidade e aptidão em serviço ao longo de sua vida útil (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2023, p. 15). Conforme Carvalho e Figueiredo Filho (2022, p. 64), os requisitos mínimos de qualidade durante a construção e utilização dividem-se em: requisitos relativos à capacidade resistente da estrutura, requisitos relativos ao desempenho em serviço e requisitos relativos à sua durabilidade.

Um dos aspectos a serem analisados para a execução do projeto estrutural é a classe de agressividade ambiental na qual se enquadra o ambiente do projeto, que irá dizer o nível de risco de deterioração da estrutura. A NBR 6118:2023 classifica a agressividade ambiental de acordo com o Quadro 3 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2023, p. 16-17).

Quadro 3 – Classes de agressividade ambiental.

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

^a Pode-se admitir um microclima com uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) para ambientes internos (salas, dormitórios, banheiros, cozinhas e áreas de serviço de apartamentos residenciais e conjuntos comerciais ou ambientes com concreto revestido com argamassa e pintura).

^b Pode-se admitir uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) em obras em regiões de clima seco, com umidade média relativa do ar menor ou igual a 65 %, partes da estrutura protegidas de chuva em ambientes predominantemente secos ou regiões onde raramente chove.

^c Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas, elementos em contato com solo contaminado ou água subterrânea contaminada.

Fonte: ABNT NBR 6118:2023.

Segundo a NBR 6118:2023, a durabilidade das estruturas de concreto armado também está relacionada às características do concreto, bem como à espessura e qualidade do concreto que recobrem a armadura. Assim, devido à forte correlação entre a relação água/cimento e a resistência à compressão do concreto e sua durabilidade, permite-se a utilização do Quadro 4 para encontrar a relação água/cimento por meio da classe de agressividade e do Quadro 5 para encontrar o cobrimento nominal (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2023, p. 18-20).

Quadro 4 – Classe de agressividade e qualidade do concreto.

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

^a O concreto empregado na execução das estruturas deve cumprir com os requisitos estabelecidos na ABNT NBR 12655.

^b CA corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto armado.

^c CP corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto protendido.

Fonte: ABNT NBR 6118:2023.

Quadro 5 – Classe de agressividade e cobrimento nominal.

Tipo de estrutura	Componente ou elemento	Classe de agressividade ambiental (Tabela 6.1)			
		I	II	III	IV ^c
		Cobrimento nominal mm			
Concreto armado	Laje ^b	20	25	35	45
	Viga ^b /pilar	25	30	40	50
	Elementos estruturais em contato com o solo ^d	30		40	50
Concreto protendido ^a	Laje	25	30	40	50
	Viga/pilar	30	35	45	55

^a Cobrimento nominal da bainha ou dos fios, cabos e cordoalhas. O cobrimento da armadura passiva deve respeitar os cobrimentos para concreto armado.

^b Para a face superior de lajes e vigas que serão revestidas com argamassa de contrapiso, com revestimentos finais secos tipo carpete e madeira, com argamassa de revestimento e acabamento, como pisos de elevado desempenho, pisos cerâmicos, pisos asfálticos e outros, as exigências desta Tabela podem ser substituídas pelas de 7.4.7.5, respeitado um cobrimento nominal ≥ 15 mm.

^c Nas superfícies expostas a ambientes agressivos, como reservatórios, estações de tratamento de água e esgoto, condutos de esgoto, canaletas de efluentes e outras obras em ambientes química e intensamente agressivos, devem ser atendidos os cobrimentos da classe de agressividade IV.

^d No trecho dos pilares em contato com o solo junto aos elementos de fundação, a armadura deve ter cobrimento nominal ≥ 45 mm.

Fonte: ABNT NBR 6118:2023.

2.4 Estados Limites

Segundo Carvalho e Figueiredo Filho (2022, p.52) no cálculo das estruturas de concreto os estados limites considerados são o estado limite último (ELU) e o estado limite de serviço (ELS).

A NBR 6118:2023 se refere ao estado limite último como aquele relacionado ao colapso ou outra forma de ruína estrutural que resulte na interrupção do uso da estrutura (Associação

Brasileira de Normas Técnicas, 2023, p. 4). Para garantir a segurança das estruturas de concreto devem ser verificados os seguintes estados limites últimos (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2023, p. 54-55):

- Estado limite último da perda de equilíbrio da estrutura;
- Estado limite último de esgotamento da capacidade resistente da estrutura, devido às solicitações normais e tangenciais;
- Estado limite último de esgotamento da capacidade resistente da estrutura, considerando os efeitos de segunda ordem;
- Estado limite último provocado por solicitações dinâmicas;
- Estado limite último de colapso progressivo;
- Estado limite último de esgotamento da capacidade resistente da estrutura, considerando a exposição ao fogo;
- Estado limite último de esgotamento da capacidade resistente da estrutura, considerando ações sísmicas;
- Outros, que possam ocorrer em casos especiais.

Em contrapartida, o estado limite de serviço, conforme a mesma norma, está relacionado ao conforto dos usuários, à durabilidade, à aparência e ao bom funcionamento das estruturas (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2023, p. 55). A segurança das estruturas de concreto pode exigir a verificação dos seguintes estados limites últimos (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2023, p. 4-5):

- Estado limite de formação de fissuras;
- Estado limite de abertura de fissuras;
- Estado limite de deformação excessiva;
- Estado limite de descompressão;
- Estado limite de descompressão parcial;
- Estado limite de compressão excessiva;
- Vibrações excessivas.

As resistências do aço e do concreto devem ser minoradas por um coeficiente de minoração. No caso do estado limite último, os valores dos coeficientes podem ser vistos no Quadro 6 e em caso de execução em que sejam previstas condições desfavoráveis (más condições de transporte, adensamento manual, concretagem deficiente, entre outras), o coeficiente de minoração do concreto deve ser multiplicado por 1,1. Já nos casos do estado limite de serviço, não é necessário usar coeficiente de minoração (Carvalho e Figueiredo Filho, 2022, p. 51-52).

Quadro 6 – Coeficientes de minoração da resistência do aço e do concreto.

Combinações	Concreto	Aço
	γ_c	γ_s
Normais	1,4	1,15
Especiais ou de construção	1,2	1,15
Excepcionais	1,2	1,0

Fonte: ABNT NBR 6118:2023.

2.5 Ações

Segundo Carvalho e Figueiredo Filho (2022, p. 53-56), na análise estrutural, é essencial levar em conta todas as ações que possam impactar significativamente a segurança da estrutura. As ações são categorizadas em permanentes, variáveis e excepcionais.

- **Ações permanentes:** são aquelas que ocorrem com valores praticamente constantes durante toda a vida útil da construção ou que crescem ao longo do tempo, tendendo a um valor limite constante. As diretas incluem o peso próprio da estrutura, os pesos dos elementos construtivos fixos e das instalações permanentes, além de considerar, quando necessário, os empuxos de terra e outros materiais granulosos quando não removíveis. As indiretas incluem as deformações impostas por retração e fluência do concreto, deslocamentos de apoio, imperfeições geométricas e protensão.
- **Ações variáveis:** são divididas em diretas e indiretas. As diretas abrangem cargas acidentais previstas para o uso da construção, como a ação do vento e da água. As cargas acidentais previstas para o uso da construção correspondem a cargas verticais de uso, como pessoas, mobiliário, veículos e materiais, além de considerar o impacto vertical, lateral, força longitudinal de frenagem ou aceleração e força centrífuga. As indiretas são

causadas por variações uniformes ou não uniformes de temperatura e por ações dinâmicas.

- Ações excepcionais: são aquelas cujos efeitos não podem ser previstos ou controlados por meios convencionais de projeto.

2.6 Pré-dimensionamento de Elementos Estruturais de Concreto

O pré-dimensionamento é a etapa onde se estimam as dimensões de cada elemento estrutural, utilizando gráficos e fórmulas empíricas. A literatura específica oferece diversos critérios e recomendações, incluindo fórmulas e ábacos simplificados, que auxiliam nessa estimativa. No presente projeto, abordaremos o pré-dimensionamento de pilares, vigas e lajes que será desenvolvido no tópico 3.3.

Este trabalho baseia-se nos métodos sugeridos por Rebello (2007), com o pré-dimensionamento dos pilares, vigas e lajes por meio de gráficos. No entanto, para as lajes treliçadas, são utilizadas tabelas fornecidas pelos fabricantes, de forma em que a partir do vão e da sobrecarga na laje pode-se definir a espessura da laje, bem como a espessura de capa (Rebello, 2007, p.174).

Além disso, é importante verificar se as dimensões encontradas durante o pré-dimensionamento atendem as dimensões mínimas dos elementos estruturais estabelecidas na ABNT NBR 6118:2023 e nas normas de incêndio ABNT NBR 15200:2012 e ABNT NBR 14432:2001.

2.7 Segurança Contra Incêndio

A NBR 15.575-1:2021 estabelece requisitos mínimos de desempenho para edificações habitacionais, garantindo qualidade, segurança, habitabilidade e sustentabilidade ao longo da vida útil. As exigências incluem segurança estrutural, segurança contra o fogo, acessibilidade, conforto térmico, acústico e lumínico, além de durabilidade e facilidade de manutenção, assegurando construções adequadas para os usuários, entre outros (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2021, p. 18-19).

O item 8 da norma foca na segurança contra incêndio, com medidas para proteger a vida dos ocupantes, minimizar danos ao patrimônio e ao meio ambiente, e facilitar a atuação dos bombeiros. Especificamente sobre a segurança estrutural em situações de incêndio, a norma garante que os elementos estruturais resistam ao fogo, prevenindo o colapso e assegurando a evacuação segura. As normas NBR 14432 e NBR 15200 devem ser atendidas para garantir que

os elementos construtivos e as estruturas de concreto mantenham sua integridade durante incêndios, contribuindo para a segurança geral da edificação e de seus ocupantes (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2021, p. 23-26).

A NBR 14432:2001, por sua vez, traz as exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações, visando garantir a segurança dos ocupantes e a integridade das construções durante um incêndio. Seu objetivo principal é assegurar que os elementos estruturais resistam ao fogo por tempo suficiente para permitir a evacuação segura e a atuação dos bombeiros (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2001, p. 1).

Nesse contexto, a NBR 14432:2001 define o tempo requerido de resistência ao fogo (TRRF) como tempo mínimo de resistência ao fogo, de um elemento construtivo quando sujeito ao incêndio (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2001, p. 4), sendo necessário atender esse valor mínimo durante o dimensionamento das estruturas.

Uma norma que complementa a NBR 14432:2001 é a NBR 15200:2012 que trata do projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio, que considerando a classificação da edificação e o Tempo de Resistência ao Fogo (TRRF) definido pela NBR 14432/2001, estabelece critérios para o projeto de estruturas de concreto armado com o intuito de reduzir o risco de incêndio, controlar o fogo ainda em seus estágios iniciais, limitar a área exposta ao fogo, criar rotas de fuga, facilitar o combate ao incêndio e evitar a ruína prematura da estrutura (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2012, p. 6).

3. METODOLOGIA

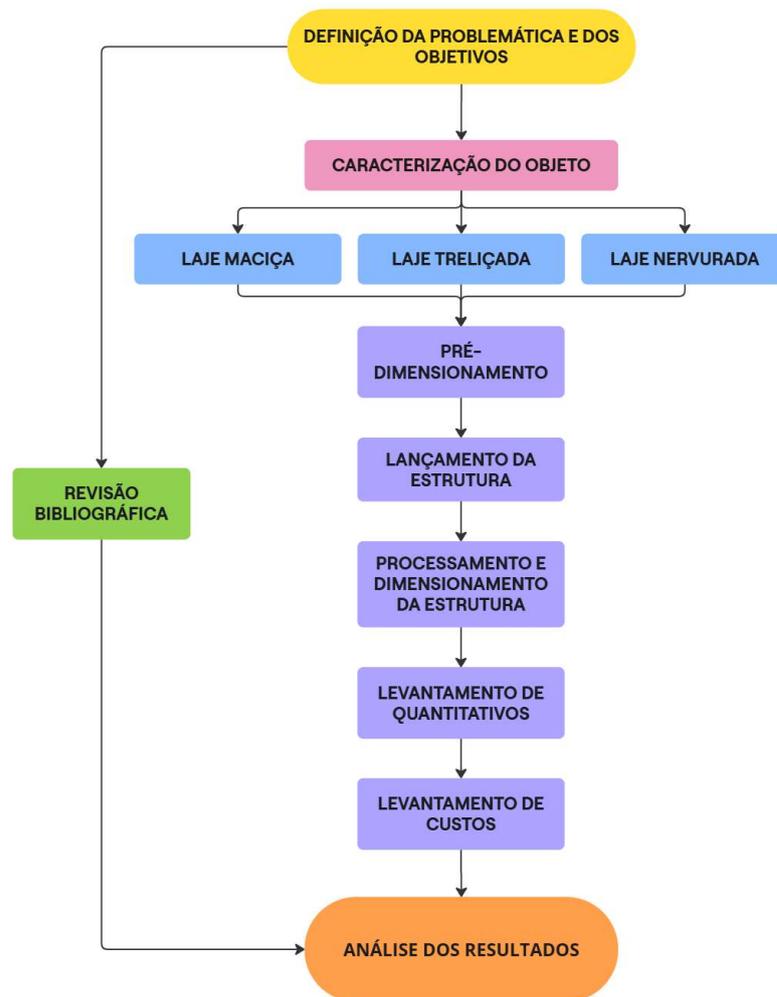
Este estudo visa identificar a melhor solução estrutural em concreto armado para uma escola padrão do governo, localizada no estado da Paraíba, tendo em vista a comparação entre os custos para a execução dos 3 modelos estruturais distintos. São eles:

- Modelo 1: estrutura com lajes maciças;
- Modelo 2: estrutura com lajes treliçadas;
- Modelo 3: estrutura com lajes nervuradas com cubetas.

Assim, foi realizado o lançamento da estrutura da escola considerando os três modelos, seguida do processamento da estrutura para o dimensionamento dos elementos estruturais, levantamento de quantitativos e de uma análise comparativa entre os custos, com o orçamento feito por meio de bancos de dados consolidados da construção civil, como o Sistema Nacional

de Pesquisa de Custos Índices da Construção Civil (SINAPI), tomando como base os preços de agosto/2024 e o Sistema de Orçamento de Obras de Sergipe (ORSE), com dados de junho/2024. As etapas desse trabalho podem ser observadas no fluxograma ilustrado na Figura 4.

Figura 4 – Fluxograma da metodologia do trabalho.



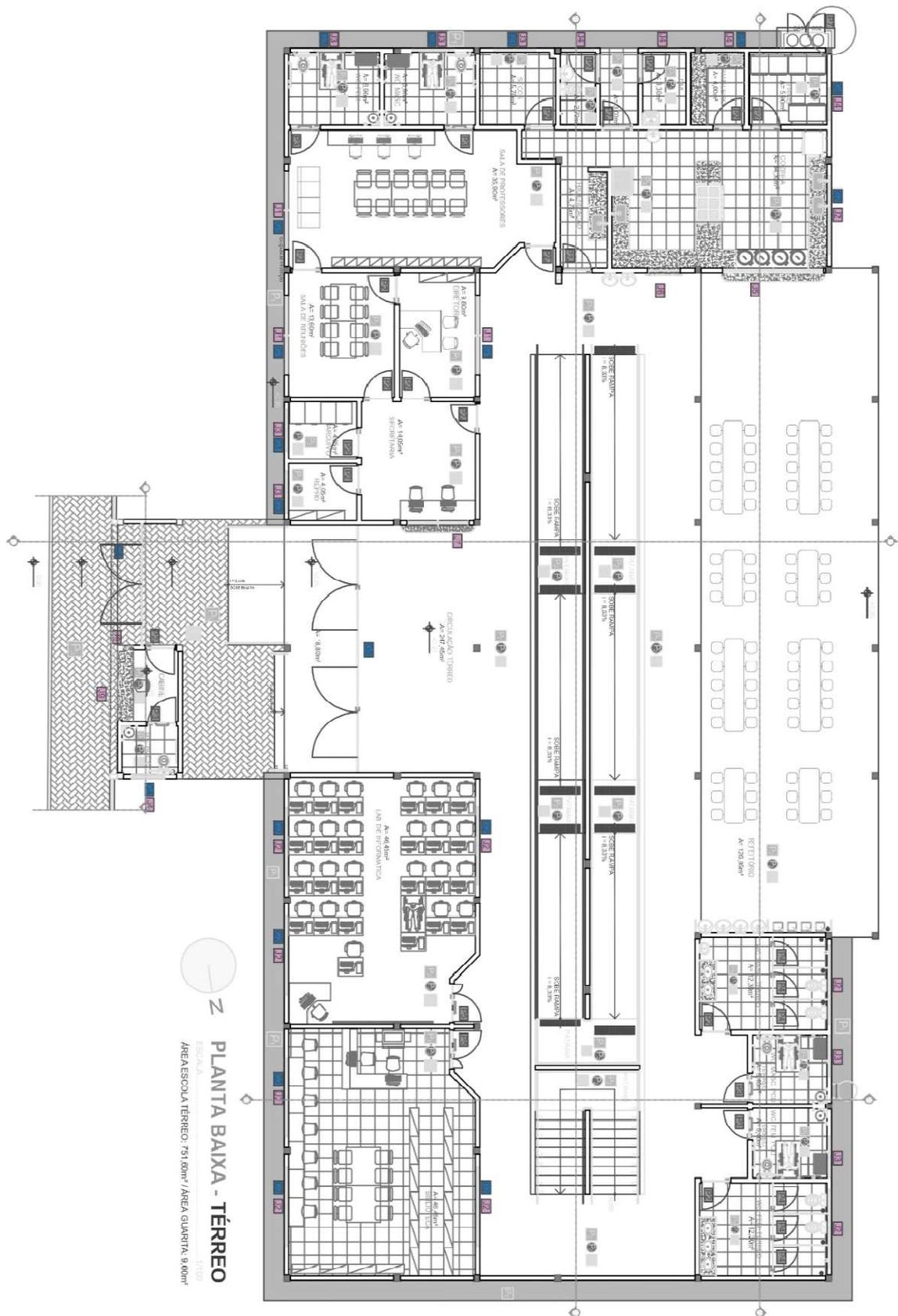
miro

Fonte: Autor, 2024.

3.1 Caracterização do Objeto

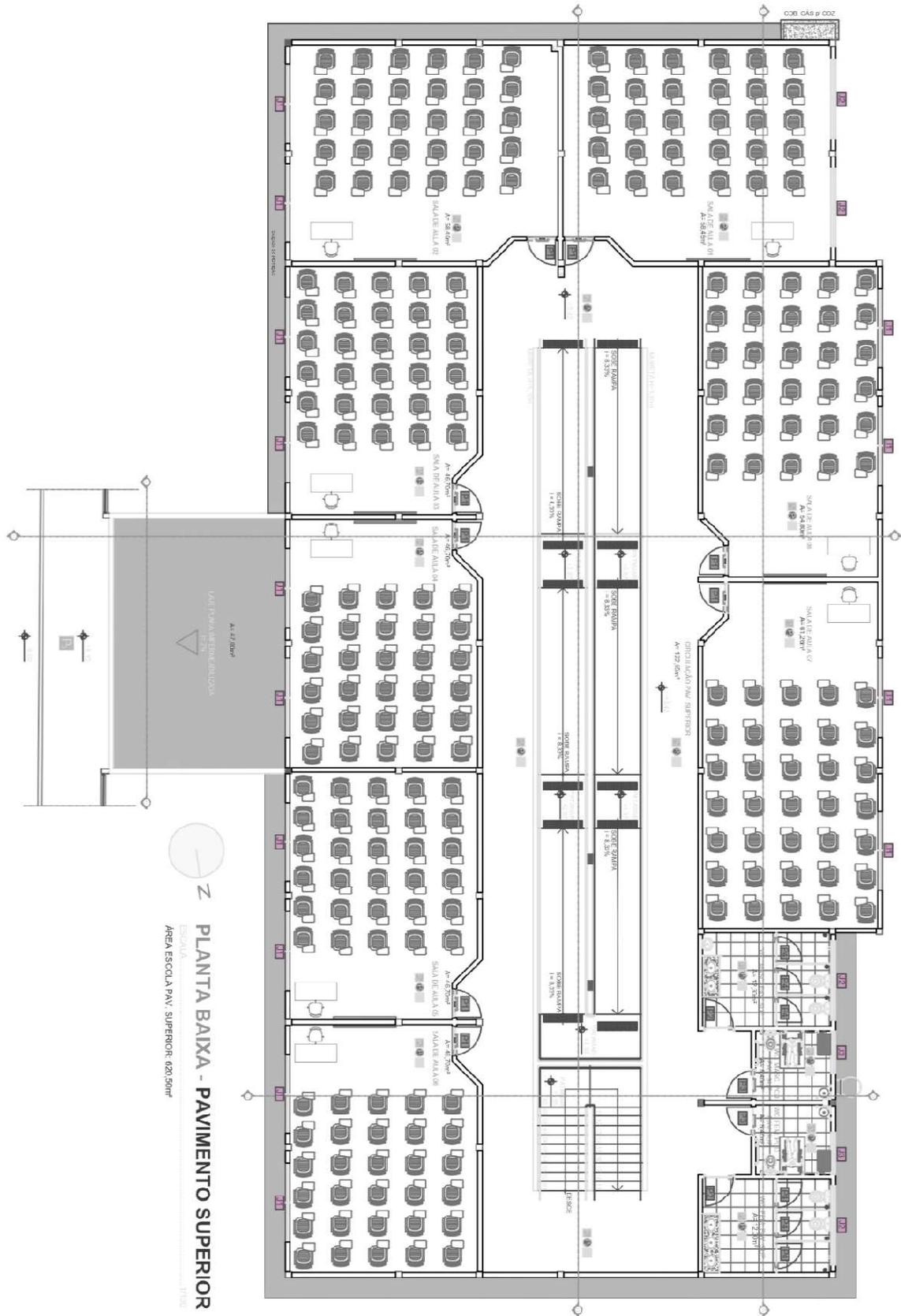
O projeto escolhido para a análise foi um edifício de uso educacional padrão do governo do estado da Paraíba, de dois andares. O pavimento térreo, mostrado na Figura 5, possui 760,60 m² de área construída, enquanto o pavimento superior, conforme Figura 6, possui 620,50 m² e área coberta da edificação possui 761,75 m² como ilustrado na Figura 7. A área do barrilete por sua vez possui 25,09 m², como mostrado na Figura 8. Os cortes do projeto arquitetônico estarão presentes nos Anexos A e B.

Figura 5 – Planta baixa do pavimento térreo.



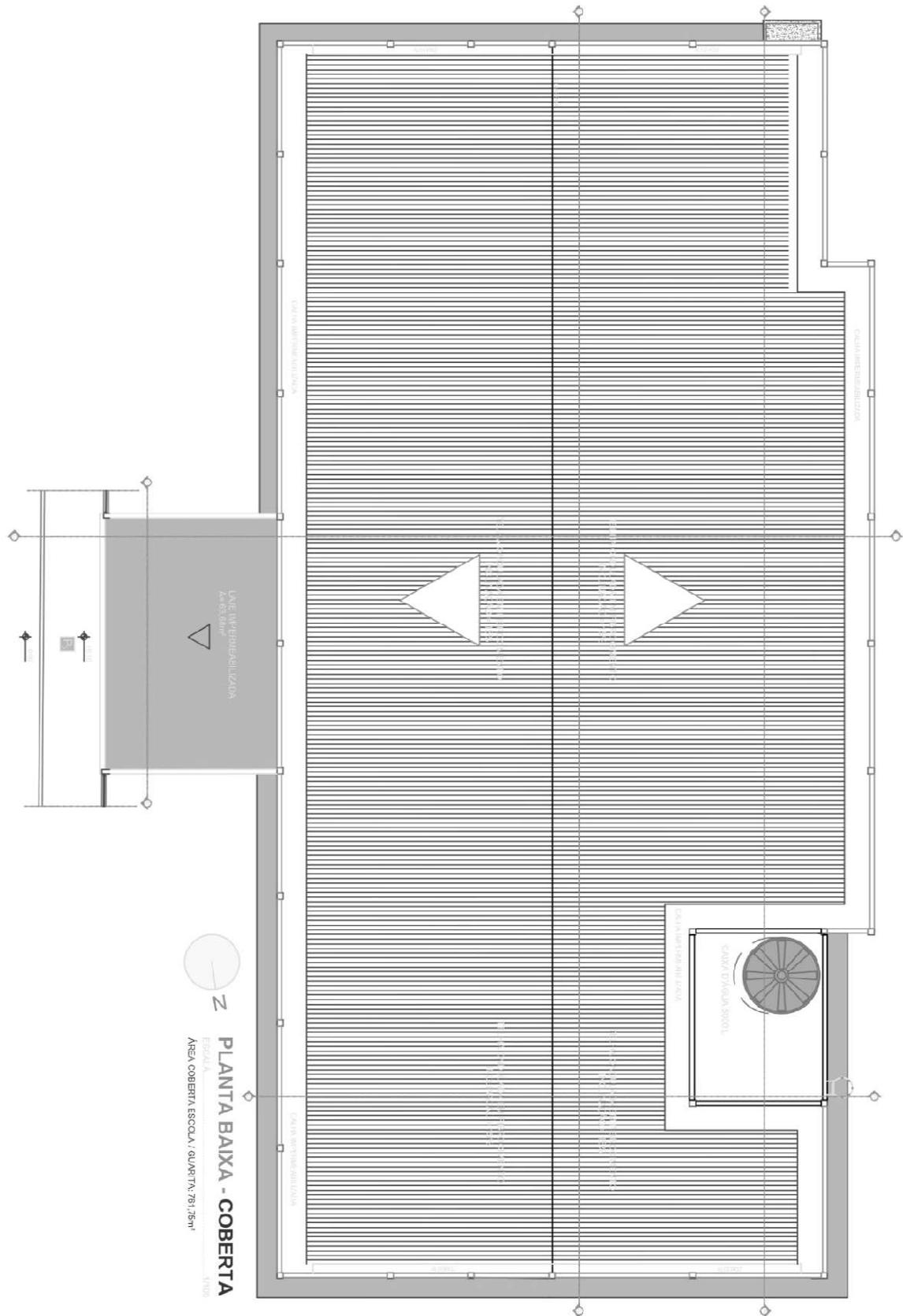
Fonte: SUPLAN, 2024.

Figura 6 – Planta baixa do pavimento superior.



Fonte: SUPLAN, 2024.

Figura 7 – Planta baixa da coberta.



Fonte: SUPLAN, 2024.

Figura 8 – Planta baixa do barrilete.



Fonte: SUPLAN, 2024.

3.2 Ferramenta Computacional

Para o desenvolvimento desse trabalho, foi utilizado o Eberick® 2022, no qual foi possível realizar o dimensionamento e obter os quantitativos de cada material presente nos modelos estruturais adotados.

O Eberick® é um *software* especializado em engenharia civil e arquitetura, projetado para modelagem, análise e dimensionamento de estruturas de concreto armado. Ele facilita a criação de modelos tridimensionais das edificações, realiza cálculos estruturais complexos e dimensiona elementos como vigas, pilares e lajes, garantindo a segurança e eficiência das estruturas. Além disso, o Eberick® gera relatórios detalhados e pode ser integrado com outras ferramentas, otimizando o processo de projeto e análise estrutural (Estruturas e BIM, 2020).

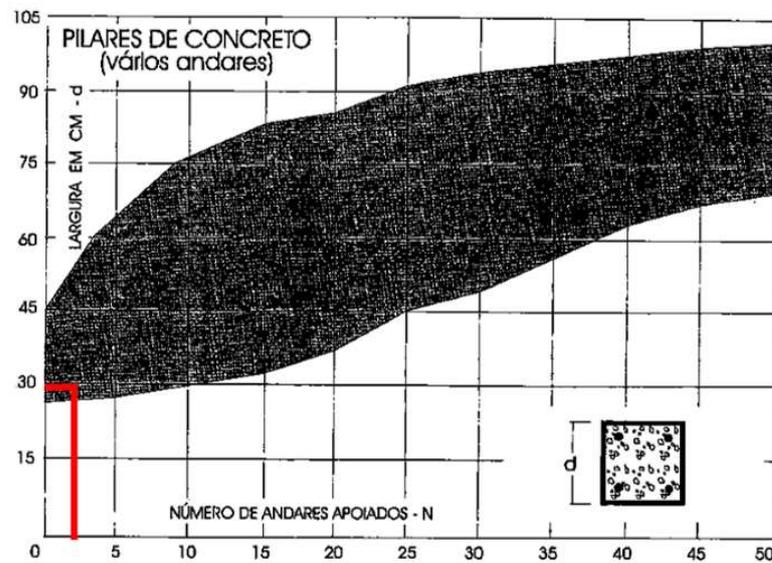
O dimensionamento ocorre conforme a NBR 6118:2023 e verifica os elementos para o Estado Limite Último e de Serviço. Os resultados de dimensionamento são apresentados em janelas para cada elemento estrutural, que demonstram os esforços e os resultados de armadura e os deslocamentos.

3.3 Pré-dimensionamento

Como citado no item 2.6 desse trabalho, o pré-dimensionamento baseia-se nos métodos sugeridos por Rebello (2007), utilizando gráficos para estimar as dimensões dos elementos estruturais.

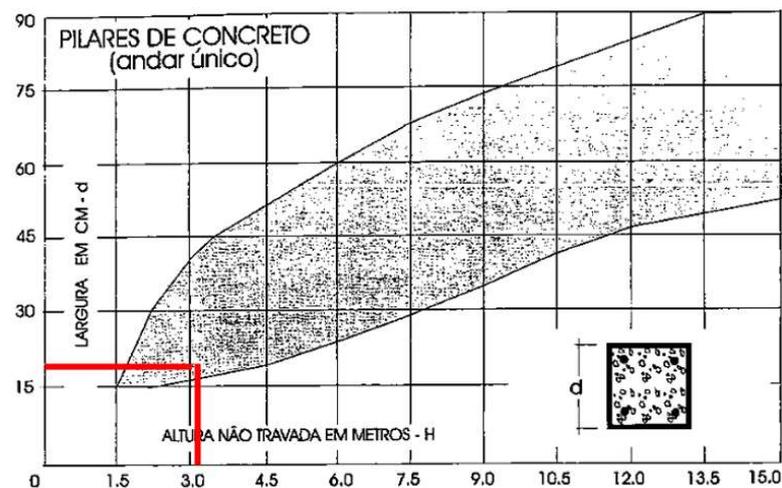
No pré-dimensionamento dos pilares de concreto são utilizados os gráficos da Figura 9 para caracterizar o número de andares apoiados existentes na edificação e o gráfico da Figura 10 para verificar a flambagem. No primeiro obteve-se a seção de 30 x 30 cm para atender as ações de compressão e no segundo 20 x 20 cm, mínimo para o esforço de flambagem. Assim, optou-se inicialmente por lançar no *software*, pilares com dimensões 20x20, para posteriormente serem ajustados na fase de dimensionamento.

Figura 9 – Gráfico para carga nos pilares.



Fonte: Rebello, 2007, p.199.

Figura 10 – Gráfico para a flambagem.

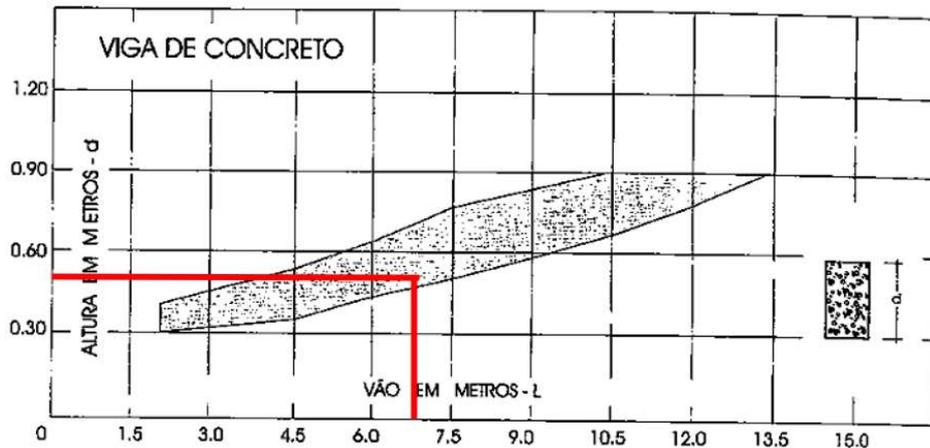


Fonte: Rebello, 2007, p.200.

No pré-dimensionamento das vigas, foi utilizado o gráfico da Figura 11, considerando um vão máximo de aproximadamente 7 metros, o que resultou em uma viga de 50 cm de altura.

Assim, para todas as vigas foram aplicadas a seção 15x50, exceto para as vigas da rampa, onde devido ao seu vão reduzido utilizou-se vigas com seção 15x35. Esses valores após processada a estrutura, veio a sofrer alterações.

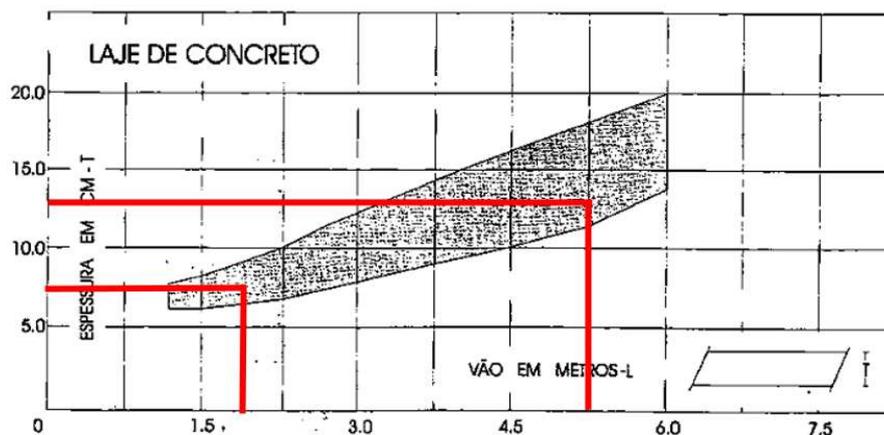
Figura 11 – Gráfico para vigas de concreto.



Fonte: Rebello, 2007, p.193.

Em relação as lajes maciças de concreto, o gráfico da Figura 12 mostra que para vãos próximos de 5 metros a espessura deve ser de 12 cm. Enquanto a norma ABNT NBR 6118:2023, prescreve o limite mínimo de 8 cm para a espessura de lajes de piso que não estejam em balanço. No entanto, inicialmente para as lajes menores com vãos de aproximadamente 2,5 m, justo as da circulação foram adotadas com espessuras de 10 cm.

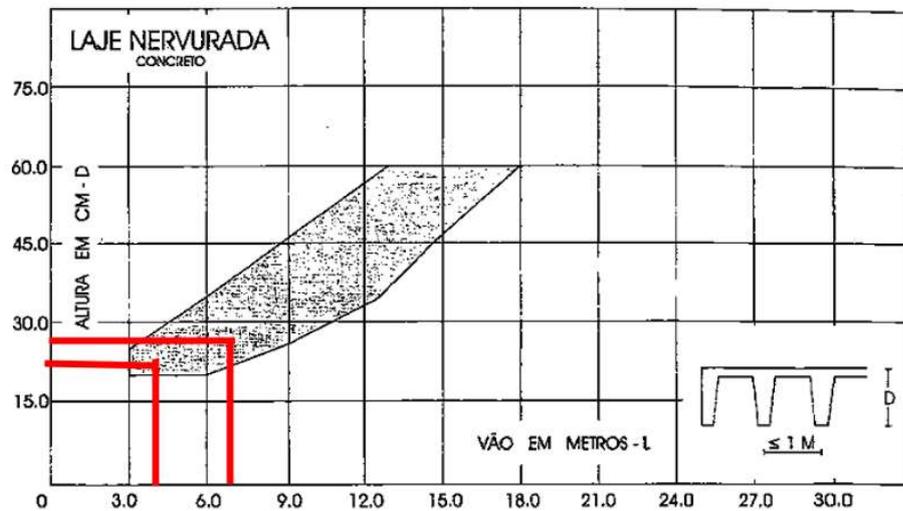
Figura 12 – Gráfico para laje de concreto.



Fonte: Rebello, 2007, p.160.

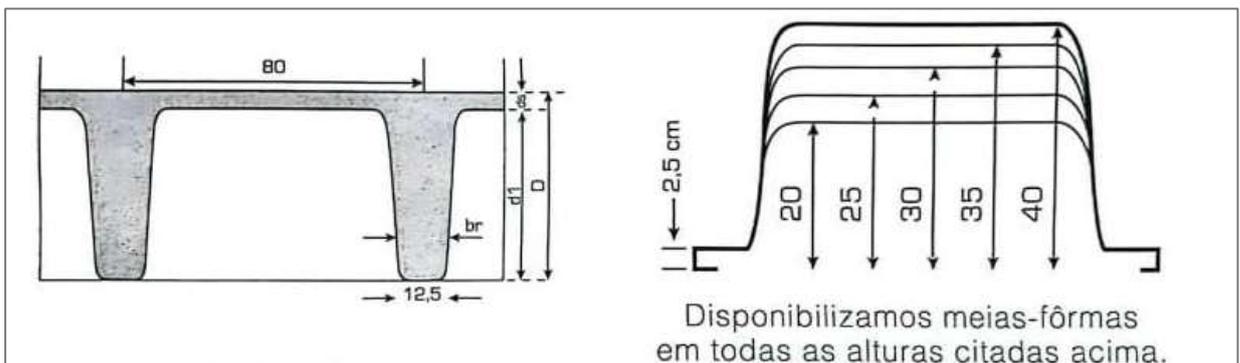
No caso da laje nervurada, utilizou-se o gráfico da Figura 13, com o auxílio da tabela do fabricante Brasil Fôrmas, conforme a Figura 14, com o intuito de encontrar dimensões compatíveis com o que é oferecido no mercado.

Figura 13 – Gráfico para laje nervurada.



Fonte: Rebello, 2007, p.171.

Figura 14 – Tamanho de fôrmas do Brasil Fôrmas.



Fonte: TQS News, 2024.

Como a laje nervurada é utilizada geralmente para grandes vãos, foram retiradas algumas vigas desde que fizesse sentido para a estabilidade da estrutura. Sendo assim, para as lajes maiores com cerca de 7 metros de vão foram utilizadas lajes nervuradas de 25 cm e para lajes menores 20 cm, conforme Figura 13 e Figura 14.

Enquanto isso, para as lajes treliçadas, são utilizados quadros fornecidos pelos fabricantes. Partindo da configuração de lajes adotada no modelo maciço, por meio do Quadro 7, adotando um vão de 5 metros e sobrecarga na laje de 300 kgf/m^2 foi possível definir as características da laje treliçada a serem adotadas, isto é, 12 cm da nervura de apoio dos blocos de EPS e 4 cm de capa de concreto, resultando em uma espessura total de 16 cm. No entanto, para as lajes com menores vãos, foi encontrada por meio do quadro do fabricante a laje com 8 cm de nervura mais 4 cm de capa de concreto (12 cm). Posteriormente na fase de

dimensionamento será verificada a possibilidade de uso dessas espessuras. Caso não atenda aos critérios do dimensionamento será necessário acrescentar vigas para diminuir os vãos ou ainda, aumentar mais a espessura das lajes, sempre avaliando a opção mais econômica.

Quadro 7 – Seleção de laje treliçada.

Laje Treliça Unidirecional EPS Apoio: (Bi-apoiado)									
VÃO VIVRE EM M.									
Kgf/m2	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00	8,00	9,00	10,00	
100	LT 2(8+4)	LT 12(8+4)	LT 2(8+4)	LT 16(12+4)	LT 20(16+4)	LT 20(16+4)	LT 24(20+4)	LT 29(25+4)	LT 29(25+4)
200	LT 2(8+4)	LT 12(8+4)	LT 18(12+4)	LT 16(12+4)	LT 20(16+4)	LT 24(20+4)	LT 29(25+4)	LT 29(25+4)	LT 29(25+4)
300	LT 12(8+4)	LT 12(8+4)	LT 18(12+4)	LT 20(16+4)	LT 20(16+4)	LT 24(20+4)	LT 29(25+4)	LT 29(25+4)	LT 29(25+4)
400	LT 12(8+4)	LT 12(8+4)	LT 18(12+4)	LT 20(16+4)	LT 24(20+4)	LT 24(20+4)	LT 29(25+4)	LT 29(25+4)	LT 30(25+5)
500	LT 12(8+4)	LT 18(12+4)	LT 18(12+4)	LT 20(16+4)	LT 24(20+4)	LT 29(25+4)	LT 29(25+4)	LT 29(25+4)	LT 35(30+5)
600	LT 12(8+4)	LT 18(12+4)	LT 20(16+4)	LT 20(16+4)	LT 24(20+4)	LT 29(25+4)	LT 35(30+5)	LT 35(30+5)	LT 35(30+5)
700	LT 12(8+4)	LT 18(12+4)	LT 20(16+4)	LT 24(20+4)	LT 24(20+4)	LT 29(25+4)	LT 35(30+5)	LT 35(30+5)	LT 36(30+6)
800	LT 12(8+4)	LT 18(12+4)	LT 20(16+4)	LT 24(20+4)	LT 24(20+4)	LT 29(25+4)	LT 35(30+5)	LT 35(30+5)	LT 38(32+6)
900	LT 12(8+4)	LT 18(12+4)	LT 20(16+4)	LT 24(20+4)	LT 29(25+4)	LT 29(25+4)	LT 35(30+5)	LT 35(30+5)	LT 40(34+6)
1000	LT 18(12+4)	LT 18(12+4)	LT 20(16+4)	LT 24(20+4)	LT 29(25+4)	LT 35(30+5)	LT 38(32+6)	LT 38(32+6)	LT 42(36+6)

Fonte: Tijolaje, 2024.

3.4 Parâmetros do Projeto

O primeiro passo do desenvolvimento do projeto estrutural no Eberick® envolveu a definição dos parâmetros de projeto. Isso inclui a caracterização dos materiais e durabilidade, do vento e dos requisitos de combate contra incêndio, entre outros.

Neste trabalho, será utilizado o concreto do tipo C25, que possui uma resistência característica à compressão de 25 MPa e armaduras do tipo CA60 de 5 mm para os estribos e armaduras do tipo CA50 para as demais barras que compõe as vigas, lajes, pilares e sapatas da edificação.

Na aba de materiais e durabilidade, mostrada na Figura 15, foi definida a classe de agressividade ambiental da edificação, porém, por se tratar de um projeto de escola padrão do estado da Paraíba que poderá ser construída em qualquer região, considerou-se assim, a classe de agressividade ambiental moderada, com risco de deterioração pequena, conforme mostrado no Quadro 8, pois a localização urbana e rural são as localizações mais usuais para este tipo de escola. No entanto, adotando-se a opção urbana com classe de agressividade moderada, trabalha-se a favor da segurança no aspecto da durabilidade em relação à opção rural. Além disso, foi considerado o FCK de 25 MPa para o concreto dos elementos estruturais, o cobrimento de 3 cm para vigas e pilares, 2,5 cm para laje e 4,5 cm para as sapatas, conforme o Quadro 9.

Figura 15 – Materiais e durabilidade.

Materiais e durabilidade

Aplicação
 Projeto inteiro
 Por pavimento

Pavimento

Abertura máxima das fissuras:
 Contato com o solo: 0.2 mm
 Contato com a água: 0.1 mm
 Demais peças: 0.3 mm
 Combinações: Frequentes

Geral
 Classe de agressividade: II (moderada)
 Dimensão do agregado: 19 mm
 Controle rigoroso nas dimensões dos elementos
 Considerar redução no cobrimento para peças com fck acima do requerido para a classe de agressividade

Elementos

	Concreto	Cobrimento (peças externas)	Cobrimento (peças internas)	Cobrimento (contato com o solo)	
Vigas	C-25	3 cm	3 cm	3 cm	Bitolas...
Pilares	C-25	3 cm	3 cm	4,5 cm	Bitolas...
Lajes	C-25	2,5 cm		3 cm	Bitolas...
Reservatórios	C-25	3 cm			Bitolas...
Blocos	C-25			4,5 cm	Bitolas...
Sapatas	C-25			4,5 cm	Bitolas...
Tubulões	C-25			4,5 cm	Bitolas...
Muros	C-25			4,5 cm	Bitolas...
Radier	C-25			4,5 cm	Bitolas...

Avisos
 Todas as informações estão definidas corretamente
 Detalhes...

Fluência... Barras... Classes... OK Cancelar Ajuda

Fonte: Autor, 2024.

Quadro 8 – Classe de agressividade ambiental da edificação.

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

^a Pode-se admitir um microclima com uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) para ambientes internos (salas, dormitórios, banheiros, cozinhas e áreas de serviço de apartamentos residenciais e conjuntos comerciais ou ambientes com concreto revestido com argamassa e pintura).

^b Pode-se admitir uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) em obras em regiões de clima seco, com umidade média relativa do ar menor ou igual a 65 %, partes da estrutura protegidas de chuva em ambientes predominantemente secos ou regiões onde raramente chove.

^c Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas, elementos em contato com solo contaminado ou água subterrânea contaminada.

Fonte: ABNT NBR 6118:2023.

Quadro 9 – Cobrimentos nominais dos elementos estruturais.

Tipo de estrutura	Componente ou elemento	Classe de agressividade ambiental (Tabela 6.1)			
		I	II	III	IV ^c
		Cobrimento nominal mm			
Concreto armado	Laje ^b	20	25	35	45
	Viga ^b /pilar	25	30	40	50
	Elementos estruturais em contato com o solo ^d	30		40	50
Concreto protendido ^a	Laje	25	30	40	50
	Viga/pilar	30	35	45	55

^a Cobrimento nominal da bainha ou dos fios, cabos e cordoalhas. O cobrimento da armadura passiva deve respeitar os cobrimentos para concreto armado.

^b Para a face superior de lajes e vigas que serão revestidas com argamassa de contrapiso, com revestimentos finais secos tipo carpete e madeira, com argamassa de revestimento e acabamento, como pisos de elevado desempenho, pisos cerâmicos, pisos asfálticos e outros, as exigências desta Tabela podem ser substituídas pelas de 7.4.7.5, respeitado um cobrimento nominal ≥ 15 mm.

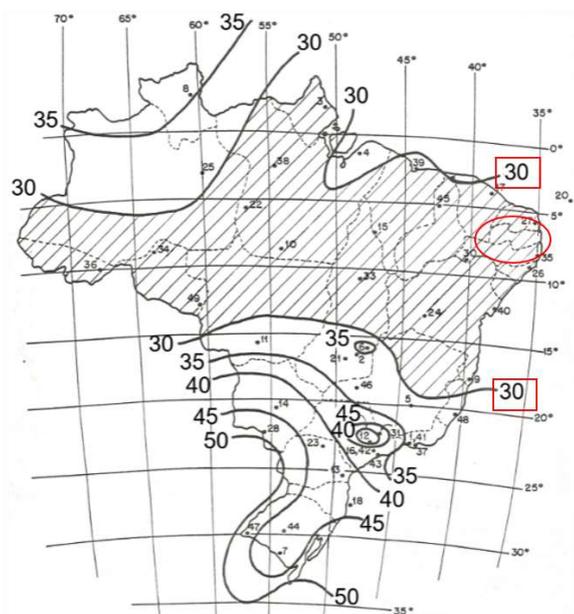
^c Nas superfícies expostas a ambientes agressivos, como reservatórios, estações de tratamento de água e esgoto, condutos de esgoto, canaletas de efluentes e outras obras em ambientes química e intensamente agressivos, devem ser atendidos os cobrimentos da classe de agressividade IV.

^d No trecho dos pilares em contato com o solo junto aos elementos de fundação, a armadura deve ter cobrimento nominal ≥ 45 mm.

Fonte: ABNT NBR 6118:2023.

As cargas horizontais advindas da ação do vento foram calculadas conforme a ABNT NBR 6118:2023. Tendo em vista que as escolas padrões são localizadas no estado da Paraíba, foi adotada a velocidade de 30 m/s, conforme o mapa de isopleias da ABNT NBR 6123:2023, ilustrado na Figura 16.

Figura 16 – Isopleias de velocidade básica.



Fonte: ABNT NBR 6123:2023.

Enquanto isso, os valores característicos nominais mínimos dos pesos de componentes construtivos, foram definidos de acordo com a norma ABNT NBR 6120:2019, que estabelece os critérios para o cálculo das cargas permanentes em edificações. Para este projeto, foi adotada uma alvenaria de vedação composta por blocos cerâmicos vazados com espessura de 11,5 cm, acompanhada de um revestimento de argamassa de 2 cm em cada face da parede, totalizando uma espessura final de 15,5 cm. O peso específico da parede resultante, considerando a soma dos materiais, foi definido como 1,7 kN/m², conforme apresentado no Quadro 10.

Quadro 10 – Cargas de alvenaria.

Alvenaria	Espessura nominal do elemento cm	Peso - Espessura de revestimento por face kN/m ²		
		0 cm	1 cm	2 cm
ALVENARIA ESTRUTURAL				
Bloco de concreto vazado (Classes A e B – ABNT NBR 6136)	14	2,0	2,3	2,7
	19	2,7	3,0	3,4
Bloco cerâmico vazado com paredes maciças (Furo vertical - ABNT NBR 15270-1)	14	2,0	2,3	2,7
	9	1,1	1,5	1,9
Bloco cerâmico vazado com paredes vazadas (Furo vertical - ABNT NBR 15270-1)	11,5	1,4	1,8	2,2
	14	1,7	2,1	2,5
	19	2,3	2,7	3,1
Tijolo cerâmico maciço (ABNT NBR 15270-1)	9	1,6	2,0	2,4
	11,5	2,1	2,5	2,9
	14	2,5	2,9	3,3
	19	3,4	3,8	4,2
Bloco sílico-calcário vazado (Classe E - ABNT NBR 14974-1)	9	1,1	1,5	1,9
	14	1,5	1,9	2,3
	19	1,9	2,3	2,7
Bloco sílico-calcário perfurado (Classes E, F e G - ABNT NBR 14974-1)	11,5	1,9	2,3	2,7
	14	2,1	2,5	2,9
	17,5	2,8	3,2	3,6
ALVENARIA DE VEDAÇÃO				
Bloco de concreto vazado (Classe C – ABNT NBR 6136)	6,5	1,0	1,4	1,8
	9	1,1	1,5	1,9
	11,5	1,3	1,7	2,1
	14	1,4	1,8	2,2
Bloco cerâmico vazado (Furo horizontal - ABNT NBR 15270-1)	9	0,7	1,1	1,5
	11,5	0,9	1,2	1,7
	14	1,1	1,5	1,9
	19	1,4	1,8	2,3
Bloco de concreto celular autoclavado (Classe C25 – ABNT NBR 13438)	7,5	0,5	0,9	1,3
	10	0,6	1,0	1,4
	12,5	0,8	1,2	1,6
	15	0,9	1,3	1,7
	17,5	1,1	1,5	1,9
Bloco de vidro (decorativo, sem resistência ao fogo)	20	1,2	1,6	2,0
Bloco de vidro (decorativo, sem resistência ao fogo)	8	0,8	–	–

NOTA: Na composição de pesos de alvenarias desta Tabela foi considerado o seguinte:

- argamassa de assentamento vertical e horizontal de cal, cimento e areia com 1 cm de espessura e peso específico de 19 kN/m³;
- revestimento com peso específico médio de 19 kN/m³;
- proporção de um meio bloco para cada três blocos inteiros;
- sem preenchimento de vazios (com graute etc.).

Fonte: ABNT NBR 6120:2019.

No entanto, no Eberick®, as cargas de parede na viga tiveram que ser inseridas em kgf/m³, assim, o processo de cálculo foi feito conforme a Equação 1 e Equação 2.

$$q = P \times 100 \times H_{Alv} \quad (\text{Eq. 1})$$

Onde:

- q é a carga da parede em kgf/m;
- P é o peso tabelado conforme o Quadro 10 em kN/m²;
- H_{Alv} é a altura da alvenaria em m.

Em seguida utilizou-se a Equação 2, que ao unir-se com a Equação 1, surgiu a Equação 3, capaz de encontrar o peso específico em kgf/m³ a ser utilizada no programa.

$$q_{esp} = \frac{q}{H_{Alv} \times e} \quad (\text{Eq. 2})$$

$$q_{esp} = \frac{P \times 100}{e} \quad (\text{Eq. 3})$$

Onde:

- q_{esp} é o peso específico em kgf/m³;
- e é a espessura total da parede em metros.

Utilizando um peso tabelado de 1,7 kN/m² e uma espessura total da parede de 15,5 cm, o peso específico encontrado foi de 1096,77 kgf/m³, valor que foi arredondado para 1100 kgf/m³. Esse valor foi utilizado no programa para calcular, juntamente com o comprimento, espessura e altura da parede, a carga total aplicada sobre as vigas e lajes, conforme exemplificado na Figura 17, onde foi calculada a carga nas vigas do fundo da caixa.

Figura 17 – Cálculo de carga de parede nas vigas.

Dimensões

Grupo: Nenhum

Altura: 215 cm Espessura: 15.5 cm

Carga: 366.57 kgf/m Peso: 1100 kgf/m³

Aberturas

Inserir

Editar

Excluir

OK Cancelar Ajuda

Fonte: Autor, 2024.

Em relação às cargas consideradas na laje, o Quadro 11 mostra o peso do revestimento de acordo com o adotado, já o Quadro 12 com o tipo de telhado escolhido e o Quadro 13,

Quadro 14 e Quadro 15 ilustram o peso em kN/m² de acordo com o uso da laje. No entanto, o *software* adotou esses valores automaticamente quando foi selecionado o grupo referente ao uso da laje, conforme a Figura 18.

Quadro 11 – Cargas de revestimentos de pisos e impermeabilizações.

Material	Espessura cm	Peso kN/m ²
Impermeabilização com manta asfáltica simples (apenas manta com 15 % de sobreposição e pintura asfáltica, sem camada de regularização nem proteção mecânica)	0,3	0,08
	0,4	0,10
	0,5	0,11
Piso elevado interno com placas de aço, sem revestimento (até 30 cm de altura)	–	0,5
Piso elevado interno com placas de polipropileno, sem revestimento (até 30 cm de altura)	–	0,15
Revestimentos de pisos de edifícios residenciais e comerciais ($\gamma_{ap-m} = 20 \text{ kN/m}^3$)	5	1,0
	7	1,4
Revestimentos de pisos de edifícios industriais ($\gamma_{ap-m} = 34 \text{ kN/m}^3$)	5	1,7
	7	2,4
Impermeabilizações em coberturas com manta asfáltica e proteção mecânica, sem revestimento ($\gamma_{ap-m} = 18 \text{ kN/m}^3$)	10	1,8
	15	2,7
NOTA Calcular caso a caso, considerando a espessura dos componentes do revestimento de pisos e seus respectivos pesos específicos. Na falta de informações mais precisas, podem ser considerados os pesos específicos médios indicados.		

Fonte: ABNT NBR 6120:2019.

Quadro 12 – Cargas de telhados.

Composição	Peso na superfície horizontal kN/m ²
Com telhas cerâmicas em geral (exceto tipo germânica e colonial) e estrutura de madeira com inclinação $\leq 40 \%$	0,7
Com telhas cerâmicas (tipo germânica e colonial) e estrutura de madeira com inclinação $\leq 40 \%$.	0,85
Com telhas de fibrocimento onduladas (com espessura até 5 mm) e estrutura de madeira	0,4
Com telhas de alumínio (com espessura até 0,8 mm) e estrutura metálica de aço	0,3
Com telhas de alumínio (com espessura até 0,8 mm) e estrutura metálica de alumínio	0,2
Com telhas de fibrocimento tipo canaleta (com espessura 8 mm) e estrutura de madeira	0,35
NOTA Peso por metro quadrado de telhado, na superfície horizontal, incluindo a estrutura de suporte (tesouras, terças, caibros e ripas).	

Fonte: ABNT NBR 6120:2019.

Quadro 13 – Cargas de acordo com o seu uso – áreas técnicas.

Local		Carga uniformemente distribuída kN/m ²	Carga concentrada kN
Áreas técnicas a,c	Barrilete	1,5	d
	Áreas técnicas em geral (fora da projeção dos equipamentos), exceto barrilete	3	-

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 6120:2019.

Quadro 14 – Cargas de acordo com o seu uso - coberturas.

Local		Carga uniformemente distribuída kN/m ²	Carga concentrada kN
Coberturas ^{a,g,n,o} Cargas para estruturas de concreto armado, mistas de aço e concreto e alvenaria estrutural. Outras coberturas: ver 6.4	Com acesso apenas para manutenção ou inspeção	1	g
	Com placas de aquecimento solar ou fotovoltaicas	1,5	g
	Outros usos: conforme o item pertinente desta Tabela.		

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 6120:2019.

Quadro 15 – Cargas de acordo com o seu uso – escadas, passarelas e escolas.

Local		Carga uniformemente distribuída kN/m ²	Carga concentrada kN	
Escadas e passarelas ^t	Hospitais	3	-	
	Residenciais, hotéis (dentro de unidades autônomas)	2,5	-	
	Residenciais, hotéis (uso comum)	3	-	
	Edifícios comerciais, clubes, escritórios, bibliotecas	3	-	
	Centros de exposição	5	-	
	Centros de convenções e locais de reunião de pessoas, teatros, igrejas	5	-	
	Escolas	3	-	
	Cinemas, centros comerciais, <i>shopping centers</i>	4	-	
	Servindo arquibancadas	5	-	
	Com acesso público	3	-	
	Sem acesso público	2,5	-	
	Escolas, instituições de ensino ^a	Auditório com assentos fixos	4	-
		Auditório com assentos móveis	5	-
Corredor		3	-	
Sala de aula		3	-	
Salas administrativas		2,5	-	
Dormitórios		2,5	-	
Cafés, restaurantes		3	-	
Salão de esportes, academia		5	-	
Salão de danças		5	-	
Sanitários, vestiários	2	-		

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 6120:2019.

Figura 18 – Escolha do grupo de ocupação.

The image shows a software interface titled 'Cargas' (Loads). It features a dropdown menu for 'Grupo' (Group) with the selected option '150 - Instituições de ensino - Sala de aula'. Below this, there are input fields for 'Acidental' (300 kgf/m²) and 'Revestimento' (154.5 kgf/m²). There are also input fields for 'Extra' (0 kgf/m²) and 'Temperatura e retração' (0 °C). Each of these input fields has 'Editar...' (Edit) and 'Remover' (Remove) buttons next to it.

Fonte: Autor, 2024.

Para o cálculo da carga da caixa d'água na laje, cuja área é de 5,4 m x 4,1 m, foi necessário considerar tanto o peso da caixa quanto o peso da água. A caixa d'água em polietileno, com um peso de 10 kg, e os 5.000 kg referentes aos 5.000 litros de água totalizam 5.010 kg. Para obter a carga distribuída na laje, deve-se dividir o peso total pela área da laje. Assim, o cálculo é realizado como segue: 5.010 kg dividido pela área de 5,4 m x 4,1 m, resultando na carga distribuída de aproximadamente 230 kg/m². Assim, na laje cuja caixa d'água se apoia foi adicionada uma carga extra de 230 kgf/m².

No que diz respeito às especificidades da laje treliçada e nervurada, foi escolhido o EPS como material de enchimento para a laje treliçada, devido ao seu menor peso próprio em comparação com as lajotas cerâmicas. Esta laje pode ser configurada como unidirecional ou bidirecional, sendo adotada a configuração unidirecional para este projeto. Além disso, foi considerada a opção de laje nervurada com o uso de cubetas, que apresenta melhor desempenho em vãos maiores em comparação com a laje treliçada.

Em relação ao Tempo Requerido de Resistência ao Fogo, neste trabalho, será desenvolvido o projeto estrutural de uma escola, cuja ocupação e uso são classificados como educacional. De acordo com a Tabela B.1 da norma NBR 14432/2001, mostrada no Quadro 16, a escola se enquadra na categoria de grupo E, especificamente na divisão E-1, que abrange escolas em geral. Esta classificação é crucial para a definição dos parâmetros e requisitos estruturais necessários para garantir a segurança e adequação do edifício ao seu uso previsto. E a partir da Tabela A.1, da mesma norma, mostrada no Quadro 17, é possível determinar o TRRF, em função da profundidade do subsolo (quando houver) e da altura da edificação (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2001, p. 7-8). A mesma verificação foi realizada no Eberick®, que calculou automaticamente o mesmo valor de resistência ao fogo.

Quadro 16 – Classificação das edificações quanto à sua ocupação.

Grupo	Ocupação/uso	Divisão	Descrição	Exemplos
A	Residencial	A-1	Habitações unifamiliares	Casas térreas ou assobradadas, isoladas ou não
		A-2	Habitações multifamiliares	Edifícios de apartamento em geral
		A-3	Habitações coletivas	Pensionatos, internatos, mosteiros, conventos, residenciais geriátricos
B	Serviços de hospedagem	B-1	Hotéis e assemelhados	Hotéis, motéis, pensões, hospedarias, albergues, casas de cômodos
		B-2	Hotéis residenciais	Hotéis e assemelhados com cozinha própria nos apartamentos (incluem-se apart-hotéis, hotéis residenciais)
C	Comercial varejista	C-1	Comércio em geral, de pequeno porte	Armarinhos, tabacarias, mercearias, fruteiras, butiques e outros
		C-2	Comércio de grande e médio portes	Edifícios de lojas, lojas de departamentos, magazines, galerias comerciais, supermercados em geral, mercado e outros
		C-3	Centros comerciais	Centro de compras em geral (<i>shopping centers</i>)
D	Serviços profissionais pessoais e técnicos	D-1	Locais para prestação de serviços profissionais ou condução de negócios	Escritórios administrativos ou técnicos, consultórios, instituições financeiras (que não estejam incluídas em D-2), repartições públicas, cabeleiros laboratórios de análises clínicas sem internação, centro profissionais e outros
		D-2	Agências bancárias	Agências bancárias e assemelhados
		D-3	Serviços de reparação (exceto os classificados em G e I)	Lavanderias, assistência técnica, reparação e manutenção de aparelhos eletrodomésticos, chaveiros, pintura de letreiros e outros
E	Educativa e cultura física	E-1	Escolas em geral	Escolas de primeiro, segundo e terceiro graus, cursos supletivos e pré-universitário e outros
		E-2	Escolas especiais	Escolas de artes e artesanato, de línguas, de cultura geral, de cultura estrangeira e outras
		E-3	Espaço para cultura física	Locais de ensino e/ou práticas de artes marciais ginástica (artística, dança musculação e outros) esportes coletivos (tênis, futebol e outros que não estejam incluídos em F-3), sauna, casas de fisioterapia e outros
		E-4	Centros de treinamento profissional	Escolas profissionais em geral
		E-5	Pré-escolas	Creches, escolas maternas, jardins-de-infância
		E-6	Escolas para portadores de deficiências	Escolas para excepcionais, deficientes visuais e auditivos e outros

Fonte: ABNT NBR 14432:2001.

Quadro 17 – Tempos requeridos de resistência ao fogo, em minutos.

Grupo	Ocupação/uso	Divisão	Profundidade do subsolo		Altura da edificação				
			Classe S ₂ h _s > 10 m	Classe S ₁ h _s ≤ 10 m	Classe P ₁ h ≤ 6 m	Classe P ₂ 6 m < h ≤ 12 m	Classe P ₃ 12 m < h ≤ 23 m	Classe P ₄ 23 m < h ≤ 30 m	Classe P ₅ h > 30 m
A	Residencial	A-1 a A-3	90	60 (30)	30	30	60	90	120
B	Serviços de hospedagem	B-1 e B-2	90	60	30	60 (30)	60	90	120
C	Comercial varejista	C-1 a C-3	90	60	60 (30)	60 (30)	60	90	120
D	Serviços profissionais, pessoais e técnicos	D-1 a D-3	90	60 (30)	30	60 (30)	60	90	120
E	Educativa e cultura física	E-1 a E-6	90	60 (30)	30	30	60	90	120
F	Locais de reunião de público	F-1, F-2, F-5, F-6 e F-8	90	60	60 (30)	60	60	90	120

Fonte: ABNT NBR 14432:2001.

Dessa forma, observa-se que as escolas têm TRRF entre 30 e 120 min, porém como a escola analisada nesse trabalho não possui subsolo e sua altura está no intervalo entre 6 e 12 metros, o TRRF para essa edificação em específico é de 30 minutos.

No caso das vigas, as dimensões mínimas podem ser definidas com base no Quadro 18, no caso de vigas biapoiadas e no Quadro 19 no caso de vigas contínuas, onde C_1 é a distância entre o eixo da armadura longitudinal e a face do concreto exposta ao fogo.

Quadro 18 – Dimensões mínimas das vigas biapoiadas.

TRRF min	Combinações de b_{\min}/c_1 mm/mm				$b_{w\min}$ mm
	1	2	3	4	
30	80/25	120/20	160/15	190/15	80
60	120/40	160/35	190/30	300/25	100
90	140/60	190/45	300/40	400/35	100
120	190/68	240/60	300/55	500/50	120
180	240/80	300/70	400/65	600/60	140

^a Os valores de c_1 indicados nesta tabela são válidos para armadura passiva. No caso de elementos protendidos, os valores de c_1 para as armaduras ativas são determinados acrescentando-se 10 mm para barras e 15 mm para fios e cordoalhas.

Fonte: ABNT NBR 15200:2012.

Quadro 19 – Dimensões mínimas das vigas contínuas.

TRRF min	Combinações de b_{\min}/c_1 mm/mm				$b_{w\min}$ mm
	1	2	3	4	
30	80/15	160/12	–	–	80
60	120/25	190/12	–	–	100
90	140/37	250/25	–	–	100
120	190/45	300/35	450/35	500/30	120
180	240/60	400/50	550/50	600/40	140

^a Os valores de c_1 indicados nesta tabela são válidos para armadura passiva. No caso de elementos protendidos, os valores de c_1 para as armaduras ativas são determinados acrescentando-se 10 mm para barras e 15 mm para fios e cordoalhas.

Fonte: ABNT NBR 15200:2012.

Para encontrar as dimensões mínimas no caso das lajes maciças, considera-se o Quadro 20, para a laje nervurada com cubetas (laje nervurada em duas direções) utiliza-se o Quadro 21 e para a laje treliçada (lajes nervuradas em uma só direção) considera-se o Quadro 22 .

Quadro 20 – Dimensões mínimas das lajes maciças.

TRRF min	h^a mm	c_1^b mm
30	60	10
60	80	10
90	100	15
120	120	20
180	150	30

^a Dimensões mínimas para garantir a função corta-fogo.
^b Válido para lajes ar madras em uma ou duas direções.
^c Os valores de c_1 indicados nesta tabela são válidos para armadura passiva. No caso de elementos protendidos, os valores de c_1 para as armaduras ativas são determinados acrescentando-se 10 mm para barras e 15 mm para fios e cordoalhas.

Fonte: ABNT NBR 15200:2012.

Quadro 21 – Dimensões mínimas das lajes nervuradas.

TRRF min	Nervuras Combinações de b_{\min}/c_1^a mm/mm			Capa ^b h/c_1 mm/mm
	1	2	3	
30	80/10			60/10
60	100/25	120/15	190/10	80/10
90	120/35	160/25	250/15	100/15
120	160/45	190/40	300/30	120/20
180	310/60	600/50		150/30

^a b_{\min} corresponde à largura mínima da nervura ao nível do centro geométrico das armaduras.
^b h é a altura mínima da laje para garantir a função corta-fogo.
^c Os valores de c_1 indicados nesta tabela são válidos para armadura passiva. No caso de elementos protendidos, os valores de c_1 para as armaduras ativas são determinados acrescentando-se 10 mm para barras e 15 mm para fios e cordoalhas.

Fonte: ABNT NBR 15200:2012.

Quadro 22 – Dimensões mínimas das lajes treliçadas armadas em uma só direção.

TRRF min	Nervuras Combinações de b_{\min}/c_1 mm/mm	
	1	2
30	80/25	100/20
60	100/45	120/40
90	130/60	150/50
120	160/65	220/50
180	220/80	

^a Os valores de c_1 indicados nesta tabela são válidos para armadura passiva. No caso de elementos protendidos, os valores de c_1 para as armaduras ativas são determinados acrescentando-se 10 mm para barras e 15 mm para fios e cordoalhas.

Fonte: ABNT NBR 15200:2012.

A ABNT NBR 6118:2023 estabelece que as juntas de dilatação devem ser colocadas a cada 15 metros, no mínimo. Caso não seja possível sua utilização, é permitido considerar os

efeitos da retração térmica do concreto, da retração hidráulica e das variações de temperatura (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2023, p. 204). Assim, como a edificação apresenta 40 metros de comprimento e 25 metros de largura, seria necessária a colocação de juntas de dilatação em ambas as direções. Entretanto, não foi adotada as juntas de dilatação para não alterar o projeto arquitetônico, e porque o programa utilizado Eberick® fundamentado na norma, realiza os cálculos do dimensionamento. Para tanto, foi configurado no *software* um ajuste nos parâmetros para considerar os efeitos da retração e das variações de temperatura na estrutura da edificação, conforme ilustrado na Figura 19.

Figura 19 – Variação de temperatura e retração.

Variação de temperatura e retração

Caso T1

Tipo: Uniforme

Face superior: 14 °C

Face inferior: 14 °C

Caso T2

Tipo: Uniforme

Face superior: 14 °C

Face inferior: 14 °C

Retração

Calcular automaticamente

Deform. superior: -0.43 %..

Deform. inferior: -0.43 %..

OK Cancelar Ajuda

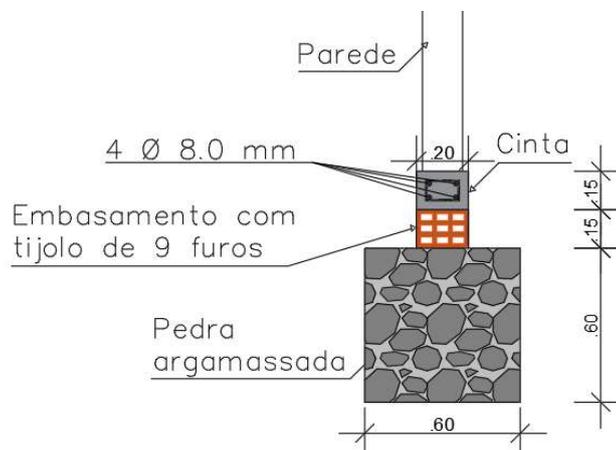
Fonte: Autor, 2024.

No projeto das escolas padrão, a fundação em concreto ciclópico para as paredes do pavimento térreo foi escolhida com a intenção de direcionar as cargas provindas dessas paredes, diretamente ao solo e para conter o aterro do piso dos ambientes do pavimento térreo. Esse tipo de fundação utiliza concreto misturado com grandes pedras, conhecidas como "matação", sendo valorizado por sua robustez e capacidade de suportar cargas elevadas, especialmente em terrenos de baixa capacidade de suporte ou com grandes rochas (Tagliani, 2023).

A estrutura da fundação inclui uma cinta de concreto de 15x20 cm, reforçada com quatro barras de aço de 8 mm de diâmetro, dispostas ao longo da fundação para distribuir uniformemente as cargas e garantir a estabilidade estrutural. Além disso, a fundação conta com uma camada de embasamento e um bloco de pedra argamassada de 60x60 cm, que oferece uma

base sólida para suportar o peso das paredes do térreo da edificação, garantindo a eficiente transferência das cargas para o solo, conforme ilustrado na Figura 20 .

Figura 20 – Fundação com bloco de concreto ciclópico.



Fonte: Autor, 2024.

Essa combinação de concreto e matacões proporciona uma solução robusta, capaz de absorver tanto cargas pontuais quanto distribuídas, além de oferecer durabilidade e resistência ao longo do tempo, sendo ideal para edificações desse porte, como as escolas padrão. Segundo Tagliani (2023), o concreto ciclópico também é vantajoso em regiões com solos instáveis ou de baixa capacidade de carga, pois a presença dos matacões auxilia na melhor distribuição das cargas e na estabilidade da fundação.

A tensão admissível do solo é o valor máximo de pressão que o solo pode suportar sem sofrer deformações excessivas ou falhas que comprometam a estrutura apoiada sobre ele. Essa tensão é determinada por meio de ensaios práticos e métodos teóricos ou semiempíricos. O estudo e a definição da tensão admissível são essenciais para garantir a segurança estrutural, pois permitem que as fundações sejam dimensionadas corretamente, evitando recalques diferenciais e possíveis rupturas que poderiam comprometer a integridade da edificação. Além disso, esse parâmetro é fundamental para prevenir danos estruturais, que podem ocorrer quando o solo não é capaz de suportar a carga projetada (Marinho, 2019).

Assim, para o início do projeto, foi necessário apresentar ao *software* a tensão admissível adotada para o solo. Por se tratar de uma escola-padrão que pode ser construída nos mais diversos tipos de solo, optou-se por adotar uma tensão admissível representativa de 1 kgf/cm². Esse valor é considerado moderado para a capacidade de carga de um solo. Não se trata de um solo "ruim", mas também não é excepcionalmente resistente. Dessa forma, a escolha de 1

kgf/cm² para o projeto é conservadora e segura, pois abrange uma ampla variedade de tipos de solo onde a escola pode ser construída.

3.5 Lançamento da Estrutura

No Eberick®, o lançamento da estrutura foi realizado posicionando os pilares de maneira a respeitar a planta baixa arquitetônica de todos os pavimentos, evitando grandes vãos e buscando manter distâncias entre 4 e 6 metros, visando otimizar os vãos econômicos. As vigas foram dispostas com espaçamento máximo de 7 metros entre elas, enquanto as lajes foram configuradas com o maior dos menores vãos medindo 5 metros.

No pavimento superior, as lajes do corredor foram apoiadas em vigas em balanço, uma solução adotada para evitar a presença de pilares fora das paredes no pavimento térreo. A rampa foi projetada com vigas inclinadas nas laterais e vigas retas nos patamares. Os pilares foram centralizados nas vigas dos patamares, e a escada contou com uma viga intermediária em seu patamar. Durante o processo de lançamento da rampa e da escada, foram utilizados níveis intermediários para facilitar o trabalho.

Além disso, optou-se nos três modelos estudados nesse trabalho, em manter as estruturas da escada e da rampa com lajes maciças, por serem pequenas.

O lançamento inicial do projeto foi básico, mantendo os pilares e vigas para os três modelos. Posteriormente, foram realizados ajustes. As principais diferenças incluíram a utilização de lajes diferentes, de acordo com o objetivo do trabalho. Além disso, algumas vigas foram adicionadas e retiradas para adequar cada modelo ao tipo de laje adotada.

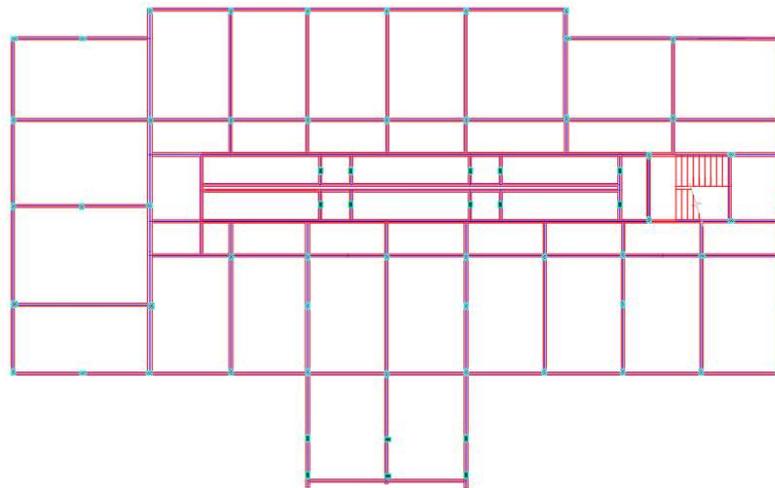
3.6 Processamento e Dimensionamento

3.6.1 Laje Maciça

Durante o processamento da estrutura com lajes maciças no Eberick®, inicialmente tentou-se utilizar pilares com seção de 20x20 cm, mas o processamento não foi possível devido ao parâmetro gama z. De acordo com a NBR 6118:2023, esse parâmetro considera os efeitos de segunda ordem, que surgem em elementos esbeltos submetidos a esforços de compressão (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2023, p. 105). Como a seção dos pilares de 20x20 cm não proporcionava rigidez suficiente para resistir à flambagem e aos deslocamentos, a estabilidade global foi comprometida, o *software* emitiu mensagem de erro, informando a necessidade de rever a estrutura concebida por não estar atendendo aos valores da norma para o gama z.

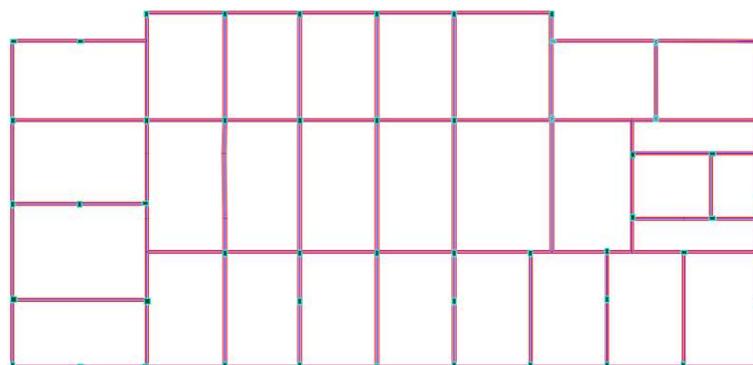
Com o aumento da seção dos pilares para 20x30 cm, a rigidez foi melhorada, permitindo o processamento da estrutura. No entanto, surgiram diversos erros. Para corrigir os erros de dimensionamento ao cortante, foi necessário aumentar a largura das vigas, e para os erros de armadura, foi preciso aumentar a altura das vigas. Vários ajustes foram feitos nas sapatas, pilares, vigas e lajes até que o estado limite de último fosse atendido, o que ocorreu mais facilmente em comparação ao estado limite de serviço, cujo atendimento foi mais complexo devido aos deslocamentos, que para efeito da aceitabilidade sensorial em razão da limitação visual o deslocamento limite é de no máximo $L/250$ de acordo com a NBR 6118:2023 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2023, p. 77). O esquema do lançamento da estrutura do pavimento superior, cobertura e fundo da caixa d'água está ilustrado na Figura 21, Figura 22 e Figura 23, respectivamente e as fôrmas nos Apêndices B, D e F.

Figura 21 – Lançamento laje maciça do pavimento superior.



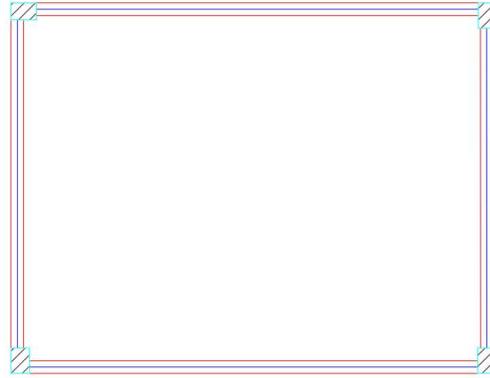
Fonte: Autor, 2024.

Figura 22 – Lançamento laje maciça do pavimento coberta.



Fonte: Autor, 2024.

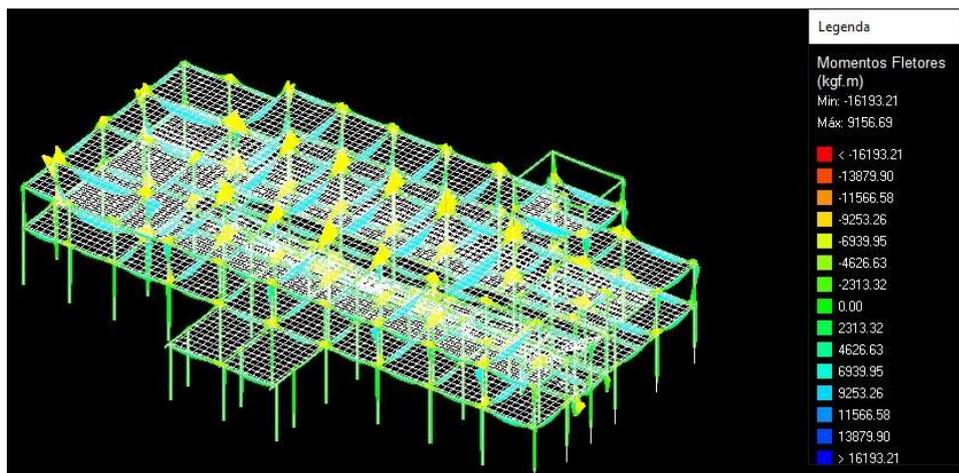
Figura 23 – Lançamento laje maciça do pavimento fundo da caixa d'água.



Fonte: Autor, 2024.

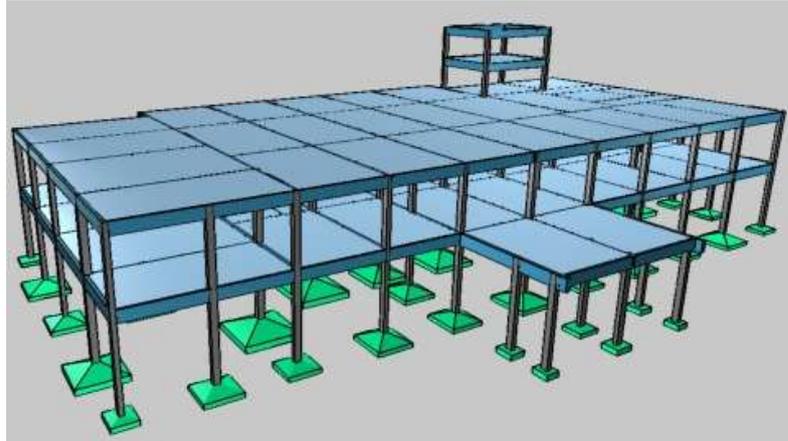
Após os ajustes e adequações necessários durante o processamento das lajes, é importante destacar a análise dos esforços no pórtico estrutural. O pórtico unifilar referente ao estado limite último de momentos fletores está ilustrado na Figura 24, evidenciando a distribuição dos esforços nos elementos. Além disso, as representações tridimensionais do lançamento estrutural são apresentadas na Figura 25 e Figura 26, oferecendo uma visão clara da disposição das lajes, vigas e demais componentes do projeto. No entanto, vale ressaltar que o Eberick® não possui a fundação em concreto ciclópico e, por isso, as cintas, alvenaria de embasamento e pedra argamassada não estão representadas no 3D.

Figura 24 – Pórtico unifilar de momento fletor (laje maciça).



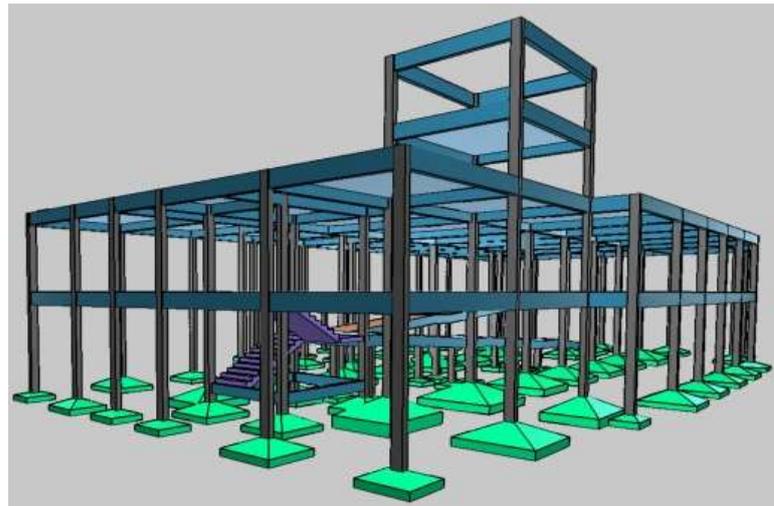
Fonte: Autor, 2024.

Figura 25 – Representação tridimensional do modelo com laje maciça (frontal).



Fonte: Autor, 2024.

Figura 26 – Representação tridimensional do modelo com laje maciça (traseira).



Fonte: Autor, 2024.

3.6.2 Laje Treliçada

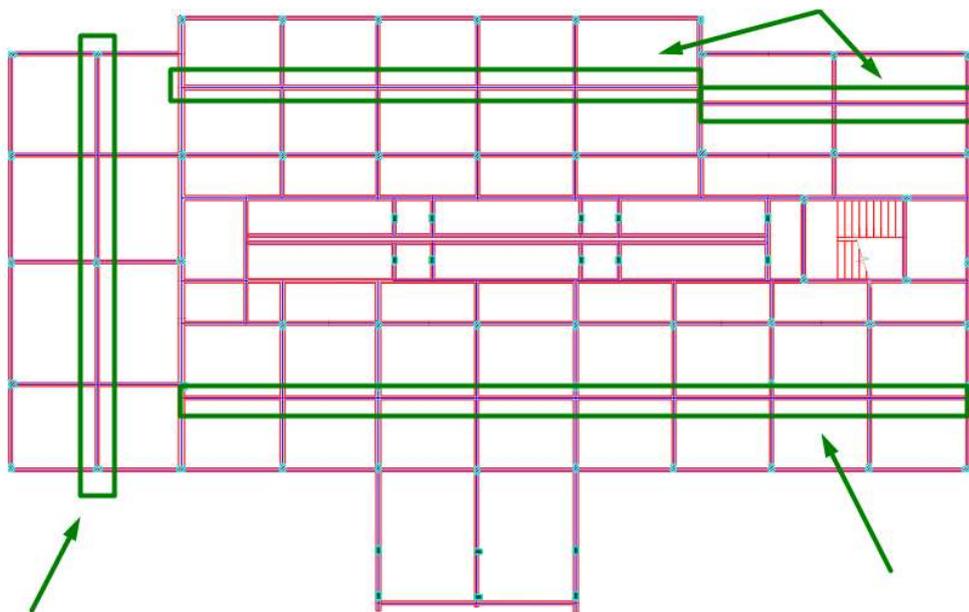
O processamento e dimensionamento do modelo com laje treliçada foi realizado da seguinte forma: inicialmente, no pavimento superior, foram colocadas lajes com treliça de 8 cm mais 4 cm de capa, totalizando 12 cm de espessura que foram adotadas para as áreas de circulação e para as outras lajes, foram utilizadas treliças de 12 cm mais a capa de 4 cm, totalizando 16 cm de espessura. Embora as vigas, pilares e sapatas tenham sido aprovados no dimensionamento, devido à redução das cargas proporcionada pelo menor peso das lajes treliçadas em comparação com as lajes maciças, diversos erros foram encontrados no dimensionamento das lajes. A solução adotada foi diminuir os vãos das lajes, aumentando a quantidade de vigas, o que resultou na aprovação do dimensionamento no estado limite último.

No entanto, no estado limite de serviço, o dimensionamento não foi inicialmente aprovado no processamento devido aos excessos apresentados nos valores dos deslocamentos. Assim, optou-se por aumentar a espessura de algumas lajes e, em outras, adicionar vigas para reduzir os vãos. Em alguns casos específicos, essa solução não foi suficiente, mas o aumento da seção das vigas mostrou-se eficaz.

Na cobertura, também foram utilizadas treliças de 8 cm e 12 cm, com a mesma disposição de vigas da laje maciça. Embora o dimensionamento tenha quase atendido aos requisitos, as lajes que não passaram devido aos vãos grandes foram ajustadas com a adição de algumas vigas. O dimensionamento ficou adequado de acordo com o estado limite último, mas no estado limite de serviço, ainda não foi aprovado, exigindo o aumento da espessura e ajustes na seção de algumas vigas para reduzir os deslocamentos na laje. No nível da estrutura da laje de fundo do reservatório superior foi adotada a princípio a laje treliçada de 12 cm para atender ao vão de 4 metros, entretanto no dimensionamento verificou-se deslocamentos excessivos, assim, para solucionar o problema do ELS foi necessário adotar a laje treliçada de 16cm.

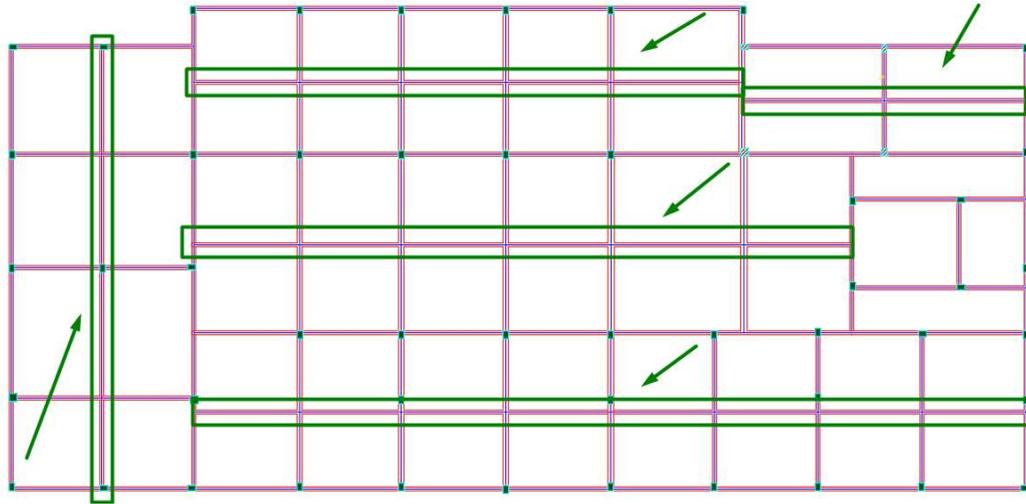
O lançamento da estrutura do pavimento superior, coberta e fundo da caixa d'água está ilustrado na Figura 27, Figura 28 e Figura 29, respectivamente. Além disso, as vigas adicionadas estão sinalizadas por meio de retângulos e setas de cor verde.

Figura 27 – Lançamento laje treliçada do pavimento superior.



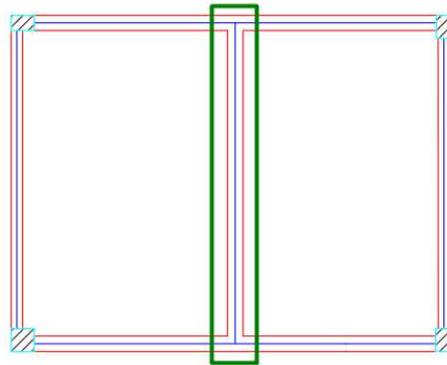
Fonte: Autor, 2024.

Figura 28 – Lançamento laje treliçada do pavimento coberta.



Fonte: Autor, 2024.

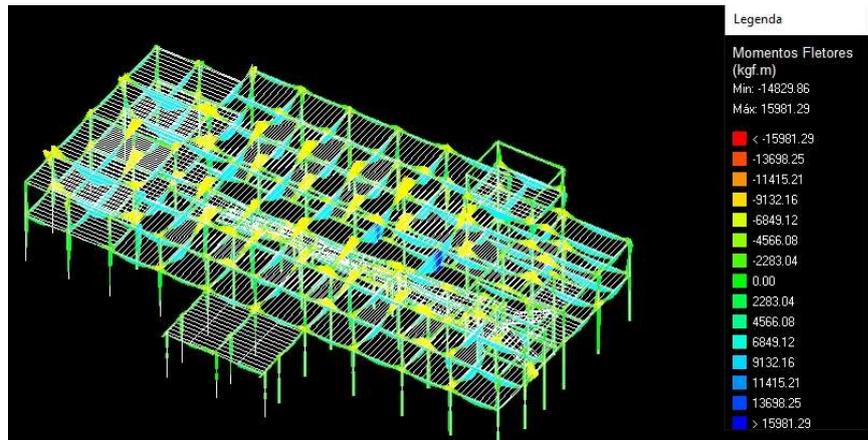
Figura 29 – Lançamento laje treliçada do pavimento fundo da caixa d'água.



Fonte: Autor, 2024.

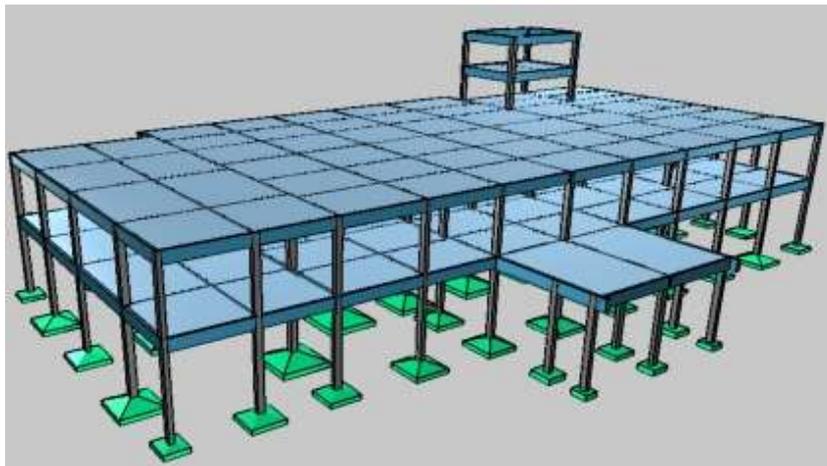
Para a laje treliçada, a análise dos momentos fletores no estado limite último também foi realizada, conforme ilustrado no pórtico unifilar da Figura 30. As representações tridimensionais do lançamento estrutural estão presentes na Figura 31 e Figura 32, detalhando a disposição das lajes e demais elementos. No entanto, assim como no caso anterior, o Eberick® não contempla fundações em concreto ciclópico, razão pela qual as cintas, alvenaria de embasamento e pedra argamassada não aparecem no modelo 3D.

Figura 30 – Pórtico unifilar de momento fletor (laje treliçada).



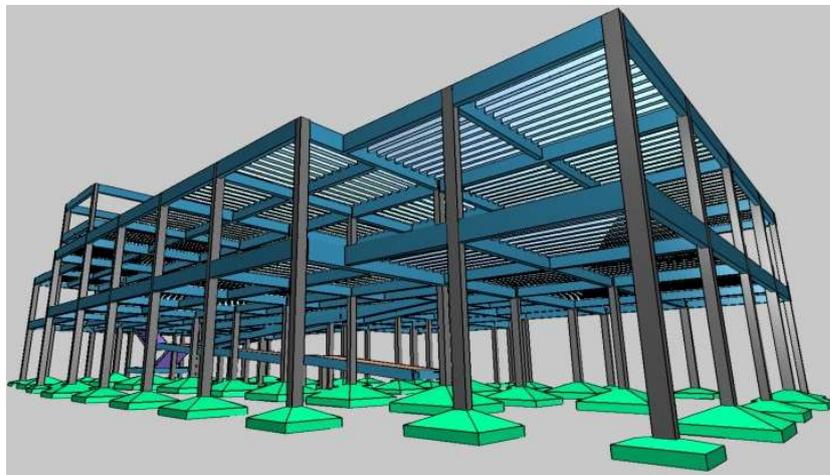
Fonte: Autor, 2024.

Figura 31 – Representação tridimensional do modelo com laje treliçada (frontal).



Fonte: Autor, 2024.

Figura 32 – Representação tridimensional do modelo com laje treliçada (traseira).



Fonte: Autor, 2024.

3.6.3 Laje Nervurada

A laje nervurada foi projetada tomando como base o mesmo lançamento da laje maciça. No entanto, devido à maior trabalhabilidade da laje nervurada para vãos grandes, o ideal seria aumentar os vãos, retirando vigas. Contudo, em função das vigas com pequeno balanço que sustentam a laje da região do corredor e do travamento dos pilares, não foi possível realizar grandes alterações.

No pavimento superior, inicialmente, tentou-se retirar duas vigas horizontais localizadas no lado esquerdo da Figura 33, reduzindo quatro lajes para apenas duas. Assim, foram lançadas lajes com cubeta de 25 cm nas maiores e de 20 cm nas menores, conforme definido na fase de pré-dimensionamento e ilustrado na Figura 13.

Além disso, foi considerada uma capa de concreto de 6 cm, em conformidade com a norma de incêndio NBR 15200:2012, conforme mostrado no Quadro 21.

Na cobertura, foi possível retirar mais vigas, e utilizaram-se cubetas de 25 cm e 20 cm, da mesma forma que no pavimento superior. Enquanto isso, na laje do fundo da caixa d'água, foi adotada uma espessura de 20 cm. Todas as lajes foram engastadas, prosseguindo-se para a fase de processamento.

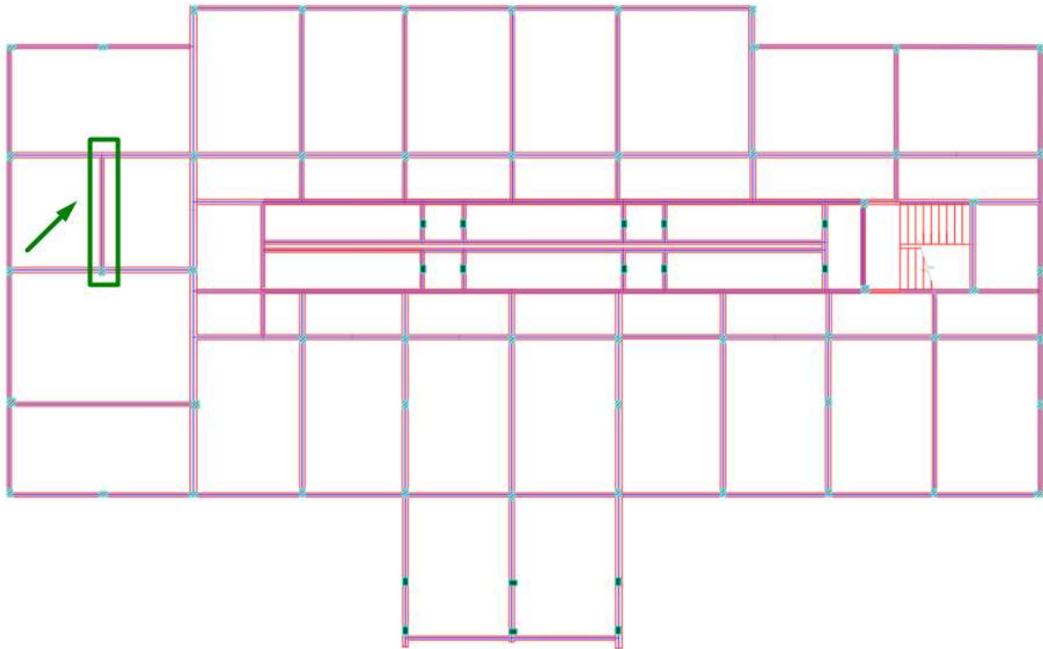
Nessa fase, foi necessário realizar algumas tentativas e ajustes. Os elementos estruturais que o *software* sinalizou como não dimensionáveis tiveram suas espessuras ou seções aumentadas. No entanto, no pavimento superior, as lajes cujas vigas haviam sido retiradas não puderam ser dimensionadas, mesmo com o aumento da capa de concreto e com a maior nervura disponível no Eberick® (40 cm), nem com a redistribuição de cargas por meio da grelha. Assim, foi necessário recolocar as vigas retiradas nesse pavimento. As vigas que apresentaram problemas de cortante ou torção tiveram suas larguras aumentadas. Além disso, uma das lajes continuou apresentando erro, apesar de todas as tentativas. Sendo assim, foi necessário inserir uma nova viga, dividindo-a em duas.

No pavimento da cobertura, a retirada de algumas vigas também impossibilitou o dimensionamento das lajes, mesmo com as maiores espessuras. Portanto, essas vigas foram recolocadas, mantendo-se a retirada das demais. Algumas vigas que apresentaram problemas de torção, apesar do aumento de largura, tiveram os problemas resolvidos com a remoção do engaste entre as lajes que se apoiavam nelas. O mesmo problema observado no pavimento superior com uma laje específica ocorreu em outra laje da cobertura, sendo necessária a inserção

de uma nova viga. Já a laje do fundo da caixa d'água foi dimensionada sem necessidade de alterações.

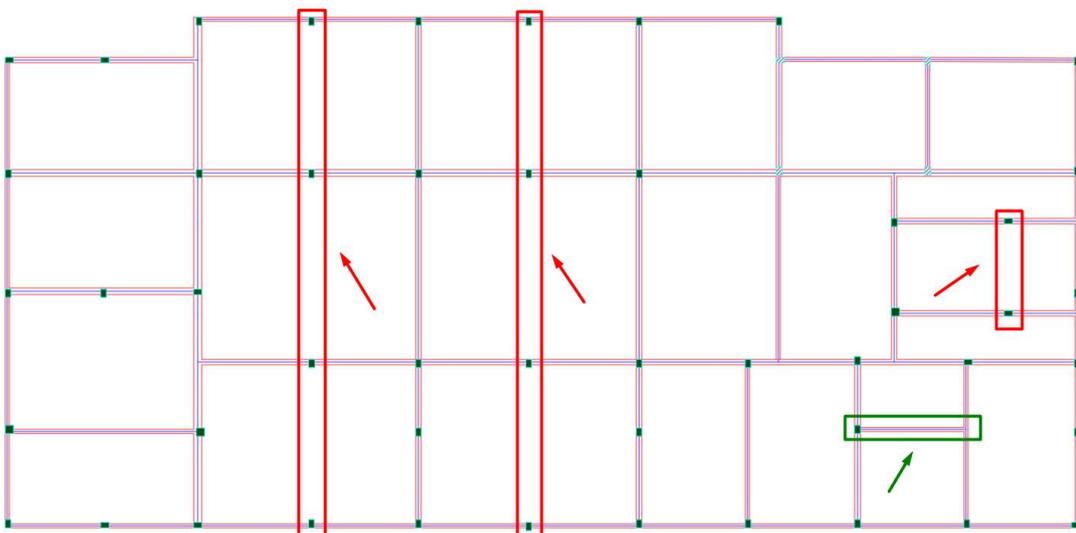
O lançamento das lajes nervuradas pode ser observado na Figura 33, Figura 34 e Figura 35, com a inserção de novas vigas sinalizadas por um retângulo verde e a retirada de vigas em vermelho.

Figura 33 – Lançamento laje nervurada do pavimento superior.



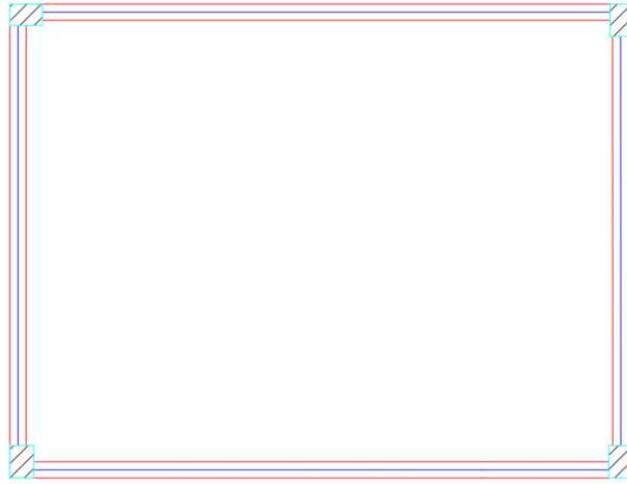
Fonte: Autor, 2024.

Figura 34 – Lançamento laje nervurada do pavimento coberta.



Fonte: Autor, 2024.

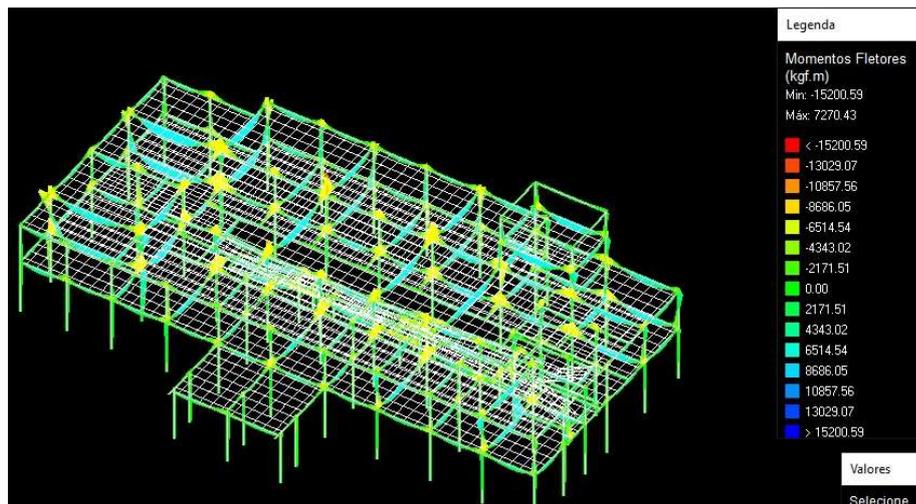
Figura 35 – Lançamento laje nervurada do pavimento fundo da caixa d'água.



Fonte: Autor, 2024.

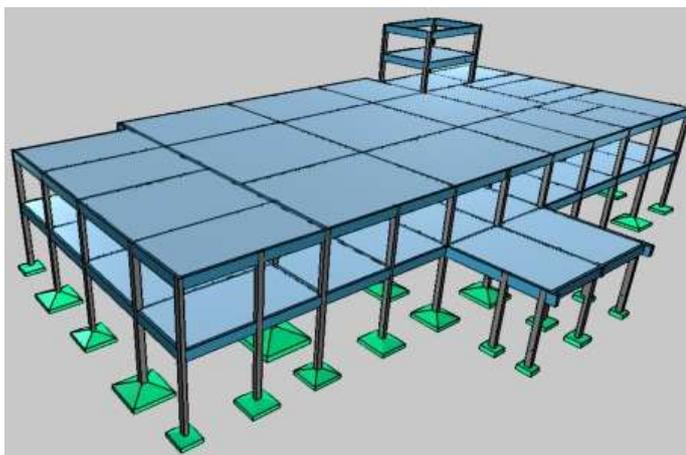
Da mesma forma, para a laje nervurada, o comportamento estrutural no estado limite último de momentos fletores é exibido na Figura 36, e as representações tridimensionais do lançamento podem ser observadas na Figura 37 e Figura 38. É importante ressaltar que, assim como nas lajes treliçadas, o *software* não representa as fundações em concreto ciclópico, resultando na ausência das cintas, alvenaria de embasamento e pedra argamassada nas imagens 3D.

Figura 36 – Pórtico unifilar de momento fletor (laje nervurada).



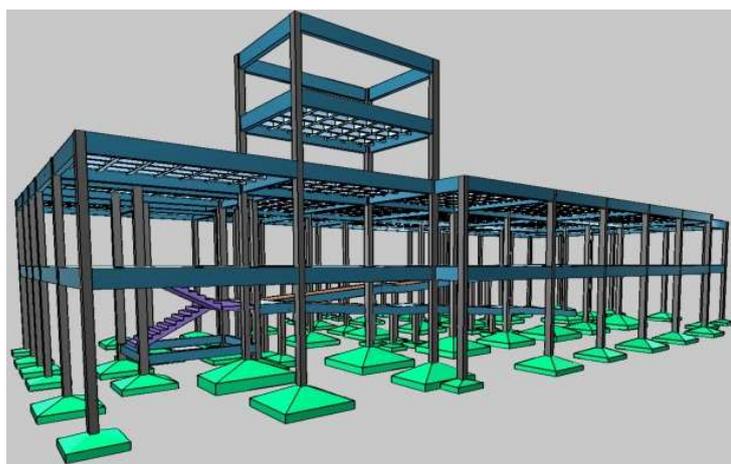
Fonte: Autor, 2024.

Figura 37 – Representação tridimensional do modelo com laje nervurada (frontal).



Fonte: Autor, 2024.

Figura 38 – Representação tridimensional do modelo com laje nervurada (traseira).



Fonte: Autor, 2024.

O detalhamento com ajustes nas armaduras e dimensões não foi realizado em nenhum dos modelos, a fim de evitar qualquer manipulação dos dados. Além disso, na fundação em concreto ciclópico a mesma configuração foi mantida para os três modelos.

Nos Apêndices A, C e E serão apresentados os cortes das estruturas dos três modelos, enquanto as plantas de fôrma estarão nos Apêndices B, D e F. As dimensões dos elementos serão detalhadas no Apêndice G.

4. RESULTADOS

O Eberick® gera os quantitativos de diversos elementos estruturais, como fôrmas, que são os moldes usados para concretar; armação, que se refere às quantidades de aço utilizadas nas estruturas; concreto, indicando os volumes necessários; e cubetas e treliças, quando

aplicáveis. Nos tópicos 4.1, 4.2 e 4.3 serão abordados esses quantitativos, valores que serão aplicados diretamente no orçamento de cada laje.

Para a elaboração do orçamento da obra, foi utilizada a versão de teste do *software* OrçaFascio®, juntamente com os quantitativos extraídos do Eberick®. Além disso, foram adotados os preços do SINAPI da Paraíba, referentes a agosto de 2024, como base para os preços unitários. No caso específico das treliças da laje treliçada, como não havia preço disponível no SINAPI, utilizou-se o valor do ORSE de junho de 2024 para complementar o orçamento.

Adicionalmente, aplicou-se um BDI (Benefícios e Despesas Indiretas) de 27,5% sobre os custos, seguindo outros orçamentos realizados pela mesma empresa responsável pela construção da escola, garantindo assim consistência com práticas anteriores. De acordo com Carvalho (2022), o BDI é um valor percentual que incide sobre o custo global de contratos, abrangendo despesas como administração central, tributos, riscos, garantias e a margem de lucro do contratado. Dessa forma, ele é essencial para cobrir custos indiretos não diretamente relacionados ao objeto contratual, mas que são necessários para a execução da obra, como a contratação de profissionais da administração central, seguros e veículos utilizados em várias obras.

Por fim, o orçamento foi dividido em duas grandes etapas. A primeira etapa foi a fundação, subdividida em sapatas e fundação em concreto ciclópico, de acordo com as especificações do projeto. A segunda etapa corresponde à superestrutura, que foi organizada em vigas, pilares, lajes e escadas. A partir dos custos totais e de cada etapa do orçamento foi possível visualizar a opção mais econômica e o impacto de cada etapa no valor total do orçamento. O orçamento de cada modelo estrutural estará detalhado no Apêndice H.

4.1 Modelo com Laje Maciça

O consumo de materiais para o modelo com laje maciça foi consideravelmente elevado, resultando em um custo total de R\$ 1.307.026,56. A Tabela 1 detalha o consumo de cada diâmetro de barra de aço por elemento estrutural de forma expandida, enquanto a Tabela 2 resume esses valores.

Em relação ao consumo de aço, o peso total necessário para a execução do modelo foi de 42.807,10 kg, distribuído entre armaduras longitudinais e transversais. O aço representou uma parcela significativa do custo, totalizando R\$ 573.650,18, o que corresponde a 44% do

valor total, conforme ilustrado na Figura 39. Além disso, a pedra argamassada teve um custo de R\$ 82.073,60, representando apenas 6% do total, enquanto a alvenaria de vedação contribuiu com R\$ 8.641,15, ou 1% do valor total do modelo.

De acordo com Dorneles (2014, p. 18), as lajes maciças possuem um alto peso próprio e, devido à ausência de material de enchimento, apresentam um elevado consumo de concreto e fôrmas. O volume de concreto utilizado foi substancial, totalizando 386,70 m³, com um custo de R\$ 376.139,98, representando 29% do valor total. Esse custo é diretamente influenciado pela espessura necessária para vencer os vãos e pela quantidade de material exigido.

Ademais, o consumo de fôrma totalizou 2.790,60 m², gerando um custo de R\$ 266.701,65, que representou 20% do valor total. O elevado consumo de fôrma é consequência da construção monolítica característica da laje maciça (Dorneles, 2014, p. 20).

Com isso, constatou-se que o maior gasto no modelo com laje maciça foi com a armação, seguido pelo concreto e pela fôrma. A Figura 40 mostra que vigas e lajes representam parcelas praticamente iguais do custo total, juntas correspondendo a 70% do valor total do modelo. O custo elevado por elemento evidencia que as lajes maciças exigem um alto consumo de materiais. Embora a mão de obra para esse tipo de laje seja facilmente encontrada no mercado, o alto custo dos materiais torna essa solução menos econômica.

Tabela 1 – Consumo por elemento estrutural expandido (laje maciça).

Elemento estrutural Maciça	Aço (kg)							Concreto (m ³)	Fôrmas (m ²)
	ø6.3mm	ø8.0mm	ø10.0mm	ø12.5mm	16.0mm	ø20.0mm	ø5.0mm		
Vigas	1392,5	336,6	105,9	411,0	982,0	19786,1	191,8	70,8	829,9
Pilares	0,0	0,0	1294,9	488,6	1027,7	552,5	480,4	26,5	434,6
Lajes	2017,4	4065,1	2612,9	1209,5	327,9	0,0	2407,2	199,6	1390,8
Escadas	18,7	39,9	245,4	0,0	0,0	0,0	16,8	2,9	24,5
Fundações	122,7	193,5	1011,3	1399,5	69,3	0,0	0,0	86,9	110,8
Total	3551,3	4635,1	5270,4	3508,6	2406,9	20338,6	3096,2	386,7	2790,6

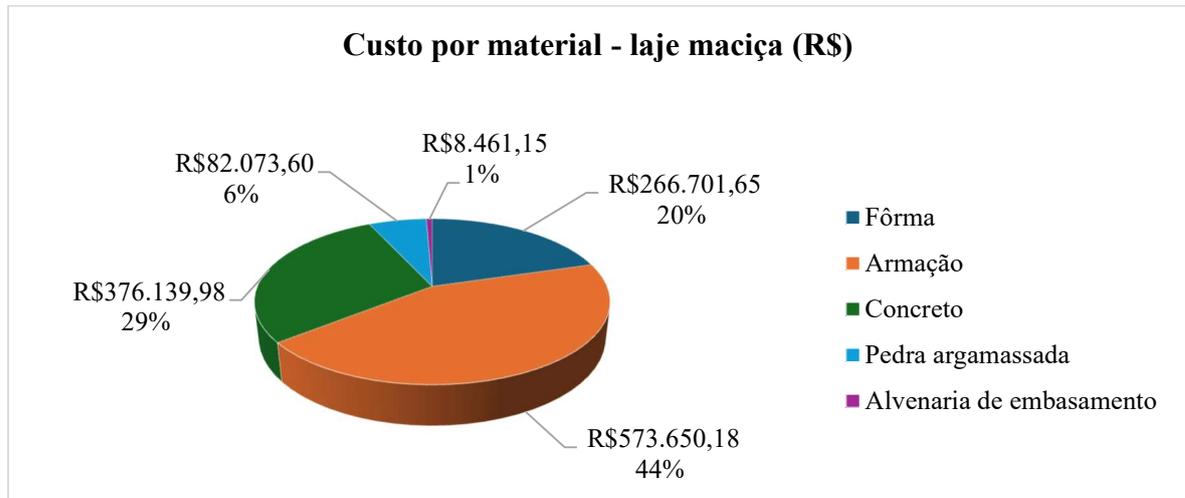
Fonte: Autor, 2024.

Tabela 2 – Consumo por elemento estrutural (laje maciça).

Elemento estrutural Maciça	Aço (kg)	Concreto (m ³)	Fôrmas (m ²)
Vigas	23205,9	70,8	829,9
Pilares	3844,1	26,5	434,6
Lajes	12640,0	199,6	1390,8
Escadas	320,8	2,9	24,5
Fundações	2796,3	86,9	110,8
Total	42807,1	386,7	2790,6

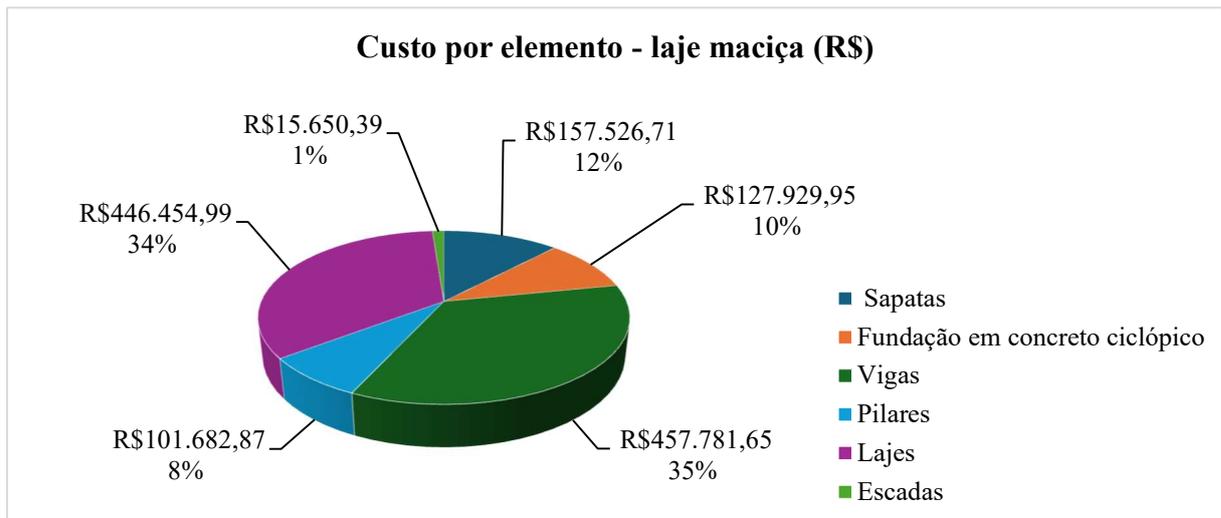
Fonte: Autor, 2024.

Figura 39 – Custo por material (laje maciça).



Fonte: Autor, 2024.

Figura 40 – Custo por elemento estrutural (laje maciça).



Fonte: Autor, 2024.

4.2 Modelo com Laje Treliçada

A laje treliçada foi estudada como uma alternativa mais econômica e eficiente em relação à laje maciça, especialmente pelo uso de materiais de enchimento como o EPS. Essa abordagem resultou em uma economia substancial no consumo de concreto e fôrma, refletindo diretamente no custo total da obra, que foi de R\$ 926.540,91, representando a opção mais econômica dentre as três analisadas. A Tabela 3 detalha o consumo de cada diâmetro de barra de aço por elemento estrutural de forma expandida, enquanto a Tabela 4 resume esses valores.

O consumo de aço foi significativamente reduzido, totalizando 19.273,00 kg, com um custo de R\$ 260.869,16, representando 28% do total, conforme mostrado na Figura 41. Essa economia se deve ao uso das vigotas treliçadas, que diminuem a necessidade de reforço em armaduras longitudinais e transversais. Além disso, segundo Avilla Júnior (2010, p. 68-69), as vigotas treliçadas atuam como vigas metálicas, permitindo um maior espaçamento entre as escoras durante a concretagem e reduzindo a demanda por escoramentos.

O consumo de fôrmas também foi inferior, com 1618,8 m² utilizadas, gerando um custo de R\$ 110.560,45, representando apenas 12% do valor total. O menor uso de fôrmas é uma vantagem importante da laje treliçada, pois as vigotas pré-fabricadas minimizam a necessidade de escoramento intenso. Avilla Júnior (2010, p. 68-69) destaca que a utilização de elementos pré-fabricados treliçados contribui para essa diminuição no consumo de fôrmas, tornando o processo mais ágil.

O volume de concreto utilizado foi de 280,5 m³, o menor entre as três lajes. No entanto, o custo do concreto somado com as lajes pré-fabricadas resultou em R\$ 464.576,55, representando 50% do valor total do modelo. Embora essa seja a parte mais significativa do custo, a redução no uso de fôrmas e aço devido às vigotas e ao menor peso próprio contribui para a viabilidade econômica da laje treliçada. A escolha de utilizar materiais de enchimento, como o EPS, permite que esses materiais, em conjunto com a capa de concreto e a armadura de distribuição, suportem as tensões de compressão, enquanto o aço nas nervuras é responsável por resistir às tensões de tração (Chaves, 2021, p. 214).

Além disso, os elementos estruturais que possuem uma parcela mais representativa no valor total do modelo são as vigas e as lajes, cada um representando 30% do custo total, conforme ilustrado na Figura 42. Além disso, o peso das treliças das vigotas está descrito na Tabela 5, enquanto a quantidade de materiais de enchimento do tipo bloco de EPS pode ser encontrada na Tabela 6.

Tabela 3 – Consumo por elemento estrutural expandido (laje treliçada).

Elemento estrutural	Aço (kg)							Concreto (m ³)	Fôrmas (m ²)
	Treliçada	ø6.3mm	ø8.0mm	ø10.0mm	ø12.5mm	16.0mm	ø20.0mm		
Vigas	843,1	192,2	621,4	695,0	3856,5	6054,8	810,8	89,5	988,4
Pilares	18,5	0,0	1502,9	425,6	821,0	187,2	496,7	27,3	442,4
Lajes	161,5	68,2	56,2	0,0	0,0	0,0	27,7	91,3	65,3
Escadas	17,3	144,0	84,4	0,0	0,0	0,0	0,0	2,9	24,5
Fundações	136,8	235,1	1062,2	753,9	0,0	0,0	0,0	69,5	98,2
Total	1177,2	639,5	3327,1	1874,5	4677,5	6242,0	1335,2	280,5	1618,8

Tabela 4 – Consumo por elemento estrutural (laje treliçada).

Elemento estrutural Trelaçada	Aço (kg)	Concreto (m³)	Fôrmas (m²)
Vigas	13073,8	89,5	988,4
Pilares	3451,9	27,3	442,4
Lajes	313,6	91,3	65,3
Escadas	245,7	2,9	24,5
Fundações	2188,0	69,5	98,2
Total	19273,0	280,5	1618,8

Fonte: Autor, 2024.

Tabela 5 – Consumo de aço por tipo de treliça.

Treliça	Peso (kg)
TR08645	318,7
TR12645	1641,7
TR16745	1553,6
Total	3514,0

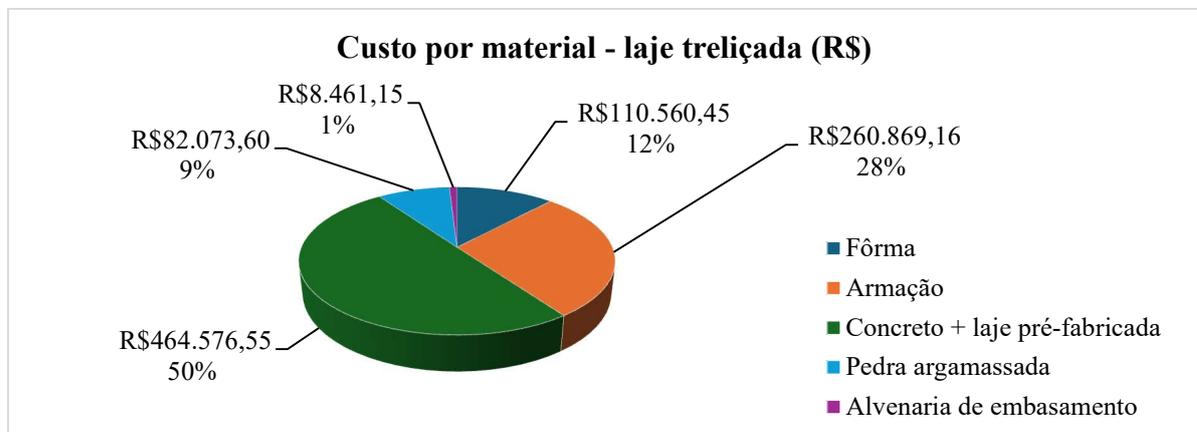
Fonte: Autor, 2024.

Tabela 6 – Consumo por tipo de EPS.

EPS unidirecional	Dimensões (cm)			Quantidade
	hb	bx	by	
B8/30/125	8	30	125	408
B12/30/125	12	30	125	878
B16/30/125	16	30	125	1164
Total				2450

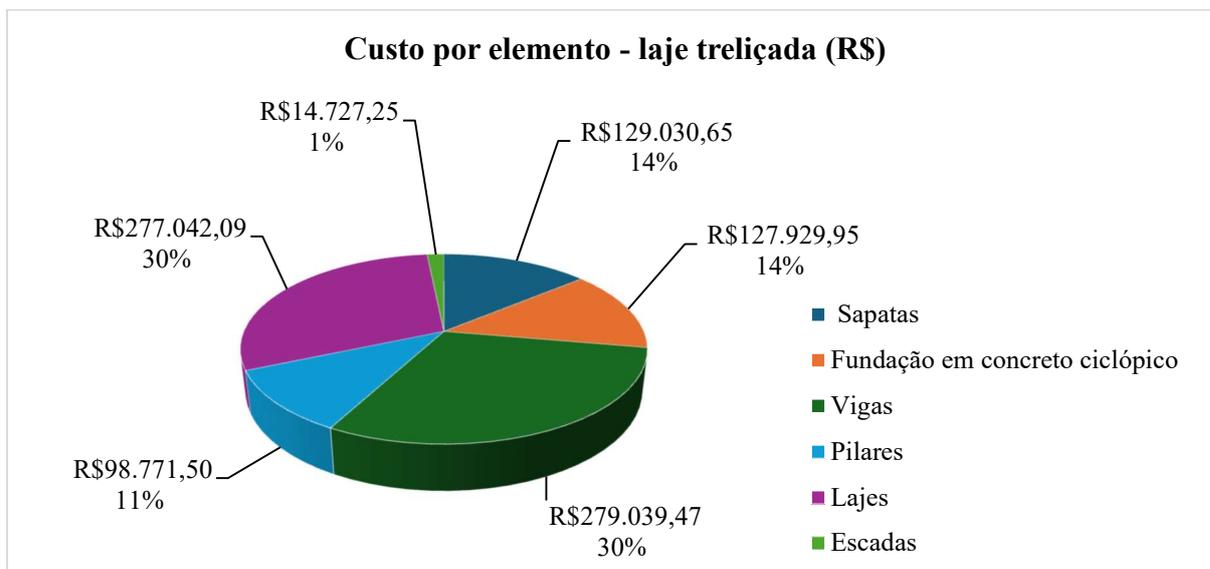
Fonte: Autor, 2024.

Figura 41 – Custo por material (laje treliçada).



Fonte: Autor, 2024.

Figura 42 – Custo por elemento estrutural (laje treliçada).



Fonte: Autor, 2024.

4.3 Modelo com Laje Nervurada

A laje nervurada apresentou um custo intermediário entre as opções estudadas, totalizando R\$ 1.122.459,47. A Tabela 8 detalha o consumo de cada diâmetro de barra de aço por elemento estrutural de forma expandida, enquanto a Tabela 9 resume esses valores e o consumo por tipo de bloco de enchimento foi detalhado na Tabela 7.

Essa solução utiliza cubetas de plástico como material de enchimento, proporcionando uma estrutura mais leve em comparação à laje maciça. O consumo de aço foi de 37.971,90 kg, o segundo maior entre as opções analisadas, com custo de R\$ 511.673,71 (46% do valor total), conforme a Figura 43.

O uso de fôrma, por sua vez, foi menor do que na laje maciça, mas ainda significativo, com 1.311,30 m², gerando um custo de R\$ 159.092,59, representando 14% do valor total. A redução no consumo de fôrma é uma vantagem das lajes nervuradas, pois as cubetas substituem parte da necessidade de fôrmas e escoramentos.

Enquanto isso, o volume de concreto utilizado foi de 371,2 m³, com um custo total de R\$ 361.158,42 (32% do orçamento do modelo). Esse consumo é menor que o da laje maciça, mas superior ao da laje treliçada, devido à necessidade de criar as nervuras de concreto entre as cubetas. Embora mais leve e econômica do que a laje maciça, a laje nervurada ainda apresentou um custo relativamente alto devido ao consumo elevado de aço e concreto.

Adicionalmente, a laje nervurada quando utiliza fôrmas reutilizáveis em polipropileno criam nervuras no concreto, funcionando como vigas em T. Essas nervuras permitem uma estrutura global mais leve, como descrito por Dorneles (2014, p. 55).

Dentre as vantagens comparadas com a laje maciça, destacam-se a redução do uso de fôrmas de madeira e a possibilidade de compatibilização de projetos. As cubetas são leves, reforçadas e projetadas para facilitar a desmontagem após o capeamento do concreto, resultando em maior velocidade de execução e economia nas fundações (Avilla Júnior, 2010, p. 66-67). No entanto, a necessidade de mão de obra especializada e o custo inicial elevado podem influenciar no orçamento.

Além disso, o elemento estrutural que representou o maior custo no total foram as vigas, que corresponderam a 37% do valor total, seguidas pelas lajes, que representaram 29%, conforme ilustrado na Figura 44. Essa distribuição de custos segue um padrão semelhante ao observado em outros modelos, ressaltando a importância dessas estruturas na formação do orçamento da obra.

Tabela 7 – Consumo por tipo de bloco de enchimento.

Bloco de enchimento (cubetas)	Dimensões (cm)			Quantidade
	hb	bx	by	
B20/80/80	20	80	80	913
B20/40/80	20	40	80	442
B20/80/40	20	80	40	241
B30/80/80	30	80	80	126
B30/40/80	30	40	80	36
B30/80/40	30	80	40	27
B25/80/80	25	80	80	420
B25/40/80	25	40	80	77
B25/80/40	25	80	40	86
Total				2368,0

Fonte: Autor, 2024.

Tabela 8 – Consumo por elemento estrutural expandido (laje nervurada).

Elemento estrutural Nervurada	Aço (kg)							Concreto (m³)	Fôrmas (m²)
	ø6.3mm	ø8.0mm	ø10.0mm	ø12.5mm	16.0mm	ø20.0mm	ø5.0mm		
Vigas	1505,9	334,8	164,4	421,8	1071,7	16487,0	278,3	77,1	678,9
Pilares	0,0	0,0	1387,8	530,7	691,2	241,2	498,2	26,9	438,3
Lajes	2157,4	2657,8	2311,2	1088,9	701,1	0,0	2510,1	184,8	65,3
Escadas	29,0	13,0	194,7	46,4	110,4	0,0	0,5	2,9	24,5
Fundações	115,4	221,2	862,7	1339,1	0,0	0,0	0,0	79,5	104,3
Total	3807,7	3226,8	4920,8	3426,9	2574,4	16728,2	3287,1	371,2	1311,3

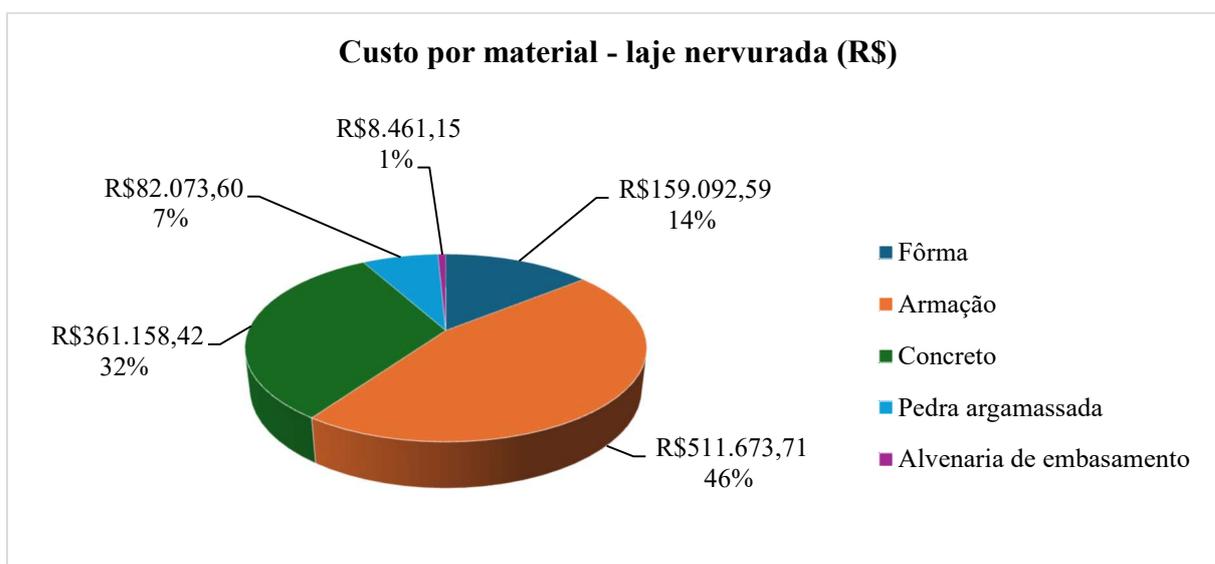
Fonte: Autor, 2024.

Tabela 9 – Consumo por elemento estrutural (laje nervurada).

Elemento estrutural Nervurada	Aço (kg)	Concreto (m³)	Fôrmas (m²)
Vigas	20263,9	77,1	678,9
Pilares	3349,1	26,9	438,3
Lajes	11426,5	184,8	65,3
Escadas	394,0	2,9	24,5
Fundações	2538,4	79,5	104,3
Total	37971,9	371,2	1311,3

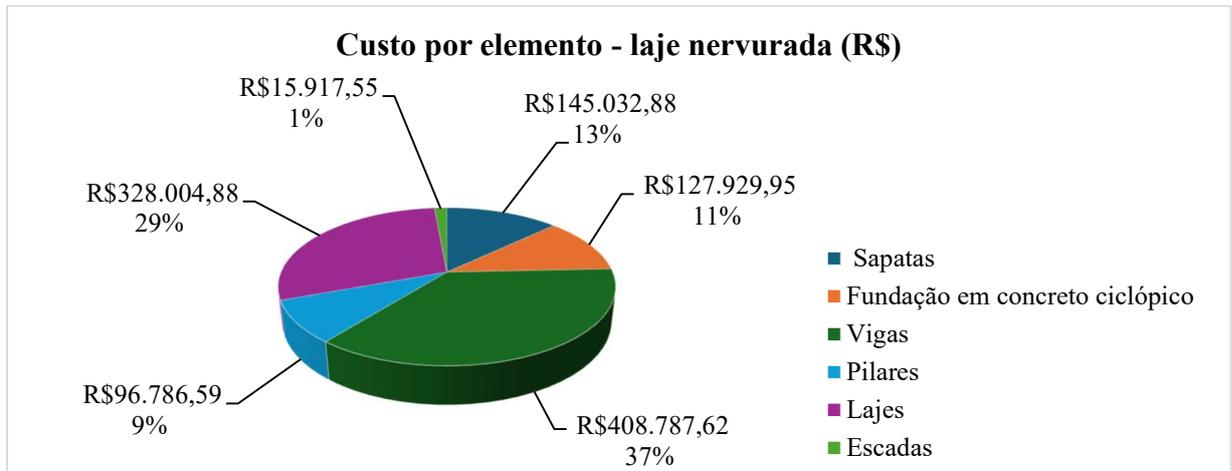
Fonte: Autor, 2024.

Figura 43 – Custo por material (laje nervurada).



Fonte: Autor, 2024.

Figura 44 – Custo por elemento estrutural (laje nervurada).

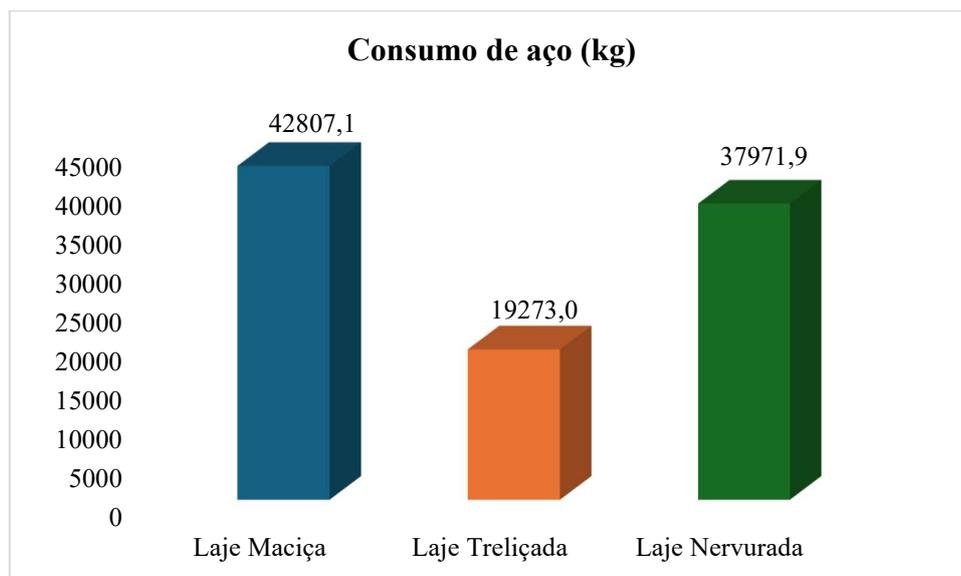


Fonte: Autor, 2024.

4.4 Análise Comparativa

Ao comparar o consumo de aço nos três modelos de laje ilustrado na Figura 45, observou-se que a laje maciça foi a que apresentou o maior consumo, totalizando 42.807,1 kg. Em segundo lugar, a laje nervurada consumiu 37.971,9 kg, enquanto a laje treliçada foi a que menos utilizou, com um consumo de apenas 19.273,0 kg. Essa diferença significativa no consumo de aço pode ser atribuída ao menor peso próprio da laje treliçada, que resulta em uma redução das cargas transmitidas às vigas, pilares e sapatas.

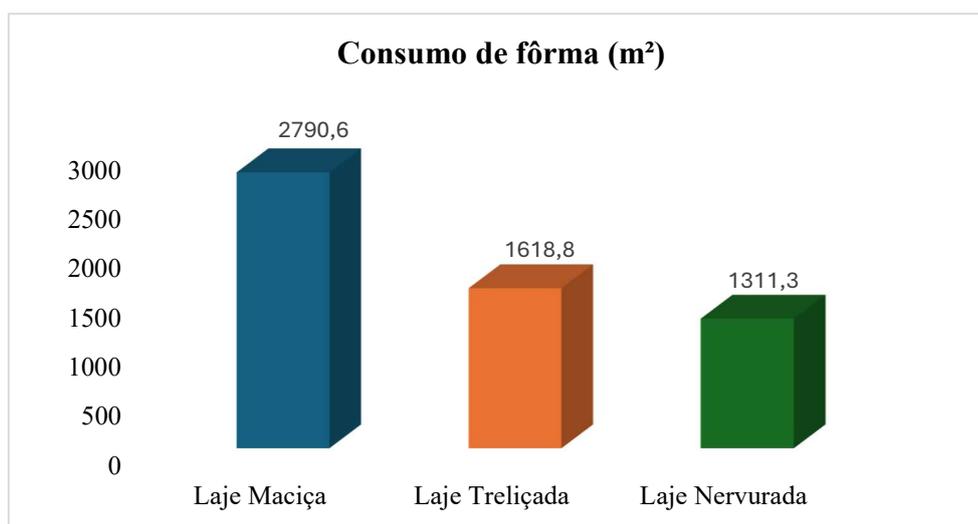
Figura 45 – Consumo de aço por tipo de laje.



Fonte: Autor, 2024.

Enquanto isso, ao analisar o consumo de fôrma nos três modelos de laje mostrado na Figura 46, verificou-se que a laje maciça apresentou o maior consumo, totalizando 2.790,6 m². Em segundo lugar, a laje treliçada utilizou 1.618,8 m², enquanto a laje nervurada teve o menor consumo, com apenas 1.311,3 m². Isso ocorreu porque a laje maciça exige um maior uso de fôrmas devido à sua estrutura sólida e ao escoramento necessário para suportar seu peso durante a execução. Por outro lado, a laje treliçada, embora ainda exija uma quantidade significativa de fôrmas, se beneficia das vigotas pré-fabricadas que reduzem a necessidade de escoramentos intensivos. A laje nervurada, por sua vez, apresenta um design que minimiza o uso de fôrmas, pois as cubetas de polipropileno utilizadas para criar as nervuras substituem parte da necessidade de fôrmas e escoramentos, resultando em uma economia ainda maior no consumo de fôrmas.

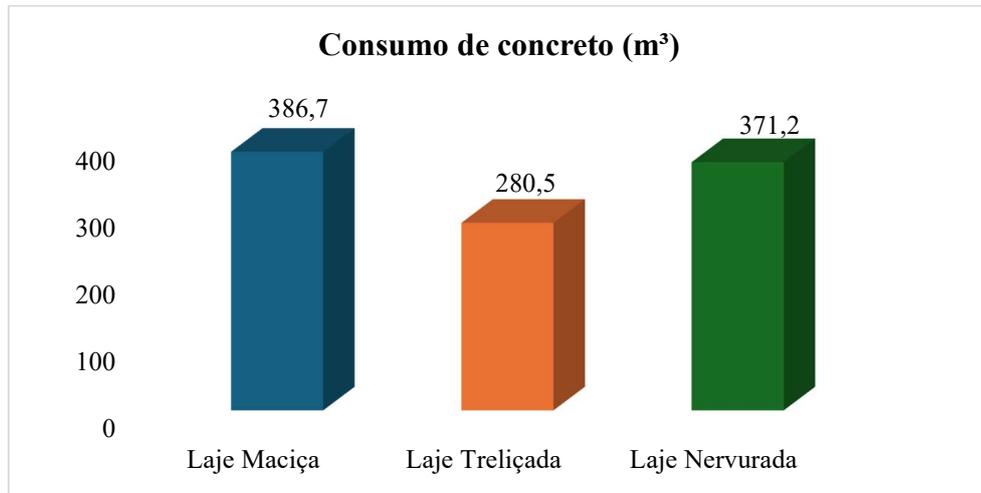
Figura 46 – Consumo de fôrma por tipo de laje.



Fonte: Autor, 2024.

Ao comparar o consumo de concreto entre os três modelos de laje ilustrado na Figura 47, observou-se que a laje maciça apresentou o maior consumo, totalizando 386,7 m³. Em segundo lugar, a laje nervurada utilizou 371,2 m³, enquanto a laje treliçada ficou em último, com 280,5 m³. Isso ocorreu porque a laje maciça, devido à sua espessura e à ausência de elementos vazados, requer um volume maior de concreto para garantir sua resistência estrutural. Por outro lado, a laje nervurada, embora ainda consuma uma quantidade significativa de concreto, utiliza nervuras que permitem uma redução no volume total necessário. Já a laje treliçada, com seu design mais leve e o uso de materiais de enchimento como EPS, apresenta a menor demanda por concreto, diminuindo o custo da estrutura e reduzindo o peso total da laje, resultando em menores cargas transmitidas às fundações.

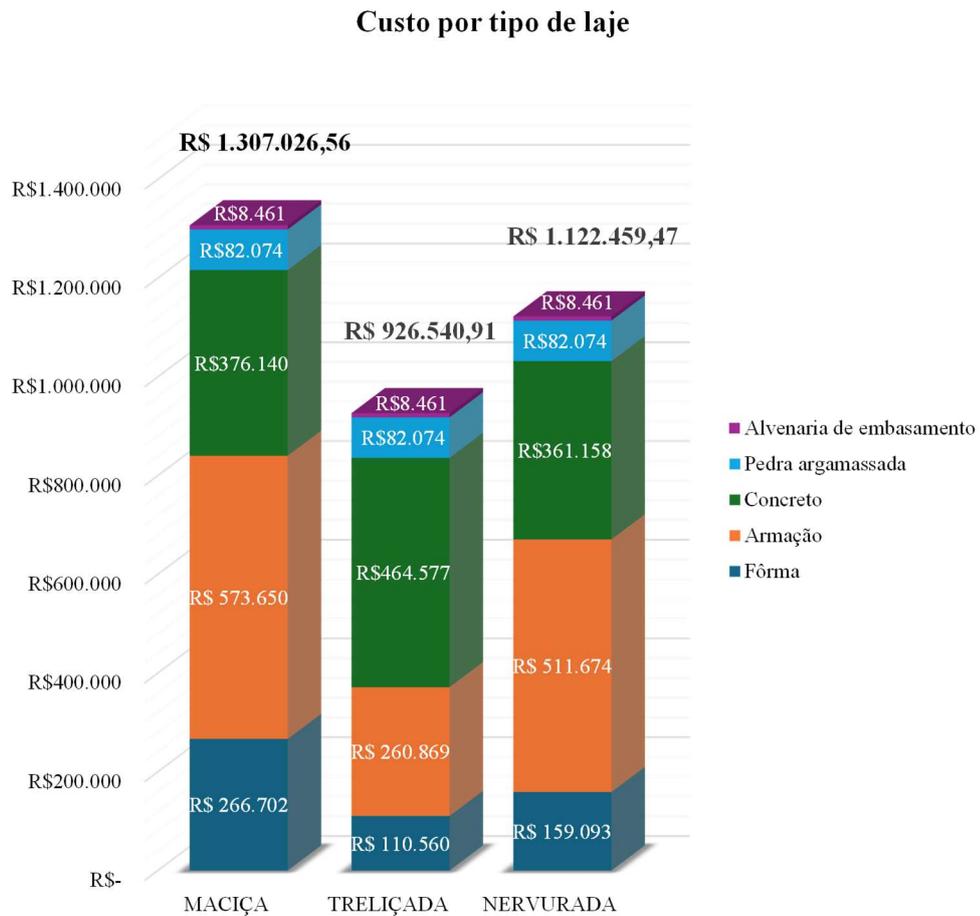
Figura 47 – Consumo de concreto por tipo de laje.



Fonte: Autor, 2024.

Os valores totais de cada laje e por material pode ser visualizado por meio da Figura 48.

Figura 48 – Custo por tipo de laje.



Fonte: Autor, 2024.

Reunindo todas essas informações, obteve-se o valor total de cada modelo de laje: R\$ 1.307.026,56 para a laje maciça, R\$ 1.122.459,47 para a laje nervurada e R\$ 926.540,91 para a laje treliçada. Esses valores refletem as diferenças significativas em consumo de materiais e custos de execução, com a laje treliçada se destacando como a opção mais econômica.

Além disso, é importante ressaltar que o custo da fundação em concreto ciclópico permaneceu o mesmo para todos os modelos, pois a solução adotada para as fundações não se alterou em função do tipo de laje escolhida, garantindo assim a uniformidade no orçamento.

5. CONCLUSÃO

A comparação entre os três modelos de laje revela que a laje treliçada (modelo 2) é a opção mais econômica, com um custo 29,11% menor do que o da laje maciça (modelo 1). Isso se deve principalmente à redução no consumo de materiais, como fôrma e concreto, além da simplificação no processo de execução. Em termos de eficiência, a laje treliçada também se destaca pelo menor peso próprio, que impacta diretamente nas cargas transmitidas às fundações, permitindo uma economia adicional em outros elementos estruturais. A laje nervurada (modelo 3), embora seja uma alternativa leve, apresentou custos elevados devido ao alto consumo de aço. No entanto, ainda apresentou uma redução de 14,12% no custo total em comparação ao modelo de laje maciça.

Já a laje maciça, apesar de ser a mais simples em termos de execução e amplamente utilizada, teve o maior custo total. Isso se deve ao consumo excessivo de materiais e à maior necessidade de fôrmas e escoramento.

Assim, com base nos resultados da análise comparativa de custos entre lajes maciça, treliçada e nervurada, conclui-se que a laje treliçada é a opção mais econômica e eficiente para a estrutura da edificação representada nesse projeto arquitetônico da escola padrão avaliada. Ela se destaca por sua menor demanda de materiais e sua facilidade de execução, resultando em uma economia de 29,11% em comparação com a laje maciça, que apresentou o maior custo total e de 17,11% em comparação com a laje nervurada, cujo custo foi intermediário.

Essa escolha reflete diretamente na viabilidade econômica do projeto, proporcionando uma solução estrutural mais leve, de fácil execução e com menor impacto financeiro. A adoção da laje treliçada não apenas reduz o custo da edificação, mas também pode agilizar o cronograma da obra, resultando em um projeto mais eficiente. Além disso, essa análise também reforça a importância de considerar diferentes sistemas estruturais no planejamento de obras

públicas, visando sempre a otimização dos recursos disponíveis e a melhoria da infraestrutura educacional no Brasil.

Além disso, ao longo do trabalho, foram cumpridos os objetivos propostos, com a análise comparativa dos três tipos de laje, a quantificação dos materiais utilizados e a avaliação dos custos dos serviços envolvidos em cada um dos modelos.

Ao promover uma construção mais econômica, a utilização da laje treliçada, nesse caso, pode contribuir para a maximização dos investimentos públicos em educação, permitindo que mais recursos sejam direcionados para outras áreas essenciais, como a formação de professores e a melhoria de materiais didáticos. Portanto, a escolha do tipo de laje mais econômica não apenas melhora a eficiência do projeto, mas também amplia o impacto social das obras de infraestrutura educacional.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 14432:2001. Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações: Procedimento. Rio de Janeiro, 2001.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 14931:2023. Execução de estruturas de concreto armado, protendido e com fibras: Requisitos. Rio de Janeiro, 2023.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 15200:2012. Projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio. Rio de Janeiro, 2012.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 15575-1:2021. Edificações habitacionais: desempenho. Parte 1: requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2021.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6118:2023. Projeto e execução de estruturas de concreto: procedimento. Rio de Janeiro, 2023.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6120:2019. Ações para o cálculo de estruturas de edificações. Rio de Janeiro, 2019.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6123:2023. Forças devidas ao vento em edificações. Rio de Janeiro, 2023.
- ACEROS AREQUIPA. Manual de construcción para maestros de obra: fierro en vigas. 2023. Disponível em: <https://www.acerosarequipa.com/manuales/manual-de-construccion-para-maestros-de-obra/fierro-en-vigas>. Acesso em: 26 jun. 2024.
- AVILLA JÚNIOR, J. Contribuição ao projeto e execução de lajes lisas nervuradas pré-fabricadas com vigotas treliçadas. 2010. Dissertação (Mestrado em Ciências Exatas e da Terra) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2010. Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/4656?show=full>. Acesso em: 25 jun. 2024.
- BEZERRA, Lindcyney. O impacto do projeto estrutural na execução de uma obra. *Revista Científica Semana Acadêmica*, Fortaleza, ano MMXVIII, n. 000152, 03 dez. 2018. Disponível em: <https://semanaacademica.org.br/artigo/o-impacto-do-projeto-estrutural-na-execucao-de-uma-obra>. Acesso em: 11 jun. 2024.
- BRASIL. Constituição (1988). *Constituição da República Federativa do Brasil*: promulgada em 5 de outubro de 1988. Brasília, DF: Presidência da República, 2023. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm. Acesso em: 11 jun. 2024.
- CARVALHO, Matheus. Armadura para concreto. *Carluc*, 2023. Disponível em: <https://carluc.com.br/estrutura/armadura-para-concreto/>. Acesso em: 26 jun. 2024.
- CARVALHO, Matheus. O que é BDI e como calcular para orçamento de obras. 15 ago. 2022. Disponível em: <https://carluc.com.br/orcamento/bdi/>. Acesso em: 28 set. 2024.
- CARVALHO, R. C.; FIGUEIREDO FILHO, J. R. Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado: segundo a NBR 6118:2014. 4. ed. São Carlos, EdUFSCar, 2022. 415 p.
- CHAVES, Rogério José Solidário et al. Contribuição da rigidez à flexão da laje treliçada para a estabilidade global da estrutura. *Revista Principia - Divulgação Científica e Tecnológica do IFPB*, João Pessoa, n. 57, p. 213-222, dez. 2021. ISSN 2447-9187. Disponível em:

<https://periodicos.ifpb.edu.br/index.php/principia/article/view/4940>. Acesso em: 25 jun. 2024.
DOI: <http://dx.doi.org/10.18265/1517-0306a2021id4940>.

COSTA, Miguel. Escoramento de lajes. *SH*. Disponível em:
<https://rohr.com.br/informacoes/escoramento-de-lajes/>. Acesso em: 05 jul. 2024.

DINIZ, J. F. de S.; SOUZA, J. R. de; PARENTE, W. M.; PINHEIRO, E. C. N. M. Custo-benefício do uso de laje maciça convencional e a laje pré-fabricadas treliçada no projeto de uma residência unifamiliar com dois pavimentos. *Brazilian Journal of Development*, [s.l.], v. 7, n. 11, p. 108201–108219, 2021. DOI: <https://doi.org/10.34117/bjdv7n11-444>. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/40122>. Acesso em: 25 jun. 2024.

DORNELES, D. M. Lajes na construção civil brasileira: estudo de caso em edifício residencial em Santa Maria-RS. Monografia apresentada à Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, 2014. Disponível em: <https://docplayer.com.br/19968548-Lajes-na-construcao-civil-brasileira-estudo-de-caso-em-edificio-residencial-em-santa-maria-rs.html>. Acesso em: 26 jun. 2024.

Estruturas e BIM. O que é Eberick? Disponível em: <https://estruturasebim.com/2020/11/09/o-que-e-eberick/>. Acesso em: 28 jul. 2024. Publicado em: 9 nov. 2020.

MAGALHÃES, Vaneza. Fôrma para concreto: o que é, tipos e cálculo. *Carluc*, 2022. Disponível em: <https://carluc.com.br/construcao/forma-para-concreto/>. Acesso em: 04 jul. 2024.

MARINHO, Filipe. Tensão admissível: métodos de determinação. 2019. Disponível em: <https://www.guiadaengenharia.com/tensao-admissivel-metodos-determinacao/>. Acesso em: 14 set. 2024.

OLIVEIRA JÚNIOR, Silvestre. Pilares de concreto armado: no comando em cada coluna. *Engenheiro Doutor Pro*, 2023. Disponível em: <https://engenheirodoutorpro.com.br/pilares-de-concreto-armado/>. Acesso em: 26 jun. 2024.

PINHEIRO, L. M.; MUZARDO, C. D.; SANTOS, S. P. Fundamentos do concreto e projeto de edifícios. São Carlos, 2007.

REBELLO, Y. C. P. Bases para projeto estrutural na arquitetura. 1. ed. São Paulo: Zigate, 2007.

RODRIGUES COELHO DE MOURA, T. Lajes maciças, treliçadas e nervuradas: análise comparativa. *REEC - Revista Eletrônica de Engenharia Civil*, Goiânia, v. 19, n. 1, p. 194–209, 2023. DOI: <10.5216/reec.v19i1.57832>. Disponível em: <https://revistas.ufg.br/reec/article/view/57832>. Acesso em: 25 jun. 2024.

SELZNICK, Brian. A invenção de Hugo Cabret. 1. ed. São Paulo: Cia. das Letras, 2007.

SUPLAN - Superintendência de Obras do Plano de Desenvolvimento do Estado. Projeto arquitetônico da Escola Padrão de primeiro andar. 2024. E-mail recebido em: 07 maio 2024.

TAGLIANI, Simone. Conhecendo o concreto ciclópico. *Engenharia 360*, julho 2023. Disponível em: <https://engenharia360.com/conhecendo-o-concreto-ciclopico/>. Acesso em: 14 set. 2024.

TIJOLAJE. Lajes treliçadas EPS, laje isopor. Disponível em: <https://tijolaje.com.br/lajes-trelicadas/lajes-trelicadas-eps-laje-isopor>. Acesso em: 10 set. 2024.

TQS News. *Revista TQS News*, ano XXVI, n. 53, abr. 2024.

VANALLI, L.; SANTOS, F. A.; NEUBERGER, Y. M. Desempenho de diferentes tipos de lajes de concreto armado: um estudo considerando suas aplicações em um edifício de salas de aula. *Revista Brasileira Multidisciplinar*, [s.l.], v. 25, n. 2, p. 45-62, 2022. DOI:

<10.25061/2527-2675/ReBraM/2022.v25i2.988>. Disponível em:

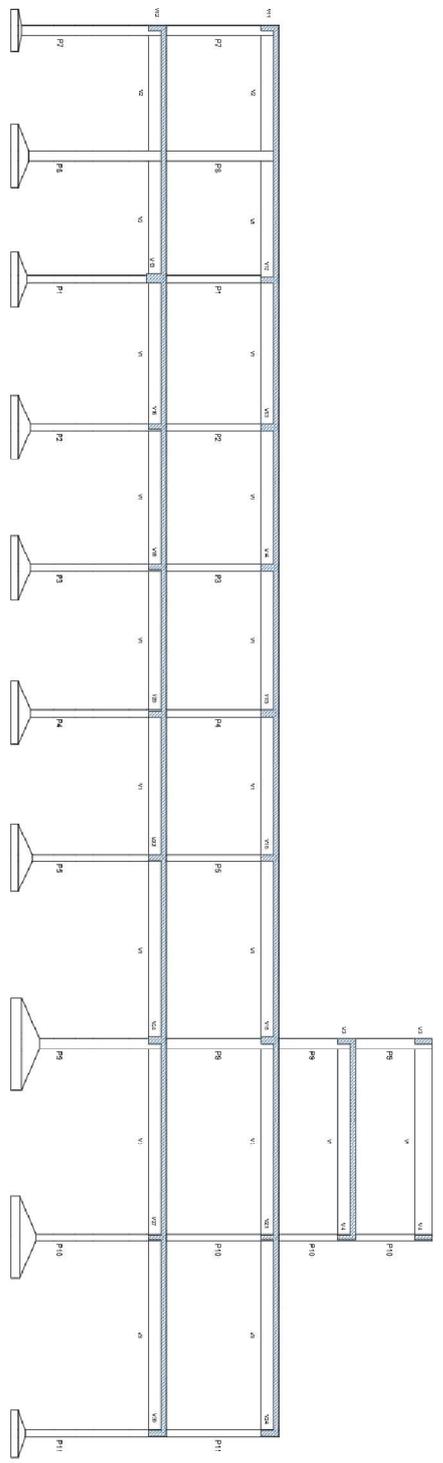
<https://revistarebram.com/index.php/revistauniara/article/view/988>. Acesso em: 25 jun. 2024.

VARGAS, A.; MENEGON, F. Análise experimental comparativa entre lajes com vigota treliçada e comum. *Revista Técnico-Científica de Engenharia Civil Unesc – CIVILTEC*, v. 5, n. 2, p. 44-57, 11 jun. 2021.

VIVA DECORA. Pilar de concreto: o que é, tipos, como dimensionar e usar no projeto.

Construção e Reforma. 2022. Disponível em: <https://www.vivadecora.com.br/pro/pilar-de-concreto/>. Acesso em: 25 jun. 2024.

APÊNDICE A – CORTES (LAJE MACIÇA)



Topo da caixa (+10.60)

Fundo da caixa (+8.45)

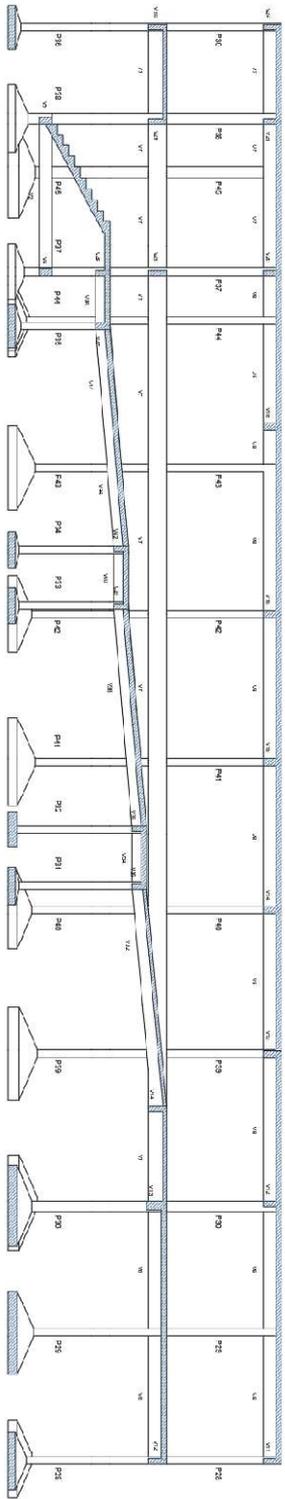
Coberta (+6.30)

Superior (+3.45)

Tarreo (+0.30)

Corte A-A

escala 1:100



Coberta (+6.30)

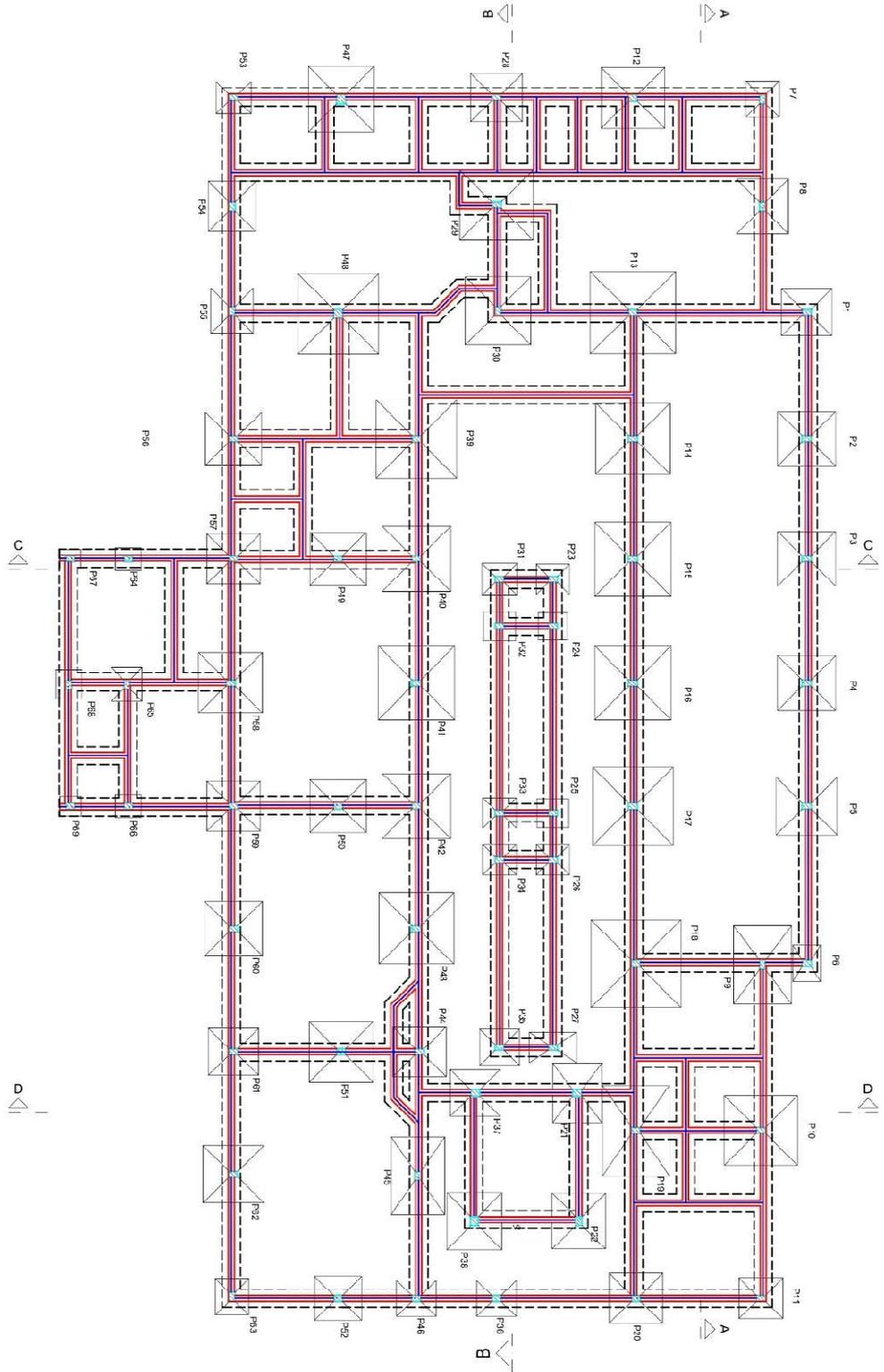
Superior (+3.45)

Fundo da caixa (+8.45)

Corte B-B

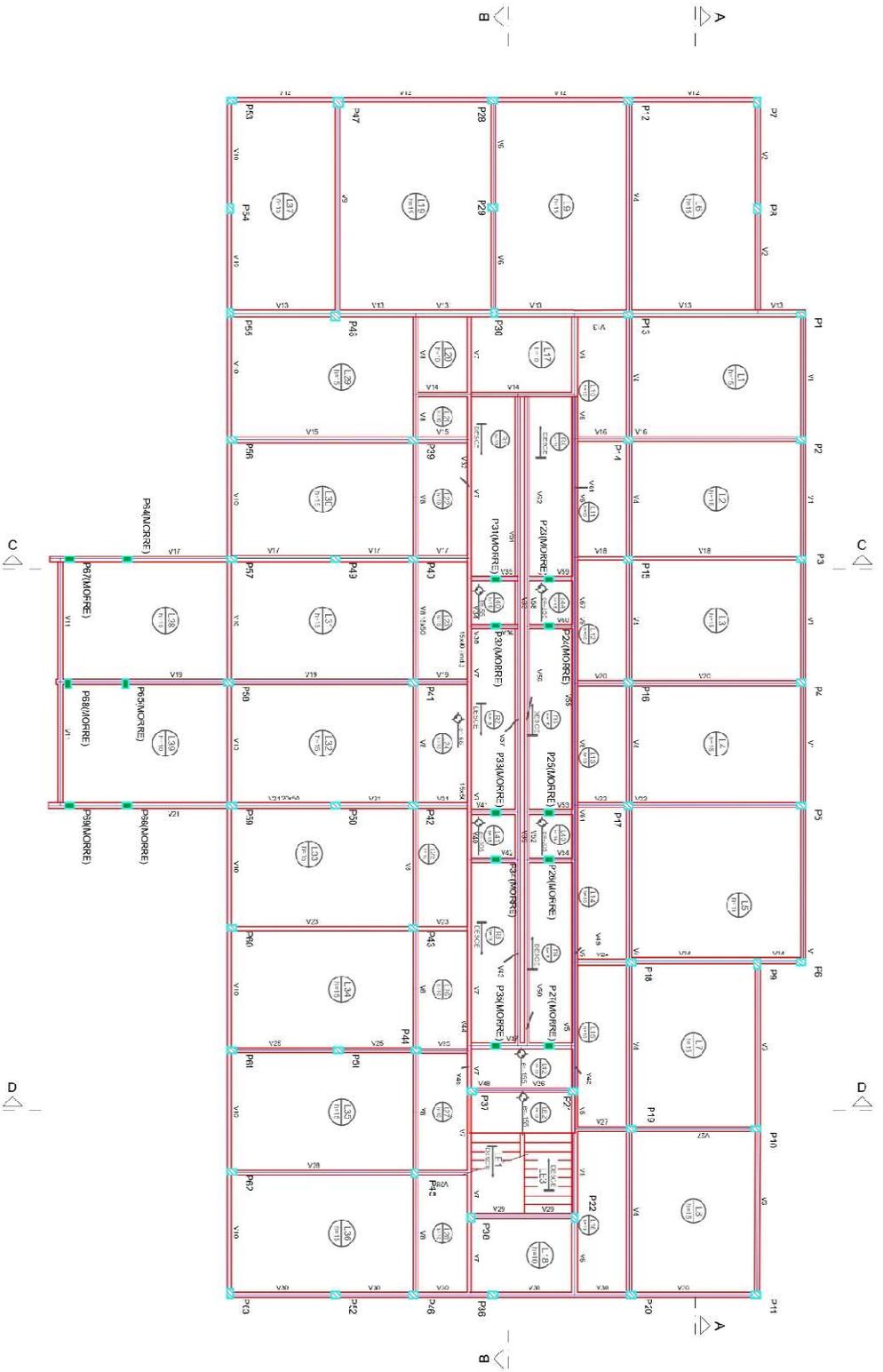
escala 1:50

APÊNDICE B – FÔRMAS (LAJE MACIÇA)



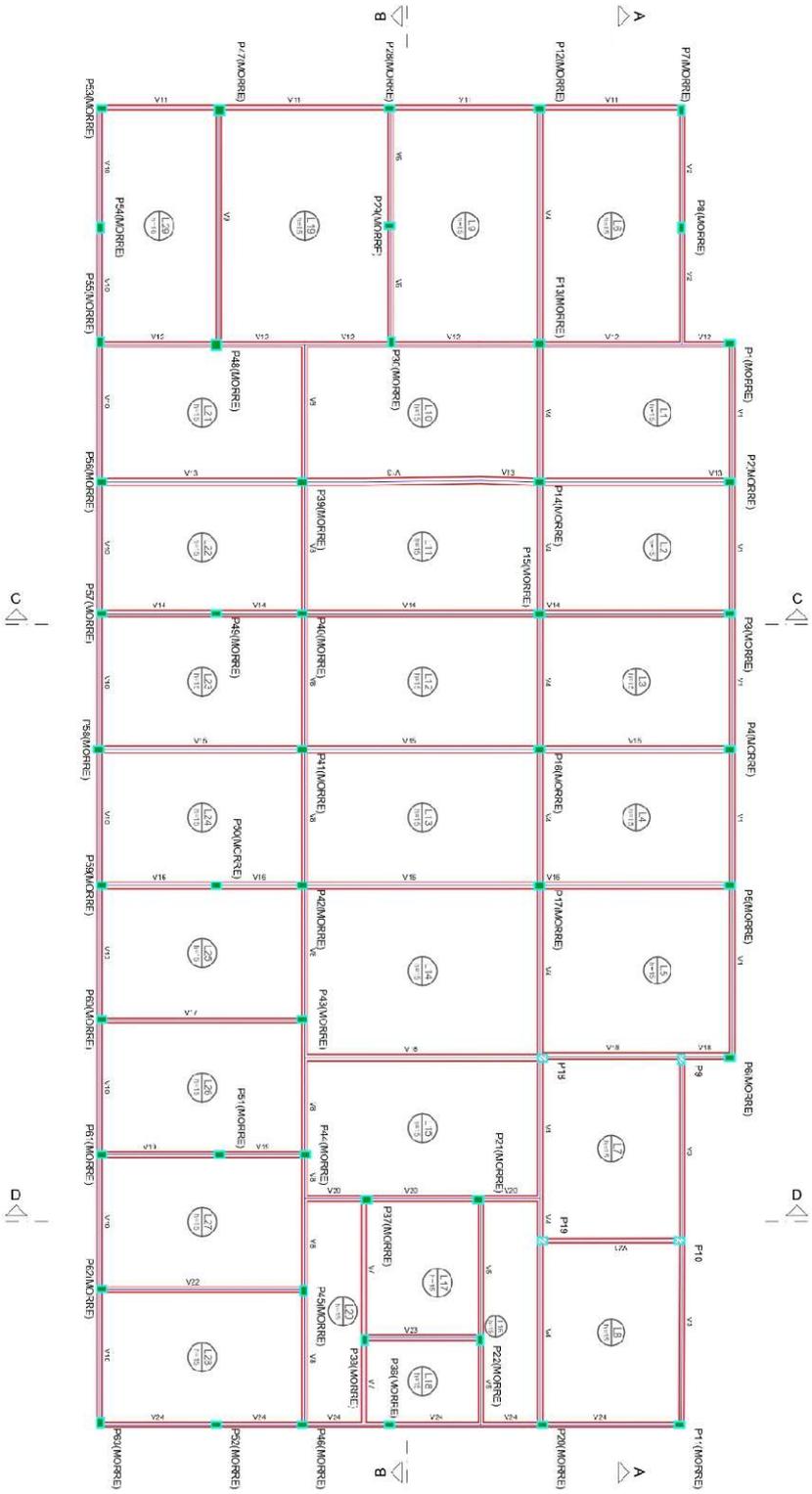
Fôrma do pavimento Térreo (+0.30) (Nível 0)

escala 1:75

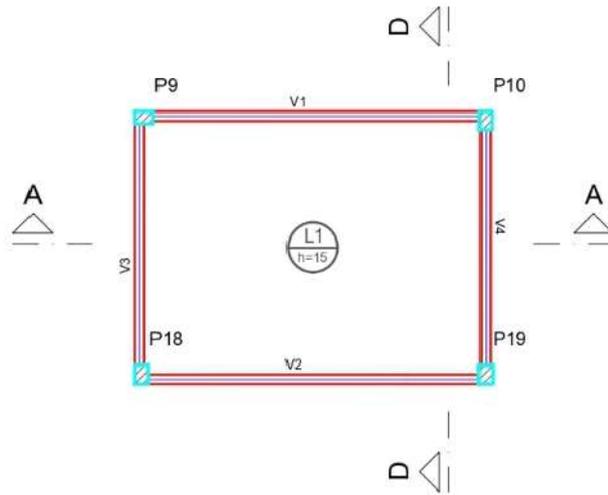


Fôrma do pavimento Superior (+3.45) (Nível 315)

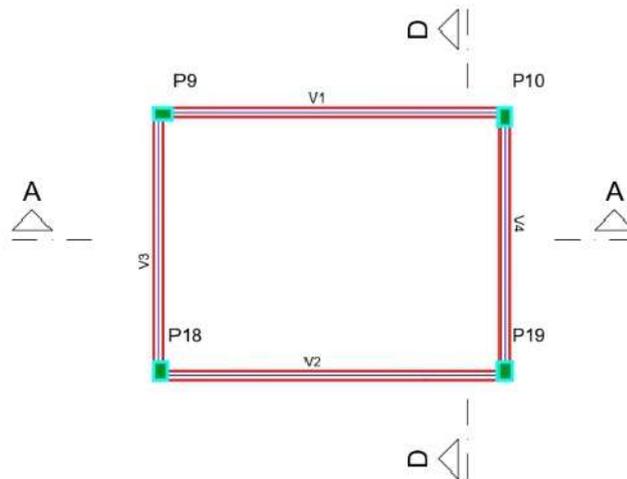
escala 1:75



Fôrma do pavimento Coberta (+6.30) (Nível 630)
escala 1:75

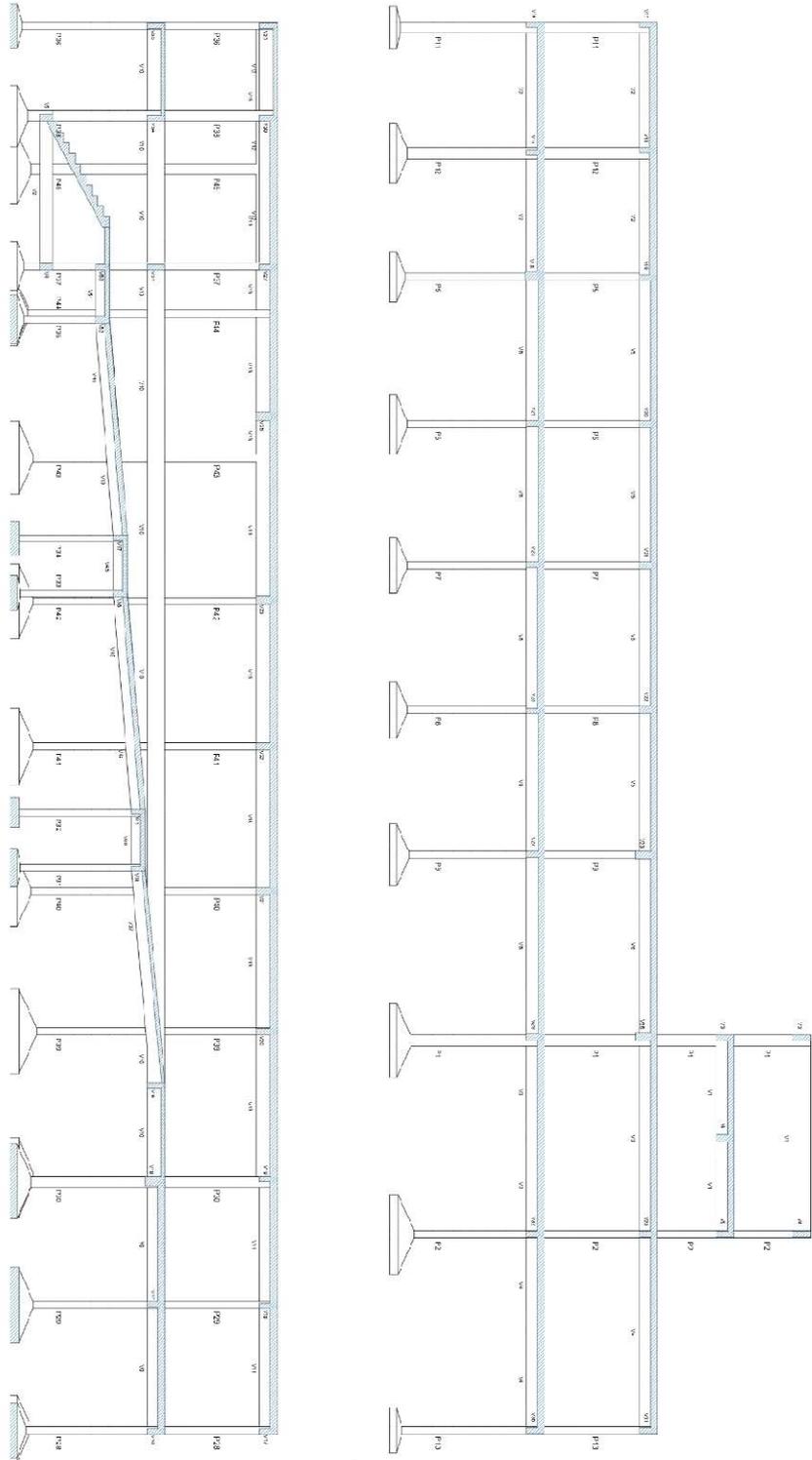


Fôrma do pavimento fundo da caixa (+8.45) (Nível 845)



Fôrma do pavimento Topo da caixa (+10.60) (Nível 1060)

APÊNDICE C – CORTES (LAJE TRELIÇADA)



Topo da caixa (+10.00)

Banitec (+8.45)

Coberta (+6.30)

Superior (+3.45)

Terreo (+0.30)

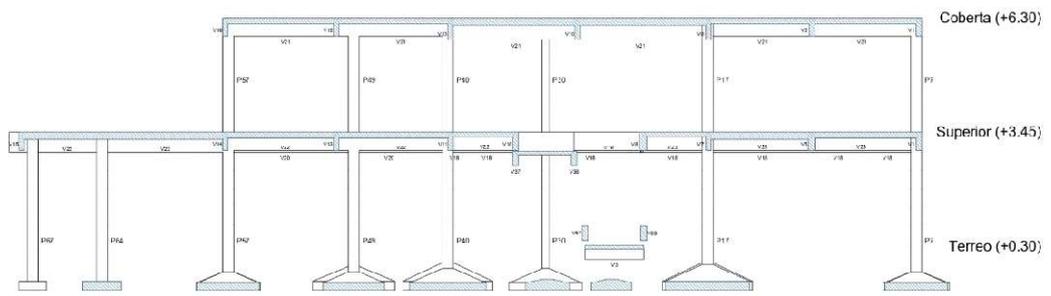
Corte A-A
Escala: 1:30

Coberta (+6.30)

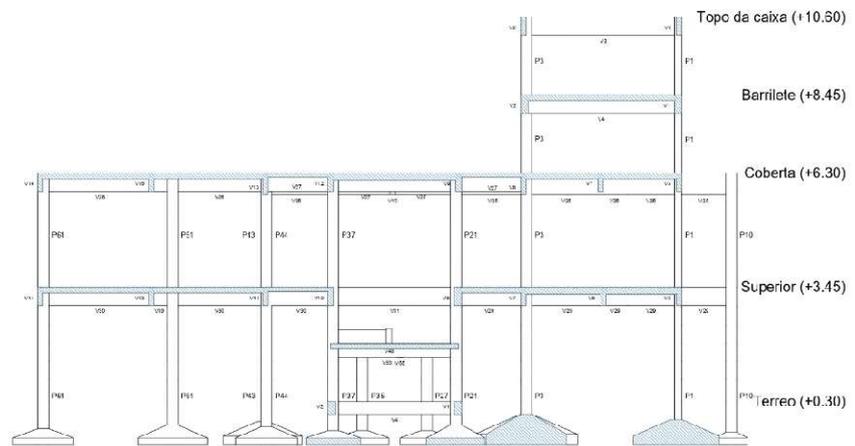
Superior (+3.45)

Terreo (+1.30)

Corte B-B
Escala: 1:30

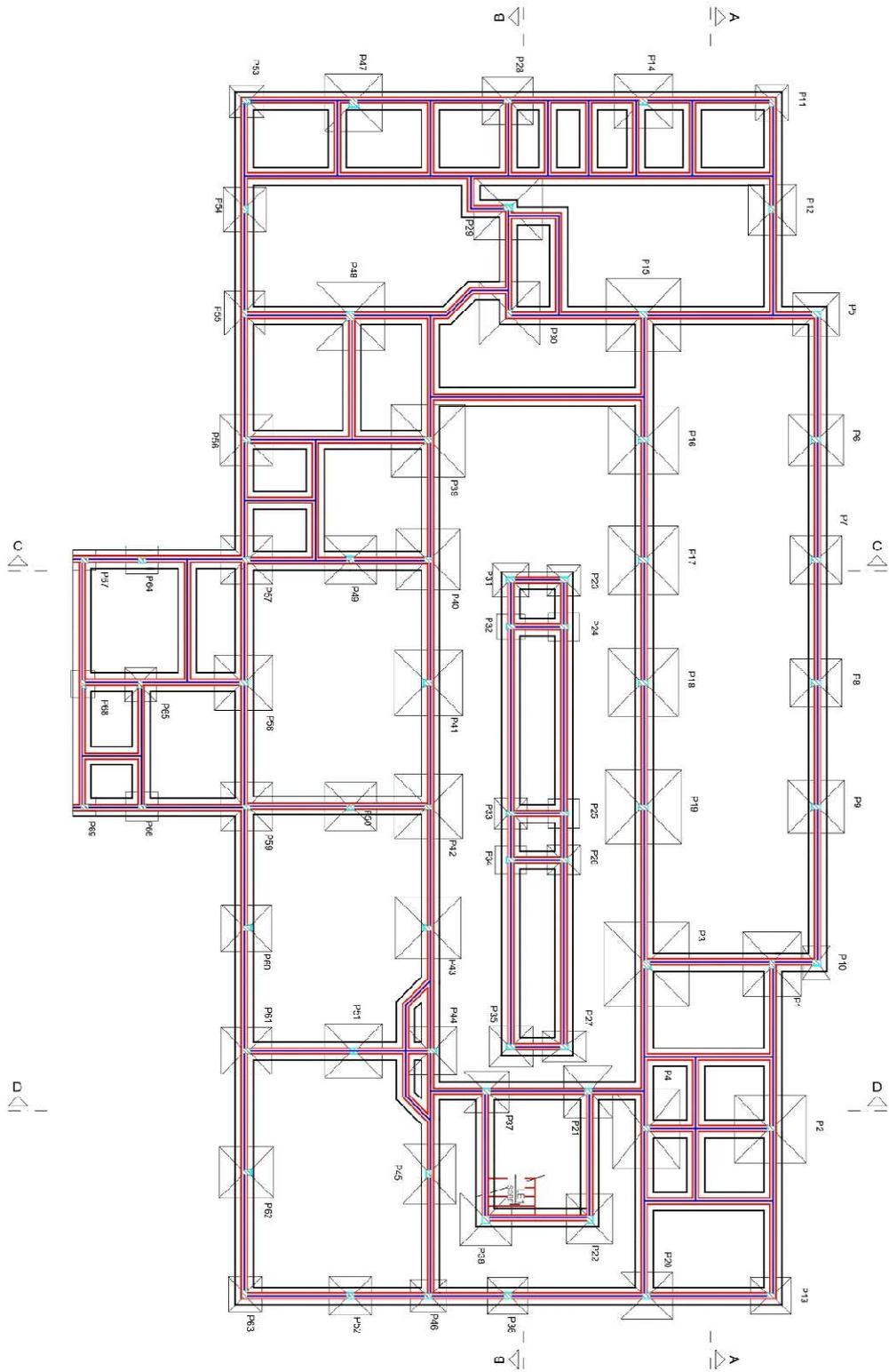


Corte C-C
escala 1:50



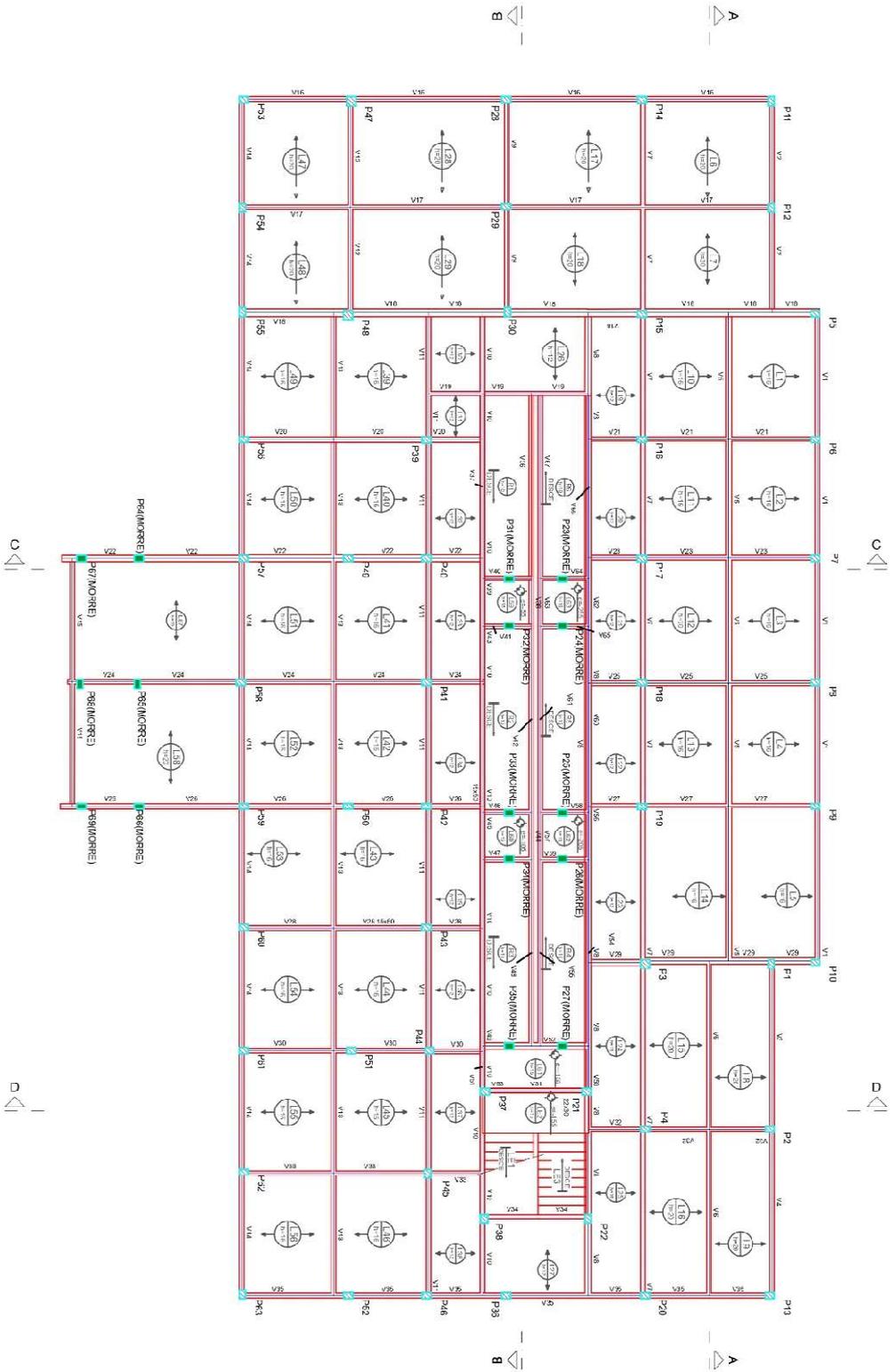
Corte D-D
escala 1:50

APÊNDICE D – FÔRMAS (LAJE TRELICADA)



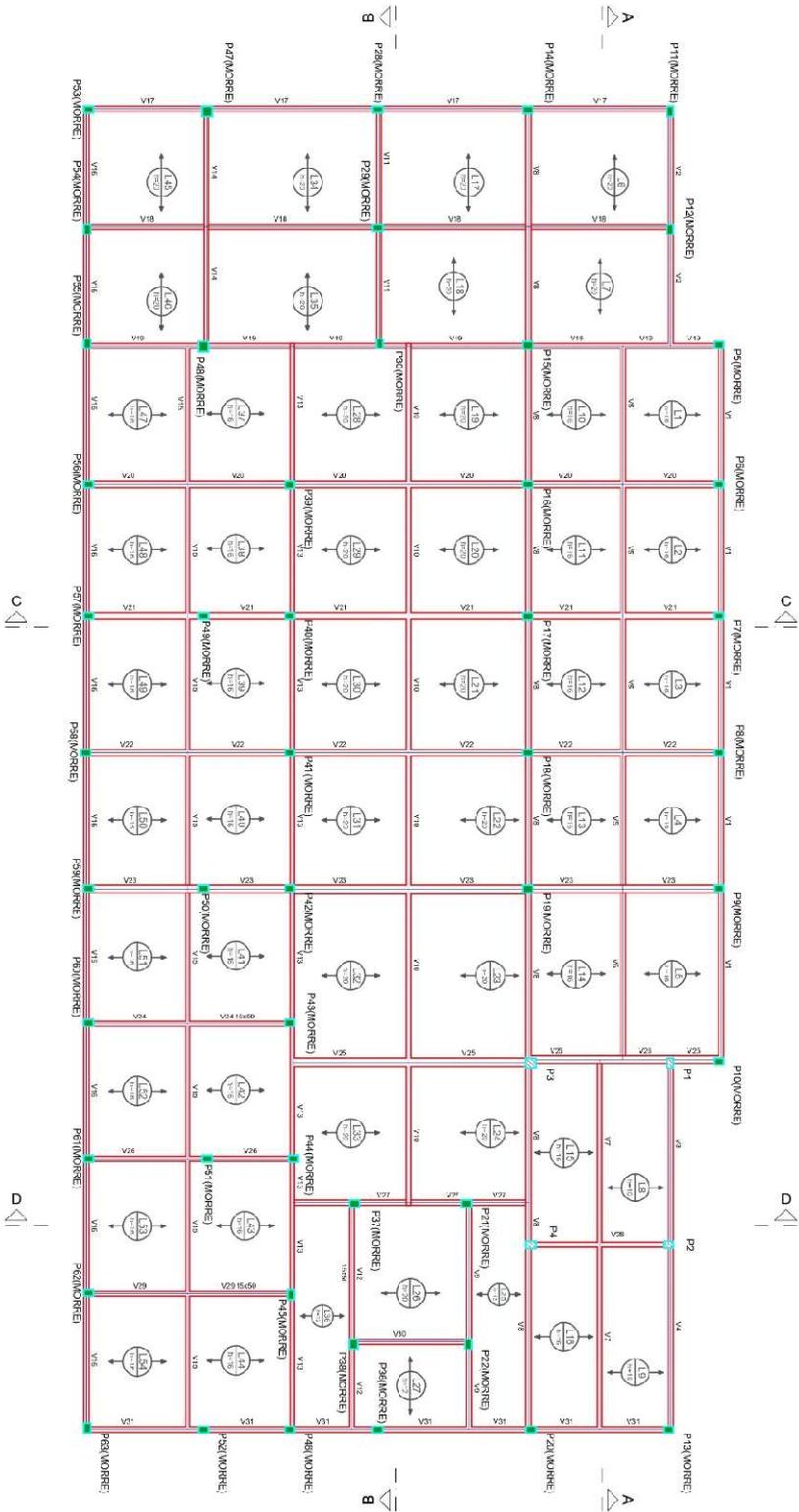
Fôrma do pavimento Térreo (+0.30) (Nível 0)

escala: 1:50



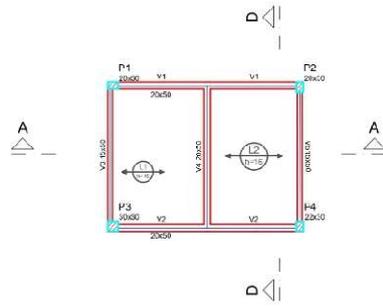
Fôrma do pavimento Superior (+3.45) (Nível 315)

escala 1/25



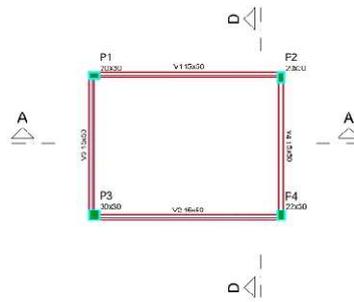
Fôrma do pavimento Coberta (+6.30) (Nível 630)

Arquit. V. S.



Fôrma do pavimento Fundo da caixa (+8.45) (Nível 845)

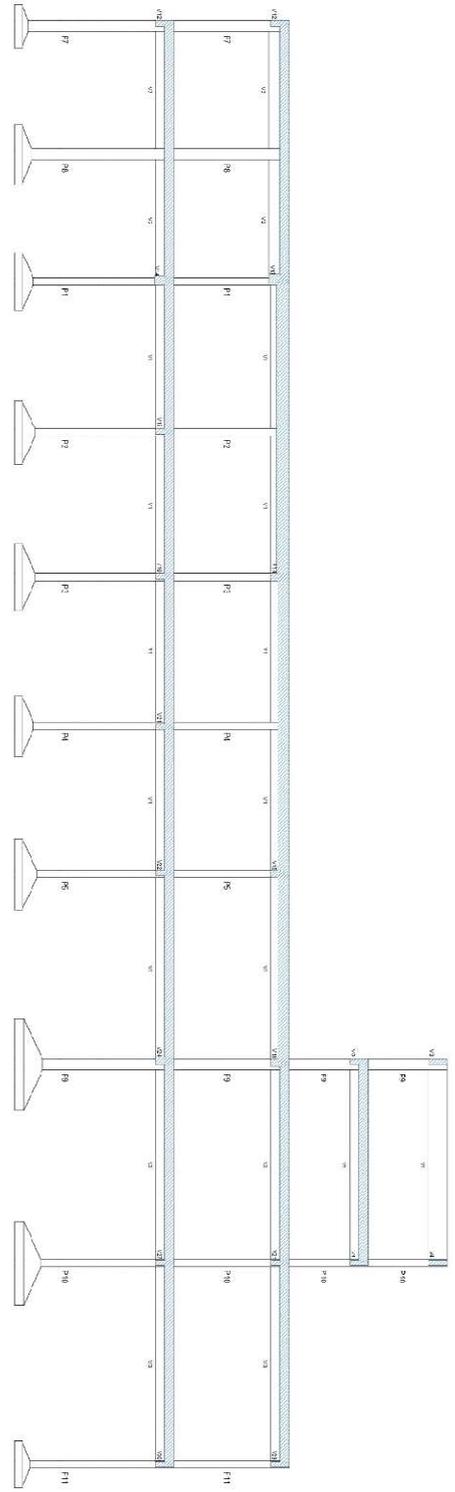
ESCALA: 1/25



Fôrma do pavimento Topo da caixa (+10.60) (Nível 1060)

ESCALA: 1/25

APÊNDICE E – CORTES (LAJE NERVURADA)



Topo da caixa (+10.60)

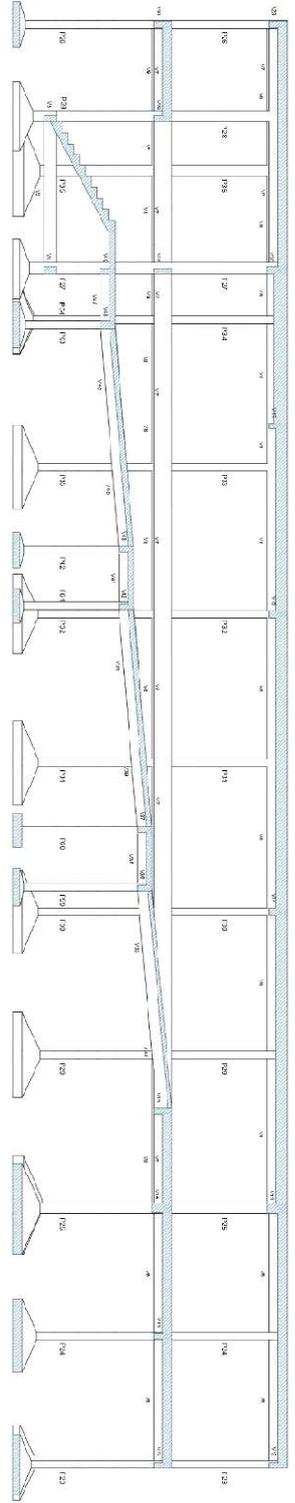
Barrilete (-6.45)

Coberta (-6.30)

Superior (-3.45)

Terreno (-0.30)

Corte A-A
1:50

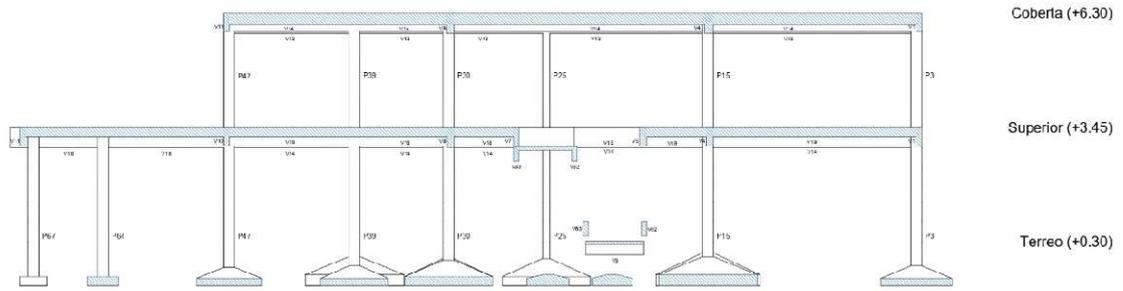


Coberta (+6.30)

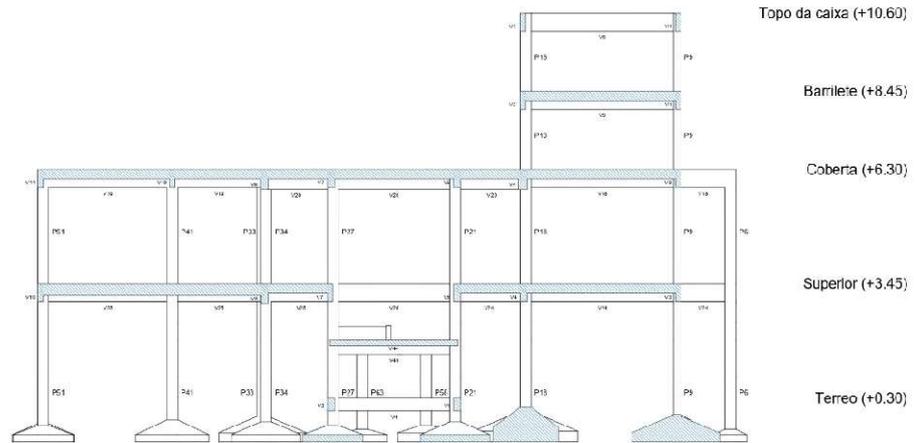
Superior (+3.45)

Terreno (0.30)

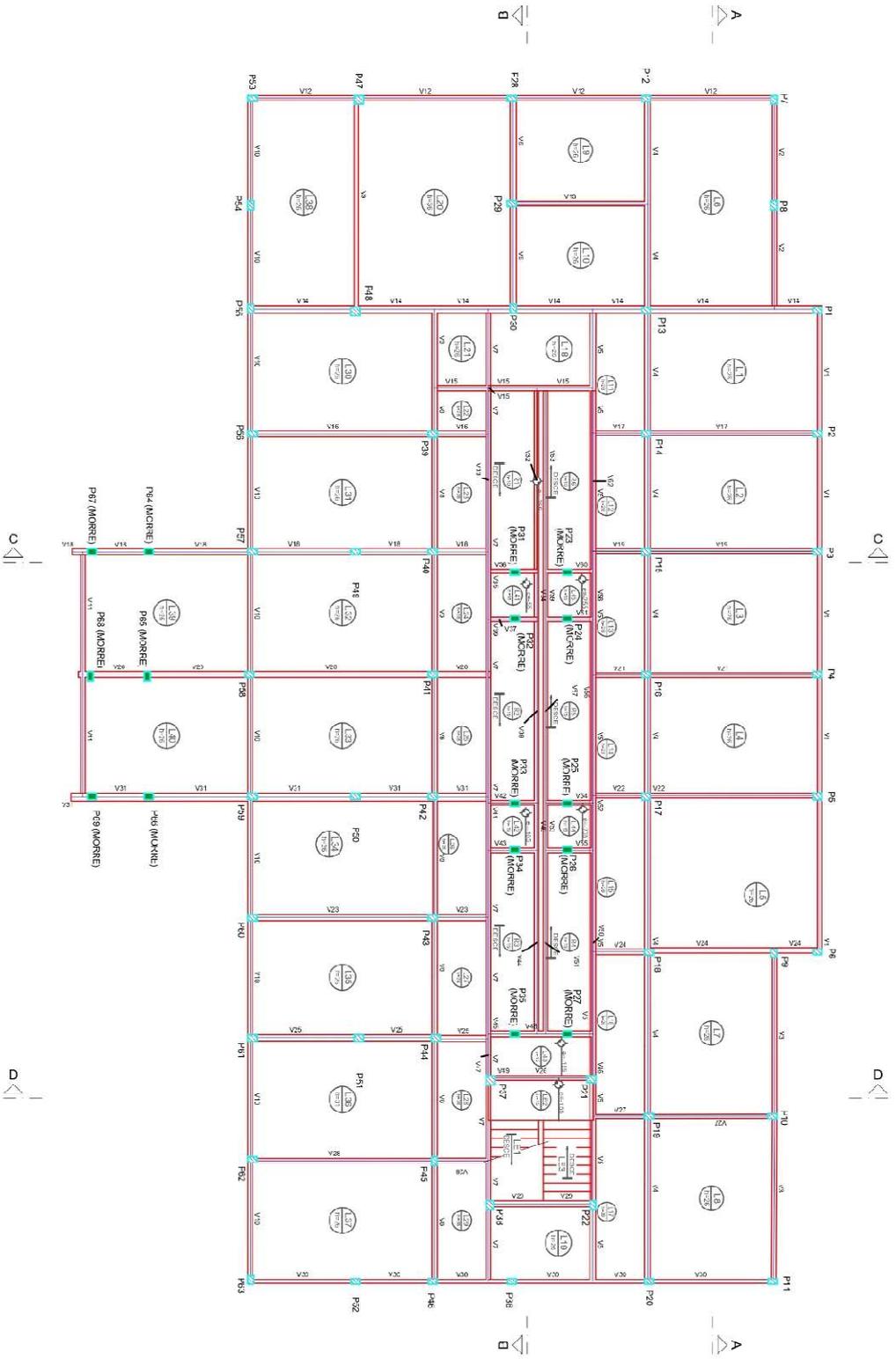
Corte B-B
1:50



Corte C-C
escala 1:50

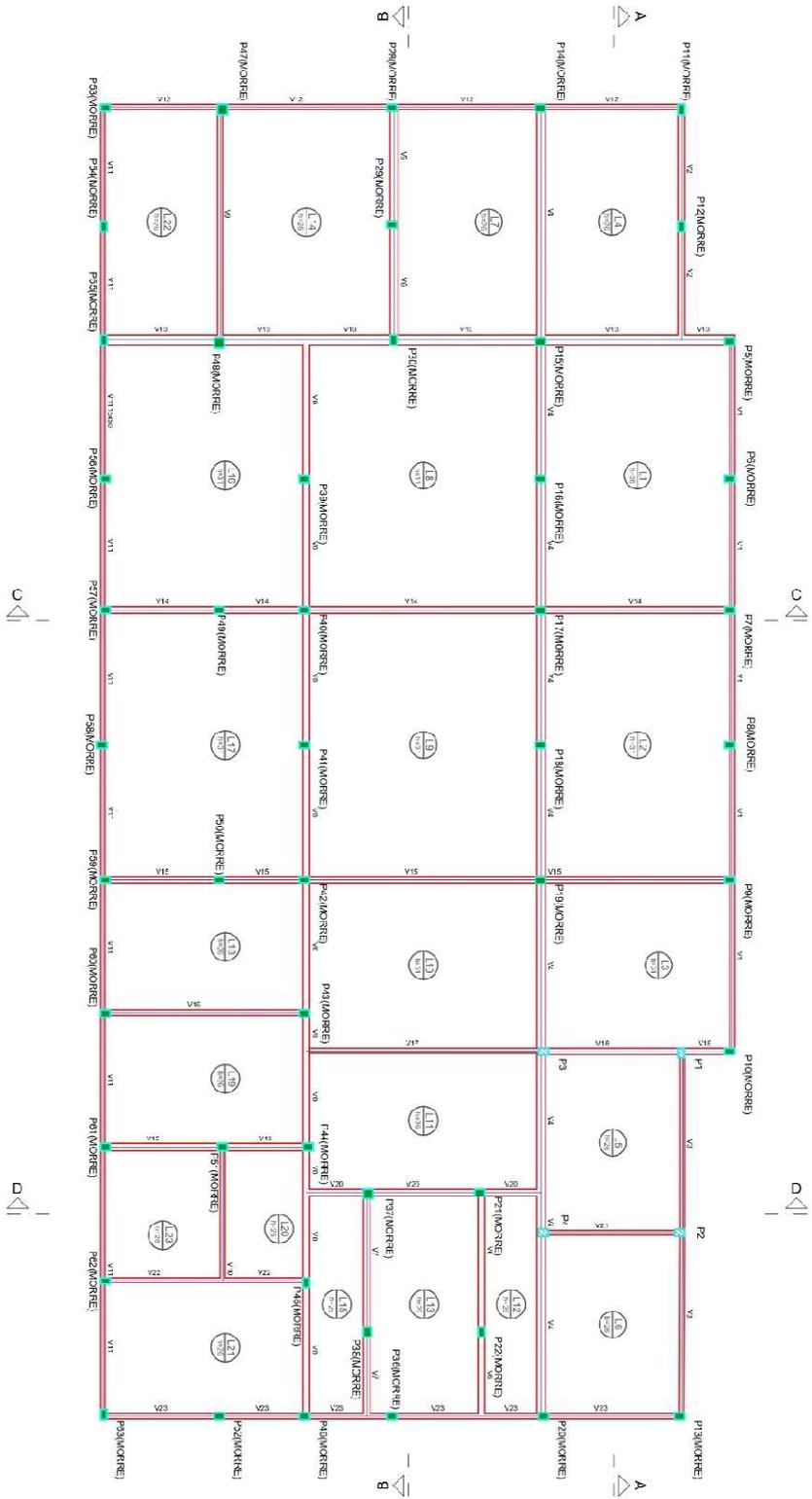


Corte D-D
escala 1:50



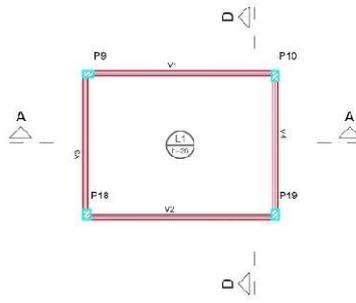
Fôrma do pavimento Superior (+3.45) (Nível 315)

MARÇO 1976

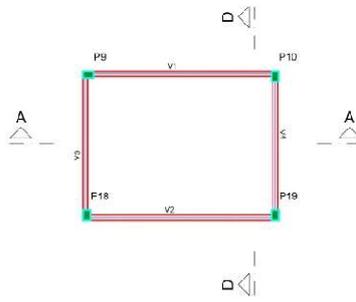


Fôrma do pavimento Coberta (+6.30) (Nível 630)

escala: 1/50



Fôrma do pavimento Fundo da caixa (+8.45) (Nível 845)



Fôrma do pavimento Topo da caixa (+10.60) (Nível 1060)

APÊNDICE G – DIMENSÕES DOS ELEMENTOS

MACIÇA	PILARES	DIMENSÃO
	P1 A P11, P14, P16, P20, P22 A P36, P40 A P46, P49 A P69	20X30
	P12, P13, P15, P17, P18, P19, P21, P37, P39	22X30
	P38	25X30
	P47, P48	30X30
	VIGAS PAVIMENTO SUPERIOR	DIMENSÃO
	V1 A V4, V6 A V12, V14, V16, V18 A V20, V22, V23, V25 A V30	15X50
	V5, V15, V21, V24	20X50
	V13	25X55
	V17, V21	20X55
	V17	22X50
	V31 A V46, V48 A V62	15X40
	V47	20X40
	VIGAS PAVIMENTO COBERTA	DIMENSÃO
	V1 A V12, V17, V19 A V24	15X50
	V13 A V16, V18	20X50
	VIGAS PAVIMENTO FUNDO DA CAIXA	DIMENSÃO
	V1 A V4	15X50
	LAJES PAVIMENTO SUPERIOR	DIMENSÃO
	L1 A L9, L19, LE2, L29 A L44	15
	L10 A L18, R1 A R6, L20 A L28	10
	LAJES PAVIMENTO COBERTA	DIMENSÃO
	L1 A L28	15
	LAJES PAVIMENTO FUNDO DA CAIXA	DIMENSÃO
L1	15	

TRELIÇADA	PILARES	DIMENSÃO
	P1, P2, P5 A P13, P16, P18, P20, P22 A P36, P40 A P44, P46, P49 A P69	20X30
	P4, P14, P15, P17, P19, P21, P37, P39, P45	22X30
	P38	25X30
	P3, P47, P48	30X30
	VIGAS PAVIMENTO SUPERIOR	DIMENSÃO
	V1 A V4, V6, V7, V9 A V17, V19, V21, V23 A V25, V27, V28, V30 A V35	15X50
	V5, V8, V20, V26, V29	20X50
	V18	25X55
	V20, V22, V26	20X55
	V22	22X50
	V36 A V51, V53 A V67	15X40
	V52	20X40
	VIGAS PAVIMENTO COBERTA	DIMENSÃO
	V1 A V7, V9, V11, V12, V15 A V19, V24, V27 A V31	15X50
	V8, V10, V13, V14	15X60
	V20, V21, V22	20X50
	V20, V21, V22	20X60
	V23, V25	22X60
	V23, V25	25X60
	VIGAS PAVIMENTO FUNDO DA CAIXA	DIMENSÃO
	V3, V5	15X50
	V1, V2, V4	20X50
	VIGAS PAVIMENTO TOPO DA CAIXA	DIMENSÃO
	V1 A V4	15X50
	LAJES PAVIMENTO SUPERIOR	DIMENSÃO
	L19 A L23, L26, L27, L30 A L38	12
	L1 A L5, L10, L11, L13, L14, L24, L25, L39 A L46, L49 A L56	16
	L6 A L9, L12, L15 A L18, L28, L29, L47, L48, L57, L58	20
	LAJES PAVIMENTO COBERTA	DIMENSÃO
	L25, L27, L36	12
	L1 A L5, L8 A L16, L37 A L44, L47 A L54	16
L6, L7, L17 A L24, L26, L28 A L35, L45, L46	20	
LAJES PAVIMENTO FUNDO DA CAIXA	DIMENSÃO	
L1, L2	16	

NERVURADA	PILARES	DIMENSÃO
	P1 A P11, P14, P16, P20, P22 A P36, P40 A P43, P45, P46, P49, P50, P52 A P60, P62 A P69	20X30
	P12, P13, P15, P17, P18, P19, P21, P39, P44, P51, P61	22X30
	P38	25X30
	P37, P47, P48	30X30
	VIGAS PAVIMENTO SUPERIOR	DIMENSÃO
	V1 A V3, V7, V9 A V13, V15, V17, V19, V21, V22, V26 A V28, V30	15X50
	V4 A V6, V16, V20, V23 A V25, V29	20X50
	V18	20X55
	V18	22X50
	V8	18x55
	V8	15x55
	V31	25X50
	V14, V31	25x55
	V32 A V47, V49 A V63	15x40
	V48	20X40
	VIGAS PAVIMENTO COBERTA	DIMENSÃO
	V1,V3, V9, V12, V16, V17, V21 A V23	15X50
	V5, V7, V14, V15, V18	20X50
	V2, V8, V20	20X55
	V19	22X50
	V6	25X50
	V4	25X55
	V13	30X55
	VIGAS PAVIMENTO FUNDO DA CAIXA	DIMENSÃO
	V1 A V4	15X50
	VIGAS PAVIMENTO TOPO DA CAIXA	DIMENSÃO
	V1 A V4	15X50
	LAJES PAVIMENTO SUPERIOR	DIMENSÃO
	L1 A L19, L21 A L35, L37 A L40	26
	L36	31
	L20	36
	LAJES PAVIMENTO COBERTA	DIMENSÃO
	L4 A L7, L12 A L15, L18 A L23	26
	L2, L3, L8 A L10, L16, L17	31
	L1, L11	36
LAJES PAVIMENTO FUNDO DA CAIXA	DIMENSÃO	
L1	26	

APÊNDICE H – ORÇAMENTO DOS TIPOS DE LAJE

Orçamento Sintético - Maciça									
Item	Código	Banco	Descrição	Und	Quant.	Valor Unit	Valor Unit com BDI	Total	Peso (%)
1			FUNDAÇÃO		1		285.456,66	285.456,66	21,84 %
1.1			SAPATA		1		157.526,71	157.526,71	12,05 %
1.1.1	96541	SINAPI	FABRICAÇÃO, MONTAGEM E DESMONTAGEM DE FÔRMA PARA SAPATA, EM CHAPA DE MADEIRA COMPENSADA RESINADA, E=17 MM, 4 UTILIZAÇÕES. AF_01/2024	m²	110,8	151,94	193,72	21.464,17	1,64 %
1.1.2	104917	SINAPI	ARMAÇÃO DE SAPATA ISOLADA, VIGA BALDRAME E SAPATA CORRIDA UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 6,3 MM - MONTAGEM. AF_01/2024	KG	122,7	13,98	17,82	2.186,51	0,17 %
1.1.3	104918	SINAPI	ARMAÇÃO DE SAPATA ISOLADA, VIGA BALDRAME E SAPATA CORRIDA UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 8 MM - MONTAGEM. AF_01/2024	KG	193,5	13,08	16,67	3.225,64	0,25 %
1.1.4	104919	SINAPI	ARMAÇÃO DE SAPATA ISOLADA, VIGA BALDRAME E SAPATA CORRIDA UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 10 MM - MONTAGEM. AF_01/2024	KG	1011,3	11,73	14,95	15.118,93	1,16 %
1.1.5	104920	SINAPI	ARMAÇÃO DE BLOCO, SAPATA ISOLADA, VIGA BALDRAME E SAPATA CORRIDA UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 12,5 MM - MONTAGEM. AF_01/2024	KG	1399,5	9,99	12,73	17.815,63	1,36 %
1.1.6	104921	SINAPI	ARMAÇÃO DE BLOCO, SAPATA ISOLADA, VIGA BALDRAME E SAPATA CORRIDA UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 16 MM - MONTAGEM. AF_01/2024	KG	69,3	9,47	12,07	836,45	0,06 %
1.1.7	94968	SINAPI	CONCRETO MAGRO PARA LASTRO, TRAÇO 1:4,5:4,5 (EM MASSA SECA DE CIMENTO/ AREIA MÉDIA/ BRITA 1) - PREPARO MECÂNICO COM BETONEIRA 600 L. AF_05/2021	m³	19,9	365,71	466,28	9.278,97	0,71 %
1.1.8	00001	Próprio	CONCRETAGEM DE SAPATA, FCK 25 MPA, COM USO DE BOMBA - LANÇAMENTO, ADENSAMENTO E ACABAMENTO,	m³	86,9	790,64	1.008,06	87.600,41	6,70 %
1.2			FUNDAÇÃO EM CONCRETO CICLÓPICO		1		127.929,95	127.929,95	9,79 %
1.2.1	103800	SINAPI	PEDRA ARGAMASSADA COM CIMENTO E AREIA 1:3, 40% DE ARGAMASSA EM VOLUME - AREIA E PEDRA DE MÃO COMERCIAIS - FORNECIMENTO E ASSENTAMENTO. AF_08/2022	m³	140	459,80	586,24	82.073,60	6,28 %
1.2.2	101166	SINAPI	ALVENARIA DE EMBASAMENTO COM BLOCO ESTRUTURAL DE CERÂMICA, DE 14X19X29CM E ARGAMASSA DE ASSENTAMENTO COM PREPARO EM BETONEIRA. AF_05/2020	m³	11,6	572,09	729,41	8.461,15	0,65 %
1.2.3	96545	SINAPI	ARMAÇÃO DE BLOCO UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 8 MM - MONTAGEM. AF_01/2024	KG	611	14,51	18,50	11.303,50	0,86 %
1.2.4	96542	SINAPI	FABRICAÇÃO, MONTAGEM E DESMONTAGEM DE FÔRMA PARA VIGA BALDRAME, EM CHAPA DE MADEIRA COMPENSADA RESINADA, E=17 MM, 4 UTILIZAÇÕES. AF_01/2024	m²	116	79,79	101,73	11.800,68	0,90 %
1.2.5	00002	Próprio	CONCRETAGEM DE BLOCO DE COROAMENTO OU VIGA BALDRAME, FCK 25MPA, COM USO DE BOMBA - LANÇAMENTO, ADENSAMENTO E ACABAMENTO.	m³	11,6	759,89	968,85	11.238,66	0,86 %
1.2.6	96543	SINAPI	ARMAÇÃO DE BLOCO UTILIZANDO AÇO CA-60 DE 5 MM - MONTAGEM. AF_01/2024	KG	137	17,48	22,28	3.052,36	0,23 %
2			SUPERESTRUTURA		1		1.021.569,90	1.021.569,90	78,16 %
2.1			VIGAS		1		457.781,65	457.781,65	35,02 %
2.1.1	92464	SINAPI	MONTAGEM E DESMONTAGEM DE FÔRMA DE VIGA, ESCORAMENTO METÁLICO, PÉ-DIREITO SIMPLES, EM CHAPA DE MADEIRA RESINADA, 8 UTILIZAÇÕES. AF_09/2020	m²	829,9	97,93	124,86	103.621,31	7,93 %
2.1.2	92759	SINAPI	ARMAÇÃO DE PILAR OU VIGA DE ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-60 DE 5,0 MM - MONTAGEM. AF_06/2022	KG	191,8	12,76	16,26	3.118,66	0,24 %
2.1.3	92760	SINAPI	ARMAÇÃO DE PILAR OU VIGA DE ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 6,3 MM - MONTAGEM. AF_06/2022	KG	1392,5	12,18	15,52	21.611,60	1,65 %
2.1.4	92761	SINAPI	ARMAÇÃO DE PILAR OU VIGA DE ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 8,0 MM - MONTAGEM. AF_06/2022	KG	336,6	11,55	14,72	4.954,75	0,38 %
2.1.5	92762	SINAPI	ARMAÇÃO DE PILAR OU VIGA DE ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 10,0 MM - MONTAGEM. AF_06/2022	KG	105,9	10,36	13,20	1.397,88	0,11 %
2.1.6	92763	SINAPI	ARMAÇÃO DE PILAR OU VIGA DE ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 12,5 MM - MONTAGEM. AF_06/2022	KG	411	8,76	11,16	4.586,76	0,35 %
2.1.7	92764	SINAPI	ARMAÇÃO DE PILAR OU VIGA DE ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 16,0 MM - MONTAGEM. AF_06/2022	KG	982	8,50	10,83	10.635,06	0,81 %
2.1.8	92765	SINAPI	ARMAÇÃO DE PILAR OU VIGA DE ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 20,0 MM - MONTAGEM. AF_06/2022	KG	19786,1	9,70	12,36	244.556,19	18,71 %
2.1.9	103675	SINAPI	CONCRETAGEM DE VIGAS E LAJES, FCK=25 MPA, PARA LAJES MACIÇAS OU NERVURADAS COM USO DE BOMBA - LANÇAMENTO, ADENSAMENTO E ACABAMENTO. AF_02/2022_PS	m³	70,8	701,23	894,06	63.299,44	4,84 %

2.2			PILARES		1		101.682,87	101.682,87	7,78 %
2.2.1	92427	SINAPI	MONTAGEM E DESMONTAGEM DE FÔRMA DE PILARES RETANGULARES E ESTRUTURAS SIMILARES, PÉ-DIREITO SIMPLES, EM CHAPA DE MADEIRA COMPENSADA RESINADA, 8 UTILIZAÇÕES. AF_09/2020	m²	434,6	53,59	68,32	29.691,87	2,27 %
2.2.2	92759	SINAPI	ARMAÇÃO DE PILAR OU VIGA DE ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-60 DE 5,0 MM - MONTAGEM. AF_06/2022	KG	480,4	12,76	16,26	7.811,30	0,60 %
2.2.3	92762	SINAPI	ARMAÇÃO DE PILAR OU VIGA DE ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 10,0 MM - MONTAGEM. AF_06/2022	KG	1294,9	10,36	13,20	17.092,68	1,31 %
2.2.4	92763	SINAPI	ARMAÇÃO DE PILAR OU VIGA DE ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 12,5 MM - MONTAGEM. AF_06/2022	KG	488,6	8,76	11,16	5.452,77	0,42 %
2.2.5	92764	SINAPI	ARMAÇÃO DE PILAR OU VIGA DE ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 16,0 MM - MONTAGEM. AF_06/2022	KG	1027,7	8,50	10,83	11.129,99	0,85 %
2.2.6	92765	SINAPI	ARMAÇÃO DE PILAR OU VIGA DE ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 20,0 MM - MONTAGEM. AF_06/2022	KG	552,5	9,70	12,36	6.828,90	0,52 %
2.2.7	103672	SINAPI	CONCRETAGEM DE PILARES, FCK = 25 MPA, COM USO DE BOMBA - LANÇAMENTO, ADENSAMENTO E ACABAMENTO. AF_02/2022_PS	m³	26,5	700,72	893,41	23.675,36	1,81 %
2.3			LAJES		1		446.454,99	446.454,99	34,16 %
2.3.1	103763	SINAPI	MONTAGEM E DESMONTAGEM DE FÔRMA DE LAJE MACIÇA, PÉ-DIREITO SIMPLES, EM CHAPA DE MADEIRA COMPENSADA RESINADA E CIMBRAMENTO DE MADEIRA, 8 UTILIZAÇÕES. AF_03/2022	m²	1390,8	52,06	66,37	92.307,39	7,06 %
2.3.2	92768	SINAPI	ARMAÇÃO DE LAJE DE ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-60 DE 5,0 MM - MONTAGEM. AF_06/2022	KG	2407,2	12,37	15,77	37.961,54	2,90 %
2.3.3	92769	SINAPI	ARMAÇÃO DE LAJE DE ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 6,3 MM - MONTAGEM. AF_06/2022	KG	2017,4	11,78	15,01	30.281,17	2,32 %
2.3.4	92770	SINAPI	ARMAÇÃO DE LAJE DE ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 8,0 MM - MONTAGEM. AF_06/2022	KG	4065,1	11,15	14,21	57.765,07	4,42 %
2.3.5	92771	SINAPI	ARMAÇÃO DE LAJE DE ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 10,0 MM - MONTAGEM. AF_06/2022	KG	2612,9	9,98	12,72	33.236,08	2,54 %
2.3.6	92772	SINAPI	ARMAÇÃO DE LAJE DE ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 12,5 MM - MONTAGEM. AF_06/2022	KG	1209,5	8,43	10,74	12.990,03	0,99 %
2.3.7	92773	SINAPI	ARMAÇÃO DE LAJE DE ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 16,0 MM - MONTAGEM. AF_06/2022	KG	327,9	8,28	10,55	3.459,34	0,26 %
2.3.8	103675	SINAPI	CONCRETAGEM DE VIGAS E LAJES, FCK=25 MPA, PARA LAJES MACIÇAS OU NERVURADAS COM USO DE BOMBA - LANÇAMENTO, ADENSAMENTO E ACABAMENTO. AF_02/2022_PS	m³	199,6	701,23	894,06	178.454,37	13,65 %
2.4			ESCADAS		1		15.650,39	15.650,39	1,20 %
2.4.1	101980	SINAPI	MONTAGEM E DESMONTAGEM DE FÔRMA PARA ESCADAS, COM 2 LANCES EM "U" E LAJE PLANA, EM CHAPA DE MADEIRA COMPENSADA RESINADA, 4 UTILIZAÇÕES. AF_11/2020	m²	24,5	250,22	319,03	7.816,23	0,60 %
2.4.2	95943	SINAPI	ARMAÇÃO DE ESCADA, DE UMA ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-60 DE 5,0 MM - MONTAGEM. AF_11/2020	KG	16,8	19,27	24,56	412,60	0,03 %
2.4.3	95944	SINAPI	ARMAÇÃO DE ESCADA, DE UMA ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 6,3 MM - MONTAGEM. AF_11/2020	KG	18,7	17,67	22,52	421,12	0,03 %
2.4.4	95945	SINAPI	ARMAÇÃO DE ESCADA, DE UMA ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 8,0 MM - MONTAGEM. AF_11/2020	KG	39,9	14,53	18,52	738,94	0,06 %
2.4.5	95946	SINAPI	ARMAÇÃO DE ESCADA, DE UMA ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 10,0 MM - MONTAGEM. AF_11/2020	KG	245,4	11,73	14,95	3.668,73	0,28 %
2.4.6	103675	SINAPI	CONCRETAGEM DE VIGAS E LAJES, FCK=25 MPA, PARA LAJES MACIÇAS OU NERVURADAS COM USO DE BOMBA - LANÇAMENTO, ADENSAMENTO E ACABAMENTO. AF_02/2022_PS	m³	2,9	701,23	894,06	2.592,77	0,20 %

Total sem BDI 1.025.370,67
Total do BDI 281.655,89
Total Geral 1.307.026,56

Orçamento Sintético - Treliçada

Item	Código	Banco	Descrição	Und	Quant.	Valor Unit	Valor Unit com BDI	Total	Peso (%)
1			FUNDAÇÃO		1		256.960,60	256.960,60	27,73 %
1.1			SAPATA		1		129.030,65	129.030,65	13,93 %
1.1.1	96541	SINAPI	FABRICAÇÃO, MONTAGEM E DESMONTAGEM DE FÔRMA PARA SAPATA, EM CHAPA DE MADEIRA COMPENSADA RESINADA, E=17 MM, 4 UTILIZAÇÕES. AF_01/2024	m²	98,2	151,94	193,72	19.023,30	2,05 %
1.1.2	104917	SINAPI	ARMAÇÃO DE SAPATA ISOLADA, VIGA BALDRAME E SAPATA CORRIDA UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 6,3 MM - MONTAGEM. AF_01/2024	KG	136,8	13,98	17,82	2.437,77	0,26 %
1.1.3	104918	SINAPI	ARMAÇÃO DE SAPATA ISOLADA, VIGA BALDRAME E SAPATA CORRIDA UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 8 MM - MONTAGEM. AF_01/2024	KG	235,1	13,08	16,67	3.919,11	0,42 %
1.1.4	104919	SINAPI	ARMAÇÃO DE SAPATA ISOLADA, VIGA BALDRAME E SAPATA CORRIDA UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 10 MM - MONTAGEM. AF_01/2024	KG	1062,2	11,73	14,95	15.879,89	1,71 %
1.1.5	104920	SINAPI	ARMAÇÃO DE BLOCO, SAPATA ISOLADA, VIGA BALDRAME E SAPATA CORRIDA UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 12,5 MM - MONTAGEM. AF_01/2024	KG	753,9	9,99	12,73	9.597,14	1,04 %
1.1.6	94968	SINAPI	CONCRETO MAGRO PARA LASTRO, TRAÇO 1:4,5:4,5 (EM MASSA SECA DE CIMENTO/ AREIA MÉDIA/ BRITA 1) - PREPARO MECÂNICO COM BETONEIRA 600 L. AF_05/2021	m³	17,4	365,71	466,28	8.113,27	0,88 %
1.1.7	00001	Próprio	CONCRETAGEM DE SAPATA, FCK 25 MPA, COM USO DE BOMBA - LANÇAMENTO, ADENSAMENTO E ACABAMENTO,	m³	69,5	790,64	1.008,06	70.060,17	7,56 %
1.2			FUNDAÇÃO EM CONCRETO CICLÓPICO		1		127.929,95	127.929,95	13,81 %
1.2.1	103800	SINAPI	PEDRA ARGAMASSADA COM CIMENTO E AREIA 1:3, 40% DE ARGAMASSA EM VOLUME - AREIA E PEDRA DE MÃO COMERCIAIS - FORNECIMENTO E ASSENTAMENTO. AF_08/2022	m³	140	459,80	586,24	82.073,60	8,86 %
1.2.2	101166	SINAPI	ALVENARIA DE EMBASAMENTO COM BLOCO ESTRUTURAL DE CERÂMICA, DE 14X19X29CM E ARGAMASSA DE ASSENTAMENTO COM PREPARO EM BETONEIRA. AF_05/2020	m³	11,6	572,09	729,41	8.461,15	0,91 %
1.2.3	96545	SINAPI	ARMAÇÃO DE BLOCO UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 8 MM - MONTAGEM. AF_01/2024	KG	611	14,51	18,50	11.303,50	1,22 %
1.2.4	96542	SINAPI	FABRICAÇÃO, MONTAGEM E DESMONTAGEM DE FÔRMA PARA VIGA BALDRAME, EM CHAPA DE MADEIRA COMPENSADA RESINADA, E=17 MM, 4 UTILIZAÇÕES. AF_01/2024	m²	116	79,79	101,73	11.800,68	1,27 %
1.2.5	00002	Próprio	CONCRETAGEM DE BLOCO DE COROAMENTO OU VIGA BALDRAME, FCK 25MPA, COM USO DE BOMBA - LANÇAMENTO, ADENSAMENTO E ACABAMENTO.	m³	11,6	759,89	968,85	11.238,66	1,21 %
1.2.6	96543	SINAPI	ARMAÇÃO DE BLOCO UTILIZANDO AÇO CA-60 DE 5 MM - MONTAGEM. AF_01/2024	KG	137	17,48	22,28	3.052,36	0,33 %
2			SUPERESTRUTURA		1		669.580,31	669.580,31	72,27 %
2.1			VIGAS		1		279.039,47	279.039,47	30,12 %
2.1.1	92267	SINAPI	FABRICAÇÃO DE FÔRMA PARA LAJES, EM CHAPA DE MADEIRA COMPENSADA RESINADA, E = 17 MM. AF_09/2020	m²	988,4	29,65	37,80	37.361,52	4,03 %
2.1.2	92759	SINAPI	ARMAÇÃO DE PILAR OU VIGA DE ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-60 DE 5,0 MM - MONTAGEM. AF_06/2022	KG	810,8	12,76	16,26	13.183,60	1,42 %
2.1.3	92760	SINAPI	ARMAÇÃO DE PILAR OU VIGA DE ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 6,3 MM - MONTAGEM. AF_06/2022	KG	843,1	12,18	15,52	13.084,91	1,41 %
2.1.4	92761	SINAPI	ARMAÇÃO DE PILAR OU VIGA DE ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 8,0 MM - MONTAGEM. AF_06/2022	KG	192,2	11,55	14,72	2.829,18	0,31 %
2.1.5	92762	SINAPI	ARMAÇÃO DE PILAR OU VIGA DE ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 10,0 MM - MONTAGEM. AF_06/2022	KG	621,4	10,36	13,20	8.202,48	0,89 %
2.1.6	92763	SINAPI	ARMAÇÃO DE PILAR OU VIGA DE ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 12,5 MM - MONTAGEM. AF_06/2022	KG	695	8,76	11,16	7.756,20	0,84 %
2.1.7	92764	SINAPI	ARMAÇÃO DE PILAR OU VIGA DE ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 16,0 MM - MONTAGEM. AF_06/2022	KG	3856,5	8,50	10,83	41.765,89	4,51 %
2.1.8	92765	SINAPI	ARMAÇÃO DE PILAR OU VIGA DE ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 20,0 MM - MONTAGEM. AF_06/2022	KG	6054,8	9,70	12,36	74.837,32	8,08 %
2.1.9	103675	SINAPI	CONCRETAGEM DE VIGAS E LAJES, FCK=25 MPA, PARA LAJES MACIÇAS OU NERVURADAS COM USO DE BOMBA - LANÇAMENTO, ADENSAMENTO E ACABAMENTO. AF_02/2022_PS	m³	89,5	701,23	894,06	80.018,37	8,64 %

2.2			PILARES		1		98.771,50	98.771,50	10,66 %
2.2.1	92427	SINAPI	MONTAGEM E DESMONTAGEM DE FÔRMA DE PILARES RETANGULARES E ESTRUTURAS SIMILARES, PÉ-DIREITO SIMPLES, EM CHAPA DE MADEIRA COMPENSADA RESINADA, 8 UTILIZAÇÕES. AF_09/2020	m²	442,4	53,59	68,32	30.224,76	3,26 %
2.2.2	92759	SINAPI	ARMAÇÃO DE PILAR OU VIGA DE ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-60 DE 5,0 MM - MONTAGEM. AF_06/2022	KG	496,7	12,76	16,26	8.076,34	0,87 %
2.2.3	92760	SINAPI	ARMAÇÃO DE PILAR OU VIGA DE ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 6,3 MM - MONTAGEM. AF_06/2022	KG	18,5	12,18	15,52	287,12	0,03 %
2.2.4	92762	SINAPI	ARMAÇÃO DE PILAR OU VIGA DE ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 10,0 MM - MONTAGEM. AF_06/2022	KG	1502,9	10,36	13,20	19.838,28	2,14 %
2.2.5	92763	SINAPI	ARMAÇÃO DE PILAR OU VIGA DE ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 12,5 MM - MONTAGEM. AF_06/2022	KG	425,6	8,76	11,16	4.749,69	0,51 %
2.2.6	92764	SINAPI	ARMAÇÃO DE PILAR OU VIGA DE ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 16,0 MM - MONTAGEM. AF_06/2022	KG	821	8,50	10,83	8.891,43	0,96 %
2.2.7	92765	SINAPI	ARMAÇÃO DE PILAR OU VIGA DE ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 20,0 MM - MONTAGEM. AF_06/2022	KG	187,2	9,70	12,36	2.313,79	0,25 %
2.2.8	103672	SINAPI	CONCRETAGEM DE PILARES, FCK = 25 MPA, COM USO DE BOMBA - LANÇAMENTO, ADENSAMENTO E ACABAMENTO. AF_02/2022_PS	m³	27,3	700,72	893,41	24.390,09	2,63 %
2.3			LAJES		1		277.042,09	277.042,09	29,90 %
2.3.1	103763	SINAPI	MONTAGEM E DESMONTAGEM DE FÔRMA DE LAJE MACIÇA, PÉ-DIREITO SIMPLES, EM CHAPA DE MADEIRA COMPENSADA RESINADA E CIMBRAMENTO DE MADEIRA, 8 UTILIZAÇÕES. AF_03/2022	m²	65,3	52,06	66,37	4.333,96	0,47 %
2.3.2	92768	SINAPI	ARMAÇÃO DE LAJE DE ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-60 DE 5,0 MM - MONTAGEM. AF_06/2022	KG	27,7	12,37	15,77	436,82	0,05 %
2.3.3	92769	SINAPI	ARMAÇÃO DE LAJE DE ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 6,3 MM - MONTAGEM. AF_06/2022	KG	161,5	11,78	15,01	2.424,11	0,26 %
2.3.4	92770	SINAPI	ARMAÇÃO DE LAJE DE ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 8,0 MM - MONTAGEM. AF_06/2022	KG	68,2	11,15	14,21	969,12	0,10 %
2.3.5	92771	SINAPI	ARMAÇÃO DE LAJE DE ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 10,0 MM - MONTAGEM. AF_06/2022	KG	56,2	9,98	12,72	714,86	0,08 %
2.3.6	7393	ORSE	Laje pré-fabricada treliçada para piso ou cobertura, intereixo 38cm, h=12cm, el. enchimento em EPS h=8cm, inclusive escoramento em madeira e capeamento 4cm.	m²	153	160,22	204,28	31.254,84	3,37 %
2.3.7	7823	ORSE	Laje pré-fabricada treliçada para piso ou cobertura, intereixo 38cm, h=16cm, el. enchimento em EPS h=12cm, inclusive escoramento em madeira e capeamento 4cm.	m²	329,25	220,56	281,21	92.588,39	9,99 %
2.3.8	9458	ORSE	Laje pré-fabricada treliçada para piso ou cobertura, intereixo 38cm, h=21cm, el. enchimento em EPS h=16cm, inclusive escoramento em madeira e capeamento 4cm.	m²	436,5	259,32	330,63	144.319,99	15,58 %
2.4			ESCADAS		1		14.727,25	14.727,25	1,59 %
2.4.1	101980	SINAPI	MONTAGEM E DESMONTAGEM DE FÔRMA PARA ESCADAS, COM 2 LANCES EM "U" E LAJE PLANA, EM CHAPA DE MADEIRA COMPENSADA RESINADA, 4 UTILIZAÇÕES. AF_11/2020	m²	24,5	250,22	319,03	7.816,23	0,84 %
2.4.2	95944	SINAPI	ARMAÇÃO DE ESCADA, DE UMA ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 6,3 MM - MONTAGEM. AF_11/2020	KG	17,3	17,67	22,52	389,59	0,04 %
2.4.3	95945	SINAPI	ARMAÇÃO DE ESCADA, DE UMA ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 8,0 MM - MONTAGEM. AF_11/2020	KG	144	14,53	18,52	2.666,88	0,29 %
2.4.4	95946	SINAPI	ARMAÇÃO DE ESCADA, DE UMA ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 10,0 MM - MONTAGEM. AF_11/2020	KG	84,4	11,73	14,95	1.261,78	0,14 %
2.4.5	103675	SINAPI	CONCRETAGEM DE VIGAS E LAJES, FCK=25 MPA, PARA LAJES MACIÇAS OU NERVURADAS COM USO DE BOMBA - LANÇAMENTO, ADENSAMENTO E ACABAMENTO. AF_02/2022_PS	m³	2,9	701,23	894,06	2.592,77	0,28 %

Total sem BDI 726.827,25
Total do BDI 199.713,66
Total Geral 926.540,91

Orçamento Sintético - Nervurada

Item	Código	Banco	Descrição	Und	Quant.	Valor Unit	Valor Unit com BDI	Total	Peso (%)
1			FUNDAÇÃO		1		272.962,83	272.962,83	24,32 %
1.1			SAPATA		1		145.032,88	145.032,88	12,92 %
1.1.1	96541	SINAPI	FABRICAÇÃO, MONTAGEM E DESMONTAGEM DE FÔRMA PARA SAPATA, EM CHAPA DE MADEIRA COMPENSADA RESINADA, E=17 MM, 4 UTILIZAÇÕES. AF_01/2024	m²	104,3	151,94	193,72	20.204,99	1,80 %
1.1.2	104917	SINAPI	ARMAÇÃO DE SAPATA ISOLADA, VIGA BALDRAME E SAPATA CORRIDA UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 6,3 MM - MONTAGEM. AF_01/2024	KG	115,4	13,98	17,82	2.056,42	0,18 %
1.1.3	104918	SINAPI	ARMAÇÃO DE SAPATA ISOLADA, VIGA BALDRAME E SAPATA CORRIDA UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 8 MM - MONTAGEM. AF_01/2024	KG	221,2	13,08	16,67	3.687,40	0,33 %
1.1.4	104919	SINAPI	ARMAÇÃO DE SAPATA ISOLADA, VIGA BALDRAME E SAPATA CORRIDA UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 10 MM - MONTAGEM. AF_01/2024	KG	862,7	11,73	14,95	12.897,36	1,15 %
1.1.5	104920	SINAPI	ARMAÇÃO DE BLOCO, SAPATA ISOLADA, VIGA BALDRAME E SAPATA CORRIDA UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 12,5 MM - MONTAGEM. AF_01/2024	KG	1339,1	9,99	12,73	17.046,74	1,52 %
1.1.6	94968	SINAPI	CONCRETO MAGRO PARA LASTRO, TRAÇO 1:4,5:4,5 (EM MASSA SECA DE CIMENTO/ AREIA MÉDIA/ BRITA 1) - PREPARO MECÂNICO COM BETONEIRA 600 L. AF_05/2021	m³	19,3	365,71	466,28	8.999,20	0,80 %
1.1.7	00001	Próprio	CONCRETAGEM DE SAPATA, FCK 25 MPA, COM USO DE BOMBA - LANÇAMENTO, ADENSAMENTO E ACABAMENTO,	m³	79,5	790,64	1.008,06	80.140,77	7,14 %
1.2			FUNDAÇÃO EM CONCRETO CICLÓPICO		1		127.929,95	127.929,95	11,40 %
1.2.1	103800	SINAPI	PEDRA ARGAMASSADA COM CIMENTO E AREIA 1:3, 40% DE ARGAMASSA EM VOLUME - AREIA E PEDRA DE MÃO COMERCIAIS - FORNECIMENTO E ASSENTAMENTO. AF_08/2022	m³	140	459,80	586,24	82.073,60	7,31 %
1.2.2	101166	SINAPI	ALVENARIA DE EMBASAMENTO COM BLOCO ESTRUTURAL DE CERÂMICA, DE 14X19X29CM E ARGAMASSA DE ASSENTAMENTO COM PREPARO EM BETONEIRA. AF_05/2020	m³	11,6	572,09	729,41	8.461,15	0,75 %
1.2.3	96545	SINAPI	ARMAÇÃO DE BLOCO UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 8 MM - MONTAGEM. AF_01/2024	KG	611	14,51	18,50	11.303,50	1,01 %
1.2.4	96542	SINAPI	FABRICAÇÃO, MONTAGEM E DESMONTAGEM DE FÔRMA PARA VIGA BALDRAME, EM CHAPA DE MADEIRA COMPENSADA RESINADA, E=17 MM, 4 UTILIZAÇÕES. AF_01/2024	m²	116	79,79	101,73	11.800,68	1,05 %
1.2.5	00002	Próprio	CONCRETAGEM DE BLOCO DE COROAMENTO OU VIGA BALDRAME, FCK 25MPA, COM USO DE BOMBA - LANÇAMENTO, ADENSAMENTO E ACABAMENTO.	m³	11,6	759,89	968,85	11.238,66	1,00 %
1.2.6	96543	SINAPI	ARMAÇÃO DE BLOCO UTILIZANDO AÇO CA-60 DE 5 MM - MONTAGEM. AF_01/2024	KG	137	17,48	22,28	3.052,36	0,27 %
2			SUPERESTRUTURA		1		849.496,64	849.496,64	75,68 %
2.1			VIGAS		1		408.787,62	408.787,62	36,42 %
2.1.1	92464	SINAPI	MONTAGEM E DESMONTAGEM DE FÔRMA DE VIGA, ESCORAMENTO METÁLICO, PÉ-DIREITO SIMPLES, EM CHAPA DE MADEIRA RESINADA, 8 UTILIZAÇÕES. AF_09/2020	m²	678,9	97,93	124,86	84.767,45	7,55 %
2.1.2	92759	SINAPI	ARMAÇÃO DE PILAR OU VIGA DE ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-60 DE 5,0 MM - MONTAGEM. AF_06/2022	KG	278,3	12,76	16,26	4.525,15	0,40 %
2.1.3	92760	SINAPI	ARMAÇÃO DE PILAR OU VIGA DE ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 6,3 MM - MONTAGEM. AF_06/2022	KG	1505,9	12,18	15,52	23.371,56	2,08 %
2.1.4	92761	SINAPI	ARMAÇÃO DE PILAR OU VIGA DE ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 8,0 MM - MONTAGEM. AF_06/2022	KG	334,8	11,55	14,72	4.928,25	0,44 %
2.1.5	92762	SINAPI	ARMAÇÃO DE PILAR OU VIGA DE ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 10,0 MM - MONTAGEM. AF_06/2022	KG	164,4	10,36	13,20	2.170,08	0,19 %
2.1.6	92763	SINAPI	ARMAÇÃO DE PILAR OU VIGA DE ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 12,5 MM - MONTAGEM. AF_06/2022	KG	421,8	8,76	11,16	4.707,28	0,42 %
2.1.7	92764	SINAPI	ARMAÇÃO DE PILAR OU VIGA DE ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 16,0 MM - MONTAGEM. AF_06/2022	KG	1071,7	8,50	10,83	11.606,51	1,03 %
2.1.8	92765	SINAPI	ARMAÇÃO DE PILAR OU VIGA DE ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 20,0 MM - MONTAGEM. AF_06/2022	KG	16487	9,70	12,36	203.779,32	18,15 %
2.1.9	103675	SINAPI	CONCRETAGEM DE VIGAS E LAJES, FCK=25 MPA, PARA LAJES MACIÇAS OU NERVURADAS COM USO DE BOMBA - LANÇAMENTO, ADENSAMENTO E ACABAMENTO. AF_02/2022_PS	m³	77,1	701,23	894,06	68.932,02	6,14 %

2.2			PILARES		1		96.786,59	96.786,59	8,62 %
2.2.1	92427	SINAPI	MONTAGEM E DESMONTAGEM DE FÔRMA DE PILARES RETANGULARES E ESTRUTURAS SIMILARES, PÉ-DIREITO SIMPLES, EM CHAPA DE MADEIRA COMPENSADA RESINADA, 8 UTILIZAÇÕES. AF_09/2020	m²	438,3	53,59	68,32	29.944,65	2,67 %
2.2.2	92759	SINAPI	ARMAÇÃO DE PILAR OU VIGA DE ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-60 DE 5,0 MM - MONTAGEM. AF_06/2022	KG	498,2	12,76	16,26	8.100,73	0,72 %
2.2.3	92762	SINAPI	ARMAÇÃO DE PILAR OU VIGA DE ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 10,0 MM - MONTAGEM. AF_06/2022	KG	1387,8	10,36	13,20	18.318,96	1,63 %
2.2.4	92763	SINAPI	ARMAÇÃO DE PILAR OU VIGA DE ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 12,5 MM - MONTAGEM. AF_06/2022	KG	530,7	8,76	11,16	5.922,61	0,53 %
2.2.5	92764	SINAPI	ARMAÇÃO DE PILAR OU VIGA DE ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 16,0 MM - MONTAGEM. AF_06/2022	KG	691,2	8,50	10,83	7.485,69	0,67 %
2.2.6	92765	SINAPI	ARMAÇÃO DE PILAR OU VIGA DE ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 20,0 MM - MONTAGEM. AF_06/2022	KG	241,2	9,70	12,36	2.981,23	0,27 %
2.2.7	103672	SINAPI	CONCRETAGEM DE PILARES, FCK = 25 MPA, COM USO DE BOMBA - LANÇAMENTO, ADENSAMENTO E ACABAMENTO. AF_02/2022_PS	m³	26,9	700,72	893,41	24.032,72	2,14 %
2.3			LAJES		1		328.004,88	328.004,88	29,22 %
2.3.1	92490	SINAPI	MONTAGEM E DESMONTAGEM DE FÔRMA DE LAJE NERVURADA COM CUBETA E ASSOALHO, PÉ-DIREITO SIMPLES, EM CHAPA DE MADEIRA COMPENSADA RESINADA, 8 UTILIZAÇÕES. AF_09/2020	m²	65,3	54,76	69,81	4.558,59	0,41 %
2.3.2	92768	SINAPI	ARMAÇÃO DE LAJE DE ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-60 DE 5,0 MM - MONTAGEM. AF_06/2022	KG	2510,1	12,37	15,77	39.584,27	3,53 %
2.3.3	92769	SINAPI	ARMAÇÃO DE LAJE DE ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 6,3 MM - MONTAGEM. AF_06/2022	KG	2157,4	11,78	15,01	32.382,57	2,88 %
2.3.4	92770	SINAPI	ARMAÇÃO DE LAJE DE ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 8,0 MM - MONTAGEM. AF_06/2022	KG	2657,8	11,15	14,21	37.767,33	3,36 %
2.3.5	92771	SINAPI	ARMAÇÃO DE LAJE DE ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 10,0 MM - MONTAGEM. AF_06/2022	KG	2311,2	9,98	12,72	29.398,46	2,62 %
2.3.6	92772	SINAPI	ARMAÇÃO DE LAJE DE ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 12,5 MM - MONTAGEM. AF_06/2022	KG	1088,9	8,43	10,74	11.694,78	1,04 %
2.3.7	92773	SINAPI	ARMAÇÃO DE LAJE DE ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 16,0 MM - MONTAGEM. AF_06/2022	KG	701,1	8,28	10,55	7.396,60	0,66 %
2.3.8	103675	SINAPI	CONCRETAGEM DE VIGAS E LAJES, FCK=25 MPA, PARA LAJES MACIÇAS OU NERVURADAS COM USO DE BOMBA - LANÇAMENTO, ADENSAMENTO E ACABAMENTO. AF_02/2022_PS	m³	184,8	701,23	894,06	165.222,28	14,72 %
2.4			ESCADAS		1		15.917,55	15.917,55	1,42 %
2.4.1	101980	SINAPI	MONTAGEM E DESMONTAGEM DE FÔRMA PARA ESCADAS, COM 2 LANCES EM "U" E LAJE PLANA, EM CHAPA DE MADEIRA COMPENSADA RESINADA, 4 UTILIZAÇÕES. AF_11/2020	m²	24,5	250,22	319,03	7.816,23	0,70 %
2.4.2	95943	SINAPI	ARMAÇÃO DE ESCADA, DE UMA ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-60 DE 5,0 MM - MONTAGEM. AF_11/2020	KG	0,5	19,27	24,56	12,28	0,00 %
2.4.3	95944	SINAPI	ARMAÇÃO DE ESCADA, DE UMA ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 6,3 MM - MONTAGEM. AF_11/2020	KG	29	17,67	22,52	653,08	0,06 %
2.4.4	95945	SINAPI	ARMAÇÃO DE ESCADA, DE UMA ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 8,0 MM - MONTAGEM. AF_11/2020	KG	13	14,53	18,52	240,76	0,02 %
2.4.5	95946	SINAPI	ARMAÇÃO DE ESCADA, DE UMA ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 10,0 MM - MONTAGEM. AF_11/2020	KG	194,7	11,73	14,95	2.910,76	0,26 %
2.4.6	95947	SINAPI	ARMAÇÃO DE ESCADA, DE UMA ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 12,5 MM - MONTAGEM. AF_11/2020	KG	46,4	9,17	11,69	542,41	0,05 %
2.4.7	95948	SINAPI	ARMAÇÃO DE ESCADA, DE UMA ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 16,0 MM - MONTAGEM. AF_11/2020	KG	110,4	8,17	10,41	1.149,26	0,10 %
2.4.8	103675	SINAPI	CONCRETAGEM DE VIGAS E LAJES, FCK=25 MPA, PARA LAJES MACIÇAS OU NERVURADAS COM USO DE BOMBA - LANÇAMENTO, ADENSAMENTO E ACABAMENTO. AF_02/2022_PS	m³	2,9	701,23	894,06	2.592,77	0,23 %

Total sem BDI 880.579,33
Total do BDI 241.880,14
Total Geral 1.122.459,47

ANEXO A – CORTES LONGITUDINAIS DO PROJETO ARQUITETÔNICO



Fonte: SUPLAN, 2024.

