



CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

MARCELLE MOREIRA DA SILVA

ESTUDO COMPARATIVO ENTRE LAJE CONVENCIONAL E LAJE
LISA PARA APLICAÇÃO EM UMA RESIDÊNCIA

BELO HORIZONTE

2026

MARCELLE MOREIRA DA SILVA

**ESTUDO COMPARATIVO ENTRE LAJE CONVENCIONAL E LAJE LISA PARA
APLICAÇÃO EM UMA RESIDÊNCIA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Programa de Graduação em Engenharia Civil do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Raphael Miranda de Souza

Belo Horizonte

2026

S586e Silva, Marcelle Moreira da
Estudo comparativo entre laje convencional e laje lisa para aplicação em uma residência / Marcelle Moreira da Silva. – 2026.
80 f. : il., gráfs, tabs.

Trabalho de conclusão de curso apresentado no curso de graduação do Programa de Graduação em Engenharia Civil.
Orientador: Raphael Miranda de Souza.
Bibliografia: f. 68-70.
Trabalho de conclusão de curso (graduação) – Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Departamento de Engenharia Civil.

1. Lajes de concreto – Método comparativo – Teses. 2. Cisalhamento – Análise – Teses. 3. Concreto Armado – Teses. 4. Custo – Teses. I. Souza, Raphael Miranda de. II. Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais. Departamento de Engenharia Civil. III. Título.

CDD 624.1834



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL - NG



FOLHA DE APROVAÇÃO DE TCC N° 15/2026 - DEC (11.56.07)

N° do Protocolo: 23062.034575/2026-44

Belo Horizonte-MG, 03 de julho de 2026.

MARCELLE MOREIRA DA SILVA

**ESTUDO COMPARATIVO ENTRE LAJE CONVENCIONAL E LAJE LISA PARA
APLICAÇÃO EM RESIDÊNCIA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, do Campus Nova Gameleira, como parte do requisito para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovado em 19 de junho de 2026.

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Raphael Miranda de Souza - Orientador
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais

Profa. Dra. Camila Lacerda Gomes
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais

Prof. Dr. Cláudio José Martins
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais

**BELO HORIZONTE
2026**

(Assinado digitalmente em 03/07/2026 18:13)
CAMILA LACERDA GOMES
PROF EN S BAS TEC TECNOLOGICO-SUBSTITUTO
DEC (11.56.07)
Matricula: ###964#8

(Assinado digitalmente em 06/07/2026 10:41)
CLAUDIO JOSE MARTINS
PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR
DEC (11.56.07)
Matricula: ###594#1

(Assinado digitalmente em 04/07/2026 10:11)
RAPHAEL MIRANDA DE SOUZA
PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO
DEC (11.56.07)
Matricula: ###873#8

(Assinado digitalmente em 03/07/2026 18:02)
MARCELLE MOREIRA DA SILVA
DISCENTE
Matricula: 2017#####9

Visualize o documento original em <https://sig.cefetmg.br/public/documentos/index.jsp> informando seu número: 15, ano: 2026, tipo: FOLHA DE APROVAÇÃO DE TCC, data de emissão: 03/07/2026 e o código de verificação: 13d426bdd6



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
Av. Amazonas, 7675 – Bairro Nova Gameleira – Belo Horizonte - MG
Departamento de Engenharia Civil - Prédio 12 - Telefone: (31) 3319-6810 – secretaria@civil.cefetmg.br

TERMO DE ACEITE FINAL - ORIENTADOR

Titulo do TCC:	ESTUDO COMPARATIVO ENTRE LAJE CONVENCIONAL E LAJE LISA PARA APLICAÇÃO EM UMA RESIDÊNCIA
Data defesa:	19/06/2026
Discente:	Marcelle Moreira da Silva
Orientador:	Raphael Miranda de Souza

Eu, Marcelle Moreira da Silva declaro que todas as sugestões de correção e melhoria indicadas pela banca de avaliação de meu Trabalho de Conclusão de Curso e acordadas com meu Prof. Orientador foram implementadas no texto e entregues ao mesmo, Prof(a). Raphael Miranda de Souza para validação final.

De acordo: Belo Horizonte, 27 de junho de 2026,

Documento assinado digitalmente
gov.br MARCELLE MOREIRA DA SILVA
Data: 27/06/2026 17:53:03-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Assinatura do Discente

Declaro ter recebido e conferido a versão final do texto e que as sugestões de correção e melhorias indicadas pela banca e acatadas por mim foram implementadas.

Documento assinado digitalmente
gov.br RAPHAEL MIRANDA DE SOUZA
Data: 29/06/2026 13:06:30-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

De acordo: Belo Horizonte, 29 de junho de 2026,

Assinatura do Orientador

RESUMO

No mercado da construção civil, diversas técnicas construtivas podem ser empregadas para uso residencial. O sistema de laje maciça, embora comumente utilizado, pode se contrapor ao sistema de laje lisa no que diz respeito ao *layout* arquitetônico. Este trabalho apresenta um estudo comparativo entre os dois sistemas aplicados a um projeto de edificação residencial. O objetivo da pesquisa é explorar as vantagens e desvantagens estruturais e econômicas de ambos os métodos. A pesquisa pode ser classificada como qualitativa e exploratória, baseada em um estudo de caso que utilizou o *software* Cypecad para o dimensionamento. Para a apuração dos custos, foram analisados valores apenas de insumos com data-base de abril de 2026. Para a compreensão da principal limitação técnica das lajes lisas, foi realizada uma revisão sobre o fenômeno da punção, que representa a ruptura frágil na ligação laje-pilar. Os resultados indicam que a laje lisa pode se mostrar mais atrativa em alguns aspectos em comparação com a laje maciça, embora esta tenha o comportamento estrutural mais conhecido. Conclui-se que o sistema de laje convencional apresenta maiores vantagens em termos de simplicidade técnica, enquanto a laje lisa destaca-se como alternativa viável para projetos que priorizam estética e rapidez, desde que haja um dimensionamento rigoroso contra o punçamento. Em relação ao custo de insumos, a percepção inicial de que o projeto de laje maciça seria economicamente mais vantajoso não foi confirmada, pois os valores apresentados nos dois casos não mostraram diferença expressiva.

Palavras-chave: Laje Convencional. Laje Lisa. Concreto Armado. Punção. Custo

ABSTRACT

In the construction market, several construction techniques can be employed for residential use. The solid slab system, although commonly used, may be contrasted with the flat slab system regarding architectural layout. This study presents a comparative analysis between the two systems applied to a residential building project. The objective of the research is to explore the structural and economic advantages and disadvantages of both methods. The research is classified as qualitative and exploratory, based on a case study that utilized Cypecad software for structural design. For cost calculation, input values were analyzed with a base date of April 2026. To understand the primary technical limitation of flat slabs, a review was conducted on the punching shear phenomenon, which represents brittle failure at the slab-column connection. The results indicate that the flat slab may be more attractive in certain aspects compared to the solid slab, although the latter has a more established structural behavior. It is concluded that the conventional slab system offers greater advantages in terms of technical simplicity, structural predictability and behavior, while the flat slab stands out as a viable alternative for projects prioritizing aesthetics and speed, provided there is rigorous design against punching shear. With respect to material costs, the initial assumption that the solid slab system would present superior economic performance was not confirmed. The comparative analysis indicates that the cost differences between the two systems are not significant, suggesting that the choice between them should be guided primarily by structural, architectural, and execution-related criteria rather than by material expenditure alone.

Keywords: Conventional Slab. Flat Slab. Reinforced Concrete. Punching Shear. Cost.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Sistema estrutural	16
Figura 2– Representação do esquema construtivo com laje convencional em concreto armado	18
Figura 3– Diferenciação de laje lisa x laje cogumelo.....	19
Figura 4 – Esquema representativo de punçionamento em lajes lisas.....	21
Figura 5 – Disposição da armadura de punção em planta	22
Figura 6 – Disposição da armadura de punção em corte	22
Figura 7 – Entrada de dados do projeto no Cypecad	23
Figura 8 – Dimensões de área construída do pavimento térreo	25
Figura 9 – Planta baixa da residência objeto de estudo	26
Figura 10 – Configuração dos pisos no Cypecad.....	27
Figura 11 – Lançamento das cargas de alvenaria para o sistema de lajes maciças.	31
Figura 12 – Lançamento das cargas de alvenaria para o sistema de lajes lisas.....	32
Figura 13 – Introdução de dados de laje maciça no módulo	33
Figura 14 – Lançamento de cargas do telhado para laje maciça (à esquerda pavimento cobertura e à direita pavimento cobertura elevada)	34
Figura 15 – Lançamento de cargas do telhado para laje lisa (à esquerda pavimento cobertura e à direita pavimento cobertura elevada)	34
Figura 16 – Distribuição de cargas nos pisos.....	35
Figura 17 – ConFigurações de sobrecarga devido ao vento	36
Figura 18 – Classe de agressividade ambiental adotada.....	36
Figura 19 – Identificação dos elementos estruturais (cobertura).....	37
Figura 20 – Identificação dos elementos estruturais (cobertura elevada)	38
Figura 21 – ConFigurações de dimensionamento da laje maciça.....	43
Figura 22 - Relatório de erros dimensionamento laje maciça (12 e 18 cm de espessura)	44
Figura 23 – Isovalores dos deslocamentos para laje maciça (h=12 cm e h=18 cm) .	44
Figura 24 – Flechas transversal e longitudinal laje maciça (h=12 cm e h=18 cm) no pavimento cobertura.....	45
Figura 25 – Flechas transversal e longitudinal laje maciça (h=12 cm e h=18 cm) no pavimento cobertura elevada	45

Figura 26 – ConFigurações de dimensionamento da laje lisa.....	46
Figura 27 – Erro de dimensionamento do pilar.....	47
Figura 28 – Relatório de erros dimensionamento laje lisa (17 e 33 cm de espessura)	47
Figura 29 – Relatório de dimensionamento laje lisa.....	48
Figura 30 – Isovalores dos deslocamentos para laje lisa	49
Figura 31 – Flechas transversal e longitudinal laje lisa no pavimento cobertura.....	49
Figura 32 – Flechas transversal e longitudinal laje lisa no pavimento cobertura elevada	50
Figura 33 – Perímetro crítico em pilares internos.....	50
Figura 34 – Perímetro crítico em pilares de borda	51
Figura 35 – Perímetro crítico em pilares de canto.....	51
Figura 36 – Verificação da punção nas lajes lisas.....	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Peso específico dos materiais	29
Tabela 2 – Carga das alvenarias.....	30
Tabela 3 – Carga de revestimentos	33
Tabela 4 – Pré-dimensionamento (laje convencional).....	39
Tabela 5 – Pré-dimensionamento (vigas).....	40
Tabela 6 – Espessura mínima de lajes sem vigas internas.....	41
Tabela 7 – Pré-dimensionamento (laje lisa)	42
Tabela 8 – Quantitativos de materiais (laje maciça)	53
Tabela 9 – Quantitativos de materiais (laje lisa)	53
Tabela 10 – Orçamento (laje maciça)	54
Tabela 11 – Orçamento (laje lisa)	54
Tabela 12 – Resumo dos custos dos insumos	58

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Comparativo de consumo de concreto	55
Gráfico 2 – Comparativo de consumo de fôrmas	56
Gráfico 3 – Comparativo de consumo de aço	57
Gráfico 4 – Comparativo entre os custos dos insumos	57

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

ACI - American Concrete Institute

CA - Concreto Armado

CAA - Classe de Agressividade Ambiental

CUB - Custo Unitário Básico

CUR - Centre for Engineering Research and Codes

NBR - Norma Brasileira

ONU - Organizações das Nações Unidas

SINAPI - Sistema Nacional de Pesquisa de Custo e Índice da Construção Civil

TCC - Trabalho de Conclusão de Curso

LISTA DE SÍMBOLOS

cm - Centímetro

cm² - Centímetro quadrado

F_{ck} - Resistência característica à compressão do concreto

F_{ct} - Resistência do concreto à tração direta

kgf - Quilograma força

kgf/m² - Quilograma força por metro quadrado

kgf/m³ - Quilograma força por metro cúbico

kN - Quilo Newton

m - Metro

m/s - Metros por segundo

m² - Metro quadrado

m³ - Metro cúbico

mm - Milímetro

MPa - Mega Pascal

ℓ - Vão livre da laje

s - Segundo

unid. – Unidade

unit. - Unitário

γ_c - Peso específico do concreto

ϕ - Diâmetro da armadura

λ – Razão entre o maior e o menor vão

SUMÁRIO

1INTRODUÇÃO	13
1.1 PERGUNTA DE PESQUISA.....	14
1.2 OBJETIVOS.....	14
1.2.3 Objetivo geral	14
1.2.4 Objetivos específicos	14
1.3 JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA.....	14
1.4 RESTRIÇÕES E LIMITAÇÕES DA PESQUISA	15
1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO	15
2FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	16
2.1 Sistemas de estruturas residenciais	16
2.1.1 Laje.....	16
2.1.2 Viga	17
2.1.3 Pilar	17
2.2 Lajes de concreto armado	17
2.2.1 Laje Convencional	18
2.2.2 Laje Lisa.....	19
2.3 Fenômeno da punção	20
2.3.1 Armaduras de punção	21
2.4 CYPECAD – SOFTWARE DE ANÁLISE ESTRUTURAL	22
3METODOLOGIA	24
3.1 Método de abordagem.....	24
3.2 Método de procedimento	24
4. DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA	25
4.1 PROJETO ARQUITETÔNICO	25
4.2 CRITÉRIOS DE PROJETO	26
4.2.1 Definição de pisos	27
4.2.2 Ações Permanentes.....	28
4.2.3 Ações Variáveis	35
4.2.4 Forças devido ao vento	35
4.2.5 Agressividade do ambiente e cobrimento	36

4.3	PRÉ-DIMENSIONAMENTO DA ESTRUTURA.....	37
4.3.1	Pré-dimensionamento – Laje maciça	38
4.3.2	Pré-dimensionamento – Vigas.....	39
4.3.3	Pré-dimensionamento – Laje lisa	41
4.4	DIMENSIONAMENTO E VERIFICAÇÕES DAS LAJES.....	42
4.4.1	Dimensionamento - laje maciça.....	43
4.4.2	Dimensionamento - laje lisa.....	46
4.4.3	Verificação de punção - laje lisa.....	50
4.5	ARMADURAS	52
4.6	LEVANTAMENTO DE CUSTOS.....	53
4.6.1	Quantitativo de materiais	53
4.6.2	Orçamentos	54
4.7	COMPARATIVO DE CUSTOS E INSUMOS	55
4.7.1	Consumo de concreto	55
4.7.2	Consumo de fôrmas	56
4.7.3	Consumo de aço	56
4.7.4	Custos dos insumos.....	57
4.8	DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	58
4.8.3	4.8.1 Análise das Flechas e Desempenho Estrutural.....	58
4.8.4	4.8.2 Comparativo de Custos e Consumo de Insumos.....	58
5	CONCLUSÃO	59
5.1	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	60
	REFERÊNCIAS.....	61
	APÊNDICE A – PLANTA COM COTAS	64
	APÊNDICE B – MODELO 3D DA ESTRUTURA ANALISADA.....	65
	APÊNDICE C – ARMAÇÕES POSITIVAS (LAJE MACIÇA-COBERTURA ELEVADA)	66
	APÊNDICE D – ARMAÇÕES NEGATIVAS (LAJE MACIÇA-COBERTURA ELEVADA).....	67
	APÊNDICE E – ARMAÇÕES POSITIVAS (LAJE MACIÇA-COBERTURA).....	68
	APÊNDICE F – ARMAÇÕES NEGATIVAS (LAJE MACIÇA-COBERTURA)	69
	APÊNDICE G – ARMAÇÕES POSITIVAS (LAJE LISA-COBERTURA ELEVADA).....	70
	APÊNDICE H – ARMAÇÕES NEGATIVAS (LAJE LISA-COBERTURA ELEVADA)	71

APÊNDICE I – ARMAÇÕES POSITIVAS (LAJE LISA-COBERTURA)	72
APÊNDICE J – ARMAÇÕES NEGATIVAS (LAJE LISA-COBERTURA)	73

1 INTRODUÇÃO

A construção civil dispõe de diversas soluções estruturais para adotar nos projetos de edificações. A escolha do sistema estrutural mais adequado impacta de forma direta os custos totais e a eficiência da construção. Nesse cenário, a escolha do tipo de laje a ser adotado no projeto de uma residência pode ser feita com base na comparação de critérios de desempenho estrutural e custeio de insumos.

As edificações residenciais geralmente utilizam o sistema de lajes convencionais, que se apoiam em vigas que transferem as cargas aos pilares em suas estruturas. Esse sistema apresenta um comportamento estrutural bastante conhecido, facilidade de dimensionamento e detalhamento, além de vasta aplicação no cenário nacional (CAMPOS FILHO, 2014).

Lajes lisas, por sua vez, oferecem a eliminação das vigas, apoiando-se diretamente nos pilares. Esse método proporciona algumas vantagens, como maior liberdade no *layout* arquitetônico em relação ao método anterior. Em contrapartida, as lajes lisas necessitam de um dimensionamento mais criterioso, principalmente no que diz respeito ao fenômeno de punção nas regiões de ligação entre a laje e o pilar.

O puncionamento em lajes lisas caracteriza-se pela ruptura localizada da laje em torno do pilar devido à concentração de tensões cortantes. O sistema de laje lisa pode apresentar benefícios construtivos significativos, porém a ausência de vigas intensifica os esforços cortantes na ligação entre laje e pilar. Estudos demonstram que a correta avaliação desse fenômeno é essencial para garantir o desempenho e a confiabilidade do sistema (NICÁCIO, 2018).

Tendo em vista esse contexto, o trabalho visa realizar uma comparação do desempenho estrutural entre lajes convencionais e lajes lisas por meio de uma avaliação com o auxílio de um *software* especializado em análises de estruturas da construção civil. O trabalho busca também apresentar detalhadamente o fenômeno de punção, além de uma comparação de custos detalhada dos materiais a serem consumidos nos dois métodos.

1.1 PERGUNTA DE PESQUISA

Qual tipo de laje, entre a laje convencional e a laje lisa, apresenta o melhor comportamento estrutural e custo-benefício para ser aplicado à construção residencial considerada no estudo?

1.2 OBJETIVOS

1.2.3 Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho é explorar as vantagens e desvantagens, em termos estruturais e de custos dos insumos, entre o uso de laje convencional e laje lisa para o projeto residencial de estudo.

1.2.4 Objetivos específicos

Os objetivos específicos são:

- modelar um projeto residencial para os sistemas de laje convencional e laje lisa utilizando o *software* Cypecad e avaliar as flechas nas lajes;
- realizar o levantamento quantitativo de materiais necessários para a execução dos dois métodos construtivos e seus respectivos custos;
- estudar o fenômeno de punção, tópico pouco estudado em disciplinas da graduação, que ocorre em projetos com lajes lisas.

1.3 JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA

Este trabalho busca contribuir para o melhor entendimento entre os dois métodos construtivos abordados, oferecendo embasamento para a comunidade acadêmica, construtoras e projetistas na escolha mais adequada entre os dois métodos para residências de um pavimento.

Na construção civil, a evolução das técnicas construtivas aplicadas e a crescente demanda por racionalização dos processos produtivos têm impulsionado o uso de sistemas alternativos em relação aos sistemas tradicionais. Daí decorre a importância de se obter dados comparativos em relação a diferentes sistemas estruturais para uma mesma aplicação.

1.4 RESTRIÇÕES E LIMITAÇÕES DA PESQUISA

A proposta deste trabalho é a realização de um estudo comparativo de desempenho estrutural do sistema de lajes convencionais e lajes lisas para uma residência localizada na cidade de Belo Horizonte. As cargas utilizadas para o dimensionamento consideram o uso normal da edificação. Os valores adotados para o orçamento são os praticados na região com data-base de dezembro de 2024. A fundação da residência não será dimensionada por não ser o escopo do trabalho; portanto, os custos verificados serão relativos às estruturas externas da construção. No orçamento, serão considerados apenas os custos dos insumos, excluindo-se os custos de mão de obra, transporte e armazenagem. O tempo de execução considerado refere-se a uma estimativa e não irá considerar atrasos entre as etapas.

1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho tem sua estrutura apresentada em cinco capítulos. No Capítulo 1 (Introdução), contextualiza-se o tema, o objetivo geral e os específicos, além de se apresentar a justificativa, relevância, restrições e limitações da pesquisa.

No Capítulo 2 (Revisão Teórica), são abordados os principais conceitos para a compreensão e o desenvolvimento do trabalho, como a definição dos elementos estruturais, das estruturas de concreto armado e das lajes. Foram explorados as vantagens, as principais aplicações, os tipos de lajes, o seu comportamento estrutural e o *software* utilizado para o dimensionamento da estrutura.

O Capítulo 3 (Metodologia) detalha os procedimentos utilizados para alcançar os resultados propostos, além de descrever a classificação desta pesquisa.

O Capítulo 4 (Desenvolvimento) apresenta o projeto, as normas, os conceitos e os critérios para o dimensionamento dos sistemas de lajes abordados. Os cálculos do quantitativo de insumos, o orçamento e a análise dos resultados também são detalhados neste capítulo.

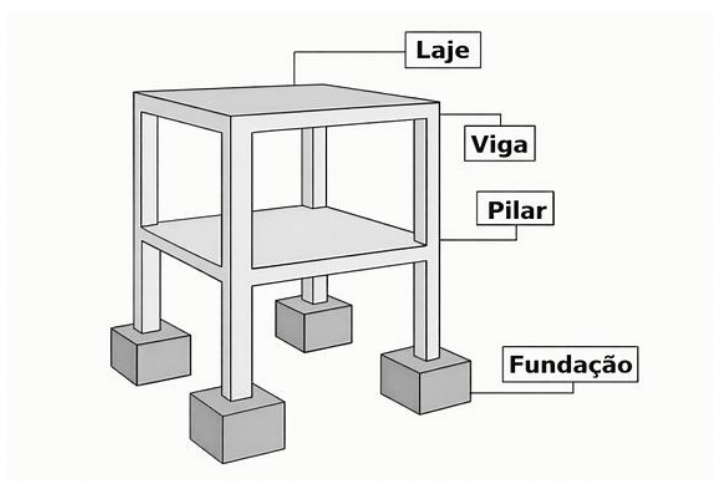
O Capítulo 5 (Conclusão) apresenta as principais conclusões com base nos resultados do comparativo de custos e insumos que foram obtidos para cada uma das metodologias construtivas. O capítulo também indica as sugestões de pesquisas futuras.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 SISTEMAS DE ESTRUTURAS RESIDENCIAIS

Os sistemas de estruturas residenciais constituem uma combinação de elementos estruturais que garantem a estabilidade, a segurança e o desempenho de uma edificação (MENDES DE SOUZA; RODRIGUES, 2021). Dentre esses elementos, pode-se destacar as lajes, as vigas (que podem ou não estar presentes nas edificações), os pilares, as fundações e as paredes, entre outros. A Figura 1 ilustra de forma básica alguns dos elementos existentes em sistemas estruturais.

Figura 1 – Sistema estrutural



Fonte: DF Projetos, 2022

2.1.1 Laje

As lajes são elementos estruturais de superfície plana, caracterizadas por apresentarem as dimensões de comprimento e largura significativamente superior à sua espessura ou altura (ALMEIDA, 2006). Na engenharia de estruturas, estas placas desempenham funções essenciais como pisos de suporte ou coberturas, sendo responsáveis pela recepção das cargas verticais incidentes, tais como o mobiliário, os revestimentos, as divisórias e a ocupação humana (CARVALHO; FILHO, 2014).

De acordo com a natureza de sua aplicação, as ações que atuam perpendicularmente ao plano desses elementos podem ser segmentadas em três tipologias: cargas distribuídas por área, como no caso do peso próprio e do contrapiso; cargas lineares, exemplificadas por paredes erguidas sobre a laje; e cargas concentradas, que ocorrem quando há a presença de um pilar diretamente apoiado sobre a superfície (ALMEIDA, 2006).

2.1.2 Viga

As vigas podem ser caracterizadas como elementos estruturais lineares cuja seção transversal é significativamente menor do que o seu comprimento longitudinal (ALMEIDA, 2006). No sistema de lajes maciças convencionais, a função precípua desses componentes é a superação de vãos, atuando como um elemento intermediário que recebe as cargas das lajes e as transfere para os pilares. Todavia, em sistemas de lajes lisas, a supressão desse elemento altera a trajetória das tensões, eliminando a transição linear de cargas e exigindo que a laje transmita seus esforços diretamente ao apoio pontual (CARVALHO; FILHO, 2014).

2.1.3 Pilar

Os pilares são definidos como elementos lineares verticais nos quais as dimensões da seção transversal são expressivamente reduzidas quando comparadas à sua altura total (ALMEIDA, 2006). Em sistemas convencionais, eles recebem as ações das vigas; contudo, no modelo de lajes lisas, os pilares assumem um papel ainda mais crítico, servindo de apoio direto para a placa de concreto. Nesses elementos, as forças normais de compressão são dominantes, mas a ligação direta com a laje introduz concentrações de tensões de cisalhamento elevadas (CARVALHO; FILHO, 2014).

A importância dos pilares é vital para a estabilidade global da edificação. Em conjunto com as vigas (no modelo convencional) ou por meio da rigidez da ligação laje-pilar (no modelo de lajes lisas), formam-se os sistemas de contraventamento responsáveis por resistir às ações verticais e horizontais, garantindo a segurança estrutural do edifício (BASTOS, 2023).

2.2 LAJES DE CONCRETO ARMADO

As lajes em concreto armado são caracterizadas pelo sistema construtivo que envolve a associação do concreto e da armadura de aço em sua composição, visando ao aproveitamento das melhores propriedades de cada material.

- Concreto: resiste aos esforços de compressão e protege a armadura contra a corrosão.
- Armadura de aço: resiste, majoritariamente, aos esforços de tração, absorvendo os esforços causados pela flexão que apenas o concreto não

suportaria de forma eficiente.

O concreto e o aço desempenham um trabalho conjunto devido à aderência entre eles.

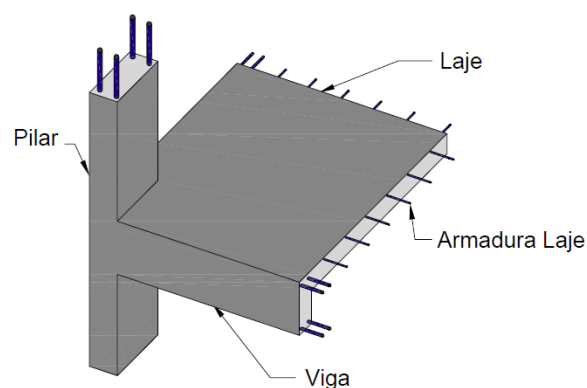
A NBR 6118 (ABNT, 2026) impõe os seguintes limites mínimos de espessura para lajes maciças:

- a) 7 cm para cobertura não em balanço;
- b) 8 cm para lajes de piso não em balanço;
- c) 10 cm para lajes em balanço;
- d) 10 cm para lajes que suportem veículos de peso total menor ou igual a 30 kN;
- e) 12 cm para lajes que suportem veículos de peso total maior que 30 kN;
- f) 15 cm para lajes com protensão apoiadas em vigas, com o mínimo de $\ell/42$ para lajes de piso bi apoiadas e $\ell/50$ para lajes de piso contínuas;
- g) 16 cm para lajes lisas e 14 cm para lajes-cogumelo, fora do capitel.

2.2.1 Laje Convencional

A laje convencional, também conhecida como laje maciça sobre vigas, representada esquematicamente pela Figura 2, é caracterizada por ser um sistema onde os esforços são transmitidos de forma escalonada: as lajes apoiam-se em vigas que, por sua vez, descarregam os esforços nos pilares. Esse tipo de laje possui superfície com espessura constante, totalmente preenchida por concreto e aço. Segundo Bastos (2023), são placas solicitadas predominantemente por cargas normais ao seu plano médio e apoiadas ao longo de vigas ou paredes.

Figura 2 – Representação do esquema construtivo com laje convencional em concreto armado



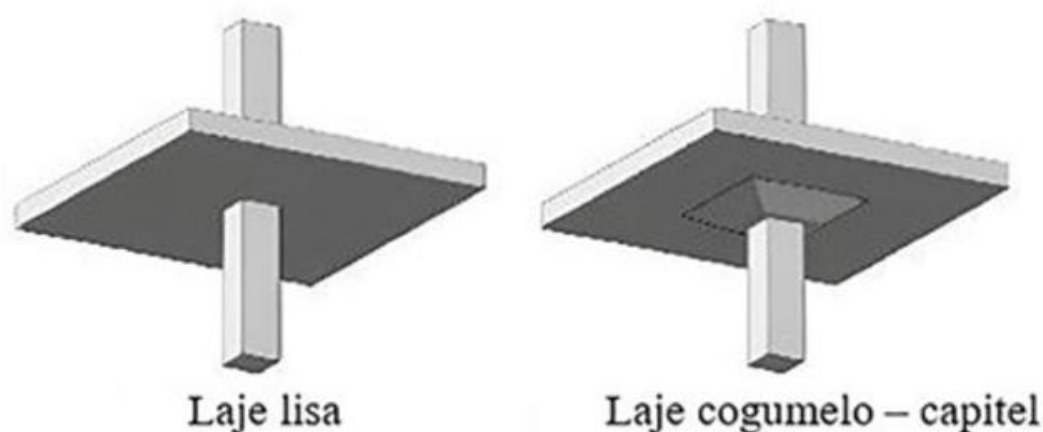
Fonte: SPOHR, 2008

Esse tipo de sistema não é indicado para vencer grandes vãos e tem como característica a presença de muitas vigas, o que aumenta o tempo de execução da obra e o consumo de fôrmas, elevando, por consequência, o consumo de insumos. Esse elevado número de vigas pode ser visto como vantagem quando considerada a rigidez da estrutura. É o método mais utilizado nas construções de concreto armado; por esse motivo, a mão de obra para a execução já apresenta domínio da técnica (SPOHR, 2008).

2.2.2 Laje Lisa

A laje lisa, também conhecida por laje plana, faz parte de um sistema de lajes sem vigas. Essas lajes se apoiam diretamente sobre os pilares e dispensam o uso de vigas para a transferência de esforços. De acordo com Siqueira (2023), consistem em uma laje de espessura uniforme, rigidamente ligada aos pilares, sendo um sistema focado na simplificação da execução e na liberdade arquitetônica. Esse tipo de laje se diferencia das lajes-cogumelo por não possuir capitéis nas regiões de apoio (Carvalho e Pinheiro, 2009). A Figura 3 ilustra a diferença entre uma laje lisa e uma laje cogumelo com a presença de capitel (engrossamento na região de apoio no pilar).

Figura 3 – Diferenciação de laje lisa x laje cogumelo



Fonte: SANTOS, *et al*, 2014 (adaptada)

O sistema construtivo de laje lisa, de acordo com Barbosa e Liberati (2025), torna-se uma alternativa para a indústria da construção nacional em função da execução mais rápida quando comparado ao sistema de laje convencional, pois simplifica a

fabricação de fôrmas e de armaduras. Devido à ausência de vigas, o espaçamento piso-teto torna-se maior, permitindo melhor aproveitamento do pé-direito e maior flexibilidade de layout arquitetônico. Para FIGUEIREDO FO (1989, apud MELGES, 1995):

Com o teto plano, de altura constante, pode-se obter uma racionalização e uma padronização de cimbramentos; para teto liso, é possível obter estruturas com um bom padrão de acabamento, dispensando a presença de revestimentos, aliviando as ações que atuam nos elementos estruturais e economizando no custo do próprio revestimento; além disso, o teto plano facilita a ventilação e a insolação dos ambientes.

Por outro lado, as lajes lisas apresentam como desvantagem menor rigidez das estruturas às ações laterais, quando comparadas com estruturas convencionais, e a necessidade de espessuras maiores, o que pode acarretar maior consumo de materiais e aumento dos custos da obra; além disso, é exigida uma mão de obra mais especializada para a execução desse método (MELGES, 1995).

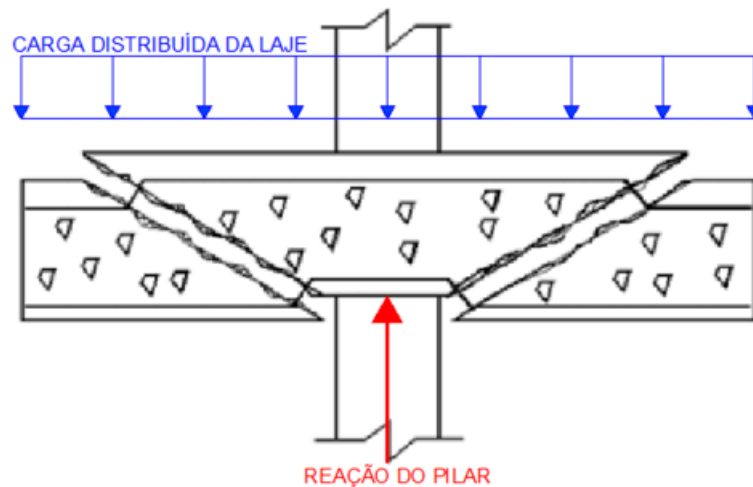
Nas lajes lisas, o contato direto laje-pilar provoca concentração de forças e aumento de tensões de cisalhamento na região, podendo aparecer o fenômeno da punção, como esclarecem Barbosa e Liberati (2025).

2.3 FENÔMENO DA PUNÇÃO

A punção, ou puncionamento, é um fenômeno crítico de ruptura por cisalhamento que ocorre em lajes sem vigas na região de ligação entre a laje e o pilar. Conforme explica Floriani (2019), essa ruptura acontece devido a uma carga de grande intensidade aplicada em uma área reduzida, como é o caso do apoio da laje diretamente nos pilares. Os valores elevados de esforços cortantes coincidem com momentos fletores negativos, criando uma situação desfavorável que pode levar à ruptura brusca e sem aviso prévio (ruptura frágil).

Durante a ocorrência do fenômeno, forma-se uma superfície de falha em formato de cone ou pirâmide truncada. As trincas partem da face carregada até a outra face e apresentam inclinações que variam de 30° a 35° no caso de pilares internos com lajes e carregamentos simétricos (MELGES, 1995). A Figura 4 representa esquematicamente o fenômeno da punção em lajes lisas.

Figura 4 – Esquema representativo de punção em lajes lisas



Fonte: MELGES, 1995

Três principais fatores podem influenciar o punção: a espessura da laje, a posição do pilar e a resistência do concreto. Para a prevenção da ocorrência da punção, algumas medidas são adotadas, como o aumento da espessura da laje, a utilização de armaduras de punção específicas ou a adoção de capitéis (MORAES, 2019).

2.3.1 Armaduras de punção

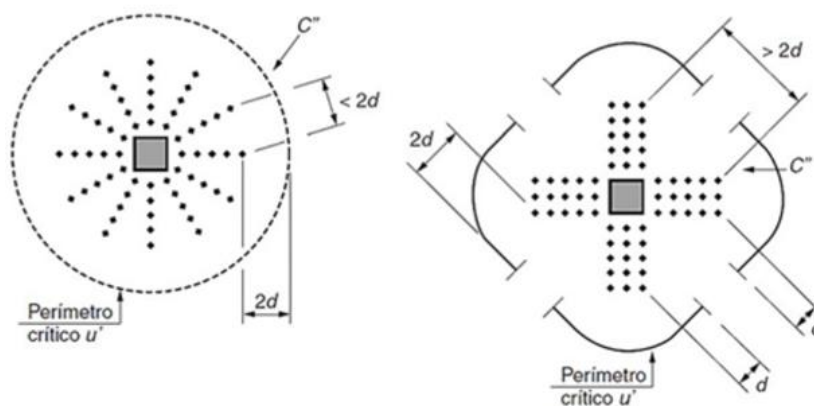
De acordo com a NBR 6118:2026, as armaduras de punção são componentes estruturais que têm por objetivo absorver as forças cortantes concentradas nas lajes, principalmente no perímetro dos pilares, para eliminar o risco de ruptura por punção. As armaduras de punção possuem as seguintes características:

- devem ser constituídas por estribos verticais ou por conectores tipo *stud*, sendo recomendada a utilização destes últimos;
- o diâmetro dos estribos não deve exceder a fração de $h/20$ da espessura da laje;
- as barras longitudinais devem manter contato com os cantos dos estribos e devem possuir pelo menos o mesmo diâmetro deles;
- a armadura deve ser formada, de preferência, por três ou mais linhas de conectores tipo *stud* com extremidades alargadas, dispostas radialmente a partir do perímetro do pilar;

- cada extremidade da armadura deve ser ancorada fora do plano correspondente à armadura de flexão.

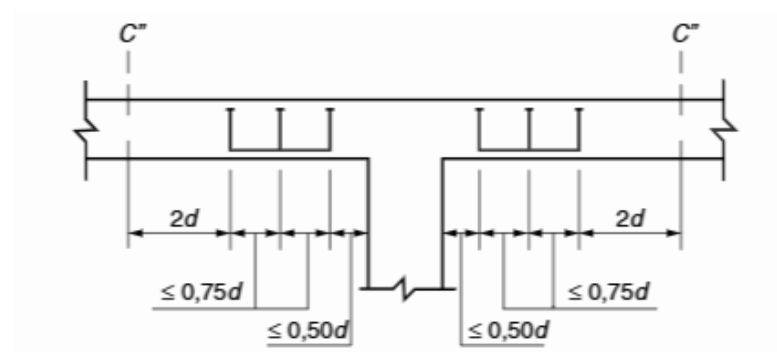
As Figuras 5 e 6 apresentam a disposição das armaduras de punção em planta e em corte, respectivamente, segundo a NBR 6118:2026. “Quando for necessário utilizar armadura transversal, ela deve ser estendida em contornos paralelos a C’ até que, em um contorno C” afastado $2d$ do último contorno de armadura.” (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2026, p. 172).

Figura 5 – Disposição da armadura de punção em planta



Fonte: NBR 6118, 2026

Figura 6 – Disposição da armadura de punção em corte



Fonte: NBR 6118, 2026

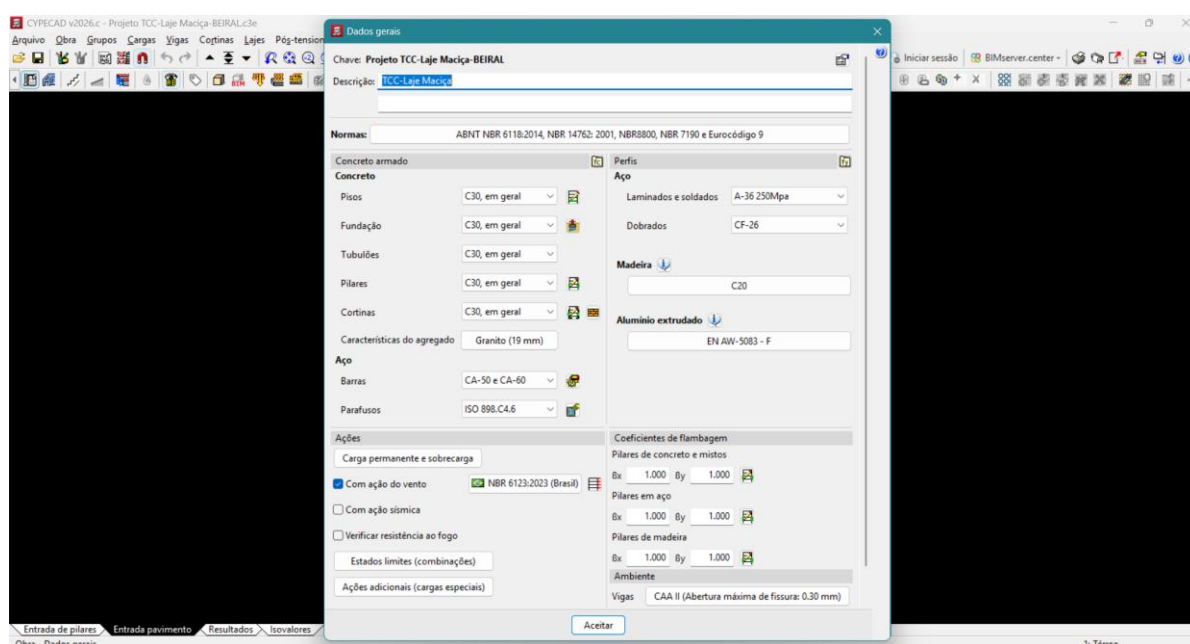
2.4 CYPECAD – SOFTWARE DE ANÁLISE ESTRUTURAL

O Cypecad é um *software* com foco no projeto, cálculo e dimensionamento estrutural de estruturas em concreto armado, protendido e misto. De acordo com a CYPE Ingenieros (2026), empresa detentora do *software*, o Cypecad calcula e

dimensiona pilares, vigas, lajes, estruturas de nós e barras, fundações, ligações metálicas e placas. São utilizadas para o dimensionamento e detalhamento as normas brasileiras de concreto armado (NBR 6118:2023), fundações (NBR 6122), carregamentos (NBR 6120), barras (NBR 7480), ventos (NBR 6123), ações e combinações (NBR 8681).

A modelagem por meio do *software* pode ser feita de forma livre ou com a inserção de máscaras, conforme foi realizado neste trabalho. Ainda de acordo com a CYPE Ingenieros (2026), o ambiente de trabalho é estruturado e eficiente, oferecendo uma boa experiência ao usuário. O método de cálculo utilizado pelo programa considera os elementos viga, pilar e laje conectados, formando um pórtico em três dimensões. O *software* é comercializado no Brasil pela empresa MULTIPLUS Softwares Técnicos, que atua no mercado há mais de 40 anos. A Figura 7 ilustra a interface de entrada de dados do projeto para se iniciar um trabalho.

Figura 7 – Entrada de dados do projeto no Cypecad



Fonte: Elaborado pela autora, a partir do *software* Cypecad, 2026

Para a elaboração do trabalho, foi utilizada a versão do Cypecad v2026.c. As configurações detalhadas de entrada de dados serão abordadas no capítulo de Metodologia do presente estudo.

3 METODOLOGIA

As pesquisas científicas podem ser classificadas, de acordo com Silva (2024), quanto à sua natureza, à abordagem, aos objetivos e aos procedimentos técnicos.

As classificações atribuídas a este trabalho são:

- Natureza: Básica, pois representa um estudo de dados disponíveis, como coleta de informações acadêmicas, dados de fabricantes e projetos existentes.
- Abordagem: Qualitativa, pois foi realizado o dimensionamento estrutural, o levantamento quantitativo de insumos e os custos aplicados à edificação em análise.
- Objetivos: Exploratória, por se tratar de uma pesquisa aplicada a um estudo de caso.
- Procedimentos técnicos: Pesquisa bibliográfica, pesquisa de estudo de caso e pesquisa de levantamento.

3.1 MÉTODO DE ABORDAGEM

O método de abordagem adotado nessa pesquisa foi a realização de um estudo comparativo entre o emprego de lajes convencionais e lajes maciças no projeto de uma residência, considerando a eficiência estrutural e os custos gerais. Além disso, foi realizada uma revisão bibliográfica sobre o comportamento das lajes lisas com ênfase no fenômeno de punção, por este representar uma importante limitação técnica desse método, de modo a embasar a análise técnica dos resultados.

3.2 MÉTODO DE PROCEDIMENTO

Os métodos de procedimentos considerados na pesquisa envolveram a modelagem estrutural e o dimensionamento de uma edificação de uso residencial utilizando o *software* Cypecad. O dimensionamento foi realizado considerando os sistemas de laje convencional e de laje lisa, permitindo a comparação entre ambos, ainda que possuam características diferentes.

Os quantitativos de insumos e a precificação foram realizados com base no resultado do dimensionamento de cada um dos dois sistemas construtivos. A etapa final de análise e comparação de resultados foi elaborada a partir dos quantitativos obtidos de materiais e custos associados encontrados na fase anterior. Essa etapa permitiu a avaliação do desempenho técnico e econômico para a comparação dos

dois métodos construtivos.

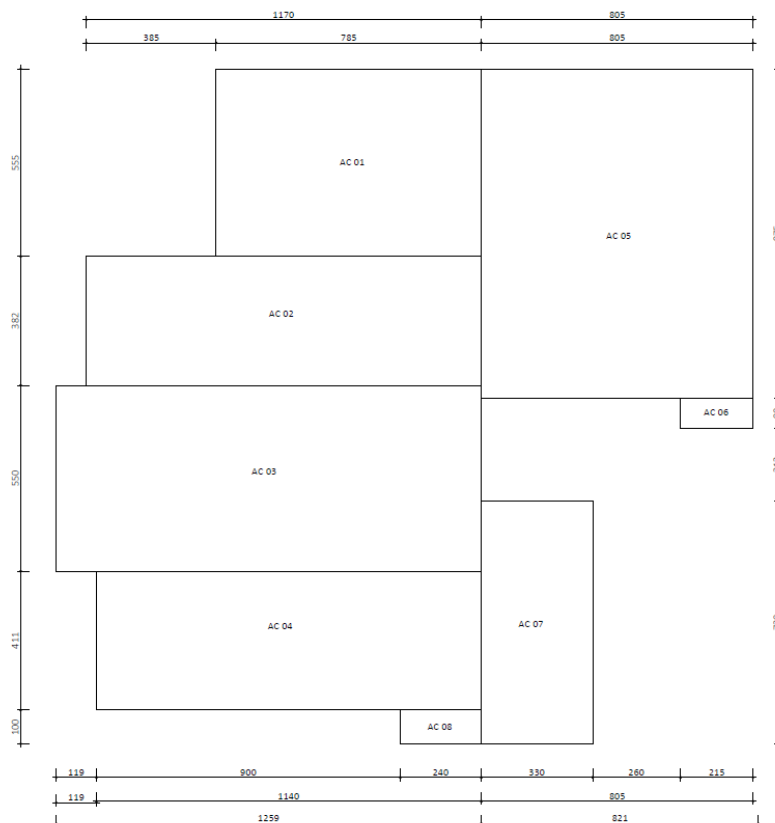
4. DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA

4.1 PROJETO ARQUITETÔNICO

O projeto arquitetônico adotado neste trabalho foi cedido pelo adquirente e executado pela Raul Neuenschwander Engenharia de Estruturas, que atua no ramo de engenharia de edificações em concreto armado e outras tecnologias de ponta em engenharia estrutural. A planta é referente a uma edificação residencial unifamiliar.

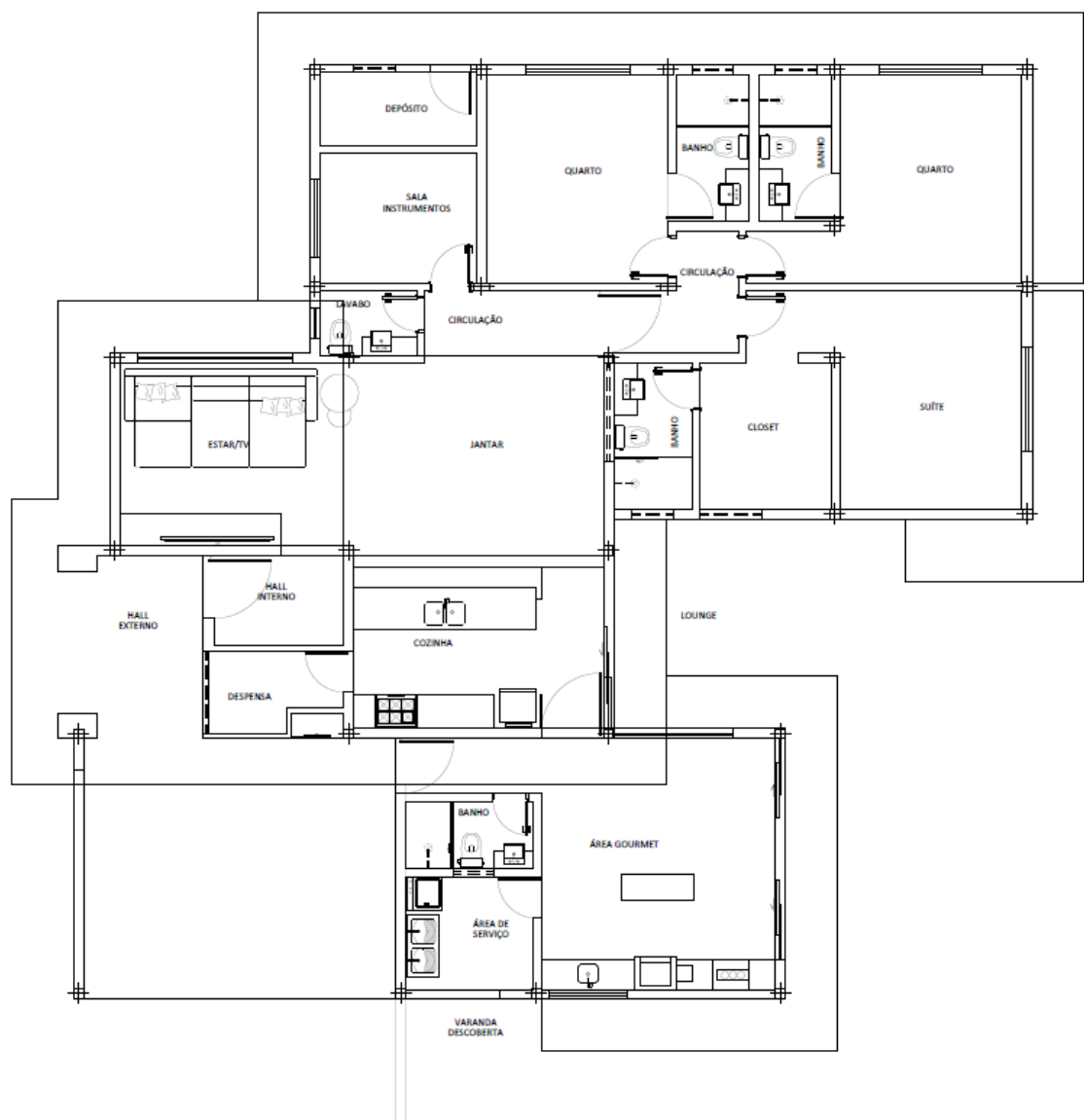
O projeto original conta com um pavimento térreo e um terraço descoberto. Foi considerado apenas o pavimento térreo, incluindo-se o beiral, como objeto de estudo. A área total do pavimento térreo é de 310,94 m². Para a definição de dados, foi estabelecido que a edificação está localizada na cidade de Belo Horizonte. A Figura 8 mostra as dimensões de área construída do pavimento térreo, enquanto a Figura 9 ilustra a planta baixa da edificação com a localização de cada cômodo existente.

Figura 8 – Dimensões de área construída do pavimento térreo



Fonte: Raul Neuenschwander Engenharia de Estruturas, 2021 (adaptado)

Figura 9 – Planta baixa da residência objeto de estudo



Fonte: Raul Neuenschwander Engenharia de Estruturas, 2021 (adaptado)

4.2 CRITÉRIOS DE PROJETO

Para que seja garantida uma comparação equivalente entre os sistemas de lajes maciças (convencionais) e lajes lisas, foram adotadas as seguintes premissas em relação aos critérios do projeto:

- Adoção da mesma planta arquitetônica: posição de pilares, pé-direito e vãos inalterados.
- Resistência do Concreto: foi utilizado o mesmo valor para ambas as soluções.
- Cobrimento: a espessura de cobrimento das armaduras manteve-se idêntica.

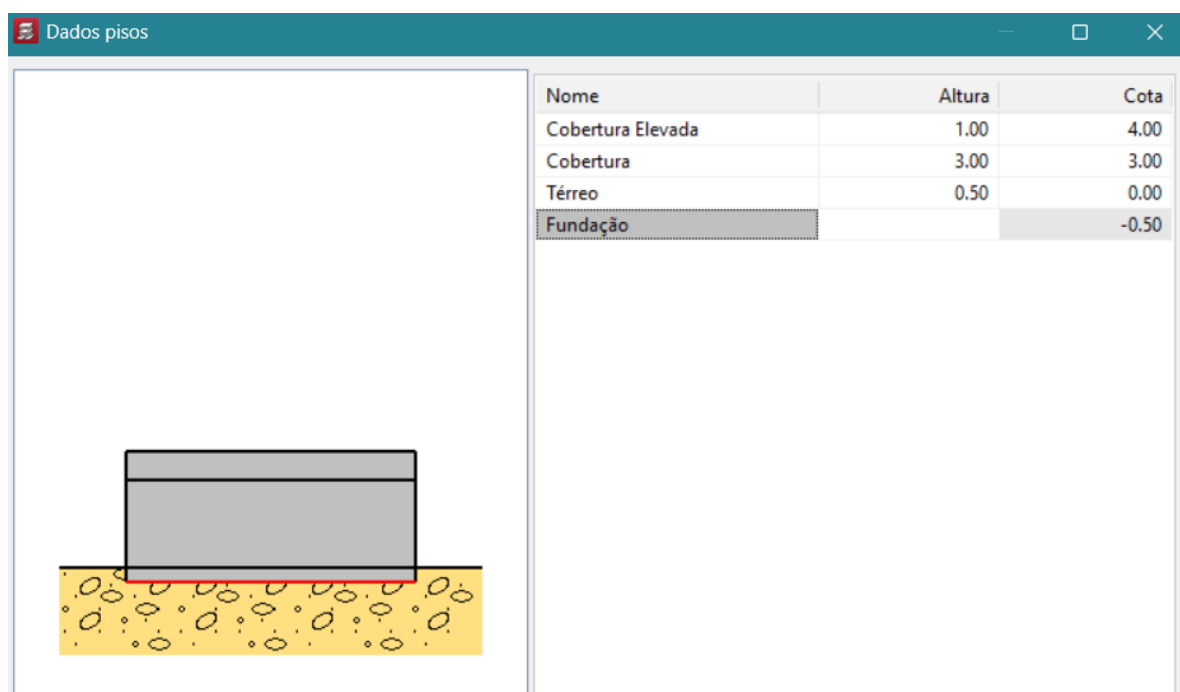
- Tipo de Aço: mesma definição de material para os dois sistemas.
- Cargas Permanentes: foi aplicado de forma idêntica em ambos os modelos o peso próprio (calculado pelo peso específico), o peso das alvenarias, do contrapiso e dos revestimentos.
- Ações Variáveis e de Vento: foram inseridas utilizando-se os mesmos critérios tanto para as lajes maciças quanto para as lisas.

Os critérios de projeto definidos nesta seção, portanto, foram aplicados tanto para as lajes maciças quanto para as lajes lisas.

4.2.1 Definição de pisos

A edificação objeto de estudo possui diferentes alturas de pé-direito. A cozinha, a despensa, os halls interno e externo e as salas de jantar e estar possuem pé-direito de 4 metros, enquanto os demais cômodos cobertos possuem pé-direito de 3 metros. Para a modelagem, foram considerados três pisos (níveis verticais de referência da edificação), além da fundação. O pé-direito de altura de 3 metros foi denominado de "cobertura" e o de altura de 4 metros foi denominado de "cobertura elevada", conforme observado na Figura 10.

Figura 10 – Configuração dos pisos no Cypecad



Nome	Altura	Cota
Cobertura Elevada	1.00	4.00
Cobertura	3.00	3.00
Térreo	0.50	0.00
Fundação	-0.50	-0.50

Fonte: Elaborado pela autora, a partir do *software* Cypecad, 2026

4.2.2 Ações Permanentes

De acordo com a NBR 6118:2026, as ações permanentes são aquelas que mantêm seus valores praticamente sem alterações durante toda a vida da edificação e devem considerar os valores representativos mais desfavoráveis à segurança. São consideradas como ações permanentes o peso próprio da estrutura, o peso dos elementos construtivos fixos e o das instalações permanentes.

Para o concreto armado a NBR 6120:2019 admite o peso específico (γ_c) do concreto no valor de 25 kN/m³. No caso das lajes, o peso específico depende a espessura (h) empregada nas mesmas e pode ser dado pela expressão:

$$q = \gamma \cdot h$$

, ou seja, o peso específico multiplicado pela espessura (altura) da laje.

Para a alvenaria foram adotados valores de peso específico dos materiais de acordo com a NBR 6120:2019, como pode ser visto na tabela 1 adaptada da norma, referente à utilização de tijolos cerâmicos vazados e revestimentos de argamassa, cal e areia. Para a carga permanente devido à alvenaria foi realizado o cálculo de acordo com a expressão:

$$q = (\gamma_{\text{tijolo}} \cdot \text{largura do tijolo cerâmico} + \gamma_{\text{argamassa}} \cdot \text{espessura do revestimento}) \cdot (\text{pé-direito} - \text{altura da viga})$$

A Tabela 2 apresenta os valores de carga para as variadas alturas de viga. As cargas devido à alvenaria foram lançadas como cargas lineares na estrutura, como evidenciado na Figura 11 para a estrutura com lajes maciças e na Figura 12 para as lajes lisas.

Tabela 1 – Peso específico dos materiais

Material		Peso específico aparente γ_{ap} kN/m ³
Blocos artificiais e pisos	Blocos de concreto vazados (função estrutural, classes A e B, ABNT NBR 6136)	14
	Blocos cerâmicos vazados com paredes vazadas (função estrutural, ABNT NBR 15270-1)	12
	Blocos cerâmicos vazados com paredes maciças (função estrutural, ABNT NBR 15270-1)	14
	Blocos cerâmicos maciços	18
	Blocos de concreto celular autoclavado (Classe C25 – ABNT NBR 13438)	5,5
	Blocos de vidro	9
	Blocos sílico-calcários	20
	Lajotas cerâmicas	18
	Porcelanato	23
	Terracota	21
Argamassas e concretos	Argamassa de cal, cimento e areia	19
	Argamassa de cal	12 a 18
	Argamassa de cimento e areia	19 a 23
	Argamassa de gesso	12 a 18
	Argamassa autonivelante	24
	Concreto simples	24
	Concreto armado	25

Fonte: NBR 6120:2019, adaptado

Tabela 2 – Carga das alvenarias

Dados Parede - Sem viga (Cobertura)			
γ Tijolo(kN/m ³)	13	Espessura tijolo(m)	0,14
γ Argamassa(kN/m ³)	19	Espessura reboco(m)	0,06
Altura parede (m)	3	Carga (kN/m)	8,88
Altura viga (m)	0	Carga lançada (kN/m)	9,0
Dados Parede - Cobertura			
γ Tijolo(kN/m ³)	13	Espessura tijolo(m)	0,14
γ Argamassa(kN/m ³)	19	Espessura reboco(m)	0,06
Altura parede (m)	3	Carga (kN/m)	7,70
Altura viga (m)	0,4	Carga lançada (kN/m)	8,0
Dados Parede - Cobertura			
γ Tijolo(kN/m ³)	13	Espessura tijolo(m)	0,14
γ Argamassa(kN/m ³)	19	Espessura reboco(m)	0,06
Altura parede (m)	3	Carga (kN/m)	7,40
Altura viga (m)	0,5	Carga lançada (kN/m)	8,0
Dados Parede - Sem viga (Cobertura Elevada)			
γ Tijolo(kN/m ³)	13	Espessura tijolo(m)	0,14
γ Argamassa(kN/m ³)	19	Espessura reboco(m)	0,06
Altura parede (m)	4	Carga (kN/m)	11,84
Altura viga (m)	0	Carga lançada (kN/m)	12,0
Dados Parede - Cobertura Elevada			
γ Tijolo(kN/m ³)	13	Espessura tijolo(m)	0,14
γ Argamassa(kN/m ³)	19	Espessura reboco(m)	0,06
Altura parede (m)	4	Carga (kN/m)	10,66
Altura viga (m)	0,4	Carga lançada (kN/m)	11,0
Dados Parede - Cobertura Elevada			
γ Tijolo(kN/m ³)	13	Espessura tijolo(m)	0,14
γ Argamassa(kN/m ³)	19	Espessura reboco(m)	0,06
Altura parede (m)	4	Carga (kN/m)	10,36
Altura viga (m)	0,5	Carga lançada (kN/m)	11,0

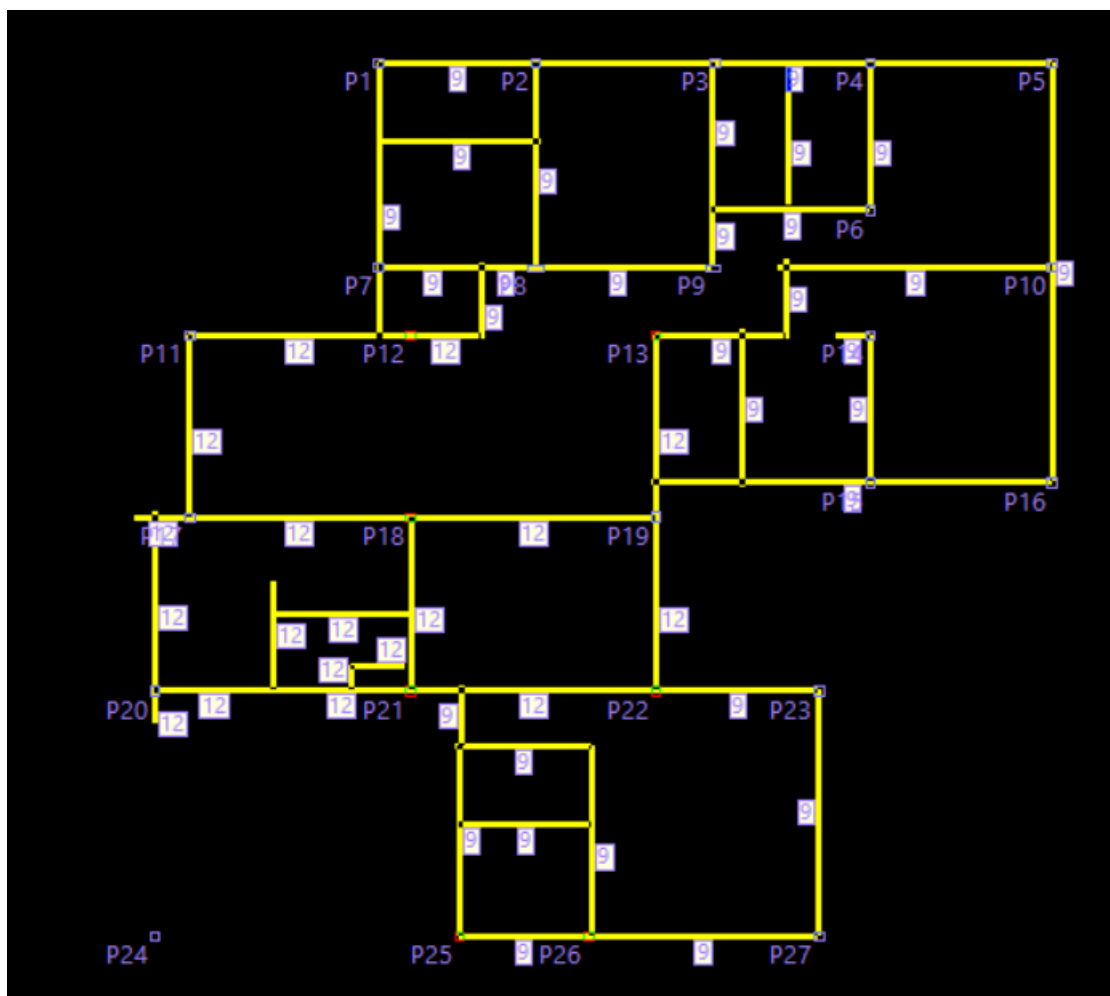
Fonte: Elaborado pela autora, 2026

Figura 11 – Lançamento das cargas de alvenaria para o sistema de lajes maciças



Fonte: Elaborado pela autora, a partir do *software* Cypecad, 2026

Figura 12 – Lançamento das cargas de alvenaria para o sistema de lajes lisas



Fonte: Elaborado pela autora, a partir do *software* Cypecad, 2026

Para o contrapiso, foi considerada a carga de 21 kN/m^3 , valor médio de referência de acordo com a NBR 6120:2019 e que pode ser observado na Tabela 1. Para o revestimento, foi considerado o valor de $1,0 \text{ kN/m}^2$, também conforme a NBR 6120:2019, específica para revestimentos de pisos de edificações residenciais com espessura de 5,0 cm; porém, foi adotado um revestimento com 2,5 cm. A carga permanente para o contrapiso e o revestimento foi calculada com base nas espessuras dos mesmos, sendo apresentada na Tabela 3 e aplicada ao pavimento térreo.

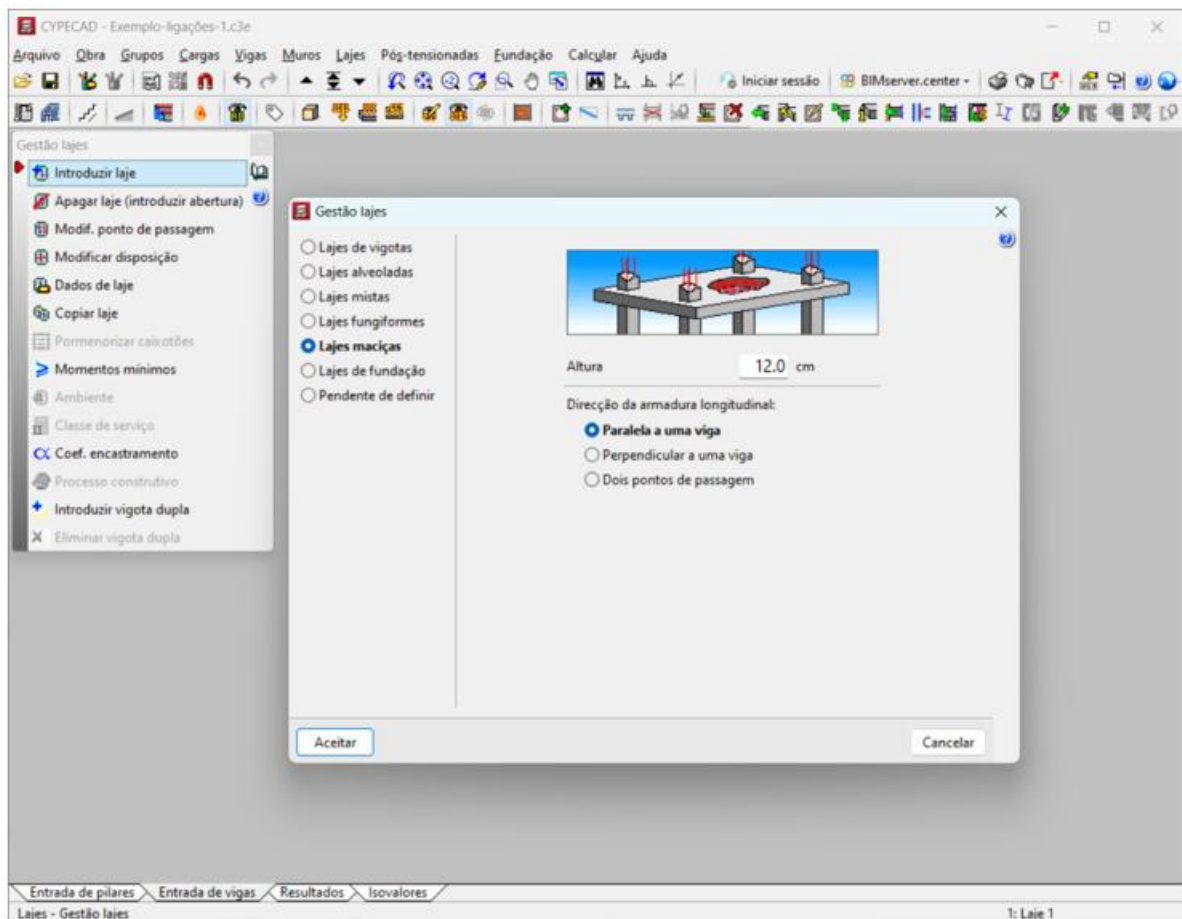
O Cypecad, por meio do módulo “Lajes Maciças”, calcula e dimensiona lajes maciças fazendo uma divisão em pequenos elementos e combinando-os de forma exata para simplificar o cálculo (CYPECAD, 2026). A Figura 13 ilustra a entrada dos dados no módulo “Lajes Maciças” utilizando-se o *software* Cypecad.

Tabela 3 – Carga de revestimentos

Dados - Contrapiso e Revestimento			
Elemento	Carga permanente (t/m ³)	Espessura (cm)	Carga permanente (kN/m ²)
Contrapiso	2,10	5,0	1,00
Revestimento		2,5	0,5
TOTAL			1,5

Fonte: Elaborado pela autora, 2026

Figura 13 – Introdução de dados de laje maciça no módulo

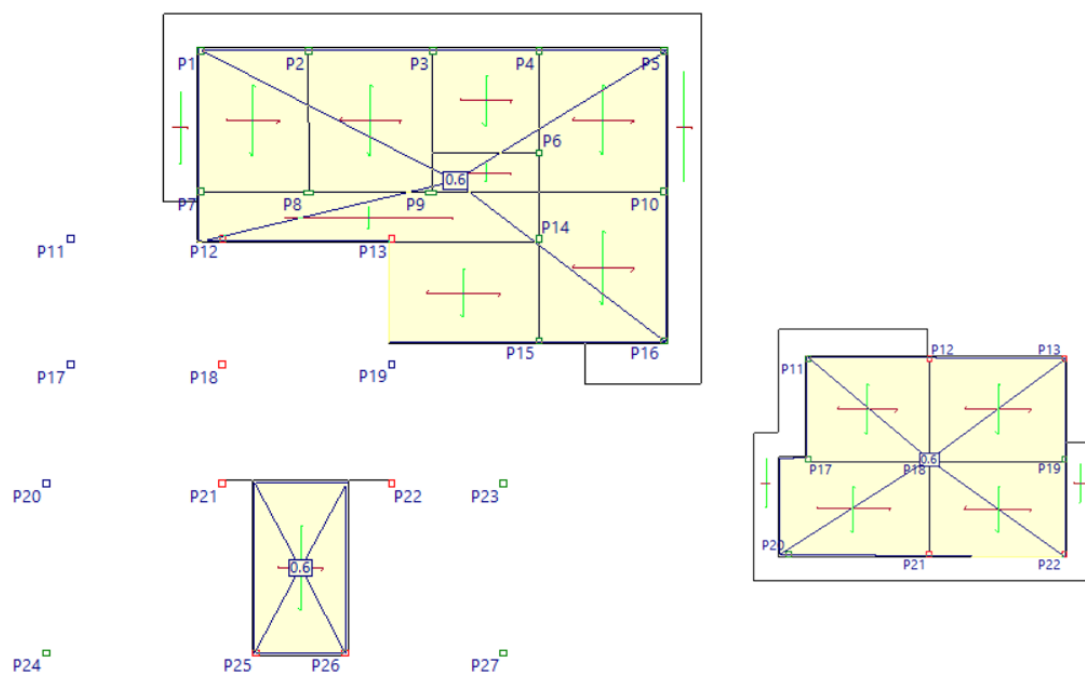


Fonte: Elaborado pela autora, a partir do software Cypecad, 2026

Nos pavimentos "cobertura" e "cobertura elevada", foi considerada a carga do telhado como carga permanente no valor de 0,6 kN/m², como especificado pela NBR 6120:2019 para telhas de cerâmica colonial. Essa carga foi lançada como carga superficial nos pavimentos cobertura e cobertura elevada, como se pode observar nas Figuras 14 (laje maciça) e 15 (laje lisa).

The schematic diagram illustrates the ventilation system for the 1st floor. It shows a grid of rooms, each labeled with a room number and its ventilation status (e.g., V-201: 15/40). Rooms are color-coded: yellow for occupied rooms, green for unoccupied rooms, and blue for storage rooms. The diagram includes a legend for room types and a detailed view of the 1st floor layout.

Figura 15 – Lançamento de cargas do telhado para laje lisa (à esquerda pavimento cobertura e à direita pavimento cobertura elevada)



34

4.2.3 Ações Variáveis

Conforme é definido na NBR 6120:2019, as ações variáveis (SCU) são cargas acidentais que incidem sobre a estrutura ao longo de sua vida útil, variando conforme a ocupação e o uso dos ambientes. Para o dimensionamento, foi utilizado o valor de 1,5 kN/m². A Figura 16 apresenta a distribuição dessas forças, juntamente com as cargas permanentes (CP) provenientes do contrapiso e do revestimento.

Figura 16 – Distribuição de cargas nos pisos

Nome	Categoria de uso	SCU (kN/m ²)	CP (kN/m ²)	Processo construtivo
Cobertura Elevada	Uso 1	1.50	0.00	Editar
Cobertura	Uso 1	1.50	0.00	Editar
Térreo	Uso 1	1.50	1.50	Editar

Fonte: Elaborado pela autora, a partir do *software* Cypecad, 2026

4.2.4 Forças devido ao vento

As forças devido ao vento foram definidas com base na NBR 6123:2023.

- A velocidade do vento utilizada foi de 32 m/s, valor de referência definido para a região na qual está localizada a edificação objeto de estudo.
- Foi considerada a classe B, que se relaciona com estruturas ou edificações cuja maior dimensão horizontal ou vertical da superfície frontal esteja entre 20 m e 50 m.
- O fator probabilístico utilizado foi o do grupo 2. Esse fator considera o grau de segurança requerido e a vida útil da edificação.
- Para a categoria de uso do terreno, optou-se pela classe IV, que inclui terrenos cobertos por numerosos obstáculos em zona urbanizada.

As ações do vento precisam ser verificadas, pois são uma das principais ações horizontais que atuam em uma edificação. No métodos estudados, as lajes lisas possuem a desvantagem de menor rigidez às ações laterais devido à ausência de vigas em relação às lajes convencionais. Não foi objeto de estudo desse trabalho avaliar como as ações do vento atuam em cada um dos métodos, apenas foi consideradas essas ações nas entradas de dados do software.

A Figura 17 apresenta as configurações acima citadas aplicadas no projeto do Cypecad.

Figura 17 – Configurações de sobrecarga devido ao vento

Norma para o cálculo da sobrecarga de vento

☒ Brasil ☐ Argentina ☐ Bolívia ☐ Chile ☐ Colômbia ☐ Costa Rica ☐ Cuba ☐ El Salvador ☐ Equador ☐ Guatemala ☐ Honduras ☐ México ☐ Nicarágua ☐ Panamá ☐ Paraguai ☐ Peru ☐ República Dominicana ☐ Uruguai ☐ Venezuela ☐ Método geral ☐ UE ☐ Alemanha ☐ Bélgica ☐ Bulgária ☐ Chipre ☐ Croácia ☐ Eslovênia ☐ Espanha ☐ Finlândia ☐ França ☐ Itália ☐ Letônia ☐ Luxemburgo ☐ Polónia ☐ Portugal ☐ Reino Unido ☐ Romênia ☐ Rússia ☐ Sérvia ☐ Turquia ☐ África do Sul ☐ Argélia ☐ Marrocos ☐ Canadá ☐ USA ☐ Cazaquistão ☐ China ☐ Filipinas ☐ Índia ☐ Malásia ☐ Singapura ☐ Tailândia

☐ NBR 6123 ☒ NBR 6123:2023

NBR 6123:2023. Forças devidas ao vento em edificações

☒ Ação de vento segundo X + X 1.00 - X 1.00

☒ Ação de vento segundo Y + Y 1.00 - Y 1.00

Larguras de faixa: Y 17.98 m X 18.75 m Por planta

Dados da localização

Velocidade Básica: 32.0 m/s

☒ Com fator de vizinhança + X (0°) 1.00 - Y (90°) 1.00 - X (180°) 1.00 + Y (270°) 1.00

Classe de estrutura

☐ A ☒ B ☐ C

Fator probabilístico

Fator Probabilístico: Grupo 2

Categoria do terreno

☒ Única ☐ Segundo direção

☐ I ☐ II ☐ III ☒ IV ☐ V

Terrenos cobertos por obstáculos numerosos e pouco espaçados, em zona florestal, industrial ou urbanizada. EXEMPLOS: zonas de parques e bosques com muitas árvores, cidades pequenas e seus arredores, subúrbios densamente construídos de grandes cidades, áreas industriais plena ou parcialmente desenvolvidas. A cota média do topo dos obstáculos é considerada igual a 10 m. Esta Categoria também inclui zonas com obstáculos maiores e que ainda não podem ser considerados na Categoria V.

Orografia do terreno

☒ Relevo do terreno ☐ Especificado pelo usuário

Direção transversal (X) Direção transversal (Y)

☒ Plano ☐ Ascendente ☐ Descendente ☐ Colina ☐ Vale profundo

Aceitar Sem efeitos de 2ª ordem Cancelar

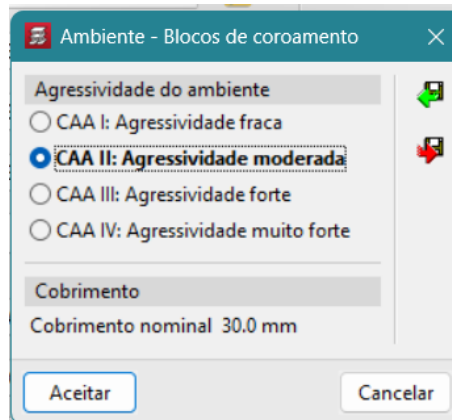
Fonte: Elaborado pela autora, a partir do *software* Cypecad, 2026

4.2.5 Agressividade do ambiente e cobrimento

A classe de agressividade ambiental adotada está em concordância com a NBR 6118:2026. Foi utilizada a classe II (moderada), como pode ser observado nas configurações inseridas no *software* (Figura 18), que indica que a estrutura está inserida em um ambiente com grau moderado de risco de deterioração.

Conforme a NBR 6118:2026, o cobrimento é a camada de concreto que protege a armadura contra agentes do ambiente que danificam e causam corrosão, garantindo a durabilidade da estrutura. A norma brasileira relaciona valores mínimos de cobrimento de acordo com o tipo da estrutura, o componente que está sendo analisado e a classe de agressividade a que a edificação está submetida. Foi utilizado o cobrimento de 3,0 cm no projeto para todos os elementos, conforme pode ser observado, também, na Figura 18.

Figura 18 – Classe de agressividade ambiental adotada

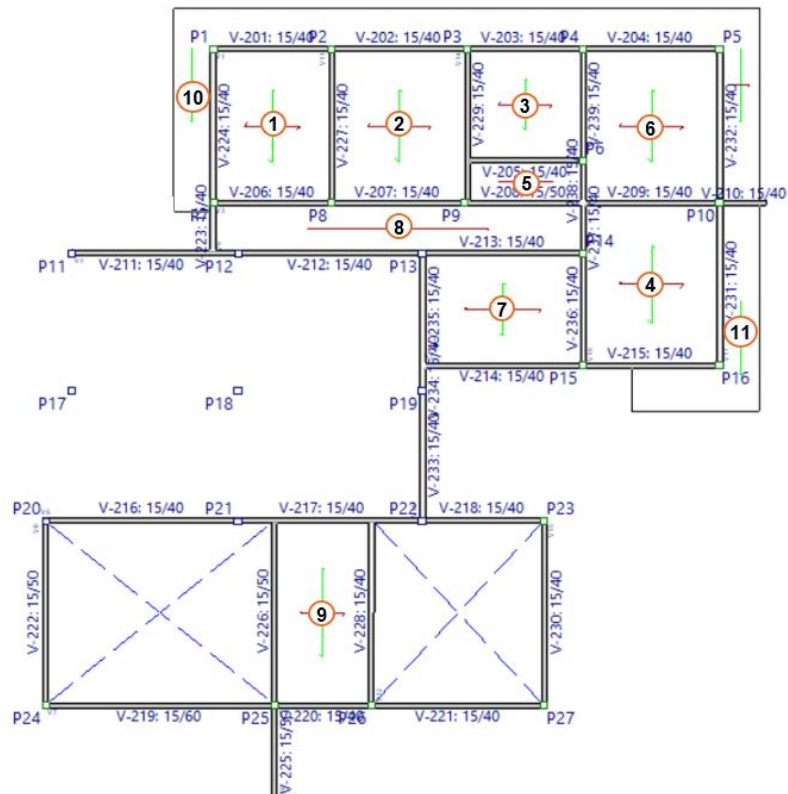


Fonte: Elaborado pela autora, a partir do *software* Cypecad, 2026

4.3 PRÉ-DIMENSIONAMENTO DA ESTRUTURA

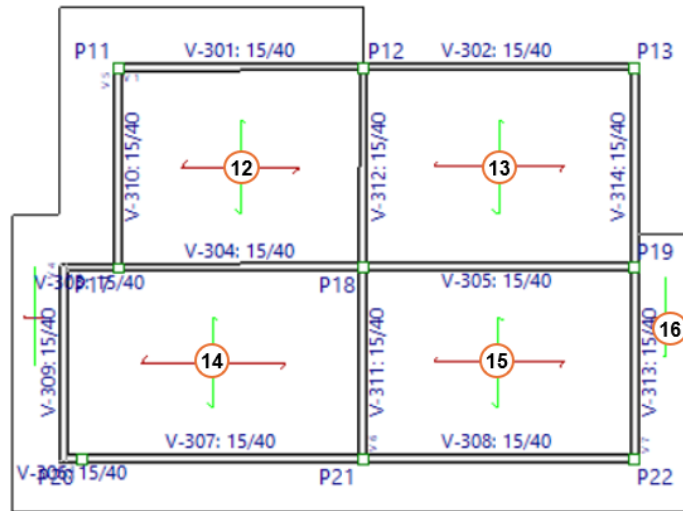
A identificação dos elementos para o dimensionamento está representada nas Figuras 19 (pavimento cobertura) e 20 (pavimento cobertura elevada). A numeração atribuída às lajes é válida tanto para o estudo das lajes convencionais quanto para o estudo das lajes lisas.

Figura 19 – Identificação dos elementos estruturais (cobertura)



Fonte: Elaborado pela autora, a partir do *software* Cypecad, 2026

Figura 20 – Identificação dos elementos estruturais (cobertura elevada)



Fonte: Elaborado pela autora, a partir do *software* Cypecad, 2026

4.3.1 Pré-dimensionamento – Laje maciça

Para as lajes maciças, foi utilizada no pré-dimensionamento a mesma metodologia empregada por Bastos (2023):

$$d \geq (2,5 - 0,1 \cdot n) \cdot \ell^*$$

Onde:

d = altura útil das lajes (cm);

n = número de bordas engastadas na laje;

ℓ^* = dimensão da laje em m, sendo:

$$\ell^* \leq \begin{cases} \ell_x \\ 0,7\ell_y \end{cases}$$

Em que:

ℓ_x = menor vão da laje (m);

ℓ_y = maior vão da laje (m).

A altura total da laje (altura útil somada à altura necessária para a armadura e cobrimento), portanto, pode ser determinada por:

$$h = d + \frac{\phi \ell}{2} + c$$

Onde:

h = altura total laje (cm);

d = altura útil da laje (cm);

$\phi \ell = \phi$ da armadura (estimado em 10 mm = 1,0 cm);

c = cobrimento (25 mm);

Os valores de altura calculados no pré-dimensionamento das lajes convencionais estão organizados na Tabela 4. Valores inferiores a 12 cm foram arredondados de forma que as lajes não apresentem tantas variações de espessura.

Tabela 4 – Pré-dimensionamento (laje convencional)

Laje	ℓ_x (cm)	ℓ_y (cm)	λ	$0,7 \ell_y$ (cm)	ℓ^* (m)	n	d (cm)	h (cm)	h adotado (cm)
1	300	405	1,4	283,5	2,8	2	6,5	10,0	12
2	350	400	1,1	280,0	2,8	3	6,2	9,7	12
3	280	300	1,1	210,0	2,1	3	4,6	8,1	12
4	350	420	1,2	294,0	2,9	4	6,2	9,7	12
5	100	300	3,0	210,0	2,1	2	4,8	8,3	12
6	350	400	1,1	280,0	2,8	3	6,2	9,7	12
7	280	420	1,5	294,0	2,9	2	6,8	10,3	12
8	120	1000	8,3	700,0	7,0	4	14,7	18,2	18
9	245	485	2,0	339,5	3,4	3	7,5	11,0	12
10	100	350	3,5	245,0	2,5	2	5,6	9,1	12
11	100	420	4,2	294,0	2,9	3	6,5	10,0	12
12	351	430	1,2	301,0	3,0	3	6,6	10,1	12
13	351	480	1,4	336,0	3,4	1	8,1	11,6	12
14	334	501	1,5	350,7	3,5	1	8,4	11,9	12
15	334	480	1,4	336,0	3,4	3	7,4	10,9	12
16	100	471	4,7	329,7	3,3	2	7,6	11,1	12

Fonte: Elaborado pela autora

4.3.2 Pré-dimensionamento – Vigas

No pré-dimensionamento de vigas, pode-se adotar o critério proposto por Bastos (2017):

$$h = \frac{\ell}{10}$$

Em que:

h = altura da viga (cm);

ℓ = comprimento da viga (cm).

Os valores de altura calculados no pré-dimensionamento das vigas estão organizados na Tabela 5.

Tabela 5 – Pré-dimensionamento (vigas)

Viga	L (cm)	L/10 (cm)	h adotada (cm)	Viga	L (cm)	L/10 (cm)	h adotada (cm)
201	300,5	30,05	40	227	401,5	40,15	40
202	347,5	34,75	40	228	481	48,1	40
203	296	29,6	40	229	401,5	40,15	40
204	351	35,1	40	30	481	48,1	40
205	296	29,6	40	231	282	28,2	40
206	295,5	29,55	40	232	235	23,5	40
207	330,5	33,05	40	233	282	28,2	40
208	296	29,6	50	234	421,5	42,15	40
209	351	35,1	40	235	396,5	39,65	40
210	120	12	40	236	334,5	33,45	40
211	432	43,2	40	237	351,5	35,15	40
212	480	48	40	238	351,5	35,15	40
213	417	41,7	40	301	432	43,2	40
214	417	41,7	40	302	480	48	40
215	351	35,1	40	303	81	8,1	40
216	501	50,1	40	304	432	43,2	40
217	480,5	48,05	40	305	480	48	40
218	312	31,2	40	306	11	1,1	40
219	600,5	60,05	60	307	501	50,1	40
220	244	24,4	40	308	480,5	48,05	40
221	451	45,1	40	309	372	37,2	40
222	485	48,5	50	310	352	35,2	40
223	120,5	12,05	40	311	334,5	33,45	40
224	400,5	40,05	40	312	351,5	35,15	40
225	250	25	50	313	334,5	33,45	40
226	481	48,1	50	314	351,5	35,15	40

Fonte: Elaborado pela autora

4.3.3 Pré-dimensionamento – Laje lisa

No pré-dimensionamento das lajes lisas, foi utilizado o critério proposto pelo *American Concrete Institute* (2011), de acordo com a Tabela 6:

$$h = \frac{\ell}{31}$$

Em que:

h = altura da laje (cm);

ℓ = comprimento do maior vão (cm).

Tabela 6 – Espessura mínima de lajes sem vigas internas

$f_y, (\text{MPa})^\dagger$	Aço brasileiro correspondente	Sem capitéis [‡]			Com capitéis [‡]		
		Painéis externos		Painéis internos	Painéis externos		Painéis internos
		Sem vigas de borda	Com vigas de borda [§]		Sem vigas de borda	Com vigas de borda [§]	
276	CA-25 ($f_{yk} = 250$ MPa)	$\ell_n/33$	$\ell_n/36$	$\ell_n/36$	$\ell_n/36$	$\ell_n/40$	$\ell_n/40$
414	CA-50 ($f_{yk} = 500$ MPa)	$\ell_n/30$	$\ell_n/33$	$\ell_n/33$	$\ell_n/33$	$\ell_n/36$	$\ell_n/36$
517	CA-50 ($f_{yk} = 500$ MPa) / CA-60 ($f_{yk} = 600$ MPa)	$\ell_n/28$	$\ell_n/21$	$\ell_n/31$	$\ell_n/31$	$\ell_n/34$	$\ell_n/34$

* Para construções bidirecionais, ℓ_n é o comprimento do vão livre na direção mais longa, medido face a face dos apoios em lajes sem vigas, e face a face das vigas ou outros apoios nos demais casos.

† Para valores de f_y (tensão de escoamento do aço) intermediários aos dados na tabela, a espessura mínima deve ser determinada por interpolação linear.

‡ Painéis de reforço.

§ Lajes com vigas entre pilares ao longo das bordas externas. O valor de α_f para a viga de borda não deve ser menor que 0,8.

Fonte: ACI 318-11, traduzido e adaptado

Os valores de altura das lajes lisas calculados no pré-dimensionamento estão organizados na Tabela 7. Valores inferiores a 16 cm foram arredondados para 17 cm, de forma que as lajes não apresentem alturas mínimas inferiores à indicada na NBR 6118:2026, nem muitas variações de espessura.

Tabela 7 – Pré-dimensionamento (laje lisa)

Laje	ℓ_x (cm)	ℓ_y (cm)	$h = \ell / 31$	$h = \ell / 28$	h adotado (cm)
1	300	405	13,1		16
2	350	400	12,9		16
3	280	300	9,7		16
4	350	420	13,5		16
5	100	300	9,7		16
6	350	400	12,9		16
7	280	420	13,5		16
8	120	1000	32,3		16
9	245	485	15,6		17
10	100	350		12,5	17
11	100	420		15,0	17
12	351	430	13,9		17
13	351	480	15,5		17
14	334	501	16,2		17
15	334	480	15,5		17
16	100	471		16,8	17

Fonte: Elaborado pela autora

4.4 DIMENSIONAMENTO E VERIFICAÇÕES DAS LAJES

Para a laje convencional, foi realizado um dimensionamento considerando os valores encontrados na Seção 4.3.1 deste trabalho e outro dimensionamento considerando a espessura mínima que deve ser aplicada à laje lisa. Esses critérios foram definidos como forma de comparação entre as lajes, sendo eles:

- Comparação entre as lajes em relação à otimização das mesmas, ou seja, aplicando-se a espessura econômica mínima que satisfaça os estados-limites, desde que as flechas sejam respeitadas.
- Ambos os sistemas devem atender aos limites de deslocamento correspondentes à aceitabilidade sensorial e aos deslocamentos visíveis, definidos como $\ell / 250$, conforme a NBR 6118:2026. Foi adotado esse critério de acordo com a classificação do grupo básico de deslocamentos-limites definida por esta norma: “aceitabilidade sensorial: o limite é caracterizado por vibrações indesejáveis ou efeito visual desagradável. A limitação da flecha para prevenir essas vibrações, em situações especiais de utilização...” (NBR 6118:2026, p.79)

4.4.1 Dimensionamento - laje maciça

Os dados gerais de dimensionamento das lajes maciças, já descritos nas Seções 4.2 e 4.3, estão apresentados na Figura 21.

Figura 21 – Configurações de dimensionamento da laje maciça

A janela 'Dados gerais' do software Cypecad apresenta as seguintes configurações:

- Chave:** Projeto TCC-Laje Maciça
- Descrição:** TCC-Laje Maciça
- Normas:** ABNT NBR 6118:2014, NBR 14762: 2001, NBR8800, NBR 7190 e Eurocódigo 9
- Concreto armado:**
 - Concreto:**
 - Pisos: C30, em geral
 - Fundação: C30, em geral
 - Tubulões: C30, em geral
 - Pilares: C30, em geral
 - Cortinas: C30, em geral
 - Características do agregado: Granito (19 mm)
 - Aço:**
 - Barra: CA-50 e CA-60
 - Parafusos: ISO 898.C4.6
- Perfis:**
 - Aço:**
 - Laminados e soldados: A-36 250Mpa
 - Dobrados: CF-26
 - Madeira:** C20
 - Aluminio extrudado:** EN AW-5083 - F
- Ações:**
 - Carga permanente e sobrecarga
 - ☒ Com ação do vento (NBR 6123:2023 (Brasil))
 - ☐ Com ação sísmica
 - ☐ Verificar resistência ao fogo
 - Estados limites (combinações)
 - Ações adicionais (cargas especiais)
- Coeficientes de flambagem:**
 - Pilares de concreto e mistos: Bx 1.000, By 1.000
 - Pilares em aço: Bx 1.000, By 1.000
 - Pilares de madeira: Bx 1.000, By 1.000
- Ambiente:**
 - Vigas: CAA II (Abertura máxima de fissura: 0.30 mm)

Botão 'Aceitar' na base da janela.

Fonte: Elaborado pela autora, a partir do *software* Cypecad, 2026

O cálculo do projeto foi realizado por meio do Cypecad e não foram encontrados erros, segundo o relatório de cálculo mostrado na Figura 22. Como pode ser observado na Figura 22, o programa Cypecad não calcula automaticamente as flechas em lajes.

Figura 22 - Relatório de erros dimensionamento laje maciça (12 e 18 cm de espessura)

Relatório final de cálculo da obra 'Projeto TCC-Laje Maciça-12 e 18cm' (Versão 2026.c)

Tempo de cálculo
Hora de início: 05/06/2026 12:35:10
Hora de finalização: 05/06/2026 12:35:52
Duração: 00:00:42

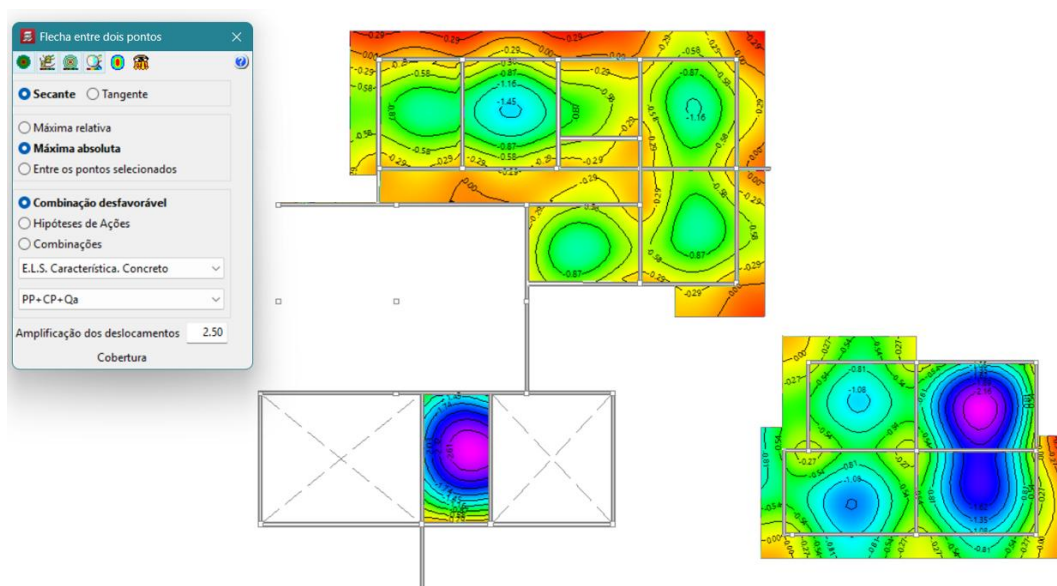
Não foi considerada a interação solo-estrutura.

O programa não verifica automaticamente a limitação de flecha em lajes maciças e lajes nervuradas. Nestas lajes, é possível consultar os valores de flecha elástica entre quaisquer dois pontos indicados pelo usuário. Deve-se consultar os limites normativos aplicáveis a esta obra e estimar as flechas correspondentes.

Fonte: Cypecad, 2026

No critério $\ell/250$ para a verificação das flechas, ℓ (em cm) representa o comprimento da laje, tanto no sentido transversal quanto no longitudinal. Através do Cypecad, foram extraídos os isovalores (dados em cm) dos deslocamentos considerando uma combinação desfavorável, como pode ser observado na Figura 23, em que as lajes do pavimento cobertura (à esquerda) e do pavimento cobertura elevada (à direita) estão sendo consideradas. Para a verificação da flecha no infinito, utilizou-se um fator de amplificação dos deslocamentos igual a 2,5.

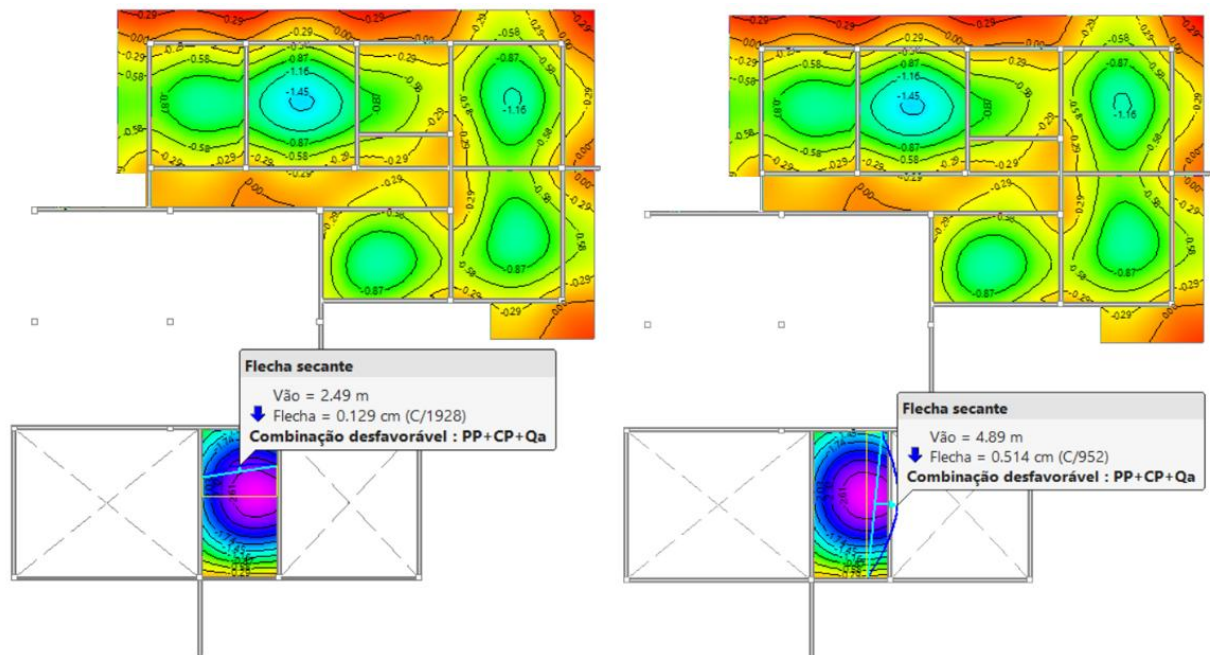
Figura 23 – Isovalores dos deslocamentos para laje maciça (h=12 cm e h=18 cm)



Fonte: Elaborado pela autora, a partir do software Cypecad, 2026

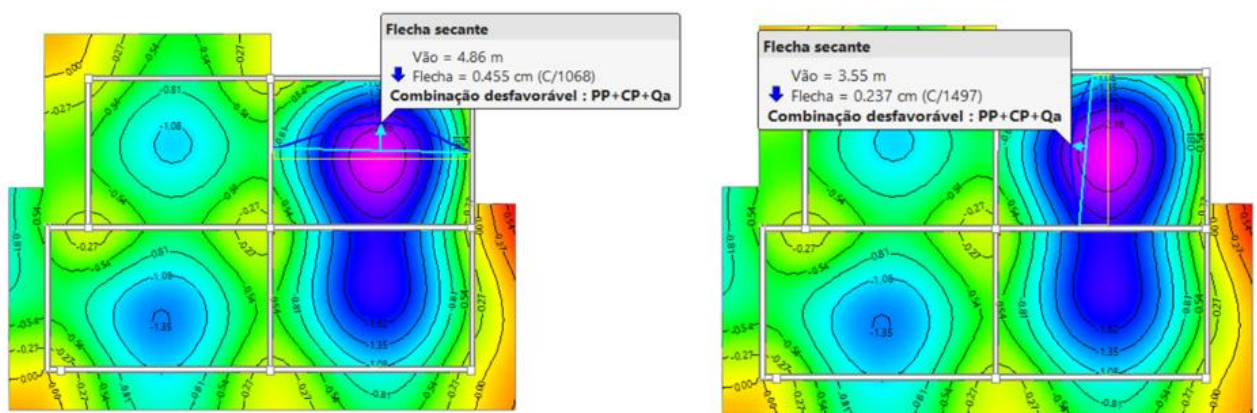
Diante dos isovalores obtidos, foi avaliada a laje maciça mais solicitada e as flechas totais, tanto longitudinal quanto transversal, foram medidas e podem ser verificadas na Figura 24 para o pavimento cobertura e na Figura 25 para o pavimento cobertura estendida.

Figura 24 – Flechas transversal e longitudinal laje maciça (h=12 cm e h=18 cm) no pavimento cobertura



Fonte: Elaborado pela autora, a partir do *software* Cypecad, 2026

Figura 25 – Flechas transversal e longitudinal laje maciça (h=12 cm e h=18 cm) no pavimento cobertura elevada



Fonte: Elaborado pela autora, a partir do *software* Cypecad, 2026

Os valores encontrados $\ell / 1928$, $\ell / 952$, $\ell / 1068$ e $\ell / 1497$ estão abaixo do limite estabelecido de verificação $\ell / 250$, ou seja, as flechas encontradas estão dentro do limite estipulado pela NBR 6118:2026.

4.4.2 Dimensionamento - laje lisa

Os dados gerais de dimensionamento das lajes lisas não se diferem daqueles já aplicados às lajes maciças e descritos nas Seções 4.2 e 4.3. A Figura 26 apresenta esses dados.

Figura 26 – Configurações de dimensionamento da laje lisa

A captura de tela mostra a interface de configuração de dimensionamento da laje lisa no software Cypecad. A janela é intitulada 'Dados gerais' e contém as seguintes seções:

- Chave:** Projeto TCC - Laje Lisa
- Descrição:** TCC-Laje Lisa
- Normas:** ABNT NBR 6118:2014, NBR 14762: 2001, NBR8800, NBR 7190 e Eurocódigo 9
- Concreto armado:**
 - Concreto:**
 - Pisos: C30, em geral
 - Fundação: C30, em geral
 - Tubulões: C30, em geral
 - Pilares: C30, em geral
 - Cortinas: C30, em geral
 - Características do agregado: Granito (19 mm)
 - Aço:**
 - Barra: CA-50 e CA-60
 - Parafusos: ISO 898.C4.6
- Perfis:**
 - Aço:**
 - Laminados e soldados: A-36 250Mpa
 - Dobrados: CF-26
 - Madeira:** C20
 - Alumínio extrudado:** EN AW-5083 - F
- Ações:**
 - Carga permanente e sobrecarga
 - ☒ Com ação do vento: NBR 6123:2023 (Brasil)
 - ☐ Com ação sísmica
 - ☐ Verificar resistência ao fogo
 - Estados limites (combinações)
 - Ações adicionais (cargas especiais)
- Coeficientes de flambagem:**
 - Pilares de concreto e mistos:** Bx 1.000 By 1.000
 - Pilares em aço:** Bx 1.000 By 1.000
 - Pilares de madeira:** Bx 1.000 By 1.000
- Ambiente:** Vigas: CAA II (Abertura máxima de fissura: 0.30 mm)

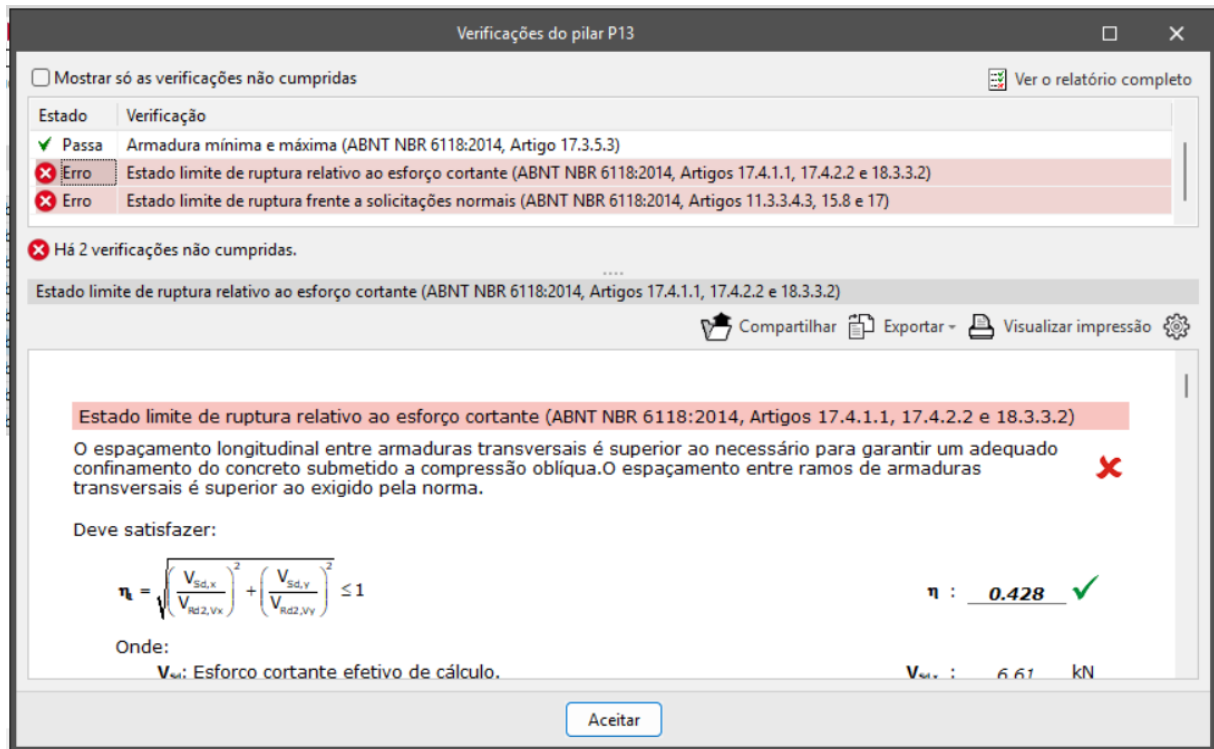
Botão 'Aceitar' na base da janela.

Fonte: Elaborado pela autora, a partir do software Cypecad, 2026

Novamente, o cálculo do projeto foi realizado por meio do Cypecad. Na Figura 27, pode ser observado o surgimento de erros relativos às dimensões dos pilares. Esses erros foram corrigidos alterando-se as dimensões consideradas inicialmente. A Figura

27 exemplifica um erro no dimensionamento de um dos pilares apresentado pelo programa.

Figura 27 – Erro de dimensionamento do pilar



Fonte: Elaborado pela autora, a partir do software Cypecad, 2026

Após a correção dos erros encontrados nos pilares, foi realizado o recálculo do projeto no Cypecad e o resultado pode ser observado na Figura 28.

Figura 28 – Relatório de erros dimensionamento laje lisa (17 e 33cm de espessura)

Relatório final de cálculo da obra 'Projeto TCC - Laje Lisa-17 e 33cm' (Versão 2026.c)

Tempo de cálculo
 Hora de início: 05/06/2026 22:28:50
 Hora de finalização: 05/06/2026 22:29:17
 Duração: 00:00:27

Grupo 2:
 - Seções com reforço por punção ou cortante

Não foi considerada a interação solo-estrutura.

Grupo 2:
 Os elementos de suporte 'P12, P13, P15, P25 e P26' não cumprem alguma verificação de punção.

O programa não verifica automaticamente a limitação de flecha em lajes maciças e lajes nervuradas. Nestas lajes, é possível consultar os valores de flecha elástica entre quaisquer dois pontos indicados pelo usuário. Deve-se consultar os limites normativos aplicáveis a esta obra e estimar as flechas correspondentes.

Fonte: Cypecad, 2026

Com o objetivo de corrigir os erros devido ao funcionamento encontrados no recálculo da estrutura, foram feitos os seguintes ajustes no projeto, em relação ao exposto na Tabela 7 deste trabalho:

- aumento da espessura das lajes 1 a 8, 10 e 11 de 16 cm para 22 cm;
- aumento da espessura da laje 9 de 17 cm para 23 cm;
- aumento na dimensão dos pilares 12, 15, 25 e 26;
- introdução de viga, de mesma altura da laje, entre os pilares 21 e 22 no pavimento cobertura.

O cálculo final do projeto, após as correções realizadas e sem apontamento de novos erros, pode ser observado na Figura 29. Assim como foi realizado na análise das lajes convencionais, a verificação das flechas foi executada de forma manual, pois o Cypecad não considera automaticamente essa verificação.

Figura 29 – Relatório de dimensionamento laje lisa

Relatório final de cálculo da obra 'Projeto TCC - Laje Lisa-sem erros' (Versão 2026.c)

Tempo de cálculo
Hora de início: 06/06/2026 11:20:00
Hora de finalização: 06/06/2026 11:20:23
Duração: 00:00:23

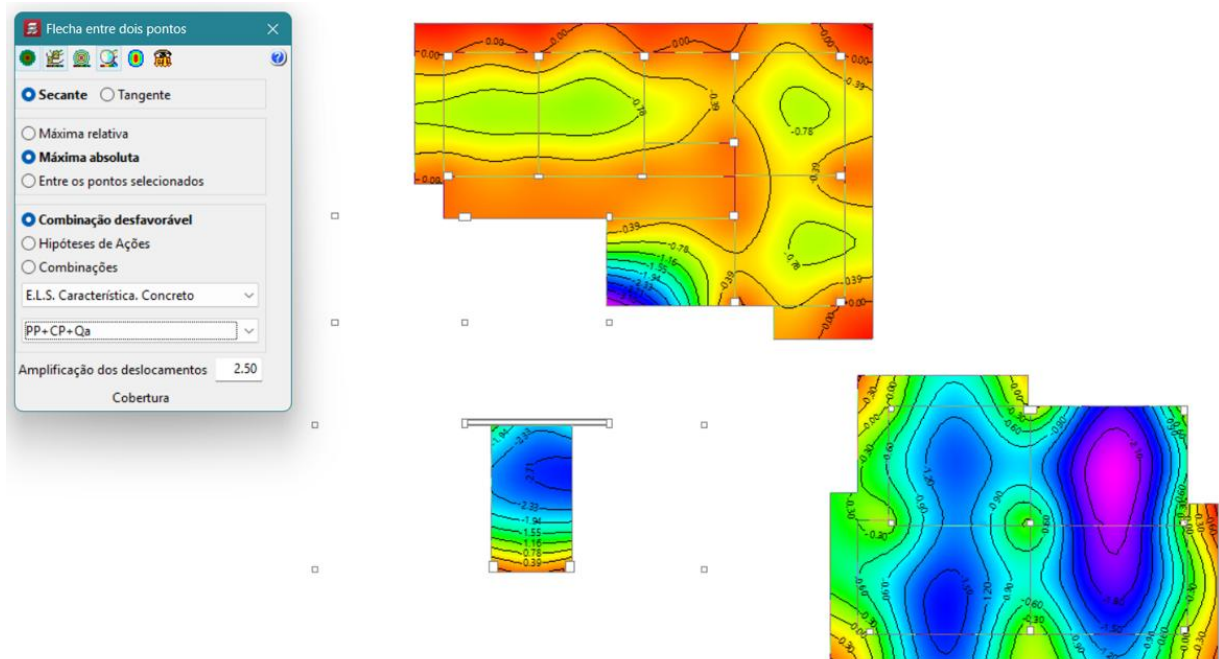
Não foi considerada a interação solo-estrutura.

O programa não verifica automaticamente a limitação de flecha em lajes maciças e lajes nervuradas. Nestas lajes, é possível consultar os valores de flecha elástica entre quaisquer dois pontos indicados pelo usuário. Deve-se consultar os limites normativos aplicáveis a esta obra e estimar as flechas correspondentes.

Fonte: Cypecad, 2026

Como mencionado no início da Seção 4.4, o mesmo critério $\ell/250$ para a verificação das flechas foi utilizado nas lajes lisas. O procedimento para a obtenção dos dados respeitou a mesma metodologia considerada na verificação das flechas para as lajes maciças: no Cypecad foram extraídos os isovalores (dados em cm) dos deslocamentos considerando uma combinação desfavorável. Pode ser observado na Figura 30 que as lajes do pavimento cobertura (à esquerda) e do pavimento cobertura elevada (à direita) estão sendo consideradas. Para a verificação da flecha no infinito, utilizou-se também um fator de amplificação dos deslocamentos igual a 2,5.

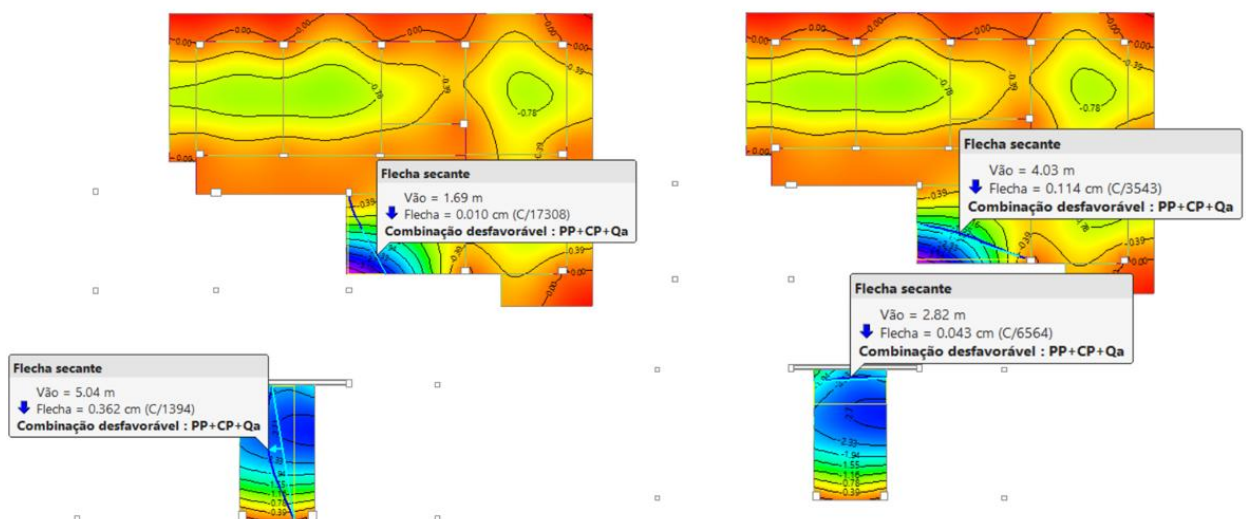
Figura 30 – Isovalores dos deslocamentos para laje lisa



Fonte: Elaborado pela autora, a partir do *software* Cypecad, 2026

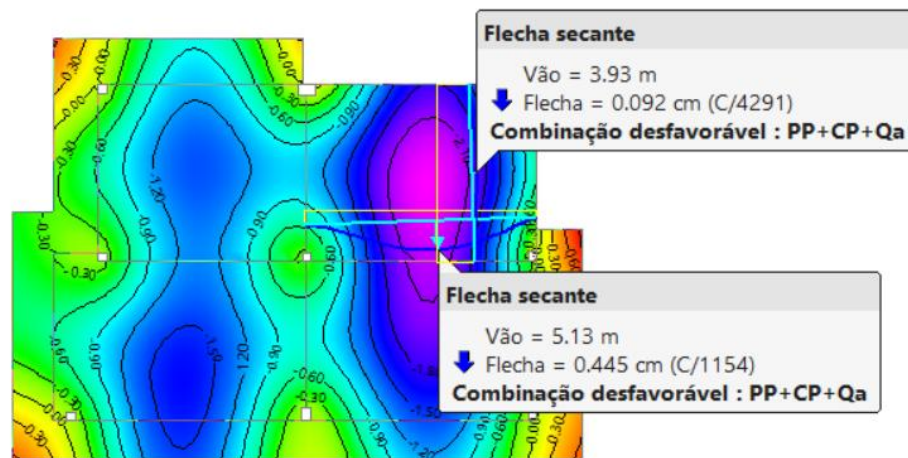
Com os isovalores obtidos, foi avaliada a laje mais solicitada e as flechas totais, tanto longitudinal quanto transversal, foram medidas e podem ser verificadas na Figura 31 para o pavimento cobertura e na Figura 32 para o pavimento cobertura estendida.

Figura 31 – Flechas transversal e longitudinal laje lisa no pavimento cobertura



Fonte: Elaborado pela autora, a partir do *software* Cypecad, 2026

Figura 32 – Flechas transversal e longitudinal laje lisa no pavimento cobertura elevada



Fonte: Elaborado pela autora, a partir do *software* Cypecad, 2026

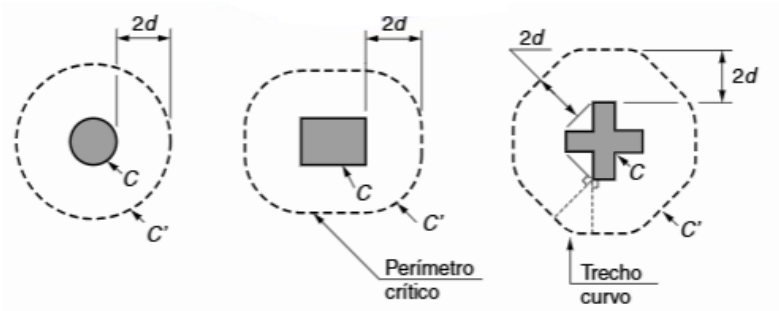
Os valores medidos para as flechas estão abaixo do limite estabelecido de verificação $\ell/250$, ou seja, as flechas encontradas estão dentro do aceitável.

4.4.3 Verificação de punção - laje lisa

Como as lajes lisas não possuem vigas para transferir esforços, a verificação à punção na ligação laje-pilar é uma premissa obrigatória de segurança.

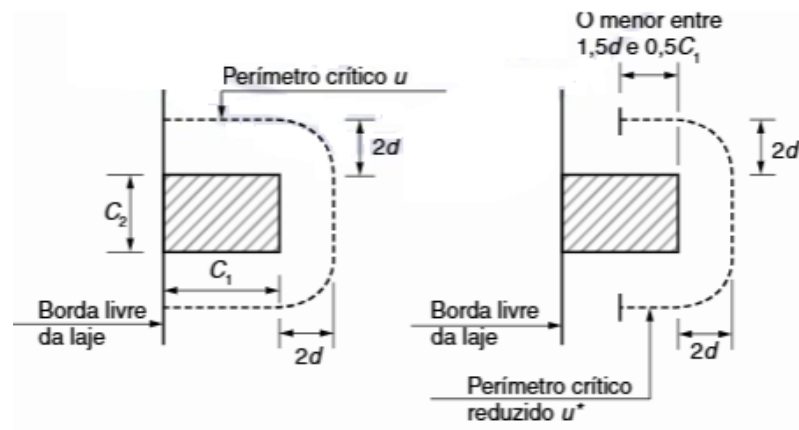
Em relação ao esforço de punção, o dimensionamento é fundamentado na avaliação das tensões de cisalhamento que atuam ao longo de superfícies ou perímetros críticos, determinados em função da altura útil (d) da laje (NBR 6118, 2026). A Figura 33 apresenta o perímetro crítico em pilares internos, a Figura 34 em pilares de borda e a Figura 35 em pilares de canto, de acordo com a NBR 6118:2026.

Figura 33 – Perímetro crítico em pilares internos



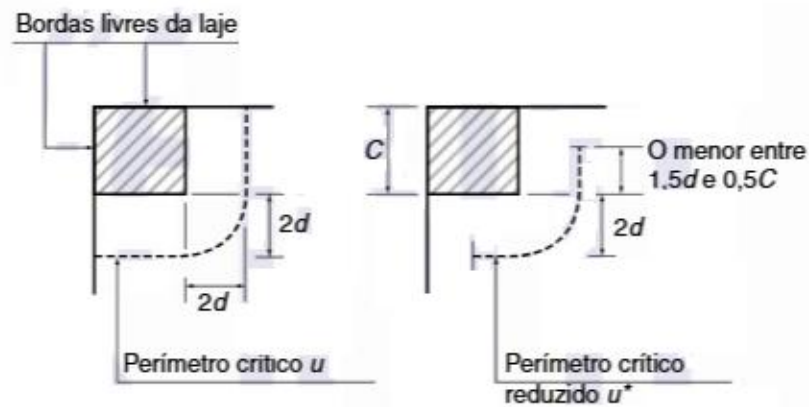
Fonte: NBR 6118, 2026

Figura 34 – Perímetro crítico em pilares de borda



Fonte: NBR 6118, 2026

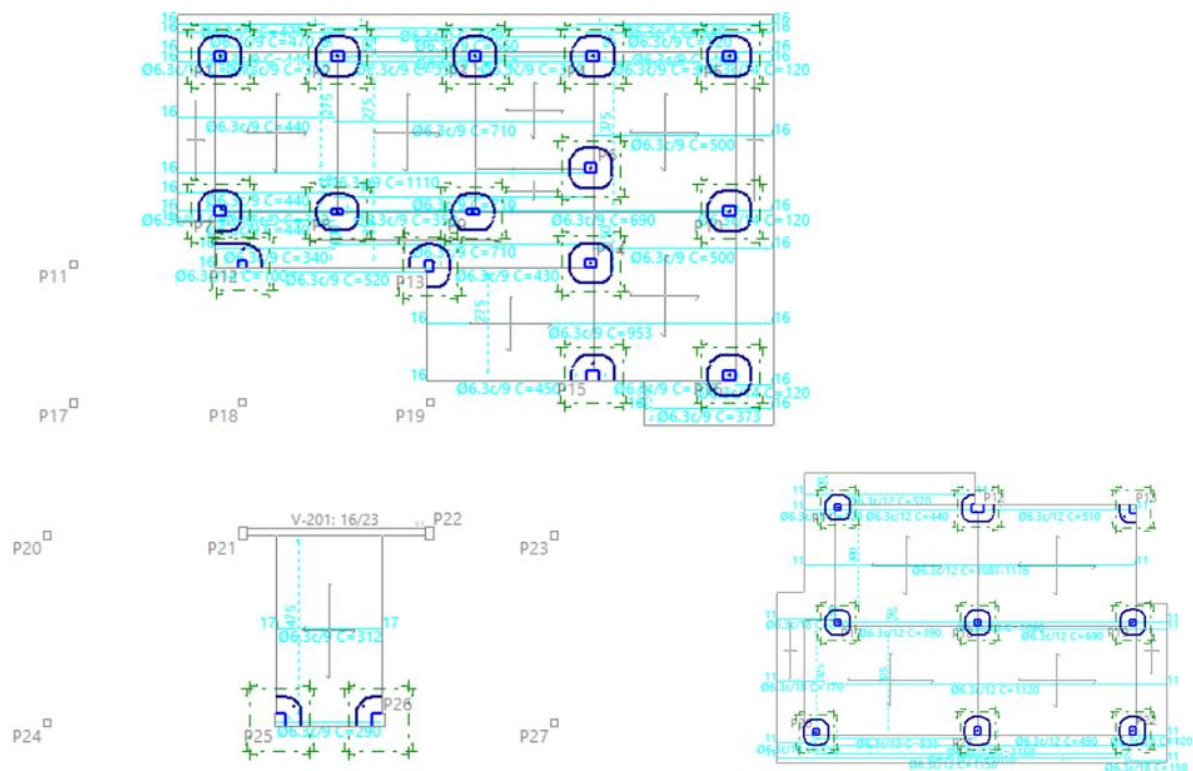
Figura 35 – Perímetro crítico em pilares de canto



Fonte: NBR 6118, 2026

A Figura 36 apresenta as verificações de punção nas lajes lisas realizadas no Cypecad. Como pode ser observado, as armaduras de punção estão representadas na Figura. As demarcações em azul escuro são os perímetros críticos e indicam, devido a cor apresentada, que todos os pilares atendem aos esforços de punção.

Figura 36 – Verificação da punção nas lajes lisas



Fonte: Elaborado pela autora, a partir do *software* Cypecad, 2026

4.5 ARMADURAS

As armaduras dimensionadas por meio do Cypecad estão apresentadas nos apêndices deste trabalho. Estão apresentadas as armaduras para o sistema de lajes convencionais nos Apêndices B, C, D e E, divididos entre o pavimento cobertura elevada (Apêndices B e C) e o pavimento cobertura (Apêndices D e E).

Para o sistema de lajes lisas, as armaduras estão apresentadas nos Apêndices F, G, H e I, também divididos entre o pavimento cobertura elevada (Apêndices F e G) e o pavimento cobertura (Apêndices H e I).

4.6 LEVANTAMENTO DE CUSTOS

A engenharia de custos é a área da engenharia que utiliza princípios, normas, critérios e experiência para resolver problemas relacionados a estimativas de custos (DIAS, 2012).

A estimativa de custos é um cálculo rápido utilizado para a avaliação de um serviço ou empreendimento que se baseia frequentemente em índices conhecidos no mercado, como o Custo Unitário Básico (CUB) por metro quadrado. O orçamento é o somatório dos custos totais baseado em levantamentos precisos de quantitativos e nas composições dos mesmos.

No levantamento de custos realizado neste trabalho, foi considerado o método de composição analítica simplificada, ou seja, apresentada para uma produção de serviço igual a uma unidade, de acordo com Dias (2012).

4.6.1 Quantitativo de materiais

Foram utilizados os relatórios do *software* Cypecad para a obtenção do quantitativo de materiais, acrescidos de uma margem de 10% para perdas generalizadas.

A Tabela 8 apresenta os quantitativos totais considerados para o projeto de lajes maciças e a Tabela 9, os quantitativos totais para o projeto de lajes lisas.

Tabela 8 – Quantitativos de materiais (laje maciça)

Elemento	Fôrmas (m ²)	Concreto (m ³)	Barras (kg)
Lajes	261,7	34,4	1589,5
Vigas	212,2	20,6	933,9
Pilares	62,0	3,2	662,2

Fonte: Elaborado pela autora, a partir do *software* Cypecad, 2026

Tabela 9 – Quantitativos de materiais (laje lisa)

Elemento	Fôrmas (m ²)	Concreto (m ³)	Barras (kg)
Lajes	280,9	56,2	2640
Vigas	25,7	0,2	28,6
Pilares	105,6	6,6	704

Fonte: Elaborado pela autora, a partir do *software* Cypecad, 2026

4.6.2 Orçamentos

Os orçamentos para a execução das lajes, tanto maciça quanto lisa, foram elaborados a partir de relatórios quantitativos de detalhamento dos dados apresentados nas Tabelas 8 e 9. Foi utilizada a base SINAPI para a precificação dos insumos e a tabela de insumos com desoneração, com base em abril de 2026 para o estado de Minas Gerais.

Os quantitativos considerados são relativos a vigas, lajes e pilares; outros componentes não foram considerados. A Tabela 10 apresenta o orçamento para a execução da laje maciça e a Tabela 11, o orçamento para a execução da laje lisa.

Tabela 10 – Orçamento (laje maciça)

Código SINAPI	Insumo	Unid.	Quant.	Preço Unit. (R\$)	Preço Total (R\$)
32	Aço CA 50-A Ø 6.3	kg	944,00	R\$ 7,17	R\$ 6.768,48
33	Aço CA 50-A Ø 8	kg	100,00	R\$ 7,21	R\$ 721,00
34	Aço CA 50-A Ø 10	kg	50	R\$ 6,80	R\$ 340,00
43055	Aço CA 50-A Ø 12.5	kg	498	R\$ 5,89	R\$ 2.933,22
43059	Aço CA 60-B Ø 5	kg	1304	R\$ 6,43	R\$ 8.384,72
1525	CONCRETO USINADO BOMBEAVEL C30, BRITA 0 E 1, SLUMP = 100 +/- 20 MM	m³	58,2	R\$ 631,47	R\$ 36.751,55
43678	CHAPA DE MADEIRA COMPENSADA RESINADA 2,2 X 1,1 M, E = 14 MM	m²	535,8	R\$ 69,55	R\$ 37.264,89
				Total (R\$)	R\$ 93.163,86

Fonte: Elaborado pela autora, 2026

Tabela 11 – Orçamento (laje lisa)

Código SINAPI	Insumo	Unid.	Quant.	Preço Unit. (R\$)	Preço Total (R\$)
32	Aço CA 50-A Ø 6.3	kg	2.461	R\$ 7,17	R\$ 17.645,37
33	Aço CA 50-A Ø 8	kg	96	R\$ 7,21	R\$ 692,16
34	Aço CA 50-A Ø 10	kg	8	R\$ 6,80	R\$ 54,40
43055	Aço CA 50-A Ø 12.5	kg	483	R\$ 5,89	R\$ 2.844,87
43055	Aço CA 50-A Ø 16	kg	7	R\$ 5,89	R\$ 41,23
43059	Aço CA 60-B Ø 5	kg	11	R\$ 6,43	R\$ 70,73
1525	CONCRETO USINADO BOMBEAVEL C30, BRITA 0 E 1, SLUMP = 100 +/- 20 MM	m³	63	R\$ 631,47	R\$ 39.782,61

43678	CHAPA DE MADEIRA COMPENSADA RESINADA 2,2 X 1,1 M, E = 14 MM	m ²	412	R\$ 69,55	R\$ 28.661,56
				Total (R\$)	R\$ 89.792,93

Fonte: Elaborado pela autora, 2026

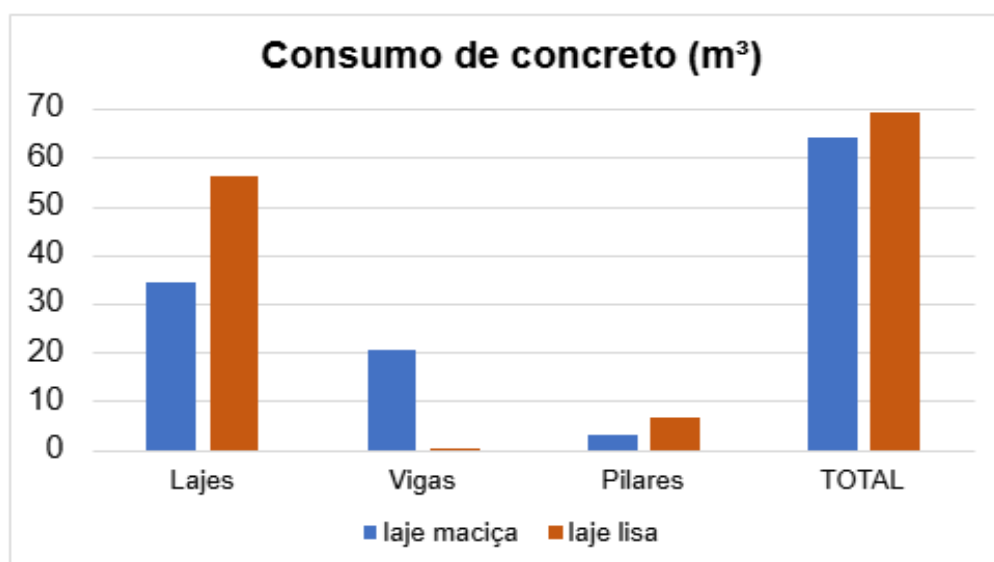
4.7 COMPARATIVO DE CUSTOS E INSUMOS

Nesta seção, serão comparados por meio de gráficos os dois métodos construtivos em relação ao consumo dos insumos e aos custos dos mesmos. Essa comparação auxilia na avaliação da vantagem de cada item por método.

4.7.1 Consumo de concreto

O Gráfico 1 apresenta o comparativo em relação ao consumo de concreto. É possível observar que há maior consumo de concreto na confecção das lajes para o sistema de lajes lisas, mas o total de concreto consumido globalmente não apresenta grande variação entre os métodos.

Gráfico 1 – Comparativo de consumo de concreto

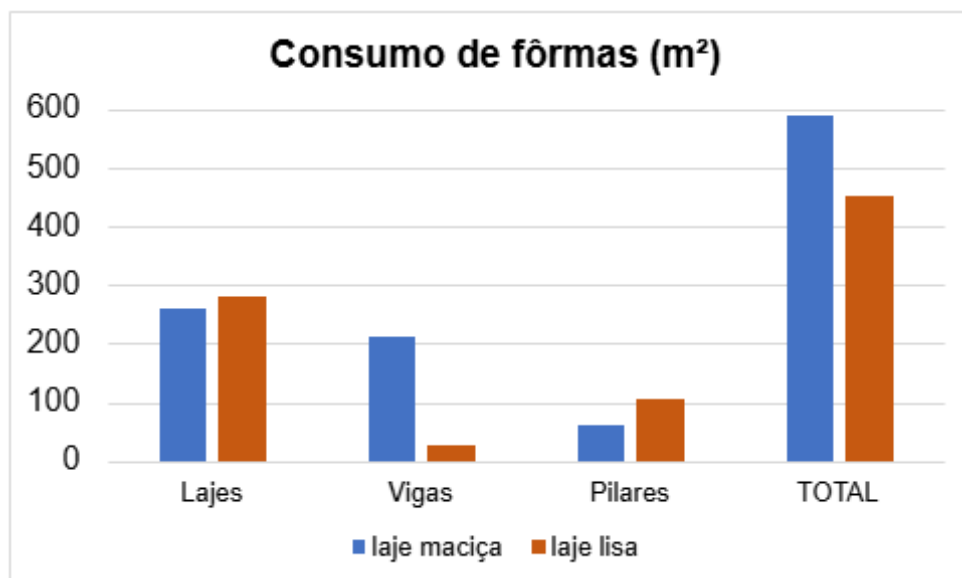


Fonte: Elaborado pela autora, 2026

4.7.2 Consumo de fôrmas

Por meio do Gráfico 2, que apresenta o comparativo em relação ao consumo de fôrmas, pode-se notar que o consumo de fôrmas para as vigas é significativamente maior no sistema de laje maciça. Esse resultado era esperado, uma vez que no sistema de lajes lisas não há vigas (exceto para atender a correções de projeto em casos pontuais). É importante destacar também o consumo maior de fôrmas para os pilares no sistema de laje lisa, devido à necessidade de redimensionamento de alguns pilares, conforme citado na Seção 4.4.2 deste trabalho.

Gráfico 2 – Comparativo de consumo de fôrmas

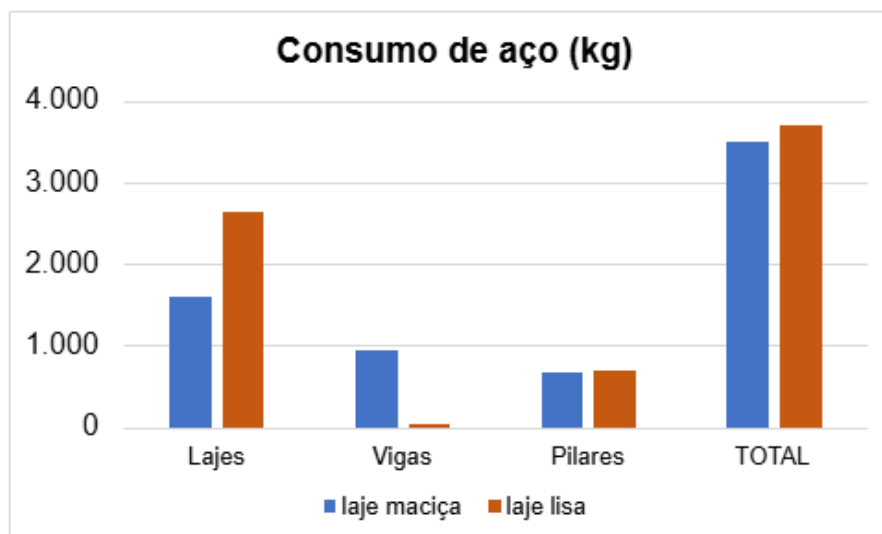


Fonte: Elaborado pela autora, 2026

4.7.3 Consumo de aço

O sistema de laje lisa apresenta maior consumo total de aço, o que se deve principalmente ao aumento significativo na armadura das lajes. O sistema de laje maciça, por outro lado, concentra maior consumo de aço nas vigas. O Gráfico 3 apresenta esse comparativo em relação ao consumo de aço por ambos os métodos.

Gráfico 3 – Comparativo de consumo de aço



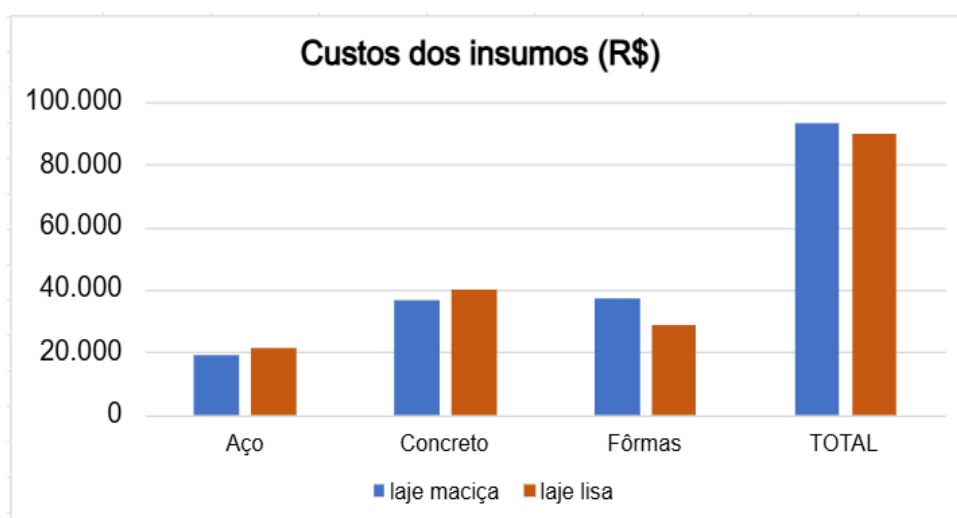
Fonte: Elaborado pela autora, 2026

4.7.4 Custos dos insumos

O Gráfico 4 ilustra o comparativo entre custos em relação aos insumos dos dois métodos construtivos. Ele quantifica o impacto financeiro na escolha de um método em relação ao outro. No que se refere ao aço e ao concreto, houve um aumento nos custos na laje lisa, enquanto foi observada uma redução no custo de fôrmas.

Os custos totais foram favoráveis à laje lisa; os gastos mais altos com esses materiais foram superados pela economia gerada na simplificação das fôrmas.

Gráfico 4 – Comparativo entre os custos dos insumos



Fonte: Elaborado pela autora, 2026

A Tabela 12 resume, em forma percentual, os valores em reais dos custos dos insumos para cada método analisado. Em resumo, no geral, tem-se:

- aço: a laje maciça é 10,3% mais econômica;
- concreto: a laje maciça é 7,6% mais econômica;
- fôrmas: a laje maciça é 30,1% mais onerosa;
- a laje maciça apresenta o total de insumos 3,8% maior que a laje lisa.

Tabela 12 – Resumo dos custos dos insumos

Material	Custo Laje Maciça	Custo Laje Lisa	Diferença Percentual
Aço	R\$ 19.147,42	R\$ 21.348,76	-10,3%
Concreto	R\$ 36.751,55	R\$ 39.782,61	-7,6%
Fôrmas	R\$ 37.264,89	R\$ 28.661,56	30,10%
TOTAL	R\$ 93.163,86	R\$ 89.792,93	3,80%

Fonte: Elaborado pela autora, 2026

4.8 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

4.8.3 4.8.1 Análise das Flechas e Desempenho Estrutural

A análise dos deslocamentos transversais e longitudinais demonstrou que ambos os sistemas estruturais atendem plenamente aos requisitos da NBR 6118:2026 em relação à aceitabilidade sensorial e efeitos visuais. Para o sistema de lajes convencionais, os valores de flecha obtidos situaram-se significativamente abaixo do limite normativo o que evidencia a elevada rigidez do sistema devido à presença de vigas. No caso das lajes lisas, mesmo com a ausência de vigas internas, o sistema também se manteve dentro dos limites aceitáveis após os ajustes de dimensionamento. É importante destacar que a verificação das flechas nas lajes precisou ser realizada de forma manual, visto que o *software* Cypecad não executa essa análise automaticamente. Além disso, o desempenho das lajes lisas está submetido ao fenômeno da punção, exigindo um dimensionamento rigoroso e o aumento da espessura das lajes para garantir a segurança contra as rupturas frágeis na ligação com os pilares.

4.8.4 4.8.2 Comparativo de Custos e Consumo de Insumos

A laje lisa apresentou um custo total de insumos 3,8% inferior ao da laje

convencional. Este resultado é explicado pelo impacto do custo das fôrmas, que foi 30,1% mais barato no sistema de laje lisa devido à eliminação da maioria das vigas, simplificando a execução e reduzindo a necessidade de cortes e montagens complexas. Esses resultados, isolados, de custos de insumo contrariaram a hipótese inicial de que o sistema convencional seria economicamente superior devido ao menor volume de concreto, porém o custo total de uma obra é composto por vários outros custos não analisados nesse trabalho.

Em contrapartida, o sistema de laje lisa apresentou um maior consumo de aço e concreto, resultando em custos 10,3% e 7,6% superiores nestes itens, respectivamente, em comparação à laje maciça. O aumento no consumo de aço decorre da necessidade de armaduras mais densas e específicas para resistir aos esforços de punção, enquanto o maior volume de concreto é reflexo das espessuras elevadas adotadas para garantir a rigidez e segurança do sistema.

5 CONCLUSÃO

O estudo comparativo entre os sistemas de laje convencional e o de laje lisa para uma residência unifamiliar em Belo Horizonte demonstrou que ambos os métodos são tecnicamente viáveis, mas apresentam distinções significativas em termos de consumo de materiais, custos e comportamento estrutural.

Ambos os sistemas atenderam aos requisitos normativos de deslocamento (flechas), mantendo-se dentro do limite estabelecido para a aceitabilidade sensorial e visual. No entanto, a laje lisa exigiu uma atenção rigorosa ao fenômeno da punção. Para garantir a segurança do sistema, fez-se necessária a revisão das premissas do projeto original. As alterações de escopo incluíram o aumento da espessura das lajes (de 16 cm para até 23 cm), uso de armaduras de punção específicas, além da adequação das dimensões dos pilares. Vale ressaltar, então, que as características do sistema consideradas inicialmente precisaram sofrer algumas alterações diferentemente do esperado.

A análise quantitativa revelou comportamentos distintos entre os métodos. O sistema de laje lisa apresentou um maior consumo total de concreto e aço. O custo do aço foi 10,3% superior e o do concreto, 7,6% maior em comparação com a laje maciça. A laje lisa demonstrou uma economia expressiva em relação ao consumo de fôrmas, sendo 30,1% mais barata que a laje convencional devido à eliminação da maioria das vigas, o que simplifica a execução e reduz a necessidade de cortes e montagens

complexas de madeira. Contrariando a percepção inicial de que a maior espessura da laje lisa elevaria o preço final, o orçamento demonstrou que a laje lisa foi 3,8% mais barata no total de insumos do que a laje maciça. Isso ocorreu porque a redução nos custos de fôrmas compensou o maior gasto com aço e concreto.

É possível concluir, então, que a laje convencional permanece como uma opção segura, de comportamento estrutural previsível e com domínio de execução consolidado, sendo indicada para projetos que buscam simplicidade técnica. Por outro lado, a laje lisa destaca-se como uma alternativa economicamente competitiva e superior no aspecto arquitetônico, oferecendo maior liberdade de *layout*, ganho de pé-direito e potencial rapidez na execução, desde que suportada por um dimensionamento robusto contra o puncionamento.

5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Para a possível continuidade desta linha de pesquisa, sugerem-se as seguintes esferas de aprofundamento de estudos:

- Simular o impacto estrutural e econômico da introdução de vigas de borda, exclusivamente no perímetro da laje lisa, avaliando o quanto essa transição alivia as tensões de punção nos pilares de extremidade.
- Descrever e analisar todos os erros encontrados anteriores ao redimensionamento dos pilares para o sistema de lajes lisas.
- Uso de capitéis na laje lisa, transformando-a em lajes-cogumelo. Estudar a inserção de capitéis isolados de concreto nas zonas de punção crítica em substituição ao aumento generalizado da espessura da laje.
- Análise do tempo de execução e da mão de obra demandada em cada método construtivo. Mensurar o impacto financeiro dos custos de mão de obra para cada método, uma vez que o sistema de lajes lisas demanda mão de obra mais qualificada.
- Dimensionamento da Infraestrutura: Incluir o dimensionamento das fundações no escopo comparativo, mapeando o efeito gerado pelo maior peso próprio da laje lisa.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, M. C. F. **Estruturas de Concreto II**. Notas de aula. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP), Departamento de Engenharia de Estruturas e Geotécnica, São Paulo, 2006. Disponível em: <<https://eaulas.usp.br/portal/course.action;jsessionid=C2FFBE9A11F4AD51FF3F393FD635D654?course=24829>> Acesso em: 2 mai. 2026.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. **ACI 318-11: Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary**. Farmington Hills: ACI, 2011.

ANAS, S. M.; ALAM, Mehtab; UMAIR, Mohammad. **Effect of design strength parameters of conventional two-way singly reinforced concrete slab under concentric impact loading**. Materials Today: Proceedings, [s. l.], v. 62, p. 2038–2045, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118:2026** Projeto de estruturas de concreto — Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2023. Disponível em: <<https://www.abntcatalogo.com.br>>. Acesso em: 2 mai. 2026.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6120:2019** — Cargas para o cálculo de estruturas de edificações. Rio de Janeiro: ABNT, 2019. Disponível em: <www.abntcatalogo.com.br>. Acesso em: 5 mai. 2026.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6123:2023** – Forças devidas ao vento em edificações. Versão corrigida em 2025. Rio de Janeiro: ABNT, 2025. Disponível em: <<https://www.abntcatalogo.com.br>>. Acesso em: 2 mai. 2026.

BARBOSA, Alana Maria Parrilha; LIBERATI, Elyson Andrew Pozo. **Estudo comparativo sobre o comportamento estrutural de lajes de concreto armado apoiadas sobre vigas e lajes lisas protendidas**. Matéria (Rio de Janeiro), v. 30, n. e20250704, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1590/1517-7076-RMAT-2025-0704>.

BASTOS, Paulo Sérgio. **Lajes de concreto armado**: notas de aula. Bauru: UNESP, 2023. Disponível em: <<https://wwwp.feb.unesp.br/pbastos/concreto1/Lajes.pdf>>. Acesso em: 28 dez. 2025.

BASTOS, Paulo Sérgio dos Santos. **Estruturas de Concreto II: vigas de concreto armado**, São Paulo: UNESP, 2017. Disponível em: <<https://wwwp.feb.unesp.br/pbastos/concreto2/Vigas.pdf>>. Acesso em: 5 mai. 2026.

CAIXA ECONÔMICA FEDERAL; INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **SINAPI: Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil**: relatórios de insumos e composições (Data-base: abr. 2026). Brasília: CAIXA, 2026. Disponível em: ≤ <https://www.caixa.gov.br/poder-publico/modernizacao-gestao/sinapi/Paginas/default.aspx>>. Acesso em: 05 mai. 2026.

CAMPOS FILHO, A. **Projeto de Lajes Maciças de Concreto Armado**. Texto didático (Notas de aula). Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Escola de Engenharia, Departamento de Engenharia Civil, 2014. Disponível em: <<https://www.studocu.com/pt-br/document/universidade-federal-do-rio-grande-do-sul/projeto-de-estruturas-em-concreto-armado/projeto-de-lajes-macicas-de-concreto-armado/21378137>>. Acesso em: 2 mai. 2026.

CARVALHO, R. C.; PINHEIRO, L. M. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado**. Vol. 1. São Paulo: Editora Pini, 2009. Disponível em: <<https://repositorio.usp.br/item/001758507>>. Acesso em: 2 mai. 2026.

CYPE Ingenieros. **CYPECAD**. Disponível em: <<https://info.cype.com/br/software/cypecad/>>. Acesso em: 12 maio 2026.

DIAS, Paulo Roberto Vilela. **Engenharia de Custos: metodologia de orçamentação para obras civis**. 8. ed. Rio de Janeiro: IBEC, 2012.

DF PROJETOS. **Infraestrutura e superestrutura: o que são?** Disponível em: <<https://dfprojetos.com.br/infraestrutura-e-superestrutura-o-que-sao/>>. Acesso em: 7 maio 2026.

FLORIANI, D. M. **Punção em lajes lisas de concreto armado: análise teórica e experimental**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2019.

LIBERATI, Elyson Andrew Pozo. **Análise de confiabilidade de lajes lisas de concreto armado submetidas à punção**. 2019. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) — Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2019.

MELGES, G. **Lajes Cogumelo: Análise e Dimensionamento**. São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 1995. Disponível em: <https://producaocientifica.eesc.usp.br/producao/1995ME_JoseLuizPinheiroMelges.pdf>. Acesso em: 5 mai. 2026.

MENDES DE SOUZA, Marta Francisca Suassuna; RODRIGUES, Rafael Bezerra. **Sistemas estruturais de edificações e exemplos**. Campinas: FEC–UNICAMP, 2008. Revisão 2021. Disponível em: <https://www.fec.unicamp.br/~nilson/apostilas/Apost_Sistemas_Estruturais_Rev_2021.pdf>. Acesso em: 5 mai. 2026.

MORAES, Paulo Moss Hasselmann de. **Análise comparativa entre soluções estruturais com laje lisa, laje nervurada e laje convencional em um pavimento de uma edificação**. 2019. 141 f. Projeto de Graduação (Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2019.

MULTIPLUS. **Multiplus**. Disponível em: <<https://multiplus.com/>>. Acesso em: 12 maio 2026.

NICÁCIO, J. C. **Análise da resistência à punção em lajes lisas de concreto armado**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2018.

OLIVEIRA, Marcos Honorato *et al.* **Resistência à punção de lajes lisas com armadura de cisalhamento**: considerações sobre os perímetros de controle. Revista IBRACON de Estruturas e Materiais, São Paulo, v. 17, n. 1, 2024.

PARK, R.; GAMBLE, W. L. **Reinforced concrete slabs**. 2. ed. New York: John Wiley & Sons, 2000.

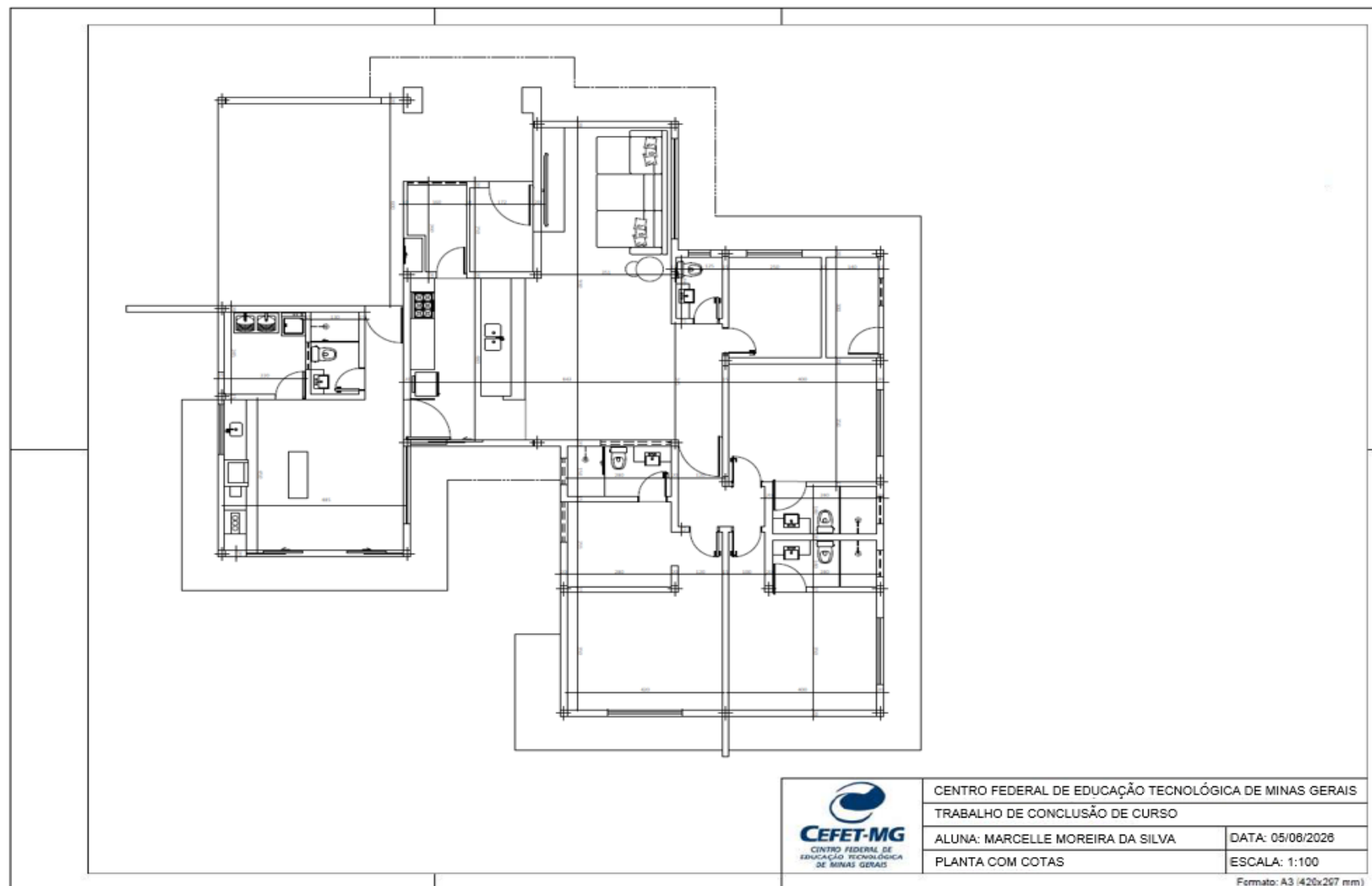
SANTOS, G.S., NICÁCIO, W.G., LIMA, A.W., et al, **Sistema de reforço à punção de lajes lisas de concreto armado com polímeros reforçados com fibra de carbono (PRFC)**, Revista IBRACON de Estruturas e Materiais, v. 7, n. 4, pp. 592–625, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1983-41952014000400005>.

SILVA, Aline da Costa. **Classificação Metodológica das Pesquisas Científicas**. In: CONGRESSO NACIONAL DE PESQUISA E ENSINO EM CIÊNCIAS (CONPEPE), 2024. Anais: v. 2, n. 1. Disponível em: <<https://revistas.cceinter.com.br/anaisconpepe/article/download/1452/1417/6941>>. Acesso em: 12 maio 2026.

SIQUEIRA, R. F. **Análise da transferência de esforços em sistemas de lajes lisas de concreto armado**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2023.

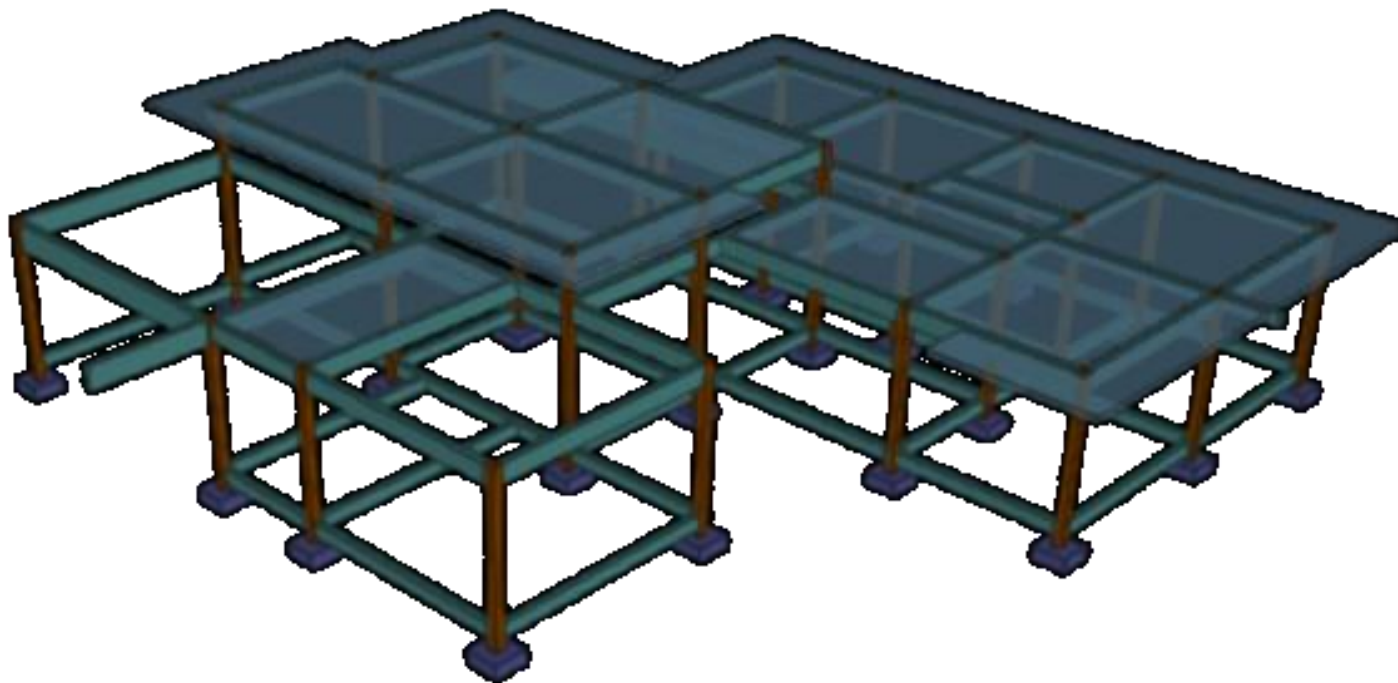
SPOHR, V. H. **Análise Comparativa: Sistemas Estruturais Convencionais e Estruturas de Lajes Nervuradas**. Dissertação de Mestrado. UFSM. Santa Maria. 2008. Disponível em: <<https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/7700/VALDIHENRIQUESPOHR.pdf?s>e> Acesso em: 5 mai. 2026.

APÊNDICE A – Planta com cotas



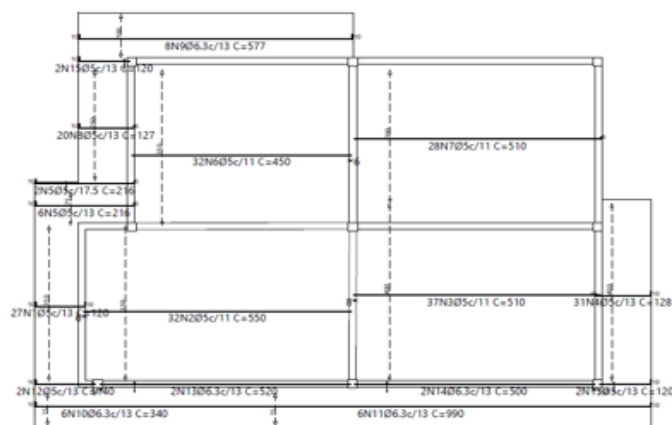
Fonte: Elaborado pela autora, 2026

APÊNDICE B – Modelo 3D da estrutura analisada

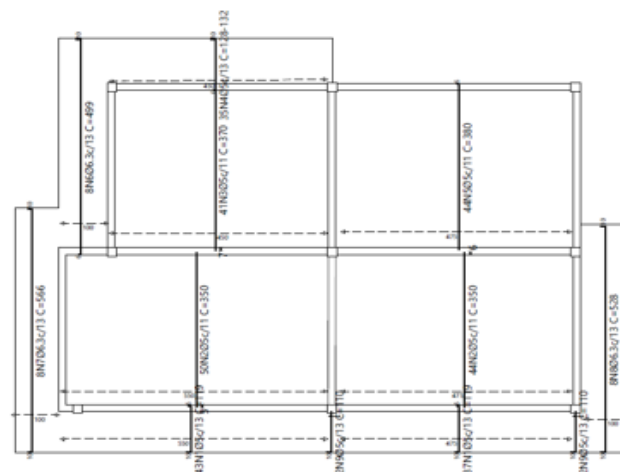


Fonte: Elaborado pela autora, 2026

APÊNDICE C – Armações positivas (Laje Maciça-Cobertura Elevada)



Resumo Aço Cobertura Elevada Armadura longitudinal inferior		Comp. total (m)	Peso+10% (kg)	Total
CA-50	Ø6.3	146.4	39	39
CA-60	Ø5	773.9	134	134
Total				173



Resumo Aço Cobertura Elevada Armadura transversal inferior		Comp. total (m)	Peso+10% (kg)	Total
CA-50	Ø6.3	127.4	34	34
CA-60	Ø5	792.7	137	137
Total				171

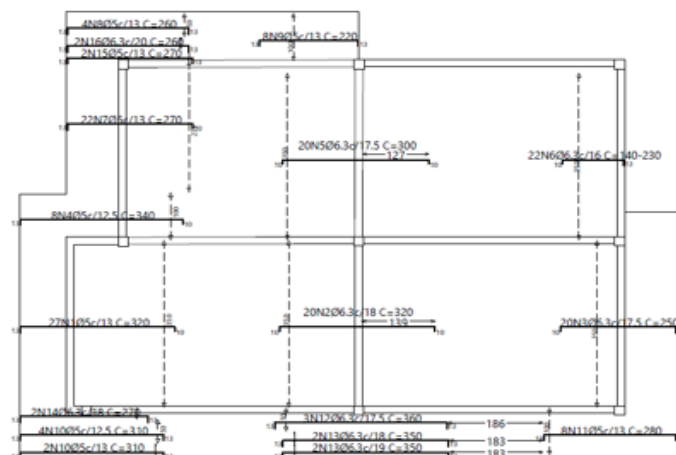


CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS	
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO	
ALUNA: MARCELLE MOREIRA DA SILVA	DATA: 05/06/2026
ARMADURA POS. – LAJE MACIÇA (COBERTURA ELEV)	ESCALA: 1:100

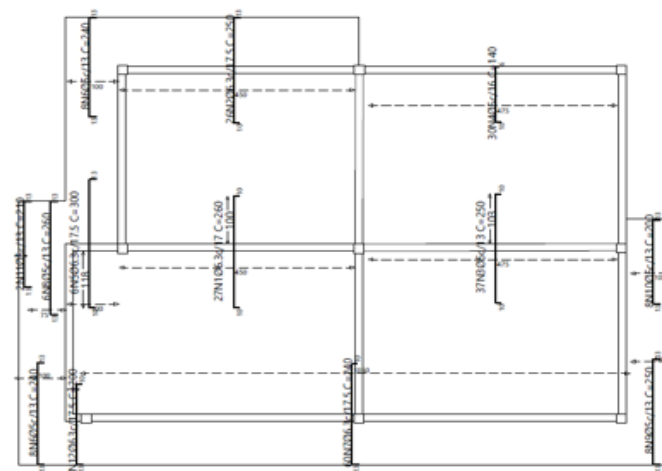
Formato: A3 (420x297 mm)

Fonte: Elaborado pela autora, 2026

APÊNDICE D – Armações negativas (Laje Maciça-Cobertura Elevada)



Resumo Aço Cobertura Elevada		Comp. total (m)	Peso+10% (kg)	Total
Armadura longitudinal superior				
CA-50	Ø6.3	243.1	65	65
CA-60	Ø5	247.4	43	43
Total				108



Resumo Aço Cobertura Elevada		Comp. total (m)	Peso+10% (kg)	Total
Armadura transversal superior				
CA-50	Ø6.3	301.2	81	81
CA-60	Ø5	228.7	39	39
Total				120

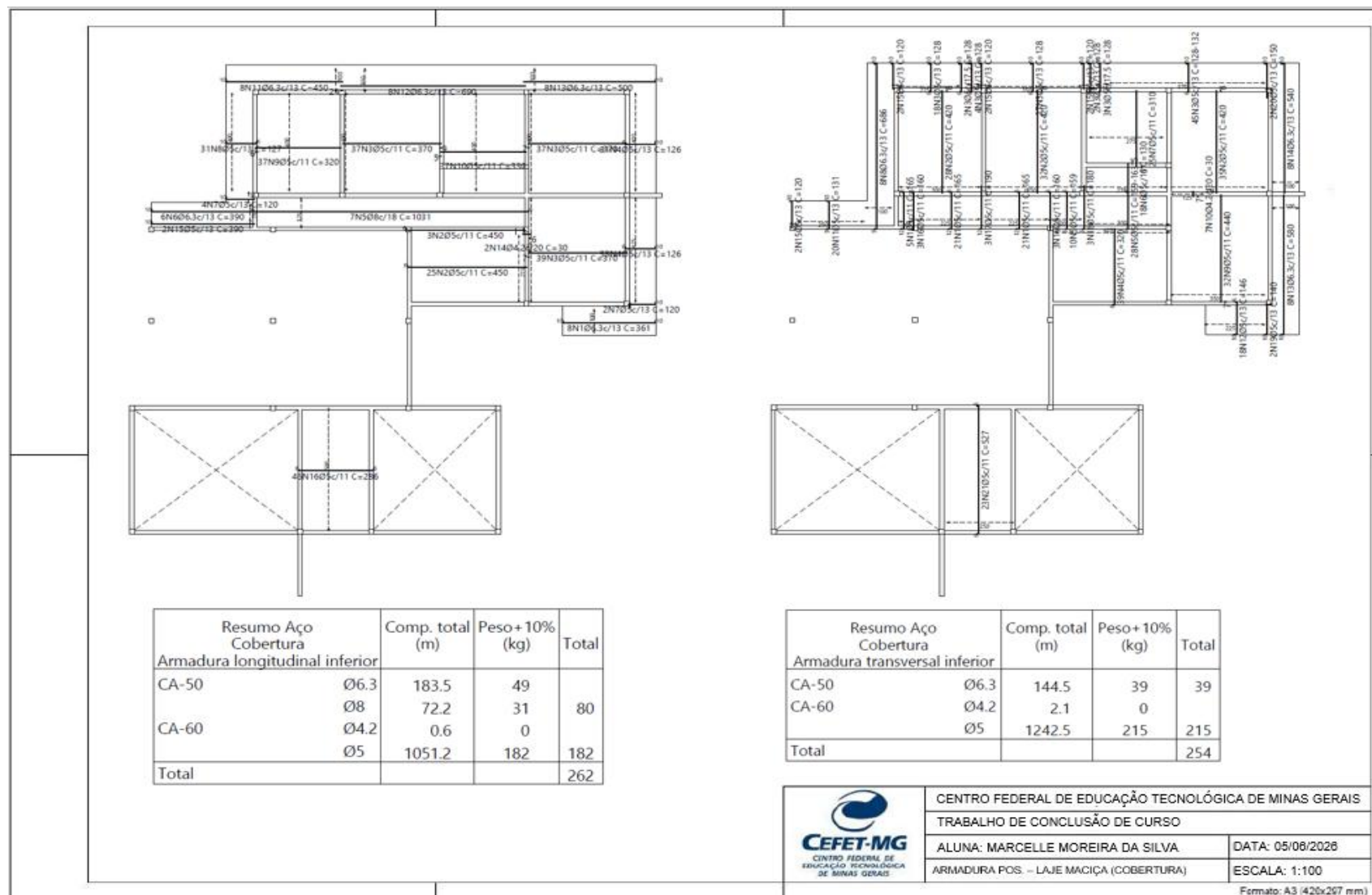


CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
 TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO
 ALUNA: MARCELLE MOREIRA DA SILVA DATA: 05/06/2026
 ARMADURA NEG. – LAJE MACIÇA (COBERTURA ELEV) ESCALA: 1:100

Formato: A3 (420x297 mm)

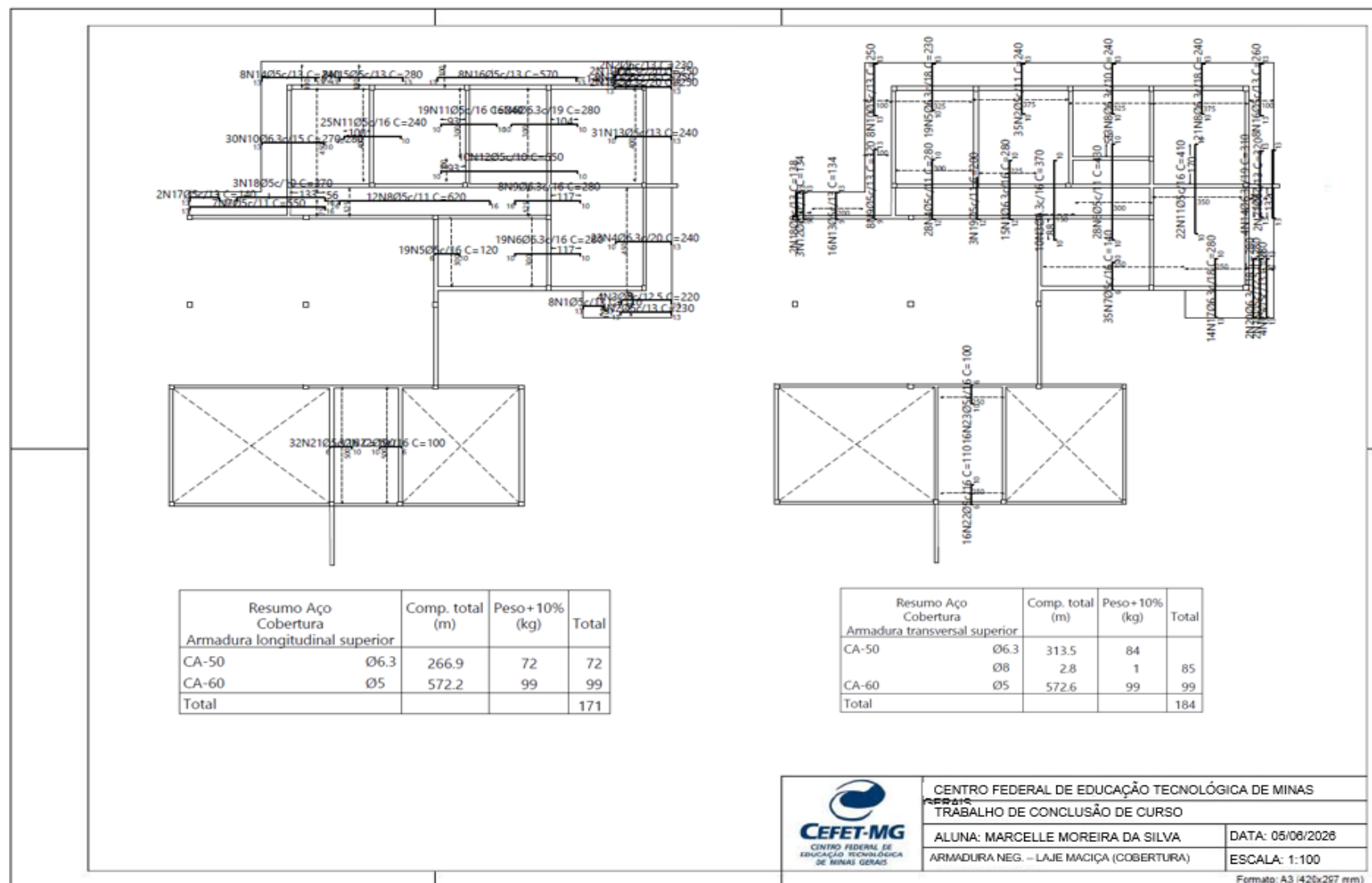
Fonte: Elaborado pela autora, 2026

APÊNDICE E – Armações positivas (Laje Maciça-Cobertura)



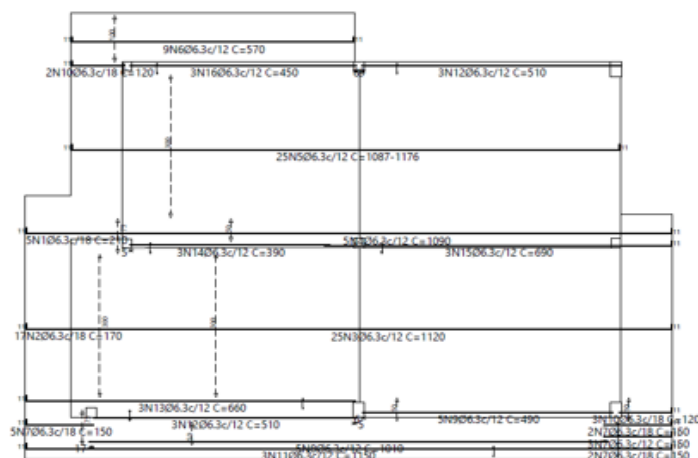
Fonte: Elaborado pela autora, 2026

APÊNDICE F – Armações negativas (Laje Maciça-Cobertura)

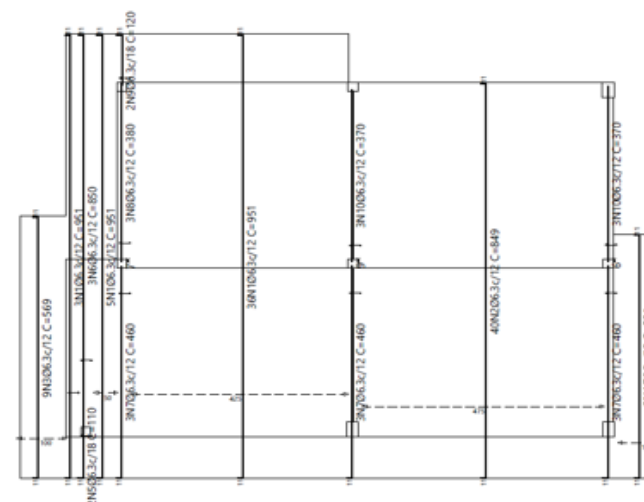


Fonte: Elaborado pela autora, 2026

APÊNDICE G – Armações positivas (Laje Lisa-Cobertura Elevada)



Resumo Aço Cobertura Elevada Armadura longitudinal inferior	Comp. total (m)	Peso+10% (kg)
CA-50 Ø6.3	930.5	251



Resumo Aço Cobertura Elevada Armadura transversal inferior	Comp. total (m)	Peso+10% (kg)
CA-50 Ø6.3	962.1	259



CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS	
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO	
ALUNA: MARCELLE MOREIRA DA SILVA	DATA: 05/06/2026
ARMADURA POS. – LAJE LISA (COBERTURA ELEV)	ESCALA: 1:100

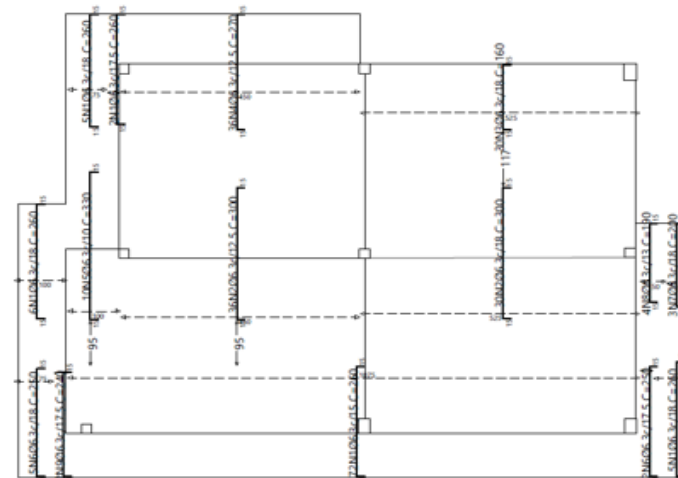
Formato: A3 (420x297 mm)

Fonte: Elaborado pela autora, 2026

APÊNDICE H – Armações negativas (Laje Lisa-Cobertura Elevada)



Resumo Aço Cobertura Elevada		Comp. total (m)	Peso+10% (kg)	Total
Armadura longitudinal superior				
CA-50	Ø6.3	614.9	166	
	Ø8	6.8	3	
	Ø10	6.8	5	174
CA-60	Ø5	18.9	3	3
Total				177



Resumo Aço Cobertura Elevada		Comp. total (m)	Peso+10% (kg)
Armadura transversal superior			
CA-50	Ø6.3	646.1	174

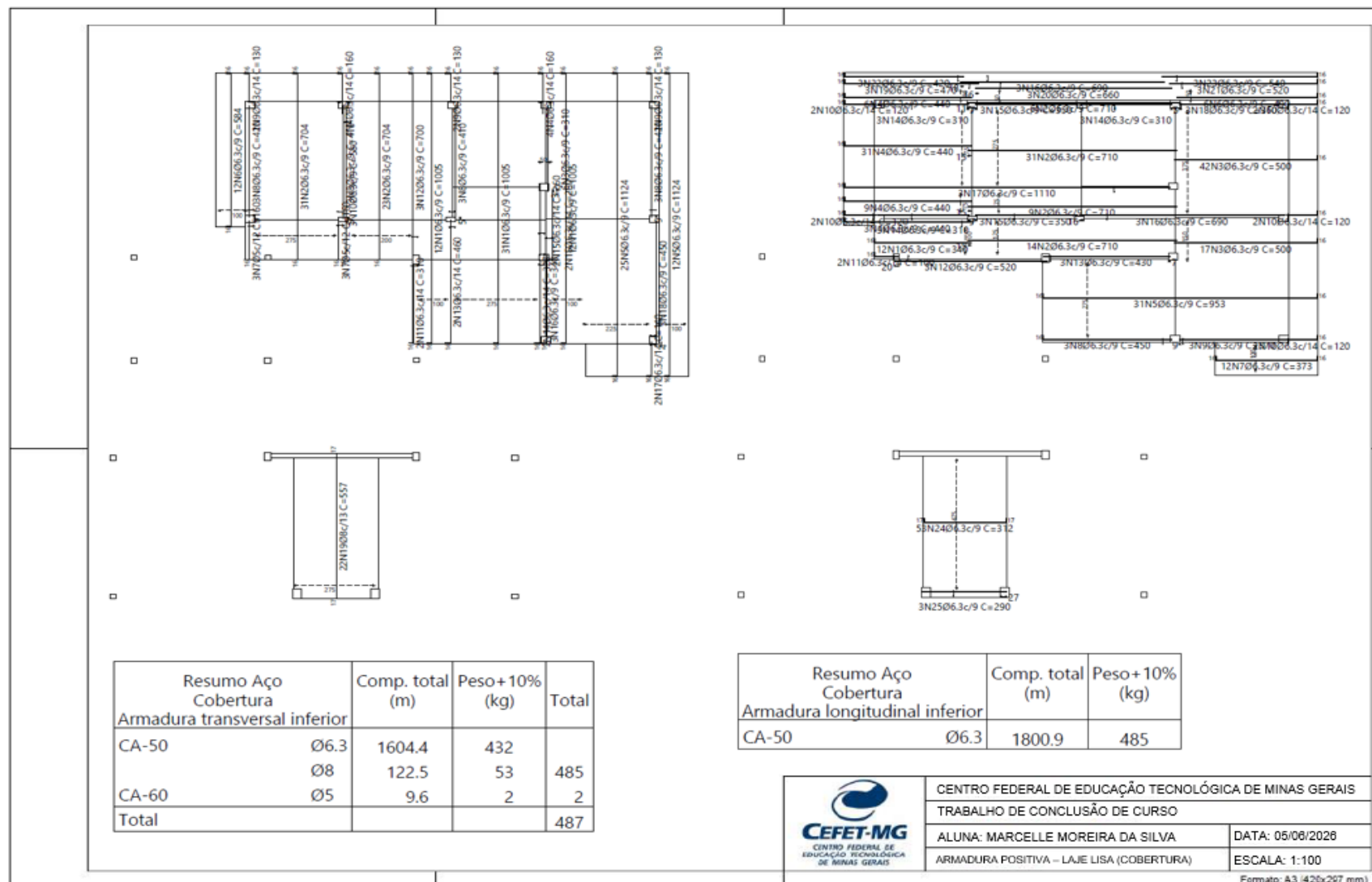


CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
 TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO
 ALUNA: MARCELLE MOREIRA DA SILVA
 DATA: 05/08/2026
 ARMADURA NEG. – LAJE LISA (COBERTURA ELEV.)
 ESCALA: 1:100

Formato: A3 (426x297 mm)

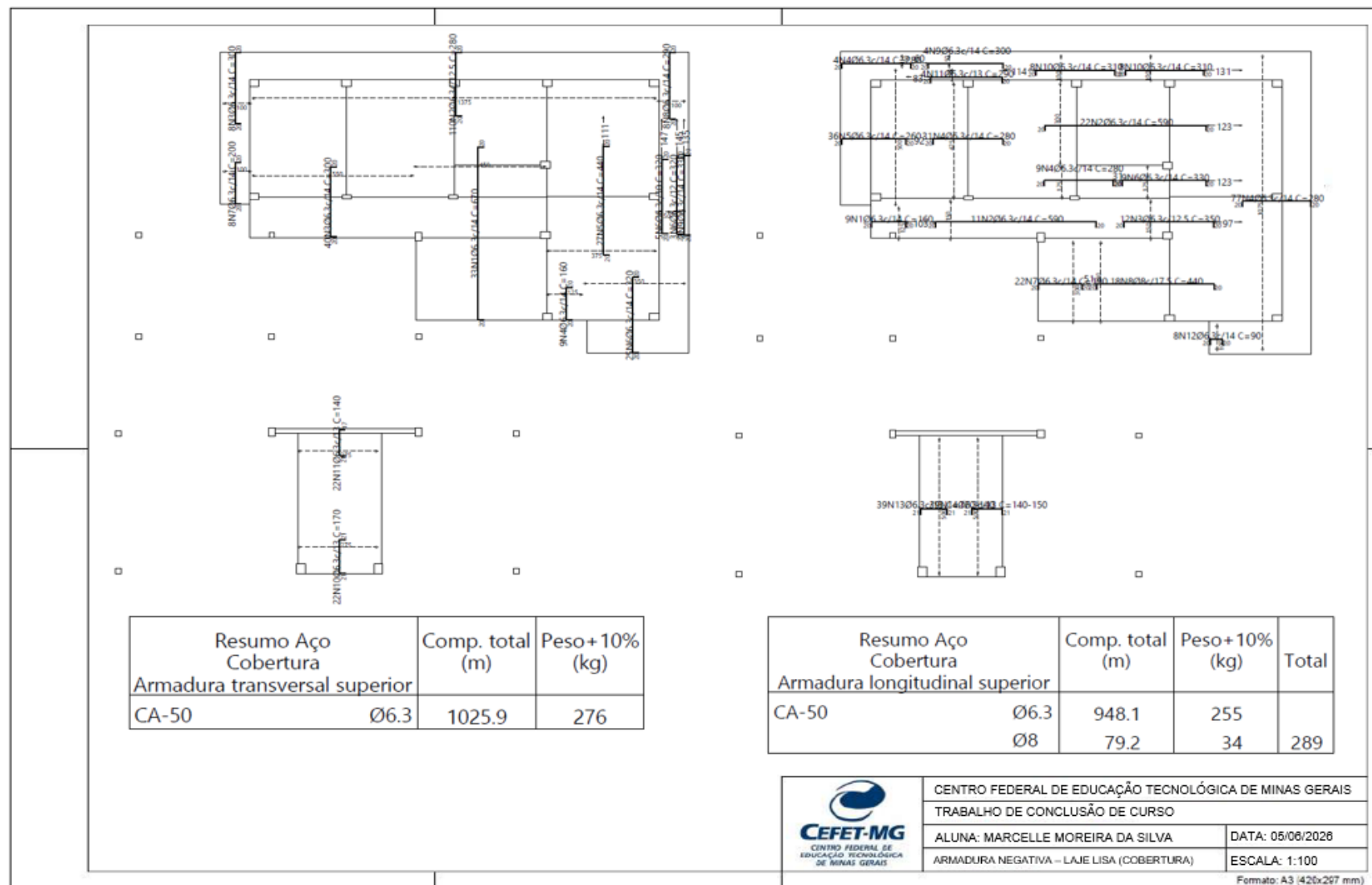
Fonte: Elaborado pela autora, 2026

APÊNDICE I – Armações positivas (Laje Lisa-Cobertura)



Fonte: Elaborado pela autora, 2026

APÊNDICE J – Armações negativas (Laje Lisa-Cobertura)



Fonte: Elaborado pela autora, 2026