

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

LEONARDO MARTONI PEDERSOLI

**ANÁLISE COMPARATIVA DE DESEMPENHO ENTRE
LAJES MACIÇA, TRELIÇADA E NERVURADA**

SÃO CARLOS -SP
2026

LEONARDO MARTONI PEDERSOLI

**ANÁLISE COMPARATIVA DE DESEMPENHO ENTRE LAJES MACIÇA,
TRELIÇADA E NERVURADA**

Trabalho de conclusão de curso
apresentado ao Departamento de
Engenharia Civil da Universidade
Federal de São Carlos, para obtenção
do título de bacharel em Engenharia
Civil.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo
Laguardia Justen de Almeida

São Carlos-SP
2026

FICHA CATALOGRÁFICA

Pedersoli., Leonardo Martoni

Análise comparativa de desempenho entre lajes maciça, treliçada e nervurada. / Leonardo Martoni Pedersoli. -- 2026. 64f.

TCC (Graduação) - Universidade Federal de São Carlos, campus São Carlos, São Carlos

Orientador (a): Ricardo Laguardia Justen de Almeida

Banca Examinadora: Margot Fabiana Pereira, Jadson da Silva Barbosa

Bibliografia

1. Análise comparativa de desempenho entre lajes maciça, treliçada e nervurada utilizando o software TQS.. I. Pedersoli., Leonardo Martoni. II. Título.

RESUMO

O presente trabalho de conclusão de curso realiza uma análise comparativa de desempenho entre os três principais sistemas de lajes em concreto armado mais difundidos na engenharia civil brasileira: a laje maciça, a laje treliçada e a laje nervurada. A pesquisa tem como objetivo avaliar o impacto de cada sistema construtivo sobre o peso próprio da estrutura, o consumo de concreto, a demanda de armadura, os deslocamentos verticais máximos e os parâmetros de estabilidade global da edificação. Para viabilizar a comparação sob condições reais de projeto, foi realizada a modelagem computacional de uma edificação existente, de uso institucional, pertencente à Universidade Federal de Alfenas, utilizando a ferramenta computacional TQS. A metodologia consistiu na inserção de dados geométricos e carregamentos para os três modelos estruturais distintos, variando os tipos das lajes. Os resultados obtidos revelaram que a laje nervurada apresentou o melhor desempenho global na maioria dos critérios quantitativos avaliados, alcançando o menor consumo de concreto nas lajes, a menor carga média por unidade de área, o menor deslocamento vertical no pavimento e o melhor desempenho em relação à estabilidade global. Por sua vez, a laje treliçada destacou-se por demandar o menor consumo total de aço. A laje maciça não apresentou vantagens nos critérios quantitativos de consumo ou rigidez, embora mantenha relevância qualitativa pela simplicidade executiva e ampla familiaridade da mão de obra de mercado. Conclui-se que não há um sistema universalmente superior, mas a laje nervurada demonstrou ser a solução mais eficiente e racional para a tipologia do edifício institucional analisado.

Palavras-chave: concreto armado; engenharia estrutural; laje maciça; laje treliçada; laje nervurada; modelagem computacional.

ABSTRACT

This undergraduate thesis presents a comparative performance analysis among the three main reinforced concrete slab systems most widely used in Brazilian civil engineering: solid slabs, trussed slabs, and ribbed slabs. The research aims to evaluate the impact of each constructive system on the dead load of the structure, concrete consumption, reinforcement steel demand, maximum vertical displacements, and the global stability parameters of the building. To enable a comparison under real design conditions, a computational modeling of an existing institutional building belonging to the Federal University of Alfenas was conducted using the TQS software tool. The methodology consisted of inputting geometric data and loads for the three distinct structural models, varying the type of the slabs and their respective design geometries. The results revealed that the ribbed slab achieved the best overall performance in most of the quantitative criteria evaluated, achieving the lowest concrete consumption in the slabs, the lowest average load per unit area, the lowest vertical displacement in the floor, and the best performance in relation to global stability. In turn, the trussed slab stood out for demanding the lowest total steel consumption. The solid slab did not show advantages in the quantitative criteria of consumption or stiffness, although it maintains qualitative relevance due to its execution simplicity and the wide familiarity of the market labor force. It is concluded that there is no universally superior system, but the ribbed slab proved to be the most efficient and rational solution for the typology of the analyzed institutional building.

Keyword: reinforced concrete; structural engineering; solid slabs; truss slabs; ribbed slabs; computational modeling.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Laje maciça.....	14
Figura 2 - Armação laje maciça.....	15
Figura 3 - Concretagem de laje maciça.....	16
Figura 4 - Laje treliçada.....	18
Figura 5 - Ilustração laje treliçada e componentes.....	18
Figura 6 - Laje nervurada.....	20
Figura 7 - Montagem laje nervurada.....	21
Figura 8 - Corte esquemático.....	25
Figura 9 - Planta primeiro ao terceiro pavimento.....	26
Figura 10 - Blocos de fundação.....	27
Figura 11 - Montagem das lajes treliçadas.....	27
Figura 12 - Vista lateral do edifício da UNIFAL-MG.....	28
Figura 13 - Edifício atualmente.....	28
Figura 14 - Comparativo: (a) Edifício real; (b) Edifício modelado.....	31
Figura 15 - Vista escada e patamares intermediários.....	32
Figura 16 - Vista estrutural com blocos e estacas.....	33
Figura 17 - Modulação edifício.....	34
Figura 18 - Planta nível caixa d'água.....	35
Figura 19 - Planta nível cobertura.....	36
Figura 20 - Planta de localização dos blocos de fundação.....	37
Figura 21 - Vigas modificadas.....	39
Figura 22 - Vigas identificadas.....	40
Figura 23 - Medição de deslocamento da viga.....	41
Figura 24 - Ilustração laje treliçada.....	42
Figura 25 - Modelo de grelhas laje treliçada: (a) Primeiro e segundo pavimento; (b) Terceiro pavimento; (c) Pavimento caixa d'água; (d) Pavimento cobertura.....	43
Figura 26 - Carga média laje treliçada.....	45
Figura 27 - Ilustrações lajes maciças utilizadas por pavimento: (a) Primeiro ao terceiro pavimento; (b) Pavimento caixa d'água; (c) Pavimento cobertura.....	46
Figura 28 - Modelo de grelhas laje maciça: (a) Primeiro e segundo pavimento; (b) Terceiro pavimento; (c) Pavimento caixa d'água; (d) Pavimento cobertura.....	47
Figura 29 - Carga média laje maciça.....	49
Figura 30 - Ilustrações lajes nervuradas utilizadas por pavimento: (a) Primeiro ao terceiro pavimento; (b) Pavimento caixa d'água; (c) Pavimento cobertura.....	50
Figura 31 - Modelo de grelhas laje nervurada: (a) Primeiro e segundo pavimento; (b) Terceiro pavimento; (c) Pavimento caixa d'água; (d) Pavimento cobertura.....	51
Figura 32 - Carga média laje nervurada.....	54
Figura 33 - Modelo de grelha para combinação quase permanente análise de vigas segundo pavimento: (a) Laje treliçada; (b) Laje maciça; Laje nervurada.....	55

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Análise de ventos	30
Tabela 2 – Flechas da combinação quase permanente – laje treliçada.....	42
Tabela 3 – Consumo de concreto e aço – laje treliçada.....	44
Tabela 4 – Cargas nos blocos – laje treliçada.....	45
Tabela 5 – Flechas da combinação quase permanente – laje maciça	47
Tabela 6 – Consumo de concreto e aço – laje maciça.....	49
Tabela 7 – Cargas nos blocos – laje maciça.....	49
Tabela 8 – Flechas da combinação quase permanente – laje nervurada	51
Tabela 9 – Consumo de concreto e aço – laje nervurada	53
Tabela 10 – Carga nos blocos – laje nervurada.....	54
Tabela 11 – Comparativo consumo de concreto entre as lajes.....	56
Tabela 12 – Comparativo consumo de aço entre as lajes.....	57
Tabela 13 – Comparativo carga nos blocos entre as lajes.....	58

LISTA DE SIGLAS E SIMBOLOS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CA	Concreto Armado
CAD	<i>Computer-Aided Design</i>
ELS	Estado Limite de Serviço
ELU	Estado Limite Último
EPS	<i>Expanded Polystyrene</i> (Poliestireno Expandido)
UFSCAR	Universidade Federal de São Carlos
UNIFAL-MG	Universidade Federal de Alfenas
γ_z	Parâmetro de estabilidade global

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
1.1 OBJETIVOS.....	11
1.2 JUSTIFICATIVA.....	11
2 REVISÃO DE LITERATURA	13
2.1 O CONCRETO ARMADO NA ENGENHARIA CIVIL BRASILEIRA: FUNDAMENTOS E NORMAS TÉCNICAS	13
2.2 TIPOS DE LAJES EM CONCRETO ARMADO.....	13
2.2.1 LAJES MACIÇAS	14
2.2.2 LAJES TRELIÇADAS.....	16
2.2.3 LAJES NERVURADAS	19
2.3 INFLUÊNCIA DA ALTURA DA LAJE EM RELAÇÃO A ESTRUTURA	22
2.4 SOFTWARES NA ENGENHARIA ESTRUTURAL.....	23
2.5.1 VANTAGENS E BENEFÍCIOS DA UTILIZAÇÃO DO SOFTWARE NO CÁLCULO ESTRUTURAL	23
2.6 ESTUDOS COMPARATIVOS ENTRE SISTEMAS DE LAJES.....	24
3 METODOLOGIA.....	25
3.1 DESCRIÇÃO DO EDIFÍCIO MODELADO	25
3.2 PARÂMETROS DO MODELO	29
3.2.1 PROPRIEDADES DOS MATERIAIS.....	29
3.2.2 AÇÃO DO VENTO	29
3.3 MODELAGEM DA ESTRUTURA.....	30
3.4 CARGAS.....	33
4 RESULTADOS	38
4.1 LAJE TRELIÇADA	41
4.2 LAJE MACIÇA.....	45
4.3 LAJE NERVURADA	50
4.4 ANÁLISE DE VIGAS DO SEGUNDO PAVIMENTO.....	54
4.5 COMPARAÇÃO E DISCUSSÃO ENTRE AS LAJES	56
5 CONCLUSÕES	60
REFERÊNCIAS.....	62
ANEXO A – PLANTAS EDIFÍCIO UNIFAL-MG.....	64

1 INTRODUÇÃO

No Brasil o método construtivo mais utilizado é o concreto armado. Diante da vasta área do país cada região tem sua peculiaridade e características em relação a construção civil e mesmo assim o concreto armado predomina aqui e no mundo. Segundo Santos (2008), esse sistema construtivo é uma hegemonia no Brasil a ponto de o país ser referência no assunto, além do seu aprendizado e uso ser enraizado no sistema de ensino.

Para a construção de uma edificação, o engenheiro de estruturas deve seguir quatro passos principais para um projeto: a concepção estrutural, análise estrutural, dimensionamento e o detalhamento.

Durante anos, todas as etapas citadas anteriormente eram feitas manualmente, levando muito tempo tanto para o desenvolvimento do projeto quanto em possíveis mudanças que podem ocorrer ao longo da execução da obra. Atualmente existem softwares que podem auxiliar toda etapa estrutural, automatizando os cálculos e gerando resultados, relatórios e desenhos com um tempo muito menor, otimizando a velocidade de execução dos projetos e facilitando a avaliação de mais possibilidades visto que uma mudança no programa pode ser feita de maneira rápida e prática. É importante frisar que mesmo com a automatização dos cálculos é necessário que o engenheiro tenha um conhecimento a respeito dos resultados apresentados, sendo de suma importância o entendimento dos dados que são gerados e uma interpretação de como prosseguir, e nem todo o processo é automatizado. Portanto surge a necessidade de validar e compreender os resultados que estas ferramentas automatizadas geram pois o menor erro possível pode comprometer a estrutura e entregar resultados inesperados.

Dentro de um projeto estrutural, a laje é o elemento que recebe diretamente as cargas permanentes e acidentais, transferindo-as para as vigas e pilares. Por isso, a escolha do tipo de laje influência não apenas o desempenho estrutural da edificação, mas também o prazo de execução, o consumo de materiais e o custo final da obra.

Nesse contexto, o presente trabalho apresenta uma análise comparativa de desempenho entre três sistemas de laje sendo elas: laje maciça, laje nervurada e laje treliçada, considerando o peso próprio da estrutura, o consumo de concreto, o

consumo de armaduras, os deslocamentos verticais máximos e os parâmetros de estabilidade global da edificação com base na modelagem computacional de um edifício educacional real da Universidade Federal de Alfenas (UNIFAL-MG), realizada no software TQS Educacional V26.

1.1 OBJETIVOS

O objetivo principal deste trabalho é comparar o desempenho de três sistemas de laje em concreto armado de uma edificação educacional: maciça, treliçada e nervurada.

Para atingir o objetivo principal, foram definidos os seguintes objetivos específicos:

- modelar a estrutura do edifício da UNIFAL-MG no TQS Educacional V26, inserindo os dados geométricos das plantas em AutoCAD e os parâmetros de material utilizados no projeto original;
- extrair e comparar os resultados de peso próprio, volume de concreto, consumo de armadura;
- verificar o impacto da escolha do sistema de laje sobre as reações de apoio e os esforços transmitidos aos pilares e às fundações;
- discutir os resultados obtidos à luz da literatura técnica e das normativas vigentes, identificando qual sistema apresenta o desempenho técnico mais vantajoso em termos de economia de materiais, estabilidade global e deslocamentos verticais, para as condições do edifício estudado.

1.2 JUSTIFICATIVA

A escolha do sistema de laje é uma das decisões mais importantes no projeto de uma edificação em concreto armado. Ela define diretamente o peso próprio da estrutura, que por sua vez determina os esforços transmitidos às vigas, pilares e fundações. Uma diferença na espessura ou no tipo construtivo da laje pode resultar em variações significativas no consumo de concreto, na quantidade de armadura e no prazo de execução da obra, tornando a análise comparativa entre diferentes sistemas uma ferramenta essencial para o engenheiro calculista.

Do ponto de vista técnico, os três sistemas mais difundidos no Brasil são as lajes maciças, treliçadas e nervuradas, elas apresentam comportamentos estruturais distintos frente às mesmas solicitações. Conforme apontam Bocchi Júnior e Giongo (2007), cada sistema possui características de rigidez, distribuição de esforços e consumo de materiais que podem favorecer ou limitar sua aplicação dependendo das condições específicas do projeto. A comparação direta entre eles, em um mesmo edifício e sob os mesmos parâmetros de carga, permite identificar qual sistema é mais adequado para cada situação.

Estudos recentes reforçam a relevância do tema. Moura (2023), em artigo publicado na Revista Eletrônica de Engenharia Civil (REEC), demonstrou que a laje treliçada apresenta vantagens significativas em termos de peso, quantidade de aço e volume de concreto quando comparada aos demais sistemas, especialmente nas dimensões típicas de obras residenciais. Vieira *et al.* (2024) concluíram que a laje nervurada resulta em estruturas mais econômicas e leves para edifícios comerciais de múltiplos pavimentos. Esses resultados evidenciam que não existe um sistema universalmente superior: a escolha depende do contexto e das características de cada projeto.

Por fim, o domínio de ferramentas computacionais de projeto estrutural, como o TQS, é cada vez mais exigido no mercado de trabalho da Engenharia Civil. Realizar uma análise comparativa utilizando esse software permite não apenas obter resultados técnicos relevantes, mas também desenvolver competências práticas essenciais para a atuação profissional, justificando o trabalho tanto pelo seu conteúdo técnico quanto pelo valor formativo.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 O CONCRETO ARMADO NA ENGENHARIA CIVIL BRASILEIRA: FUNDAMENTOS E NORMAS TÉCNICAS

As estruturas de concreto armado constituem um dos sistemas construtivos mais empregados em edificações no Brasil e no mundo, consolidando-se como solução amplamente difundida por associar a elevada resistência do concreto à compressão à resistência do aço à tração, além de utilizar materiais de ampla disponibilidade no mercado nacional (BASTOS, 2023). A durabilidade, versatilidade e a disponibilidade dos materiais no país reforçam essa hegemonia, fazendo com que o Brasil seja uma referência em pesquisa e aplicação da técnica (SANTOS, 2008). Esta preferência se justifica pela seguinte combinação de fatores técnicos, econômicos e logísticos: disponibilidade de materiais; versatilidade estrutural; resistência e durabilidade. A matéria-prima básica como o cimento, agregados e aço, são amplamente disponíveis no território nacional, o que facilita o suprimento e a logística das obras (BASTOS, 2023). O concreto, em seu estado plástico, permite a moldagem de elementos com geometrias complexas e variadas, oferecendo grande liberdade arquitetônica e estrutural (CARVALHO & FIGUEIREDO FILHO, 2024). A resistência do concreto à compressão e a capacidade do aço em absorver os esforços de tração, quando combinados, resultam em estruturas de elevada rigidez e longa vida útil. Adicionalmente, o concreto protege o aço da corrosão (BARBOSA, 2017).

O sucesso da associação entre concreto e aço depende da aderência entre os materiais, garantindo que ambos trabalhem solidariamente. Essa condição assegura que a deformação na superfície da barra de aço seja igual à deformação do concreto no mesmo ponto, mantendo a integridade da peça sob solicitação (BASTOS, 2023).

2.2 TIPOS DE LAJES EM CONCRETO ARMADO

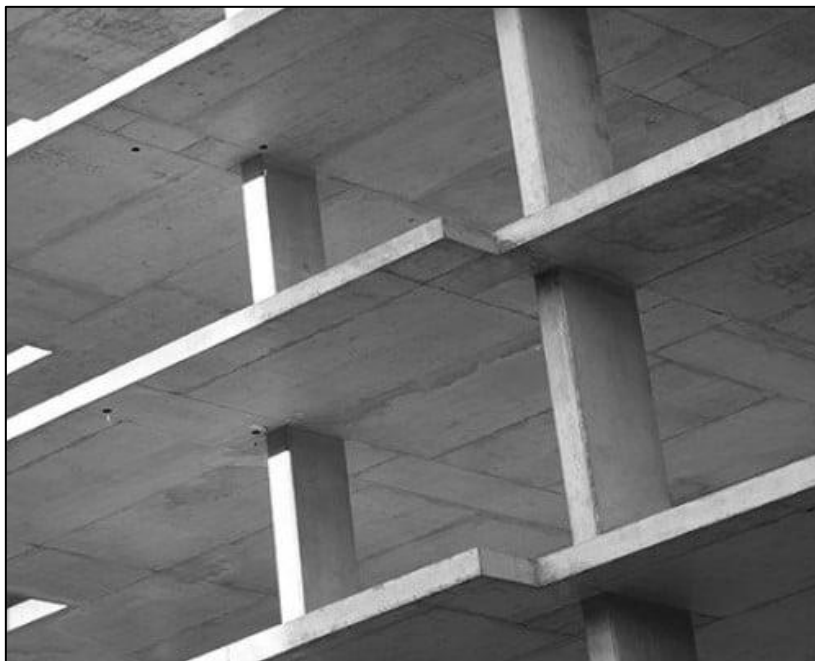
As lajes são elementos de superfície plana cuja função principal é receber as cargas verticais permanentes e cargas variáveis e transferi-las para as vigas e demais elementos de apoio. Dependendo das características geométricas, do método construtivo e das demandas do projeto, diferentes tipos de laje podem ser adotados. Os três sistemas mais difundidos nas edificações brasileiras são as lajes maciças, as

treliçadas e as nervuradas moldadas no local.

2.2.1 LAJES MACIÇAS

As lajes maciças são caracterizadas por possuírem seção transversal constante e sólida, sem vazios internos. Conforme Bastos (2023), elas têm espessuras que normalmente variam de 7 cm a 15 cm e são amplamente utilizadas em edifícios de múltiplos pavimentos, pontes, reservatórios e construções de grande porte. Seu processo de execução é simples e bastante conhecido pela mão de obra, o que facilita a construção, mas seu peso próprio elevado pode se tornar uma limitação quando há necessidade de vencer grandes vãos. Na Figura 1 é ilustrada um exemplo de laje maciça.

Figura 1 - Laje maciça



Fonte: <https://carluc.com.br/elementos-construtivos/laje-macica/>

O cálculo dos esforços em lajes maciças retangulares é feito com base na Teoria das Placas, utilizando tabelas de coeficientes como as de Czerny e Barés, que fornecem os momentos fletores e as reações de apoio em função da relação entre as dimensões da laje e das condições de vinculação das bordas. O dimensionamento da armadura a flexão é feito de forma análoga ao de vigas, assumindo seção retangular (CARVALHO; FIGUEIREDO FILHO, 2024).

O processo executivo das lajes maciças é composto por etapas bem definidas.

Inicialmente, realiza-se a montagem das fôrmas de madeira, chapas compensadas ou aço e do escoramento, que deve garantir a estabilidade durante a concretagem e a cura do concreto. Em seguida, posiciona-se a armadura inferior positiva como representado na Figura 2, respeitando os cobrimentos mínimos exigidos pela NBR 6118 (ABNT, 2026).

Figura 2 - Armação laje maciça



Fonte: <https://www.escolaengenharia.com.br/laje/>

Após a colocação das tubulações de instalações elétricas e hidráulicas embutidas, instala-se a armadura superior negativa nas regiões de engastamento. Por fim, realiza-se a concretagem com concreto usinado ou dosado em obra, semelhante a Figura 3, seguida de adensamento por vibração e cura adequada. A desforma somente pode ocorrer após o concreto atingir resistência suficiente para suportar as cargas, geralmente após 21 dias, dependendo das condições ambientais e do traço do concreto.

Figura 3 - Concretagem de laje maciça



Fonte: Autoria própria

Entre as principais vantagens das lajes maciças, destacam-se a simplicidade do processo executivo, a facilidade de passagem de instalações embutidas, a maior rigidez ao puncionamento e a boa resistência a fissuras. Por ser um elemento único, ela apresenta comportamento estrutural uniforme e previsível, sendo amplamente conhecida pela mão de obra disponível no mercado. Conforme apontado por Oliveira et al. (2020).

Por outro lado, o peso próprio elevado é uma das principais desvantagens do sistema. Uma laje maciça de 10 cm de espessura tem peso próprio de aproximadamente $2,5 \text{ kN/m}^2$; ao passar para 15 cm, esse valor sobe para cerca de $3,75 \text{ kN/m}^2$, um acréscimo de 50% que se propaga para todos os demais elementos. (BASTOS, 2023). Além disso, pelo fato do alto peso próprio, o consumo de concreto por m^2 é significativamente maior do que nos sistemas nervurados e treliçados.

Como será apresentado nas seções seguintes, outros sistemas de laje foram desenvolvidos com o objetivo de reduzir o peso próprio da estrutura.

2.2.2 LAJES TRELIÇADAS

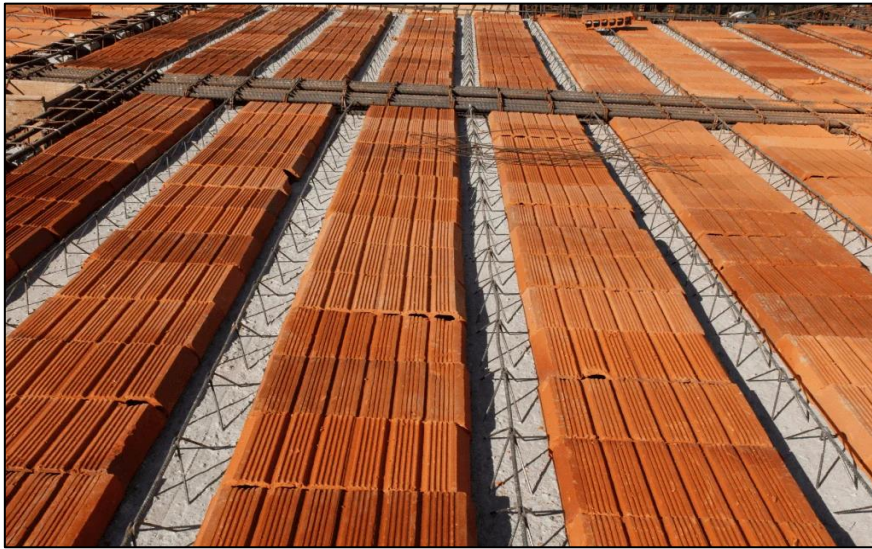
As lajes treliçadas são compostas por vigotas pré-moldadas com armadura treliçada, blocos de enchimento que podem ser cerâmicos, de concreto celular, EPS, entre outros, e uma capa de concreto moldada no local. A armadura treliçada é constituída por barras ou fios de aço de construção que garantem a rigidez e a

resistência ao transporte e às ações de construção, e após a concretagem o sistema passa a funcionar como um único elemento estrutural (BOCCHI JÚNIOR; GIONGO, 2007).

Após a concretagem da capa, o sistema passa a funcionar de forma solidária. Na região de momento positivo, a capa de concreto resiste aos esforços de compressão, enquanto as barras inferiores da vigota absorvem os esforços de tração. Já na região de momento negativo, próxima aos apoios, esse comportamento se inverte: a armadura negativa posicionada na face superior passa a resistir à tração, cabendo à região inferior da seção resistir à compressão. Os blocos de enchimento não possuem função estrutural; sua função é reduzir o peso próprio do conjunto e servir de fôrma para a capa. As cargas atuantes incidem sobre toda a área da laje e são então transferidas predominantemente às vigotas, que as conduzem, na direção longitudinal, até as vigas de apoio. Existem dois esquemas estruturais possíveis para esse sistema: as lajes treliçadas unidirecionais, mais usuais, nas quais todas as vigotas são dispostas paralelamente entre si e concentram o encaminhamento dos esforços em uma única direção; e as lajes treliçadas bidirecionais, nas quais vigotas perpendiculares entre si, associadas a uma armadura de distribuição adequada, permitem que a carga seja conduzida às vigas de apoio nas duas direções (CHAVES *et al.*, 2021).

O processo executivo dessa laje inicia-se com o posicionamento e nivelamento do escoramento, geralmente composto por pontaletes metálicos e longarinas. Em seguida, as vigotas pré-moldadas são distribuídas paralelamente, respeitando o espaçamento definido em projeto e garantindo um apoio mínimo de 5 cm sobre as vigas ou alvenaria de suporte. Os blocos de enchimento são então posicionados entre as vigotas, preenchendo os vãos. As treliças são colocadas sobre as paredes, e eventuais armaduras negativas sobre os apoios são instaladas conforme projeto, representado na Figura 4.

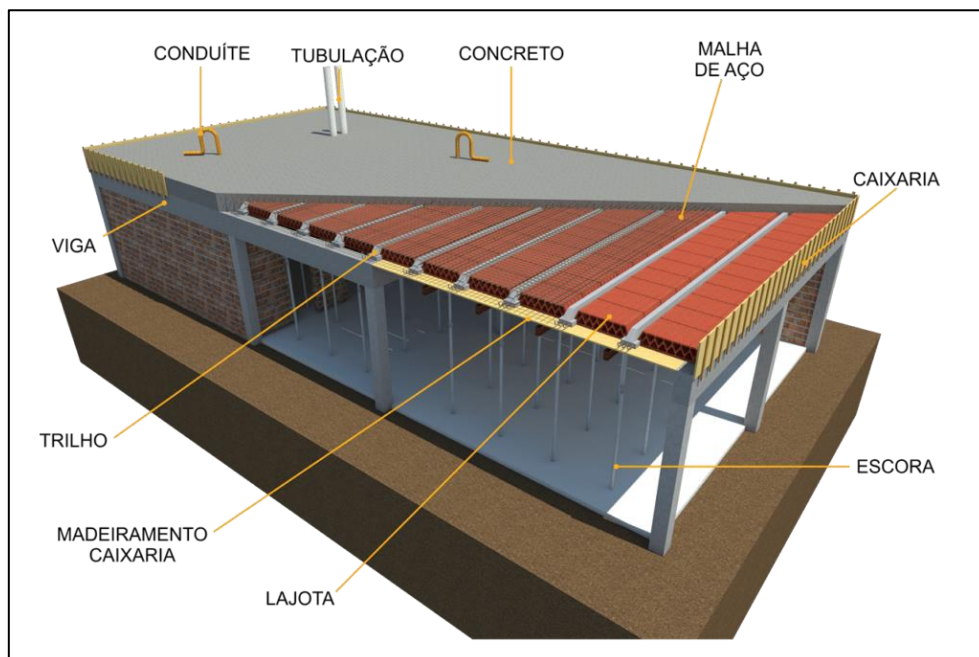
Figura 4 - Laje treliçada



Fonte: <https://www.lajes.com.br/laje-trelica-ceramica-h16/>

Após a verificação do gabarito e do posicionamento das instalações embutidas, realiza-se a concretagem da capa com concreto usinado, seguida de adensamento e cura. O escoramento deve ser mantido até que o concreto atinja resistência suficiente para suportar as cargas de serviço. Uma representação de todos os componentes pode ser vista na Figura 5.

Figura 5 - Ilustração laje treliçada e componentes



Uma das vantagens das lajes treliçadas é a dispensa de fôrmas na face inferior, pois os blocos de enchimento preenchem todo o espaço entre as vigotas, eliminando a necessidade de tabuleiros. Isso reduz significativamente o tempo de montagem e o consumo de madeira. Conforme Chaves et al. (2021), a laje treliçada surgiu como uma alternativa mais barata e com menor tempo de execução em relação à laje maciça de concreto armado, tornando-se uma das mais utilizadas em construções residenciais no Brasil.

Moura (2023), em estudo comparativo publicado na Revista Eletrônica de Engenharia Civil, demonstrou que a laje treliçada apresenta menor peso próprio e melhor relação custo-benefício em comparação a laje maciça e nervurada, considerando conjuntamente os três fatores: peso, quantidade de aço e volume de concreto. Para as dimensões típicas de obras residenciais analisadas, a laje treliçada foi a que apresentou maior vantagem sobre os demais sistemas.

Entre as desvantagens, destaca-se a menor capacidade de redistribuição de esforços em relação à laje maciça, e a restrição quanto à passagem de tubulações transversais à direção das vigotas, que não podem ser cortadas sob nenhuma hipótese. Além disso, a laje treliçada tem menor rigidez à flexão no eixo em que as vigotas não se apoiam, o que pode ser uma limitação em estruturas sujeitas a cargas concentradas ou variações bruscas de carga.

As lajes treliçadas são recomendadas para edificações residenciais de baixo a médio padrão, com vãos entre 3,0 m e 5,0 m. São especialmente vantajosas quando se deseja reduzir o custo de fôrmas e acelerar o cronograma de execução. Por outro lado, em edificações com grandes vãos, cargas elevadas ou exigências rigorosas de controle de deformações, outros sistemas podem ser mais adequados.

2.2.3 LAJES NERVURADAS

As lajes nervuradas são constituídas por nervuras solidarizadas por uma mesa de concreto, sendo que os vazios entre as nervuras podem ser preenchidos por elementos inertes ou permanecer como células aparentes, apresentado na Figura 6. Elas funcionam estaticamente como um conjunto de vigas de seção T, em que a mesa resiste à compressão e as nervuras absorvem os esforços de tração por meio das

armaduras longitudinais (BOCCHI JÚNIOR; GIONGO, 2007).

De acordo com Vieira *et al.* (2024), as lajes nervuradas apresentam menor consumo de material e menor peso próprio quando comparadas às maciças, resultando em estruturas mais econômicas e leves. Isso ocorre porque a seção transversal em T aumenta a inércia da peça sem demandar concreto na região tracionada, onde sua contribuição seria mínima.

Figura 6 - Laje nervurada

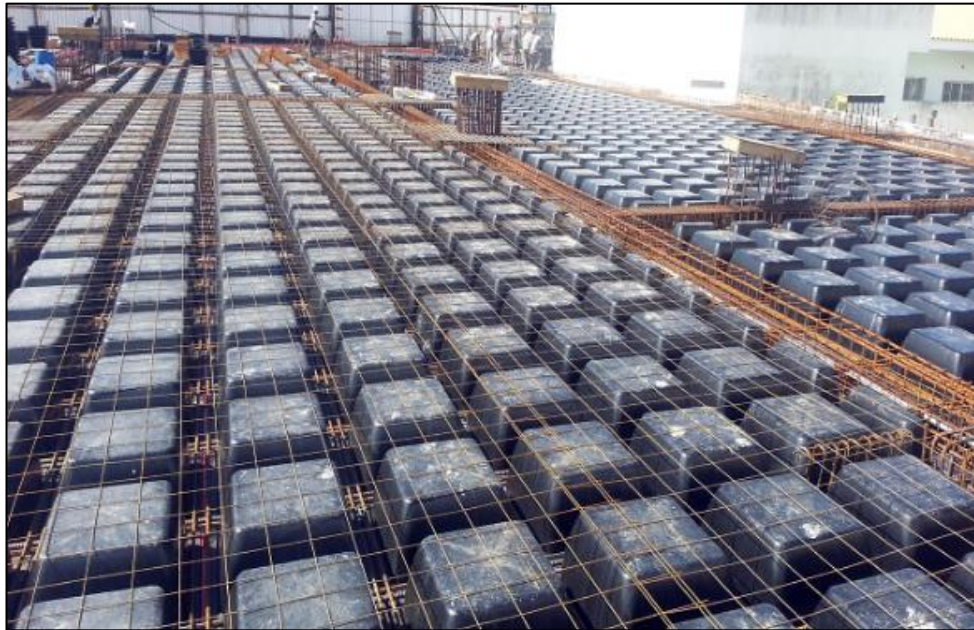


Fonte: <https://arquitetura.vivadecora.com.br/laje-nervurada/>

O processo executivo das lajes nervuradas moldadas no local com o uso de cubetas inicia-se com a montagem do escoramento e das fôrmas de fundo, chamado de tabuleiro. Sobre o tabuleiro, posicionam-se as cubas ou caixotes de acordo com o projeto, respeitando o espaçamento entre as nervuras.

A armadura longitudinal das nervuras é colocada no espaço entre as cubas, seguida das armaduras negativas nos apoios e da armadura de distribuição na mesa, como na Figura 7. Após a verificação do gabarito e do posicionamento das instalações, realiza-se a concretagem, com cuidado especial para o adensamento nas regiões das nervuras, cujo acesso é mais restrito. A desforma segue os mesmos critérios de prazo da laje maciça, com manutenção do escoramento até a resistência especificada em projeto ser atingida.

Figura 7 - Montagem laje nervurada



Fonte: <https://www.versatilandaimes.com.br/blog/laje-nervurada-cinco-motivos-para-utilizar-na-construcao-civil>

A principal vantagem das lajes nervuradas é a significativa redução do peso próprio em relação às lajes maciças. Por eliminar o concreto da região tracionada, o sistema utiliza material apenas onde ele é estruturalmente necessário, resultando em menor peso transmitido aos demais elementos da estrutura. Vieira *et al.* (2024), em estudo comparativo publicado no Caderno Pedagógico, concluíram que a laje nervurada apresenta consumo de material e peso próprio menores do que a laje maciça, resultando em estruturas mais econômicas e leves para edifícios comerciais de múltiplos pavimentos.

Essa redução de peso tem efeito multiplicador na estrutura: vigas menos carregadas requerem menor seção e armadura, pilares transmitem cargas menores às fundações, e as próprias fundações podem ser dimensionadas de forma mais econômica. Para vãos maiores acima de 6,0 m, a vantagem das lajes nervuradas tende a ser ainda mais pronunciada, pois a eficiência da seção T compensa o custo adicional das fôrmas ou cubas (MOURA, 2023).

Como desvantagens, destacam-se o processo executivo mais complexo, que exige escoramento e fôrmas ou cubas especiais; a maior dificuldade para embutir instalações, especialmente tubulações de grande diâmetro que não podem atravessar as nervuras; e o custo de aquisição ou locação das cubas plásticas.

Quando executadas com cubas EPS ou polipropileno, as lajes nervuradas demandam mão de obra mais qualificada e maior controle de qualidade para garantir o correto posicionamento das fôrmas e a espessura uniforme da mesa.

As lajes nervuradas são especialmente indicadas para edificações de médio e grande porte com vãos superiores a 5,0 m, onde a redução de peso próprio gera economia significativa em toda a cadeia estrutural. São amplamente utilizadas em edifícios comerciais, shopping centers, garagens, hospitais e escolas, onde os vãos maiores e as cargas acidentais elevadas tornam o sistema nervurado mais competitivo. Antunes (2017), utilizando o CAD TQS, concluiu que a laje nervurada bidirecional com enchimento cerâmico foi a que mais se aproximou da distribuição de cargas da laje maciça, evidenciando sua adequação como alternativa estruturalmente equivalente em edificações de múltiplos pavimentos.

2.3 INFLUÊNCIA DA ALTURA DA LAJE EM RELAÇÃO A ESTRUTURA

A altura da laje não é apenas um parâmetro geométrico, ela carrega consigo consequências estruturais que se propagam por todo o edifício. O peso próprio de uma laje maciça, por exemplo, é calculado simplesmente como o produto do peso específico do concreto armado pela espessura da laje (BASTOS, 2023). Isso significa que, ao aumentar a espessura de 10 cm para 15 cm, o peso próprio da laje cresce 50%, e essa carga adicional é transferida integralmente para as vigas de apoio.

Essa transferência de cargas gera um efeito em cadeia: vigas mais carregadas precisam de maior área de aço ou seções maiores, o que por sua vez aumenta o peso transmitido aos pilares, que por fim exigem fundações mais robustas. Em outras palavras, a decisão sobre a espessura da laje tomada no início do projeto não é isolada, ela afeta todo o sistema estrutural. Por isso, avaliar o comportamento da estrutura para diferentes alturas de laje é uma etapa importante na concepção do projeto.

Por outro lado, alturas de laje insuficientes podem comprometer o Estado-Limite de Serviço. A NBR 6118:2026 impõe limites máximos de flecha que variam conforme a finalidade do elemento. A flecha total sob combinação quase permanente não deve ultrapassar o limite de $l/250$. Lajes muito esbeltas tendem a apresentar flechas excessivas, exigindo verificação cuidadosa.

Segundo Antunes (2017), que realizou um estudo comparativo entre lajes

maciças e nervuradas utilizando o software CAD TQS, a variação do tipo de laje altera significativamente a distribuição de cargas em toda a edificação e o consumo de materiais. Em seu trabalho, a laje nervurada de seção retangular foi a que apresentou consumo de concreto e fôrmas mais próximos da laje maciça, enquanto as treliçadas apresentaram consumo de aço semelhante ao da maciça, evidenciando que cada sistema possui vantagens distintas dependendo do critério avaliado.

2.4 SOFTWARES NA ENGENHARIA ESTRUTURAL

Atualmente os profissionais necessitam se atualizar constantemente para não ficarem para trás devido aos avanços tecnológicos. A velocidade com que as ferramentas tecnológicas evoluem está ligada ao acesso geral de informação e a constante evolução do pensamento computacional, fazendo com que as máquinas recebam problemas e formulem soluções de forma automatizada, beneficiando e complementando o raciocínio humano em relação ao tempo que demoraria sem ela. É através dessa capacidade e necessidade do cenário atual que os programas se tornam essenciais na Engenharia Civil moderna.

Em conformidade com Aguilar (2011), um programa de computador é um conjunto de instruções elaborado para executar uma tarefa específica. Isso significa que a funcionalidade do software é baseada em um algoritmo de resolução que requer dados de entrada inseridos pelo usuário para que, ao final do processamento, resulte em dados de saída, fornecendo a resposta pronta para o engenheiro.

No mercado brasileiro é possível encontrar alguns *softwares* de modelagem e dimensionamento de estruturas de concreto armado, como o TQS (que será utilizado no presente trabalho) e o AltoQi Eberick. Outros softwares que também podem ser citados são o Cypecad, o Etabs e o SAP2000, cada um tendo sua interface e pontos que se destacam para cada usuário. Destaca-se que eles possuem integração com o BIM (*Building Information Modeling*), possibilitando cada vez mais a união de todos os projetos de uma obra e análises mais completas.

2.5.1 VANTAGENS E BENEFÍCIOS DA UTILIZAÇÃO DO SOFTWARE NO CÁLCULO ESTRUTURAL

A adoção de softwares no cotidiano do engenheiro calculista trouxe benefícios

significativos que vão além da mera substituição do cálculo manual. Segundo Kimura (2018), os principais ganhos da utilização de softwares são a produtividade, a qualidade e a segurança. Com um volume alto de projetos a serem executados simultaneamente a produtividade tem que ser alta, por isso os softwares auxiliam os engenheiros para que possam focar mais na concepção e análise dos resultados enquanto o programa cuida da parte dos cálculos. Outro ponto importante é que os softwares são baseados de acordo com as normas, portanto após a entrega dos resultados fica fácil atender os parâmetros de segurança minimizando erros manuais que podem surgir.

2.6 ESTUDOS COMPARATIVOS ENTRE SISTEMAS DE LAJES

A comparação entre os diversos tipos de lajes pode proporcionar a melhor escolha para cada edifício. Antunes (2017), utilizando o CAD TQS, dimensionou um edifício com laje maciça e nervuradas unidirecionais e bidirecionais, concluindo que a laje nervurada bidirecional com enchimento cerâmico foi a que mais se aproximou da distribuição de cargas da laje maciça, e que em termos econômicos as lajes que mais se assemelham à maciça não são necessariamente as melhores opções. O trabalho destaca que o custo dos materiais como concreto, fôrmas e aço devem ser analisados em conjunto para uma decisão mais embasada.

Moura (2023), por sua vez, realizou um estudo comparativo entre os três tipos de laje mais utilizados em obras residenciais: maciça, treliçada e nervurada, avaliando peso, quantidade de aço e volume de concreto. Seus resultados apontaram que a laje treliçada tem maior vantagem sobre as demais quando se consideram esses três fatores conjuntamente. A análise estrutural foi feita de forma analítica com auxílio do Microsoft Excel.

Vieira *et al.* (2024) compararam lajes maciças e nervuradas para um edifício comercial de três pavimentos, utilizando o CypeCAD como software de análise e o SINAPI para a comparação de custos. Os resultados mostraram que a laje nervurada é a melhor opção para o edifício estudado em ambas as concepções estruturais adotadas, com consumo de material e peso próprio menores, resultando em estruturas mais econômicas e leves. Esse resultado reforça a tendência observada na literatura de que as lajes nervuradas oferecem vantagens de eficiência estrutural, especialmente para vãos maiores.

3 METODOLOGIA

Neste capítulo, são apresentados os procedimentos adotados para a modelagem do edifício e a definição dos cenários e critérios de análise. Todo o estudo foi desenvolvido com o programa TQS Educacional V26.

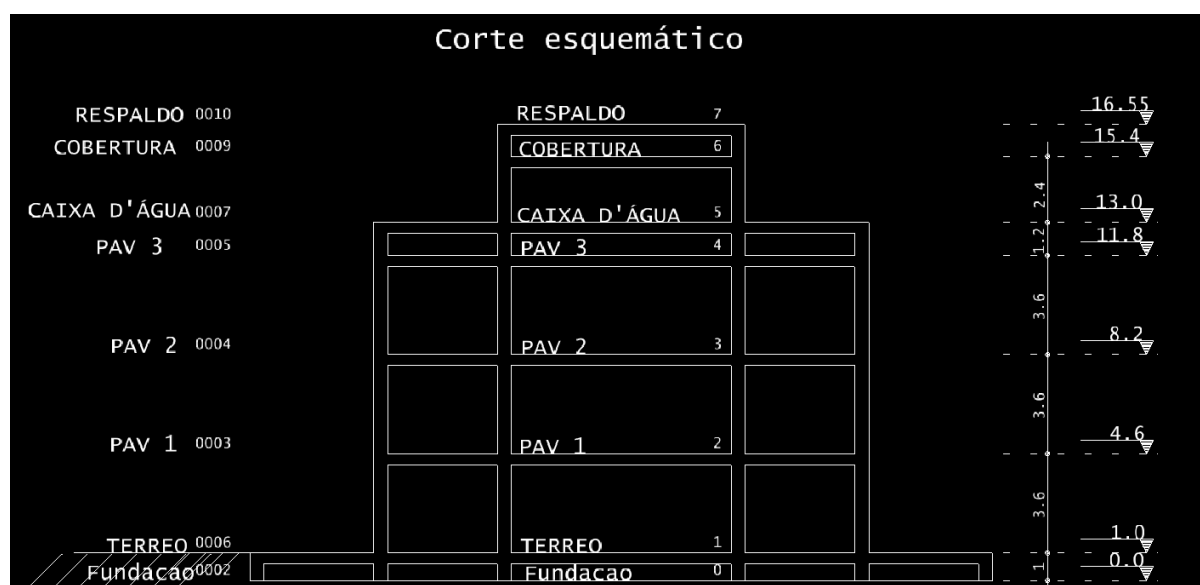
3.1 DESCRIÇÃO DO EDIFÍCIO MODELADO

O edifício utilizado como objeto de estudo possui três pavimentos, acrescidos de caixa d'água, cobertura e respaldo. A estrutura foi modelada com base nas plantas originais cedidas pelo engenheiro da UNIFAL-MG em arquivos AutoCAD, mantendo todas as medidas geométricas reais. Trata-se de uma edificação pertencente à Universidade Federal de Alfenas (UNIFAL-MG), com sistema estrutural completo composto por vigas, pilares, lajes, escadas e fundações em estacas com blocos de fundação.

A escolha por um edifício real, com plantas em AutoCAD e geometria definida, aproxima as comparações entre os sistemas de laje sejam feitas em condições práticas, representativas do que seria encontrado num projeto de engenharia.

Ele é um edifício construído em concreto armado utilizando lajes treliçadas unidirecionais com enchimento de EPS, desenvolvido para a finalidade de laboratórios de pesquisa e até o momento não foi finalizado. Ele possui uma altura total de 16,55 metros representado na Figura 8, retirada do TQS.

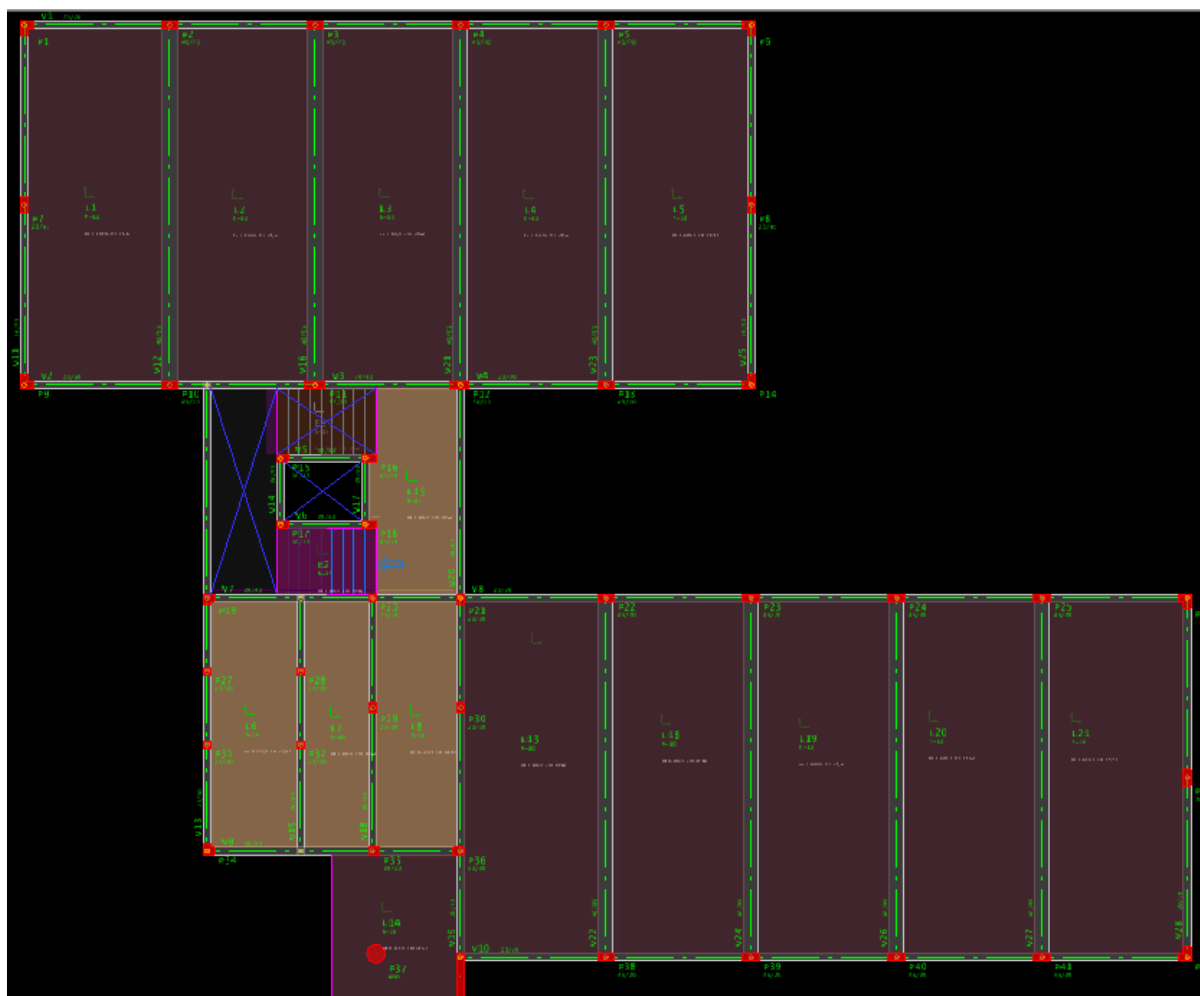
Figura 8 - Corte esquemático



Fonte: Autoria própria

O edifício possui um núcleo central onde se localiza a escada e possui dois blocos onde serão localizados os laboratórios com uma área de 200m² cada, representado na figura a seguir.

Figura 9 - Planta primeiro ao terceiro pavimento



Fonte: autoria própria

Além dos projetos, a Instituição disponibilizou algumas imagens da época da construção da estrutura do edifício que auxiliaram no entendimento da execução do projeto. Na Figura 10 e na Figura 11 é possível ver a etapa da execução dos blocos de fundação e a primeira laje.

Figura 10 - Blocos de fundação



Fonte: UNIFAL – MG

Figura 11 - Montagem das lajes treliçadas



Fonte: UNIFAL – MG

Na Figura 12, o edifício já se encontra em uma etapa mais avançada com paredes externas e os três pavimentos em execução.

Figura 12 - Vista lateral do edifício da UNIFAL-MG



Fonte: UNIFAL – MG

Na Figura 13, é apresentado o estado atual em que se encontra o edifício ainda em fase de acabamento.

Figura 13 - Edifício atualmente



Fonte: UNIFAL – MG

3.2 PARÂMETROS DO MODELO

3.2.1 PROPRIEDADES DOS MATERIAIS

Os parâmetros de material foram mantidos constantes em todos os modelos. Foi adotado o concreto com compressão característica de 35 MPa ($f_{ck} = 35 \text{ Mpa}$). Para o dimensionamento estrutural, adotaram-se as classes de aço CA-50 e CA-60, seguindo as diretrizes da ABNT NBR 6118. O aço CA-50 foi empregado nas armaduras longitudinais de vigas, pilares e lajes, enquanto o aço CA-60 foi utilizado na composição dos estribos e demais armaduras transversais de menor diâmetro.

3.2.2 AÇÃO DO VENTO

A análise prévia do coeficiente γ_z (parâmetro de estabilidade global) de suma importância, ele é um parâmetro fundamental na análise estrutural de edifícios de múltiplos andares, utilizado para avaliar a sensibilidade da estrutura em relação aos efeitos globais de segunda ordem, conforme as diretrizes da ABNT NBR 6118. No software TQS, a verificação do γ_z é indispensável para classificar a estrutura se ela é suscetível a deslocamentos laterais: valores menores ou iguais a 1,10 nos informa que é uma estrutura de nós fixos, onde os efeitos de segunda ordem são desprezíveis. Já valores superiores a 1,10 caracterizam uma estrutura de nós móveis, exigindo que sejam consideradas as forças decorrentes da perda de estabilidade global, e valores acima de 1,30 indicam risco de instabilidade.

Para análise da ação do vento foi adotada uma velocidade básica de 37 m/s, utilizando o mapa de isopletas para a cidade de Alfenas, localizada no sul do estado de Minas Gerais; fator topográfico $S1 = 1,00$; categoria de rugosidade $S2 - III$ para terrenos planos ou ondulados; classe da edificação $S2 - B$ pois sua dimensão horizontal ultrapassa 20 metros; e fator estatístico $S3 = 1,00$ edificações em geral.

Para fins de cálculo foi adotado um coeficiente de arrasto igual a 1,19, pois o edifício possui uma dimensão horizontal muito maior que vertical, sendo assim não é possível encontrar um valor correspondente no ábaco de baixa e alta turbulência, assim o valor de $H/L1$ ($H = 15,55$; $L1 = 31,88$), utilizado no ábaco resultou em 0,48 foi extrapolado para 0,50 que consta no ábaco, o outro valor de $H1/H2$ pode ser encontrado ($L1 = 31,88$; $L2 = 26,70$, representados na Tabela 1.

Tabela 1 – Análise de ventos

Ângulo (°)	Coefficiente de arrasto	Área (m²)	Pressão (kN/m²)
0	1,19	365,01	0,81
90	1,19	407,76	0,80
180	1,19	365,01	0,81
270	1,19	407,76	0,80

Fonte: Autoria própria

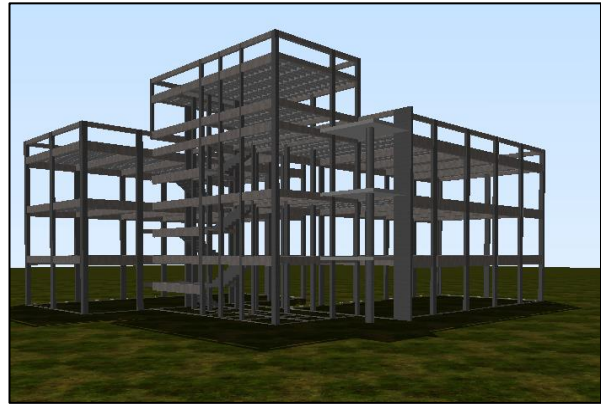
3.3 MODELAGEM DA ESTRUTURA

A modelagem da estrutura no TQS foi realizada inserindo os dados de geometria diretamente a partir das plantas AutoCAD da edificação, garantindo a fidelidade dimensional dos modelos. Para cada sistema de laje foi gerado um modelo completo com o mesmo posicionamento de vigas, pilares e fundações, alterando apenas as propriedades da laje. O processamento utilizou o modelo IV de Pórtico Espacial de Barras com análise de grelha para as lajes, conforme os recursos do programa e para a análise de segunda ordem foi utilizado o γz e o modelo VI para estabilidade e deslocamentos horizontais, o modelo VI no qual o efeito de diafragma rígido das lajes é apenas aproximado por um enrijecimento lateral das vigas. Por isso, ele é mais indicado para avaliar o γz e os deslocamentos horizontais: como a rigidez das lajes entra de forma explícita no modelo, a compatibilização dos deslocamentos entre os pontos de um mesmo pavimento é simulada com maior precisão, captando situações em que esse comportamento não é uniforme em toda a planta. O Modelo IV do sistema TQS consiste em um modelo de análise estrutural global que associa um pórtico espacial tridimensional a grelhas de pavimentos independentes. Nessa abordagem, os esforços gerados pelas cargas verticais nas lajes e vigas são calculados de forma isolada para cada pavimento por meio da grelha. Na Figura 14 é apresentado o edifício modelado no TQS.

Figura 14 - Comparativo: (a) Edifício real; (b) Edifício modelado.



(a)



(b)

Fonte: (a) Engenheiro Unifal-MG; (b) Autoria própria

Após o processamento dos três tipos de laje, foram extraídos os dados de saída referentes às grandezas de interesse. A inclusão detalhada das escadas e da sobrecarga da caixa d'água nas lajes foi mantida em todos os modelos, pois esses elementos conferem rigidez adicional ao sistema e alteram a distribuição de cargas nos pavimentos. Na Figura 15 é apresentada uma vista frontal do edifício.

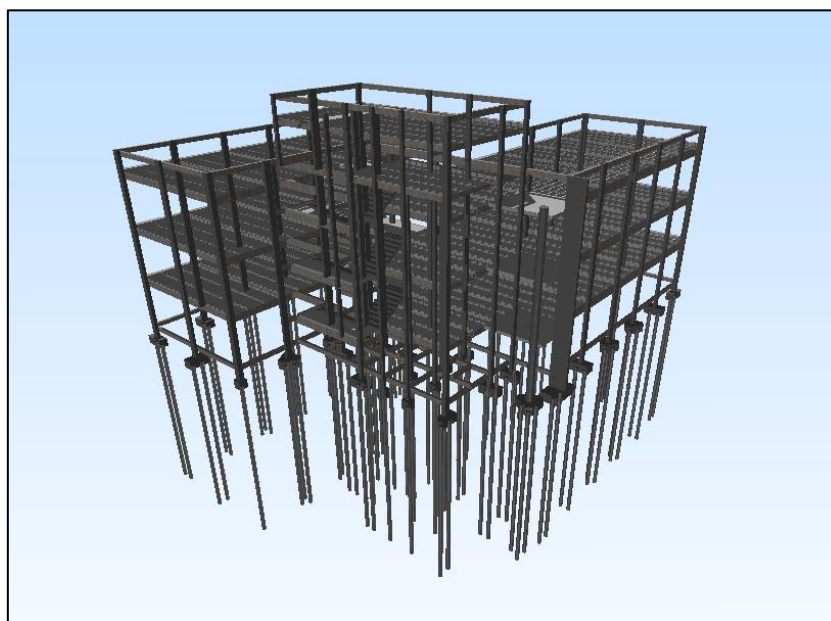
Figura 15 - Vista escada e patamares intermediários



Fonte: Autoria própria

Nas fundações foi necessário fazer um ajuste nos blocos de duas estacas que não respeitam a norma ABNT 6118. A inconsistência identificada foi a proximidade das estacas em relação a parede do bloco, para isso todos dos blocos sobre duas estacas receberam um aumento de 10 cm em seu lado de maior dimensão. Como é possível ver na Figura 16, também foram inseridas as estacas com 12 metros, similar à prevista no projeto.

Figura 16 - Vista estrutural com blocos e estacas



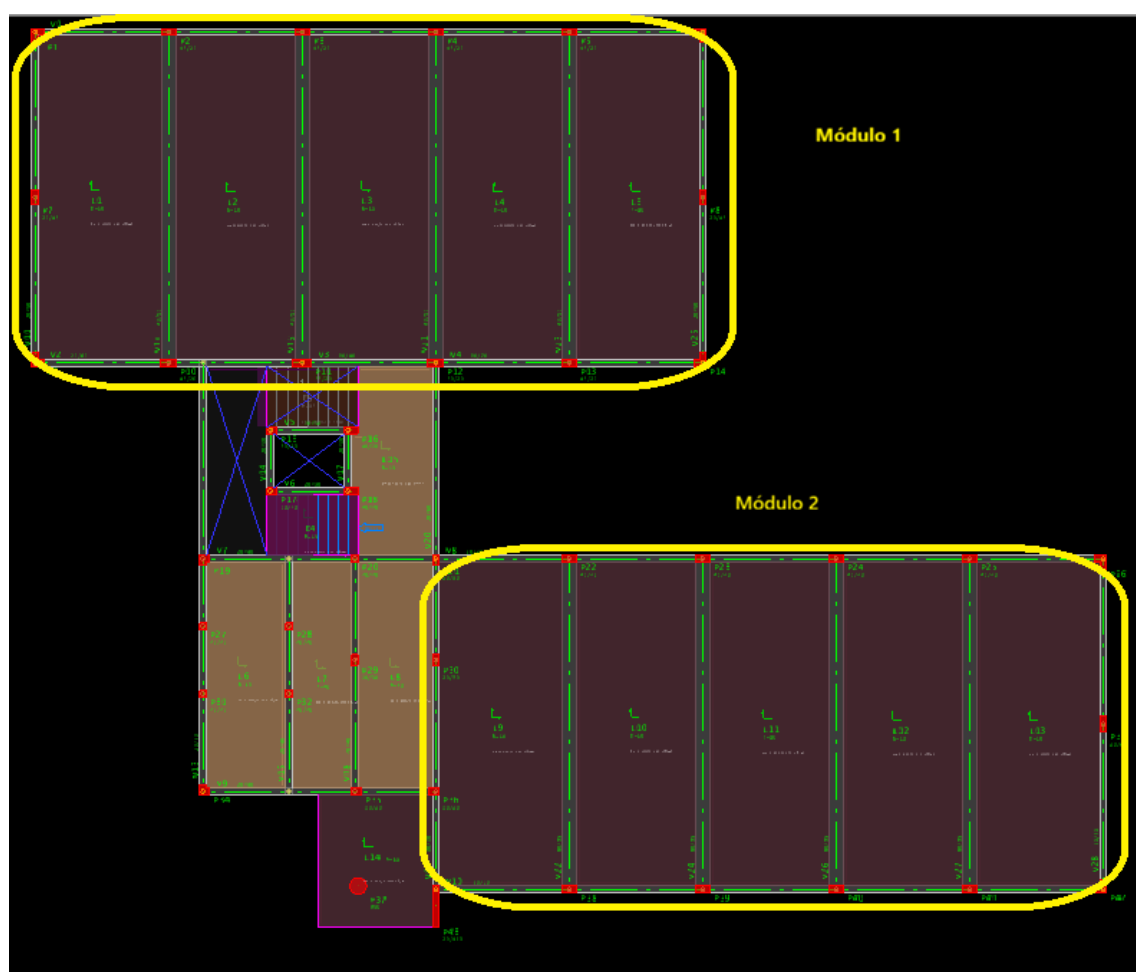
Fonte: Autoria própria

3.4 CARGAS

Para a aplicação das cargas foram adotados valores em conformidade com a NBR 6120 (ABNT, 2019). As cargas permanentes das lajes foram utilizadas a mesma para todos os pavimentos de 1 kN/m^2 representando uma regularização de argamassa com 2 centímetros de espessura, um piso acabado de laboratório e o forro de gesso. Nas vigas foi considerada a utilização de um bloco de vedação de 9 cm com revestimento de argamassa de 2 centímetros em cada lado, para uma parede de 3,6 metros de altura resultou em uma carga permanente de 5 kN/m .

As cargas acidentais utilizadas no modelo foram fornecidas no projeto, que podem ser verificadas nas plantas apresentadas no Anexo A. Nas lajes, para o primeiro e segundo pavimento a sobrecarga nas lajes foi de $2,5 \text{ kN/m}^2$ nos módulos 1 e 2, já nas lajes 6, 7 e 8 que se encontram na situadas na projeção da caixa d'água foi adotado $3,5 \text{ kN/m}^2$ nas escadas e patamares foi adotado esse mesmo valor como visto as plantas na Figura 17.

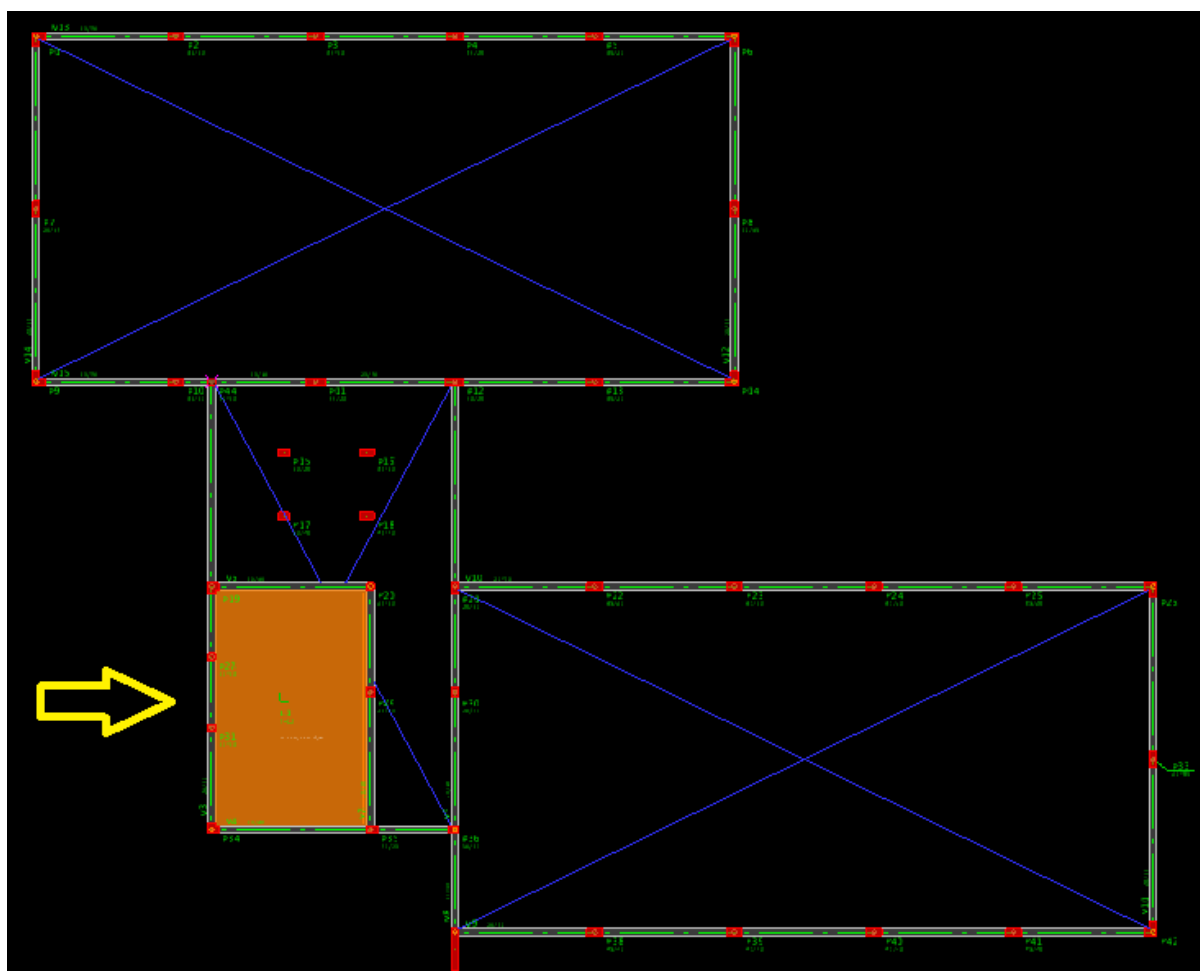
Figura 17 - Modulação edifício



Fonte: Autoria própria

No terceiro e o último pavimento a carga acidental em todas as lajes é de 1 kN/m^2 . Para a laje que se encontra a caixa d'água foi utilizada uma carga acidental de 6 kN/m^2 , representado na Figura 18.

Figura 18 - Planta nível caixa d'água

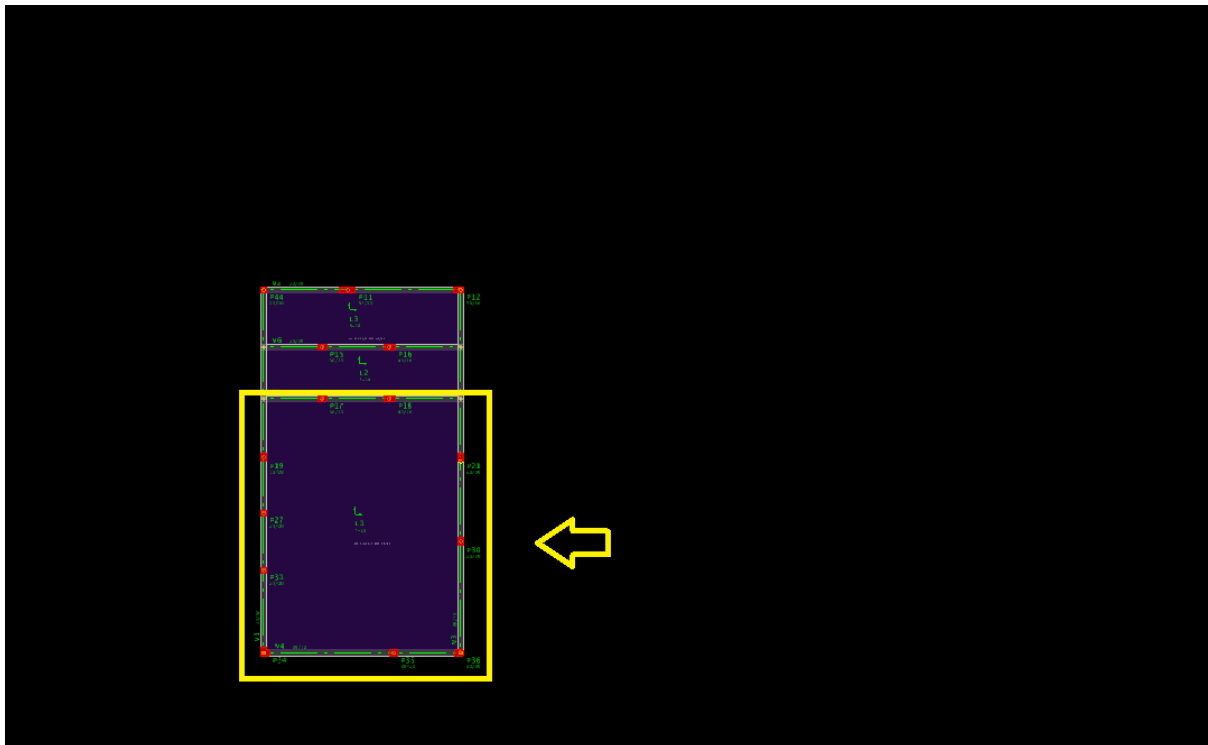


Fonte: Autoria própria

Depois de modelado o edifício, foi feito o processamento global analisando o Estado-Limite de Serviço (ELS) e Estado-Limite Último (ELU).

A partir do primeiro processamento, procedeu-se à variação da altura das lajes com o objetivo de determinar a menor altura capaz de atender aos limites de deslocamentos estabelecidos em norma. Do primeiro ao terceiro pavimento, foram analisadas as flechas das lajes localizadas nos módulos 1 e 2, indicadas na Figura 17, por se tratarem daquelas que apresentam os maiores vãos. Para a caixa d'água, há apenas uma laje relevante à análise (Figura 18). No último pavimento, foi considerada a laje de maior dimensão, conforme indicado na Figura 19.

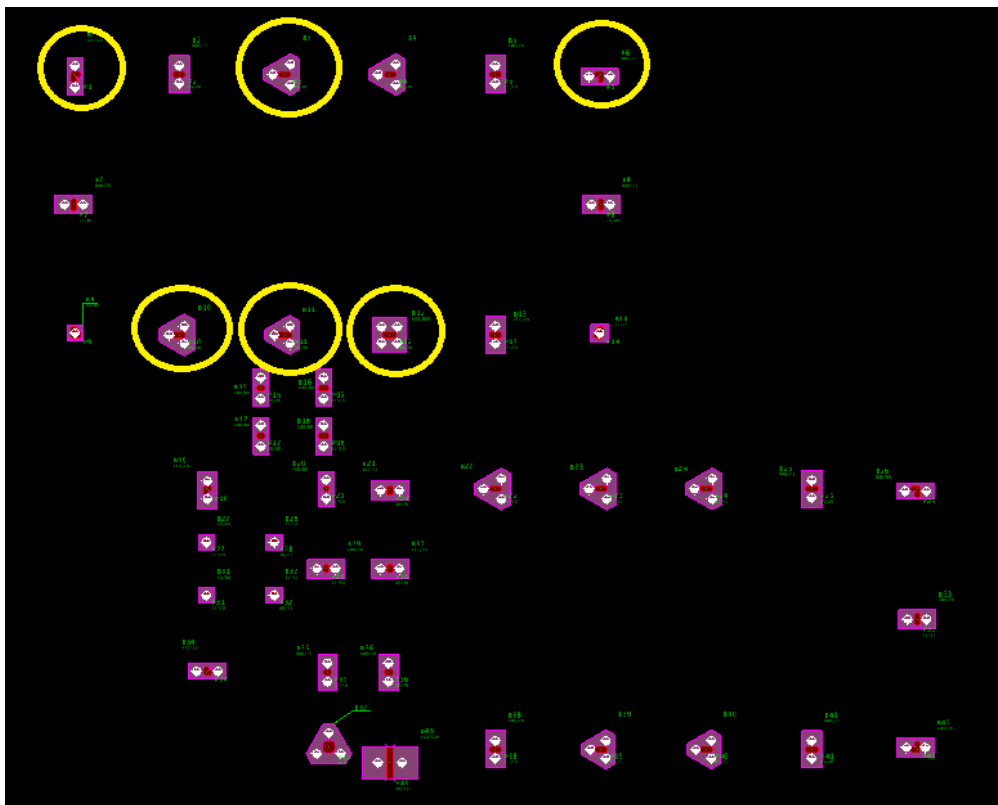
Figura 19 - Planta nível cobertura



Fonte: Autoria própria

Também foram comparados o consumo de concreto e aço das lajes de cada pavimento, com o objetivo de avaliar como o tipo de laje afeta o quantitativo de cada material. Em seguida, analisou-se a carga média vertical em cada modelo e, por fim, a carga aplicada em determinados blocos de fundação, a saber: B1, B3, B6, B10, B11 e B12, apresentados na Figura 20. A definição desses blocos se dá pelo fato dos pilares B1 e B6 serem de canto, o pilar B3 de extremidade e os pilares B10, B11 e B12 estarem localizados entre o módulo 1 e a escada. Essa escolha permite comparar a distribuição de cargas entre os três tipos de lajes em função da localização do pilar.

Figura 20 - Planta de localização dos blocos de fundação



Fonte: Autoria própria

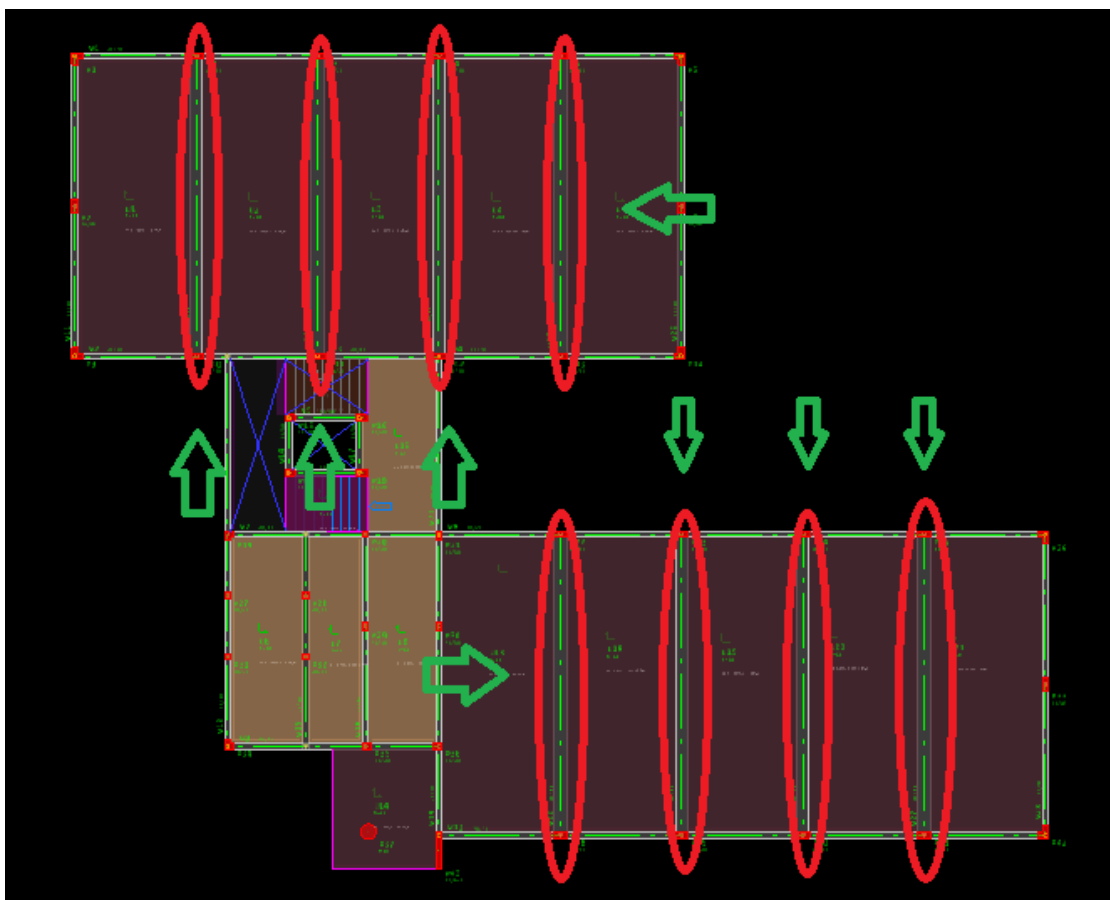
Por fim, foi realizada uma análise comparativa dos deslocamentos das vigas do segundo pavimento utilizando o modelo de grelhas.

4 RESULTADOS

Feito os três modelos do edifício iniciou-se a variação das alturas das lajes a fim de chegar em flechas máximas que respeitem o limite, entretanto após alguns processamentos notou-se que o aumento da altura das lajes não tinha mais efeito na redução das flechas nos três modelos, indicando então que outro elemento poderia estar influenciando na deformação das lajes. Após alguns testes foi observado que a altura das vigas que se encontram nos módulos 1 e 2 estavam deformando a laje, isso pode ocorrer devido ao grande vão que elas estão inseridas de 9,80 metros. Usualmente, durante a etapa de concepção estrutural, adota-se $l/10$ como altura inicial da viga, em que 'l' representa o vão do elemento. Para o vão presente, a altura estimada seria em torno de 98 cm e o projeto inicial consta vigas com altura de 65 cm.

Para solucionar tal questão foi feito o aumento gradual da altura das vigas, e foi constatado que as flechas no processamento começaram a diminuir, a altura que satisfaz as simulações para combinação quase permanente foi de 65 cm para 85 cm nos pavimentos 1 e 2, e de 65 para 75 cm no terceiro pavimento, como a laje dele representa a cobertura sua carga é menor, na Figura 21 foram ilustradas as vigas que tiveram a altura redimensionada. Depois de ajustado foi possível processar todos modelos como era esperado, variando suas alturas para encontrar qual melhor atende a flecha limite de cada caso.

Figura 21 - Vigas modificadas



Fonte: Autoria própria

Como no presente trabalho foi inicialmente seguido fielmente todas as cargas, dimensões e o tipo de laje treliçada, o resultado das flechas máximas estarem ultrapassando a flecha limite pareceu incomum. Para os pavimentos um e dois a flecha limite calculada foi de 1,58 cm, utilizando a equação $(l/250)$ em um vão de 3,96 metros como é possível observar no Anexo A e a simulação apontava flechas de 3,47 cm. Portanto foi contatado o engenheiro civil da UNIFAL-MG que foi ao edifício averiguar in loco, ele nos enviou registros das vigas do segundo pavimento visto na Figura 22.

Figura 22 - Vigas identificadas



Fonte: Engenheiro Unifal - MG

E utilizando uma trena a laser, como visto na Figura 23, ele mediu o pé direito ao longo da viga, e foi apontado que a viga sofreu um deslocamento de 3 cm, valor que se aproxima do resultado processado pelo programa, validando os resultados iniciais e indicando que as alturas das vigas foram subdimensionadas.

Figura 23 - Medição de deslocamento da viga

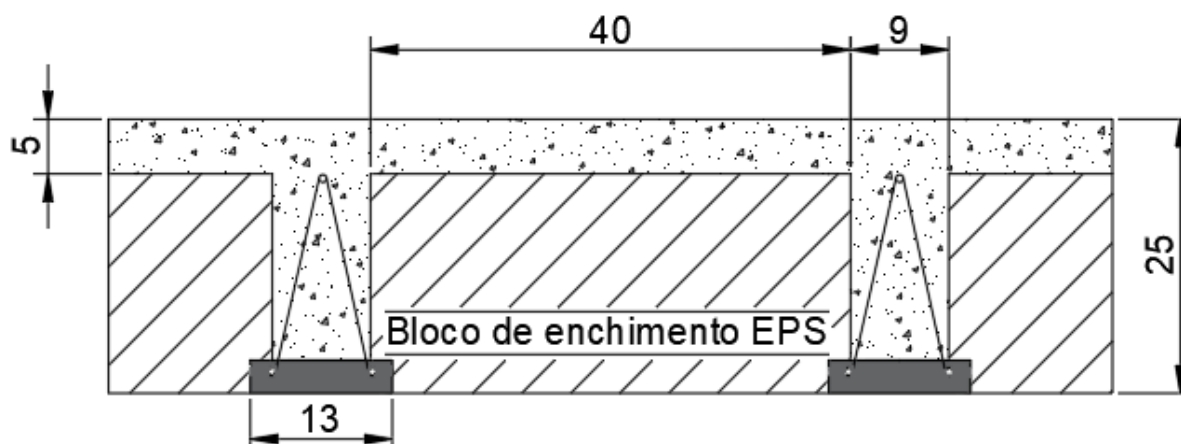


Fonte: Unifal - MG

4.1 LAJE TRELIÇADA

Para a laje treliçada foi adotada uma laje unidirecional com blocos de EPS com o Bloco 20/40/120, sendo 20 cm a altura do bloco de EPS, 40 cm a largura e 120 cm de comprimento, para a capa de concreto foi adotado 5 cm totalizando então uma laje com altura total de 25 cm, sua configuração foi usada em todos os pavimentos, ilustrado na Figura 24.

Figura 24 - Ilustração laje treliçada



Fonte: Autoria própria

Iniciando a análise este modelo obteve um $\gamma_z = 1,201$; portanto como este valor é superior a 1,10 a estrutura é característica de nós móveis.

Com essa configuração foram obtidas as flechas para a combinação quase permanente em cada pavimento, do primeiro ao terceiro foram analisadas apenas as lajes que se encontram nos módulos 1 e 2, a laje que se encontra a caixa d'água e a laje de maior dimensão da laje de cobertura como foi apresentada anteriormente, a seguir na Tabela 2 a maior flecha resultante de cada pavimento e sua respectiva flecha limite.

Tabela 2 – Flechas da combinação quase permanente – laje treliçada

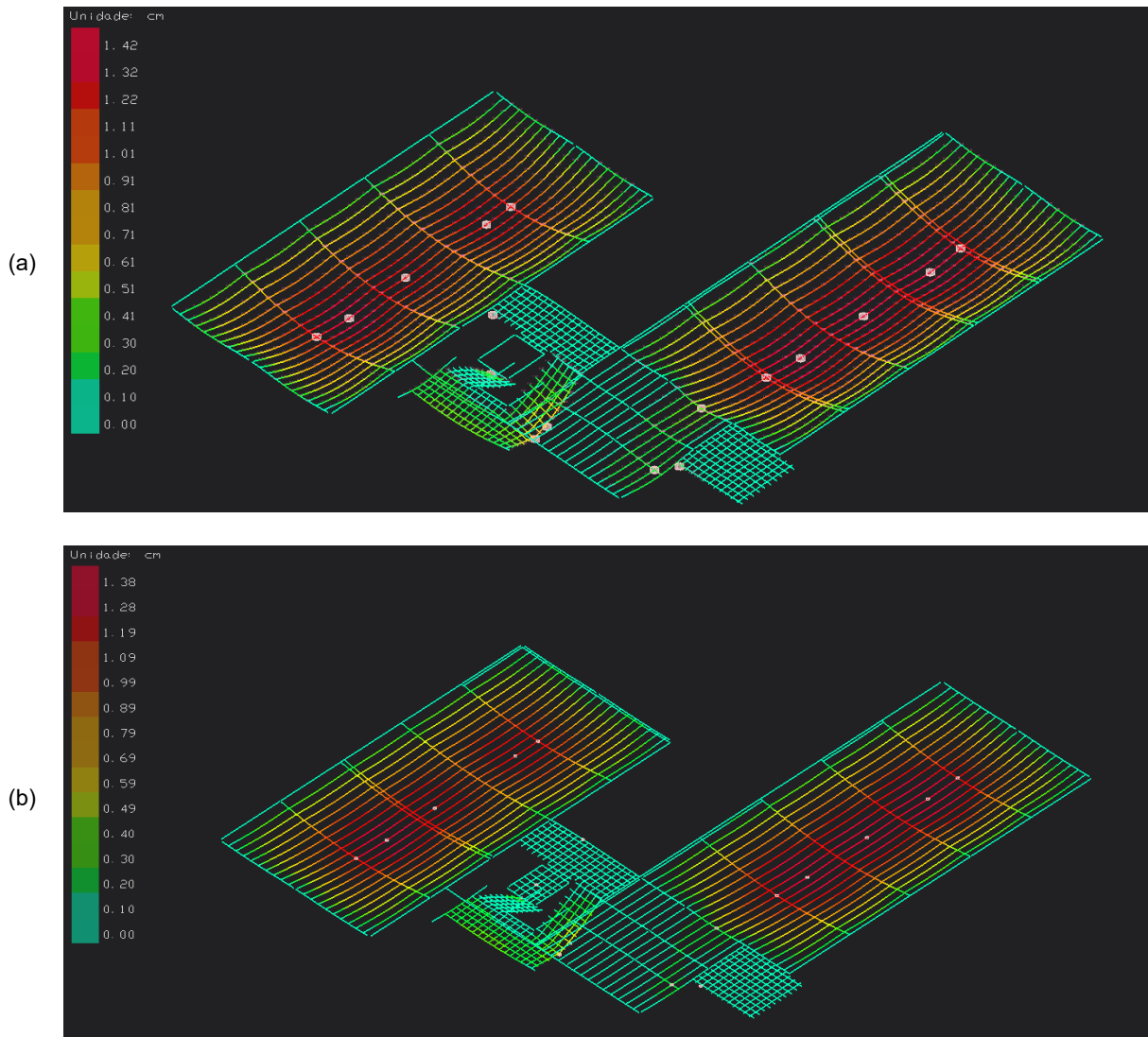
Pavimento	Flecha Máxima (cm)	Flecha Limite (cm)
Cobertura	2,17	2,76
Caixa d'água	1,02	1,80
Terceiro	1,38	1,58
Segundo	1,42	1,58
Primeiro	1,42	1,58

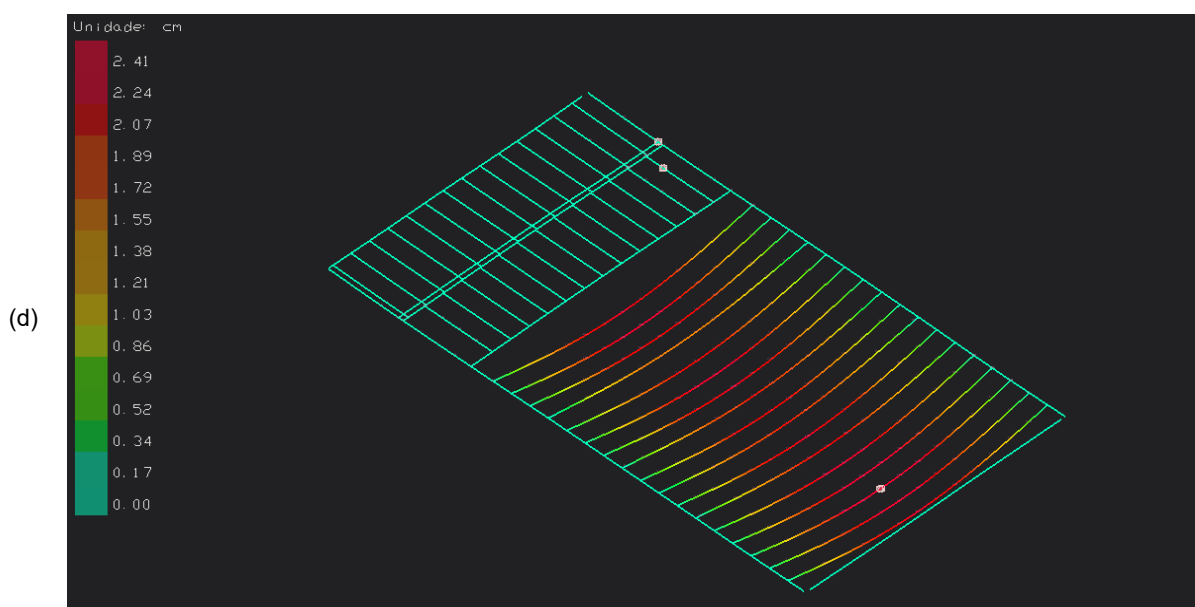
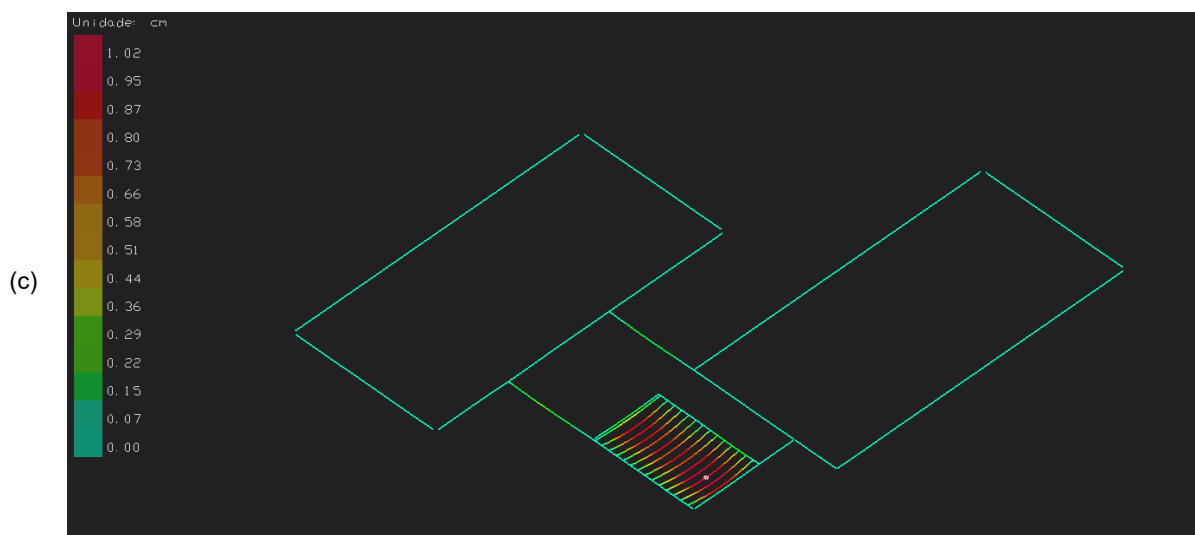
Fonte: Autoria própria

Na Figura 25, na qual são apresentados os deslocamentos apontados na

Tabela 2, é possível observar que a maior flecha ocorre no centro das lajes e próximo as vigas que se encontram no módulo 1 e 2 apresentado na Figura 21, no pavimento da caixa d'água e cobertura o deslocamento máximo não se encontra no centro da laje, sua malha é similar ao posicionamento das vigotas.

Figura 25 - Modelo de grelhas laje treliçada: (a) Primeiro e segundo pavimento; (b) Terceiro pavimento; (c) Pavimento caixa d'água; (d) Pavimento cobertura.





Fonte: Autoria própria

Além das flechas, foram extraídos os valores de consumo de concreto e aço para as lajes de cada pavimento, apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Consumo de concreto e aço – laje treliçada

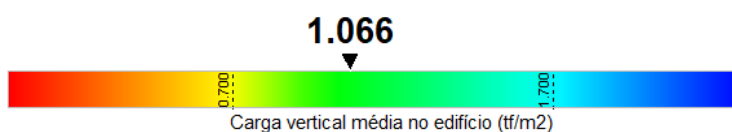
Pavimento	Volume de concreto - Lajes (m³)	Consumo de aço - Lajes (kg)
Cobertura	7,09	158,00
Caixa d'água	2,53	373,00
Terceiro	41,09	1378,00

Segundo	40,29	1286,00
Primeiro	40,29	1286,00

Fonte: autoria própria

Na Figura 26 é apresentada a carga média resultante do modelo de lajes treliçadas.

Figura 26 - Carga média laje treliçada



Fonte: Autoria própria

Por fim, foi analisada a carga nos blocos previamente selecionados, representados na Tabela 4.

Tabela 4 – Cargas nos blocos – laje treliçada

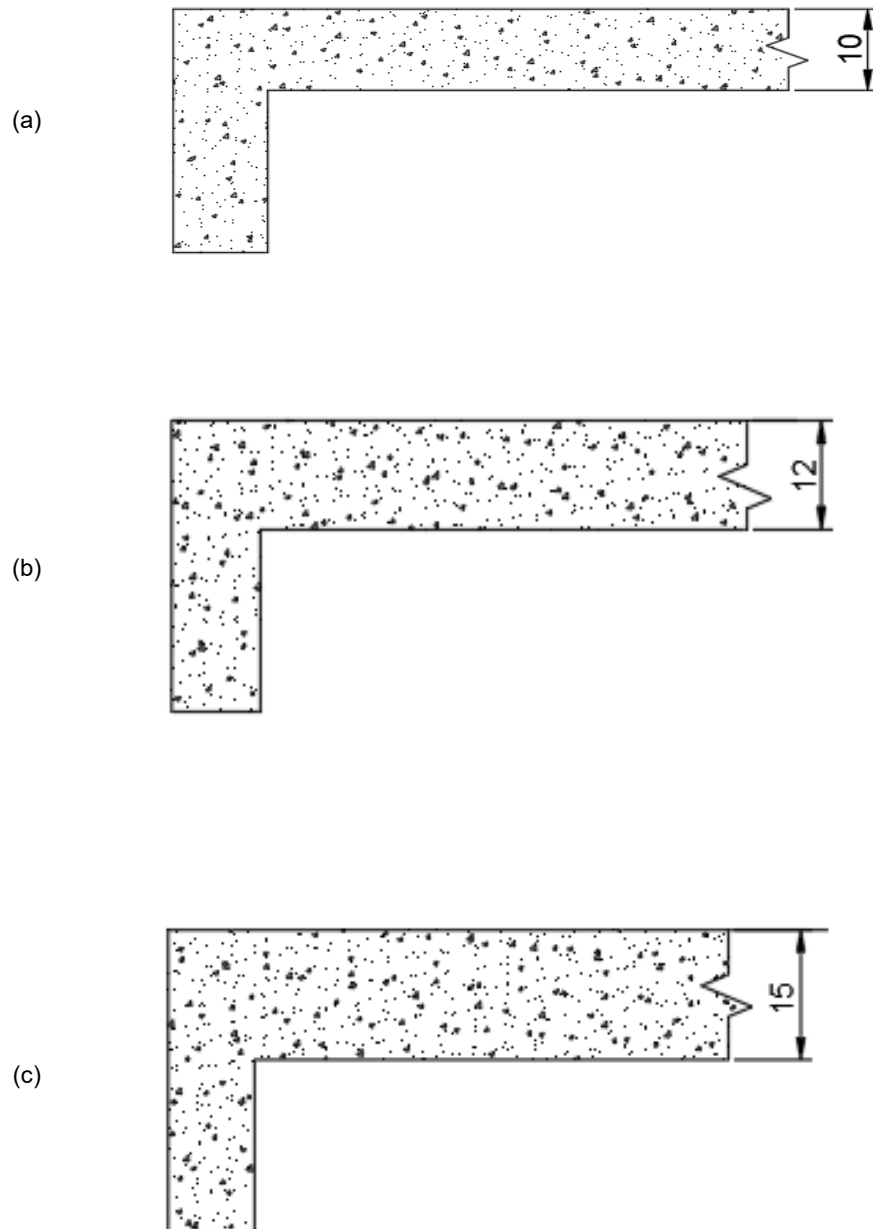
Blocos	Cargas nos blocos - V _k (kN)
B1	204,7
B3	599,5
B6	208,3
B10	813,9
B11	831,8
B12	856,2

Fonte: Autoria própria

4.2 LAJE MACIÇA

A laje maciça atingiu uma flecha que atenda o limite com uma altura de 10 cm nas lajes do primeiro ao terceiro pavimento, já no pavimento da caixa d'água a altura que satisfizesse as flechas foi de 12 cm e para o último pavimento de cobertura foi utilizada uma laje com altura de 15 cm, ilustrados na Figura 27.

Figura 27 - Ilustrações lajes maciças utilizadas por pavimento: (a) Primeiro ao terceiro pavimento; (b) Pavimento caixa d'água; (c) Pavimento cobertura.



Fonte: Autoria própria

Este modelo obteve um $\gamma_z = 1,197$; também resultando em um valor superior a 1,10, sendo então uma estrutura característica de nós móveis.

Utilizando a combinação quase permanente para análise das flechas de cada pavimento similarmente a laje treliçada analisada anteriormente, os resultados estão representados na Tabela 5.

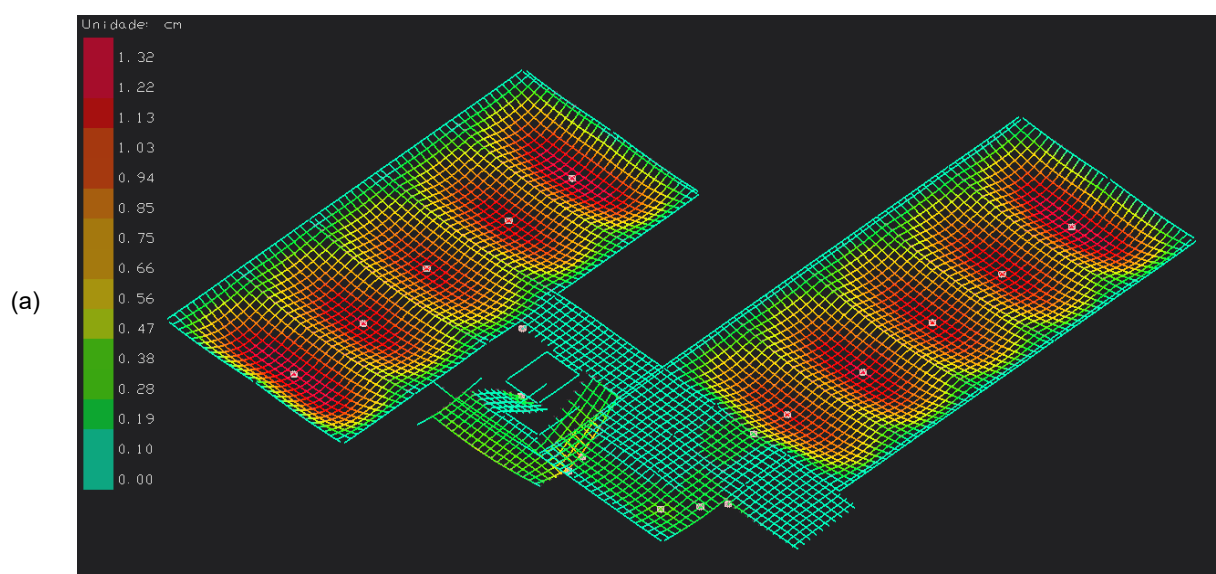
Tabela 5 – Flechas da combinação quase permanente – laje maciça

Pavimento	Flecha Máxima (cm)	Flecha Limite (cm)
Cobertura	2,48	2,76
Caixa d'água	1,60	1,80
Terceiro	1,15	1,58
Segundo	1,32	1,58
Primeiro	1,32	1,58

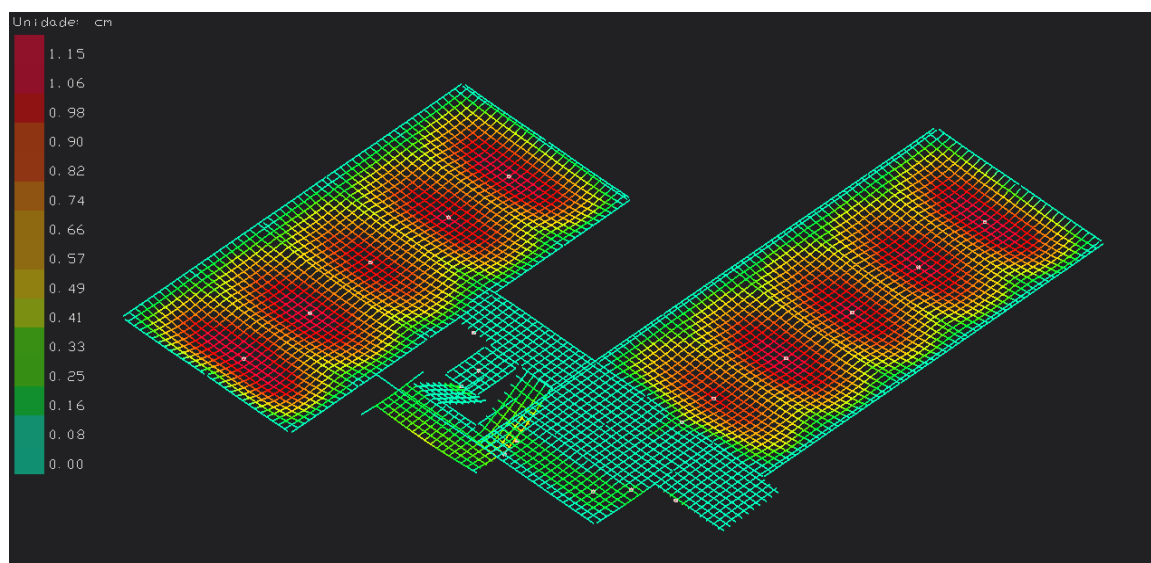
Fonte: Autoria própria

Na Figura 28 é possível observar que a maior flecha ocorre apenas nos centros das lajes e este comportamento segue em todos os pavimentos, ela também apresenta uma malha muito mais definida.

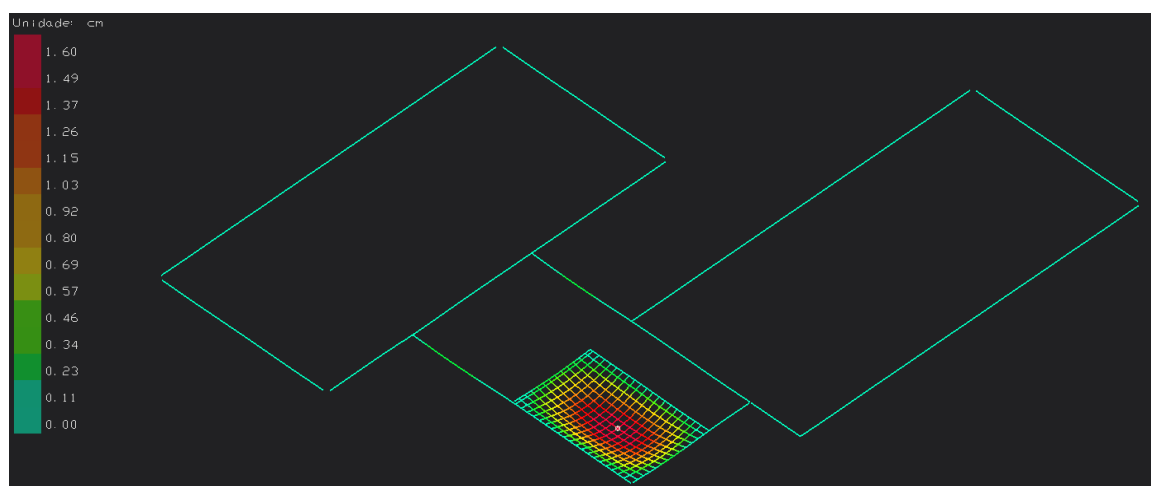
Figura 28 - Modelo de grelhas laje maciça: (a) Primeiro e segundo pavimento; (b) Terceiro pavimento; (c) Pavimento caixa d'água; (d) Pavimento cobertura.



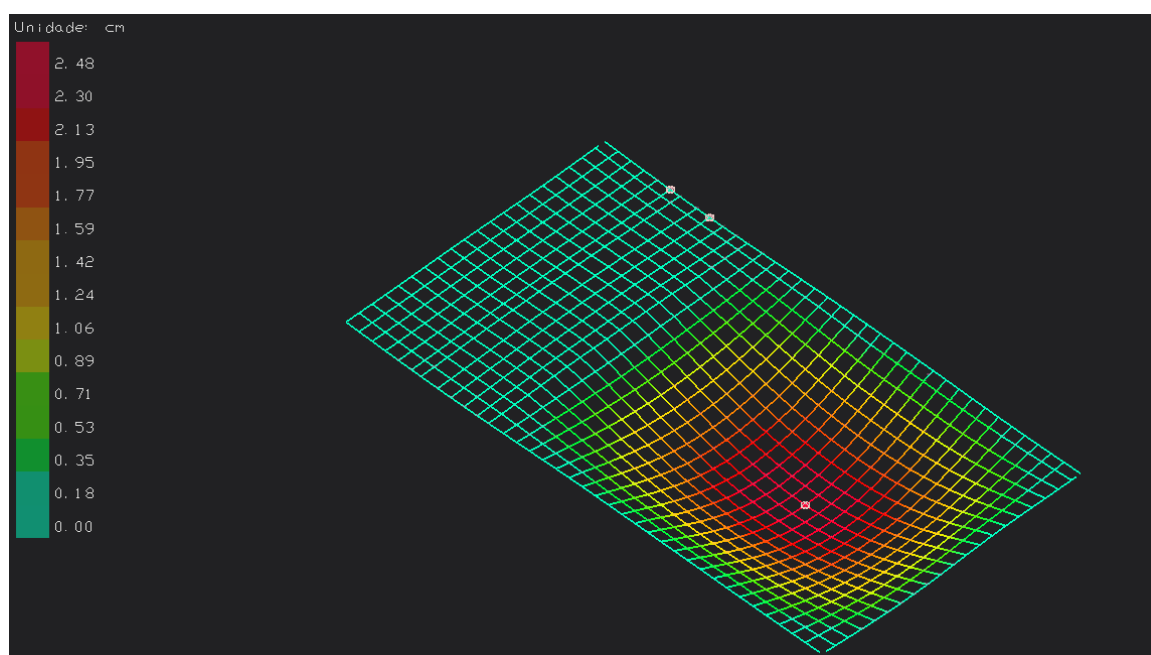
(b)



(c)



(d)



Fonte: Autoria própria

Na Tabela 6 apresenta os quantitativos de concreto e aço obtidos para o modelo com laje maciça, discriminados por pavimento.

Tabela 6 – Consumo de concreto e aço – laje maciça

Pavimento	Volume de concreto - Lajes (m³)	Consumo de aço - Lajes (kg)
Cobertura	11,93	875,00
Caixa d'água	3,46	660,00
Terceiro	44,98	3017,00
Segundo	44,31	3204,00
Primeiro	44,31	3204,00

Fonte: autoria própria

Na Figura 29 apresenta o resultado da carga vertical média do edifício, o maior entre os três sistemas avaliados.

Figura 29 - Carga média laje maciça



Fonte: Autoria própria

Por fim, foi analisada a carga nos blocos previamente selecionados, representados na Tabela 7.

Tabela 7 – Cargas nos blocos – laje maciça

Blocos	Cargas nos blocos - V _k (kN)
B1	201,2
B3	608,9

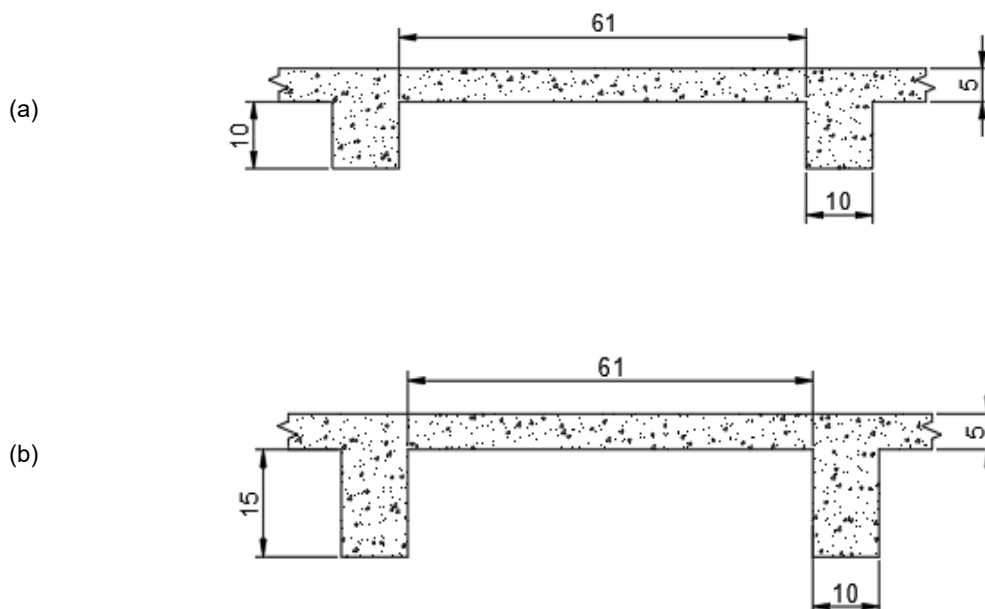
B6	205,7
B10	847,0
B11	837,2
B12	844,1

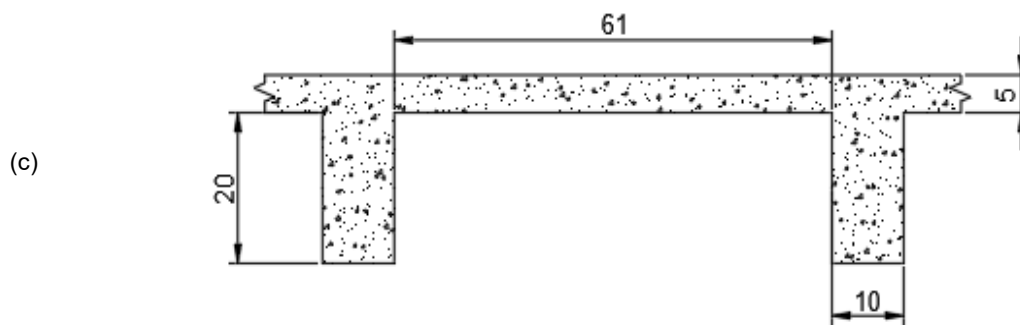
Fonte: Autoria própria

4.3 LAJE NERVURADA

Para a laje nervurada foi adotada uma forma que é muito utilizada no mercado de 61X61 cm, o espaçamento adotado foi de 10 cm e a altura das nervuras foi variada conforme a necessidade de resistência, as alturas finais das nervuras foram de 10 cm para as lajes do primeiro ao terceiro pavimento, 15 cm na laje da caixa d'água e 20 cm na laje de cobertura, para a capa foi utilizada uma de 5 cm, todas as dimensões foram representadas na Figura 30.

Figura 30 - Ilustrações lajes nervuradas utilizadas por pavimento: (a) Primeiro ao terceiro pavimento; (b) Pavimento caixa d'água; (c) Pavimento cobertura.





Fonte: Autoria própria

Este modelo obteve um $\gamma_z = 1,189$; mais uma vez um valor superior a 1,10, sendo então uma estrutura característica de nós móveis.

A configuração da laje nervurada utilizada gerou as flechas apresentadas na Tabela 8, a partir da combinação quase permanente.

Tabela 8 – Flechas da combinação quase permanente – laje nervurada

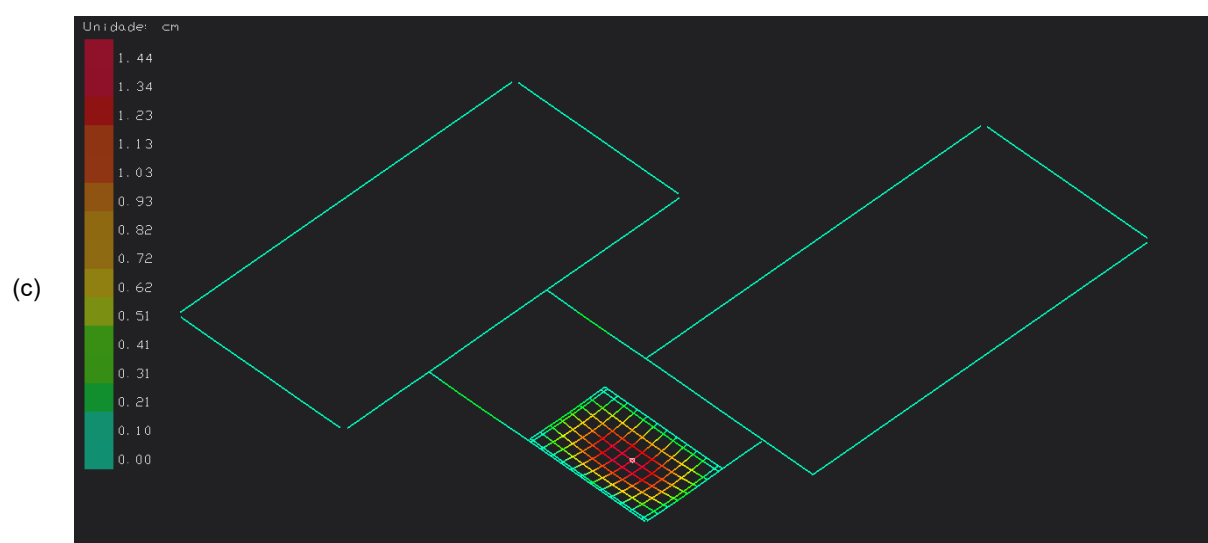
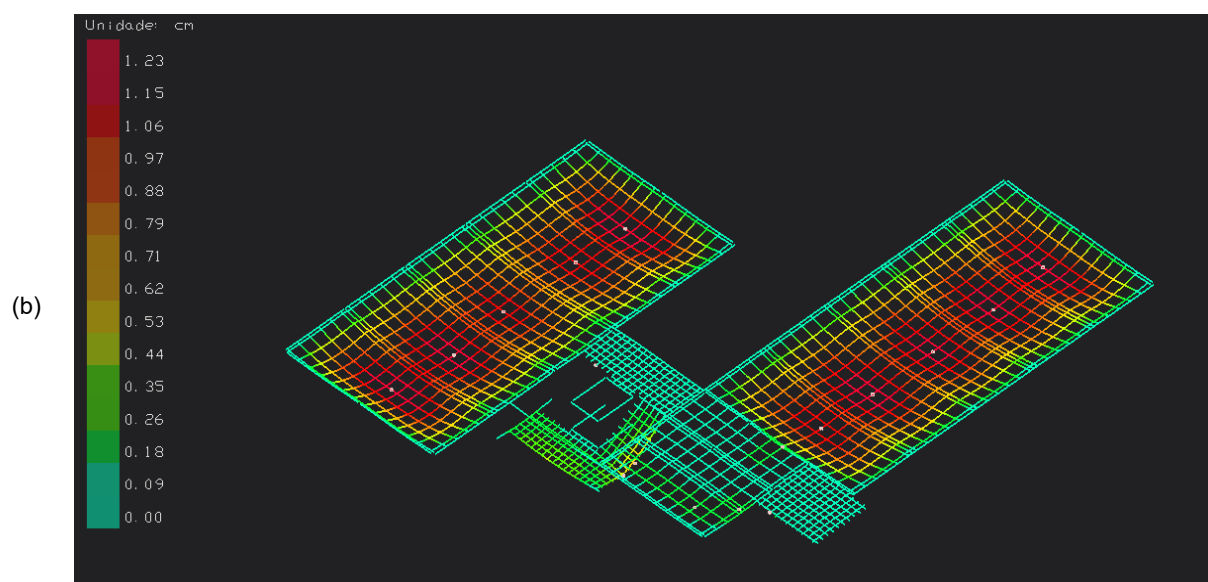
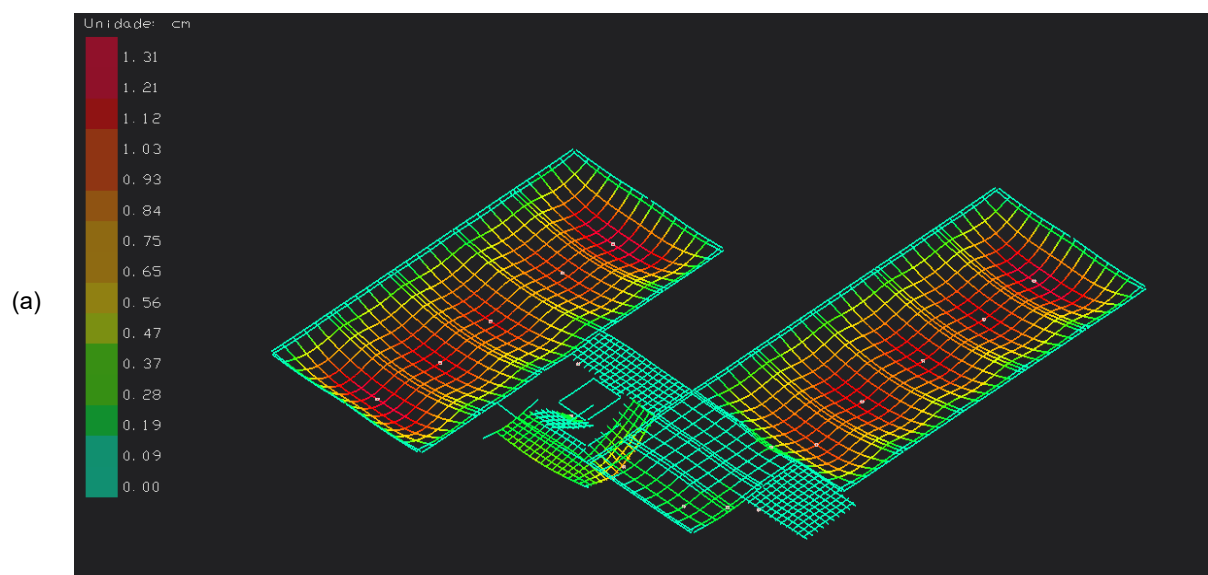
Pavimento	Flecha Máxima (cm)	Flecha Limite (cm)
Cobertura	2,03	2,76
Caixa d'água	1,44	1,80
Terceiro	1,23	1,58
Segundo	1,31	1,58
Primeiro	1,31	1,58

Fonte: autoria própria

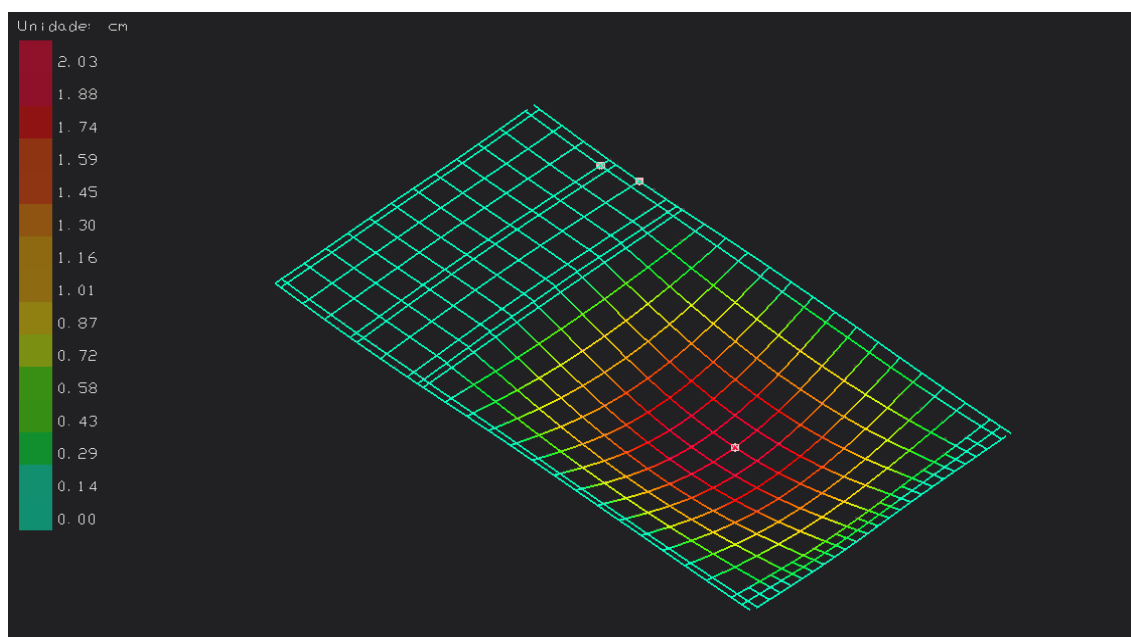
Na Figura 31, é possível observar que a maior flecha ocorre nos centros das lajes, e similarmente a laje maciça sua malha apresenta um espaçamento maior entre as linhas, característico das fôrmas utilizadas.

Figura 31 - Modelo de grelhas laje nervurada: (a) Primeiro e segundo pavimento; (b) Terceiro pavimento; (c)

Pavimento caixa d'água; (d) Pavimento cobertura.



(d)



Fonte: Autoria própria

Complementando a análise, na Tabela 9 apresenta o volume de concreto e o consumo de aço obtidos para este modelo.

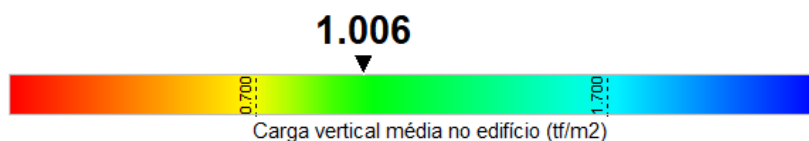
Tabela 9 – Consumo de concreto e aço – laje nervurada

Pavimento	Volume de concreto - Lajes (m³)	Consumo de aço - Lajes (kg)
Cobertura	9,82	562,00
Caixa d'água	2,87	511,00
Terceiro	36,84	1613,00
Segundo	36,84	1975,00
Primeiro	36,84	1975,00

Fonte: Autoria própria

Já a carga média vertical do edifício foi gerada um resultado em 1,006 tf/m² ou 10,06 kN/m² como ilustrado na Figura 31.

Figura 32 - Carga média laje nervurada



Fonte: Autoria própria

Por fim, foi analisada a carga nos blocos previamente selecionados, representados na Tabela 10.

Tabela 10 – Carga nos blocos – laje nervurada

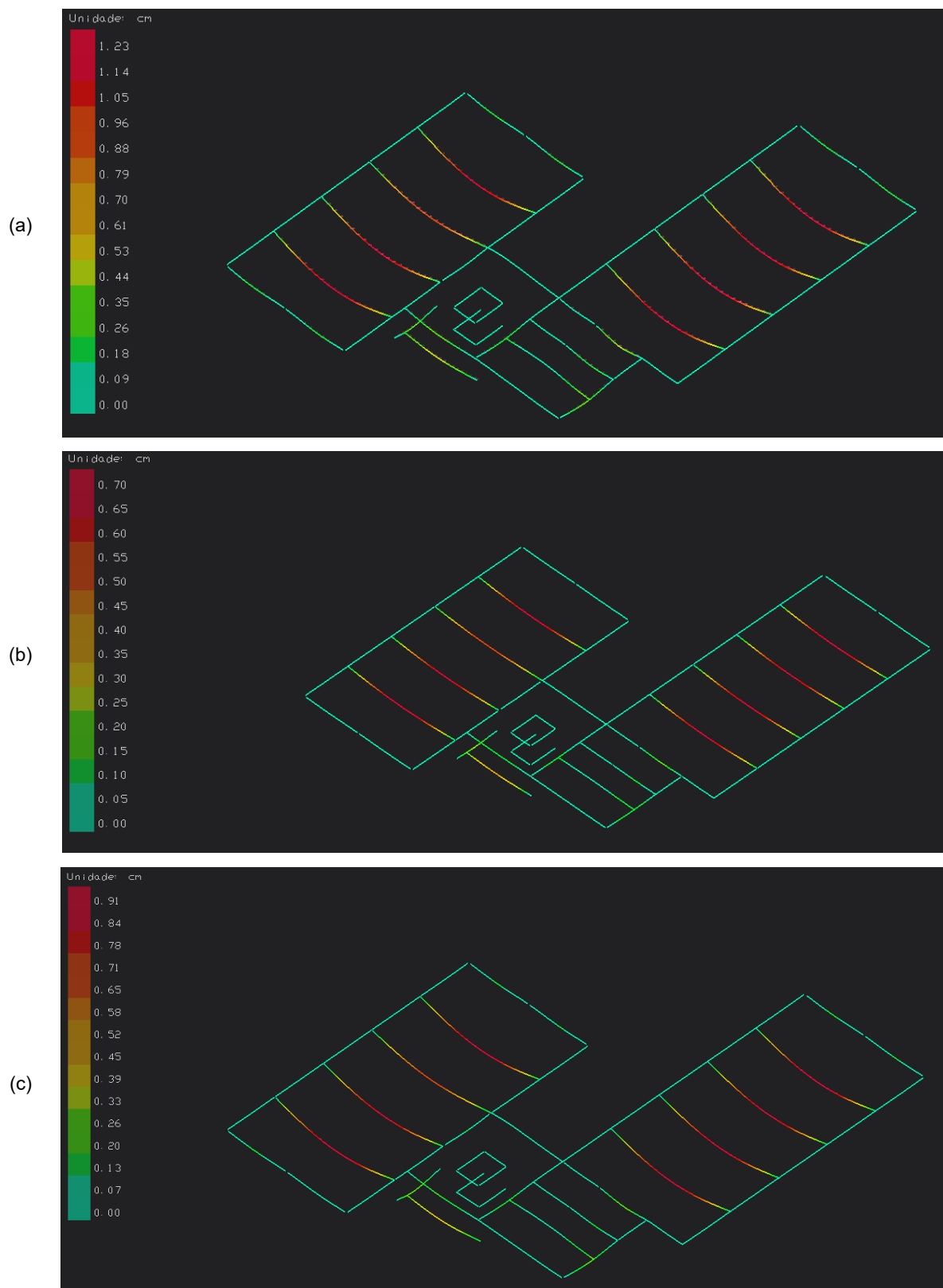
Blocos	Cargas nos blocos - V _k (kN)
B1	186,3
B3	560,4
B6	192,7
B10	801,9
B11	767,8
B12	800,1

Fonte: Autoria própria

4.4 ANÁLISE DE VIGAS DO SEGUNDO PAVIMENTO

Foi analisado também o deslocamento das vigas do segundo pavimento de cada modelo de laje, para isso utilizou-se o modelo de grelhas com a combinação quase permanente como visto na Figura 33. Nota-se que o edifício com laje treliçada apresentou o maior deslocamento de vigas, chegando a 1,23 cm, enquanto as vigas do modelo com laje maciça que apresentaram um deslocamento máximo de 0,70 cm, uma redução de 43,1% comparada a treliçada. Para o modelo com laje nervurada, o deslocamento máximo das vigas foi de 0,91 cm, 26,0% menor que o modelo com lajes treliçadas.

Figura 33 - Modelo de grelha para combinação quase permanente análise de vigas segundo pavimento: (a) Laje treliçada; (b) Laje maciça; Laje nervurada.



Fonte: Autoria própria

4.5 COMPARAÇÃO E DISCUSSÃO ENTRE AS LAJES

Nos três cenários, a estrutura classifica-se como de nós móveis por superar o limite normativo de 1,10, mas mantém-se segura e estável abaixo de 1,30. Todos os modelos apresentaram valores acima de 1,10 e abaixo de 1,30.

Em relação aos deslocamentos horizontais os três modelos apresentaram o mesmo resultado de 0,97 cm em relação ao topo do edifício e 0,12 cm entre os pisos, mostrando que os valores obtidos atendem aos critérios de deslocabilidade, o resultado similar de todos pode ser devido ao fato da estrutura não ser muito alta e possuir uma grande largura horizontal, conferindo estabilidade.

Durante a análise das grelhas do segundo pavimento, utilizando este recurso foi possível observar como cada laje possui uma malha e como elas se comportam de maneira diferente. Nas lajes maciças o deslocamento maior acontece no centro das lajes e ela possui uma malha bem preenchida seu deslocamento foi de 1,32 cm; já a laje treliçada possui uma malha que segue as vigotas e este apoio nas vigas acaba deslocando elas junto com a laje e também se aproximou mais do deslocamento limite chegando em 1,42 cm; e nervurada apresenta uma malha similar as fôrmas utilizadas mais espaçada do que a maciça seu comportamento é similar a maciça porém com um deslocamento menor chegando em 1,30 cm.

Em relação ao volume de concreto nas lajes, foi somado o consumo de todas as lajes na Tabela 11, o resultado obtido confirma a tendência apontada por Vieira *et al.* (2024), que concluíram que a laje nervurada apresenta menor consumo de material e menor peso próprio em comparação às maciças, resultando em estruturas mais econômicas e leves para edifícios comerciais de múltiplos pavimentos. No presente trabalho, a laje nervurada utilizou 123,21 m³ de concreto nas lajes, representando uma redução de 17,3% em relação à maciça 148,99 m³ e 6,2% em relação à treliçada 131,29 m³, valores expressivos que corroboram essa afirmação.

Tabela 11 – Comparativo consumo de concreto entre as lajes

Pavimento	Volume de concreto - Laje treliçada (m ³)	Volume de concreto - Laje maciça (m ³)	Volume de concreto - Laje nervurada (m ³)
-----------	---	--	---

Cobertura	7,09	11,93	9,82
Caixa d'água	2,53	3,46	2,87
Terceiro	41,09	44,98	36,84
Segundo	40,29	44,31	36,84
Primeiro	40,29	44,31	36,84
TOTAL	131,29	148,99	123,21

Fonte: Autoria própria

Quanto ao consumo de aço, os resultados estão alinhados com as conclusões de Moura (2023), que demonstrou que a laje treliçada apresenta melhor relação custo-benefício em comparação às demais, considerando conjuntamente os fatores peso, quantidade de aço e volume de concreto. De fato, a laje treliçada obteve o menor consumo total de aço como visto na Tabela 12, resultando em 4.481,00 kg sendo 59,1% mais econômica que a laje maciça de consumo 10.960,00 kg e 32,5% mais econômica que a nervurada consumindo 6.636,00 kg.

Tabela 12 – Comparativo consumo de aço entre as lajes

Pavimento	Consumo de aço - Laje treliçada (kg)	Consumo de aço - Laje maciça (kg)	Consumo de aço - Laje nervurada (kg)
Cobertura	158,00	875,00	562,00
Caixa d'água	373,00	660,00	511,00
Terceiro	1.378,00	3.017,00	1.613,00
Segundo	1.286,00	3.204,00	1.975,00
Primeiro	1.286,00	3.204,00	1.975,00
TOTAL	4.481,00	10.960,00	6.636,00

Fonte: Autoria própria

No que se refere a carga média por m² na estrutura os valores vão de acordo com o que foi observado no consumo de concreto, resultando na maior carga a laje maciça com 1,100 tf/m², seguida da laje treliçada com 1,066 tf/m² e por fim a menor

da laje nervurada com 1,006 tf/m² sendo 8,55% menor que o da laje maciça e 5,63% menor que a laje treliçada. Este resultado é consistente com a explicação teórica de Bastos (2023), que afirma que o peso próprio de uma laje maciça cresce linearmente com a espessura, e que esse aumento se propaga por toda a cadeia estrutural de vigas, pilares e fundações.

As reações nos blocos de fundação, apresentadas na Tabela 13, reforçam a conclusão de que a laje nervurada gera, em média, menores carregamentos nas fundações comparadas a laje treliçada e laje maciça, o que poderia permitir a adoção de estacas de menor capacidade ou reduzir o número de estacas em novos projetos. Os blocos B1 e B6 apresentaram a menor carga concentrada por ser pilar de extremidade o modelo de laje treliçada apresentou os maiores valores porém a os valores da laje maciça não apresentam uma diminuição de apenas 1,71% para o B1 e 1,25% para o B2 já o modelo de laje treliçada esta redução tem uma redução mais expressiva de 8,99% e 7,49% respectivamente; seguido do bloco B3, representando um pilar de borda, que agora o bloco mais carregado pertence a edifício com lajes maciças, ele apresentou um valor 1,56% maior que o primeiro modelo enquanto o último modelo mantém uma redução de 6,52%; e os mais concentrados B10, B11 e B12 apresentaram os maiores valores do edifício como esperado a laje maciça foi 4,07% e 0,65% maior nos blocos B10 e B11, e foi 1,41% menor no bloco B12, novamente a laje nervurada apresentou os menores valores apresentando uma redução de 1,47%; 7,69%; e 6,55% respectivamente.

Tabela 13 – Comparativo carga nos blocos entre as lajes

Blocos	Cargas nos blocos - Laje treliçada V_k (kN)	Cargas nos blocos - Laje maciça V_k (kN)	Cargas nos blocos - Laje nervurada V_k (kN)
B1	204,7	201,2	186,3
B3	599,5	608,9	560,4
B6	208,3	205,7	192,7
B10	813,9	847,0	801,9
B11	831,8	837,2	767,8
B12	856,2	844,1	800,1

Bocchi Júnior e Giongo (2007) ressaltam que cada sistema de laje possui características de rigidez, distribuição de esforços e consumo de materiais que podem favorecer ou limitar sua aplicação dependendo das condições específicas do projeto. Os resultados deste trabalho confirmam essa afirmação: não foi identificado um sistema universalmente superior em todos os critérios analisados. A laje nervurada se destacou em volume de concreto, carga própria e γ_z ; a treliçada, por sua vez, obteve o melhor desempenho em consumo de aço; já a maciça, embora seja a menos eficiente do ponto de vista de consumo de materiais, apresenta simplicidade executiva, características que podem ser valorizadas em obras de menor porte.

5 CONCLUSÕES

O presente trabalho realizou uma análise comparativa de desempenho entre três sistemas de laje em concreto armado: maciça, treliçada e nervurada. Por meio da modelagem computacional de um edifício real da Universidade Federal de Alfenas (UNIFAL-MG), utilizando o software TQS Educacional V26.

Do ponto de vista dos resultados técnicos, as conclusões mais relevantes são:

a) Laje nervurada: apresentou o melhor desempenho global em termos de consumo de concreto nas lajes, carga média por m^2 na estrutura, estabilidade global e menor deslocamento do pavimento. Este sistema mostrou-se mais adequado para o edifício estudado, de uso institucional e com grandes vãos.

b) Laje treliçada: destacou-se pelo menor consumo total de aço necessária, sendo estas suas principais vantagens econômicas e executivas. Por outro lado, apresentou os piores parâmetros de estabilidade global e o maior deslocamento absoluto dentre os três sistemas.

c) Laje maciça: apresentou os maiores consumos de concreto e aço, além da maior carga média transmitida à estrutura. Contudo, sua simplicidade construtiva e maior facilidade de embutimento de instalações continuam sendo diferenciais importantes em obras de pequeno porte e em situações onde a mão de obra especializada é escassa.

Os resultados obtidos para o edifício estudado estão em consonância com a literatura: não existe um sistema de laje universalmente superior para todas as situações. A escolha do sistema depende das características específicas de cada projeto como porte da edificação, amplitude dos vãos, disponibilidade de mão de obra, cronograma de obra, custo dos materiais e exigências funcionais. Para o edifício estudado a laje nervurada demonstrou vantagem técnica em mais critérios, enquanto a treliçada mostrou-se mais vantajosa em custo de armação e forma.

Do ponto de vista metodológico, a utilização de um edifício real como objeto de estudo conferiu maior representatividade e aproximou a análise de uma situação real de projeto, aproximando a análise das condições reais de projeto. O processo iterativo de ajuste das espessuras de laje e das alturas de vigas ilustra bem os desafios práticos do dimensionamento estrutural, em que os elementos não podem ser concebidos de forma isolada.

Por fim, o trabalho reforça a importância do uso de ferramentas computacionais no projeto estrutural moderno, não como substituto do raciocínio técnico do engenheiro, mas como instrumento que amplia a capacidade de análise e permite a avaliação rápida de diferentes alternativas. O domínio de softwares como o TQS, combinado ao entendimento dos fundamentos teóricos da Engenharia Estrutural e das normas técnicas vigentes, constitui competência essencial para o engenheiro calculista contemporâneo.

REFERÊNCIAS

AGUILAR, Luis J. Fundamentos de programação [recurso eletrônico] : algoritmos, estruturas de dados e objetos / Luis Joyanes Aguilar ; tradução: Paulo Heraldo Costa do Valle ; revisão técnica: Flávio Soares Corrêa da Silva. – 3. ed. – Dados eletrônicos. – Porto Alegre : AMGH, 2011.

ANTUNES, G. B. Análise comparativa entre lajes maciça e nervuradas utilizando o software CAD TQS. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 6118*: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2026.

BARBOSA, P. C. Durabilidade e Manutenção de Estruturas de Concreto Armado. Artigo Científico. São Paulo, 2017.

BASTOS, P. S. dos S. Fundamentos do Concreto Armado. 3. ed. Unesp Bauru: <https://www.feb.unesp.br/pbastos/concreto1/Fundamentos%20CA.pdf>, 2023.

BOCCHI JÚNIOR, A.; GIONGO, J. S. Lajes pré-fabricadas com vigotas treliçadas. São Carlos: EESC-USP, 2007.

CARVALHO, R. C.; FIGUEIREDO FILHO, J. R. Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado: segundo a NBR 6118. 4. ed. São Carlos: EdUFSCar, 2024.

CHAVES, R. J. S.; SILVA, I. P. C.; ARROYO, F. N.; AQUINO, V. B. M.; CHRISTOFORO, A. L. Contribuição da rigidez à flexão da laje treliçada para a estabilidade global da estrutura. *Revista Principia*, n. 57, 2021. Edição Especial – Engenharia Civil. Disponível em: <https://periodicos.ifpb.edu.br/index.php/principia/article/view/4940>. Acesso em: 10 jun. 2026.

KIMURA, Alio. *Informática aplicada a estruturas de concreto armado*. 2. ed. São Paulo: Grupo A, 2018. E-book. Disponível em: <https://plataforma.bvirtual.com.br>. Acesso em: 02 jul 2026.

MOURA, T. R. C. Lajes maciças, treliçadas e nervuradas: análise comparativa. *REEC – Revista Eletrônica de Engenharia Civil*, Goiânia, v. 19, n. 1, p. 194–209, 2023. DOI: 10.5216/reec.v19i1.57832. Disponível em: <https://revistas.ufg.br/reec/article/view/57832>. Acesso em: 10 jun. 2026.

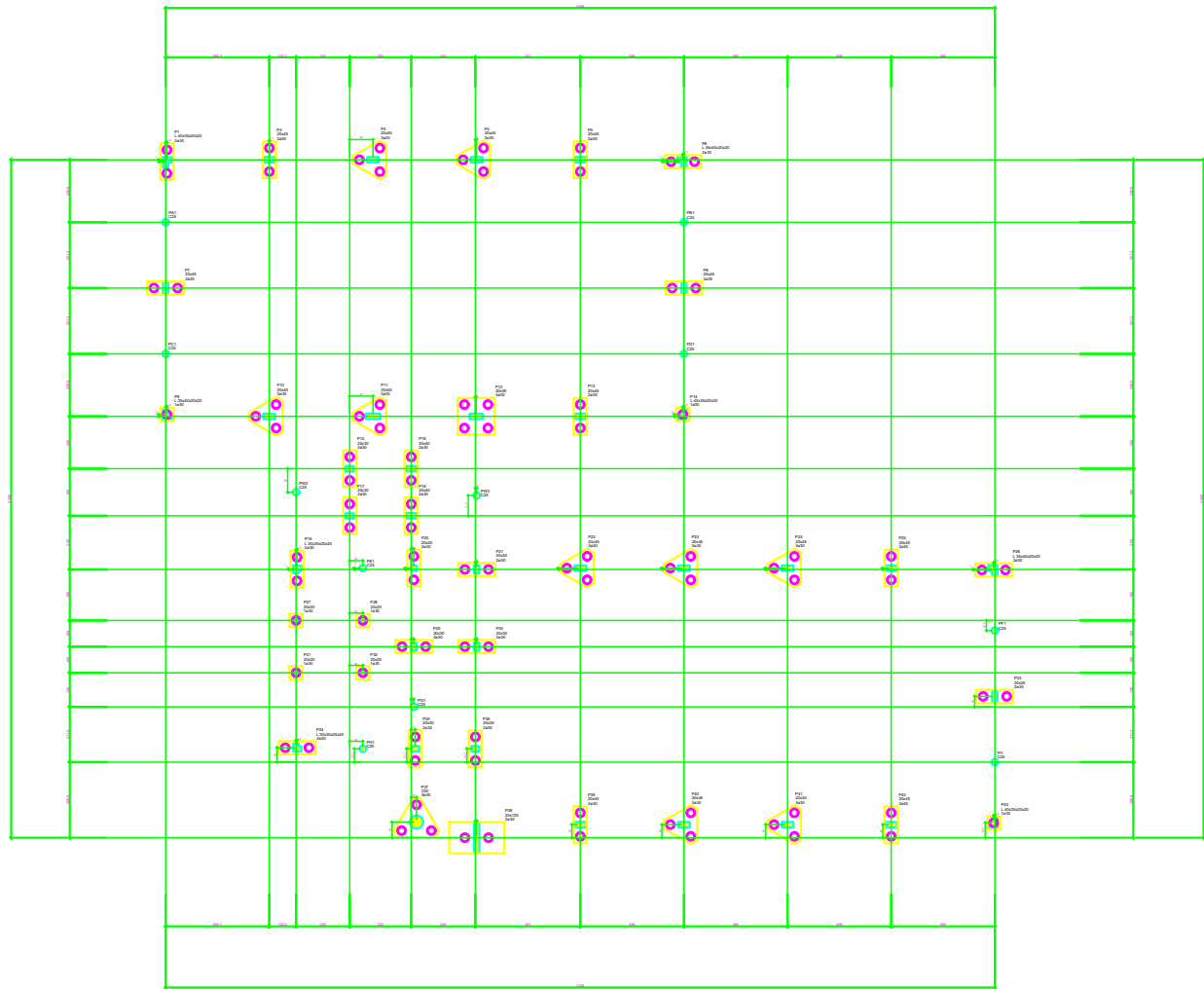
OLIVEIRA, M. R. C.; SILVA, M. V. D.; TEIXEIRA, M. B.; SANTOS, D. F. A. Estudo comparativo da estabilidade global em diferentes tipos de lajes: maciças, nervuradas e treliçadas. In: *Anais da 3ª Semana de Engenharia Civil da Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará*, v. 2, n. 1, jan. 2020. Disponível em: <https://sapientiae.com.br/index.php/technologysciences/article/download/CBPC2674-6425.2020.001.0005/23>. Acesso em: 10 jun. 2026.

SANTOS, Roberto Eustaáquio dos. A armação do concreto no Brasil: história da difusão do sistema construtivo concreto armado e da construção de sua hegemonia.327f.Tese (doutorado) – Universidade Federal de Minas Gerais,

Faculdade de Educação. – Belo Horizonte, 2008.

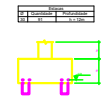
VIEIRA, L. M. N.; FRANCKLIN, H. M.; OLIVEIRA, M. V.; CHRISTOFORO, A. L.; PEREIRA FILHO, L. Análise comparativa da quantidade de materiais e custos no dimensionamento de lajes maciças e lajes nervuradas para um edifício comercial. *Caderno Pedagógico*, v. 21, n. 7, 2024. Disponível em: <https://ojs.studiespublicacoes.com.br/ojs/index.php/cadped/article/view/6311>. Acesso em: 10 jun. 2026.

ANEXO A – PLANTAS EDIFÍCIO UNIFAL-MG



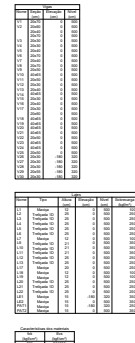
LOCAÇÃO DOS BLOCOS
ESCALA 1:50

Item	Descrição	Quantidade	Valor Unitário	Valor Total
1	Forma de concreto para pilares	10,00	100,00	1.000,00
2	Forma de concreto para vigas	20,00	150,00	3.000,00
3	Forma de concreto para laje	100,00	200,00	20.000,00
4	Forma de concreto para fundação	5,00	300,00	1.500,00
5	Forma de concreto para escada	10,00	120,00	1.200,00
6	Forma de concreto para parede	10,00	100,00	1.000,00
7	Forma de concreto para portalão	10,00	100,00	1.000,00
8	Forma de concreto para rampa	10,00	100,00	1.000,00
9	Forma de concreto para caixa d'água	10,00	100,00	1.000,00
10	Forma de concreto para banheiro	10,00	100,00	1.000,00
11	Forma de concreto para cozinha	10,00	100,00	1.000,00
12	Forma de concreto para sala	10,00	100,00	1.000,00
13	Forma de concreto para quarto	10,00	100,00	1.000,00
14	Forma de concreto para varanda	10,00	100,00	1.000,00
15	Forma de concreto para garagem	10,00	100,00	1.000,00
16	Forma de concreto para muro	10,00	100,00	1.000,00
17	Forma de concreto para cercado	10,00	100,00	1.000,00
18	Forma de concreto para calçada	10,00	100,00	1.000,00
19	Forma de concreto para passeio	10,00	100,00	1.000,00
20	Forma de concreto para muro de arrimo	10,00	100,00	1.000,00
21	Forma de concreto para muro de vedação	10,00	100,00	1.000,00
22	Forma de concreto para muro de contenção	10,00	100,00	1.000,00
23	Forma de concreto para muro de fundação	10,00	100,00	1.000,00
24	Forma de concreto para muro de proteção	10,00	100,00	1.000,00
25	Forma de concreto para muro de isolamento	10,00	100,00	1.000,00
26	Forma de concreto para muro de drenagem	10,00	100,00	1.000,00
27	Forma de concreto para muro de ventilação	10,00	100,00	1.000,00
28	Forma de concreto para muro de iluminação	10,00	100,00	1.000,00
29	Forma de concreto para muro de sombreamento	10,00	100,00	1.000,00
30	Forma de concreto para muro de proteção	10,00	100,00	1.000,00



- LEGENDA
- PILAR NASCE
 - PILAR CONTINUA
 - PILAR MORRE

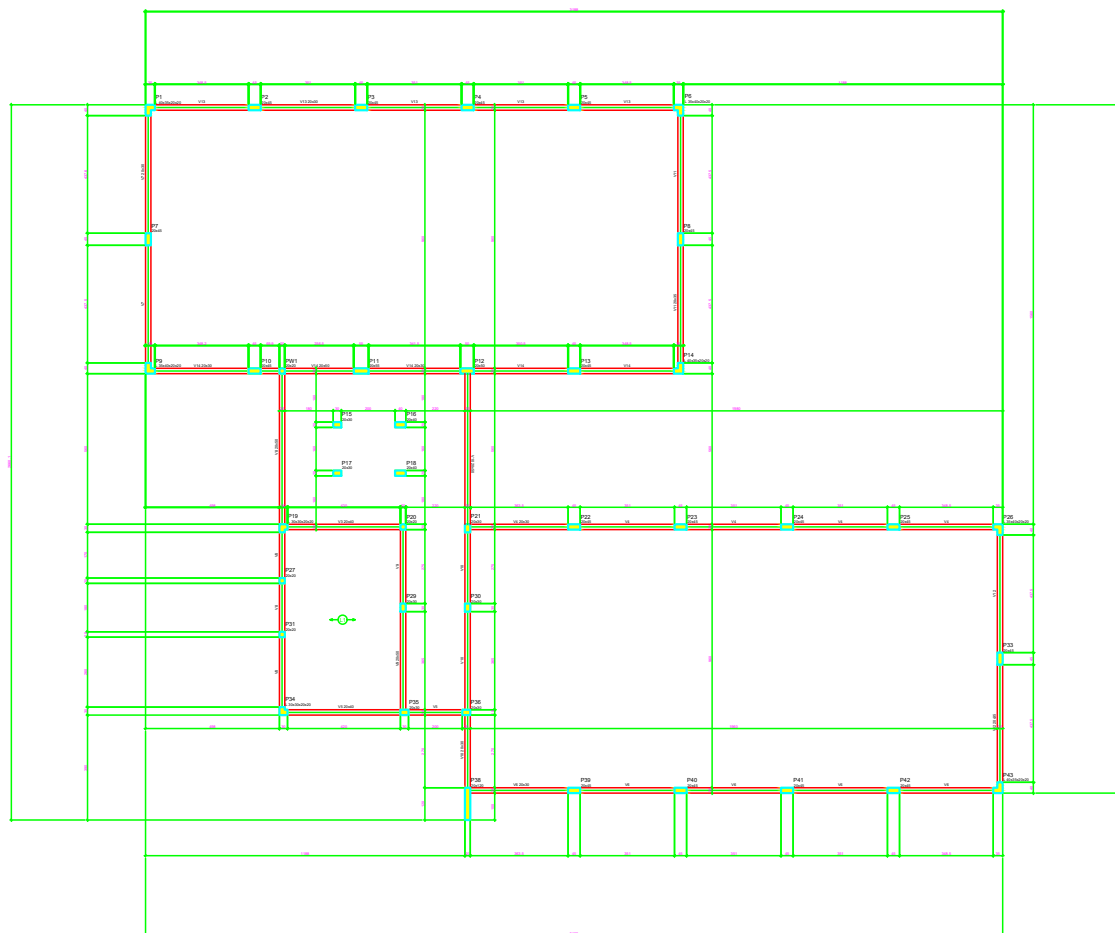
PROJETO ESTRUTURAL	
REF: 2011 FASE I - UNIV. EDUC. SANTA CARM. - ALFENAS/MG	
FORMAS	
FOSSO E PISO TÍPICO TERREO	
LOCAÇÃO DOS BLOCOS	
Desenho: 100	01
Projeto: 100	01
Rev. 01/2011	01/12



- — PILAR NASCE
- — PILAR CONTINUA
- — PILAR MORRE

ESCALA 1:50

PROJETO ESTRUTURAL	
PINEP 2011 - FASE I - UNID. EDUC. SANTA CLARA - ALFENAS	
FORMAS	
PISO 2 - PAVIMENTO 1	
FORMAS DAS VIGAS	
Escala: 1/20	Desenho: 0
Revisão: 0	Revisão: 0
Data: 20/05/2011	05/11



ITEM	QUANTIDADE	UNIDADE	VALOR
1	1	m²	1
2	1	m²	1
3	1	m²	1
4	1	m²	1
5	1	m²	1
6	1	m²	1
7	1	m²	1
8	1	m²	1
9	1	m²	1
10	1	m²	1
11	1	m²	1
12	1	m²	1
13	1	m²	1
14	1	m²	1
15	1	m²	1
16	1	m²	1
17	1	m²	1
18	1	m²	1
19	1	m²	1
20	1	m²	1
21	1	m²	1
22	1	m²	1
23	1	m²	1
24	1	m²	1
25	1	m²	1
26	1	m²	1
27	1	m²	1
28	1	m²	1
29	1	m²	1
30	1	m²	1
31	1	m²	1
32	1	m²	1
33	1	m²	1
34	1	m²	1
35	1	m²	1
36	1	m²	1
37	1	m²	1
38	1	m²	1
39	1	m²	1
40	1	m²	1
41	1	m²	1
42	1	m²	1
43	1	m²	1
44	1	m²	1
45	1	m²	1
46	1	m²	1
47	1	m²	1
48	1	m²	1
49	1	m²	1
50	1	m²	1

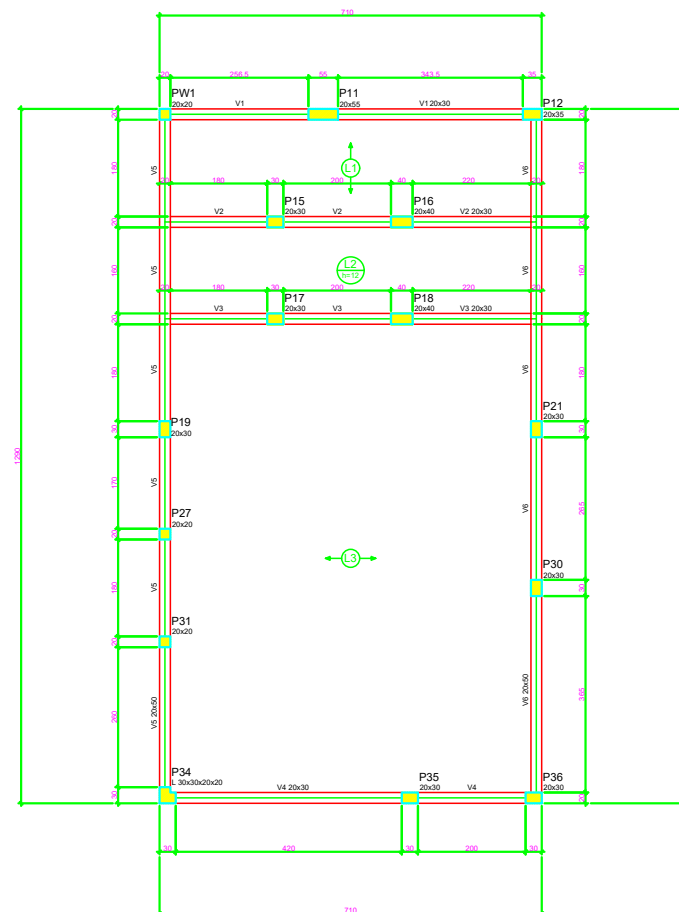
ITEM	QUANTIDADE	UNIDADE	VALOR
1	1	m²	1
2	1	m²	1
3	1	m²	1
4	1	m²	1
5	1	m²	1
6	1	m²	1
7	1	m²	1
8	1	m²	1
9	1	m²	1
10	1	m²	1
11	1	m²	1
12	1	m²	1
13	1	m²	1
14	1	m²	1
15	1	m²	1
16	1	m²	1
17	1	m²	1
18	1	m²	1
19	1	m²	1
20	1	m²	1
21	1	m²	1
22	1	m²	1
23	1	m²	1
24	1	m²	1
25	1	m²	1
26	1	m²	1
27	1	m²	1
28	1	m²	1
29	1	m²	1
30	1	m²	1
31	1	m²	1
32	1	m²	1
33	1	m²	1
34	1	m²	1
35	1	m²	1
36	1	m²	1
37	1	m²	1
38	1	m²	1
39	1	m²	1
40	1	m²	1
41	1	m²	1
42	1	m²	1
43	1	m²	1
44	1	m²	1
45	1	m²	1
46	1	m²	1
47	1	m²	1
48	1	m²	1
49	1	m²	1
50	1	m²	1

ITEM	QUANTIDADE	UNIDADE	VALOR
1	1	m²	1
2	1	m²	1
3	1	m²	1
4	1	m²	1
5	1	m²	1
6	1	m²	1
7	1	m²	1
8	1	m²	1
9	1	m²	1
10	1	m²	1
11	1	m²	1
12	1	m²	1
13	1	m²	1
14	1	m²	1
15	1	m²	1
16	1	m²	1
17	1	m²	1
18	1	m²	1
19	1	m²	1
20	1	m²	1
21	1	m²	1
22	1	m²	1
23	1	m²	1
24	1	m²	1
25	1	m²	1
26	1	m²	1
27	1	m²	1
28	1	m²	1
29	1	m²	1
30	1	m²	1
31	1	m²	1
32	1	m²	1
33	1	m²	1
34	1	m²	1
35	1	m²	1
36	1	m²	1
37	1	m²	1
38	1	m²	1
39	1	m²	1
40	1	m²	1
41	1	m²	1
42	1	m²	1
43	1	m²	1
44	1	m²	1
45	1	m²	1
46	1	m²	1
47	1	m²	1
48	1	m²	1
49	1	m²	1
50	1	m²	1

LEGENDA

- PILAR NASCE
- PILAR CONTINUA
- PILAR MORRE

PROJETO ESTRUTURAL			
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO - ALFENAS			
FORMAS			
PLATIBANDA			
FORMAS DAS VIGAS			
Desenho: 100	AutoCAD: 0	01	
DATA: 20/03/2011	PROJETO: 01		10/12



PLANTA DE FORMAS DAS VIGAS DO VOLUME
ESCALA 1:50

Vigas			
Nome	Seção (cm)	Elevação (cm)	Nível (cm)
V1	20x30	0	1700
V2	20x30	0	1700
V3	20x30	0	1700
V4	20x30	0	1700
V5	20x50	0	1700
V6	20x50	0	1700

Lajes					
Nome	Tipo	Altura (cm)	Elevação (cm)	Nível (cm)	Sobrecarga (kgf/cm²)
L1	Trelçada 1D	20	0	1700	100
L2	Maciça	12	0	1700	100
L3	Trelçada 1D	25	0	1700	100

Características dos materiais	
fck (kgf/cm²)	Ecs (kgf/cm²)
30	28160

LEGENDA

-  — PILAR NASCE
-  — PILAR CONTINUA
-  — PILAR MORRE

PROJETO ESTRUTURAL

FINEP 2011 - FASE I - UNID. EDUC. SANTA CLARA - ALFENAS-MG

FORMAS

VOLUME

FORMAS DAS VIGAS

Escala: 1/50

DESENHO

01

Desenho:

Revisão: 0

FOLHA

Data: 26/03/2013

Unidade: cm

11/12