



ANÁLISE COMPARATIVA DE DESEMPENHO ESTRUTURAL E ECONÔMICO ENTRE LAJES NERVURADAS E LAJES MACIÇAS EM EDIFICAÇÕES INDUSTRIAIS

Yasmin Regina Bueno Araujo

RESUMO

Este trabalho apresenta uma análise comparativa entre dois tipos de lajes amplamente utilizadas na construção civil: a laje nervurada e a laje maciça. A laje nervurada, caracterizada pela utilização de cubetas de 80x80 cm e uma espessura total de 30 cm, oferece vantagens como a redução do peso estrutural e a economia de concreto, sendo ideal para projetos com grandes vãos. Por outro lado, a laje maciça, com espessura uniforme de 20 cm, destaca-se pela simplicidade na execução e rapidez de construção, tornando-se uma opção confiável em obras que priorizam agilidade. Ambas as soluções foram modeladas utilizando o software AltoQi Eberick Profissional, que permitiu simular cargas e deformações, fornecendo uma visão detalhada do desempenho estrutural de cada laje. O estudo conclui que, enquanto a laje nervurada proporciona uma maior eficiência no uso de materiais, a laje maciça se sobressai pela praticidade e menor tempo de execução, sendo cada uma adequada a diferentes tipos de projetos, dependendo das necessidades específicas.

Palavras-chave: Laje Nervurada. Laje Maciça. Modelagem Estrutural.

COMPARATIVE ANALYSIS OF STRUCTURAL AND ECONOMIC PERFORMANCE BETWEEN RIBBED SLABS AND SOLID SLABS IN INDUSTRIAL BUILDINGS

ABSTRACT

This work presents a comparative analysis between two types of slabs widely used in civil construction: the ribbed slab and the solid slab. The ribbed slab, characterized by the use of 80x80 cm cubetas and a total thickness of 30 cm, offers advantages such as structural weight reduction and concrete savings, making it ideal for projects with large spans. On the other hand, the solid slab, with a uniform thickness of 20 cm, stands out for its simplicity in execution and faster construction, making it a reliable option in projects that prioritize speed. Both solutions were modeled using the AltoQi Eberick software, which allowed for load and deformation simulations, providing a detailed view of the structural performance of each slab. The study concludes that while the ribbed slab offers greater efficiency in material use, the solid slab excels in practicality and shorter execution time, with each being suited to different types of projects depending on specific needs.

Keywords: Ribbed Slab. Solid Slab. Structural Modeling.



III UniSIAE - Semana Integrada de Agronomia, Análise em Desenvolvimento de Sistemas, Arquitetura e Urbanismo e Engenharias

1. INTRODUÇÃO

Ao longo da história, os materiais utilizados na construção civil evoluíram consideravelmente, acompanhando o desenvolvimento tecnológico e as demandas das edificações. Assim como a madeira, que durante séculos foi essencial para a construção de estruturas, outros materiais também ganharam destaque ao longo do tempo. A partir do século XIX, com o avanço da industrialização, o aço passou a ser amplamente utilizado, revolucionando a indústria da construção civil (PFEIL; PFEIL, 2021). Contudo, apesar de suas inegáveis qualidades, o aço enfrenta desafios como a corrosão, que pode comprometer suas propriedades mecânicas e a segurança das estruturas (SILVA, 2010; PFEIL, 2022).

No campo das soluções estruturais, a engenharia civil também desenvolveu diferentes tipos de lajes, cada uma com suas vantagens e desvantagens, dependendo da aplicação. Entre elas, a laje nervurada e a laje maciça destacam-se por suas características estruturais específicas. A laje nervurada, por exemplo, oferece uma solução que permite a economia de material e a redução de peso, tornando-se ideal para cobrir grandes vãos. Em contrapartida, a laje maciça, embora utilize mais concreto, destaca-se pela simplicidade de execução e pelo menor tempo de construção (CUNHA, 1998; SCHWETZ, 2011).

Neste contexto, a escolha entre laje nervurada e laje maciça deve ser cuidadosamente analisada, considerando não apenas os aspectos estruturais, mas também fatores como o custo de execução, a disponibilidade de mão de obra e a viabilidade econômica do projeto. Utilizando o software AltoQi Eberick Professional, este trabalho propõe uma análise comparativa entre essas duas soluções, aplicadas a um mezanino em um barracão industrial. O objetivo é verificar qual das opções apresenta o melhor custo-benefício, levando em consideração a eficiência estrutural, o tempo de execução e o desempenho em termos de resistência e deformação.

Diante da crescente demanda por soluções construtivas mais eficientes e econômicas, a análise de diferentes tipos de lajes torna-se essencial para otimizar o processo construtivo, sem comprometer a segurança e a qualidade das edificações. Este estudo visa contribuir para essa discussão, fornecendo dados que possam auxiliar engenheiros e profissionais na escolha da solução mais adequada para cada tipo de projeto.



III UniSIAE - Semana Integrada de Agronomia, Análise em Desenvolvimento de Sistemas, Arquitetura e Urbanismo e Engenharias

2. DESENVOLVIMENTO

Com o passar do tempo, a engenharia civil e os materiais utilizados nas construções evoluíram de forma contínua, impulsionados pela necessidade de atender a demandas crescentes de eficiência, sustentabilidade e segurança. Assim como o desenvolvimento de novos materiais foi essencial para a construção de edificações mais seguras e duráveis, a escolha entre diferentes soluções estruturais, como as lajes nervuradas e maciças, desempenha um papel fundamental no desempenho das obras (SMITH; HASHEMI, 2012).

No contexto das lajes, é essencial analisar como cada tipo de solução pode atender às necessidades de um projeto, levando em consideração fatores como desempenho estrutural, economia de material e tempo de execução. A laje nervurada, por exemplo, é composta por nervuras que substituem o concreto em áreas que não são essenciais para a resistência da estrutura, resultando em um sistema mais leve e econômico. Por outro lado, a laje maciça possui uma estrutura uniforme de concreto armado, que oferece maior simplicidade e rapidez de execução, apesar de consumir mais material (CUNHA, 1998).

Inevitavelmente, a escolha da laje mais adequada deve considerar os requisitos normativos e as características específicas de cada projeto. De acordo com a NBR 15575-1:2013, que regulamenta o desempenho das edificações, é necessário observar aspectos como durabilidade, segurança, eficiência energética, conforto e manutenibilidade. Além disso, fatores como sustentabilidade, impacto ambiental e custo também influenciam diretamente na escolha do tipo de laje (CHING, 2017; RIBEIRO, 2021).

As lajes nervuradas têm sido amplamente aplicadas em obras que exigem coberturas de grandes vãos, devido à sua capacidade de reduzir o volume de concreto sem comprometer a resistência estrutural. A utilização de cubetas de 80x80 cm nas nervuras contribui para a redução do peso da estrutura, tornando essa solução ideal para projetos onde o alívio de carga nas fundações é um fator crítico. Além disso, a economia de concreto reduz os custos materiais, embora o processo de execução seja mais demorado e complexo, uma vez que exige formas especiais e mão de obra qualificada (SCHWETZ, 2011).

Por outro lado, a laje maciça é amplamente utilizada em projetos que demandam simplicidade e rapidez. Com espessura uniforme de 20 cm, ela é composta inteiramente de concreto armado, sem a necessidade de formas complexas, o que facilita o processo



III UniSIAE - Semana Integrada de Agronomia, Análise em Desenvolvimento de Sistemas, Arquitetura e Urbanismo e Engenharias

construtivo. Embora consuma mais material, a laje maciça se destaca pela menor demanda por mão de obra especializada e pelo tempo de execução reduzido, sendo uma solução prática em projetos de menor porte ou em situações em que a velocidade de entrega é um fator primordial (LOPES et al., 2013).

2.1. JUSTIFICATIVA

A escolha entre lajes nervuradas e lajes maciças é um ponto-chave na engenharia civil, especialmente quando se busca eficiência e redução de custos. A laje nervurada, conhecida por sua leveza e economia de materiais, é ideal para grandes vãos, enquanto a laje maciça se destaca pela simplicidade e rapidez na execução. Este trabalho tem como objetivo comparar essas duas soluções, ajudando engenheiros a entender em quais situações cada uma oferece mais vantagens.

Utilizando o software AltoQi Eberick Profissional, será possível analisar o comportamento estrutural de cada laje, proporcionando uma visão prática para a tomada de decisões. Além disso, espera-se que este estudo incentive o uso mais eficiente de materiais, contribuindo para projetos mais econômicos e sustentáveis na construção civil.

2.2. METODOLOGIA

A metodologia adotada neste trabalho consiste em um levantamento de dados bibliográficos, envolvendo referências já publicadas e analisadas em meios impressos e eletrônicos, como livros, artigos científicos e sites especializados (FONSECA, 2002). A pesquisa abrange estudos existentes, normas técnicas e manuais de fabricantes. As variáveis a serem processadas foram obtidas a partir de dados específicos do projeto, portanto, a modalidade utilizada será a pesquisa bibliográfica, onde as informações são derivadas de registros e pesquisas previamente realizadas (SEVERINO, 2016). Assim, a metodologia também incluirá:

1. A comparação das variáveis e propriedades levantadas, focando na análise das lajes nervuradas e maciças, ressaltando principalmente características como peso, resistência à compressão, resistência à tração, elasticidade e durabilidade.



III UniSIAE - Semana Integrada de Agronomia, Análise em Desenvolvimento de Sistemas, Arquitetura e Urbanismo e Engenharias

2. Uma revisão literária baseada principalmente em artigos publicados, manuais de fabricantes e livros relacionados aos materiais utilizados nas construções.
3. Análise em ambiente de software, utilizando os dados coletados para avaliar o comportamento estrutural de lajes nervuradas em comparação com lajes maciças, considerando uma estrutura típica de mezanino em um barracão industrial.

2.3. CARACTERÍSTICA ESTRUTURAL E PROPRIEDADE DOS MATERIAIS

A escolha dos materiais desempenha um papel crucial no desempenho das lajes. No caso das lajes nervuradas e maciças, o concreto de 25 MPa foi selecionado por sua alta resistência e durabilidade, garantindo a segurança estrutural necessária para suportar as cargas aplicadas. O aço utilizado nas armaduras também deve ser cuidadosamente dimensionado, de modo a garantir que a estrutura suporte tanto as cargas permanentes quanto as acidentais ao longo de sua vida útil (PFEIL; PFEIL, 2022).

Além disso, as propriedades de cada laje devem ser analisadas de acordo com suas finalidades. A laje nervurada, por ser mais leve, reduz as tensões sobre pilares e fundações, permitindo um dimensionamento mais econômico dos outros elementos da estrutura. Já a laje maciça, por distribuir as cargas de maneira homogênea ao longo de sua superfície, é capaz de suportar maiores concentrações de carga, o que pode ser vantajoso em projetos com cargas uniformemente distribuídas (SMITH; HASHEMI, 2012).

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. LAJE NERVURADA

As lajes nervuradas têm se destacado como uma solução eficiente em estruturas de concreto armado, especialmente em edifícios de múltiplos pavimentos e estruturas de grandes vãos. De acordo com França e Fusco (1997), a principal característica dessa laje é a remoção de parte do concreto abaixo da linha neutra, criando nervuras que otimizam o uso de materiais, permitindo vencer grandes vãos com uma quantidade significativamente menor de concreto em comparação às lajes maciças. A economia de concreto, aliada à redução do peso



III UniSIAE - Semana Integrada de Agronomia, Análise em Desenvolvimento de Sistemas, Arquitetura e Urbanismo e Engenharias

próprio da laje, permite a diminuição da carga total sobre as fundações, o que pode resultar em economias adicionais no dimensionamento de pilares e fundações.

Outro ponto importante das lajes nervuradas é a sua capacidade de adaptação a diferentes tipos de projetos. Segundo Schwetz (2011), as lajes nervuradas podem ser executadas tanto com materiais inertes, como o poliestireno expandido (EPS), que substitui o concreto nas zonas onde ele não é estruturalmente necessário, quanto com formas plásticas reutilizáveis, o que contribui para a sustentabilidade da obra. Além disso, sua aplicação em projetos de grande porte tem sido amplamente utilizada em edificações residenciais e comerciais, conforme observado por Araújo e Vargas (2014), que destacam a crescente adoção dessa solução no Brasil, impulsionada por sua flexibilidade e redução de custos.

De acordo com a NBR 6118 (ABNT, 2014), as lajes nervuradas são regulamentadas como elementos moldados no local ou pré-moldados, com nervuras unidirecionais ou bidirecionais, que podem receber materiais de enchimento entre as nervuras para redução de peso e consumo de concreto. A normativa estabelece os critérios de projeto e dimensionamento desses elementos, garantindo a segurança estrutural e o desempenho adequado sob as cargas solicitantes.

Foto 1 – Laje Nervurada



Fonte: Viva Decora PRO (2020).

3.1.1. CUBETA

As cubetas são elementos fundamentais na execução de lajes nervuradas, responsáveis por criar os vazios que formam as nervuras e permitem a economia de concreto na estrutura.



III UniSIAE - Semana Integrada de Agronomia, Análise em Desenvolvimento de Sistemas, Arquitetura e Urbanismo e Engenharias

Feitas de material plástico, elas são resistentes, leves e reutilizáveis, o que as torna uma escolha eficiente e econômica para projetos que buscam otimização de recursos e redução de peso.

1. **Material:** As cubetas são produzidas em plástico de alta resistência, o que as torna leves e fáceis de manusear, além de serem reforçadas para suportar a pressão do concreto durante a concretagem. Esse material também oferece a vantagem de ser reutilizado em diversas execuções de lajes, contribuindo para a sustentabilidade e economia da obra.
2. **Função:** A função principal das cubetas é criar vazios dentro da laje, formando as nervuras que conferem à estrutura maior leveza e eficiência no uso do concreto. Ao posicionar as cubetas entre as nervuras, reduz-se a quantidade de concreto necessária, mantendo a resistência estrutural da laje e aliviando a carga sobre as fundações.
3. **Execução:** As cubetas são instaladas sobre as formas montadas e niveladas, antes da colocação do concreto. Elas devem ser posicionadas e inseridas corretamente para evitar movimentos durante a concretagem, garantindo que os vazios sejam formados de maneira uniforme e precisa. Após a cura do concreto, as cubetas são removidas com cuidado, para que possam ser reutilizadas em outras etapas da obra, contribuindo para a eficiência e redução de custos no canteiro.

Foto 2 – Cubetas Plásticas



Fonte: Edifício Life Residence (2023).



III UniSIAE - Semana Integrada de Agronomia, Análise em Desenvolvimento de Sistemas, Arquitetura e Urbanismo e Engenharias

3.1.2. FORMAS

As formas são estruturas temporárias que dão suporte ao concreto fresco durante a concretagem da laje, até que ele alcance a resistência necessária para suportar as cargas por conta própria. Na laje nervurada, as formas são essenciais para criar as nervuras, sustentando tanto o concreto quanto as cubetas.

1. **Material:** As formas podem ser feitas de madeira (mais comum em obras menores), aço ou até mesmo plástico, dependendo da disponibilidade de material, do orçamento e do tipo de obra.
2. **Função:** A função das formas é moldar o concreto e dar suporte ao conjunto até que o concreto atinja a cura e possa suportar seu próprio peso e as cargas da estrutura. Na laje nervurada, as formas também têm a função de segurar as cubetas no lugar.
3. **Execução:** As formas são instaladas antes da colocação das armaduras e cubetas. Devem ser niveladas e alinhadas para garantir que a laje tenha uma superfície uniforme e que as nervuras sejam formadas corretamente. Após a cura do concreto, as formas são removidas, mas devem ser retiradas com cuidado para permitir a reutilização em outras etapas da obra.

Foto 3: Execução de Forma para Laje Nervurada



Fonte: Edifício Life Residence (2023).



III UniSIAE - Semana Integrada de Agronomia, Análise em Desenvolvimento de Sistemas, Arquitetura e Urbanismo e Engenharias

3.1.3. ARMADURA DE AÇO

A armadura de aço é um componente essencial para garantir a resistência à tração da laje nervurada, que o concreto sozinho não consegue suportar. O aço é posicionado de forma estratégica dentro das nervuras para absorver os esforços de tração e garantir a integridade da estrutura. A escolha do tipo de aço e o dimensionamento correto são fundamentais para a segurança da laje.

1. Tipo de Aço Utilizado: Para esse projeto, serão utilizadas barras de aço CA-60, que apresentam elevada resistência à tração e são amplamente utilizadas em concreto armado.
2. Função: A armadura tem a função de resistir aos esforços de tração que ocorrem nas nervuras da laje. Essas barras são distribuídas longitudinalmente nas nervuras, conforme o cálculo estrutural.
3. Montagem: As barras de aço são cortadas e dobradas de acordo com o projeto estrutural e posicionadas dentro das formas, antes da concretagem, de modo a garantir a distribuição correta das forças na estrutura.

Foto 4: Execução da Armadura de Aço para Laje Nervurada



Fonte: ATEX (2018).



III UniSIAE - Semana Integrada de Agronomia, Análise em Desenvolvimento de Sistemas, Arquitetura e Urbanismo e Engenharias

3.1.4. PROCESSO DE EXECUÇÃO DA LAJE NERVURADA

A execução de uma laje nervurada é uma etapa crucial na construção de estruturas de concreto armado, demandando planejamento cuidadoso e precisão técnica. Esse tipo de laje é amplamente utilizado em coberturas de grandes vãos devido à sua eficiência estrutural, que permite uma significativa redução de material e peso, tornando-a uma escolha econômica e sustentável.

1. **Preparação do Local:** O primeiro passo para a execução da laje nervurada é a preparação do local, que envolve a limpeza e nivelamento da superfície para garantir uma base estável e livre de irregularidades.
2. **Montagem das Formas e Cubetas:** Em seguida, realiza-se a montagem das formas, essenciais para dar suporte ao concreto fresco e definir a geometria da laje. Para formar as nervuras, são utilizadas cubetas plásticas de dimensões específicas (como 80x80x25 cm e 40x80x25 cm), posicionadas estrategicamente para criar os vazios que reduzem a quantidade de concreto e o peso total da estrutura.
3. **Posicionamento das Armaduras de Aço:** Com as formas e cubetas instaladas, segue-se para o posicionamento das armaduras de aço. Para a laje nervurada, utiliza-se o Aço CA-50 nas nervuras, fornecendo resistência contra esforços de tração, e o Aço CA-60 nas áreas que exigem maior resistência estrutural. As armaduras são cuidadosamente posicionadas sobre as cubetas, garantindo que fiquem bem amarradas para evitar deslocamentos durante a concretagem.
4. **Concretagem:** A concretagem é uma etapa crítica na execução da laje nervurada. Utiliza-se concreto de 30 MPa, lançado em camadas, preenchendo primeiramente as nervuras formadas pelas cubetas e, em seguida, cobrindo a mesa superior. A vibração do concreto é fundamental para eliminar bolhas de ar e garantir que o material preencha completamente todos os espaços, proporcionando uma estrutura sólida e durável. A cura do concreto deve ser controlada para evitar a perda rápida de umidade, o que comprometeria a resistência e a durabilidade da laje.
5. **Desforma e Remoção das Cubetas:** Após a cura inicial, que geralmente leva entre 24 e 48 horas, ocorre a desforma e a remoção cuidadosa das cubetas plásticas. Essas



III UniSIAE - Semana Integrada de Agronomia, Análise em Desenvolvimento de Sistemas, Arquitetura e Urbanismo e Engenharias

cubetas são removidas criteriosamente, pois podem ser reutilizadas em outras etapas da obra, contribuindo para a economia de recursos e a sustentabilidade do projeto.

6. Verificação Final e Acabamento: Por fim, é realizada uma verificação detalhada da laje para identificar possíveis falhas, como trincas ou desníveis. Caso sejam encontrados problemas, eles são corrigidos imediatamente para assegurar a integridade e qualidade da estrutura. O acabamento final garante uma superfície nivelada e pronta para receber outros elementos estruturais ou de revestimento, conforme especificado no projeto da construção.

Foto 5: Execução da Concretagem da Laje Nervurada



Fonte: YouTube (2019).

3.2. LAJE MACIÇA

As lajes maciças são muito utilizadas na construção civil devido à sua facilidade de execução e flexibilidade de aplicação. Elas consistem em uma estrutura de concreto armado contínua, sem nervuras ou vazios, o que confere à laje maior rigidez e resistência uniforme. De acordo com Lopes et al. (2013), essa característica torna as lajes maciças mais indicadas para situações em que as cargas são distribuídas de forma homogênea por toda a superfície, em vez de concentradas em pontos específicos.

Apesar de utilizarem mais concreto do que as lajes nervuradas, as lajes maciças se destacam pela simplicidade construtiva. Por demandarem menos etapas de montagem e formas mais simples, elas podem ser executadas em menor tempo e com custos reduzidos de mão de obra. Segundo Silva (2005), essa simplicidade também reduz as chances de erros



III UniSIAE - Semana Integrada de Agronomia, Análise em Desenvolvimento de Sistemas, Arquitetura e Urbanismo e Engenharias

durante a execução, o que eleva a segurança do processo construtivo em comparação com sistemas mais complexos, como o das lajes nervuradas.

Foto 6: Laje Maciça



Fonte: SlidePlayer (2017).

3.2.1. FORMA

As formas são essenciais para moldar a laje maciça e garantir que o concreto permaneça no lugar durante a concretagem e até que ele atinja a resistência necessária.

1. **Material das Formas:** No caso deste projeto, as formas serão feitas de madeirite naval, um material amplamente utilizado devido à sua durabilidade e resistência à umidade. O madeirite naval é uma escolha ideal para obras que demandam precisão e qualidade, pois mantém suas propriedades mesmo em condições adversas, permitindo diversas reutilizações. Embora formas de madeira sejam comuns em obras menores e formas metálicas ou plásticas sejam mais empregadas em projetos industriais, a escolha pelo madeirite naval oferece um equilíbrio perfeito entre custo-benefício e desempenho técnico para este tipo de construção.
2. **Função das Formas:** A principal função das formas é conter o concreto fresco e moldá-lo conforme as especificações do projeto. Elas também proporcionam o suporte necessário para o concreto enquanto ele cura e ganha resistência. No caso de lajes maciças, as formas de madeirite naval são robustas e resistentes, capazes de suportar o



III UniSIAE - Semana Integrada de Agronomia, Análise em Desenvolvimento de Sistemas, Arquitetura e Urbanismo e Engenharias

peso elevado do concreto, garantindo a estabilidade e a precisão da estrutura até que o concreto atinja a rigidez necessária para se manter por conta própria.

Foto 7: Execução de Forma para Laje Maciça



Fonte: MF Rural (2023).

3.2.2. ARMADURA DE AÇO

A armadura de aço é um dos componentes mais importantes na execução de uma laje maciça, pois confere à estrutura a capacidade de resistir aos esforços de tração que o concreto, por si só, não consegue suportar.

1. **Tipo de Aço Utilizado:** O aço utilizado em lajes maciças é geralmente do tipo CA-50 ou CA-60, devido à sua alta resistência à tração. Essas barras são conformadas e posicionadas conforme o cálculo estrutural, garantindo que a laje suporte as cargas que serão aplicadas sobre ela.
2. **Função:** A armadura de aço tem a função de absorver os esforços de tração que surgem nas lajes quando sujeitas às cargas do edifício, garantindo a integridade e segurança da estrutura. No concreto armado, o aço compensa a limitação do concreto, que resiste muito bem à compressão, mas é fraco na tração.
3. **Distribuição das Barras:** A armadura é posicionada de forma a formar uma malha na parte inferior da laje, que é a área de maior esforço de tração. Em muitos casos,



III UniSIAE - Semana Integrada de Agronomia, Análise em Desenvolvimento de Sistemas, Arquitetura e Urbanismo e Engenharias

também é usada uma armadura na parte superior para resistir aos momentos fletores negativos que podem ocorrer, por exemplo, em lajes contínuas ou em balanço.

4. Distanciadores: Pequenos blocos ou peças de plástico, chamados de distanciadores, são utilizados para garantir que as barras de aço fiquem no posicionamento correto dentro da laje, garantindo uma boa cobertura de concreto em torno da armadura, protegendo-a de fatores como corrosão.

Foto 8: Execução de Armadura de Aço em Laje Maciça



Fonte: Inova Civil (2019).

3.2.3. PROCESSO DE EXECUÇÃO DA LAJE MACIÇA

A execução de uma laje maciça é um processo essencial na construção de estruturas de concreto, destacando-se pela sua simplicidade e resistência uniforme. Essa técnica é amplamente utilizada em projetos que requerem alta capacidade de carga e uma distribuição homogênea das tensões. Para garantir uma estrutura sólida e durável, utiliza-se concreto com resistência de 30 MPa.

O primeiro passo na execução de uma laje maciça é a preparação do local e a montagem das formas. A área precisa ser limpa e nivelada para proporcionar uma base estável e livre de irregularidades. Em seguida, procede-se com a montagem das formas de madeira ou metal, que definem as dimensões da laje e suportam o concreto fresco durante a cura. As



III UniSIAE - Semana Integrada de Agronomia, Análise em Desenvolvimento de Sistemas, Arquitetura e Urbanismo e Engenharias

formas devem ser montadas com precisão para assegurar uma espessura uniforme de 20 cm em toda a extensão da laje e precisam estar bem fixadas para evitar deformações durante a concretagem.

Após a montagem das formas, passa-se ao posicionamento das armaduras de aço. Para a laje maciça, utilizam-se os aços CA-50 e CA-60, dispostos de forma uniforme para proporcionar resistência contra os esforços de tração. As armaduras são colocadas em ambas as direções, formando uma malha que é amarrada cuidadosamente, garantindo que permaneça na posição correta durante o lançamento do concreto, assegurando uma estrutura capaz de suportar cargas elevadas e resistir às tensões internas.

A fase seguinte é a concretagem da laje, que é realizada utilizando concreto de 30 MPa. O concreto é lançado de forma contínua sobre a malha de armaduras, preenchendo completamente o espaço delimitado pelas formas. Durante esta etapa, é crucial realizar a vibração do concreto para eliminar bolhas de ar e garantir a compactação adequada, o que melhora a aderência às armaduras e evita falhas estruturais.

A cura do concreto é fundamental para o desenvolvimento da resistência da laje. Recomenda-se um período de cura controlada de pelo menos 7 dias, mantendo a superfície úmida para evitar a evaporação rápida da água, preservando assim a resistência e durabilidade do concreto. Após esse período, as formas são removidas cuidadosamente, garantindo que a laje tenha atingido a resistência necessária para suportar as cargas previstas no projeto.

Por fim, é realizada uma verificação minuciosa da laje, observando possíveis fissuras, desníveis ou outras imperfeições. Caso sejam encontradas falhas, estas são corrigidas imediatamente. O acabamento final é executado para proporcionar uma superfície lisa e uniforme, preparada para receber os revestimentos ou elementos construtivos especificados no projeto.



III UniSIAE - Semana Integrada de Agronomia, Análise em Desenvolvimento de Sistemas, Arquitetura e Urbanismo e Engenharias

Foto 9: Execução de Concretagem da Laje Nervurada



Fonte: Obra Max (2022).

3.3. CONCRETO

O concreto é a base material para a execução de qualquer estrutura de concreto armado e, no caso das lajes nervuradas e fundamentais deste projeto, a escolha de um concreto de 30 MPa é a mais adequada para garantir a resistência e a durabilidade necessária. O concreto de 30 MPa refere-se à capacidade do concreto de suportar uma carga de especificação de 30 megapascals por metro quadrado, o que o torna uma escolha bastante comum em obras de porte industrial e residencial.

3.3.1. COMPOSIÇÃO DO CONCRETO

O concreto é composto por uma mistura de três elementos principais: cimento, agregados (areia e brita) e água, além de aditivos que podem ser incluídos para melhorar suas propriedades. A qualidade desses materiais e a proporção correta na mistura são essenciais para atingir a resistência desejada.

1. Cimento: O cimento utilizado é do tipo Portland, que reage com a água e inicia o processo de cura e endurecimento do concreto. É o componente responsável por unir todos os outros materiais e conferir a resistência ao concreto.



III UniSIAE - Semana Integrada de Agronomia, Análise em Desenvolvimento de Sistemas, Arquitetura e Urbanismo e Engenharias

2. Agregados: Os agregados são compostos por areia (agregado miúdo) e brita (agregado graúdo). Eles dão corpo ao concreto e ajudam a reduzir o custo, já que a brita é mais econômica que o cimento. Além disso, os agregados conferem resistência ao concreto quando bem dosados.
3. Água: A água desempenha um papel essencial no processo de hidratação do cimento, possibilitando a reação química que dá origem à resistência do concreto. A quantidade de água deve ser controlada, pois o excesso pode diminuir a resistência final.

Foto 10: Composição do Concreto



Fonte: Konkreta (2024).

3.3.2. RESISTÊNCIA DO CONCRETO

A resistência do concreto é um fator crucial para atender às necessidades estruturais deste projeto, tanto para a laje nervurada quanto para a laje maciça. A escolha da resistência adequada garante que as lajes possam suportar as cargas aplicadas ao longo da vida útil da edificação, mantendo a segurança e a integridade estrutural.

1. Aplicação nas Lajes Nervurada e Maciça: Embora as configurações das lajes sejam distintas — a laje nervurada, com suas nervuras e cubetas, e a laje maciça, com uma distribuição contínua de concreto — ambas se beneficiam do uso de um concreto com



III UniSIAE - Semana Integrada de Agronomia, Análise em Desenvolvimento de Sistemas, Arquitetura e Urbanismo e Engenharias

boa resistência. O concreto proporciona rigidez e durabilidade para ambas as situações, garantindo que as lajes desempenhem suas funções estruturais de maneira eficaz.

Foto 11: Ensaio de Resistência de Compressão do Concreto



Fonte: Testecon Engenharia (2024).

3.3.3. Importância da Qualidade do Concreto

A qualidade do concreto desempenha um papel crucial no sucesso de qualquer projeto estrutural. A resistência de 30 MPa foi escolhida com base nos critérios de carga e durabilidade do projeto, garantindo que tanto a laje nervurada quanto a laje maciça tenham o desempenho esperado ao longo da vida útil da edificação.

1. **Mistura Adequada:** É importante que a dosagem dos materiais (cimento, agregados e água) seja correta para garantir que o concreto atinja a resistência especificada. Qualquer variação na mistura pode comprometer a qualidade do concreto e, consequentemente, a segurança da estrutura.
2. **Controle de Qualidade:** Durante a execução da obra, são fundamentais ensaios de controle de qualidade, como o ensaio de abatimento (slump test), para verificar a trabalhabilidade do concreto e garantir que ele foi preparado dentro das especificações.



III UniSIAE - Semana Integrada de Agronomia, Análise em Desenvolvimento de Sistemas, Arquitetura e Urbanismo e Engenharias

Foto 12: Controle concreto – Slump Test



Fonte: Concrete Já (2020).

3.4. COMPARAÇÃO ENTRE AS SOLUÇÕES

Diversos estudos demonstram que a escolha entre laje nervurada e laje maciça depende diretamente das especificidades de cada obra. Em projetos de grandes vãos, a laje nervurada tende a ser a opção mais eficiente, pois permite uma significativa redução no consumo de concreto e no peso da estrutura. Por outro lado, em projetos menores, onde a simplicidade e a rapidez de execução são fatores determinantes, a laje maciça apresenta vantagens por ser uma solução mais simples e com menor demanda de formas (RIBEIRO, 2021).

Além disso, o impacto ambiental de cada solução deve ser considerado, uma vez que a laje nervurada, ao consumir menos concreto, gera menos resíduos durante a construção e ao longo da vida útil da edificação. No entanto, o tempo de execução mais longo e o custo elevado das formas podem tornar essa solução menos atraente para projetos com prazos mais curtos (PIERIN, 2005).

Por fim, a escolha da laje ideal envolve a análise de uma série de variáveis, como custo, desempenho estrutural, impacto ambiental e prazos de execução. Não existe uma solução que seja superior em todas as situações, sendo fundamental que o engenheiro avalie cuidadosamente as necessidades e restrições de cada projeto antes de tomar uma decisão (CHING, 2017).



III UniSIAE - Semana Integrada de Agronomia, Análise em Desenvolvimento de Sistemas, Arquitetura e Urbanismo e Engenharias

3.5. NORMAS TÉCNICAS E CONSIDERAÇÕES DO PROJETO

Para garantir que as lajes nervuradas e maciças sejam projetadas e executadas de forma segura e eficiente, é fundamental seguir as diretrizes estabelecidas pelas normas técnicas. A NBR 6118 - Projeto de estruturas de concreto - (ABNT, 2023) é a principal norma que regulamenta o projeto de estruturas de concreto armado, definindo os parâmetros essenciais para a resistência, deformação e durabilidade dessas estruturas.

No caso das lajes nervuradas, a NBR 6118 especifica as características mínimas das nervuras e ressalta a importância de cálculos detalhados, especialmente para projetos que envolvem grandes vãos ou concentrações de carga. Essa abordagem garante que as nervuras tenham a rigidez necessária para distribuir os esforços de maneira adequada, proporcionando maior eficiência estrutural.

Já para as lajes maciças, a NBR 6118 também estabelece critérios claros para o dimensionamento e a execução, destacando a importância de uma distribuição uniforme das cargas e de uma construção mais simples e direta. A norma define ainda a espessura mínima necessária e orienta sobre o controle de fissuras e deflexões, aspectos cruciais para garantir a segurança e a durabilidade da estrutura ao longo do tempo.

Além disso, a NBR 14931 - Execução de estruturas de concreto - Procedimento - (ABNT, 2004) desempenha um papel crucial na execução das estruturas de concreto, ao fornecer orientações práticas para o processo construtivo. Esta norma estabelece procedimentos detalhados para a montagem das formas, colocação das armaduras e técnicas de concretagem, assegurando que a execução das lajes siga padrões elevados de qualidade e segurança. A NBR 14931 enfatiza a importância do controle rigoroso de cada etapa do processo, garantindo que as estruturas atendam às especificações do projeto e aos requisitos de desempenho.

De acordo com Silva (2005), seguir rigorosamente essas normas técnicas é essencial para garantir não apenas a segurança, mas também o desempenho eficiente das lajes, sejam elas nervuradas ou maciças. Uma avaliação detalhada do comportamento estrutural, juntamente com a análise de fatores como deformações e recalques, é fundamental para tomar decisões assertivas na escolha da melhor solução estrutural para cada projeto.



III UniSIAE - Semana Integrada de Agronomia, Análise em Desenvolvimento de Sistemas, Arquitetura e Urbanismo e Engenharias

3.6. SOFTWARE ALTO QI EBERICK PROFISSIONAL

O AltoQi Eberick Profissional é um software de engenharia civil especializado no cálculo e dimensionamento de estruturas em concreto armado. Amplamente utilizado por engenheiros e arquitetos, ele permite a criação de modelos tridimensionais precisos, proporcionando uma visualização clara do comportamento estrutural sob diversas condições de carga.

Este software oferece uma variedade de funcionalidades, incluindo análise estática e dinâmica, dimensionamento automático de elementos estruturais e geração de relatórios detalhados. Ele é projetado para seguir rigorosamente as normas técnicas brasileiras, garantindo que os projetos atendam aos requisitos de segurança e eficiência.

Para a elaboração deste TCC, a versão Profissional do AltoQi Eberick foi utilizada, possibilitando uma análise aprofundada das lajes nervuradas e maciças no contexto de um mezanino em um barracão industrial. O orientador do trabalho gentilmente disponibilizou sua licença do software, permitindo que os projetos estruturais fossem elaborados de forma eficiente e com alta precisão técnica. Essa ferramenta foi essencial para simular o desempenho estrutural das lajes, facilitando a comparação entre as duas soluções e contribuindo para a fundamentação das conclusões apresentadas no trabalho.

Com sua interface intuitiva e recursos avançados, o AltoQi Eberick Profissional se destacou como um aliado importante na pesquisa, ajudando a otimizar o processo de projeto e a garantir a qualidade das análises realizadas.

4. ESTUDO DE CASO: DESCRIÇÃO DO PROJETO

O projeto desenvolvido consiste em um barracão industrial que será utilizado para atividades mistas, envolvendo tanto áreas de armazenamento quanto uma área administrativa em um mezanino. Nesta seção, serão detalhadas as dimensões do barracão e do mezanino, bem como as duas soluções de laje que serão comparadas: a laje nervurada e a laje maciça.



III UniSIAE - Semana Integrada de Agronomia, Análise em Desenvolvimento de Sistemas, Arquitetura e Urbanismo e Engenharias

4.1. DESCRIÇÃO GERAL DO BARRACÃO E MEZANINO

O barracão foi projetado com uma largura de 14 metros e um comprimento de 25 metros, resultando em uma área total de 350 m². A construção foi planejada de forma a otimizar o uso do espaço, com o pavimento térreo sendo utilizado para armazenamento e o mezanino destinado às funções administrativas, como escritórios. O pavimento térreo terá uma altura de 3,24 metros, enquanto o pavimento superior, que fica sobre o mezanino, contará com 3,15 metros de altura.

O mezanino, localizado na parte posterior do barracão, possui 14 metros de largura por 9 metros de comprimento, totalizando uma área de 126 m². O objetivo é utilizar esse espaço para áreas administrativas, como salas de escritório, proporcionando uma boa separação das funções de armazenagem no térreo. A laje do mezanino será o foco da comparação entre dois sistemas estruturais: uma laje nervurada e uma laje maciça.

4.2. CARACTERÍSTICAS ESTRUTURAIS

4.2.1. LAJE NERVURADA

Para o mezanino, foi escolhida uma laje nervurada com uma espessura total de 30 cm, adequada para vencer o vão de 9 metros de maneira eficiente. Essa espessura foi definida com base em uma relação estrutural comum, considerando que, para vãos dessa magnitude, a proporção de L/25 definida pela NBR 6118 garante a segurança e a estabilidade da estrutura. A laje é composta por uma mesa superior com espessura de 5 cm e nervuras com altura de 25 cm.

- Espessura total da laje nervurada: 30 cm
- Mesa superior: 5 cm
- Altura das nervuras: 25 cm
- Material de enchimento: Cubeta



III UniSIAE - Semana Integrada de Agronomia, Análise em Desenvolvimento de Sistemas, Arquitetura e Urbanismo e Engenharias

A escolha da laje nervurada visa otimizar o uso de materiais, já que o alívio de peso reduz a quantidade de concreto necessária. Além disso, as nervuras permitem distribuir as cargas de forma eficaz, garantindo a capacidade de suportar os esforços atuantes no mezanino.

4.2.2. LAJE MACIÇA

Por outro lado, para a solução de laje maciça, foi definida uma espessura de 20 cm, suficiente para garantir a resistência estrutural em um vão de 9 metros. Esse dimensionamento segue a regra prática de $L/40$ definida pela NBR 6118, comumente utilizada em projetos de lajes maciças. Embora a laje maciça exija uma maior quantidade de concreto, sua execução é mais simples, o que pode resultar em um processo mais rápido e menos dependente de técnicas especiais de montagem.

- Espessura da laje maciça: 20 cm (uniforme)

4.3. CARGAS E DIMENSÕES

Ambas as lajes foram dimensionadas de acordo com os critérios estabelecidos pela NBR 6120 – Cargas para o cálculo de estruturas de edificações - (ABNT, 2019), visando garantir a segurança estrutural. No cálculo, foram consideradas as cargas permanentes de 2kg/m^2 (peso próprio da laje) e as cargas acidentais típicas de um ambiente administrativo de $1,5\text{kg/m}^2$.

- Carga permanente: 250 kg/m^2
- Carga acidental (uso administrativo): 200 kg/m^2

Essas cargas foram aplicadas de maneira uniforme no projeto e são adequadas para a função prevista do mezanino, que abrigará áreas administrativas.



III UniSIAE - Semana Integrada de Agronomia, Análise em Desenvolvimento de Sistemas, Arquitetura e Urbanismo e Engenharias

Foto 13: Layout de Cargas para a Laje Nervurada no Software Alto Qi Eberick

Fonte: O Autor (2024).

Foto 14: Layout de Cargas para a Laje Maciça no Software Alto Qi Eberick

Fonte: O Autor (2024).



III UniSIAE - Semana Integrada de Agronomia, Análise em Desenvolvimento de Sistemas, Arquitetura e Urbanismo e Engenharias

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. ANÁLISE ESTRUTURAL

Nesta análise, ambas as lajes, nervurada e maciça, foram dimensionadas utilizando a mesma quantidade de pilares e vigas, garantindo uma base comparativa uniforme entre as duas soluções. A modelagem estrutural foi realizada no software AltoQi Eberick Profissional, possibilitando uma avaliação detalhada de todos os aspectos do projeto, incluindo o comportamento estrutural das lajes e das fundações sob diferentes condições de carga.

5.1.1.1. MOMENTO FLETOR E DIAGRAMA UNIFILAR

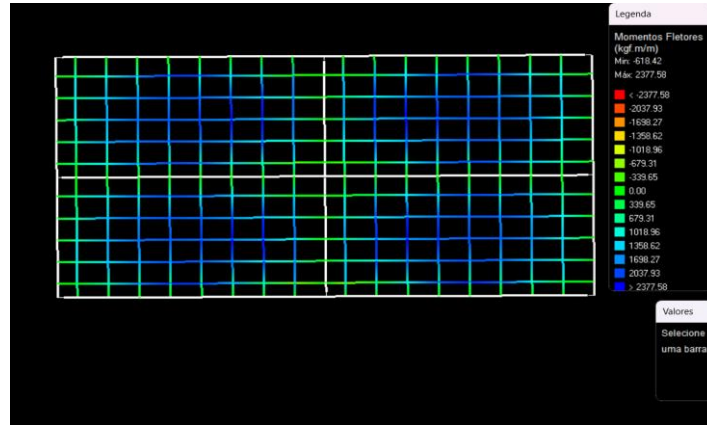
A análise do momento fletor é essencial para avaliar a capacidade das lajes de resistir às flexões provocadas pelas cargas aplicadas. Na laje nervurada, os cálculos realizados pelo software AltoQi Eberick indicaram momentos fletores máximos de 2.377,58 kgf·m/m e mínimos de -618,42 kgf·m/m, evidenciando a eficiência na distribuição das forças internas, com os esforços concentrados nas nervuras. O diagrama unifilar confirma que essas nervuras redistribuem as tensões para as áreas de maior resistência, apresentando robustez nas zonas críticas, com um deslocamento máximo de 0,86 cm e mínimo de 0 cm.

Em contrapartida, a laje maciça apresentou momentos fletores máximos de 2.187,87 kgf·m/m e mínimos de -3.291,64 kgf·m/m. Embora esses valores também indiquem uma distribuição eficiente das forças internas, o padrão de resposta é distinto, refletindo as características específicas das áreas. O diagrama unifilar da laje maciça demonstra que ela garante resistência à deformação, com um deslocamento máximo registrado de 0,97 cm e mínimo de 0 cm.



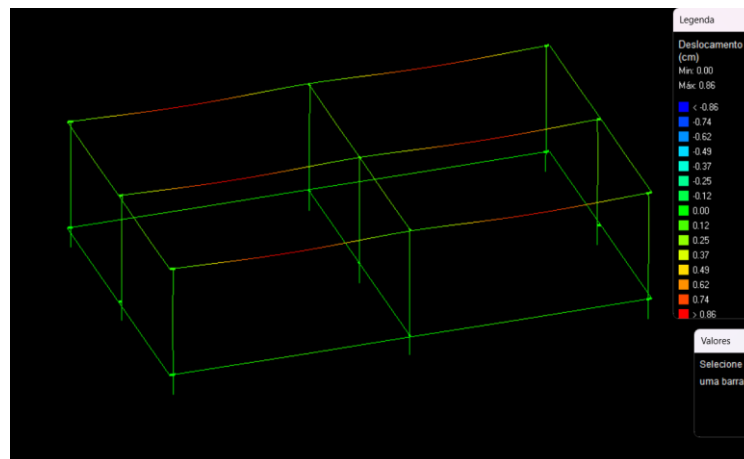
III UniSIAE - Semana Integrada de Agronomia, Análise em Desenvolvimento de Sistemas, Arquitetura e Urbanismo e Engenharias

Foto 15: Momento Fletor da Laje Nervurada



Fonte: O Autor (2024).

Foto 16: Diagrama Unifilar da Laje Nervurada.

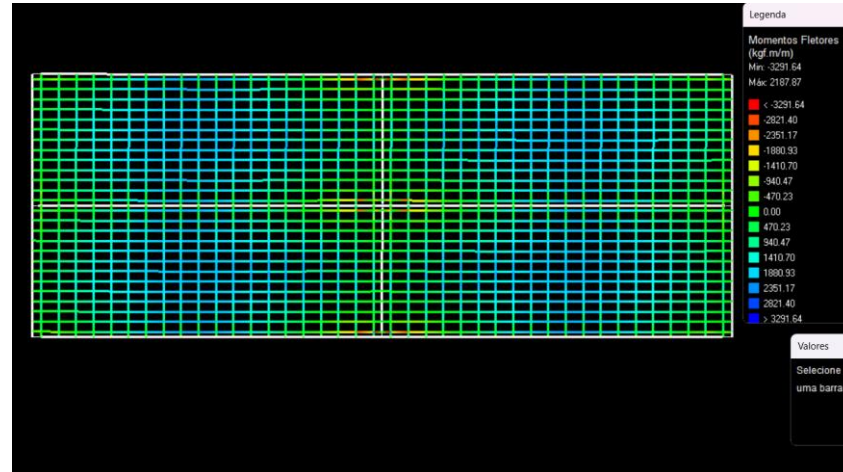


Fonte: O Autor (2024).



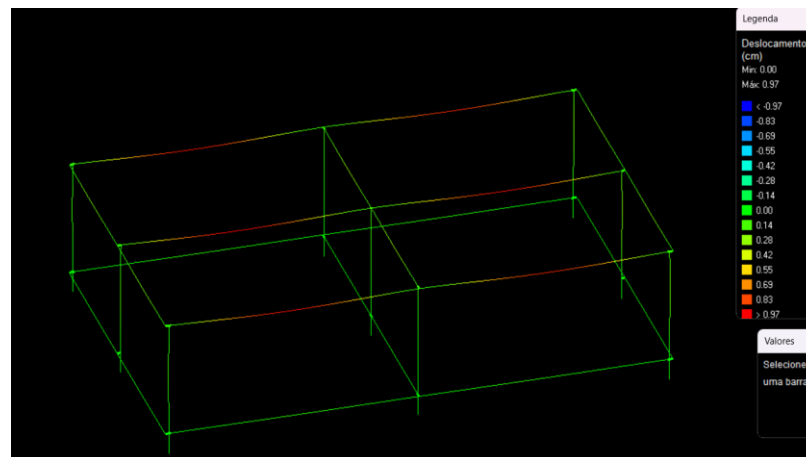
III UniSIAE - Semana Integrada de Agronomia, Análise em Desenvolvimento de Sistemas, Arquitetura e Urbanismo e Engenharias

Foto 17: Momento Fletor da Laje Maciça



Fonte: O Autor (2024).

Foto 18: Diagrama Unifilar da Laje Maciça



Fonte: O Autor (2024).

5.1.1.2. MOMENTOS DA LAJE

Os momentos nas lajes são distribuídos de maneira a possibilitar um dimensionamento eficiente da estrutura. Na laje nervurada, observa-se uma maior concentração de esforços nos pontos de apoio, enquanto as áreas centrais apresentam uma redução significativa devido à presença das nervuras. Isso fornece uma estrutura mais leve e eficiente em termos de materiais, conforme mostrado nos diagramas estruturais, com valores para L1 de $M_{dx}=2108$ e $M_{dy}=2363$; L2 de $M_{dx}=2145$ e $M_{dy}=2376$; L3 de $M_{dx}=2152$ e $M_{dy}=2353$; L4 de $M_{dx}=2192$ e $M_{dy}=2368$.



III UniSIAE - Semana Integrada de Agronomia, Análise em Desenvolvimento de Sistemas, Arquitetura e Urbanismo e Engenharias

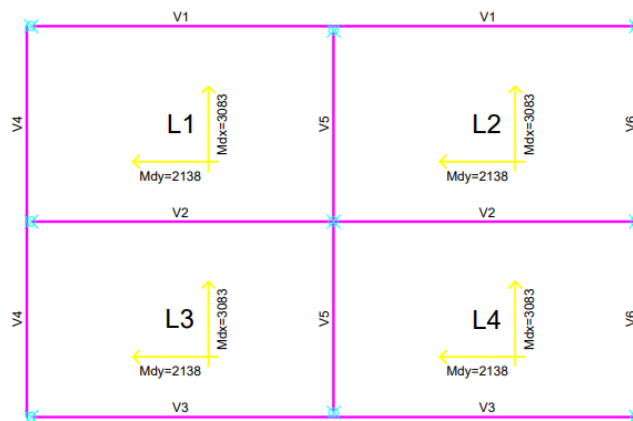
Por outro lado, na laje maciça, a distribuição dos momentos também favorece um dimensionamento eficaz. Os valores dos momentos fletor para as lajes L1, L2, L3 e L4 são $M_{dx}=2138$ e $M_{dy}=3083$.

Foto 19: Projetos dos Momentos da Laje Nervurada.



Fonte: O Autor (2024).

Foto 20: Projeto dos Momentos da Laje Maciça



Fonte: O Autor (2024).

5.1.1.3. DESLOCAMENTO

Os deslocamentos nas lajes nervuradas foram avaliados e revelaram-se tanto imediatos quanto de longo prazo, com valores que variaram entre 0,91 cm nos pontos críticos L1 e L3, e 0,92 cm nos pontos críticos L2 e L4. Esses resultados indicam um comportamento estrutural

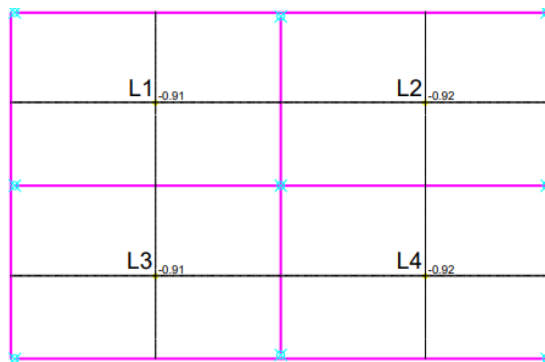


III UniSIAE - Semana Integrada de Agronomia, Análise em Desenvolvimento de Sistemas, Arquitetura e Urbanismo e Engenharias

adequado, permanecendo dentro dos limites aceitáveis para este tipo de laje, conforme estabelecido pelas normas regulamentares (NBR 6118).

Da mesma forma, os deslocamentos na laje maciça também foram verificados como imediatos e diferidos, apresentando um valor uniforme de 0,99 cm nos pontos críticos L1, L2, L3 e L4. Esses dados sugerem que a laje maciça demonstra um comportamento estrutural satisfatório, mantendo-se dentro dos limites permitidos pelas normas aplicáveis (NBR 6118).

Foto 21: Projeto de Deslocamento da Laje Nervurada



Fonte: O Autor (2024).

Foto 22: Projeto de Deslocamento da Laje Maciça



Fonte: O Autor (2024).



5.1.1.4. ARMAÇÃO POSITIVA E NEGATIVA

A armação positiva, presente tanto na laje nervurada quanto na laje maciça, é projetada para suportar as forças de tração na parte inferior, utilizando barras de aço CA-50 e CA-60. Na laje nervurada, são especificados diâmetros de 10 mm e 6,3 mm, enquanto na laje maciça os diâmetros são de 10 mm e 8 mm.

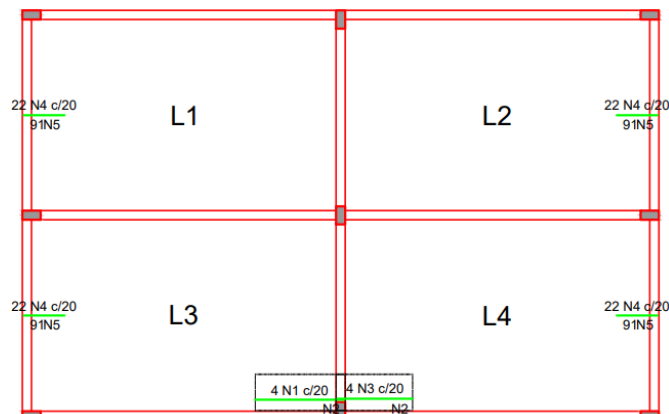
Por outro lado, a armação negativa, posicionada na parte superior de ambas as lajes, é responsável por absorver os momentos negativos nos apoios, garantindo uma continuidade estrutural. Essa configuração integrada resulta em uma distribuição eficiente dos esforços, sendo fundamental para a estabilidade e durabilidade das lajes.

Foto 23: Projeto de Armação de Aço Positivo Laje Nervurada



Fonte: O Autor (2024).

Foto 24: Projeto de Armadura de Aço Negativo Laje Nervurada

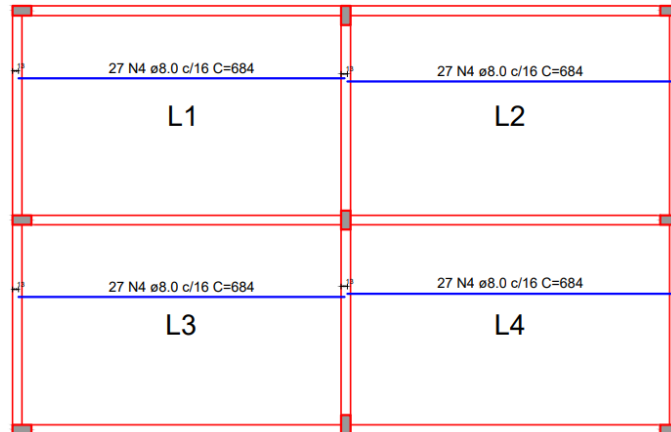


Fonte: O Autor (2024).



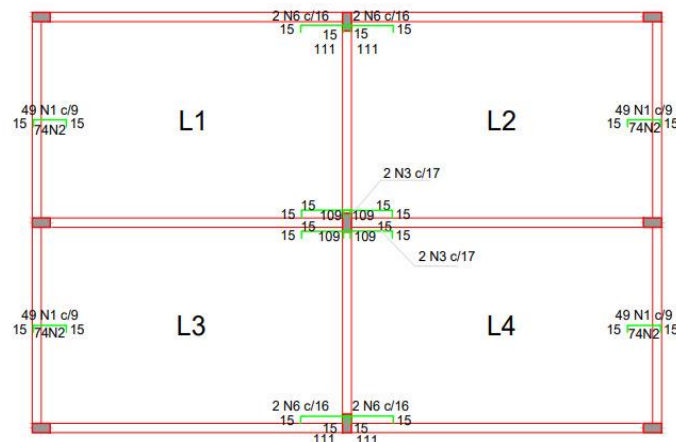
III UniSIAE - Semana Integrada de Agronomia, Análise em Desenvolvimento de Sistemas, Arquitetura e Urbanismo e Engenharias

Foto 25: Projeto de Armação Positiva Laje Maciça



Fonte: O Autor (2024).

Foto 26: Projeto Armação Negativa da Laje Maciça



Fonte: O Autor (2024).

5.2. ANÁLISE DE CUSTOS

As tabelas abaixo detalham os materiais utilizados tanto para a execução da laje nervurada quanto para a laje maciça, considerando as especificações do projeto. Foram incluídas as quantidades de Aço CA-50 e CA-60, além do concreto, mão de obra e demais insumos necessários.



III UniSIAE - Semana Integrada de Agronomia, Análise em Desenvolvimento de Sistemas, Arquitetura e Urbanismo e Engenharias

O orçamento de mão de obra para a execução das lajes nervurada e maciça foi desenvolvido utilizando como referência os dados da planilha do SINAPI (Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil), atualizada em setembro de 2024. Essa escolha foi feita para assegurar que os valores apresentados estejam de acordo com a realidade do mercado, considerando os custos atuais de mão de obra e materiais, de forma a fornecer um orçamento preciso e confiável.

Tabela 1 – Orçamento para Locação de Cubetas Plásticas para Laje Nervurada.

Especificação de Formas	Quantidade	Preço Unitário/ Dia	Quantidade/ Dias	Preço Total
80x80x25	112,00	R\$ 0,48	40	R\$ 2.150,40
40x80x25	88,00	R\$ 0,48	40	R\$ 1.689,60

Fonte: Autor (2024).

Tabela 2 – Orçamento para forma da Laje Maciça.

Descrição	Quantidade	Preço Unitário	Preço Total
Madeirite Naval	50,00	R\$ 65,00	R\$ 3.250,00

Fonte: Autor (2024).

Tabela 3 – Orçamento para Concreto de 30 Mpa para a Laje Nervurada e Laje Maciça.

Tipo de Laje	Mpa	Volume (m ³)	Valor (m ³)	Preço Total
Maciça	30	22,47	R\$ 460,00	R\$ 10.336,20
Nervurada	30	15,32	R\$ 460,00	R\$ 7.047,20

Fonte: Autor (2024).

Tabela 4 – Orçamento dos Aços CA 50 e CA 60 para Laje Nervurada

Descrição	Quantidade	Valor (m ³)	Preço Total
CA 60 5mm 1500KG	33,50	R\$ 9,70	R\$ 324,95
Vergalhão CA 50 6,3mm	223,30	R\$ 8,70	R\$ 1.942,71
Vergalhão CA 50 10mm	186,10	R\$ 8,50	R\$ 1.581,85

Fonte: Autor (2024).



III UniSIAE - Semana Integrada de Agronomia, Análise em Desenvolvimento de Sistemas, Arquitetura e Urbanismo e Engenharias

Tabela 5 – Orçamento dos Aços CA 50 e CA 60 para Laje Maciça

Descrição	Quantidade	Valor (m ³)	Preço Total
CA 60 5mm 1500KG	55,50	R\$ 9,70	R\$ 499,55
Vergalhão CA 50 8mm	785,00	R\$ 8,70	R\$ 6.829,50
Vergalhão CA 50 10mm	7,40	R\$ 8,50	R\$ 62,90

Fonte: Autor (2024).

Tabela 6 – Orçamento Mão de Obra para a Laje Nervurada.

Descrição	Quantidade	Preço Diária	Quantidade de Diárias	Preço Total
Pedreiro	2,00	R\$ 400,00	7	R\$ 5.600,00
Ajudante	1,00	R\$ 400,00	7	R\$ 2.800,00

Fonte: Autor (2024).

Tabela 7 – Orçamento Mão de Obra para a Laje Maciça.

Descrição	Quantidade	Preço Diária	Quantidade de Diárias	Preço Total
Pedreiro	2,00	R\$ 200,00	5	R\$ 2.000,00
Ajudante	1,00	R\$ 150,00	5	R\$ 750,00

Fonte: Autor (2024).

5.2.1. PLANILHA DE CUSTO LAJE NERVURADA

A tabela abaixo detalha o orçamento total de todos os insumos que serão utilizados para a execução da Laje Nervurada.



III UniSIAE - Semana Integrada de Agronomia, Análise em Desenvolvimento de Sistemas, Arquitetura e Urbanismo e Engenharias

Tabela 8 – Orçamento Total - Laje Nervurada

Descrição	Quantidade	Valor	Preço Total
Concreto 30 Mpa	15,32	R\$ 460,00	R\$ 7.407,20
Aço CA 50 6,3m	223,30	R\$ 8,70	R\$ 1.942,71
Aço CA 50 10mm	186,10	R\$ 8,50	R\$ 1.581,85
Aço CA 60 5mm	33,50	R\$ 9,70	R\$ 324,95
Cubetas 80x80x25	112,00	R\$ 19,20	R\$ 2.150,40
Cubetas 40x80x25	88,00	R\$ 19,20	R\$ 1.689,60
Mão de Obra – Diária Pedreiro	14,00	R\$ 400,00	R\$ 5.600,00
Mão de Obra – Diária Ajudante	7,00	R\$ 400,00	R\$ 2.800,00
TOTAL LAJE NERVURADA			R\$ 23.136,71

Fonte: Autor (2024).

5.2.2. PLANILHA DE CUSTO LAJE MACIÇA

A tabela abaixo detalha o orçamento total de todos os insumos que serão utilizados para a execução da Laje Maciça.

Tabela 9 – Orçamento Total - Laje Maciça

Descrição	Quantidade	Valor	Preço Total
Concreto 30 Mpa	22,58	R\$ 460,00	R\$ 10.386,80
Aço CA 50 8mm	785,00	R\$ 8,70	R\$ 6.829,50
Aço CA 50 10mm	7,40	R\$ 8,50	R\$ 62,90
Aço CA 60 5mm	51,50	R\$ 9,70	R\$ 499,55
Madeirite Naval	50,00	R\$ 65,00	R\$ 3.250,00
Mão de Obra – Diária Pedreiro	10,00	R\$ 200,00	R\$ 2.000,00
Mão de Obra – Diária Ajudante	5,00	R\$ 150,00	R\$ 750,00
TOTAL LAJE MACIÇA			R\$ 23.778,75

Fonte: Autor (2024).



III UniSIAE - Semana Integrada de Agronomia, Análise em Desenvolvimento de Sistemas, Arquitetura e Urbanismo e Engenharias

6. CONCLUSÃO

Considerando as especificidades do projeto em análise, que envolve um barracão industrial com um mezanino de 14 metros de largura por 9 metros de comprimento, a escolha entre laje nervurada e laje maciça demanda uma avaliação criteriosa dos fatores estruturais, econômicos e operacionais.

A laje nervurada apresenta-se como uma solução eficiente para projetos que possuem vãos elevados, como é o caso do mezanino projetado. Essa laje se destaca pela sua capacidade de reduzir o peso estrutural devido ao uso de cubetas, otimizando o consumo de concreto e aliviando as cargas sobre as fundações. Tais características proporcionam um desempenho superior em termos de resistência estrutural e eficiência material. No entanto, essa solução exige um investimento inicial maior em formas e cubetas, além de demandar mão de obra especializada para a execução, o que pode aumentar o custo e a complexidade do processo construtivo.

Em contrapartida, a laje maciça oferece maior simplicidade de execução, tornando-se uma alternativa viável para obras que priorizam agilidade e economia imediata. O processo construtivo dessa laje é mais direto e requer menor complexidade técnica, o que reduz a dependência de formas especiais e diminui o tempo de execução. Embora o consumo de concreto seja mais elevado, o menor custo com mão de obra e a rapidez de montagem tornam a laje maciça uma opção atraente para projetos onde a velocidade de entrega é um fator crítico.

Diante da análise comparativa, observa-se que a laje nervurada é a escolha mais indicada para o mezanino do barracão industrial, considerando sua maior eficiência estrutural e capacidade de reduzir o peso da edificação. Essa opção é particularmente vantajosa em projetos que necessitam de soluções robustas para grandes vãos, otimizando a distribuição de cargas e minimizando o impacto nas fundações. Entretanto, em cenários onde a simplicidade de execução e o controle de custos sejam prioridades, a laje maciça também se apresenta como uma solução válida, especialmente para obras de menor porte ou com prazos de execução mais restritos.

Portanto, a decisão entre as duas soluções deve ser orientada pelos requisitos específicos do projeto. Se a prioridade for maximizar a eficiência estrutural e minimizar o peso próprio da



III UniSIAE - Semana Integrada de Agronomia, Análise em Desenvolvimento de Sistemas, Arquitetura e Urbanismo e Engenharias

estrutura, a laje nervurada se destaca como a melhor escolha. Por outro lado, se o foco estiver na praticidade de construção e na redução dos custos iniciais, a laje maciça pode ser a alternativa mais adequada.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, T. N. **Engenharia de Estruturas: Fundamentos e Aplicações**. 3. ed. São Paulo: Editora de Engenharia, 2018. [Livros]

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14931:2004 – Execução de estruturas de concreto armado, protendido e com fibras – Requisitos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2004. [Documentos e Leis]

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118:2014, versão corrigida 2014 – Projeto de estruturas de concreto – Procedimento**. Rio de Janeiro: ABNT, 2014. [Documentos e Leis]

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6120:2019 – Cargas para o cálculo de estruturas de edificações**. Rio de Janeiro: ABNT, 2019. [Documentos e Leis]

ATEX. Soluções para lajes nervuradas. Disponível em: <https://atex.com.br/en/solucao/ribbed-slab>. Acesso em: 5 out. 2024. [Referências na Web]

BASTOS, J. R.; SOUZA, M. F. **Análise de Ciclo de Vida em Construções Civas: Práticas e Perspectivas**. Revista Brasileira de Engenharia Sustentável, v. 3, p. 85-102, 2021. [Artigos publicados em Periódicos]

BRASIL, FEV Unesp. **Fundamentos de Concreto Armado**. Disponível em: <https://wwwp.feb.unesp.br/pbastos/concreto1/FundamentosCA.pdf>. Acesso em: 5 out. 2024. [Referências na Web]

CARVALHO, L. O. **Estruturas Nervuradas: Eficiência Material e Aplicações Industriais**. Porto Alegre: Sul Editora, 2019. [Livros]



III UniSIAE - Semana Integrada de Agronomia, Análise em Desenvolvimento de Sistemas, Arquitetura e Urbanismo e Engenharias

CAIXA ECONÔMICA FEDERAL. **Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil – SINAPI**. Tabela de Composições de Preços para a Construção Civil, valores de setembro de 2024. Disponível em: <https://www.caixa.gov.br>. Acesso em: 11 out. 2024. [Documentos e Leis]

DISCOVERY JOURNALS. **Estudo de Engenharia em Lajes Nervuradas e Maciças**.

Disponível em:

https://www.discoveryjournals.org/engineering/current_issue/2023/v20/n53/e14ije1014.pdf.

Acesso em: 5 out. 2024. [Referências na Web]

FREITAS, R. G.; MELO, S. S. **Concreto de Baixo Impacto: Inovações e Sustentabilidade**.

In: Encontro Nacional de Engenharia de Materiais. Anais... Salvador: ABEM, 2020, p. 255-

267. [Artigos publicados em Anais de Eventos]

GONÇALVES, P. C. **Análise Comparativa de Estruturas de Concreto: Lajes Nervuradas vs Maciças**. Revista Técnica da Engenharia Estrutural, v. 2, p. 115-131, 2017. [Artigos publicados em Periódicos]

MÁQUINAS REAIS. **Conheça as Vantagens do Concreto Armado para a sua**

Construção. Disponível em: <https://www.royalmaquinas.com.br/blog/conheca-as-vantagens-do-concreto-armado-para-a-sua-construcao>. Acesso em: 5 out. 2024. [Referências na Web]

MAPA DA OBRA. **Agregados na Construção Civil**. Disponível em:

<https://www.mapadaobra.com.br/capacitacao/agregados>. Acesso em: 5 out. 2024.

[Referências na Web]

OLIVEIRA, E. P. et al. **Impacto Ambiental na Construção Civil: Desafios e Estratégias**

Modernas. In: Conferência Internacional de Engenharia Ambiental. Atas... Rio de Janeiro:

UFRJ, 2019, p. 301-315. [Artigos publicados em Anais de Eventos]

PEREIRA, F.; SILVA, R. T. **Análise de Vibrações em Lajes Nervuradas**. In: Congresso

Brasileiro de Engenharia Civil. Anais... Curitiba: UFRPR, 2018, p. 112-125. [Artigos

publicados em Anais de Eventos]



III UniSIAE - Semana Integrada de Agronomia, Análise em Desenvolvimento de Sistemas, Arquitetura e Urbanismo e Engenharias

QUORA. O que é melhor: laje nervurada ou sólida?. Disponível em:

<https://www.quora.com/What-is-better-ribbed-or-solid-slab-one-way>. Acesso em: 5 out. 2024.

[Referências na Web]

SCIELO BRASIL. Estudo sobre Concreto em Engenharia Estrutural. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/riem/a/k8F9bRCWQz5JHpxbGxNZqBC>. Acesso em: 5 out. 2024.

[Referências na Web]

SINAPI. Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil.

Composições de custo de insumos – mão de obra para pedreiros e serventes. Disponível em:

<https://www.caixa.gov.br/poder-publico/modernização-gestão/sinapi/Paginas/default.aspx>.

Acesso em: 11 out. 2024. [Documentos e Leis]

SOUZA, C. C. Construção Civil e Inovação: A Era do Concreto Inteligente. 2. ed. Rio de

Janeiro: Editora Técnica, 2021. [Livros]

TECNOSILBR. Agregados para Concreto: O que são e para que Servem. Disponível em:

<https://www.tecnosilbr.com.br/agregados-para-concreto-o-que-sao-e-para-que-servem>.

Acesso em: 5 out. 2024. [Referências na Web]



III UniSIAE - Semana Integrada de Agronomia, Análise em Desenvolvimento de Sistemas, Arquitetura e Urbanismo e Engenharias

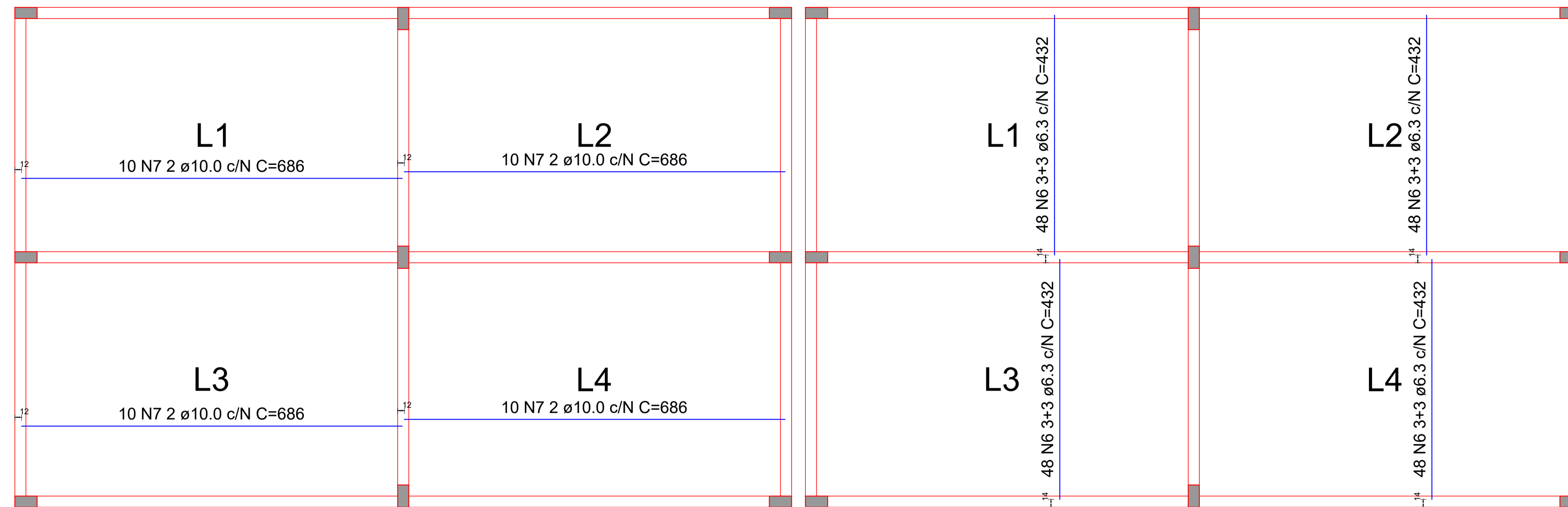
APÊNDICES:

**APÊNDICE A – DETALHAMENTO EXECUTIVO DAS PROPRIEDADES DA LAJE
NERVURADA**

**APÊNDICE B – DETALHAMENTO EXECUTIVO DAS PROPRIEDADES DA LAJE
NERVURADA**

**APÊNDICE C – DETALHAMENTO EXECUTIVO DAS PROPRIEDADES DA LAJE
MACIÇA**

**APÊNDICE D – DETALHAMENTO EXECUTIVO DAS PROPRIEDADES DA LAJE
MACIÇA**



Armação positiva das lajes do pavimento Mezanino (Eixo X) escala 1:50

Armação positiva das lajes do pavimento Mezanino (Eixo Y) escala 1:50

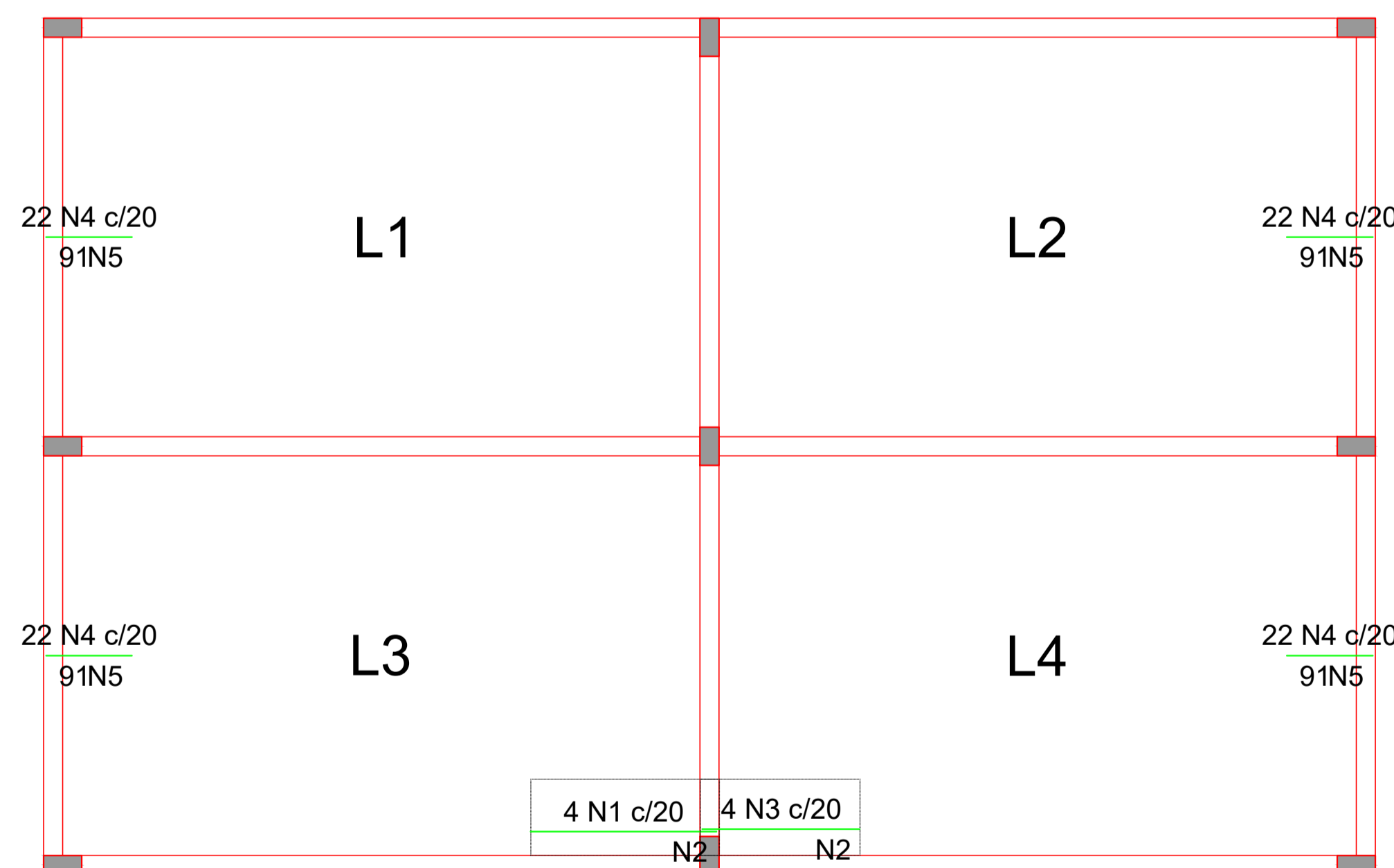
RELAÇÃO DO AÇO

Negativos X		Positivos X		Positivos Y	
AÇO	N	DIAM (mm)	QUANT	C.UNIT (cm)	C.TOTAL (cm)
CA60	1	5.0	4	196	784
	2	5.0	19	80	1520
	3	5.0	4	166	664
	4	5.0	88	91	8008
	5	5.0	20	440	8800
CA50	6	6.3	192	432	82944
	7	10.0	40	686	27440

RESUMO DO AÇO

AÇO	DIAM (mm)	C.TOTAL (m)	QUANT + 10% (Barras)	PESO + 10% (kg)
CA50	6.3	829.4	77	223.3
CA60	10.0	274.4	26	186.1
CA60	5.0	197.8	-	33.5
PESO TOTAL (kg)				
CA50		409.4		
CA60		33.5		

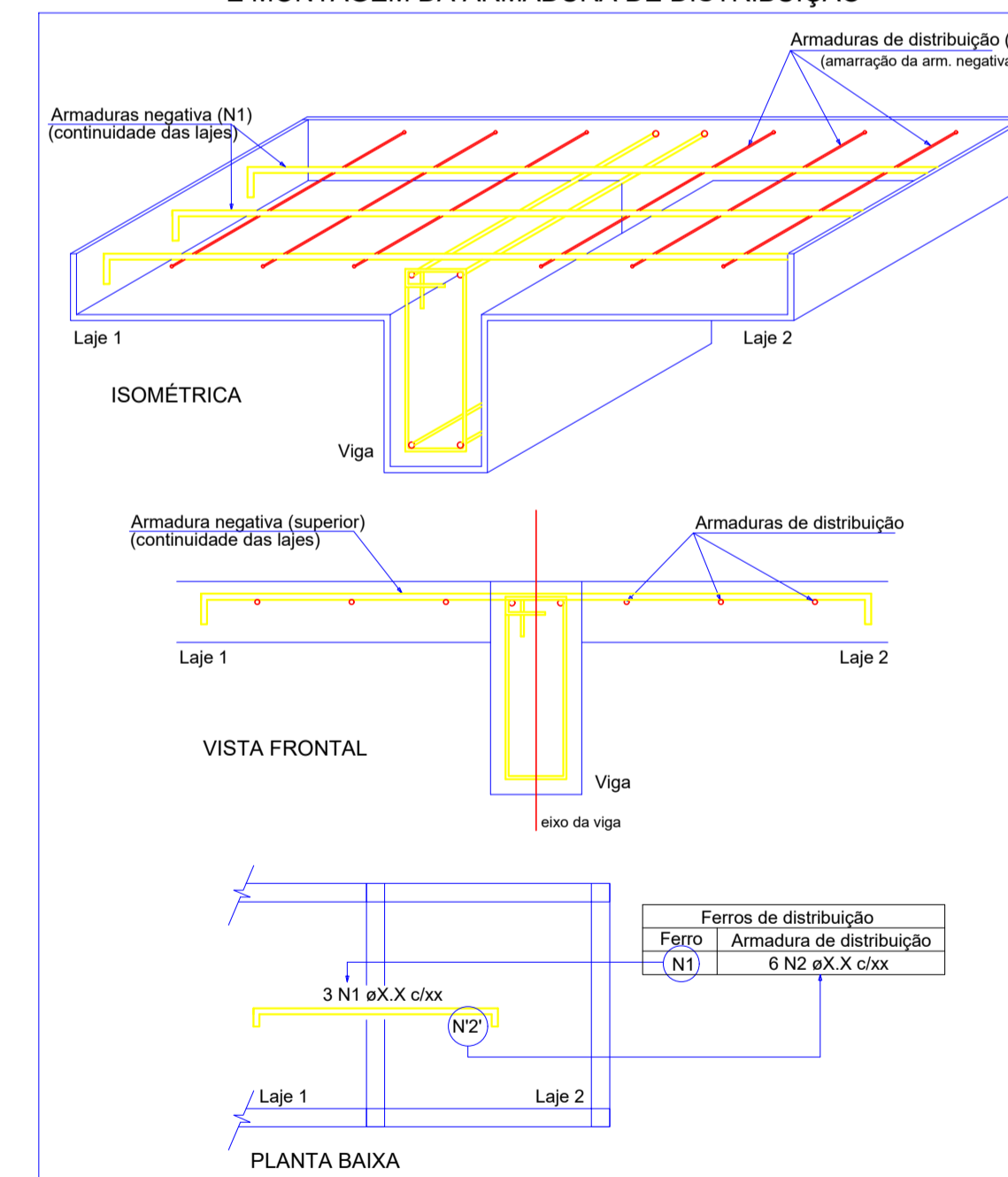
Volume de concreto (C-30) = 15.32 m³
 Área de forma = 0.00 m²



Armação negativa das lajes do pavimento Mezanino (Eixo X) escala 1:50

Armaduras de distribuição	
Armadura	Armadura de distribuição
N1	10 N2 ø5.0 c/20 C=80
N3	9 N2 ø5.0 c/20 C=80
N4	5 N5 ø5.0 c/20 C=440
N4	5 N5 ø5.0 c/20 C=440
N4	5 N5 ø5.0 c/20 C=440
N4	5 N5 ø5.0 c/20 C=440

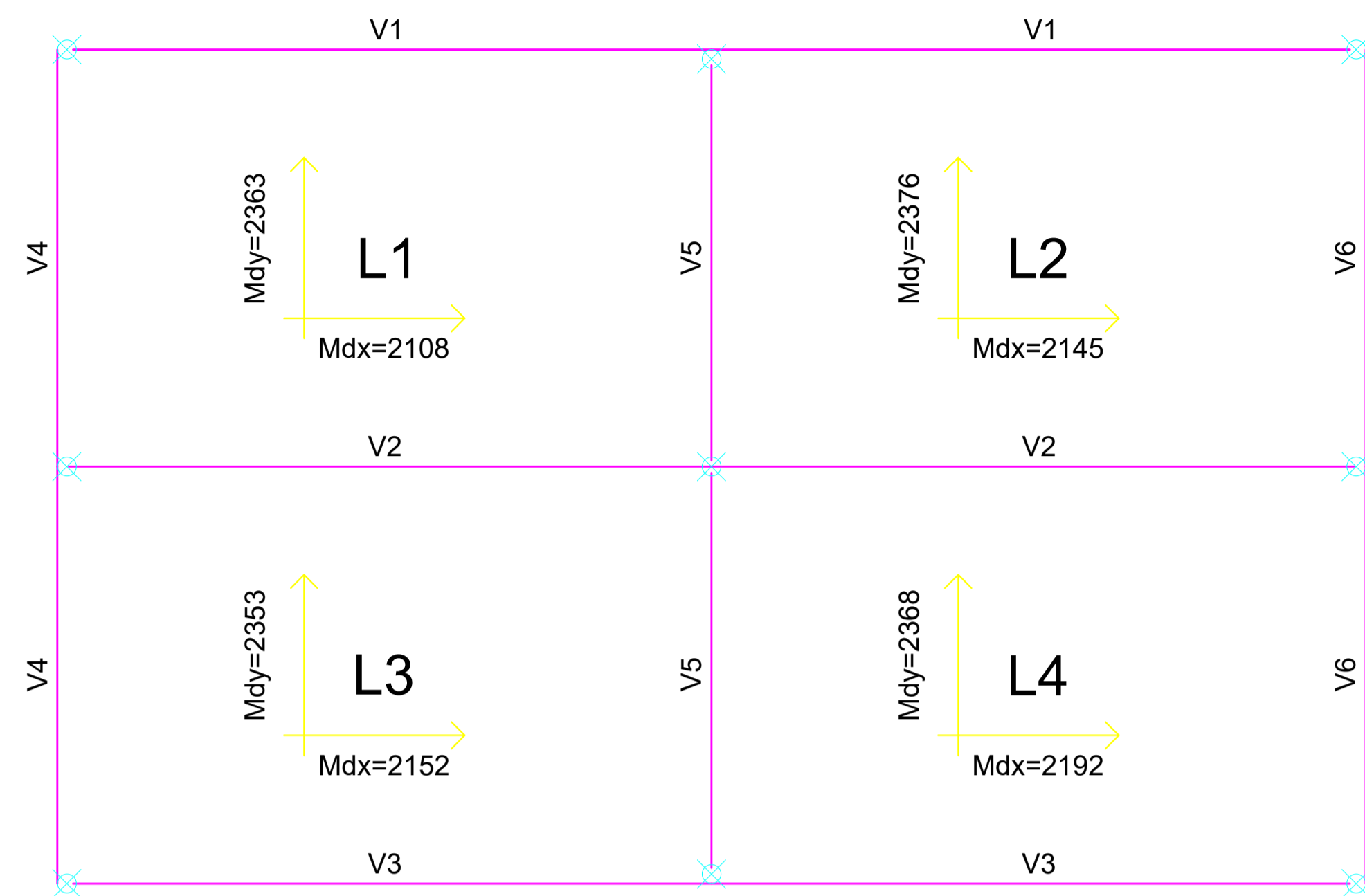
DETALHE DA ARMADURA DE SUPERIOR DE CONTINUIDADE DA LAJE E MONTAGEM DA ARMADURA DE DISTRIBUIÇÃO



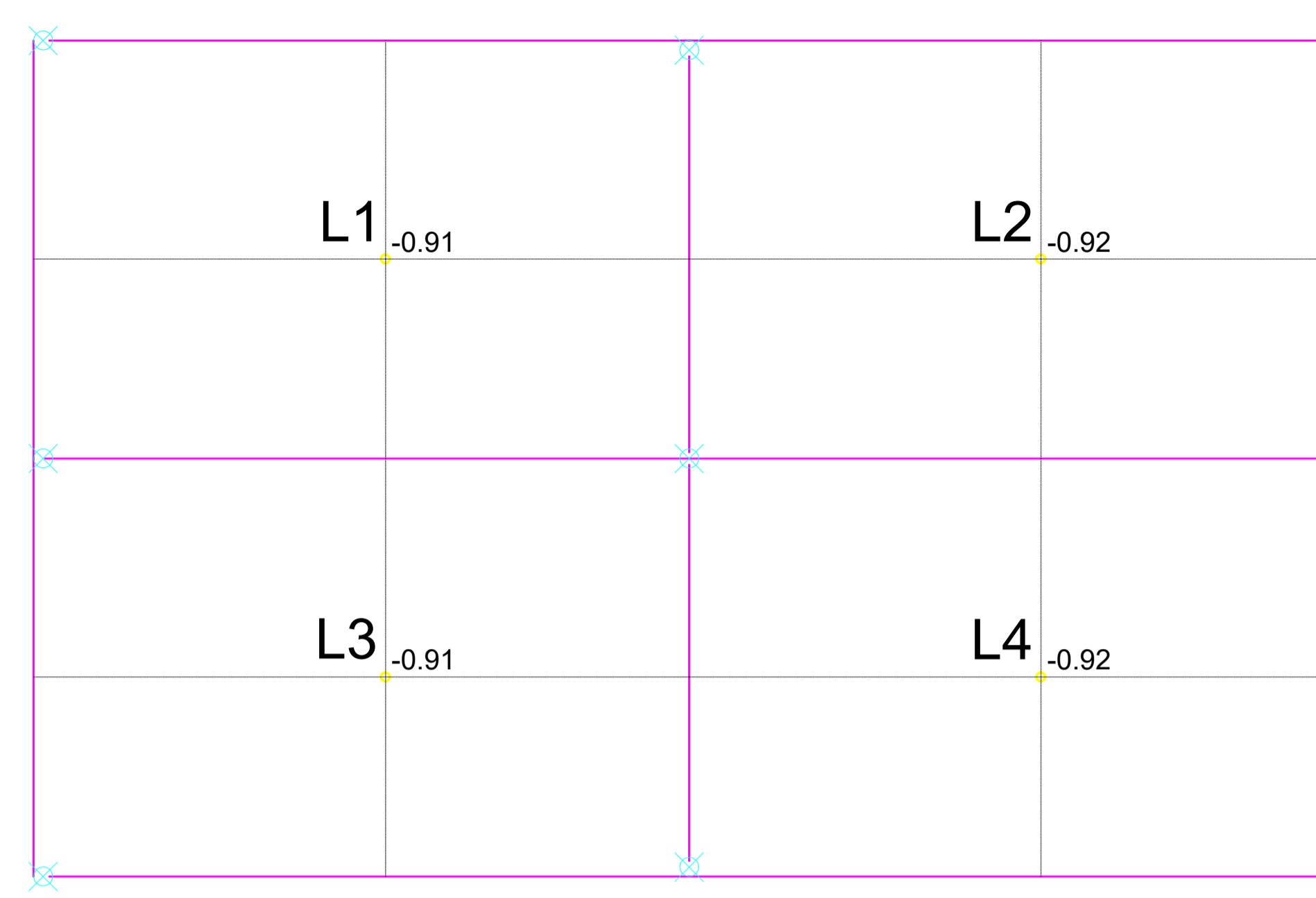
PROJETO EXECUTIVO LAJE NERVURADA PARA MEZANINO



PROPRIETÁRIO YASMIN REGINA BUENO ARAUJO	LOCAL DA OBRA -	EDIFICAÇÃO INDUSTRIAL	
RESP. TÉCNICO ENG.º CIVIL CREA-PR	ART. DE PROJETO -	ART. DE EXECUÇÃO -	DATA 27/09/24
ENG.º CIVIL CREA-PR	ENG.º CIVIL CREA-PR	ESCALA INDICADA	FOLHA 01/02
CONTEÚDO: DETALHAMENTO EXECUTIVO DAS PROPRIEDADES DA LAJE NERVURADA	ANOTAÇÕES: REV. 00 - ENTREGA INICIAL - 27/09/2024	DESENHO: YASMIN BUENO	ÁREA CONSTRUIDA: 126 m ²

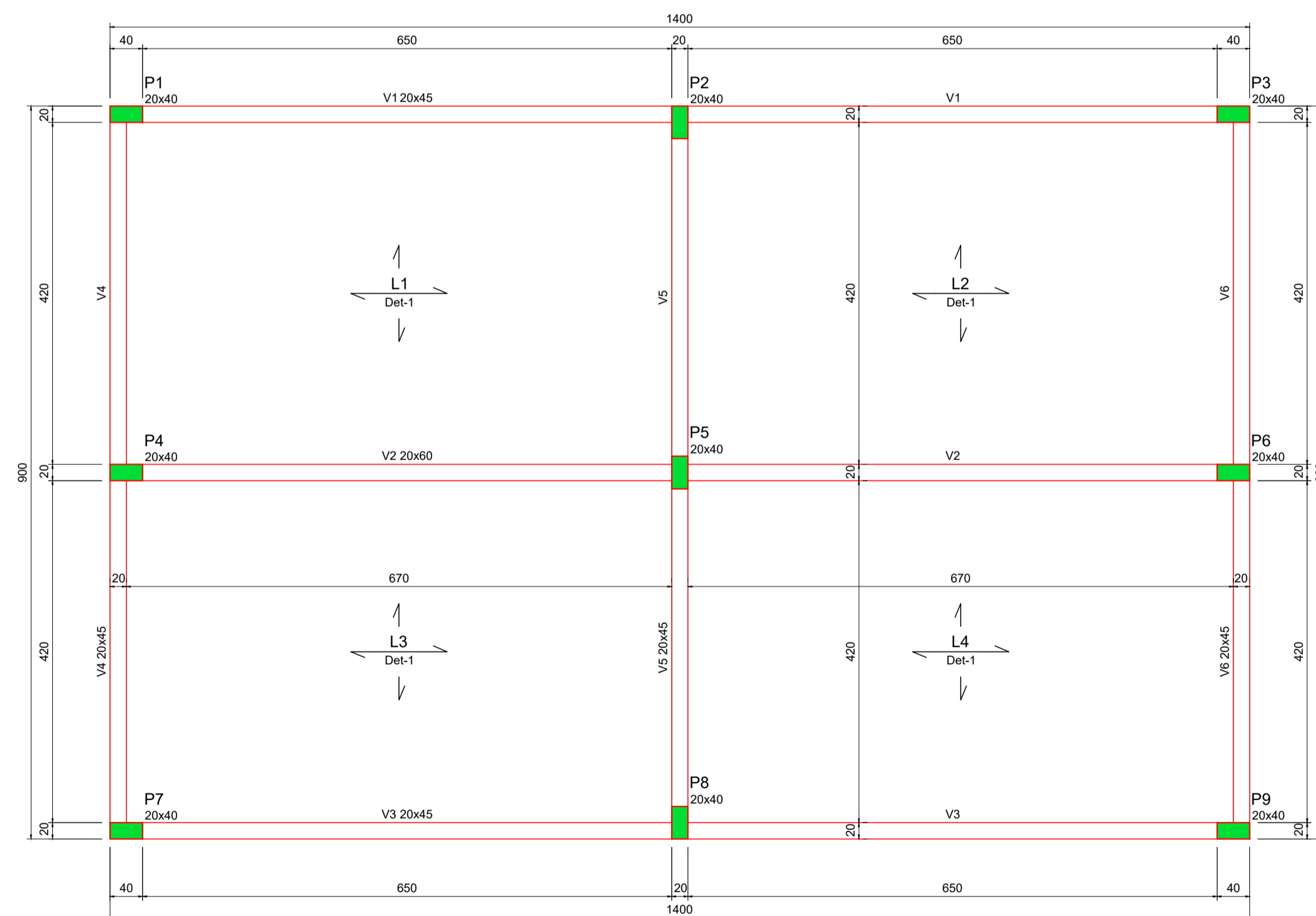


Momentos na Laje



Deslocamentos

Laje	Aceitabilidade sensorial - Visual			Erro estimado (%)
	Deslocamentos (Envoltória)			
	Imediatos	Diferidos	Total	
L1	0.48	0.43	0.91	+2.96
L2	0.48	0.44	0.92	+3.99
L3	0.48	0.43	0.91	+2.71
L4	0.48	0.44	0.92	+3.51



Forma do pavimento Mezanino (Nível 324) escala 1:50

Vigas			
Nome	Seção (cm)	Elevação (cm)	Nível (cm)
V1	20x45	0	324
V2	20x60	0	324
V3	20x45	0	324
V4	20x45	0	324
V5	20x45	0	324
V6	20x45	0	324

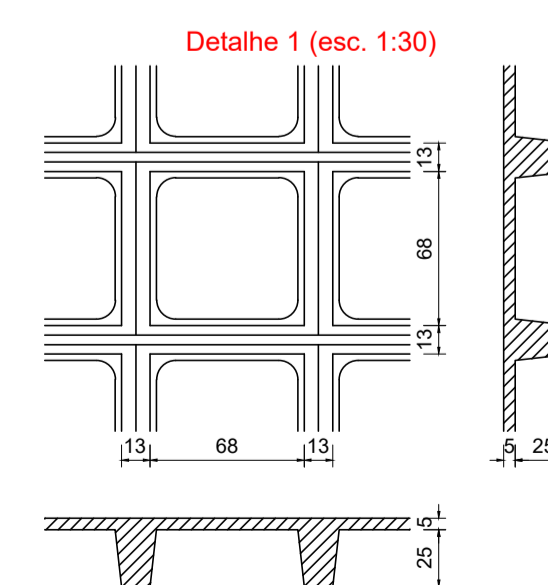
Lajes					
Nome	Tipo	Altura (cm)	Elevação (cm)	Nível (cm)	Sobrecarga (kgf/m²)
L1	Nervurada	30	0	324	450
L2	Nervurada	30	0	324	450
L3	Nervurada	30	0	324	450
L4	Nervurada	30	0	324	450

Área de lajes			
Tipo	Altura (cm)	Bloco de Enchimento	Área (m²)
Nervurada	30	B25/80/80	112.96

Características dos materiais		
Elemento	fck (kgf/cm²)	Ecs (kgf/cm³)
Vigas	300	268384
Pilares	250	241500
Lajes	300	268384

Pilares			
Nome	Seção (cm)	Elevação (cm)	Nível (cm)
P1	20x40	0	324
P2	20x40	0	324
P3	20x40	0	324
P4	20x40	0	324
P5	20x40	0	324
P6	20x40	0	324
P7	20x40	0	324
P8	20x40	0	324
P9	20x40	0	324

Legenda dos pilares		Legenda das vigas e paredes	
	Pilar que morre		Viga



Blocos de enchimento						
Detalhe	Tipo	Nome	Dimensões (cm)			Quantidade
			hb	bx	by	
1	Cubetas	B25/80/80	25	80	80	112
		B25/40/80	25	40	80	32
		B25/80/40	25	80	40	56

PROJETO EXECUTIVO LAJE NERVURADA PARA MEZANINO



PROPRIETÁRIO YASMIN REGINA BUENO ARAUJO	LOCAL DA OBRA -	EDIFICAÇÃO INDUSTRIAL	
RESP. TÉCNICO ENG.º CIVIL CREA-PR	ART. DE PROJETO -	ART. DE EXECUÇÃO -	DATA 27/09/24
ENG.º CIVIL CREA-PR	ENG.º CIVIL CREA-PR	ESCALA INDICADA	FOLHA 02/02
CONTEÚDO: DETALHAMENTO EXECUTIVO DAS PROPRIEDADES DA LAJE NERVURADA	ANOTAÇÕES: REV. 00 - ENTREGA INICIAL - 27/09/2024	DESENHO: YASMIN BUENO	ÁREA CONSTRUIDA: 126 m²



Armação positiva das lajes do pavimento Mezanino (Eixo X) escala 1:50

Armação positiva das lajes do pavimento Mezanino (Eixo Y) escala 1:50

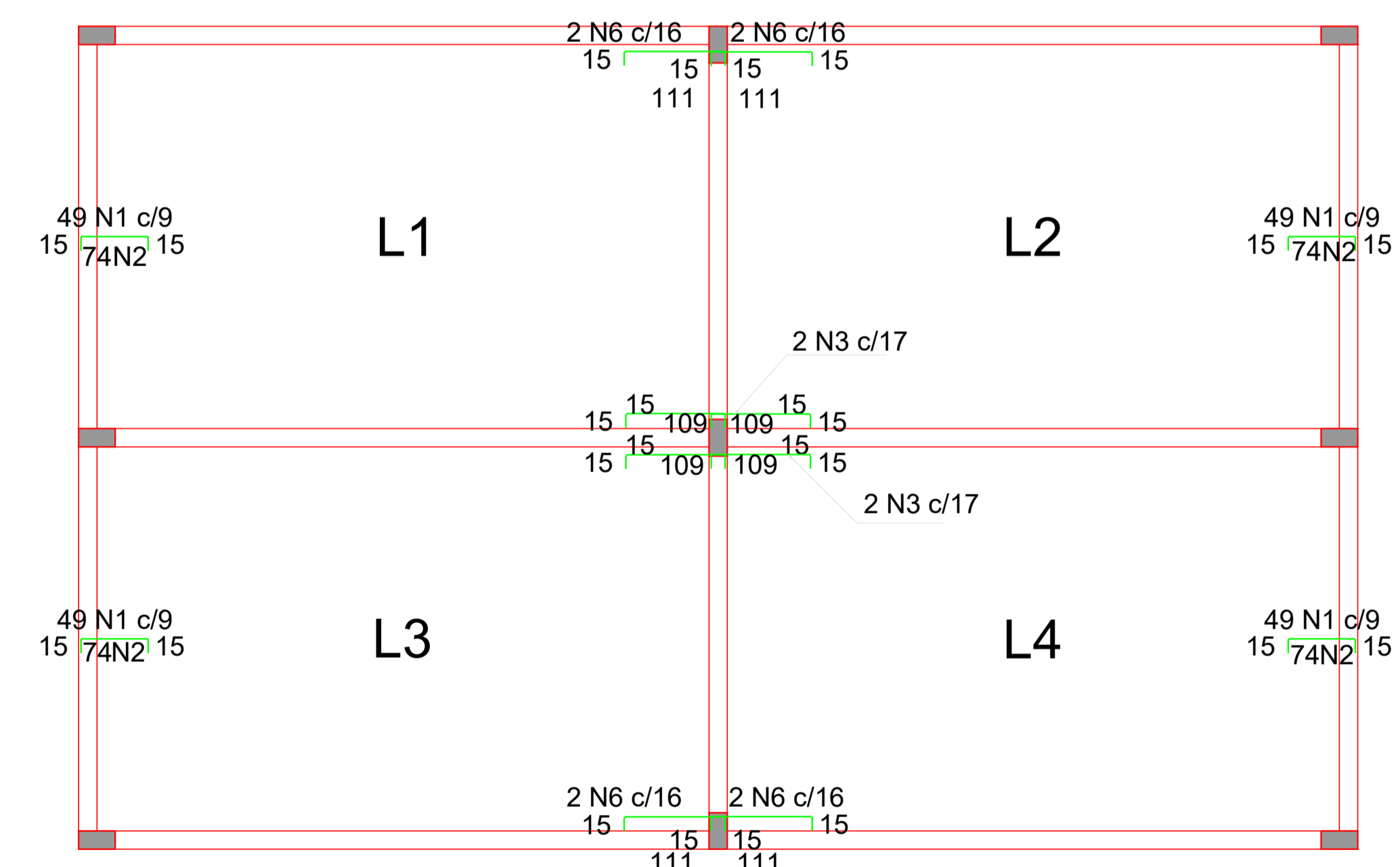
RELAÇÃO DO AÇO

Negativos X		Positivos X		Positivos Y	
AÇO	N	DIAM (mm)	QUANT	C.UNIT (cm)	C.TOTAL (cm)
CA60	1	5.0	196	101	19796
	2	5.0	24	440	10560
CA50	3	8.0	8	135	1080
	4	8.0	108	684	73872
	5	8.0	244	434	105896
	6	10.0	8	136	1088

RESUMO DO AÇO

AÇO	DIAM (mm)	C.TOTAL (m)	QUANT + 10% (Barras)	PESO + 10% (kg)
CA50	8.0	1808.5	166	785
	10.0	10.9	1	7.4
CA60	5.0	303.6	-	51.5
PESO TOTAL (kg)				
CA50	792.3			
CA60	51.5			

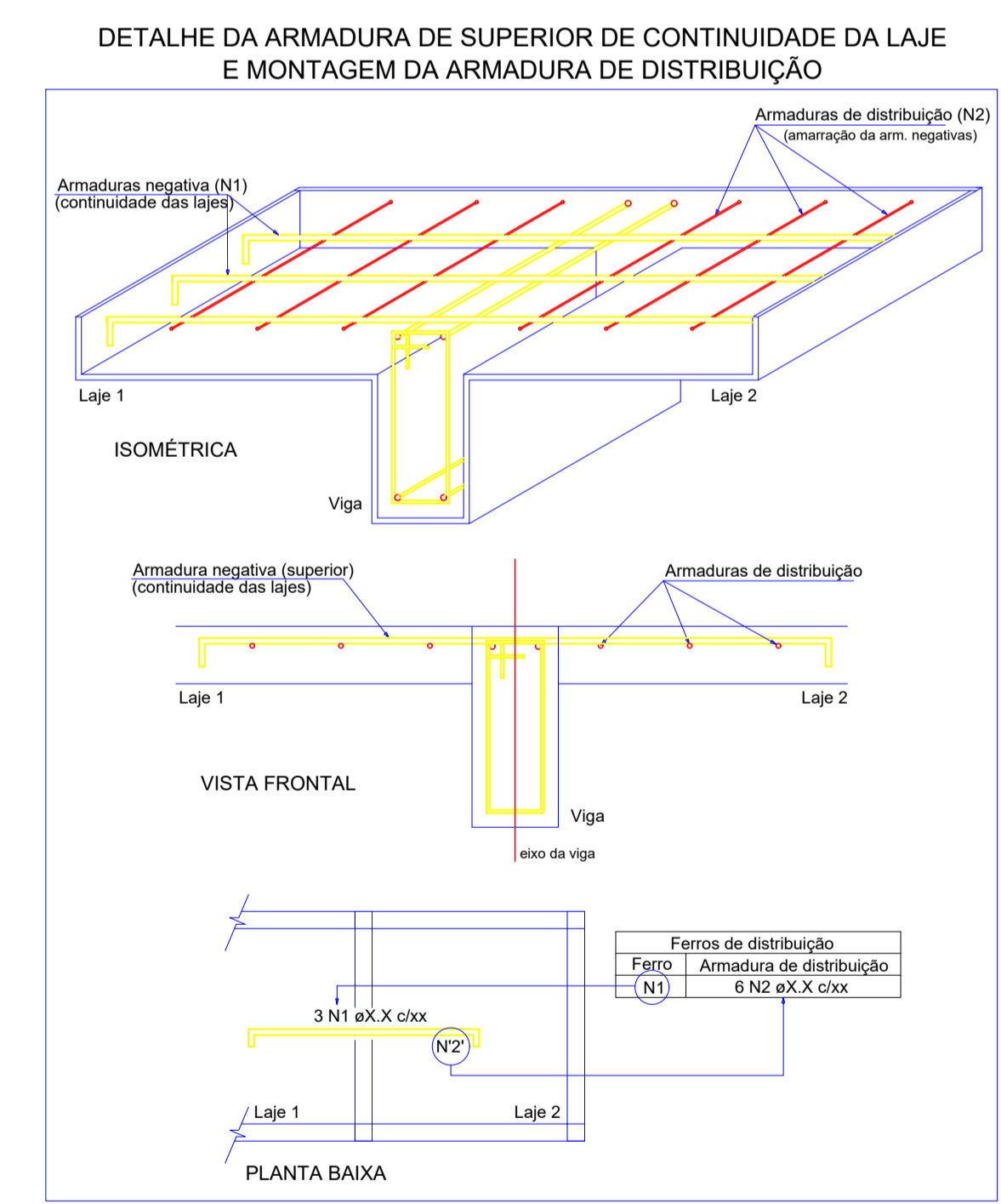
Volume de concreto (C-30) = 22.47 m³
 Área de forma = 112.33 m²



Armação negativa das lajes do pavimento Mezanino (Eixo X) escala 1:50

Armaduras de distribuição

Armadura	Armadura de distribuição
N1	6 N2 ø5.0 c/13 C=440
N1	6 N2 ø5.0 c/13 C=440
N1	6 N2 ø5.0 c/13 C=440
N1	6 N2 ø5.0 c/13 C=440

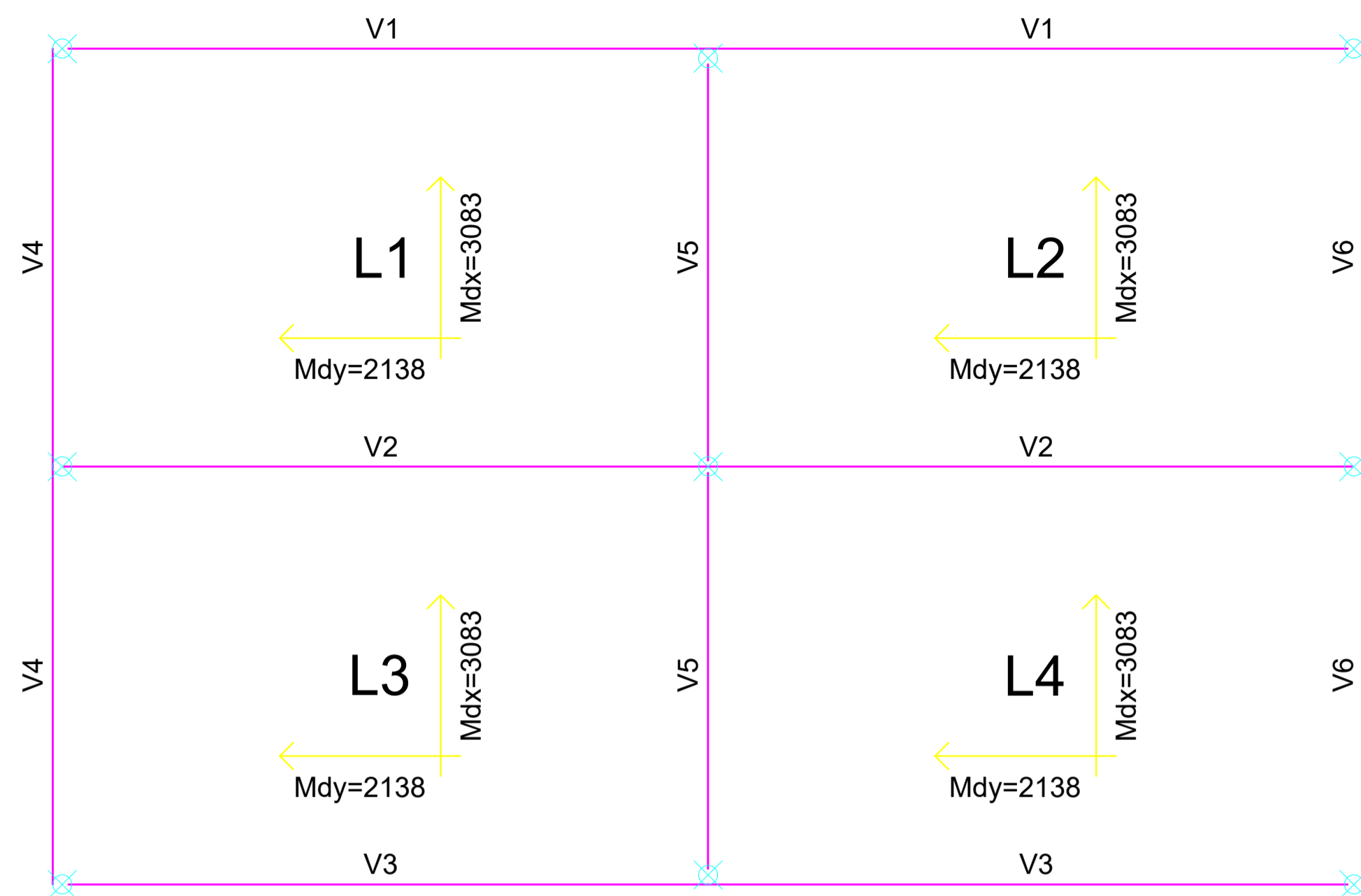


PROJETO EXECUTIVO LAJE MACIÇA PARA MEZANINO

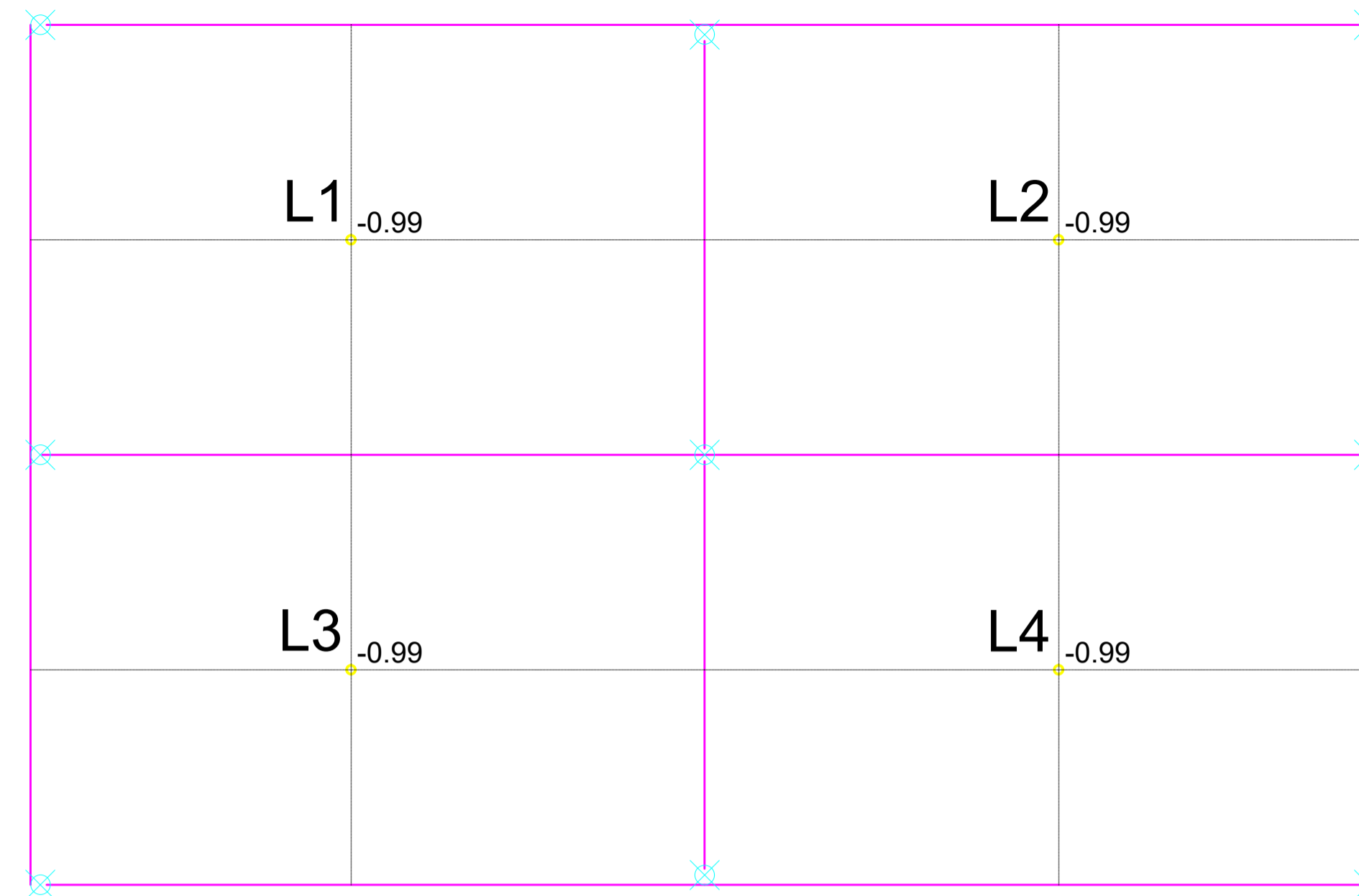
UniCesumar

PROPRIETÁRIO YASMIN REGINA BUENO ARAUJO	LOCAL DA OBRA -	EDIFICAÇÃO INDUSTRIAL	
RESP. TÉCNICO ENG.º CIVIL CREA-PR	ENG.º CIVIL CREA-PR	ART DE PROJETO -	DATA 27/09/24
CONTÉUDO: DETALHAMENTO EXECUTIVO DAS PROPRIEDADES DA LAJE MACIÇA		ANOTAÇÕES: REV. 00 : ENTREGA INICIAL - 27/09/2024	DESENHO: YASMIN BUENO ÁREA CONSTRUTIVA: 126 m ²

01/02

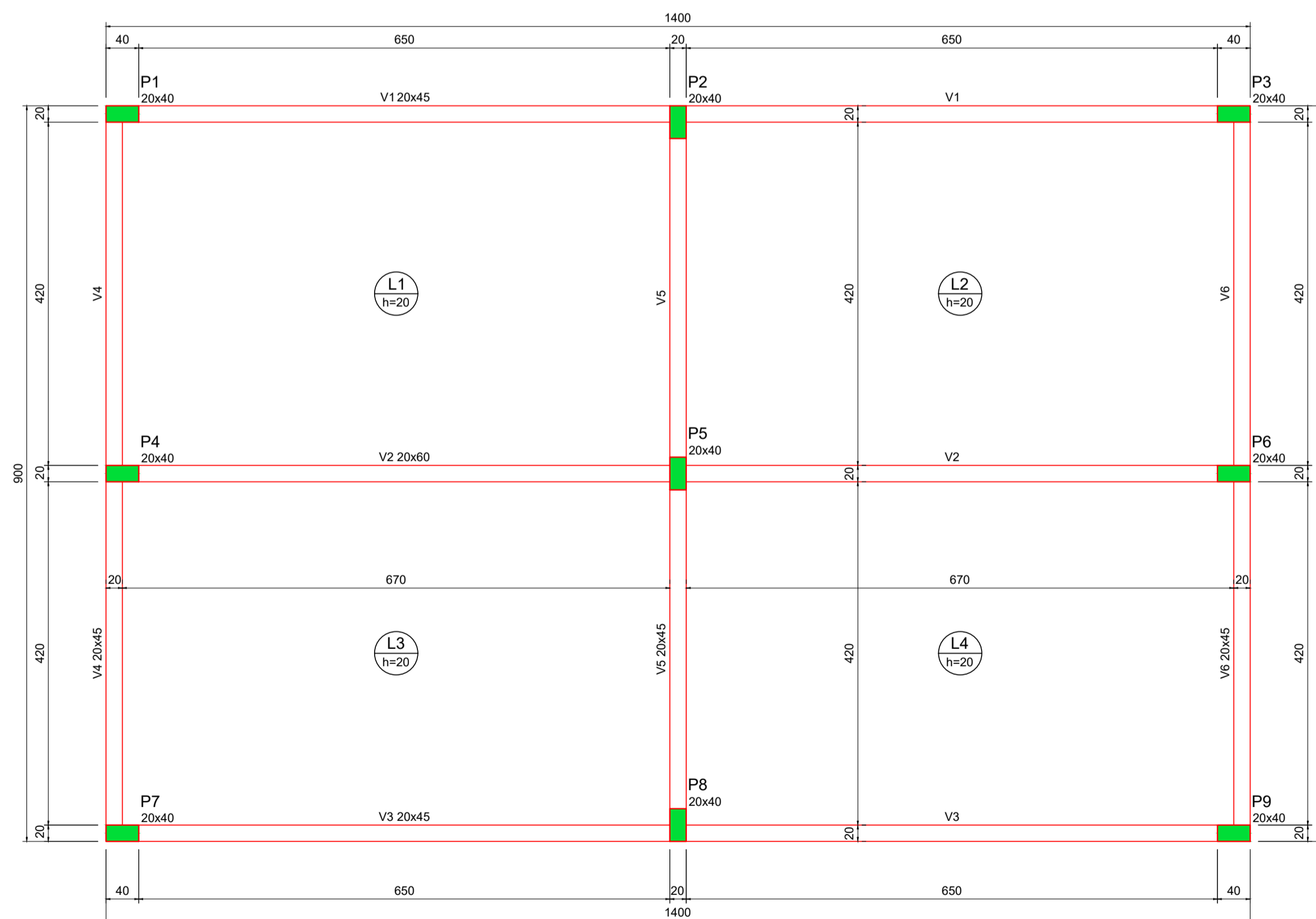


Momentos na Laje



Deslocamentos

Laje	Aceitabilidade sensorial - Visual			Erro estimado (%)
	Deslocamentos (Envoltória)			
	Imediatos	Diferidos	Total	
L1	0.51	0.47	0.99	0.00
L2	0.51	0.47	0.99	0.00
L3	0.51	0.47	0.99	0.00
L4	0.51	0.47	0.99	0.00



Forma do pavimento Mezanino (Nível 324) escala 1:50

Vigas			
Nome	Seção (cm)	Elevação (cm)	Nível (cm)
V1	20x45	0	324
V2	20x60	0	324
V3	20x45	0	324
V4	20x45	0	324
V5	20x45	0	324
V6	20x45	0	324

Lajes					
Nome	Tipo	Altura (cm)	Elevação (cm)	Nível (cm)	Sobrecarga (kgf/m²)
L1	Maciça	20	0	324	450
L2	Maciça	20	0	324	450
L3	Maciça	20	0	324	450
L4	Maciça	20	0	324	450

Área de lajes			
Tipo	Altura (cm)	Bloco de Enchimento	Área (m²)
Maciça	20	-	112.56

Características dos materiais		
Elemento	fck (kgf/cm²)	Ecs (kgf/cm³)
Vigas	300	268384
Pilares	250	241500
Lajes	300	268384

Pilares			
Nome	Seção (cm)	Elevação (cm)	Nível (cm)
P1	20x40	0	324
P2	20x40	0	324
P3	20x40	0	324
P4	20x40	0	324
P5	20x40	0	324
P6	20x40	0	324
P7	20x40	0	324
P8	20x40	0	324
P9	20x40	0	324

Legenda dos pilares		Legenda das vigas e paredes	
	Pilar que morre		Viga

PROJETO EXECUTIVO LAJE MACIÇA PARA MEZANINO



PROPRIETÁRIO YASMIN REGINA BUENO ARAUJO	LOCAL DA OBRA -	EDIFICAÇÃO INDUSTRIAL	
RESP. TÉCNICO ENG.º CIVIL CREA-PR	ART. DE PROJETO -	ART. DE EXECUÇÃO -	DATA 27/09/24
ENG.º CIVIL CREA-PR	ENG.º CIVIL CREA-PR	ESCALA INDICADA	FOLHA 02/02
CONTEÚDO: DETALHAMENTO EXECUTIVO DAS PROPRIEDADES DA LAJE MACIÇA	ANOTAÇÕES: REV. 00 - ENTREGA INICIAL - 27/09/2024	DESENHO: YASMIN BUENO	ÁREA CONSTRUIDA: 126 m²