LAUDO TÉCNICO DE ESTABILIDADE E REFORÇO ESTRUTURAL

DADOS DA EDIFICAÇÃO

Sociedade Concórdia

Solicitante: Prefeitura Municipal de Ivoti

Endereço: Rua Presidente Lucena, 2268 – Bairro Concórdia – Ivoti / RS

RESPONSÁVEL TÉCNICO

Engenheira Civil Jéssica Fröhlich

CREA/RS 222558

Laudo nº: 067-LRE-R00

Ivoti

2026

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 4
2 FINALIDADE 4
3 COMPOSIÇÃO 4
4 METODOLOGIA 4
4.1 Ensaios não destrutivos 5
4.1.1 Inspeção visual 5
4.1.2 Aferição da flecha (deslocamento vertical) das lajes 5
4.2 Ensaio destrutivo 5
5 ANAMNESE 6
5.1 Dados geográficos e climáticos 6
5.2 Dados do terreno 6
5.3 Localização do empreendimento 6
5.4 Descrição da edificação 8
5.5 Documentos apresentados 10
6 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E CONTEXTUALIZAÇÃO TÉCNICA 10
6.1 Contextualização da alteração de uso e das intervenções realizadas 10
6.2 Vida útil, envelhecimento e degradação das estruturas 10
6.3 Carbonatação do concreto 11
6.4 Corrosão de armaduras e repercussões na integridade estrutural 12
7 RESULTADOS DA VISTORIA DAS ESTRUTURAS DE CONCRETO 13
7.1 Inspeção visual e registro fotográfico 13
7.2 Resultados das janelas de inspeção 17
7.2.1 Verificação da profundidade de carbonatação e ocorrência de corrosão de armaduras 18
8 VERIFICAÇÃO DA ESTABILIDADE ESTRUTURAL 21
8.1 Identificação das armaduras existentes 23
8.2 Verificação de lajes 23
8.3 Intervenção estrutural — Inserção de vigas metálicas 24
8.4 Dimensionamento de vigas metálicas de reforço de lajes 25
8.4.1 Vigas metálicas – Reforço estrutural – V107a a V107d, V108a a V108d, V110a a V110d e V111a a V111d. 26
8.4.2 Dimensionamento da placa de base para fixação das Vigas 29
8.5 Verificação de cálculo das vigas de concreto existentes 32
8.5.1 Viga V103 32
8.5.2 Viga V108 35
8.6 Verificação de pilares 38

9 REFORÇO ESTRUTURAL – PROCEDIMENTOS 40
9.1 Sequência dos trabalhos 40
9.2 Reparo estrutural 41
9.3 Encamisamento de vigas e pilares 43
9.4 Perfis metálicos 45
10 QUANTITATIVO 46
11 CONSIDERAÇÕES FINAIS 48
12 ENCERRAMENTO 49
REFERÊNCIAS 50
APÊNDICE A – ANOTAÇÃO DE RESPONSABILIDADE TÉCNICA 51
ANEXO A 52

1 INTRODUÇÃO

Conforme descrito na NBR 13752 (ABNT, 1996) - Perícias de engenharia na construção civil, vistoria de análise de causalidade visa constatar os fatos ou situações com descrição detalhada dos elementos que os constituem com desenvolvimento de processo investigativo tecnicamente fundamentado que permita analisar a existência ou inexistência de nexos causais.

A análise considera as características construtivas observadas, as condições de exposição e uso da edificação, os elementos técnicos disponibilizados e os resultados das inspeções realizadas, de modo a fornecer subsídios para a avaliação do desempenho e da segurança dos elementos analisados e para a definição das medidas de intervenção, recuperação ou monitoramento eventualmente necessárias.

2 FINALIDADE

O presente Laudo Pericial tem por finalidade realizar a avaliação técnica das manifestações patológicas identificadas em elementos estruturais da edificação, buscando caracterizar sua natureza, extensão, causas prováveis e possíveis implicações quanto ao desempenho e à segurança da estrutura, uma vez que a área sobre a estrutura terá alteração de uso.

3 COMPOSIÇÃO

Os documentos referentes à vistoria técnica, de autoria do Engenheiro Civil Jéssica Fröhlich, são:

- **Laudo técnico:** O presente laudo técnico de inspeção predial e reforço estrutural
- **ART:** Anotação de responsabilidade técnica nº 14514686 apresentada Apêndice A;
- **Pranchas do projeto estrutural.**

4 METODOLOGIA

A metodologia utilizada para a realização da perícia de engenharia foi a NBR 13752 (ABNT, 2024), que consiste no desenvolvimento dos seguintes itens:

- Verificação da documentação apresentada;
- Oitiva de informação pertinentes advinda do proprietário;
- Visita técnica e execução de ensaios destrutivos e não destrutivos;
- Elaboração do laudo estrutural.

As visitas técnicas ocorreram nos dias 15 de julho e 08 de Agosto de 2026, e foram realizadas ensaios não destrutivos e destrutivos.

4.1 Ensaios não destrutivos

4.1.1 Inspeção visual

Todos os elementos estruturais da edificação foram submetidos à inspeção visual com o objetivo de identificar os componentes estruturais, registrar eventuais manifestações patológicas e realizar medições in loco. Durante a inspeção, foram aferidas as dimensões de pilares, vigas e lajes, bem como os afastamentos entre os elementos estruturais, utilizando-se trena digital da marca Bosch, modelo GLM 50-12, com precisão a laser.

As imagens fotográficas foram registradas com dispositivo móvel da marca Apple, modelo iPhone 17 Pro Max, e complementadas por registros térmicos obtidos com câmera termográfica acoplada do tipo FLIR One Edge (resolução de 4.800 pixels), com o objetivo de identificar variações de temperatura nos elementos estruturais que pudessem indicar possíveis anomalias.

4.1.2 Aferição da flecha (deslocamento vertical) das lajes

A aferição dos deslocamentos verticais (flechas) das lajes foi realizada com auxílio de nível a laser Bosch, modelo GCL 2-15, e trena manual, permitindo a verificação dos deslocamentos verticais nos pontos avaliados.

4.2 Ensaio destrutivo

O ensaio destrutivo realizado consistiu na abertura de janelas de inspeção nos elementos estruturais (vigas, pilares e laje) com as seguintes finalidades:

- Verificação da profundidade de carbonatação do concreto por meio da aplicação de solução de fenolftaleína a 1%, aspergida na face exposta da janela de inspeção;
- Identificação das armaduras presentes nos elementos estruturais, com avaliação de sua posição, diâmetro e estado superficial.

Para a execução das medições foi utilizado um paquímetro digital de 150 mm, marca MTX, empregado tanto na aferição do diâmetro das armaduras quanto na determinação da profundidade da carbonatação.

Obs.: A verificação da profundidade de carbonatação do concreto foi realizada por meio da aplicação de solução de fenolftaleína a 1% sobre a superfície recém-exposta da janela de inspeção. A solução atua como um indicador de pH: regiões com pH superior a 9 (não carbonatadas) adquirem coloração rósea, enquanto as áreas carbonatadas permanecem incolores. A profundidade de

carbonatação, ou Pc, é determinada pela medição da distância entre a face externa do elemento estrutural e o limite visual da transição de cor.

5 ANAMNESE

5.1 Dados geográficos e climáticos

O município de Ivoti está localizado em uma área de transição entre a depressão central e a Serra Geral, situando-se nos primeiros níveis da Serra ou do Planalto Riograndense. O clima da região é subtropical, com as quatros estações do ano bem definidas. Esse clima se destaca pela ampla variação de temperaturas, apresentando verões quentes e invernos frios. A região possui altitudes relativamente baixas, com a sede do município localizada a apenas 144 metros acima do nível do mar. As chuvas são frequentes ao longo do ano, e, em determinadas épocas, especialmente no final do inverno, podem provocar enchentes. O índice pluviométrico médio anual é de cerca de 1.600 mm (IVOTI, 2016).

5.2 Dados do terreno

Endereço: Avenida Presidente Lucena, 2268 – Bairro Concórdia– Ivoti/RS
Topografia: Declive;
Área total: 2.751,72m²
Situação: Meio de quadra;
Testada: no nível do logradouro.

5.3 Localização do empreendimento

O imóvel localiza-se em área urbana, no centro do município conforme pode ser visto na Figura 1. A Figura 2 apresenta o imóvel em detalhe.

Figura 1 – Localização do empreendimento



Fonte: Google Earth (2025).

Figura 2 – Vista aérea do empreendimento



Fonte: Google Mapas (Maio-2026).

5.4 **Descrição da edificação**

O imóvel é composto por dois pavimentos com total de 1.582,11m² é do tipo institucional, de uso recreativo e construído em duas etapas.

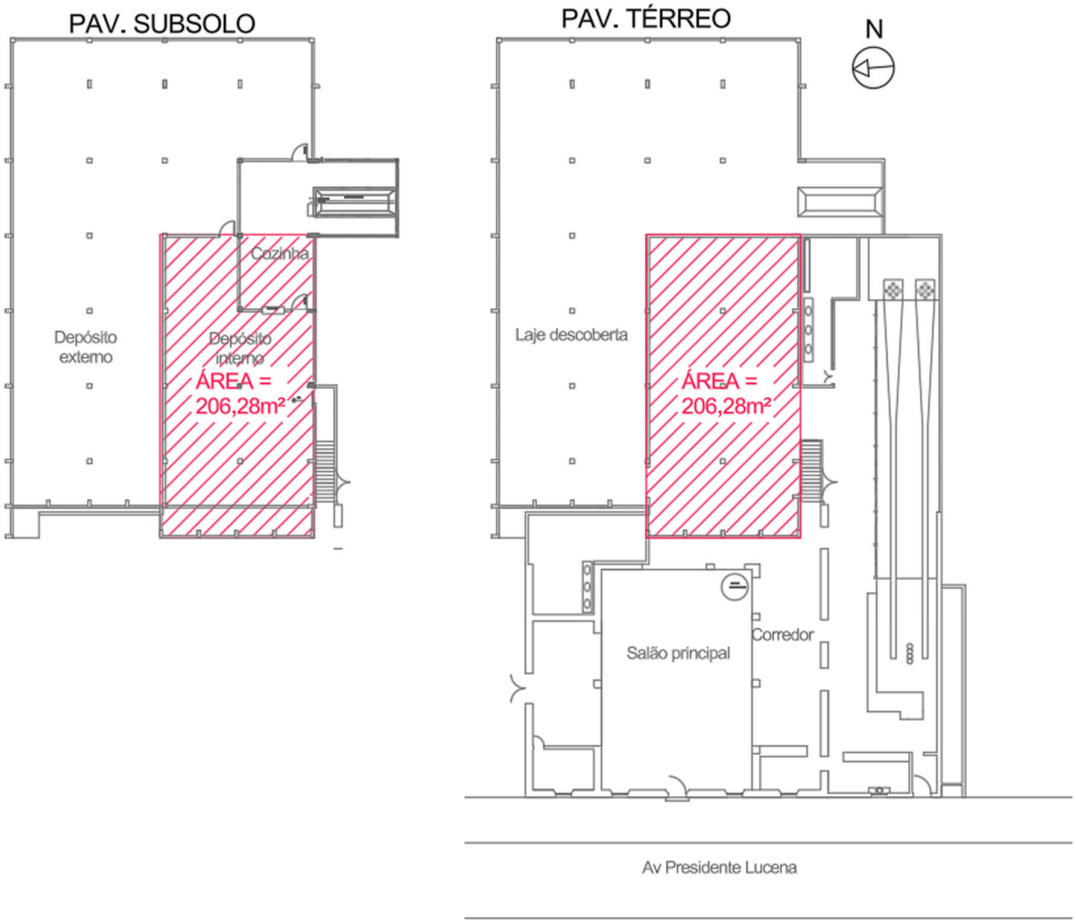
O pavimento térreo, no nível do logradouro, possui área total de 973,09m², sendo que aproximadamente 302,10m² foram edificados no ano de 1924 e o restante com idade estimada de 20 anos. O térreo é composto pelos salões, hall de entrada, depósito, banheiros, corredores e escada interna de acesso ao subsolo.

O pavimento subsolo com área de 609,02m² também possui idade estimada de 20 anos e é composto por uma área interna que compreende a cozinha e depósito e a área externa coberta utilizado como depósito.

Área objeto do presente laudo é de 227,86m², composto pelo térreo e subsolo.

O croqui do imóvel foi desenvolvido com base no projeto arquitetônico fornecido pelo solicitante e com a inspeção visual realizada durante a vistoria. O croqui da Figura 3 apresenta a edificação em sua totalidade, com as áreas objeto de estudo deste laudo devidamente delimitadas por hachuras.

Figura 3 - Croqui da edificação e limitação da área objeto do laudo



Fonte: elaborado pela responsável técnica.

Historicamente, a área objeto deste laudo sempre contou com cobertura e alvenarias. Contudo, durante a reforma recentemente realizada, a laje permaneceu exposta às intempéries (chuva, sol e vento) por alguns meses, em razão da execução da reforma e da substituição da cobertura existente por uma nova, ocasionando infiltrações de água. Atualmente, a laje encontra-se coberta.

O sistema estrutural da área objeto deste laudo é constituído por vigas e pilares em concreto armado moldado in loco, com lajes maciças. No total foram inspecionados 19 pilares, 8 vigas e 8 lajes.

A edificação encontra-se em estado acabado. O subsolo conta com piso cerâmico, alvenarias rebocadas e pintadas, bem como pilares, vigas e laje pintados. As esquadrias são constituídas por janelas basculantes de ferro pintadas, portas externas de ferro pintadas e portas internas de madeira. O 2º pavimento passou recentemente por reforma, tendo recebido novo piso cerâmico, reboco e pintura nas paredes, além de nova cobertura metálica e forro em PVC.

5.5 Documentos apresentados

Os documentos apresentados pelo proprietário do imóvel foram:

- Projeto arquitetônico “as built”.

Não foram encontrados registros de documentos técnicos como projetos arquitetônico e estrutural, memorial descritivo, detalhamentos construtivos de execução da edificação. O solicitante apenas apresentou um projeto arquitetônico de “as built” da edificação. Não há registro ou relato de algum evento específico que possa ter influenciado a edificação, como reformas, usos indevidos da edificação, incêndio ou alagamentos.

6 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E CONTEXTUALIZAÇÃO TÉCNICA

6.1 Contextualização da alteração de uso e das intervenções realizadas

O local, anteriormente, não possuía uso específico, sendo utilizada como área de depósito. Está prevista, para o futuro próximo, a utilização do espaço como academia de ginástica, implicando alteração das condições de uso e de carregamento da laje**.**

Durante a reforma, foram realizadas intervenções que resultaram em acréscimo de cargas sobre a estrutura. O piso cerâmico existente foi removido, mantendo-se a camada original de argamassa colante, sobre a qual foi aplicada nova camada de argamassa colante e assentado novo piso cerâmico. Essa condição representa acréscimo de carga permanente sobre as lajes, transmitida às vigas e, posteriormente, aos pilares.

Também foram executados revestimentos de reboco nas alvenarias, que originalmente se encontravam sem revestimento, resultando em acréscimo de carga sobre os elementos estruturais. Além disso, foram instalados pilares metálicos sobre os pilares que terminam na laje, destinados ao apoio da estrutura da cobertura, introduzindo cargas adicionais sobre a estrutura existente.

Diante das alterações de uso e das intervenções realizadas, que implicaram acréscimo de cargas sobre o sistema estrutural, faz-se necessária a verificação da capacidade resistente da estrutura existente, considerando as condições atuais de carregamento.

6.2 Vida útil, envelhecimento e degradação das estruturas

As estruturas de concreto estão sujeitas, ao longo do tempo, a processos naturais de envelhecimento e deterioração decorrentes das condições de exposição ambiental, utilização e manutenção. A ocorrência de manifestações de deterioração, portanto, não caracteriza, por si só, o término da vida útil ou o comprometimento da segurança da estrutura, devendo ser avaliada em função

da intensidade, extensão e evolução dos mecanismos envolvidos e de suas possíveis repercussões sobre o desempenho dos elementos estruturais.

A edificação objeto da presente análise possui idade superior a 20 anos, encontrando-se, portanto, em uma etapa avançada de seu período de utilização. Para fins de contextualização, pode-se estabelecer uma analogia com os critérios atualmente adotados para a vida útil de projeto de edificações habitacionais. A NBR 15575 estabelece parâmetros de vida útil de projeto para sistemas das edificações habitacionais, incluindo valores de referência para o sistema estrutural. Ressalta-se que a referida norma é posterior à construção da edificação objeto deste laudo e se aplica a edificações habitacionais, não sendo diretamente aplicável ao imóvel em análise, cuja ocupação é caracterizada como clube social e comunitário. Assim, a norma não constitui critério de exigência retroativa ou de verificação da conformidade da edificação existente, sendo utilizada exclusivamente como referência técnica para contextualizar a ordem de grandeza da vida útil atualmente considerada para estruturas.

Considerando-se, a título comparativo, a VUP mínima de 50 anos usualmente estabelecida como referência para o sistema estrutural de edificações habitacionais, uma edificação com mais de 20 anos de utilização já percorreu parcela significativa desse período de referência. Nesse contexto, a identificação de mecanismos de deterioração associados ao envelhecimento, tais como carbonatação, corrosão das armaduras, fissuração e desplacamento do concreto de cobrimento, constitui fenômeno que deve ser analisado considerando a idade da estrutura, suas condições de exposição e seu histórico de manutenção. Tal condição, entretanto, não permite concluir isoladamente pela perda de integridade estrutural ou pelo término da vida útil, sendo necessária a avaliação das manifestações efetivamente constatadas e de suas repercussões sobre os elementos analisados.

6.3 **Carbonatação do concreto**

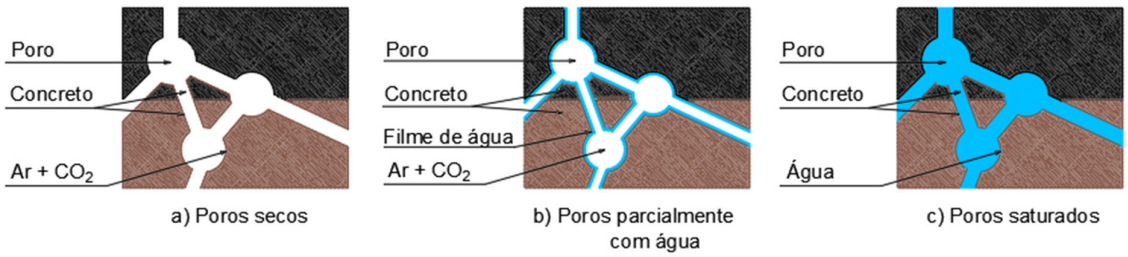
A carbonatação do concreto consiste em um processo físico-químico decorrente da penetração e difusão do dióxido de carbono (CO_2) presente na atmosfera através da rede de poros de concreto, seguido de sua dissolução na solução dos poros e reação com compostos alcalinos presentes na pasta de cimento, especialmente o hidróxido de cálcio. Como consequência desse processo, ocorre redução de alcalinidade do concreto e, quando a frente de carbonatação atinge a região das armaduras, pode ocorrer a despassivação do aço, tornando-o suscetível à corrosão, desde que estejam presentes condições ambientais e eletroquímicas favoráveis.

A determinação da profundidade de carbonatação (Pc) constitui um importante parâmetro para a avalição das condições de durabilidade de estruturas de concreto armado. A comparação entre a profundidade da frente de carbonatação e a espessura do cobrimento permite avaliar se o processo de carbonatação já alcançou a região das armaduras, constituindo um indicativo relevante para a análise do potencial de despassivação do aço (CASCUDO, 1997). Ressalta-se, entretanto, que a ocorrência de

carbonatação não implica, isoladamente, a existência de corrosão ativa das armaduras, uma vez que a evolução e a intensidade do processo corrosivo dependem também das condições de umidade, disponibilidade de oxigênio, características do concreto, condições de exposição e demais fatores relacionados ao sistema aço-concreto.

Entre os principais fatores que influenciam o avanço da carbonatação destacam-se as características da rede de poros do concreto, a relação água/aglomerante, o grau de hidratação e cura, a composição do material cimentício, a concentração de CO_2 e as condições ambientais da temperatura e umidade. A umidade relativa exerce influência significativa sobre o processo, uma vez que, em condições muito secas, há insuficiência de água para a dissolução do CO_2 e desenvolvimento das reações químicas, enquanto em condições próximas a saturação a elevada presença de água nos poros dificulta a difusão do CO_2 (). Dessa forma, condições de umidade intermediária tendem a favorecer o avanço da carbonatação (PARROTT, 1987; BAKKER, 1988; VON GREVE-DIERFELD et al., 2020).

Figura 4 - Matriz do concreto



Fonte: modificado de (BAKKER, 1988)

A concentração de dióxido de carbono disponível no ambiente também constitui fator de influência sobre a taxa de carbonatação, assim como a permeabilidade e a estrutura de poros do concreto. Concretos com maior conectividade da rede de poros tendem a apresentar maior facilidade de transporte de gases e líquidos, favorecendo a penetração de agentes agressivos. Entretanto, a resistência à carbonatação não deve ser relacionada exclusivamente à resistência mecânica do concreto, uma vez que diferentes características de composição, cura, microestrutura e condições de exposição podem modificar significativamente o comportamento do material (VON GREVE-DIERFELD et al., 2020).

6.4 **Corrosão de armaduras e repercussões na integridade estrutural**

A corrosão das armaduras constitui um dos principais mecanismos de deterioração das estruturas de concreto armado. A formação e o acúmulo de produtos de corrosão na interface aço-concreto podem provocar expansão volumétrica, gerando tensões internas que favorecem o surgimento

de fissuras longitudinais, destacamento e desplacamento do concreto de cobrimento. Com a evolução do processo, podem ocorrer exposição das armaduras, perda de aderência entre aço e concreto e redução da seção transversal das barras.

A redução da área das armaduras e a perda de aderência podem repercutir no comportamento mecânico dos elementos estruturais, podendo resultar em redução de sua capacidade resistente, dependendo da intensidade, extensão e localização da deterioração. Da mesma forma o desplacamento do cobrimento que está associado à perda de durabilidade e proteção das armaduras, pode contribui para a progressão do processo corrosivo (CASCUDO, 1997; FANG et al., 2004)

Dessa forma, a presença de corrosão, fissuras ou desplacamento não implica, isoladamente, comprometimento da capacidade resistente do elemento. A avaliação da integridade estrutural deve considerar a extensão e intensidade das manifestações, o estado e a seção das armaduras, as características geométricas e funcionais dos elementos e as demais evidências obtidas durante a inspeção. Assim, a presente análise busca distinguir as manifestações relacionadas à deterioração da durabilidade daquelas que apresentam efetiva repercussão sobre a integridade e o desempenho estrutural dos elementos avaliados.

7 RESULTADOS DA VISTORIA DAS ESTRUTURAS DE CONCRETO

Em síntese, as anomalias identificadas na edificação correspondem à corrosão das armaduras e ao desplacamento do concreto, manifestações patológicas que ocasionam perda de desempenho e comprometer a estabilidade estrutural. O resultado da vistoria será apresentado e discutido nos itens subsequentes.

7.1 **Inspeção visual e registro fotográfico**

Durante a inspeção foram identificadas anomalias relacionadas a falhas de execução, como ninhos de concretagem e desalinhamento entre pilares e vigas.

Figura 5 – Vista geral das áreas objeto do laudo a) 2º pavimento e b) subsolo



Fonte: responsável técnica.

Durante a inspeção visual das lajes existentes, foram identificadas fissuras nas lajes L1 e L3, com desenvolvimento predominantemente no sentido da disposição da armadura positiva (ver Figura 6). A orientação e a localização das fissuras, associadas às condições observadas no local, constituem indícios compatíveis com a possibilidade de corrosão das armaduras, especialmente considerando a presença de manifestações relacionadas à umidade nessas lajes.

Figura 6 – Vista das lajes L3 e L5



Fonte: responsável técnica.

Nas lajes L1 e L3 também foram observados mofo, bolor e desplacamento da pintura, evidenciando a ocorrência de umidade e condições favoráveis à degradação dos materiais. A presença contínua de umidade pode contribuir para a deterioração do concreto e para a corrosão das armaduras, podendo resultar na formação e evolução de fissuras e, posteriormente, em desplacamentos do cobrimento.

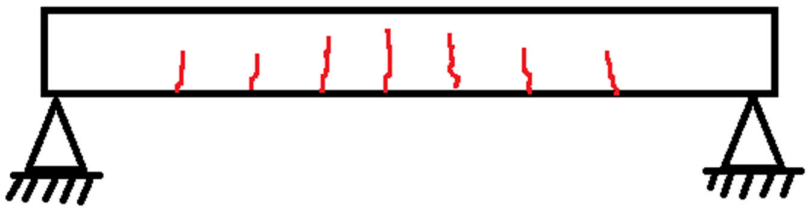
Além das manifestações descritas, foi constatada presença de deslocamento vertical perceptível visualmente nas lajes L1 e L3, caracterizando a existência de deformações significativas. Essa condição foi posteriormente avaliada por meio das medições dos deslocamentos verticais e da verificação estrutural das lajes.

Em relação às vigas e aos pilares inspecionados, não foram identificadas manifestações aparentes associadas à corrosão das armaduras, apresentando-se esses elementos íntegros quanto a esse aspecto. Foram observadas, entretanto, ocorrências pontuais de mofo e bolor nas regiões de contato com as lajes, associadas à presença de umidade no ambiente e nas superfícies adjacentes. Não foram

constatados, durante a inspeção visual, desplacamentos ou destacamentos do cobrimento de concreto nesses elementos decorrentes de processos aparentes de corrosão das armaduras.

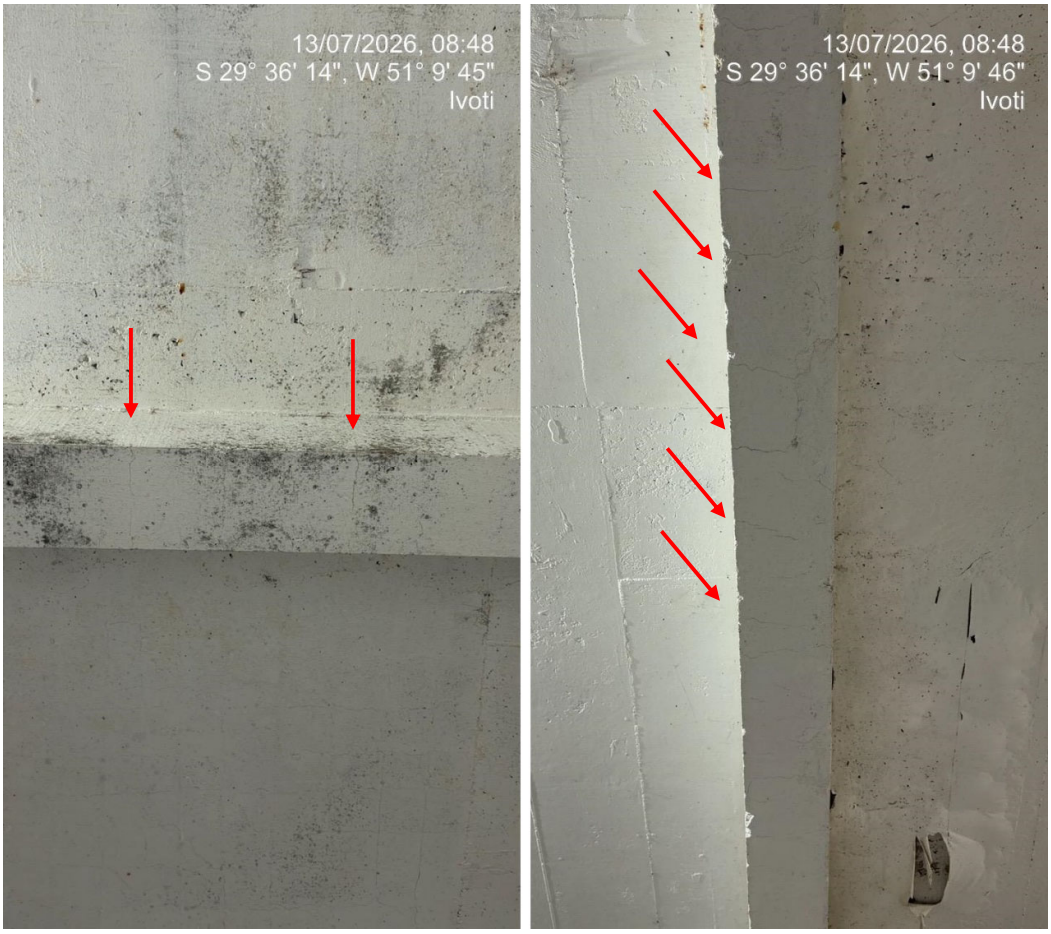
Entretanto, algumas das vigas que circundam a Laje L3 apresentaram fissuras de orientação predominantemente vertical (perpendicular ao sentido da viga – Ver Figura Figura 7 e Figura 8), localizadas nas regiões de maior solicitação à flexão, com padrão característico de fissuração por flexão. Destacam-se a Viga V102, V103 e V106. A configuração e a localização dessas fissuras são compatíveis com insuficiência de armadura longitudinal positiva para as solicitações atuantes, condição posteriormente avaliada por meio da verificação estrutural desses elementos.

Figura 7 - Croqui das fissuras identificadas nas vigas



Fonte: FJ Engenharia (2026).

Figura 8 – Fissuras nas vigas a)V102 e b)V103



Fonte: responsável técnica.

7.2 **Resultados das janelas de inspeção**

Foram abertos no total 6 janelas de inspeção: i) 3 em pilares, ii) 2 na face inferior das vigas, iii) 1 na laje. O levantamento estrutural deste laudo considera também as informações obtidas no levantamento previamente realizado na edificação contígua objeto do Laudo técnico de Inspeção Predial n° 055-LT-R00, sob ART nº14084612, tendo em vista que os sistemas estruturais são interligados e compartilham algumas vigas e pilares em comum, os quais já foram objeto de inspeção.

Observa-se que a verificação das armaduras negativas tanto das vigas quanto das lajes não foi realizada.

Os resultados da verificação quanto a profundidade de carbonatação e da identificação das armaduras serão discutidos nos itens subsequentes.

7.2.1 Verificação da profundidade de carbonatação e ocorrência de corrosão de armaduras

Os resultados dos ensaios indicam que a profundidade de carbonatação varia entre 15 mm a 20mm dentre os elementos inspecionados, os quais apresentaram comportamento similar. Já o cobrimento das armaduras resultou em variância maior, de 15mm a 40mm. Ressalta-se que a relação entre a profundidade de carbonatação e o cobrimento das armaduras é relevante para a avaliação da possibilidade de despassivação e início do processo corrosivo das armaduras, uma vez que, quando a frente de carbonatação atinge a região da armadura, ocorre a redução da proteção proporcionada pelo concreto**.**

Durante a inspeção, observou-se que nenhum dos pilares ou das vigas apresentou estado avançado de corrosão das armaduras, caracterizado por desplacamento do cobrimento de concreto, fissuras longitudinais decorrentes do processo corrosivo ou perda de seção das armaduras (Figura 9). Exceção foi observada na laje 1 e 3, que apresentava mofo decorrente de umidade, desplacamento da pintura e destacamento do cobrimento da armadura positiva da laje em uma região localizada, e fissuras que acompanhavam o posicionamento das armaduras positivas. Embora não tenham sido observados danos de maior gravidade, verificou-se que as armaduras inspecionadas por meio das janelas de inspeção já apresentavam sinais iniciais de processo corrosivo, evidenciados por manchas de coloração alaranjada (Figura 12b). O Quadro 1apresenta o resumo dos dados obtidos através das aberturas das janelas de inspeção.

Figura 9 – Estado de conservação dos pilares e vigas inspecionados



Fonte: responsável técnica.

Figura 10 – Registro fotográfico da a) Viga V3 e b) V7



Fonte: responsável técnica.

Figura 11 - Registro fotográfico do a) pilar P17 e b) P12



Fonte: responsável técnica.

Figura 12 - Registro fotográfico do a) Pilar P11 e b) Laje L3



Fonte: responsável técnica.

Quadro 1 – Resumo dos dados obtidos das janelas de inspeção

Elemento estrutural	**c[1] (mm)**	**Pc[2] (mm)**	**Estado de conservação da armadura**
Viga – V3	15	20	Início de processo corrosivo
Viga – V7	20	20	Início de processo corrosivo
Pilar – P11	25	15	Íntegro
Pilar – P12	40	20	Início de processo corrosivo
Pilar – P17	20	15	Início de processo corrosivo
Laje – L3	5	20	Estado avançado de corrosão de armadura, com fissuras longitudinais à armadura e desplacamento do cobrimento de concreto
Obs: 1) c = cobrimento do concreto; 2) Pc = Profundidade de carbonatação.			

Fonte: responsável técnica.

8 VERIFICAÇÃO DA ESTABILIDADE ESTRUTURAL

A verificação da estabilidade estrutural tem como principal objetivo avaliar se a estrutura existente apresenta capacidade resistente adequada para suportar as novas solicitações decorrentes da

alteração de uso da edificação, considerando o incremento significativo das cargas distribuídas sobre as lajes.

Essa avaliação assume especial importância diante das manifestações patológicas identificadas durante a inspeção, incluindo fissuras nas vigas com características compatíveis com solicitações de flexão e indícios de insuficiência de armadura, bem como deslocamentos verticais excessivos nas lajes e fissuras que acompanham, em determinados pontos, a disposição das armaduras positivas.

Nesse contexto, a introdução das novas cargas decorrentes da utilização prevista poderá aumentar as solicitações nos elementos estruturais existentes e contribuir para o agravamento das manifestações já observadas. Assim, a análise da capacidade resistente e do comportamento em serviço da estrutura é fundamental para avaliar a sua adequação à nova condição de uso e definir, quando necessário, as medidas de intervenção estrutural pertinentes.

A verificação da estabilidade estrutural também considerou cargas decorrente do empuxo do solo localizado em parte da edificação. Nesse local encontra-se um muro de contenção, composto por cortina, pilares e vigas em concreto.

Além disso, o modelo estrutural considera o reforço estrutural da área adjacente, anteriormente analisada, também composto por vigas metálicas sob as lajes. Essa condição foi considerada para representar a configuração estrutural após a implantação dos reforços e sua influência na distribuição dos esforços na analise da estabilidade global da edificação.

A verificação da estabilidade estrutural da edificação foi realizada através do dimensionamento da armadura necessária ($A_{s,nec}$) e comparada com a armadura existente ($A_{s,ex}$). A cargas utilizadas para o dimensionamento estão de acordo com a NBR 6120:

- Lajes:

Carga Permanente	450 kgf/m²
Carga Acidental (sobrecarga útil)	500 kgf/m²
CARGA TOTAL	950 kgf/m²

- Vigas:

Carga proveniente das lajes e/ou vigas apoiadas, conforme de acordo com o modelo estrutural.

Carga de alvenaria apenas sobre as vigas V101, V 105, V 106 e V110.

- Pilares:

Carga proveniente de vigas, conforme de acordo com o modelo estrutural.

A resistência à compressão do concreto foi estimado em 15MPa.

8.1 Identificação das armaduras existentes

As armaduras principais e os estribos de vigas e pilares foram confirmados através de ensaio destrutivo, abertura de janelas de inspeção. O espaçamento entre estribos foi identificado com o uso de pacômetro. A espessura do cobrimento de armadura também foi verificada através das janelas de inspeção, espessura variável entre 15 a 25mm.

Foram abertas um total de 4 janelas de inspeção nos pilares P4, P8, P17 e P12.

As armaduras positivas, negativas e de cisalhamento das vigas foram identificadas por meio da abertura de janelas de inspeção. As vigas verificadas foram V103 e V109.

A espessura da laje foi confirmada pela abertura de uma janela de inspeção, na qual também foi possível confirmar a tipologia, e também a altura das camadas de contrapiso, argamassa colante e piso cerâmico.

8.2 Verificação de lajes

As lajes existentes são do tipo maciça, com distribuição de carga bi-direcional, de 12cm de altura, com as seguintes dimensões e características:

- Espessura da laje: 12cm de altura
- Armadura existente: positiva: Ø 5,0 mm c/10 cm, nas duas direções; negativa: indeterminada
- Camada de regularização: 5 a 6cm;
- Argamassa colante: 0,5cm
- Piso cerâmico: 1cm

Conforme, os critérios de dimensionamento estabelecidos na NBR 6118 (ABNT, 2023), a flecha máxima admissível ($f_{máx\ adm}$) é:

$$f_{máx\ adm} = \frac{l}{250}$$

Foram realizadas medições dos deslocamentos verticais (flechas) de cada uma das lajes avaliadas. Ressalta-se que a ocorrência de deslocamentos verticais em elementos estruturais é esperada e está associada ao comportamento natural das estruturas sob ação das cargas atuantes, devendo, contudo, ser verificada quanto aos limites estabelecidos pela NBR 6118 (ABNT, 2026). Os valores obtidos nas medições são apresentados no Quadro 2, juntamente com os respectivos deslocamentos verticais verificados em cada laje.

Quadro 2 – Quadro resumo das flechas (fmax) das lajes

Identificação	$f_{(máx,exis)}$ (cm)	L (vão da laje)(cm)	$f_{(máx,adm)}$ (cm)	Passou
L1	4,6	473	1,892	não
L2	4,4	499	1,996	Não
L3	2	494	1,976	Ok
L4	3	499	1,996	Não
L5	1,7	473	1,892	Ok
L6	0,9	499	1,996	Ok
L7	1,7	478	1,912	Ok
L8	0,8	489	1,956	Ok

Observa-se que todas as lajes apresentaram deslocamentos verticais. Conforme os critérios estabelecidos pela NBR 6118 (ABNT, 2018), algumas das lajes apresentaram deslocamentos superiores à flecha máxima admissível, enquanto as demais, embora ainda atendam ao limite normativo, apresentam valores próximos ao valor máximo permitido. Ressalta-se que as medições foram realizadas sem a atuação das cargas acidentais decorrentes da utilização da edificação.

Dessa forma, os deslocamentos registrados correspondem a uma condição de carregamento inferior àquela esperada durante a efetiva utilização das lajes, uma vez que ainda não se encontram instalados os equipamentos e demais elementos previstos para a academia, tais como equipamentos de musculação, pesos, tatames, entre outros, além das cargas variáveis decorrentes da circulação e movimentação de pessoas. Assim, com a efetiva ocupação e utilização dos ambientes, é previsível o acréscimo dos deslocamentos verticais atualmente observados.

Além disso, por se tratar de uma edificação antiga, deve-se considerar a influência da fluência do concreto, fenômeno que provoca deformações adicionais ao longo do tempo e contribui para o aumento dos deslocamentos verticais dos elementos estruturais. Dessa forma, os resultados obtidos indicam uma condição de atenção quanto ao comportamento em serviço das lajes, especialmente considerando a proximidade de algumas delas em relação ao limite de flecha admissível e a possibilidade de acréscimo dos deslocamentos ao longo do tempo em função dos efeitos diferidos do concreto.

8.3 **Intervenção estrutural — Inserção de vigas metálicas**

Diante das inconformidades identificadas na verificação das lajes existentes, especialmente quanto à insuficiência de armadura e aos deslocamentos verticais superiores aos limites admissíveis, propõe-se a inserção de vigas metálicas sob as lajes, com o objetivo de reduzir os vãos efetivos e, consequentemente, os esforços solicitantes e deslocamentos.

Serão inseridas duas vigas metálicas em cada laje, posicionadas no sentido do maior vão, considerando também as condições de execução e a necessidade de utilização das vigas de concreto existentes como elementos de apoio.

A inserção das novas vigas altera a trajetória de transferência dos carregamentos e provoca uma redistribuição das solicitações na estrutura. As vigas V101, V102, V103, V104 e V105 passarão a receber as reações das novas vigas metálicas e, consequentemente, serão submetidas a solicitações superiores às da configuração original. Dessa forma, essas vigas serão reavaliadas quanto à sua capacidade resistente para a nova condição de carregamento.

Da mesma forma, os acréscimos de esforços transmitidos aos pilares serão considerados na verificação da capacidade resistente desses elementos, considerando-se a nova configuração estrutural.

Importante: Para que a configuração estrutural proposta seja efetivamente mobilizada, a execução do reforço deverá assegurar o contato adequado entre as vigas metálicas e a face inferior das lajes. Para tanto, as vigas deverão ser instaladas com pré-carregamento controlado, de forma a garantir sua ativação e a transferência de parcela do carregamento permanente existente, tornando-as efetivamente participantes do sistema resistente. E assim, o comportamento do modelo estrutural considerado no dimensionamento estará de acordo com a configuração executada em campo.

8.4 Dimensionamento de vigas metálicas de reforço de lajes

Para o dimensionamento das vigas metálicas de reforço, embora as lajes existentes apresentem comportamento bidirecional, com armaduras positivas dispostas nas duas direções, adotou-se, de forma conservadora, a hipótese de transferência unidirecional dos carregamentos para as vigas metálicas.

Essa consideração resulta em uma condição mais desfavorável para o dimensionamento, uma vez que se atribui às vigas metálicas a totalidade do carregamento correspondente à faixa de influência considerada, sem contar com a parcela de distribuição dos esforços nas duas direções da laje.

Para o dimensionamento das vigas metálicas de reforço das lajes, foi considerada a condição mais desfavorável, correspondente à laje L8, com dimensões de 4,92 m × 4,81 m. Verificou-se que não houve variação significativa entre os carregamentos das diferentes lajes, sendo, portanto, adotado um dimensionamento único para as vigas metálicas, tomando-se como referência a laje mais carregada.

Para cada laje serão inseridas duas vigas metálicas, posicionadas no sentido do maior vão, visando à adequada distribuição dos carregamentos e à otimização dos perfis adotados.

NOTA: Todas as dimensões, cotas, níveis, posicionamentos e demais medidas relacionadas às intervenções previstas deverão ser obrigatoriamente conferidos e validados in loco antes da execução dos serviços, considerando as condições efetivamente encontradas na edificação.

8.4.1 Vigas metálicas – Reforço estrutural – V107a a V107d, V108a a V108d, V110a a V110d e V111a a V111d.

- Dados do perfil metálico tipo I

W250x28,4
E: 210GPa
Fy = 345MPa
Fyd = 345/1,1 = 313,6MPa
Momento resistente do perfil (Wx): 311,2 cm³
Momento de inércia x-x (Ix): 4046cm^4
Área da seção: 36,6 cm²
Peso (kg/m): 28,4 kg
h_w = 6,4 mm
t_w = 10 mm
Tensão admissível (Fy): 345MPa = 34,5kN/cm²

- Cálculo das cargas sobre a laje:

Vão (l) = 492cm
Vão da carga = 160cm

Carga Permanente	450 kgf/m²
Carga Acidental (sobrecarga útil)	500 kgf/m²
CARGA TOTAL	950 kgf/m²

- Carga distribuída (q) 950x4,92x1,60

$$q = \frac{950x4,92x1,60}{492} \rightarrow 15,20\ kgf/cm$$

- Peso Próprio (PP)= 28,4kgf/m = 0,284kgf/cm
- Carga distribuída total (q_T)

$$q_T = q + PP \rightarrow q_T = 15,20 + 0,28 = 15,48 Kgf/cm = 0,155 N/cm$$

Diagrama do carregamento (kN/cm):

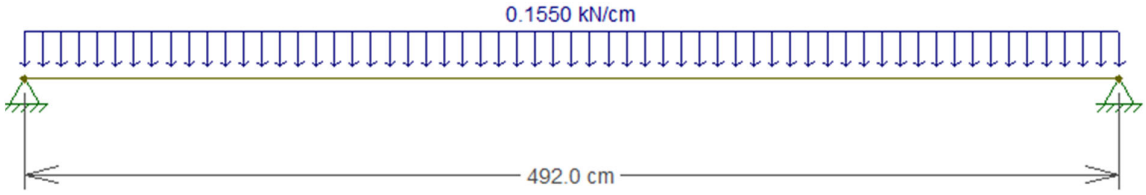


Diagrama da força cortante (kN):

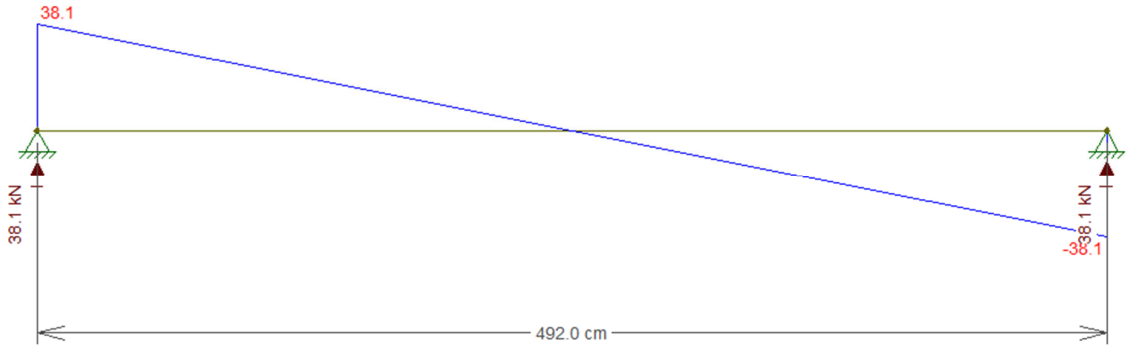
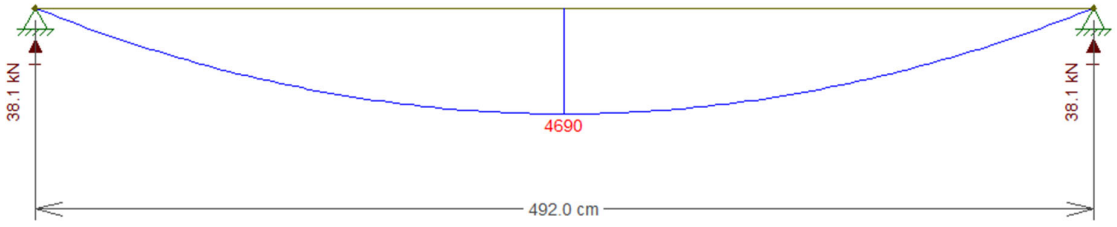


Diagrama de momentos fletores (kN.cm)



- Verificação da flecha máxima:
  - Flecha máxima admissível:

Deslocamento vertical máximo admissível ($f_{máx\ adm}$)(NBR 8800): menor valor entre l/350 e 15 mm.

$$f_{máx\ adm} = \frac{l}{350} = \frac{492}{350} = 1{,}41cm = 14{,}10mm < 15mm, logo$$

$$f_{máx\ adm} = 14{,}10mm = 1{,}41\text{cm}$$

  - Flecha máxima do perfil:

$$f_{máx} = \frac{5.q.L^4}{384.E.I_x}$$

$$f_{máx} = \frac{5.15{,}20.(492)^4}{384.2100000.4046} = 1{,}36cm$$

Verificação do deslocamento vertical máximo:

$$f_{máx} = 1{,}36\text{cm} \leq f_{máx\ adm} = 1{,}41\text{cm}$$

$$logo\ OK$$

- Verificação do cisalhamento:
  - Esforço cortante solicitante máximo Vsd (diagrama): Vsd= 38,10 kN
  - Área resistente da alma:

$$A_w = h_w . t_w \rightarrow A_w = 240.6{,}4 = 1.664\text{mm}^2 \rightarrow 16{,}64\text{cm}^2$$

  - Tensão cortante do cálculo solicitante (τ_{Sd}):

$$\tau_{Sd} = \frac{Vsd}{A_w} \rightarrow \tau_{Sd} = \frac{38{,}10}{16{,}64} = 2{,}28\ kN/cm^2$$

  - Resistência plástica ao cisalhamento ($V_{pl,Rd}$):

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_w . f_{yd}}{\sqrt{3}} \rightarrow V_{pl,Rd} = \frac{16{,}64.31{,}36}{\sqrt{3}} = 301{,}27kN$$

  - Tensão cortante do cálculo resistente (τ_{Rd}):

$$\tau_{Rd} = \frac{V_{Rd}}{A_w} \rightarrow \tau_{Sd} = \frac{301{,}27}{16{,}64} = 18{,}10\ kN/cm^2$$

  - Verificação da segurança ao cisalhamento:

$$\tau_{Sd} = 2{,}28\ kN/cm^2 \leq \tau_{Rd} = 18{,}10\ kN/cm^2\ , logo\ OK$$

- Verificação do momento máximo
  - Momento máximo solicitante Msd (diagrama): Msd=4690kN.cm
  - Momento máximo resistente MRd:

$$M_{Rd} = \frac{W_x . F_y}{1{,}1}$$

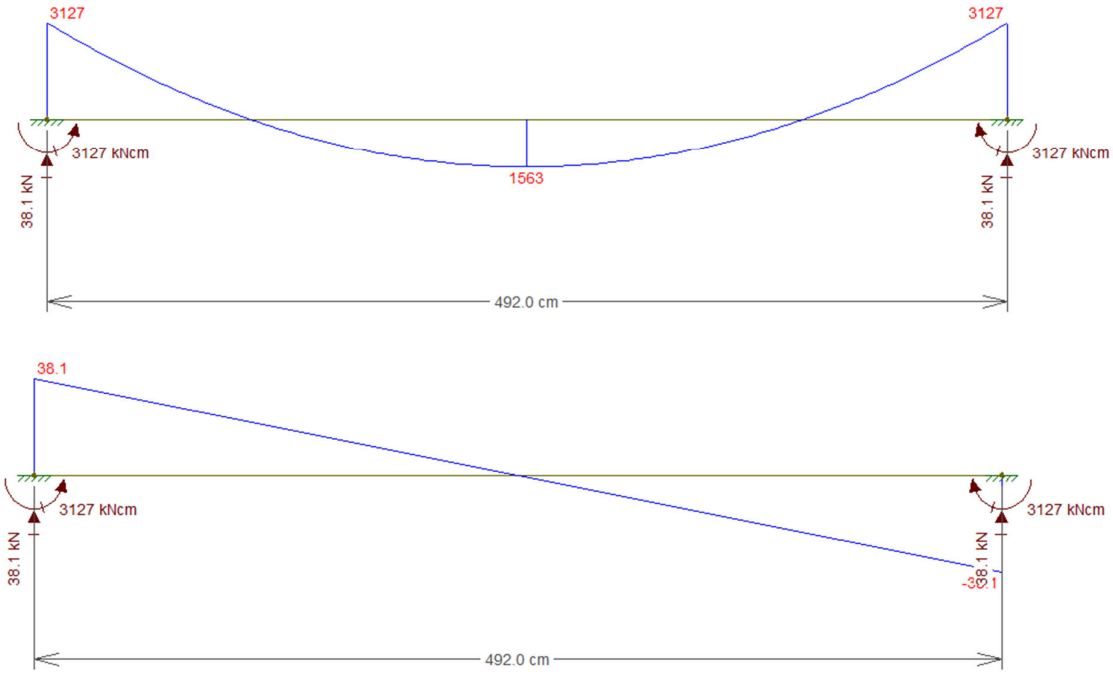
$$M_{Rd} = \frac{311{,}2.34{,}5}{1{,}1}$$

$$M_{Rd} = 9.760{,}36kN.cm$$

  - Verificação da segurança ao momento fletor:

$$M_{sd} = 4690\text{kN.cm} \leq M_{Rd} = 9760{,}36kN.cm, logo\ OK$$

8.4.2 Dimensionamento da placa de base para fixação das Vigas



- Verificação das tensões:

$$\sigma_t = \sigma_c = \frac{M}{W} \rightarrow \sigma_t = \sigma_c = \frac{3127}{\frac{24.40^2}{6}} = 0{,}49 kN/cm^2$$

$$\sigma_{adm,conc} = 0{,}51.fck \rightarrow 0{,}51.1{,}5 = 0{,}77\ kN/cm^2$$

$$\sigma_t = 0{,}49 N/cm^2 \leq \sigma_{adm,conc}\ 0{,}77\ kN/cm^2, logo\ OK$$

- Espessura da chapa (t) - Trecho superior

  Considerando, barra em balanço – carga uniformemente distribuída:

$$M_{ch} = 0{,}49.\frac{6{,}7^2}{2} = 10{,}99 kN.cm$$

$$M_{Rd} = W.\frac{F_y}{1{,}1} = b.\frac{t^2}{6}.\frac{F_y}{1{,}1}$$

$$10{,}99 = 24.\frac{t^2}{6}.\frac{25}{1{,}1}$$

$$t = \sqrt{\frac{10{,}99.6.1{,}1}{24.25}} = 0{,}34cm = 3{,}4mm$$

Adotado = 12,5mm ou 1/2”

- Espessura da chapa (t) - trechos intermediários

  Considerando vinculação II (ANEXO A):

$$\frac{a}{b} = \frac{115}{116} = 0{,}99$$

$$\beta = \frac{0{,}99 - 0{,}75}{1{,}50 - 0{,}75}(0{,}32 - 0{,}17) + 0{,}17 \rightarrow \beta = 0{,}21$$

$$t = b.\sqrt{\frac{\beta.\sigma}{1{,}35.F_y}} \rightarrow t = 11{,}4.\sqrt{\frac{0{,}21.0{,}49}{1{,}35.25}} \rightarrow t = 0{,}63cm = 7\,mm$$

Adotado = 12,5mm ou 1/2”

- Espessura da chapa (t) - Trecho inferior

  Considerando vinculação V (ANEXO A):

$$\frac{\square}{b} = \frac{115}{140} = 0{,}81$$

$$\beta = \frac{0{,}81 - 0}{1{,}00 - 0}(0{,}29) + 0 \rightarrow \beta = 0{,}23$$

$$t = b.\sqrt{\frac{\beta.\sigma}{1{,}35.F_y}} \rightarrow t = 11{,}4.\sqrt{\frac{0{,}23.0{,}49}{1{,}35.25}} \rightarrow t = 0{,}65cm = 7mm$$

Chapa adotada para placa base 12,5mm ou 1/2”

- Dimensionamento da espessura e altura (h) enrijecedores

  Chapa 9,5mm (t):

$$M_{ch} = \frac{\sigma.b.a^2}{2} \rightarrow M_{ch} = \frac{0{,}49.11{,}4.14{,}1^2}{2} = 555{,}28kN.cm$$

$$t = \frac{6{,}6.M_{ch}}{h^2.F_y} \rightarrow 1{,}25 = \frac{6{,}6.555{,}28}{h^2.25}$$

$$h = \sqrt{6{,}6\frac{555{,}28}{0{,}95.25}} = 12{,}42cm - altura\ dos\ enrijecedores\ adotado\ 15cm$$

- Dimensionamento dos chumbadores:

$$c = \frac{\sigma_c . A}{\sigma_c + \sigma_t}$$

$$a = \frac{A}{2} - \frac{c}{3}$$

$$Y = A - d - \frac{c}{3}$$

- Esforço (T) na linha de chumbadores tracionados:

$$T = \frac{M_{Sd} - N_{Sd} . a}{Y}$$

$$C = \frac{0{,}49.40}{0{,}49 + 0{,}49} = 20$$

$$\frac{c}{3} = 6{,}667$$

$$a = \frac{40}{2} - \frac{20}{3} = 13{,}333$$

$$Y = 40 - 5 - 6{,}6667 = 28{,}33$$

$$T = \frac{3127 - 0.13{,}333}{28{,}333} = 110{,}37kN\ (55{,}18kN\ por\ chumbador)$$

Diâmetro (d_{chu})dos chumbadores:

$$V_{Sd} = \frac{38{,}10}{6} = 6{,}3kN$$

$$d_{chu} = \sqrt{1{,}27\sqrt{\frac{11{,}39.{V_{Sd}}^2 + 3{,}24.{N_{Sd}}^2}{Fu^2}}}$$

$$d_{chu} = \sqrt{1{,}27\sqrt{\frac{11{,}39.6{,}3^2 + 3{,}24.55{,}18^2}{40^2}}} = 1{,}79cm \rightarrow 17{,}9mm$$

$$\rightarrow Diâmetro\ dos\ chumabdores\ adotado\ 22mm\ ou\ 1/2"$$

8.5 Verificação de cálculo das vigas de concreto existentes

8.5.1 Viga V103

Considerando que as lajes apresentam dimensões e carregamentos semelhantes, as vigas V101 a V104 estão submetidas a condições de carregamento bastante próximas após a implantação das vigas metálicas.

V103

Seção existente: 18 x 40 cm

Seção considerada = 55cm (com reforço estrutural)

d' = 51,8 cm

Fck = 15MPa | fcd = 1,07MPa

Fyk = 500 MPa – Fyd = 434,8 MPa = 43,48kN/cm²

- Carregamento considerado

Carga uniformemente distribuída (laje, peso próprio) = 9,50kN/m

Cargas pontuais: vigas metálicas apoiadas = 38,10kN

Diagrama do carregamento (kN):

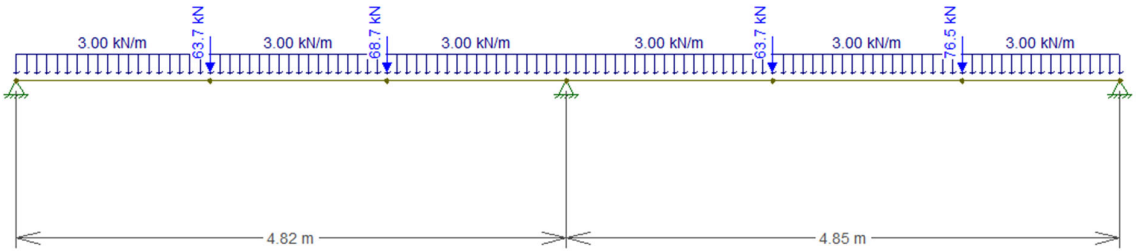


Diagrama da força cortante (Kn):

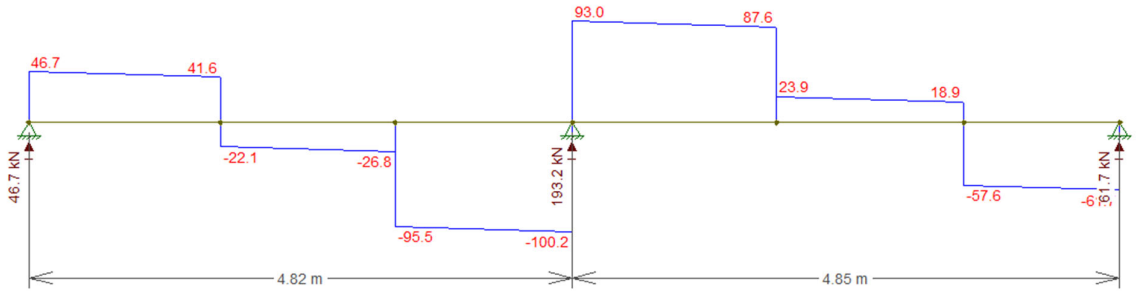
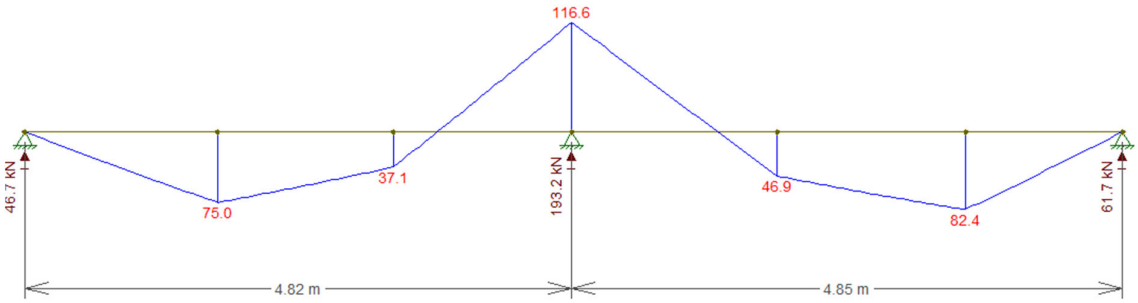


Diagrama de momentos fletores (kN.m)



ARMADURA NEGATIVA

- Valor K

$$Md = 1{,}4xM_k \rightarrow Md = 1{,}4x116{,}6 = 163{,}24kN.m$$

$$K = \frac{M_d}{b.d^2.f_{cd}} \rightarrow K = \frac{163{,}24x10^6}{180.518{,}8^2.10{,}7} = 0{,}302$$

$$K = 0{,}302 > 0{,}272)$$

- Verificação dos momentos

$$M_{d,lim} = \mu_{lim}.f_{cd}.b_w.d^2 \rightarrow M_{d,lim} = 0{,}320.1{,}071.18.51{,}88^2 = 18.783{,}44kNcm = 187{,}83kN.m$$

$$Md = 163{,}24kN.m < M_{d,lim} = 187{,}83kN.m, logo\ ARMADURA\ SIMPLES$$

Cálculo da armadura positiva

$$y = d\left(1 - \sqrt{1 - \frac{M_d}{0{,}425.f_{cd}.b_w.d^2}}\right) \rightarrow y = 35{,}88\left(1 - \sqrt{1 - \frac{163{,}24x10^2}{0{,}425.1{,}07.18.51{,}88^2}}\right) = 23{,}98$$

$$A_{s,nec} = \frac{0{,}85.f_{cd}.b_w}{f_{yd}}.y \rightarrow A_s = \frac{0{,}85.1{,}07.18}{43{,}48}23{,}98 = 9{,}04cm^2$$

$$A_{s,existente} = 3x\emptyset\ 16mm = 6{,}00cm^2$$

$$A_{s,nec} = 9{,}04cm^2 > A_{s,existente} = 6{,}00cm^2$$

ARMADURA POSITIVA

- Valor K

$$Md = 1{,}4xM_k \rightarrow Md = 1{,}4x82{,}40 = 115{,}36kN.m$$

$$K = \frac{M_d}{b.d^2.f_{cd}} \rightarrow K = \frac{115{,}36x10^6}{180.51{,}88^2.10{,}71} = 0{,}222$$

$$K = 0{,}220 < 0{,}272 \rightarrow Seção\ subarmada\ (Domíno\ 2-3, OK)$$

- Verificação dos momentos

$$M_{d,lim} = \mu_{lim}.f_{cd}.b_w.d^2 \rightarrow M_{d,lim} = 0{,}320.1{,}071.18.51{,}88^2 = 16607{,}41kNcm = 166{,}07kN.m$$

$$Md = 115{,}36kN.m < M_{d,lim} = 166{,}07kN.m, logo\ ARMADURA\ SIMPLES$$

- Cálculo da armadura positiva

$$y = d\left(1 - \sqrt{1 - \frac{M_d}{0{,}425.f_{cd}.b_w.d^2}}\right) \rightarrow y = 35{,}88\left(1 - \sqrt{1 - \frac{115{,}36x10^2}{0{,}425.1{,}07.18.51{,}88^2}}\right) = 16{,}05$$

$$A_{s,nec} = \frac{0{,}85.f_{cd}.b_w}{f_{yd}}.y \rightarrow A_s = \frac{0{,}85.1{,}07.18}{43{,}48}16{,}05 = 6{,}05cm^2$$

$$A_{s,existente} = 3x\emptyset\ 12.5 = 3{,}75cm^2$$

$$A_{s,nec} = 6{,}05m^2 > A_{s,existente} = 3{,}75cm^2, logo\ precisa\ de\ reforço\ estrutural$$

$$A_{s,reforço} = 3x\emptyset\ 12.5 = 3{,}75cm^2$$

$$A_{s,total} = 6x\emptyset\ 12.5 = 7{,}50\ cm^2$$

Dimensionamento ao cisalhamento (estribos)

- Verificação da compressão diagonal do concreto

$$\alpha_{v2} = 1 - \frac{fck}{250} \rightarrow \alpha_{v2} = 1 - \frac{15}{250} = 0{,}94$$

$$v_{C,Rd} = 0{,}27.\alpha_{v2}.f_{cd}.b_w.d \rightarrow v_{C,Rd} = 0{,}27.0{,}94.1{,}07.18.55 = 268{,}85kN$$

$$v_{Sd,max} = 100{,}2kN < v_{C,Rd} = 268{,}85kN$$

- Parcela resistida pelo concreto:

$$v_C = 0{,}60.f_{tcd}.b_w.d \rightarrow v_C = 0{,}60.0{,}09.18.55 = 53{,}46kN$$

$$V_{sw} = v_{Sd,max} - v_C \rightarrow V_{sw} = 100{,}2 - 53{,}46 = 46{,}74\ kN$$

$$A_{sw} = \frac{V_{sw}}{0{,}90.d.f_{yk}} \rightarrow A_{sw} = \frac{46{,}74}{0{,}90.0{,}55.45{,}45} = 2{,}07cm^2/m$$

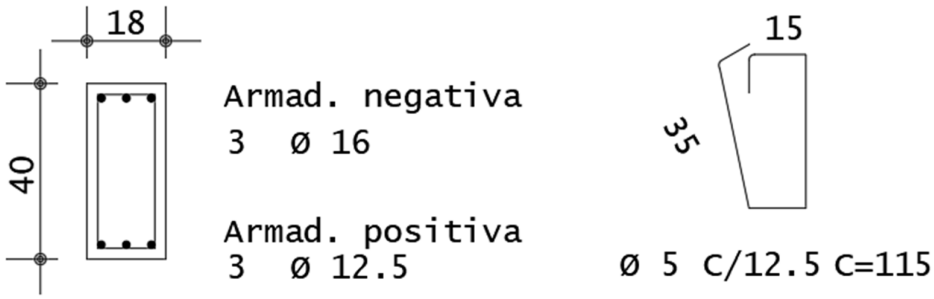
$$N_{barras} = \frac{A_{nec}}{2.A_{\emptyset 5}} = N_{barras} = \frac{2{,}07}{2.0{,}20} = 5{,}175 = 6\ barras\ para\ cada\ m$$

$$s_{nec} = \frac{100}{N_{barras}} = s_{nec} = \frac{100}{6} = 16{,}6cm, \qquad logo\ 1\ \emptyset 5mm\ c/18cm$$

$$s_{ex} = 1\ \emptyset 5mm\ c/\ 12cm\ >\ s_{nec} =\ 1\ \emptyset 5mm\ c/18cm, logo\ OK$$

$$s_{reforço} = 1\ \emptyset 5mm\ c/\ 12cm$$

Figura 13 – Arranjo das armaduras das vigas V101 a V104 existente



Fonte: Responsável técnica.

Logo, a viga V101 a 104 estão subarmadas para as novas condições de carregamento e necessitam de reforço estrutural.

8.5.2 Viga V108

Seção existente: 18 x 40 cm

d = 36,88cm

Fck = 15MPa – Fcd = 10,71MPa = 1,07kN/cm²

Fyk = 500 MPa – Fyd = 434,8 MPa = 43,48kN/cm²

Diagrama do carregamento (kN):

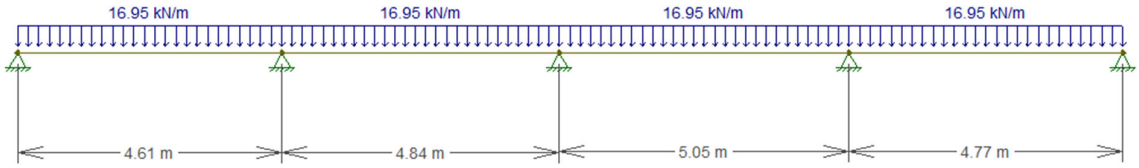


Diagrama da força cortante (Kn):

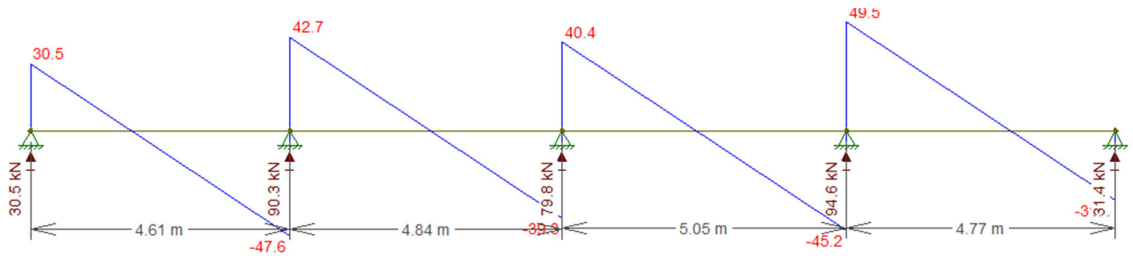
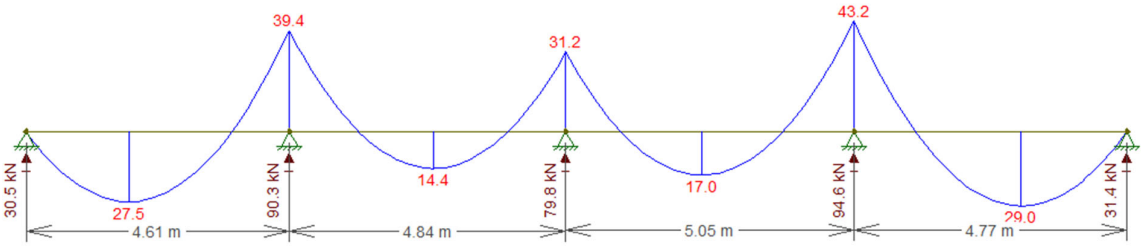


Diagrama de momentos fletores (kN.m)



ARMADURA NEGATIVA

- Valor K

$$Md = 1{,}4xM_k \rightarrow Md = 1{,}4x43{,}2 = 60{,}48kN.m$$

$$K = \frac{M_d}{b.d^2.f_{cd}} \rightarrow K = \frac{60{,}48x10^6}{180.368{,}8^2.10{,}71} = 0{,}230$$

$$K = 0{,}230 < 0{,}272 \rightarrow Seção\ subarmada\ (Domíno\ 2-3, OK)$$

- Verificação dos momentos

$$M_{d,lim} = \mu_{lim}.f_{cd}.b_w.d^2 \rightarrow M_{d,lim} = 0{,}320.1{,}071.18.36{,}88^2 = 8391{,}70kNcm = 83{,}92kN.m$$

$$Md = 60{,}48kN.m < M_{d,lim} = 83{,}92kN.m, logo\ ARMADURA\ SIMPLES$$

Cálculo da armadura positiva

$$y = d\left(1 - \sqrt{1 - \frac{M_d}{0{,}425.f_{cd}.b_w.d^2}}\right) \rightarrow y = 36{,}88\left(1 - \sqrt{1 - \frac{60{,}48x10^2}{0{,}425.1{,}07.18.36{,}88^2}}\right) = 11{,}94$$

$$A_{s,nec} = \frac{0{,}85.f_{cd}.b_w}{f_{yd}}.y \rightarrow A_s = \frac{0{,}85.1{,}07.18}{51{,}42}11{,}94 = 4{,}50cm^2$$

$$A_{s,existente} = não\ foi\ possível\ determinar$$

$$A_{s,nec} = 4{,}50cm^2 = 4\ Ø12{,}5mm\ (= 5{,}00cm^2)$$

ARMADURA POSITIVA

- Valor K

$$Md = 1{,}4xM_k \rightarrow Md = 1{,}4x29 = 40{,}60kN.m$$

$$K = \frac{M_d}{b.d^2.f_{cd}} \rightarrow K = \frac{40{,}60x10^6}{180.368{,}8^2.10{,}71} = 0{,}155$$

$$K = 0{,}155 < 0{,}272 \rightarrow Seção\ subarmada\ (Domíno\ 2-3, OK)$$

- Verificação dos momentos

$$M_{d,lim} = \mu_{lim}.f_{cd}.b_w.d^2 \rightarrow M_{d,lim} = 0{,}320.1{,}071.18.36{,}88^2 = 8391{,}70kNcm = 83{,}91kN.m$$

$$Md = 40{,}60kN.m < M_{d,lim} = 83{,}91kN.m, logo\ ARMADURA\ SIMPLES$$

Cálculo da armadura positiva

$$y = d\left(1 - \sqrt{1 - \frac{M_d}{0{,}425.f_{cd}.b_w.d^2}}\right) \rightarrow y = 36{,}88\left(1 - \sqrt{1 - \frac{40{,}60x10^2}{0{,}425.1{,}07.18.36{,}88^2}}\right) = 7{,}47$$

$$A_{s,nec} = \frac{0{,}85.f_{cd}.b_w}{f_{yd}}.y \rightarrow A_s = \frac{0{,}85.1{,}07.18}{51{,}42}7{,}47 = 2{,}82cm^2$$

$$A_{s,existente} = 4x\emptyset\ 12.5 = 5{,}00cm^2$$

$$A_{s,nec} = 2{,}82cm^2 < A_{s,existente} = 5{,}00cm^2, logo\ OK$$

DIMENSIONAMENTO AO CISALHAMENTO (ESTRIBOS)

- Verificação da compressão diagonal do concreto

$$\alpha_{v2} = 1 - \frac{fck}{250} \rightarrow \alpha_{v2} = 1 - \frac{15}{250} = 0{,}94$$

$$v_{C,Rd} = 0{,}27.\alpha_{v2}.f_{cd}.b_w.d \rightarrow v_{C,Rd} = 0{,}27.0{,}94.1{,}07.18.40 = 195{,}53kN$$

$$v_{Sd,max} = 49{,}50kN < v_{C,Rd} = 195{,}53kN$$

- Parcela resistida pelo concreto:

$$v_C = 0{,}60.f_{tcd}.b_w.d \rightarrow v_C = 0{,}60.0{,}09.18.40 = 38{,}88kN$$

$$V_{sw} = v_{Sd,max} - v_C \rightarrow V_{sw} = 49{,}5 - 38{,}88 = 10{,}62kN$$

- Espaçamento existente (s_{ex}) entre estribos: s_{ex} = 15cm
- Armadura necessária (As_{nec}) e espaçamento necessária (S_{nec}):

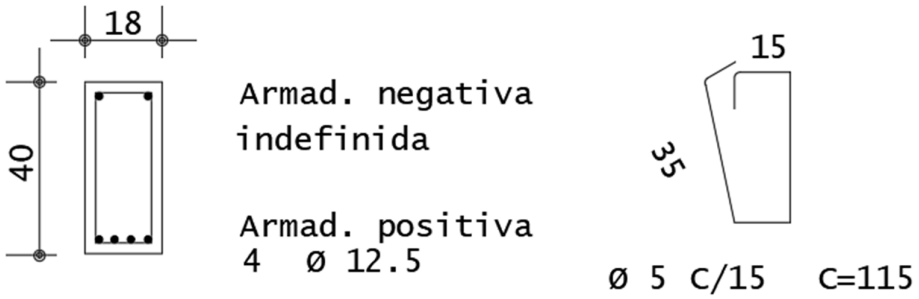
$$A_{sw} = \frac{V_{sw}}{0{,}90.d.f_{yk}} \rightarrow A_{sw} = \frac{10{,}62}{0{,}90.0{,}40.45{,}45} = 0{,}65cm^2/m$$

$$N_{barras} = \frac{A_{nec}}{2.A_{\emptyset 5}} = N_{barras} = \frac{0{,}65}{2.0{,}20} = 1{,}62 = 2\ barras\ para\ cada\ m$$

$$s_{nec} = \frac{100}{N_{barras}} = s_{nec} = \frac{100}{2} = 50cm, \qquad logo\ 1\ \emptyset 5mm\ c/12{,}5cm$$

$$s_{ex} = 1\ \emptyset 5mm\ c/\ 15cm = s_{nec} = 1\ \emptyset 5mm\ c/50cm, logo\ OK$$

Figura 14 – Arranjo das armaduras principais de vigas V108.



Fonte: Responsável técnica.

Logo, a viga V108 não precisa de reforço estrutural.

8.6 **Verificação de pilares**

A verificação dos pilares existentes foi realizada considerando a nova configuração estrutural decorrente da implantação das vigas metálicas de reforço, incluindo os acréscimos de solicitações provenientes da redistribuição dos carregamentos na estrutura.

Todas as verificações estruturais e o dimensionamento dos pilares foram realizados por meio do software TQS (Versão 22), considerando as ações, combinações de carregamento e critérios de dimensionamento aplicáveis à condição estrutural após a intervenção.

Serão apresentados, de forma sintetizada, os principais resultados obtidos para cada pilar, contemplando as áreas de armadura longitudinal e transversal necessárias, respectivamente, e as correspondentes áreas de armadura existentes, (As_{nec}) e ($As_{existente}$).

Tabela 1 – Verificação das armaduras longitudinais e transversais dos pilares.

Pilar	Armadura longitudinal				Armadura transversal (estribos)		
	As_{nec} (cm²)	$As_{existente}$ (cm²)	Armadura existente	Verifi-cação	Armadura necessária	Armadura existente	Verifi-cação
P1	12,5	6,40	8 Ø10mm	Não	Ø 6.3mm c/15	Ø 5.00mm c/11	Ok
P2	5,00	6,40	8 Ø10mm	ok	Ø 6.3mm c/15	Ø 5.00mm c/11	Ok
P3	4,80	12,00	6 Ø16mm	Ok	Ø 5mm c/12	Ø 5.00mm c/11	Ok
P4	6,40	6,40	8 Ø 10mm	Ok	Ø 5mm c/12	Ø 5.00mm c/11	Ok
P5	5,00	6,40	8 Ø 10mm	Ok	Ø 6.3mm c/15	Ø 5.00mm c/11	Ok
P6	4,80	12,00	6 Ø16mm	Ok	Ø 5mm c/12	Ø 5.00mm c/11	Ok
P7	6,40	6,40	8 Ø 10mm	Ok	Ø 5mm c/12	Ø 5.00mm c/11	Ok
P8	5,00	6,40	8 Ø 10mm	Ok	Ø 6.3mm c/15	Ø 5.00mm c/11	Ok
P9	4,80	12,00	6 Ø16mm	Ok	Ø 5mm c/12	Ø 5.00mm c/11	Ok
P10	6,40	6,40	8 Ø 10mm	Ok	Ø 5mm c/12	Ø 5.00mm c/11	Ok
P11	5,00	6,40	8 Ø 10mm	Ok	Ø 6.3mm c/15	Ø 5.00mm c/11	Ok
P12	7,50	12,00	6 Ø16mm	Ok	Ø 6.3mm c/15	Ø 5.00mm c/11	Ok
P13	5,00	6,40	8 Ø 10mm	Ok	Ø 6.3mm c/15	Ø 5.00mm c/11	Ok
P14	12,00	12,00	6 Ø16mm	Ok	Ø 6.3mm c/18	Ø 5.00mm c/11	Ok
P15	12,50	12,00	6 Ø16mm	Não	Ø 6.3mm c/15	Ø 5.00mm c/11	Ok
P16	7,50	12,00	6 Ø16mm	Ok	Ø 6.3mm c/15	Ø 5.00mm c/11	Ok
P17	10,00	12,00	6 Ø16mm	Ok	Ø 6.3mm c/15	Ø 5.00mm c/11	Ok
P18	7,50	12,00	6 Ø16mm	Ok	Ø 6.3mm c/15	Ø 5.00mm c/11	Ok
P19	20,00	12,00	6 Ø16mm	Não	Ø 6.3mm c/19	Ø 5.00mm c/11	Ok

Fonte: responsável técnica.

A partir dos resultados obtidos, verificou-se que alguns pilares apresentam insuficiência de armadura longitudinal em relação à área necessária indicada pelo processamento estrutural. O pilar P1, apresenta aproximadamente a metade da área de armadura longitudinal, logo necessita de reforço estrutural.

Destaca-se, em particular, a situação dos pilares P15 e P19, os quais integram o sistema de contenção da edificação, encontrando-se embutidos na cortina de concreto do muro de contenção. Nesses elementos, o comportamento estrutural difere daquele observado em pilares isolados, uma vez que a presença da cortina de concreto interfere na rigidez do conjunto e na distribuição dos esforços, por tanto, serão desconsiderados no dimensionamento. Dessa forma, entende-se que o modelo numérico convencional utilizado pelo software não representar integralmente o comportamento estrutural do

sistema de contenção, podendo resultar em uma distribuição de esforços distinta da efetivamente mobilizada pela estrutura.

9 REFORÇO ESTRUTURAL – PROCEDIMENTOS

9.1 Sequência dos trabalhos

A execução dos serviços de reforço estrutural deverá seguir rigorosamente a sequência apresentada a seguir, de modo a garantir a adequada transferência de esforços entre os elementos existentes e os novos elementos de reforço. O início de cada etapa estará condicionado ao atendimento das condições previstas em projeto, incluindo os tempos de cura e as resistências mínimas especificadas para os materiais empregados.

A sequência executiva deverá observar as seguintes etapas:

1) Reparo estrutural das lajes

Executar previamente os reparos estruturais previstos nas lajes existentes, incluindo a recuperação das regiões que apresentem manifestações patológicas ou condições que possam comprometer a execução do reforço. Após a conclusão dos reparos, deverá ser respeitado o período de cura e o atendimento da resistência especificada antes do início da etapa seguinte.

2) Macaqueamento e escoramento das lajes

Executar o escoramento provisório e o macaqueamento controlado das lajes indicadas em projeto, conforme procedimento específico, visando à redução dos deslocamentos existentes e à obtenção da condição geométrica necessária para a instalação dos perfis metálicos.

3) Encamisamento dos pilares – lances inferiores

Executar o reforço dos pilares nos lances inferiores, conforme detalhamento do projeto, respeitando os procedimentos de preparação das superfícies, montagem das armaduras, execução do encamisamento e os respectivos tempos de cura e resistência mínima antes da continuidade dos serviços.

4) Encamisamento das vigas e execução das bases de apoio dos perfis metálicos

Executar o encamisamento das vigas previstas em projeto. Nesta etapa deverão também ser instaladas as placas de base (chapa metálica) destinados à fixação dos perfis metálicos, conforme detalhamento do projeto, de modo a garantir sua adequada ancoragem e transferência de esforços para as vigas existentes.

O encamisamento deverá ser executado de forma compatível com o último lance dos pilares, quando previsto em projeto, de modo a garantir a continuidade e a adequada conexão entre os elementos reforçados.

Após a execução, deverão ser respeitados os tempos de cura e as resistências mínimas especificadas para o material de reforço, antes da instalação e ativação dos perfis metálicos.

5) Instalação e ativação dos perfis metálicos

Após o atendimento das condições de cura e resistência dos elementos de concreto reforçados, proceder à instalação dos perfis metálicos sob as lajes, conforme o procedimento executivo específico, incluindo o posicionamento, escoramento, pré-carregamento controlado, execução da interface e posterior transferência de carga para os novos elementos.

6) Liberação da obra

A área reforçada somente deverá ser liberada para utilização após a conclusão de todas as etapas previstas, incluindo a cura dos materiais, retirada dos escoramentos, inspeção dos elementos reforçados e verificação das condições finais da estrutura, conforme as especificações do projeto.

NOTA: Todas as dimensões, cotas, níveis, posicionamentos e demais medidas relacionadas às intervenções previstas deverão ser obrigatoriamente conferidos e validados in loco antes da execução dos serviços, considerando as condições efetivamente encontradas na edificação.

9.2 Reparo estrutural

Dentre os elementos inspecionados, as Lajes L1 e L3 apresentaram manifestações patológicas associadas ao estágio avançado de corrosão das armaduras, caracterizadas pela deterioração do concreto de cobrimento e pela exposição das armaduras em determinados trechos.

O objetivo de realizar o reparo e recuperação estrutural é prolongar e restabelecer as condições de projeto das estruturas de concreto. Todas as intervenções necessárias são reparos rasos, alguns localizados outros generalizados, que atingem de 5 mm a 30 mm de profundidade.

Em razão da extensão e do grau de deterioração observados, esses elementos requerem intervenção corretiva, conforme descrito a seguir:

- **Escarificação preliminar das superfícies:**

Remoção do cobrimento do concreto deteriorado sob a laje, estendendo-se a área de remoção até que seja identificado concreto com características satisfatórias de integridade, resistência e aderência ao substrato. A remoção deve abranger também as regiões adjacentes às

armaduras corroídas, de forma a permitir o acesso adequado às barras e possibilitar a avaliação de seu estado de conservação.

- **Limpeza do substrato:**

Limpeza do substrato, remoção de resíduos tais como: ferrugens, graxas, carbonatos, de forma a preparar o substrato para a recepção do material do reparo.

- **Tratamento da armadura:**

O tratamento da armadura compreende em remover o material oxidado através de limpeza mecânica com jato de água, escova de aço e lixamento. Ela precisa estar "ao branco" (cinza brilhante).

Aplicação de revestimento bicomponente para proteção de armaduras, formulado com polímeros, cimento Portland e inibidores de corrosão, isento de solventes. Sikatop® 108 Armatec ou equivalente técnico.

- **Preparação do substrato:**

Preparação da superfície com ponte de aderência, saturar o substrato com água até a condição SSS – Superfície Saturada e Seca (sem empoçamentos), seguindo com a aplicação de adesivo base epóxi. Por exemplo: SikaBond® PVA ou similar.

- **Aplicação de Argamassa Polimérica – Grout**

Para o preenchimento e recomposição de cavidades para aplicação em espessuras de 10 mm a 50 mm por camada. Deverá ser utilizado grout tixotrópico de reparo estrutural, de alta resistência inicial e final, composto por cimento, agregados minerais de granulometria controlada e aditivos especiais.

O material deverá ser isento de cloretos e de componentes metálicos que possam favorecer processos corrosivos, de modo a não contribuir para a deterioração das armaduras e dos elementos metálicos existentes.

O grout deverá apresentar consistência tixotrópica, permitindo sua aplicação em superfícies verticais e regiões inferiores dos elementos estruturais, mantendo estabilidade após a aplicação e possibilitando, quando as condições geométricas e de acesso permitirem, a execução do reparo sem a necessidade de utilização de formas para contenção do material.

Recomendá-se o uso do SikaGout Tix ou equivalente técnico.

O material deverá apresentar adequada trabalhabilidade, aderência ao substrato de concreto e às armaduras, além de capacidade de preenchimento das cavidades e recomposição da seção do elemento, sem ocorrência de segregação ou retração excessiva. A formulação deverá apresentar características que minimizem a ocorrência de fissuração, retração e desplacamento após a aplicação, proporcionando adequada durabilidade e compatibilidade com o concreto existente.

- **Liberação**

O grout deverá apresentar resistência mecânica compatível com a finalidade do reparo estrutural, devendo atingir resistência mínima à compressão de 30 MPa em 14 dias, possibilitando a liberação da área para uso conforme o cronograma de intervenção.

A preparação, mistura, aplicação e cura do material deverão ser realizadas conforme as recomendações do fabricante, observando-se as condições específicas do substrato e do local de aplicação.

9.3 Encamisamento de vigas e pilares

Os elementos estruturais que receberão reforço por meio de encamisamento são as vigas V101, V102, V103, V104 e V106 e o pilar P1, conforme indicado nas pranchas do projeto. A execução deverá obedecer às dimensões, armaduras e demais especificações estabelecidas em projeto, observando-se também os procedimentos descritos a seguir.

- **Escoramento:**

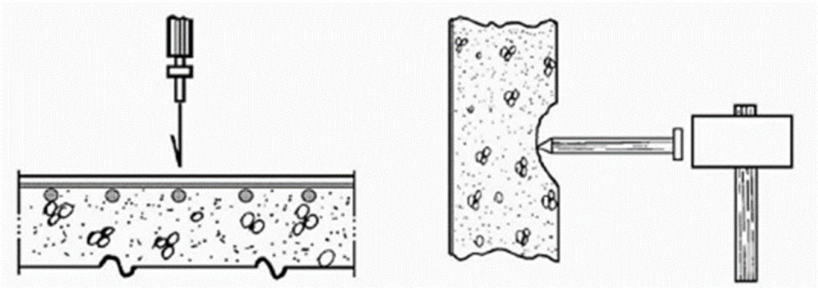
As escoras deverão ser metálicas, com altura regulável e capacidade mínima de 1.500 kgf. Deverão ser instaladas com espaçamento máximo de 50 cm, sob as vigas que apoiam a laje objeto da intervenção, ao longo de toda a sua extensão, conforme indicado em projeto.

- **Preparação da superfície:**

Todas as superfícies de concreto existentes que receberão o reforço deverão ser previamente preparadas, de modo a proporcionar adequada aderência entre o substrato existente e o material de reforço. Nos pilares, a preparação deverá ser realizada nas quatro faces do elemento, enquanto, nas vigas, deverá abranger a face inferior a ser encamisada.

A preparação da superfície deverá incluir, conforme aplicável, a remoção de revestimentos e pintura, o apicoamento mecânico e a limpeza com jato de água sob pressão, até a obtenção de uma superfície limpa, íntegra, rugosa e livre de materiais soltos ou contaminantes que possam prejudicar a aderência do concreto novo.

Figura 15 – Apicoitamento a) mecânico e b) manual



Fonte: FJ Engenharia (2026).

- **Ancoragem das armaduras**

As armaduras do reforço (armaduras longitudinais e transversais) deverão ser ancoradas ao concreto existente por meio de adesivo químico estrutural, tipo Sikadur® 32 ou equivalente técnico, observando-se os diâmetros, profundidades de ancoragem e demais condições estabelecidas no projeto.

- **Concretagem**

Os elementos submetidos ao encamisamento deverão ser executados com graute cimentício industrializado, de alta resistência e retração compensada, tipo SikaGrout® 250, de consistência fluida, ou equivalente técnico.

O material deverá apresentar características adequadas ao preenchimento completo da seção, garantindo homogeneidade e minimizando a ocorrência de vazios, falhas de preenchimento ou ninhos de concretagem.

Nos pilares, a concretagem deverá ser realizada em lances com altura máxima de 2,00 m, de modo a reduzir o risco de segregação e assegurar o adequado preenchimento do elemento.

A desforma e a retirada do escoramento deverão obedecer aos prazos e critérios estabelecidos nas pranchas do projeto e no Memorial Descritivo.

- **Liberação**

A liberação para a execução da etapa subsequente deverá ocorrer somente após o material de preenchimento (groute cimentício) atingir resistência mínima à compressão de 30 MPa. O período necessário para atingir essa resistência deverá ser determinado conforme as condições de cura e as especificações da ficha técnica do produto utilizado, devendo ser respeitado antes da continuidade dos serviços.

- **Outras observações**

A execução deverá ser acompanhada de forma a garantir o atendimento às dimensões, posicionamento das armaduras, condições de ancoragem, cobrimentos e demais especificações constantes do projeto.

Em caso de dúvidas, incompatibilidades ou divergências entre as informações apresentadas nas pranchas, no Memorial Descritivo e nas condições verificadas em campo, o projetista deverá ser consultado antes da execução do serviço.

9.4 Perfis metálicos

Os procedimentos descritos neste item são aplicáveis à instalação dos 16 perfis metálicos de reforço, previstos sob as lajes maciças da edificação. O posicionamento, a orientação, a direção de instalação, os pontos de apoio e demais características geométricas de cada perfil deverão seguir rigorosamente as indicações constantes nas pranchas do projeto estrutural, não sendo permitidas alterações em campo sem prévia avaliação e aprovação do projetista.

- **Preparação da superfície**

Limpar e regularizar a face inferior da laje na região de contato com a viga metálica, removendo materiais soltos e demais elementos que possam prejudicar a adequada execução da interface.

- **Redução prévia das flechas das lajes**

Nas lajes L1, L2 e L4, que apresentam deslocamentos verticais superiores aos limites admissíveis, deverá ser realizado o macaqueamento controlado da laje, previamente à instalação dos perfis metálicos, de modo a reduzir os deslocamentos existentes e limitar a flecha residual a 2,0 cm.

O procedimento deverá ser executado de forma gradual e controlada, evitando a introdução de esforços excessivos ou efeitos indesejados nos elementos estruturais existentes. A condição final deverá possibilitar o contato adequado e uniforme da viga metálica com a face inferior da laje ao longo de toda a sua extensão.

Em função da movimentação e da recuperação parcial dos deslocamentos da laje durante o macaqueamento**,** poderão ocorrer fissuras, rachaduras ou destacamentos nos revestimentos da face superior da laje, especialmente no revestimento cerâmico e em suas juntas. Essas manifestações são decorrentes da movimentação relativa entre a estrutura e os materiais de acabamento e deverão ser consideradas como possível consequência do procedimento executivo. Dessa forma, deverá ser prevista no orçamento da intervenção a eventual recomposição ou substituição dos revestimentos danificados, caso necessária, após a conclusão dos serviços de reforço.

Caso não seja possível atingir a flecha residual especificada, o projetista deverá ser consultado para avaliação da condição e definição do procedimento a ser adotado.

- **Posicionamento do perfil metálico**

Posicionar a viga metálica conforme indicado em projeto, garantindo seu correto alinhamento e apoio sobre as vigas de concreto existentes.

- **Escoramento e pré-carregamento da viga metálica**

Executar o escoramento provisório da região e realizar o pré-carregamento controlado da viga metálica, por meio de cilindro hidráulico com capacidade mínima de 15 tf, promovendo sua aproximação à face inferior da laje e a consequente ativação do reforço.

O pré-carregamento deverá ser realizado de forma gradual e controlada, conforme os critérios estabelecidos em projeto, de modo a assegurar a efetiva participação da nova viga no sistema resistente e a transferência de parcela do carregamento permanente existente.

- **Liberação da estrutura**

Liberar a área para utilização somente após a retirada do escoramento e inspeção da interface e da ligação.

NOTAS:

a) A execução deverá garantir o contato efetivo entre a viga metálica e a laje, sendo obrigatória a realização do pré-carregamento controlado da viga para sua ativação e transferência de parcela do carregamento permanente existente. Após a execução da interface, não deverá permanecer qualquer folga entre a mesa superior do perfil e a face inferior da laje, salvo orientação específica do projetista em função das condições verificadas em campo.

b) O macaqueamento das lajes L1, L2 e L4 deverá ser realizado previamente à instalação dos perfis metálicos, constituindo condição necessária para a execução do reforço. A flecha residual deverá ser limitada a 2,0 cm, salvo orientação específica do projetista em função das condições verificadas em campo.

10 QUANTITATIVO

NOTA: Todas as dimensões, cotas, níveis, posicionamentos e demais medidas relacionadas às intervenções previstas deverão ser obrigatoriamente conferidos e validados in loco antes da execução dos serviços, considerando as condições efetivamente encontradas na edificação.

Tabela 2 - Quantitativo de perfis “W”

VIGA	TIPO	PESO (kg/m)	COMP. (cm)	PESO TOTAL (kg)
V207A	W 250	24,8	480	119,04
V207B	W 250	24,8	473	117,30
V207C	W 250	24,8	494	122,51
V207D	W 250	24,8	472	117,06
V208A	W 250	24,8	480	119,04
V208B	W 250	24,8	473	117,30
V208C	W 250	24,8	494	122,51
V208D	W 250	24,8	472	117,06
V210A	W 250	24,8	480	119,04
V210B	W 250	24,8	473	117,30
V210C	W 250	24,8	494	122,51
V210D	W 250	24,8	472	117,06
V211A	W 250	24,8	480	119,04
V211B	W 250	24,8	473	117,30
V211C	W 250	24,8	494	122,51
V211D	W 250	24,8	472	117,06
			TOTAL:	1903,65

Fonte: responsável técnica.

Tabela 3 - Quantitativo de placa de base

PLACA	TIPO	BASE (cm)	ALTURA (cm)	QNT
PB 3	12,5mm	24,0	40	32,00

Fonte: responsável técnica.

Tabela 4 - Quantitativo de chumbadores

CHUMBADOR	DIÂMETRO (POL)	COMPRIMENTO (MM)	QUANTIDADE (UN)
Chumbador galvanizado	1"	152mm	192

Fonte: responsável técnica.

Tabela 5 – Quantitativo de vergalhões para encamisamento de vigas e pilares

AÇO	BITOLA (mm)	COMPRIMENTO (m)	BARRAS (un)	PESO (kgf)
60A	5	213	18	34
50A	6.3	64	6	18
50A	12.5	95	8	93
50A	16	58	5	95

Fonte: responsável técnica.

Tabela 6 – Quantitativo de grout

PRODUTO	QUANTIDADE
SikaGrout 250	1,85m³
SikaGrout Tix	1,92m³

Fonte: responsável técnica.

11 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nas inspeções realizadas, nas manifestações patológicas identificadas e nas verificações estruturais desenvolvidas, conclui-se que a estrutura existente apresenta condições que requerem intervenção e reforço estrutural previamente à alteração de uso da edificação, especialmente em razão dos deslocamentos excessivos observados nas lajes e das condições de resistência verificadas em determinados elementos estruturais.

Para adequação da estrutura às novas condições de carregamento decorrentes da utilização prevista, foi definido um sistema de reforço composto pela recuperação das lajes, macaqueamento controlado das regiões com deslocamentos excessivos, encamisamento de vigas e pilares e instalação de perfis metálicos sob as lajes, conforme detalhamentos e especificações apresentados neste laudo e nas respectivas pranchas de projeto.

A execução dos serviços deverá observar rigorosamente os procedimentos, materiais, sequências executivas e critérios de controle estabelecidos neste documento e no projeto estrutural, especialmente quanto ao macaqueamento das lajes, à ativação dos perfis metálicos e aos períodos de cura e resistência dos materiais empregados. Após a conclusão dos serviços, a estrutura deverá ser inspecionada para verificação das condições finais e somente então liberada para a utilização prevista.

NOTA: Todas as dimensões, cotas, níveis, posicionamentos e demais medidas relacionadas às intervenções previstas deverão ser obrigatoriamente conferidos e validados in loco antes da execução dos serviços, considerando as condições efetivamente encontradas na edificação.

12 ENCERRAMENTO

Sendo assim, dá-se por encerrado o presente Laudo Pericial de Verificação de Integridade e Reforço Estrutural, elaborado com base nas inspeções realizadas, nos levantamentos e informações disponíveis, bem como nas verificações e análises estruturais apresentadas ao longo deste documento.

O presente laudo é composto por 53 [cinquenta e três] páginas, incluindo seus anexos e documentos complementares, e é acompanhado das respectivas pranchas de projeto e demais documentos técnicos pertinentes.

Dois Irmãos, 03 de Setembro de 2026.

gov.br Documento assinado digitalmente
JESSICA FROHLICH
Data: 03/09/2026 16:29:41-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Jéssica Fröhlich
Mestre em Engenheira Civil – CREA/RS 222558
Responsável Técnica

REFERÊNCIAS

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 6120:2019: Ações para o cálculo de estruturas de edificações. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 8800:2024: Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edificações. Versão corrigida: 2025. Rio de Janeiro: ABNT, 2025.

BAKKER, R. F. M. *Corrosion of steel in concrete : report of the Technical Committee 60 CSC, RILEM (the International Union of Testing and Research Laboratories for Materials and Structures)*. London: Chapman and Hall, 1988.

CASCUDO, O. *O controle da corrosão de armaduras em concreto: inspeção e técnicas eletroquímicas*. Pini; Editora UFG ed. [s.l: s.n.]

FANG, C. et al. Corrosion influence on bond in reinforced concrete. *Cement and Concrete Research*, v. 34, n. 11, p. 2159–2167, nov. 2004.

IVOTI (Município). Plano Municipal Simplificado de Gerenciamento de Resíduos Sólidos do Município de Ivoti – RS. Ivoti: Secretaria de Saneamento e Meio Ambiente, [s.d.]. Disponível em: Plano Municipal Simplificado de Gerenciamento de Resíduos Sólidos – Prefeitura de Ivoti

PARROTT, L. J. . *A review of carbonation in reinforced concrete*. Slough, England: Cement and Concrete Association, 1987.

VON GREVE-DIERFELD, S. et al. Understanding the carbonation of concrete with supplementary cementitious materials: a critical review by RILEM TC 281-CCC. *Materials and Structures/Materiaux et Constructions*, v. 53, n. 6, 1 dez. 2020.

YOUNG, Warren C.; ROARK, Raymond J.; BUDYNAS, Richard G. *Roark's Formulas for Stress and Strain*. 7. ed. New York; London: McGraw-Hill, 2002. ISBN 0-07-072542-X.

APÊNDICE A – ANOTAÇÃO DE RESPONSABILIDADE TÉCNICA

Anotação de Responsabilidade Técnica - ART
Lei nº 6.496, de 7 de dezembro de 1977
Conselho Regional de Engenharia e Agronomia do Rio Grande do Sul

CREA-RS Conselho Regional de Engenharia e Agronomia do Rio Grande do Sul

ART Número
14514686

Tipo: OBRA OU SERVIÇO
Participação Técnica: INDIVIDUAL/PRINCIPAL
Convênio: NÃO É CONVÊNIO
Motivo: NORMAL

Contratado

Carteira: RS222558 **Profissional:** JESSICA FROHLICH **E-mail:** jf-engenharia@outlook.com.br
RNP: 2216118907 **Título:** Engenheira Civil
Empresa: JF SERVICOS DE ENGENHARIA LTDA **Nr.Reg.:** 268228

Contratante

Nome: MUNICÍPIO DE IVOTI **E-mail:**
Endereço: PRESIDENTE LUCENA 3527 **Telefone:** 51 35638800 **CPF/CNPJ:** 88254909000117
Cidade: IVOTI **Bairro:** CENTRO **CEP:** 93900000 **UF:** RS

Identificação da Obra/Serviço

Proprietário: MUNICÍPIO DE IVOTI
Endereço da Obra/Serviço: PRESIDENTE LUCENA 2268 **CPF/CNPJ:** 88254909000117
Cidade: IVOTI **Bairro:** CONCÓRDIA **CEP:** 93900000 **UF:** RS
Finalidade: OUTRAS FINALIDADES **Vlr Contrato(R$):** 13.450,00 **Honorários(R$):** 5.000,00
Data Início: 15/07/2026 **Prev.Fim:** 21/08/2026 **Ent.Classe:**

Atividade Técnica	Descrição da Obra/Serviço	Quantidade	Unid.
Laudo Técnico	Segurança Estrutural	227,86	M²
Projeto	Estruturas - Concreto Armado	227,86	M²

ART registrada (paga) no CREA-RS em 15/07/2026

gov.br
Documento assinado digitalmente
JESSICA FROHLICH
Data: 03/09/2026 16:26:02-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Local e Data	Declaro serem verdadeiras as informações acima JESSICA FROHLICH Profissional	De acordo MUNICÍPIO DE IVOTI Contratante

A AUTENTICIDADE DESTA ART PODE SER CONFIRMADA NO SITE DO CREA-RS, LINK SOCIEDADE - ART CONSULTA.

Anotação de Responsabilidade Técnica - ART
Lei nº 6.496, de 7 de dezembro de 1977
Conselho Regional de Engenharia e Agronomia do Rio Grande do Sul

CREA-RS
Conselho Regional de Engenharia e Agronomia do Rio Grande do Sul

ART Número
14514686

Contratado

Nr.Carteira: RS222558 **Profissional:** JESSICA FROHLICH **E-mail:** jf-engenharia@outlook.com.br
Nr.RNP: 2216118907 **Título:** Engenheira Civil
Empresa: JF SERVICOS DE ENGENHARIA LTDA **Nr.Reg.:** 268228

Contratante

Nome: MUNICÍPIO DE IVOTI **E-mail:**
Endereço: PRESIDENTE LUCENA 3527 **Telefone:** 51 35638800 **CPF/CNPJ:** 88254909000117
Cidade: IVOTI **Bairro:** CENTRO **CEP:** 93900000 **UF:** RS

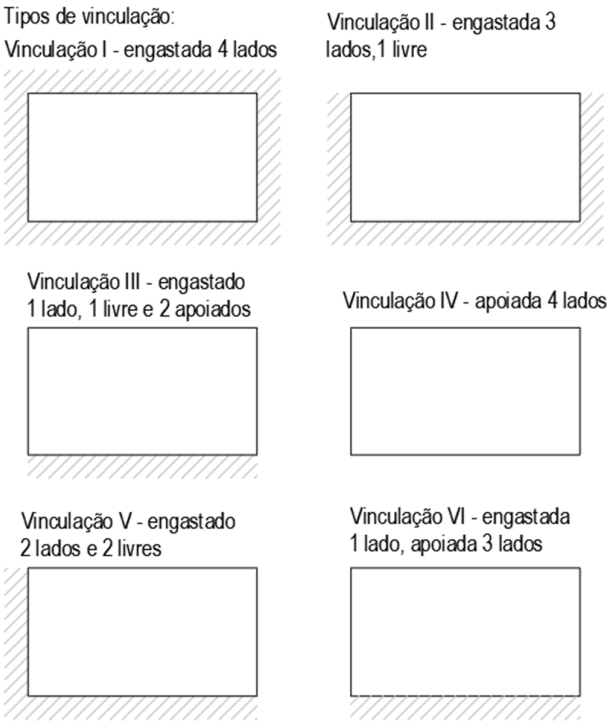
RESUMO DO(S) CONTRATO(S)

O laudo técnico é referente ao contrato nº 162/2026.

	Declaro serem verdadeiras as informações acima	De acordo
Local e Data	Profissional	Contratante

ANEXO A

Figura 16 – Tipos de vinculação para o cálculo de ligações



Fonte: Roark e Young (2002) .

Quadro 3 – Cálculo de ligações de base com enrijecedores

Vinculação I	**a/b**	1	1,2	1,4	1,6	1,8	2	
	β	0,31	0,38	0,44	0,47	0,49	0,52	
Vinculação II	**a/b**	0,25	0,5	0,75	1,5	2	3	
	β	0,02	0,08	0,17	0,32	0,73	1,2	2,1
Vinculação III	**a/b**	0,5	0,67	1	1,5	2	Infinito	
	β	0,36	0,45	0,67	0,77	0,79	0,8	
Vinculação IV	**a/b**	0,25	0,5	0,75	1	1,5	2	3
	β	0,05	0,19	0,39	0,67	1,28	1,8	2,5
Vinculação V	**a/b**	1	1,2	1,4	1,6	1,8	2	3
	β	0,29	0,38	0,45	0,52	0,57	0,61	0,71
Vinculação VI	**a/b**	0,125	0,25	0,375	0,5	0,75	1	
	β	0,05	0,19	0,4	0,63	1,25	1,8	

Fonte: Roark e Young (2002) .