

ESCORAMENTO METÁLICO EM OBRAS DE CONSTRUÇÃO CIVIL: Dimensionamento de Projeto e Execução

METALLIC SHORING IN CIVIL CONSTRUCTION WORKS: Project Design and Execution

Mariana Ribeiro Leão

mariana_mrl@hotmail.com

Ronaldo Faustino da Silva

ronaldofaustino@recife.ifpe.edu.br

RESUMO

O objetivo desse trabalho foi demonstrar a necessidade de planejamento para o escoramento metálico da estrutura a ser concretada, integrando dois fatores principais: um projeto técnico detalhado e a fiscalização da montagem das peças conforme o projeto desenvolvido. A metodologia envolveu levantamento de dados, análise estrutural das cargas e seleção de materiais adequados. A montagem foi supervisionada e testada para garantir integridade e estabilidade. Os resultados confirmaram a eficácia do dimensionamento e práticas adotadas, assegurando a estabilidade e segurança durante a construção. A aplicação de tecnologia nesse método permite soluções inovadoras dentro dos padrões normativos, otimizando o espaço, reduzindo o consumo de madeira e contribuindo para o meio ambiente.

Palavras-chave: Avaliação de Cargas; Análise Estrutural; Montagem.

ABSTRACT

The objective of this study was to demonstrate the need for planning in the metallic shoring of structures to be concreted, integrating two main factors: a detailed technical project and supervision of the assembly of the pieces according to the developed project. The methodology involved data collection, structural analysis of loads, and the selection of appropriate materials. The assembly was supervised and tested to ensure integrity and stability. The results confirmed the effectiveness of the dimensioning and practices adopted, ensuring stability and safety during construction. The application of technology in this method allows for innovative solutions within normative standards, optimizing space, reducing wood consumption, and contributing to the environment.

Keywords: Load Evaluation; Structural Analysis; Assembly.

1 INTRODUÇÃO

O escoramento metálico desempenha um papel fundamental na construção civil, assegurando a estabilidade e a segurança de estruturas temporárias durante as fases de construção, reforma e reparo. Este artigo tem como objetivo identificar que o escoramento metálico só cumprirá a função esperada, sem causar danos ou patologias às estruturas modeladas, se for dimensionado conforme as normas e os requisitos técnicos das peças utilizadas, e montado de acordo com esse dimensionamento (ABNT. NBR 15696, 2012; AISC, 2017).

O dimensionamento dos vários tipos de escoramento dependerá de uma série de fatores, que serão mencionados ao longo deste trabalho, permitindo, através das características do local e da estrutura a ser escorada, encontrar uma solução compatível e capaz de absorver os esforços com segurança (Silva & Oliveira, 2019). A conformidade com normas técnicas e requisitos específicos, como os estabelecidos pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e pelo American Institute of Steel Construction (AISC), é essencial para garantir que o escoramento suporte as cargas temporárias previstas sem falhas. A inadequação no dimensionamento ou na montagem pode levar a graves consequências, incluindo deformações estruturais, colapsos e riscos à segurança dos trabalhadores (Osha, 2015).

Os cálculos que fazem parte da rotina do engenheiro são estudados nas disciplinas de resistência dos materiais I e II, tais como: momentos fletores, cortantes, flechas, reações nos apoios e cisalhamentos. Estes cálculos são de fundamental importância, assim como a norma que envolve escoramento metálico para o dimensionamento e a melhor concepção (Arya, 2014). A utilização do escoramento metálico permite a otimização dos custos e um bom acabamento sem deformação do concreto. As características mecânicas dos materiais utilizados são cruciais, pois permitem a comparação dos resultados e a melhor distribuição no projeto (Martinez & Gonzales, 2020). Estruturas metálicas têm uma vida útil longa, podendo ser utilizadas diversas vezes com a mesma precisão, ao contrário da madeira, cuja reutilização causa perda de resistência (Silva & Oliveira, 2019).

Portanto, o objetivo do trabalho foi demonstrar a necessidade de um planejamento para o escoramento metálico da estrutura a ser concretada, integrando dois fatores principais: um projeto técnico detalhado e a fiscalização rigorosa da montagem das peças conforme o projeto desenvolvido. O projeto técnico deve incluir a avaliação precisa das cargas, a seleção adequada dos materiais e a análise estrutural detalhada, enquanto a fiscalização garante que a montagem siga fielmente as especificações do projeto, prevenindo erros de instalação que possam comprometer a segurança e a eficiência do escoramento (Martinez & Gonzales, 2020).

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Atendimento às recomendações da Norma ABNT NBR 15696

Para normatizar conceitos, processos e procedimentos ligados ao dimensionamento, projetos e execução de escoramentos e fôrmas metálicas, foi desenvolvido um projeto de norma que estabelece os procedimentos e condições para a execução de estruturas provisórias que servem de fôrma e escoramentos metálicos, para execução de estruturas de concreto moldado "in loco".

Estes procedimentos e condições incluem os materiais e equipamentos utilizados, e os critérios para dimensionamento dos projetos e execução destas estruturas provisórias, exigidos pela Norma Brasileira (NBR) 15696 da ABNT. Além da referida norma, devem ser seguidas as recomendações de outras normas especiais e as exigências peculiares de cada caso particular, entre elas foram referenciadas:

- ABNT. NBR 6120: Cargas para o cálculo de estruturas de edificações;
- ABNT. NBR 6123: Forças devidas ao vento em edificações;
- ABNT. NBR 7678: Instalações internas de gás liquefeito de petróleo (GLP) - Projeto e execução;
- ABNT. NBR 8681: Ações e segurança nas estruturas – Procedimento;

O item a ser abordado da NBR 15696 é o que se refere à execução, Execução de Estruturas de Fórmula e Escoramento Metálico, pois o objetivo do trabalho é propor requisitos de desempenho para escoramento metálico, onde é preciso analisar o equipamento enquanto em uso, ou estudar o escoramento em execução.

2.2 Tipos de escoramentos metálicos

Os escoramentos metálicos podem ser classificados como leves, pesados, especiais e reescoramentos. Cada categoria possui suas próprias características, aplicações e desafios, proporcionando soluções adaptadas às necessidades específicas de cada projeto de construção.

2.3 Escoramentos leves

Os escoramentos simples são compostos, basicamente, de escoras reguláveis (Figura 1) utilizadas para resistir as cargas axiais, permitindo agilidade, facilidade na montagem. (Silva & Oliveira, 2019).

Figura 1 – Escoramento leve com escoras.



Fonte: C3 Equipamentos, 2019

Os escoramentos leves são utilizados em projetos de construção que requerem suporte temporário para estruturas de peso relativamente baixo, como lajes e vigas de pequena espessura.

2.4 Escoramentos pesados

A versatilidade do escoramento metálico em obras de maior porte (Figura 2) exige equipamentos com características técnicas especiais que suportem grandes esforços com segurança. Os escoramentos pesados são projetados para suportar cargas mais

significativas e estruturas de maior porte, como lajes de concreto armado de grandes dimensões e alturas, estruturas de pontes e outras construções de infraestrutura.

Figura 2 – Escoramento pesado com torres.



Fonte: Orguel, 2016

No caso de estruturas altas um cuidado especial deve ser tomado, quanto a possibilidade de flambagem das torres que pela norma devem ser contraventadas com tubos a uma altura de quatro vezes a menor base. A carga útil de um poste pode chegar a 6,0tf, considerando as alturas convenientemente contraventadas. (ABNT. NBR 15696, 2012).

2.5 Escoramentos especiais

Neste tipo de escoramento o grau de dificuldade aumenta, isto porque podem surgir cargas que tenham componentes horizontais, é o caso de uma estrutura em leque que envolve decomposições de forças em cada tubo inclinado.

Figura 3 – Escoramento suspenso de uma ponte.



Fonte: Ulma, 2018

O escoramento metálico desempenha um papel crucial na sustentação de estruturas especiais de Obras de Arte Especiais (OAE), onde a segurança e a precisão são essenciais. Nesses casos, o escoramento metálico oferece vantagens significativas, como flexibilidade para se adaptar a diferentes geometrias estruturais, resistência para suportar cargas pesadas e facilidade de montagem e desmontagem.

Os escoramentos especiais englobam uma variedade de sistemas projetados para atender a requisitos específicos de cada projeto, como formas complexas de concreto, estruturas inclinadas e suportes para escavações profundas. Esses

escoramentos podem incluir soluções personalizadas e adaptadas às necessidades únicas de cada obra, proporcionando flexibilidade e eficiência no processo construtivo (AISC, 2017).

2.6 Reescoramentos

Os reescoramentos são escoramentos temporários instalados para substituir ou reforçar estruturas existentes durante obras de reforma, recuperação ou reforço estrutural. A complexidade dessa etapa é menor, mas também requer bastante atenção. Geralmente são utilizadas escoras metálicas (Figura 4), mas pode-se encontrar reescoramento com torres que são implantadas em casos especiais quando a carga transferida é muito elevada ou o pé direito é alto.

Figura 4 – Reescoramento metálico com escoras.



Fonte: Construliga, 2019

2.7 Avaliações de cargas

No projeto de escoramento metálico, é essencial realizar uma avaliação precisa das cargas atuantes para garantir a segurança e a estabilidade das estruturas temporárias. Neste capítulo, vamos explorar os principais aspectos relacionados à avaliação de cargas e sua influência no dimensionamento do escoramento metálico.

2.7.1 Critérios para a elaboração de projetos

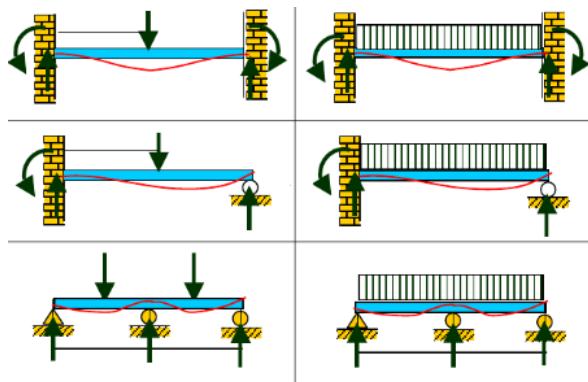
O primeiro passo na avaliação de cargas é identificar todas as forças atuantes sobre a estrutura durante o processo construtivo. Isso inclui cargas permanentes, como o peso próprio da estrutura e dos materiais de construção, bem como cargas variáveis, como o peso das pessoas, equipamentos e materiais de trabalho (Silva & Oliveira, 2019).

As cargas de concretagem, associadas ao peso do concreto fresco, são essenciais no dimensionamento do escoramento metálico (ABNT NBR 15696, 2012). Além das cargas estáticas, é importante considerar as cargas dinâmicas, como vento e sísmicas, especialmente em regiões sujeitas a essas forças (AISC, 2017). Aplicar fatores de segurança adequados garante a robustez e confiabilidade do escoramento, considerando incertezas nas cargas e imperfeições na montagem (OSHA, 2015). Uma análise estrutural detalhada é necessária para verificar se o escoramento suporta as cargas previstas sem exceder os limites de segurança (Silva & Oliveira, 2019).

Devemos observar nos cálculos os seguintes pontos dos equipamentos:

- Flechas: Observar que as deformações (Figura 5) decorrentes de peso próprio e sobrecarga devem ser calculadas, e se necessário, indicadas em projeto as contra-flechas.

Figura 5 – Exemplos de deflexões de vigas



Fonte: (adaptado de) Passei Direto, 2018

- Reações nos apoios: a condição de apoios das torres que sustentam qualquer tipo de estrutura deve merecer um cuidado especial, pois em caso de solapamento desses apoios haverá o risco de transferência de esforços não previstos na estrutura, podendo causar a ruína.
- Momentos: nos componentes horizontais de um sistema de escoramento, tais com vigas primárias e secundárias, devem ser observados os momentos de engaste e fletor das mesmas.

Além disso, é necessário adotar coeficientes de redução da resistência das torres metálicas devido às reutilizações frequentes, pois a fadiga do material interfere na capacidade nominal do conjunto.

A adoção de limites de deslocamentos horizontais para prática da obra procura levar em conta a segurança, e devem ser observados vários fatores além desse, como por exemplo, a duração da carga, o número de reuso dos materiais e o estado em que esse se encontra, observando se há pequenos amassados no material, etc. (Batista e Mascia, 2006, p. 2).

2.7.2 Segurança na execução

A segurança durante a execução de escoramentos metálicos é fundamental para garantir a integridade dos trabalhadores e a estabilidade das estruturas.

Verifica-se que a maioria dos acidentes com estruturas de concreto ocorrem durante a etapa de construção, devido principalmente à falha na estabilidade de seus escoramentos. É importante ressaltar que esses acidentes podem ocasionar perdas de vidas, atrasos significativos nas obras, danos materiais e perdas financeiras. (Soeiro, 2012, p. 5).

Portanto, capacitar os trabalhadores em procedimentos de segurança específicos para escoramentos metálicos, como a montagem e desmontagem corretas, é crucial para prevenir acidentes e garantir um ambiente de trabalho seguro.

Falhas no dimensionamento do projeto pode ocasionar acidentes graves, mesmo quando desenvolvidos por profissionais habilitados. Assim, é essencial que o

responsável técnico da obra tenha conhecimento básico do assunto e siga as recomendações normativas para a execução do projeto de escoramento metálico.

3 METODOLOGIA

3.1 Caracterização da obra

Trata-se de uma obra de incorporação de um empreendimento multiuso, localizado em Petrolina/PE, reunindo em um mesmo complexo, diferentes produtos imobiliários, como residências, escritórios, lojas, restaurantes, espaços de lazer e serviços diversos. Desenvolvido pela incorporadora BRAESPA, o empreendimento foi lançado em outubro de 2022 e começou a ser construído em maio de 2023, com promessa de entrega para o ano de 2027.

O empreendimento trará unidades residenciais e comerciais em duas torres, com acessos separados que compartilharão algumas estruturas de instalações como geradores, subestação elétrica e edifício garagem. Serão 200 apartamentos residenciais entre 32 a 51 m²; 123 salas comerciais entre 32 a 52 m²; lojas de 76 até 218 m², além de 323 vagas de garagem.

A obra já está em andamento, nas fases finais da estrutura, e conta com 4 pavimentos mais a coberta no edifício garagem, e 24 pavimentos mais a coberta de torre empresarial e 29 pavimentos mais a coberta na torre residencial.

Para o plano de execução da estrutura dessa obra delineamos a utilização de escoramentos metálicos para as lajes e vigas faixa, enquanto os escoramentos das vigas típicas de periferia e internas são elaborados mediante o emprego de garfos de madeira, confeccionados in loco pela equipe técnica da construtora.

Os projetos relacionados aos escoramentos metálicos foram concebidos e desenvolvidos sob minha supervisão direta, com a finalidade de assegurar a eficácia estrutural e a segurança das operações construtivas.

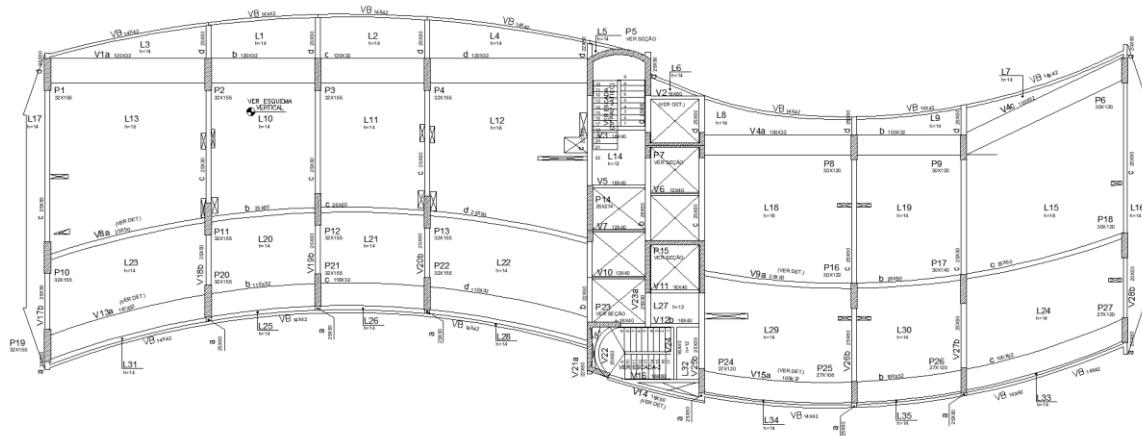
3.2 Dimensionamento do Escoramento

O estudo demonstrou todo o processo de escoramento metálico do teto tipo de uma obra, desde sua fase de concepção de projetos até as fases finais de montagem e reescoramento. Para o dimensionamento e execução do escoramento metálico nessa obra de construção civil foram adotados procedimentos, desde a coleta de dados até a análise estrutural e a implementação prática no canteiro de obras.

O processo de escoramento metálico envolveu um levantamento detalhado de dados da estrutura, incluindo dimensões, materiais, cargas atuantes, condições do terreno e restrições do projeto. Em seguida, foi realizada uma análise estrutural para determinar as cargas, tensões e deformações esperadas durante a construção. Com base nos resultados dessa análise, foram selecionados os materiais e sistemas de escoramento mais adequados, levando em consideração a facilidade de montagem, durabilidade e disponibilidade no mercado. Posteriormente, elaborou-se o projeto técnico detalhado, incluindo desenhos, especificações e cálculos estruturais. Por fim, o escoramento metálico foi implementado no canteiro de obras de acordo com o projeto técnico.

Os cálculos foram realizados para as vigas e lajes do pavimento tipo (Figura 6).

Figura 6 – Pavimento tipo a ser escorado.



Fonte: A autora, 2024

Estão apresentadas abaixo todas as características mecânicas e as capacidades de cargas dos materiais utilizados no projeto do escoramento, necessárias para a realização dos cálculos dos esforços no projeto de estrutura a ser escorado.

- Compensado de madeira 18mm
 - Momento admissível: $M = 60 \text{ kg/m}$
 - Módulo de elasticidade * momento de inércia: $EI = 331 \text{ kgm}^2/\text{m}$
- Viga metálica VM8
 - Momento admissível: $M = 170 \text{ kg/m}$
 - Módulo de elasticidade * momento de inércia: $EI = 11.340 \text{ kgm}^2/\text{m}$
- Viga H20
 - Momento admissível: $M = 500 \text{ kg/m}$
 - Módulo de elasticidade * momento de inércia: $EI = 46.130 \text{ kgm}^2/\text{m}$
- Escora Mecanor Plus 2,10 a 3,60m
 - Capacidade de carga = 2000 kg

Para determinar com precisão as cargas nas escoras e vigas, foi fundamental realizar cálculos estruturais, levando em consideração os princípios da mecânica dos materiais, e assim dimensionar adequadamente as escoras e vigas, garantindo que o sistema de escoramento seja capaz de suportar com segurança as cargas durante o processo de concretagem da estrutura.

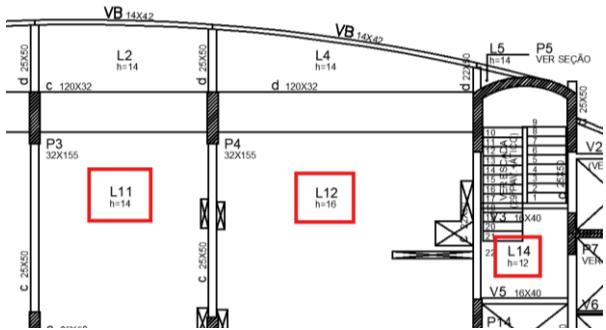
Quando as cargas encontradas foram maiores do que as permitidas, mudou-se o tipo de perfil para um mais robusto ou diminui-se os vãos entre as escoras, dos perfis principais ou o espaçamento dos perfis secundários.

3.2.1 Carregamento da laje

O projeto englobou a construção de estruturas com três distintas alturas de laje do tipo maciça. A diversidade de alturas de laje representa um desafio significativo, requerendo análises minuciosas e soluções sob medida para cada configuração, visando a assegurar a qualidade e a segurança do empreendimento como um todo.

Para o dimensionamento do cimbramento da laje é importante ter o conhecimento do tipo da laje e suas dimensões (Figura 7). Mediante esses valores são feitos os cálculos de peso e adequação do material metálico na estrutura.

Figura 7 – Verificação das lajes no projeto.
Instituto Federal de Pernambuco. Campus Recife. Curso de Engenharia Civil. 08 de Janeiro de 2025.



Fonte: A autora, 2024

Foram obtidos pelo projeto os dados para o dimensionamento do escoramento das lajes do pavimento tipo:

- Laje maciça 1: 0,12m
 - Laje maciça 2: 0,14m (a ser considerada para fins de desenvolvimento de cálculos neste presente trabalho)
 - Laje maciça 3: 0,16m
 - Peso específico do concreto: 2.500 kgf/m²
 - Sobrecarga por metro quadrado: 200 kgf/m²

Com base em todas as informações da laje, calculou-se o carregamento por metro quadrado (p), para assim medir os esforços nos materiais que escora a mesma. Por meio da multiplicação do equivalente maciço de concreto (e) pelo seu peso específico, somado com a sobrecarga por metro quadrado.

$$p = 0,14 \cdot 2.500 + 200 = 550 \text{ kgf/m}^2$$

Primeiramente foi feito o cálculo do vão máximo admissível para o compensado. Considerando que a chapa terá quatro ou mais apoios e que a deformação máxima está limitada a $L / 350$. A partir da fórmula da flecha máxima (f) e o momento fletor máximo (Mat), calcula-se o vão máximo para suporte do compensado utilizado (Lc). Com os vãos máximos calculados a partir da flecha e do compensado deve ser considerado o de menor valor, para efeito de projeto.

$$f = (4 * p * L^4) / (581 * Ei) \leq L / 350, \text{ logo}$$

$Lc = 3 \sqrt{(581 \cdot Ei) / (4 \cdot 350 \cdot p)}$, em função da flexão. (I)

$$Mat = (p^*L^2) / 10 \leq Mad = Tf * W$$

$Lc' = 2 \sqrt{(M^* 10)} / p$, em função do momento. (II)

foi adotado o menor valor entre (I) e (II).

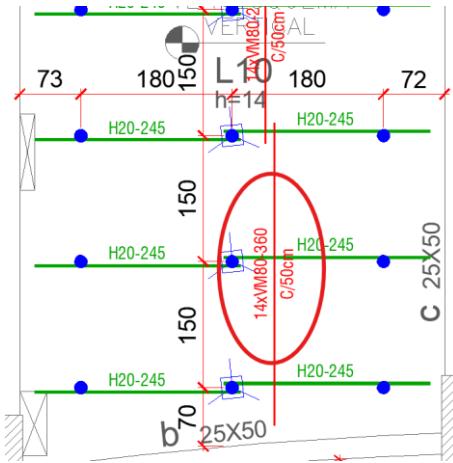
Com as informações da laje estudada e as fórmulas a serem utilizadas, aplica-se as informações obtendo os resultados requeridos, especificados anteriormente.

$$Lc = 3 \sqrt{(581*331) / (4*350*550)} = 0,63m$$

$$Lc' = 2 \sqrt{(60*10) / (550)} = 1,04m$$

Adotando-se $L_c = 0,63m \geq 0,50m$ (vão máximo em projeto, conforme Figura 8.)

Figura 8 – Espaçamento das vigas de escoramento secundárias, que servem de apoio para os compensados.



Fonte: A autora, 2024

O vão máximo livre para o apoio do compensado na laje é superior ao adotado em projeto, estando em conformidade aos cálculos exigidos pela norma. O valor de 0,50m representa em projeto o espaçamento das vigas secundárias do escoramento, que servem de apoio para as folhas de compensado sobre a laje.

As vigas secundárias que servem de apoio para os compensados são calculadas como sendo bi-apoiadas ou contínuas (com mais de dois apoios), com uma deformação máxima limitada em $L/350$.

- Para vigas bi-apoiadas:

$$L_s = 3 \sqrt{(384 * E_i) / (5 * 350 * q_s)}$$
, em função da flexão. (I)

$$L_s' = 2 \sqrt{(M * 8) / q_s}$$
, em função do momento. (II)
foi adotado o menor valor entre (I) e (II).
- Para vigas contínuas:

$$L_s = 3 \sqrt{(581 * E_i) / (4 * 350 * q_s)}$$
, em função da flexão. (I)

$$L_s' = 2 \sqrt{(M * 10) / q_s}$$
, em função do momento. (II)
foi adotado o menor valor entre (I) e (II).

A viga secundária escolhida para a composição do escoramento foi a VM8.

O carregamento (q_s) das secundárias é em relação ao vão máximo do compensado (L_c): $q_s = p * L_c$. Sendo calculado pela multiplicação da carga da laje pelo espaçamento adotado entre as vigas secundárias.

- Viga secundária: VM8

$$e = 0,14m / p = 550 \text{ kgf/m}^2 / L_c = 0,50m$$

$$q_s = 550 * 0,50 = 275 \text{ kgf/m}$$
 - Para vigas bi-apoiadas:

$$L_s = 3 \sqrt{(384 * 11.340) / (5 * 350 * 275)} = 2,08m$$

$$L_s' = 2 \sqrt{(170 * 8) / (275)} = 2,22m$$
- Adotou-se $L_s = 2,08m \geq 1,50m$ (vão máximo em projeto)**

- Para vigas contínuas:

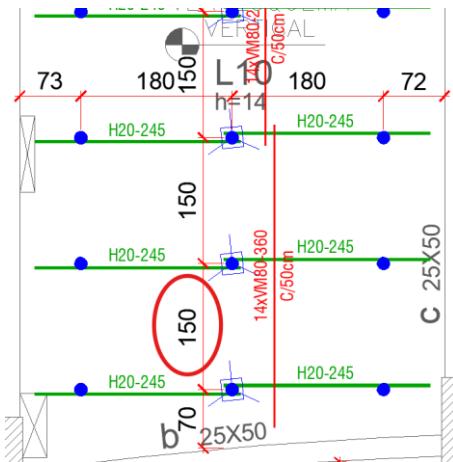
$$L_s = 3 \sqrt{(581*11.340) / (4*350*275)} = 2,57m$$

$$L_s' = 2 \sqrt{(170*10) / (275)} = 2,48m$$

Adotou-se $L_s = 2,48m \geq 1,50m$ (vão máximo em projeto).

As vigas secundárias encontram-se no projeto em um vão menor que o exigido pelos cálculos dos esforços, estando assim em compatibilidade com os esforços requeridos através da carga da laje para as vigas VM8 (Figura 9).

Figura 9 – Vãos máximos das vigas secundárias.



Fonte: A autora, 2024

No cálculo do vigamento principal as vigas principais (H20) são calculadas como sendo bi-apoiadas ou contínuas (com mais de dois apoios), com uma deformação máxima limitada em $L/350$. O carregamento (q_p) das principais é em relação à laje de influência (L_i), e do vão máximo da secundária (L_s).

- Para vigas bi-apoiadas:

$$L_p = 3 \sqrt{(384*E_i) / (5*350*q_p)}, \text{ em função da flexão. (I)}$$

$$L_p' = 2 \sqrt{(M*8) / q_p}, \text{ em função do momento. (II)}$$

foi adotado o menor valor entre (I) e (II).

- Para vigas contínuas

$$L_p = 3 \sqrt{(581*E_i) / (4*350*q_p)}, \text{ em função da flexão. (I)}$$

$$L_p' = 2 \sqrt{(M*10) / q_p}, \text{ em função do momento. (II)}$$

foi adotado o menor valor entre (I) e (II).

A viga utilizada como primária no escoramento foi a H20.

- Viga primária: H20

$$e = 0,14m / p = 550 \text{ kgf/m}^2 / L_i = 1,50m$$

$$q_p = 550*1,50 = 825 \text{ kgf/m}$$

- Para vigas bi-apoiadas:

$$L_p = 3 \sqrt{(384*46.130) / (5*350*825)} = 2,30m$$

$$L_p' = 2 \sqrt{(500*8) / (825)} = 2,20m$$

Adotou-se $L_p = 2,20m \geq 1,80m$ (vão máximo em projeto)

- Para vigas contínuas:

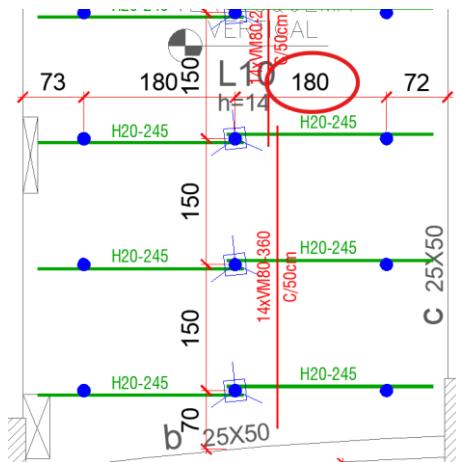
$$L_p = 3 \sqrt{(581 \cdot 46.130) / (4 \cdot 350 \cdot 825)} = 2,85 \text{m}$$

$$Lp' = 2 \sqrt{(500*10) / (825)} = 2,46m$$

Adotou-se $L_p = 2,46m \geq 1,80m$ (vão máximo em projeto)

As vigas H20 encontram-se distribuídas no projeto (Figura 10), em um vão inferior ao exigido pelos cálculos, estando assim em conformidade. As escoras de apoio se encontram distribuídas a cada 1,80m, espaçamento inferior aos máximos desenvolvidos através dos cálculos.

Figura 10 – Vãos máximos das vigas principais.



Fonte: A autora, 2024

Sendo o escoramento do pavimento tipo desenvolvido através de escoras para apoio dos vigamentos, se faz necessário calcular a carga pontual na escora (R), que é calculada através da relação do peso da laje (p) com a área de influência (A_i) de carga sobre aquela escora. A escora utilizada é a Mecanor Plus 2,10m a 3,60m que possui uma capacidade de carga igual a 2000 kg.

$$e = 0.14\text{m} / p = 550 \text{ kgf/m}^2 / A_i = 1.50 * 1.80 = 2.70\text{m}^2$$

$$R = 550 * 2.70$$

R = 1485 kgf < 2000 kg (capacidade máxima da escora adotada no projeto)

Finaliza-se assim o escoramento das lajes diante dos valores obtidos para o compensado, viga secundária, viga principal e carga pontual na escora de apoio. Existem inúmeras possibilidades para o tipo de cimbramento para lajes, sendo o presente estudado o mais leve e econômico (Figura 11).

Figura 11 – Planta baixa do projeto de escoramento das lajes do teto tipo.

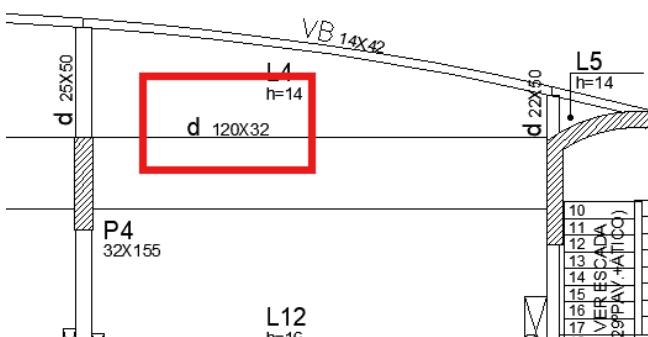


Fonte: A autora, 2024

3.2.2 Carregamento da viga faixa

O cálculo do dimensionamento do cimbramento das vigas se assemelha bastante com o de lajes em termos de fórmulas, pois são as mesmas, para as operações feitas para as vigas. Diante desse valor a carga é direcionada as vigas de escoramento e por último os pontos de apoios.

Figura 12 – Verificação da viga faixa no projeto.



Fonte: A autora, 2024

O escoramento da viga faixa, pelo pior caso verificado em projeto com dimensões de 1,20m x 0,32m, que vai de um canto a outro do pavimento foi dimensionado através de escoras para o apoio e vigas primárias e secundárias. Inicialmente para a carga da viga realiza-se o seguinte cálculo:

$$p = 0,32 \times 2.500 + 200 = 1.000 \text{ kgf/m}^2$$

Com a carga inicial da viga parte-se para a verificação do compensado de 18mm no fundo da mesma, como considerado no fundo das lajes.

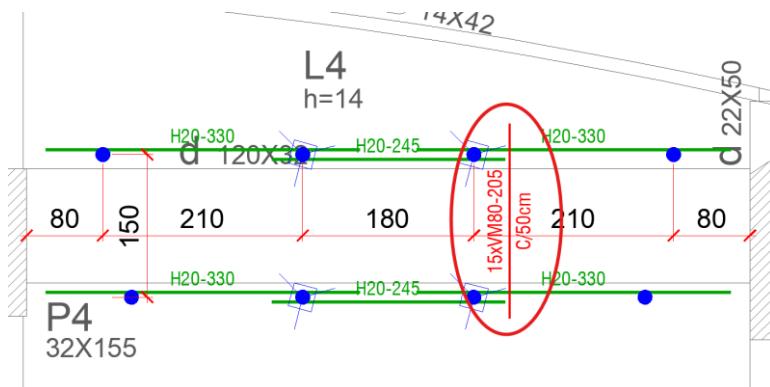
Aplicando a carga da viga:

$$Lc = 3 \sqrt{(581 \times 331) / (4 \times 350 \times 1.000)} = 0,51 \text{ m.}$$

$$Lc' = 2 \sqrt{(60 \times 10) / (1.000)} = 0,77 \text{ m.}$$

Adotando-se $Lc = 0,51 \text{ m} \geq 0,50 \text{ m}$ (vão máximo em projeto, conforme Figura 13 a seguir).

Figura 13 – Espaçamento das vigas de escoramento secundárias, que servem de apoio para os compensados.



Fonte: A autora, 2024

As vigas secundárias que servem de apoio para os compensados são calculadas como sendo bi-apoiadas ou contínuas (com mais de dois apoios), com uma deformação máxima limitada em L/350.

- Viga secundária: VM8

$$p = 1.000 \text{ kgf/m}^2 / L_c = 0,50\text{m}$$

$$q_s = 1.000 * 0,50 = 500 \text{ kgf/m}$$

- Para vigas bi-apoiadas:

$$L_s = 3 \sqrt{(384 * 11.340) / (5 * 350 * 500)} = 1,70\text{m}$$

$$L_s' = 2 \sqrt{(170 * 8) / (500)} = 1,64\text{m}$$

Adotou-se $L_s' = 1,64\text{m} \geq 1,50\text{m}$ (vão máximo em projeto)

- Para vigas contínuas:

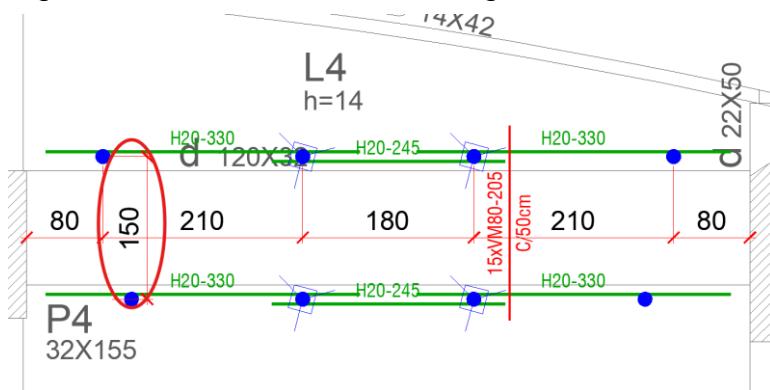
$$L_s = 3 \sqrt{(581 * 11.340) / (4 * 350 * 500)} = 2,11\text{m}$$

$$L_s' = 2 \sqrt{(170 * 10) / (500)} = 1,84\text{m}$$

Adotou-se $L_s' = 1,84\text{m} \geq 1,50\text{m}$ (vão máximo em projeto)

As vigas secundárias se encontram no projeto em um vão menor que o exigido pelos cálculos dos esforços, conforme podemos ver na Figura 14, estando assim em compatibilidade com os esforços requeridos através da carga da viga para a viga secundária VM8.

Figura 14 – Vãos máximos das vigas secundárias.



Fonte: A autora, 2024

O valor de 1,50m representa o vão máximo no projeto de apoio da viga secundária (VM8). No cálculo do vigamento principal as vigas principais (H20) são calculadas como sendo bi-apoiadas ou contínuas (com mais de dois apoios), com uma deformação máxima limitada em L/350.

- Viga primária: H20

$$p = 1.000 \text{ kgf/m}^2$$

$$q_p = 1.000 * (1,50/2) = 750 \text{ kgf/m}$$

- Para vigas bi-apoiadas:

$$L_p = 3 \sqrt{(384 * 46.130) / (5 * 350 * 750)} = 2,38\text{m}$$

$$L_p' = 2 \sqrt{(500 * 8) / (750)} = 2,30\text{m}$$

Adotou-se $L_p' = 2,30\text{m} \geq 2,10\text{m}$ (vão máximo em projeto)

- Para vigas contínuas:

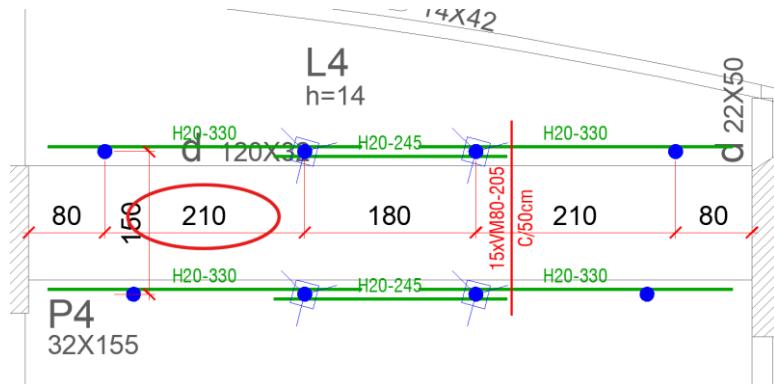
$$L_p = 3 \sqrt{(581 \cdot 46.130) / (4 \cdot 350 \cdot 750)} = 2,94 \text{m}$$

$$Lp' = 2 \sqrt{(500*10) / (750)} = 2,58\text{m}$$

Adotou-se $L_p' = 2,58m \geq 2,10m$ (vão máximo em projeto)

As vigas H20 encontram-se distribuídas no projeto, em um vão inferior ao exigido pelos cálculos, estando assim em conformidade. As escoras de apoio se encontram distribuídas a cada 2,10m, espaçamento inferior aos máximos desenvolvidos através dos cálculos, conforme podemos ver na Figura 15.

Figura 15 – Vãos máximos das vigas secundárias.



Fonte: A autora, 2024

Sendo o escoramento desenvolvido através de escoras para apoio dos perfis, se faz necessário calcular a carga pontual na escora. A escora utilizada é a Mecanor Plus 2,10m a 3,60m que possui uma capacidade de carga igual a 2000 kg.

$$qp = 750 \text{ kgf/m} / Ai = 2,10m$$

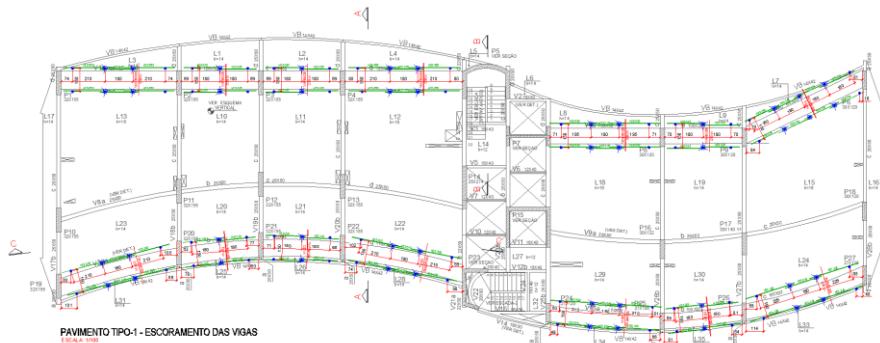
$$R = 750^*2,10$$

R = 1575 kgf < 2000 kg (capacidade máxima da escora adotada no projeto)

Conclui-se, portanto, o escoramento das vigas em face dos valores obtidos para o compensado, escoras metálicas e perfis de apoio.

Assim como no caso do escoramento das lajes, há uma variedade de abordagens disponíveis para o escoramento de vigas, sendo o método estudado neste trabalho identificado como o mais leve e econômico, conforme ilustrado na Figura 16.

Figura 16 – Planta baixa do projeto de escoramento das lajes do teto tipo.

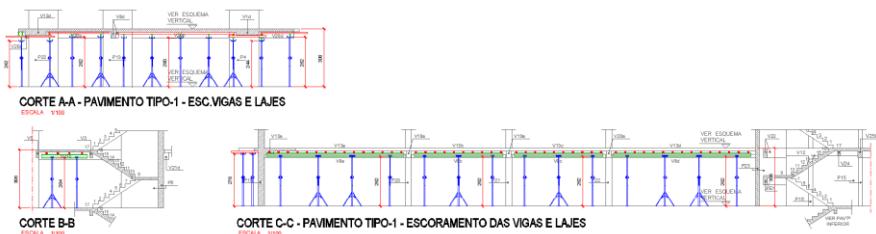


Fonte: A autora, 2024

Podemos, então, perceber a importância do desenvolvimento dos cálculos para dimensionar o projeto de escoramento não pode ser subestimada. Estas análises são fundamentais para garantir a estabilidade estrutural, a segurança dos trabalhadores e a integridade do ambiente construído.

A inclusão de detalhes no projeto, que abarcam desde cortes detalhados (Figura 17), até especificações minuciosas dos equipamentos, desempenha um papel crucial no aprimoramento do desenvolvimento do escoramento. Esses detalhes enriquecem a compreensão das demandas estruturais específicas, viabilizando uma concepção mais precisa e adaptável do sistema de suporte.

Figura 17 – Cortes Laterais e Longitudinais das Plantas baixas de escoramento.



Fonte: A autora, 2024

Ao fornecer informações detalhadas sobre as cargas esperadas, as propriedades dos materiais, as condições do local e outros fatores relevantes, os projetos enriquecidos capacitam os engenheiros a tomar decisões mais informadas e a implementar soluções mais eficazes. Dessa forma, muitos detalhes no projeto não apenas aumentam a qualidade e a segurança do escoramento, mas também contribui para a eficiência e a viabilidade econômica do empreendimento como um todo.

Em suma, tanto a precisão e a robustez dos cálculos de dimensionamento de escoramento quanto o detalhamento meticoloso do projeto desempenham papéis fundamentais no sucesso e na qualidade final da construção. A combinação desses elementos permite uma compreensão abrangente das demandas estruturais específicas, garantindo a concepção e implementação eficazes de sistemas de escoramento que atendam aos mais altos padrões de segurança e desempenho.

A coleta de dados para o projeto de escoramento metálico seguiu diretrizes estabelecidas por normas técnicas e foi baseada em estudos detalhados das condições específicas da obra. De acordo com a ABNT NBR 15696:2009, é crucial realizar um levantamento minucioso das características do local e das cargas atuantes, além de utilizar ferramentas de análise estrutural avançadas para garantir a precisão dos cálculos (ABNT NBR 15696:2009).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Dimensionamento do projeto e a execução da montagem do escoramento metálico da obra de construção civil.

- Carregamento de Laje
 - Espessura da Laje: 0,14m
 - Carga da Laje: 550 kgf/m²
 - Compensado: 18mm
 - Espaçamento adotado para viga secundária: 0,50m
 - Viga secundária: VM8

- Carga atuante: 275kgf/m
- Vão da viga secundária: 1,50m
- Viga Principal: H20
- Carga atuante: 825 kgf/m
- Vão da viga principal: 1,80m
- Escora de apoio: Escora Mecanor Plus 2,10m a 3,60m
- Carga atuante: 1485 kgf
- Carregamento de Viga Faixa
 - Dimensões da Viga Faixa: 1,20m x 0,32m
 - Carga da Viga: 1.000 kgf/m²
 - Compensado: 18mm
 - Espaçamento adotado para viga secundária: 0,50m
 - Viga secundária: VM8
 - Carga atuante: 500 kgf/m²
 - Vão da viga secundária: 1,50m
 - Viga Principal: H20
 - Carga atuante: 750 kgf/m
 - Vão da viga principal: 2,10m
 - Escora de apoio: Escora Mecanor Plus 2,10m a 3,60m
 - Carga atuante: 1575 kgf

Os dados coletados e as análises realizadas revelam aspectos importantes sobre a eficácia e a segurança do escoramento metálico. Todas as cargas atuantes nas peças, os momentos, flechas e reações de apoio, estão dentro dos limites máximos admissíveis estabelecidos pelos laudos técnicos de cada peça.

4.1 Dimensionamento do Projeto de Escoramento Metálico

O processo de dimensionamento do projeto revelou as cargas predominantes na estrutura, abrangendo desde as cargas permanentes até as variáveis, como as cargas de concretagem e as externas, como as de sobrecarga de trabalho. Os cálculos estruturais foram meticulosamente executados conforme as normas técnicas aplicáveis, garantindo a seleção precisa dos materiais e sistemas de escoramento para assegurar a estabilidade da construção. Segundo Mehta e Monteiro (2014), a correta avaliação e dimensionamento das cargas são cruciais para evitar falhas estruturais e garantir a segurança da edificação. Este rigor técnico assegura que todos os componentes do sistema de escoramento possam suportar as tensões e deformações previstas, promovendo uma construção segura e eficiente.

4.2 Execução da Montagem do Escoramento Metálico

Durante a execução da montagem do escoramento metálico, os sistemas foram instalados de acordo com o projeto técnico elaborado, passando por testes rigorosos de integridade e estabilidade. A supervisão contínua e a fiscalização efetiva foram fundamentais para garantir a conformidade com os padrões de segurança e qualidade, assegurando a robustez da estrutura.

Com a conclusão do projeto executivo e o material em obra, acontece a montagem do escoramento para as estruturas a serem concretadas. Pode-se acompanhar abaixo uma sequência de imagens (Figuras 18, 19, e 20) do escoramento atuando no pavimento tipo, antes, durante e após a montagem.

Figura 18 – Montagem de Escoramento.



Fonte: A autora, 2024

Figura 19 – Vigas primárias e secundárias no escoramento.



Fonte: A autora, 2024

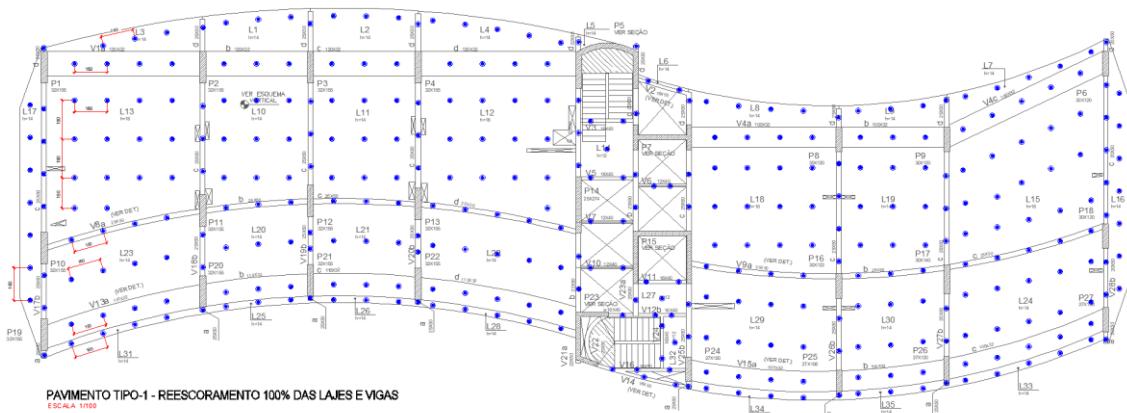
Figura 20 – Escoramento de lajes e vigas.



Fonte: A autora, 2024

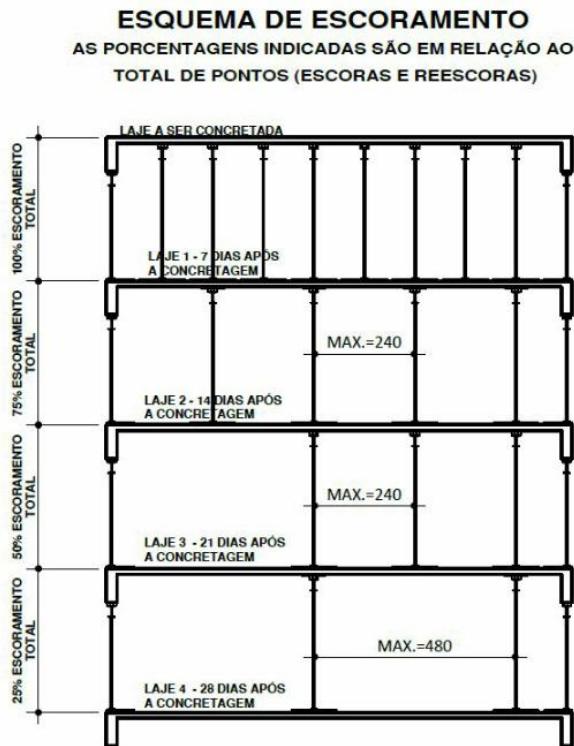
Após o período de desforma, o escoramento foi removido das estruturas concretadas, dando lugar ao processo de reescoramento. projeto do pavimento tipo, conforme ilustrado nas Figuras 21, 22 e 23, levado-se em consideração as cargas aplicadas e as recomendações específicas do calculista da obra, visando garantir a estabilidade e integridade estrutural durante todo o processo de desforma e reescoramento.

Figura 21 – Planta baixa do projeto de reescoramento do teto tipo.



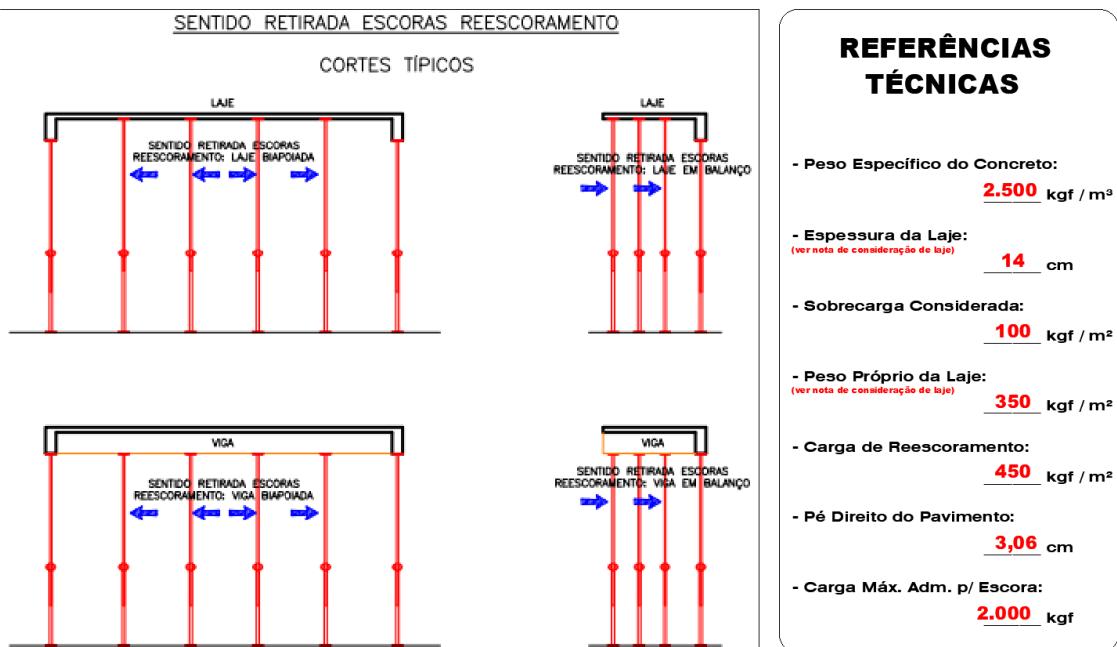
Fonte: A autora, 2024

Figura 22 – Detalhe de esquema de escoramento típico.



Fonte: Slideshare, 2020

Figura 23 – Detalhe da remoção de escoras e características técnicas adotadas.



Fonte: A autora, 2024

O responsável pelo projeto informa ao responsável pela execução da obra os valores mínimos de resistência à compressão e módulo de elasticidade que devem ser obedecidos para a desforma e reescoramento, bem como a sequência de operações de retirada do escoramento. Figueiredo (2020) destaca a importância de uma comunicação clara entre os projetistas e a equipe de execução para garantir que

as especificações técnicas sejam rigorosamente seguidas, assegurando a integridade estrutural e a segurança do processo de construção.

A execução do reescoramento empregado no canteiro de obras (Figura 24), deve considerar a remoção cuidadosa do escoramento para garantia de estabilidade das estruturas concretadas.

Figura 24 – Reescoramento.



Fonte: A autora, 2024

A execução do reescoramento das vigas e lajes de uma obra é um processo crítico que exige precisão e conformidade com normas técnicas para garantir a segurança estrutural. Conforme a ABNT NBR 15696:2009, o reescoramento deve ser cuidadosamente planejado e implementado para suportar as cargas adicionais durante o processo de cura do concreto. A aplicação de práticas de reescoramento apropriadas não só evitou deformações e falhas, mas também assegurou a integridade estrutural durante as fases críticas de construção. A correta execução do reescoramento é essencial para prevenir patologias e garantir a longevidade da estrutura.

Ou seja, reescoramento é o processo de sustentação final da laje/pavimento até que o concreto esteja completamente resistente. Na retirada da estrutura de escoramento, ocorre uma deformação (flecha) da laje – que é prevista em projeto. A aplicação do reescoramento surge justamente para evitar deformações excessivas, absorver cargas superiores às projetadas e evitar fissuras e demais danos no concreto (Atex, 2018).

Esse procedimento foi monitorado continuamente, com verificações regulares para ajustar e reforçar as escoras conforme necessário, garantindo assim a estabilidade e a segurança do projeto.

4.3 Avaliação dos Resultados

Os resultados obtidos refletiram a eficácia do dimensionamento do projeto e a excelência na execução da montagem do escoramento metálico. A estabilidade e a segurança foram mantidas ao longo de todo o processo de construção, evidenciando a eficácia das práticas adotadas e a adequação dos materiais e sistemas de escoramento selecionados.

Um dimensionamento de projeto inadequado ou uma montagem mal executada desse tipo de escoramento pode resultar em riscos graves. Entre os perigos mais evidentes estão o colapso estrutural, que pode ocasionar acidentes fatais ou graves lesões aos trabalhadores, além de danos materiais significativos. Outros riscos incluem a exposição dos colaboradores a quedas de materiais e estruturas, falta de estabilidade no solo que pode levar ao deslocamento ou tombamento do escoramento, e o comprometimento do cronograma da obra devido a acidentes ou inspeções corretivas. Por isso, é imprescindível que o projeto seja elaborado por profissionais capacitados, com base em normas técnicas, e que a execução seja acompanhada por uma equipe de segurança treinada, garantindo o uso correto de equipamentos e a inspeção regular das condições do escoramento.

O uso de escoramento metálico em obras de construção civil também apresenta vantagens significativas em termos de sustentabilidade e preservação do meio ambiente em comparação ao escoramento de madeira. Por ser reutilizável, o escoramento metálico reduz a necessidade de extração de recursos naturais, como a madeira, contribuindo para a preservação das florestas. Além disso, sua durabilidade e resistência permitem múltiplos ciclos de utilização, diminuindo a geração de resíduos e os custos relacionados ao descarte e aquisição de novos materiais. Outra vantagem é a possibilidade de reciclagem do metal ao final de sua vida útil, reforçando o conceito de economia circular. Essas características tornam o escoramento metálico uma opção mais ecológica e alinhada às práticas de construção sustentável, reduzindo o impacto ambiental das obras.

Um estudo realizado por Silva e Oliveira em 2019 reforça a importância do dimensionamento adequado e da fiscalização rigorosa na execução do escoramento metálico. Os autores destacam que a aplicação de normas técnicas e a utilização de materiais de alta qualidade são fundamentais para garantir a segurança e a eficiência do processo de construção. Esse estudo corrobora a necessidade de integrar conhecimentos teóricos e práticos para otimizar a execução de estruturas temporárias, como o escoramento metálico, e garantir a segurança das obras (Silva & Oliveira, 2019).

5 CONCLUSÕES

O uso de escoramento metálico é uma prática comum na construção civil, no entanto, ainda carece de estudos aprofundados. Muitas vezes, devido à terceirização dessa atividade, há uma falta de interesse em analisar sistematicamente suas vantagens, embora algumas delas sejam procuradas como diferenciais competitivos pelos usuários. Este estudo destacou a necessidade de profissionais capacitados para dimensionar e executar o sistema. A aplicação de tecnologia nesse método permite soluções inovadoras dentro dos padrões normativos, otimizando o espaço, reduzindo o consumo de madeira e contribuindo para o meio ambiente.

Cada tipo de escoramento requer uma metodologia específica, considerando as condições de apoio e as cargas atuantes, portanto é essencial o conhecimento e habilidade para a execução segura e versátil de estruturas de concreto. O escoramento metálico é uma ferramenta essencial na construção civil, desde que dimensionado e executado por profissionais capacitados e bem treinados.

REFERENCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6120**: Cargas para o cálculo de estruturas de edificações. RJ, 2019.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6123**: Forças devidas ao vento em edificações. RJ, 1988.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7678**: Instalações internas de gás liquefeito de petróleo (GLP) - Projeto e execução. RJ, 1983.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8681**: Ações e segurança nas estruturas - Procedimento. RJ, 2003.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15696**: Acessibilidade em veículos de características urbanas de passageiros com carroceria automotiva. RJ, 2012.
- American Institute of Steel Construction (AISC). **Steel Construction Manual**, 15th Edition. Chicago, 2017.
- Atex. **Cimbramento e escoramento: Diferenças e Conceitos**. 06 março 2018. Disponível em <https://atex.com.br/pt/cimbramento-escoramento-conceitos/>. Acesso em 04 junho 2024.
- Arya, C. **Design of Structural Elements: Concrete, Steelwork, Masonry, and Timber Designs to British Standards and Eurocodes**. 3rd Edition. London: Taylor & Francis, 2014.
- Batista, A.M., Mascia N.T. **Escoras metálicas empregadas em cimbramentos para edificações e concreto armado**. In: 32 Jornadas Sulamericanas de Engenharia Estrutural. v.1. p.1-10. Anais. Campinas: Audio press, 2006.
- Figueiredo, A. D. **Tecnologia do Concreto**. 3. ed. São Paulo: Blucher, 2020.
- Martinez, J. P., & Gonzales, H. R. **Innovations in Temporary Structures: Shoring and Formwork Systems**. International Journal of Construction Engineering and Management, 9(3), 134-142, 2020.
- Mehta, P. K.; Monteiro, P. J. M. **Concrete: Microstructure, Properties, and Materials**. 4. ed. New York: McGraw-Hill Education, 2014.

Silva, L. F., & Oliveira, E. R. **Avaliação da Eficiência Técnica e Econômica do Escoramento Metálico em Obras de Médio Porte.** In: Anais do 12º Congresso Brasileiro de Engenharia Civil - ABENC, Salvador, 2019.

Soeiro, M. A. R. **Avaliação da segurança de torres metálicas para escoramentos de estruturas de concreto armado.** Dissertação (mestrado) – UFCE, Pós-Graduação em Engenharia Civil: Estruturas e Construção Civil, Fortaleza, 2012.

U.S. Occupational Safety and Health Administration (OSHA). **Guidelines for Shoring and Scaffolding Safety.** Washington, D.C., 2015.