



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA

CENTRO DE TECNOLOGIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

João Victor Caldas Ferreira – 20190053914

**ESTUDO DE CASO: SISTEMA ESTRUTURAL DE CONCRETO
PROTENDIDO EM EMPREENDIMENTO DE ALTO PADRÃO NA PARAÍBA**

João Pessoa – PB 2024

JOÃO VICTOR CALDAS FERREIRA

**ESTUDO DE CASO: SISTEMA ESTRUTURAL DE CONCRETO
PROTENDIDO EM EMPREENDIMENTO DE ALTO PADRÃO NA PARAÍBA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Universidade Federal da Paraíba – UFPB, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Givanildo Alves de Azeredo.

JOÃO PESSOA
2024

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

F383e Ferreira, Joao Victor Caldas.

Estudo de caso: sistema estrutural de concreto protendido em empreendimento de alto padrão na Paraíba. / Joao Victor Caldas Ferreira. - João Pessoa, 2024. 54 f. : il.

Orientação: Givanildo Alves de Azeredo.
TCC (Graduação) - UFPB/CT.

1. Estudo de Caso. 2. Método Construtivo. 3. Laje Nervurada. 4. Concreto Protendido. I. Azeredo, Givanildo Alves de. II. Título.

UFPB/BSCT

CDU 624(043.2)

JOÃO VICTOR CALDAS FERREIRA

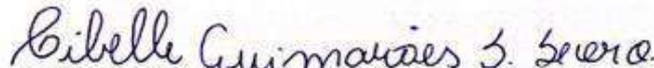
**ESTUDO DE CASO: SISTEMA ESTRUTURAL DE CONCRETO
PROTENDIDO EM EMPREENDIMENTO DE ALTO PADRÃO NA PARAÍBA**

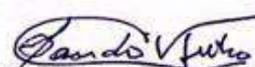
Trabalho de Conclusão de Curso (TCC)
apresentado à Universidade Federal da Paraíba
- UFPB, como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovado em: 25.../10.../2024

BANCA EXAMINADORA


GIVANILDO ALVES DE AZEREDO.


CIBELLE GUIMARÃES SILVA SEVERO.


ORLANDO DE CAVALCANTI VILLAR FILHO.

Sumário

1	INTRODUÇÃO	14
2	OBJETIVOS	16
2.1	Objetivo geral.....	16
2.2	Objetivos Específicos.....	16
3	REFERENCIAL TEÓRICO	17
3.1	Concreto Protendido	17
3.1.2	Técnica de Protensão	17
3.1.3	Classificação quanto a aderência	19
3.1.3.1	Pré-tracionada (Aderência inicial)	20
3.1.3.2	Pós-tracionada aderente	21
3.1.3.3	Pós-tracionada não aderente	23
3.1.4	Qualidades e Desafios do Concreto Protendido	24
3.1.5	Componentes Utilizados	27
3.1.5.1	Concreto.....	27
3.1.5.2	Armaduras ativas.....	27
3.1.5.3	Cordoalhas engraxadas	28
3.1.5.4	Armaduras passivas	29
3.1.5.5	Estruturas de ancoragem e bainhas metálicas	29

4	METODOLOGIA	32
4.1	Diagrama de Fluxo	33
4.2	Estudo dos Projetos.....	34
4.3	Estimativa de Custos e Orçamento.....	38
4.4	Revisão Técnica e de execução	38
5	RESULTADOS	39
5.1	Estudo de caso: Estrutura com Concreto Protendido.	39
5.1.1.	Revisão Técnica.....	39
5.1.2.	Estimativa de Custo e Orçamento	47
5.1.3.	Desempenho de Execução	49
5.1.4.	Aspectos Positivos e Negativos	49
6	CONCLUSÕES FINAIS E CONSIDERAÇÕES	51
	REFERÊNCIAS	53

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, expresso minha profunda gratidão aos meus pais, que me proporcionaram a educação necessária para que eu pudesse chegar até aqui, concluindo mais um importante ciclo da minha vida e realizando o grande sonho de me tornar Engenheiro Civil. Além disso, agradeço pela confiança inabalável depositada em mim ao longo da minha jornada, bem como pelo apoio e motivação constantes nas horas difíceis. Sou eternamente grato, pois sem vocês, este momento não seria possível.

Em especial a Deus, por ter me dado a dádiva da vida e forças para seguir em frente nesta longa caminhada. À minha namorada Juliana, por ter me apoiado em todos os momentos, facilitando esse processo de graduação.

Ao meu orientador professor Givanildo, por toda dedicação, auxílio, conhecimento e comprometimento, sendo peça fundamental ao desenvolvimento do trabalho.

A todos os colegas que estiveram presentes em minha vida acadêmica, contribuindo com conhecimento e boas conversas. Em especial ao meu grupo mais próximo Celina e Thifany, e meus amigos que sempre estiveram ao meu lado, Lucas, Von e Pedro.

João Victor Caldas Ferreira.

“A educação é o desenvolvimento no homem de toda a perfeição de que sua natureza é capaz.”

(Immanuel Kant)

RESUMO

Diante das demandas cada vez mais rigorosas por qualidade, segurança e eficiência na construção civil, a busca por inovações e métodos diversificados tornou-se essencial. Este trabalho apresenta um estudo de caso de um empreendimento de alto padrão em João Pessoa, Paraíba, e analisa o uso do método construtivo de laje nervurada com concreto protendido, uma técnica adotada principalmente para atender aos requisitos de grandes vãos e cargas elevadas, garantindo melhor desempenho estrutural. Logo, é demonstrado o processo sequencial para a execução do sistema de construção, detalhando todas etapas construtivas do caso em estudo, incluindo a montagem de fôrmas, concretagem, instalação de armaduras de aço, uso de cordoalhas engraxadas e cimbramento, processo da aplicação de protensão. Também são apresentados dados de custos estimados e de execução, que somam aproximadamente R\$42 milhões para a estrutura de 47 pavimentos, refletindo o investimento adicional desse método em comparação com técnicas convencionais, mas que proporciona soluções eficientes para atender às necessidades específicas do projeto. Com isso, foi avaliado e discutido os resultados para uma análise de vantagens e desvantagens expostas pela aplicação do concreto protendido na edificação em estudo, demonstrando também os motivos para usar o método na Edificação em análise.

Palavras-chaves: Método construtivo; Laje Nervurada; Concreto Protendido; Custo.

ABSTRACT

Faced with increasingly rigorous demands for quality, safety, and efficiency in construction, the pursuit of innovation and diverse methods has become essential. This work presents a case study of a high-standard project in João Pessoa, Paraíba, analyzing the use of the ribbed slab construction method with prestressed concrete—a technique primarily adopted to meet the requirements for large spans and high loads, ensuring improved structural performance. A sequential process for implementing this construction system is demonstrated, detailing all construction stages of the case under study, including formwork assembly, concrete pouring, steel reinforcement installation, the use of greased strands, shoring, and the prestressing application process. Estimated costs and execution data are also presented, totaling approximately R\$42 million for the 47-story structure, reflecting the additional investment of this method compared to conventional techniques, yet offering efficient solutions tailored to the project's specific requirements. With this, the results were evaluated and discussed to analyze the advantages and disadvantages presented by the application of prestressed concrete in the building under study, additionally, the analysis highlights the reasons for choosing this method for the building under study.

Keywords: Construction Method; Ribbed Slab; Prestressed Concrete; Cost.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1 – Concretagem de Laje Nervurada.
- Figura 2 – Utilização do Macaco Hidráulico.
- Figura 3 – Esquema Simplificado de Fabricação de peça protendida pós tracionada.
- Figura 4 – Ponte Octávio Frias de Oliveira.
- Figura 5 – Design em conchas da Ópera de Sydney.
- Figura 6 – Cordoalhas na Laje.
- Figura 7 - Cunhas.
- Figura 8 – Ancoragem.
- Figura 9 – Bainha Metálica.
- Figura 10 – Planta Baixa Prime View.
- Figura 11 – Planta de Fôrma do Prime View.
- Figura 12 – Planta de cabeamento do Pavimento Tipo.
- Figura 13 – Relatório de Protensão dos Pavimentos 25 ao 35.
- Figura 14 – Separação dos cabos.
- Figura 15 – Fôrma da Laje com Cubetas de Plástico.
- Figura 16 – Laje com Armadura positiva e cabos alongados.
- Figura 17 – Conferência das Armaduras da Laje.
- Figura 18 – Conferência dos cabos instalados.
- Figura 19 – Concretagem do Pavimento.
- Figura 20 – Cordoalha não aderente.
- Figura 21 – Processo de proteção não aderente.
- Figura 22 – Reforma do apartamento tipo 2.
- Figura 23 – Área de Sala e Varanda do Apartamento tipo 02.
- Figura 24 – Área de Sala e Varanda do Apartamento tipo 01.
- Figura 25 – Pavimento com Pé-Direito Duplo e apenas 3 pilares com base circular.
- Figura 26 – Planta Baixa do Pavimento 39.

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 – Custo total da estrutura.

Tabela 02 – Custo com protensão na estrutura.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR - Norma brasileira

1 INTRODUÇÃO

Com o avanço da sociedade e o surgimento de novos desafios para a engenharia, o desenvolvimento tecnológico tornou-se cada vez mais imperativo. Projetos inovadores começaram a trazer novas ideias para o campo da engenharia, exigindo um aumento significativo no nível de conhecimento sobre o cenário enfrentado.

Com esse progresso, os projetistas estruturais começaram a explorar novas possibilidades, utilizando métodos de construção modernos. A introdução da estrutura protendida destacou-se como uma solução eficaz para atender às exigências arquitetônicas em obras de grande envergadura, especialmente aquelas com grandes vãos.

Uma das principais vantagens do concreto protendido é o aumento do desempenho estrutural e a redução na quantidade de insumos necessários para sua fabricação. Essa técnica permite que estruturas suportem cargas elevadas e alcancem vãos maiores, minimizando a necessidade de vigas e pilares, o que resulta em maior liberdade arquitetônica. Além disso, o uso do concreto protendido possibilita a economia de materiais, já que as tensões são distribuídas de maneira mais eficiente. Isso não apenas reduz os custos com insumos, mas também diminui o impacto ambiental associado à extração e produção de materiais.

Ademais, a formação de profissionais capacitados em concreto protendido é uma necessidade urgente, pois há uma escassez de profissionais na área que está em demanda crescente.

“A escolha do sistema construtivo deve considerar não apenas os aspectos econômicos, mas também o tempo de execução e a complexidade da obra. Sistemas como o concreto protendido, que permitem vãos maiores e redução de elementos estruturais, podem resultar em economia de material e tempo, proporcionando maior flexibilidade no projeto arquitetônico.” (Martins, 2015).

"A busca por maior eficiência nas obras e a necessidade de atender a projetos arquitetônicos mais audaciosos têm levado à adoção de sistemas estruturais que permitem a realização de vãos mais amplos. A utilização de

soluções como lajes protendidas proporciona não apenas uma economia de material, mas também um aumento significativo na agilidade da construção, o que é fundamental para atender as demandas contemporâneas." (Souza, 2010).

Dessa forma, a adoção do concreto protendido tem se expandido significativamente nos sistemas estruturais, despertando um interesse crescente por parte dos clientes. Este método está sendo cada vez mais aplicado em edificações de grande envergadura, devido às suas diversas vantagens e à capacidade de aprimorar o projeto. Ele permite a criação de grandes vãos-livres e, principalmente, a redução de alguns elementos estruturais, tornando o projeto mais eficiente e flexível.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Examinar diretamente a aplicação do concreto protendido em um projeto de alto padrão na Paraíba, considerando suas propriedades, custos, benefícios e limitações.

2.2 Objetivos Específicos

- Avaliar o custo da aplicação do concreto protendido em um projeto de alto padrão;
- Examinar tecnicamente o método construtivo do empreendimento.
- Compreender e demonstrar as razões para a utilização do concreto protendido.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Concreto Protendido

O conceito de concreto protendido emergiu como uma evolução natural do concreto armado tradicional, surgindo para enfrentar desafios estruturais mais complexos, como a necessidade de vãos-livres mais amplos, estruturas mais esbeltas e requisitos mais exigentes de resistência e durabilidade.

Embora vários engenheiros e pesquisadores tenham contribuído para o desenvolvimento do concreto protendido ao longo do século XX, é atribuído o marco inicial desse método ao trabalho pioneiro do engenheiro francês Eugène Freyssinet. No início da década de 1920, Freyssinet patenteou uma técnica inovadora que envolvia a pré-tensão de cabos de aço antes da concretagem, resultando em uma estrutura de concreto mais resistente e com maior capacidade de carga (Freyssinet, 1928).

Essa abordagem revolucionária abriu caminho para a construção de estruturas mais esbeltas e com vãos-livres mais amplos, além de proporcionar maior durabilidade aos materiais utilizados. Desde então, o concreto protendido tornou-se uma técnica amplamente adotada em uma variedade de aplicações, incluindo pontes, viadutos e edifícios de grande altura. Sua popularidade crescente se deve às suas vantagens técnicas, que incluem maior eficiência estrutural, redução de materiais e peso próprio das estruturas, além de oferecer maior flexibilidade aos arquitetos na elaboração de projetos desafiadores (Leonhardt, 1964).

3.1.2 Técnica de Protensão

A protensão é uma técnica de engenharia utilizada para aumentar a resistência e a capacidade de carga de elementos estruturais de concreto, como lajes, vigas e pilares. Essa técnica consiste em aplicar uma força de compressão prévia (pré-tensão) nos materiais de reforço, geralmente cabos de aço ou cordoalhas, antes da concretagem do elemento estrutural. A Figura 1 mostra uma das lajes nervuradas com concreto armado e protendido em concretagem:

Figura 1: Concretagem de Laje Nervurada



Fonte: Autoral (2024)

A aplicação da protensão desempenha um papel crucial na minimização ou eliminação das tensões de tração no concreto, prevenindo assim o surgimento de fissuras que possam comprometer a estética e a durabilidade das peças estruturais. Ao introduzir tensões de compressão permanentes em áreas que seriam submetidas à tração, antes mesmo da estrutura ser submetida a carregamentos, essa técnica consegue modular as tensões internas, contribuindo para a resistência global da seção transversal. Dessa forma, evita-se a formação de fissuras, promovendo uma maior integridade estrutural ao longo do tempo (Nilson, 1987).

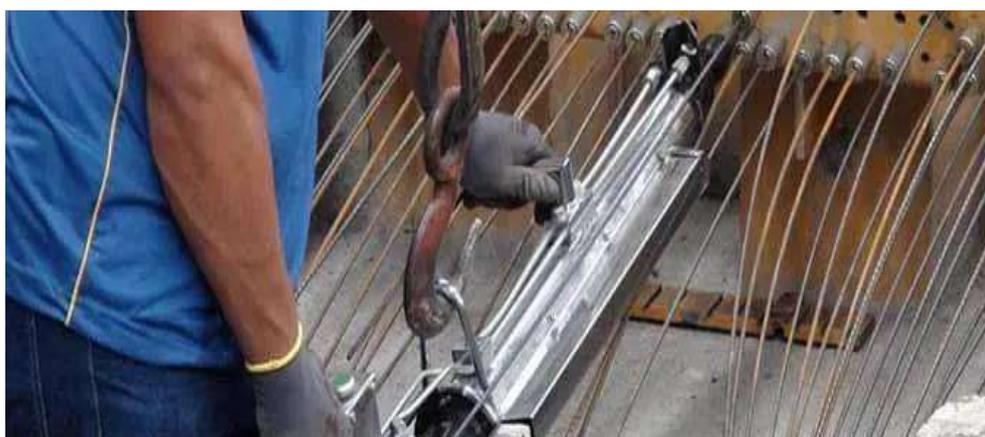
Além disso, permite uma otimização do projeto estrutural, possibilitando a redução do volume de concreto necessário e, conseqüentemente, resultando em estruturas mais leves e econômicas. Essa redução de materiais não apenas contribui para a eficiência do projeto, mas também para a sustentabilidade da construção, ao minimizar o consumo de recursos

naturais e os impactos ambientais associados à produção de materiais de construção.

A protensão é vista como um sistema construtivo que proporciona um maior aproveitamento estrutural, com aumento das capacidades resistentes, redução das deformações e melhorias da durabilidade e uso. As aplicações englobam diversos tipos de obras, como pontes, viadutos, edifícios comerciais e pré-moldados (Cholfe; Bonilha, 2013).

A força de protensão é aplicada aos cabos de protensão ou blocos de concreto através de macacos hidráulicos (Figura 2). São constituídos de um cilindro e um pistão de seção cheia ou em coroa circular. O espaço entre eles é fechado por uma borracha especializada para vedação.

Figura 2: Utilização do Macaco Hidráulico



Fonte: Autoral, 2024.

3.1.3 Classificação quanto a aderência

No início do século XX, apenas dois sistemas de protensão eram amplamente conhecidos: o desenvolvido pelo engenheiro francês Eugene Freyssinet e o sistema alemão Diwidag. No entanto, devido à crescente demanda e às necessidades do mercado, houve uma constante inovação na área, resultando no desenvolvimento de novas técnicas que se mostraram economicamente vantajosas (Leonhardt, 1964).

Essa busca por melhorias levou a avanços significativos na tecnologia da protensão, com o surgimento de novos métodos e abordagens que permitiram aumentar a eficiência e a viabilidade econômica das estruturas protendidas. Essas inovações foram fundamentais para expandir o uso da protensão em uma variedade de aplicações, desde pontes e viadutos até edifícios de grande altura.

Atualmente, há três técnicas para sistemas de protensão em laje de concreto disponíveis, considerando o aspecto de aderência, cada um com suas próprias características e vantagens específicas. A engenharia é impulsionada pela busca por soluções mais eficientes e sustentáveis na construção civil.

3.1.3.1 Pré-tracionada (Aderência inicial)

A protensão pré-tracionada com aderência inicial é um método menos comum de concreto protendido que envolve algumas etapas específicas e distintas. Nesse processo, antes da concretagem, a armadura ativa é pré-alongada utilizando apoios independentes da própria estrutura, ou seja, são dispositivos separados do elemento estrutural principal. Esses apoios são utilizados para aplicar a força de protensão na armadura antes que o concreto seja lançado (Ghali; Neville, 1997).

Uma vez que a pré-tensão é realizada e a armadura está sob tensão, o concreto é então lançado sobre ela. Durante o processo de endurecimento do concreto, a aderência entre a armadura e o material ocorre, proporcionando a ancoragem necessária para transmitir as forças de protensão para a estrutura.

Após o concreto ter alcançado uma resistência adequada, os apoios independentes são desfeitos, permitindo que a armadura libere sua tensão e adquira sua resistência final. A aderência entre a armadura e o concreto garante que as forças de protensão sejam efetivamente transferidas para a estrutura, contribuindo para sua resistência e estabilidade.

Embora seja menos comum do que outros métodos de protensão, a protensão pré-tracionada com aderência inicial é muito empregada na fabricação de pré-moldados de concreto protendido. Nas lajes de protensão a armadura ativa é posicionada, ancorada em blocos nas cabeceiras e tracionadas. Em seguida a armadura passiva é colocada, o concreto é lançado e adensado, e a peça passa pela fase de cura. Após a cura, as fôrmas são retiradas, os equipamentos que mantinham os cabos tracionados são liberados e os fios são cortados, transferindo a força de protensão para o concreto pela aderência, que nessa ocasião deve estar suficientemente desenvolvida. (Veríssimo; César Jr, 1998)

3.1.3.2 Pós-tracionada aderente

Nesse método, a protensão da armadura ocorre após o concreto ter endurecido, o que permite uma maior flexibilidade no processo de construção. A ancoragem da armadura é realizada por meio da aderência ao concreto, garantindo uma transferência eficaz de forças para a estrutura. Há a moldagem da peça com bainha metálica no interior da fôrma, após o concreto endurecer e obter a resistência a compressão necessária, as armaduras de protensão são colocadas e estiradas dentro das bainhas, atravessando a peça de uma extremidade a outra. Por fim, a bainha é preenchida com calda de cimento para criar aderência entre a armadura de protensão e o concreto (Mehta; Monteiro, 2008).

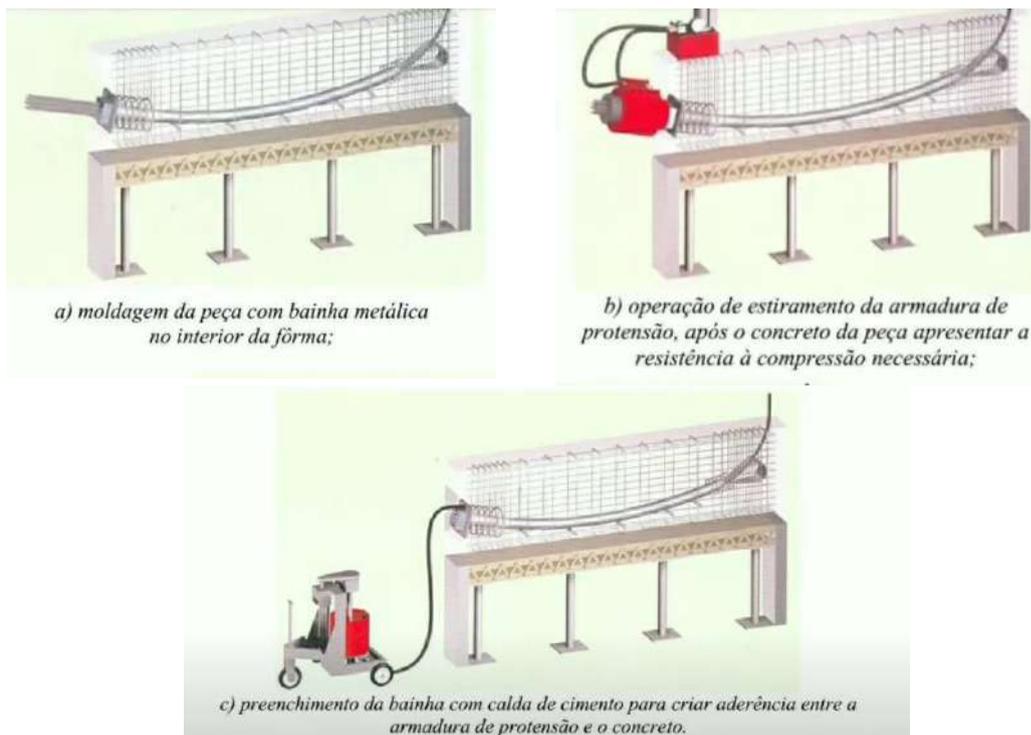
Essa abordagem é vantajosa em uma variedade de aplicações. Permite uma maior flexibilidade no projeto e na construção, pois os cabos podem ser tensionados depois que a estrutura já está em posição, além de um controle mais preciso das forças aplicadas, uma vez que os cabos são tensionados após a cura do concreto. Isso ajuda a ajustar a estrutura de acordo com as necessidades específicas e as cargas reais.

Como o tensionamento é feito após a cura, não é necessário manter a carga durante a construção, o que pode reduzir o custo inicial e o tempo de construção, bem como a aderência entre os cabos e o concreto pode

melhorar a transferência de forças e aumentar a durabilidade e a resistência da estrutura.

Um esquema de concreto pós-tracionado aderente está representado na figura 3:

Figura 3: Esquema Simplificado de fabricação de peça protendida pós tracionada.



Fonte: Catálogo Rudloff – Concreto Protendido.

Quando a protensão é aplicada nas cordoalhas, são criadas tensões internas na estrutura, para combater esforços resultantes dos carregamentos e melhorar o desempenho do conjunto. As cordoalhas ficam constantemente esticadas, durante toda a vida útil da estrutura. As tensões elevadas necessárias para esticar as cordoalhas devem ser absorvidas pelo sistema de protensão, de forma a proteger as estruturas e seus usuários. A protensão aderente é um dos recursos capazes de oferecer esta proteção, pois permite que a armadura de protensão e o concreto trabalhem em conjunto, de forma integrada. Isso significa que se, eventualmente, um cabo for cortado ou se romper, a estrutura absorverá as tensões resultantes do

rompimento. Nestes casos, a perda de força será localizada, pois a aderência permite que o comprimento remanescente do cabo conserve a protensão.

Este método é frequentemente empregado em projetos de contenção de taludes, onde a estabilidade do terreno é crucial para evitar deslizamentos de terra e desabamentos. Em coberturas com grandes vãos, essa técnica permite a criação de espaços amplos e livres de apoios intermediários, conferindo uma estética moderna e funcional aos edifícios. Um exemplo de construção que utilizou essa técnica de protensão é a Ponte Octávio Frias de Oliveira (São Paulo), e o resultado é mostrado na Figura 4.

Figura 4: Ponte Octávio Frias de Oliveira – São Paulo



Fonte: TripAdvisor, 2024. Ponte Octavio Frias de Oliveira.

3.1.3.3 Pós-tracionada não aderente

A protensão pós-tracionada não aderente é uma técnica de concreto protendido onde a armadura ativa é pré-alongada após o endurecimento do concreto. Nesse método, as partes da própria estrutura servem como suporte para a protensão. Não há aderência entre a armadura e o concreto. A armadura ativa é tracionada após a concretagem, e o tempo de cura e endurecimento do concreto, permanecendo conectada ao concreto apenas em pontos específicos (Fib, 2000).

Na protensão não aderente os cabos de aço são envolvidos por uma bainha plástica que impede a aderência entre o aço e o concreto, permitindo que o aço deslize durante o tensionamento. Após a

concretagem e a cura, os cabos são tensionados, e a força é transferida ao concreto através de ancoragens. Os dutos permitem uma certa flexibilidade na manutenção e inspeção dos cabos, pois é possível acessar os cabos sem desmontar a estrutura, além de oferecer uma proteção adicional contra a corrosão dos cabos, o que pode aumentar a durabilidade das estruturas.

Essa técnica é comum em obras de reforços estruturais e em reparos de estruturas existentes, oferecendo maior capacidade de carga e a durabilidade, controlando deformações e melhorando a durabilidade. Além disso, em pontes e viadutos, por exemplo, quando é necessário reduzir o peso e aumentar a capacidade de carga, e onde a proteção adicional contra a corrosão é benéfica. Em edifícios residenciais e comerciais de alto padrão, como os arranha-céus em Dubai, que exigem grandes vãos sem vigas e alta capacidade de carga, uma maior necessidade para controle de fissuras, ou sofrem dos efeitos da maresia, como a corrosão, a protensão não aderente pode ser utilizada para obter essas características de maneira eficiente.

Esta é a técnica utilizada no caso em estudo, como veremos mais adiante.

3.1.4 Qualidades e Desafios do Concreto Protendido

Uma das principais vantagens do concreto protendido é a sua maior resistência a cargas e tensões. Como mencionado por NEVILLE (1995) em seu livro *Properties of Concrete*, a aplicação de tensões prévias nas armaduras permite que a estrutura suporte cargas elevadas com menor quantidade de material, resultando em estruturas mais leves e econômicas. Listarei abaixo alguns benefícios da utilização desse método construtivo:

Durante a operação de protensão, o concreto e o aço são submetidos a tensões, em geral, superiores as que poderão ocorrer na viga sujeita às cargas de serviço. Constituindo, nesse caso, uma espécie de prova de carga da viga;

Permite peças pré-moldadas com melhor desempenho estrutural, maiores densidades e controle de deformações;

Reduz a quantidade de concreto e aço necessários para construir uma estrutura, resultando em economia de materiais e redução de custos, assim como as tensões de tração provocadas pela flexão e pelos esforços cortantes;

Permite a criação de vãos maiores, em comparação ao concreto armado convencional, sem a necessidade de apoios intermediários, oferecendo maior flexibilidade no projeto arquitetônico e possibilitando espaços amplos e livres de obstruções, além de reduzir a altura necessária de viga;

Contribui para minimizar ou eliminar fissuras no concreto, melhorando sua durabilidade e estética ao longo do tempo.

Permite projetos arquitetônicos diferenciados, como a ópera de Sidney, na Austrália, composta por uma série de “conchas” de concreto protendido.

Figura 5: Design em conchas da Ópera de Sydney.



Fonte: A Ópera de Sydney: uma joia da arquitetura expressionista. National Geographic. 2024.

Entretanto, também há desafios no método de protensão:

- As operações de protensão exigem equipamento e mão de obra especializada, com controle permanente dos esforços aplicados e dos alongamentos dos cabos;
- Embora o concreto protendido possa resultar em economia de materiais a longo prazo, os custos iniciais de projeto e execução podem ser mais elevados em comparação com o concreto armado convencional.
- Além da corrosão eletrolítica, as armaduras protendidas apresentam corrosão sob tensão;
- A execução de estruturas em concreto protendido requer uma supervisão rigorosa e controle de qualidade para garantir a segurança e a eficácia do processo. Isso pode aumentar os custos e a complexidade da construção, especialmente em projetos de grande escala.
- Possui um peso final relativamente alto, comparado às estruturas metálicas e de madeira.

3.1.5 Componentes Utilizados

3.1.5.1 Concreto

Na execução de estruturas protendidas, a qualidade do concreto desempenha um papel crucial na garantia da excelência da obra. É essencial que o traço do concreto seja cuidadosamente controlado e fiscalizado, levando em consideração diversos fatores importantes, como porosidade, relação água-cimento, compatibilidade entre os materiais constituintes, aditivos adicionados e composição do cimento. Além disso, é fundamental realizar ensaios adequados para verificar a resistência do concreto.

De acordo com o item 8.2.1 da NBR 6118 (Abnt, 2014), quando se utiliza armadura ativa em estruturas protendidas, é estabelecido que o concreto empregado deve atender à condição de resistência mínima de $f_{ck} \geq 25$ MPa. Esta especificação é essencial para garantir a segurança e eficácia da estrutura. Adotar uma resistência maior do concreto possibilita a utilização de elementos estruturais mais esbeltos, resultando em uma redução de peso na estrutura e nas fundações. Isso, por sua vez, permite a redução das dimensões das seções estruturais, exigindo que a resistência do concreto seja superior para suportar as cargas aplicadas, conforme prescrito pelas normas. O concreto utilizado foi o usinado de 50 MPA.

3.1.5.2 Armaduras ativas

No item 3.1.6 da NBR 6118 (ABNT, 2014) é citado que “Armaduras ativas, no caso armaduras constituídas por barras, fios isolados ou cordoalhas, são destinadas à produção de forças de protensão, isto é, na qual se aplica um pré-alongamento inicial” (Abnt, 2014).

As armaduras ativas são elementos cruciais no concreto protendido, utilizadas para introduzir forças de protensão. Elas consistem em barras, fios ou cordoalhas que são estiradas antes ou durante a concretagem. Essa pré-tensão aumenta a resistência à tração do concreto, permitindo a construção de estruturas mais esbeltas e eficientes.

A norma NBR 6118 define as armaduras ativas e suas funções (Abnt, 2014). Segundo Mehta e Monteiro (2008), esse tipo de armadura é fundamental para garantir a durabilidade e a integridade das estruturas.

3.1.5.3 Cordoalhas engraxadas

As cordoalhas, ilustradas na Figura 6, são compostas essencialmente por um conjunto de fios de aço-carbono, cujos diâmetros variam de 3 a 8 mm. Elas são fornecidas em rolos ou bobinas e se unem em formato de hélice, podendo ser compostas por dois, três ou até sete fios, com carbono em sua composição.

Devido à sua estrutura de múltiplos fios de aço, as cordoalhas são extremamente resistentes, especialmente quando comparadas a outros materiais. Geralmente, essas cordoalhas possuem diâmetros superiores a 12 mm e, na maioria dos casos, apresentam um comprimento limitado, o que pode influenciar no projeto e na execução de estruturas protendidas.

Figura 6: Cordoalhas na Laje



Fonte: Autoral (2022)

De acordo com a ABNT NBR 6118:2014, é estabelecido um espaçamento mínimo entre os cabos de aço, que não pode ser inferior a 5 cm. Além disso, o cobrimento mínimo dos cabos em relação à face de aberturas nas lajes deve ser de 7,5 cm, garantindo a proteção adequada dos cabos contra danos

e corrosão. Quanto ao espaçamento entre as cordoalhas de aço, este deve ser no máximo de 6 vezes a altura da seção transversal, não excedendo 120 cm. Essas especificações são essenciais para garantir a segurança e a durabilidade das estruturas protendidas, além de atender aos requisitos de qualidade e desempenho estabelecidos pelas normas técnicas.

3.1.5.4 Armaduras passivas

No contexto das estruturas protendidas, as armaduras passivas são aquelas que não são pré-alongadas para produzir forças de protensão. Essas armaduras, também chamadas de armaduras frouxas, são amplamente utilizadas em estruturas de concreto armado, onde não há a necessidade de introduzir forças adicionais para aumentar a resistência.

O item 3.1.5 da NBR 6118 (Abnt, 2014) aborda detalhes sobre as armaduras passivas, incluindo diretrizes sobre como devem ser aplicadas nas estruturas de concreto. Este documento oferece orientações específicas sobre o posicionamento, dimensionamento e ancoragem das armaduras passivas, garantindo sua eficácia na distribuição das cargas e no reforço das estruturas de concreto armado.

3.1.5.5 Estruturas de ancoragem e bainhas metálicas

O termo “ancoragem” refere-se aos dispositivos e artifícios utilizados para fixar os cabos de protensão tensionados. Esses dispositivos são projetados para manter a carga aplicada pelos macacos hidráulicos, impedindo que os cabos voltem ao estado original, ou seja, fiquem frouxos e sem tensão.

Essas ancoragens desempenham um papel crucial na segurança e eficácia do processo de protensão, garantindo que a força aplicada aos cabos seja retida de maneira confiável ao longo do tempo. Na Figura 9, é possível visualizar exemplos desses dispositivos de ancoragem e bainha metálica, que são essenciais para o funcionamento adequado das estruturas protendidas. (Veríssimo; César Jr, 1998).

A maioria dos sistemas de protensão são ancoradas por meio de cunhas de aço, representadas na Figura 7. A cunha envolve a armadura e durante a

penetração da cunha ocorre uma pressão lateral que impede o deslizamento da armadura, realizando sua ancoragem.

Figura 7: Cunhas.



Fonte: Autoral.

Figura 8: Ancoragem.



Fonte: Autoral (2024)

As bainhas, conforme ilustrado na Figura 8, são comumente conhecidas como tubos nos quais a armadura de protensão é inserida, permitindo seu deslizamento sem atrito. São utilizadas em casos de protensão com aderência posterior, fornecendo um canal seguro para a armadura se movimentar. Fabricadas, geralmente, a partir de chapas de aço laminado a frio, com uma espessura variando entre 0,1 a 0,35 mm, e costuradas em forma de hélice durante o processo de fabricação. Além da costura das

chapas, são produzidas ondulações transversais em hélice para proporcionar estabilidade e resistência à bainha.

Essas características das bainhas garantem que a armadura de protensão possa deslizar suavemente dentro delas, sem atrito, durante o processo de tensionamento, assegurando assim a eficácia e a segurança da protensão. (Veríssimo; César Jr, 1998).

Figura 9: Bainha Metálica



Fonte: MAC PROTENSÃO. Bainha metálica circular. Mac Protensão. 2024.
Disponível em: <https://macprotensao.com.br/produtos/bainha-metalica-circular/>. Acesso em: 27 out. 2024.

4 METODOLOGIA

O empreendimento selecionado para este estudo está localizado na cidade de João Pessoa, Paraíba, e recebe o nome de Prime View. Um projeto residencial multifamiliar que compreenderá uma torre principal com 47 pavimentos.

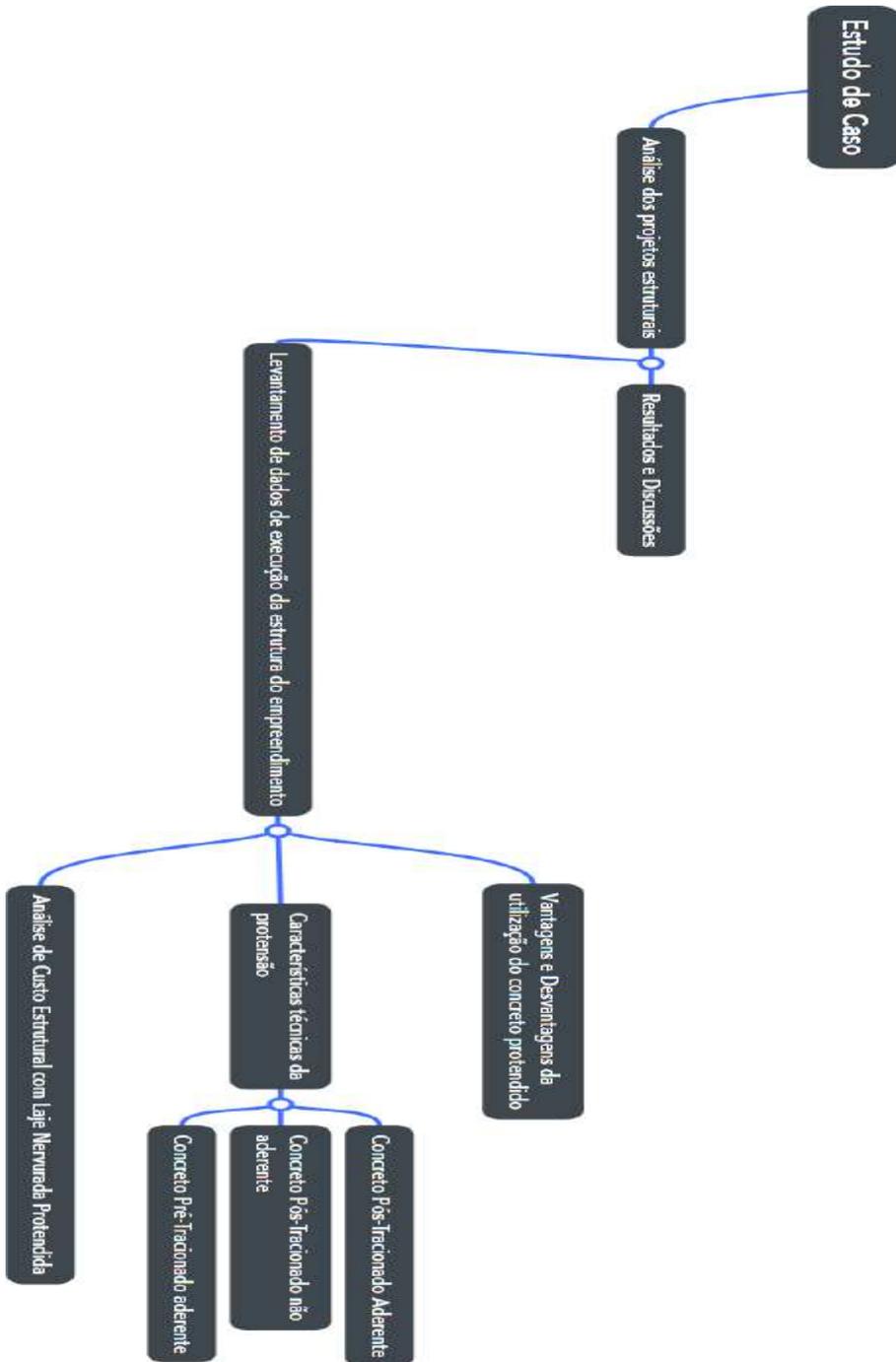
A escolha da laje nervurada protendida e das paredes de vedação foi planejada para este empreendimento, visando atender às necessidades e expectativas dos futuros moradores. Essa decisão estrutural foi tomada levando em consideração diversos fatores, como eficiência construtiva, durabilidade, conforto e estética, os quais são essenciais para garantir a qualidade e adequação do edifício residencial às demandas do mercado.

Foi elaborado um fluxograma para auxiliar no entendimento das etapas subsequentes do estudo, proporcionando uma visão clara e organizada do processo de análise e interpretação dos dados obtidos. Com um processo de etapas:

- Análise de Projetos;
- Levantamento de dados de execução;
- Vantagens e Desvantagens do Concreto Protendido;
- Características técnicas da protensão;
- Análise do Custo Estrutural da Laje Nervurada Protendida;
- Resultados e Discussões.

4.1 Diagrama de Fluxo

Fluxograma 1:



Fonte: Autoral, 2024.

4.2 Estudo dos Projetos

Foi estudado e analisado os projetos estruturais das lajes nervuradas de concreto protendido da obra. Em junção ao projeto arquitetônico dos empreendimentos, foi realizado o levantamento de quantitativos para o orçamento dos custos de execução da estrutura.

Figura 10: Planta baixa Pavimento Tipo.



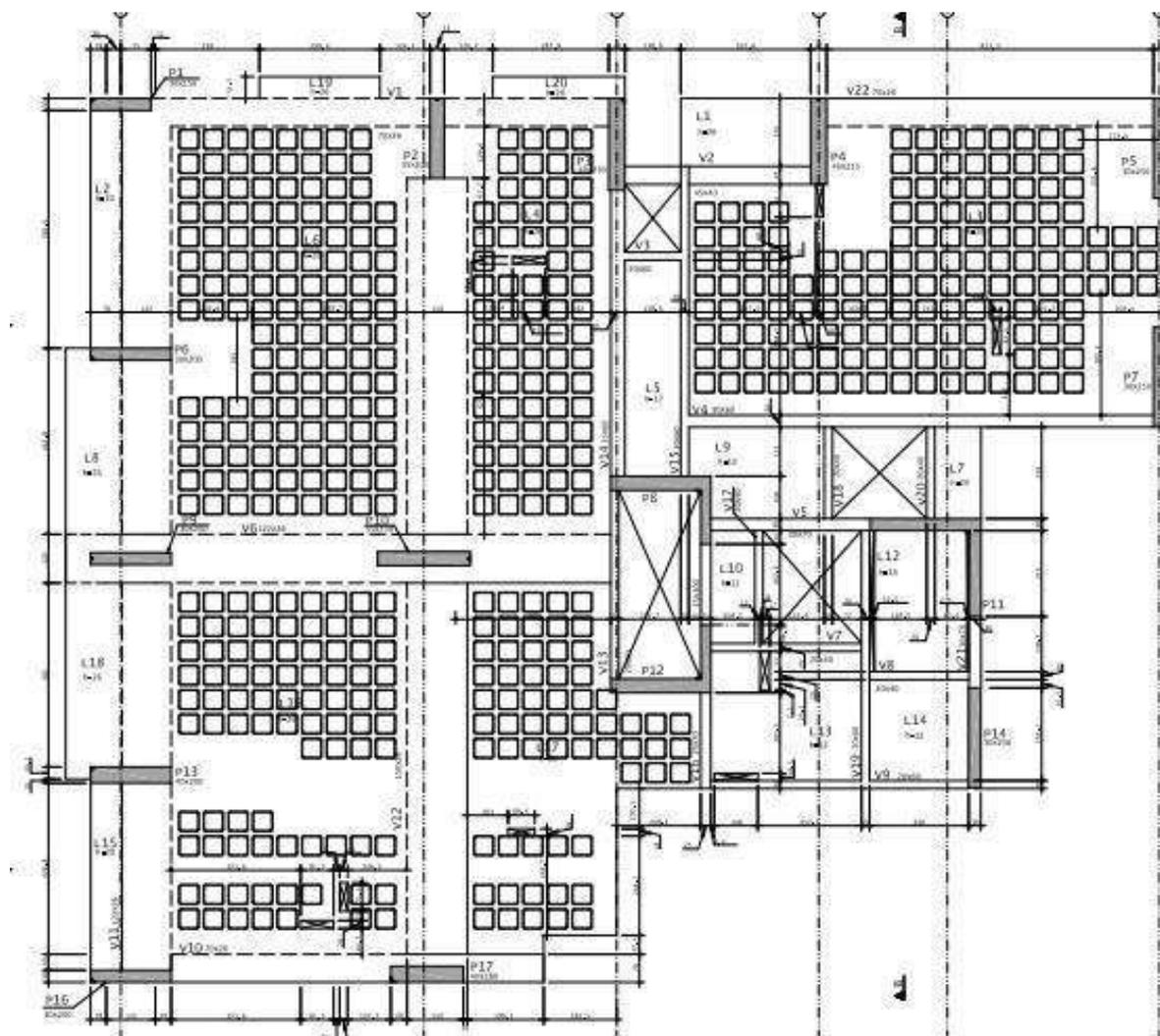
Fonte: Prime View (2024).

É notório a existência dos grandes vãos, pois há pilares apenas no entorno e nas divisórias de apartamentos. O pavimento tem 495m² e apenas 19 pilares, sem vigas no interior dos apartamentos. Para execução da protensão, foi utilizado as lajes com nervuras em duas direções. No processo de execução, são montadas formas de plástico, que criam vazios entre as nervuras de concreto, ajudando a economizar material sem comprometer a resistência da estrutura, onde é disposto o concreto. Após a colocação dos

enchimentos, são instaladas as armaduras nas nervuras e a concretagem é feita preenchendo as nervuras e formando uma capa de concreto por cima dos enchimentos, criando uma superfície plana.

Na figura 11 é possível ver a planta de forma executada no pavimento tipo da obra:

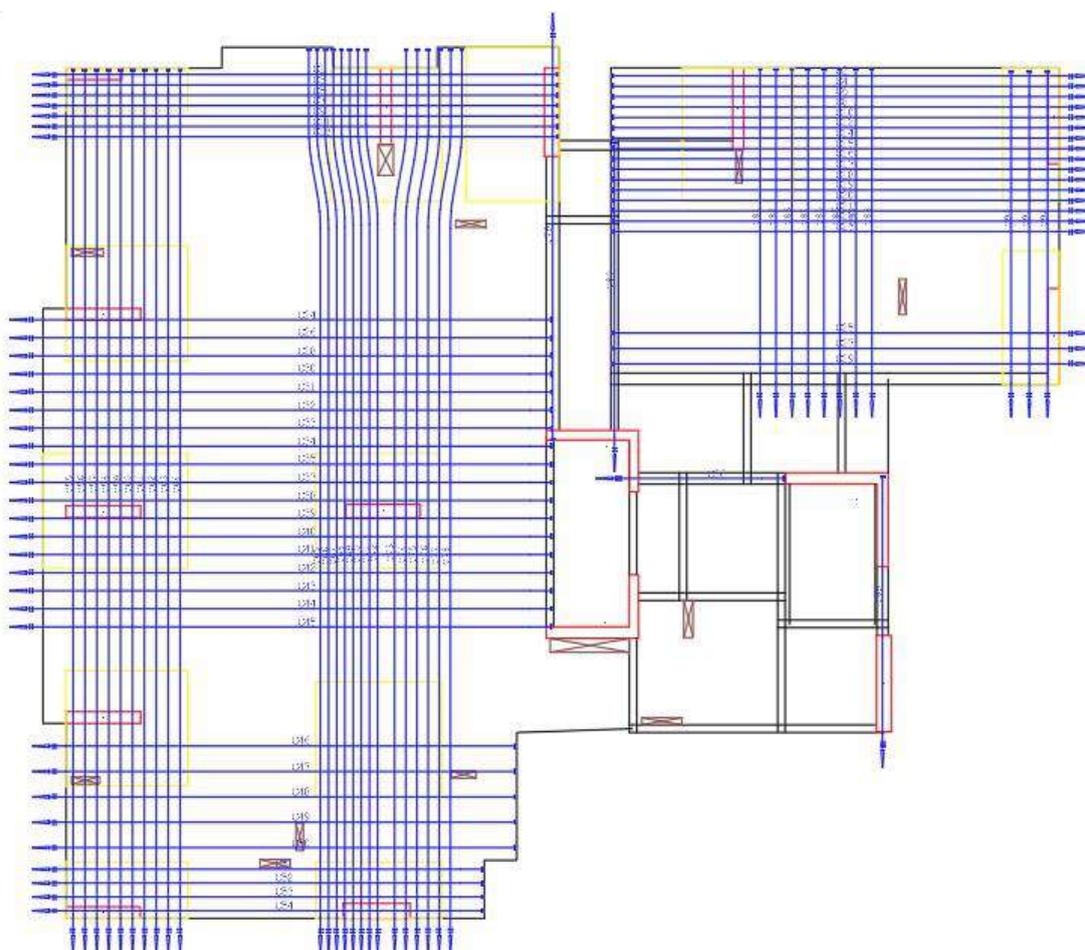
Figura 11: Planta de Fôrma Pavimento tipo.



Fonte: Prime View (2024).

Para a execução dos cabos de protensão também é utilizado um projeto de cabeamento. Na figura 12 está a planta de cabeamento dos Pavimentos Tipo do empreendimento, com aço de protensão CP- 210 RB, cordoalhas com 12,7mm de diâmetro, e uma força de protensão aplicada de 16,5 toneladas-força.

Figura 12: Planta de cabeamento do Pavimento Tipo



Fonte: Prime View (2024).

É necessário realizar um relatório de protensão para os pavimentos, identificando os cabos, contabilizando verticalmente e horizontalmente, e informando seus respectivos comprimentos, como exemplo, na Figura 13 está uma parte de um dos relatórios de operação de protensão entregues pela empresa responsável pela protensão do edifício:

Figura 13: Relatório de Protensão Pavimentos 25 ao 35.

Pavimento: ____ pav (25° ao 35° pav)		Bomba: _____		Macaco: _____		
Aço de Protensão: CP - 210 RB		Ø da Cordoalha: 12,7 mm		Força aplicada: 16,5 tf		
CABOS HORIZONTAIS						
Tipo	Cabo	Comprimento do Cabo (m)	Alongamento		Desvio (%)	Situação
			Teórico (cm)	Real (cm)		
CABOS HORIZONTAIS	C1-1	9,37			-100,00	Rever Cabo
	C1-2	9,37			-100,00	Rever Cabo
	C1-3	9,37			-100,00	Rever Cabo
	C2-1	13,82			-100,00	Rever Cabo
	C2-2	13,82			-100,00	Rever Cabo
	C2-3	13,82			-100,00	Rever Cabo
	C3-1	9,37			-100,00	Rever Cabo
	C3-2	9,37			-100,00	Rever Cabo
	C3-3	9,37			-100,00	Rever Cabo
	C4-1	13,82			-100,00	Rever Cabo
	C4-2	13,82			-100,00	Rever Cabo
	C4-3	13,82			-100,00	Rever Cabo
	C5-1	9,37			-100,00	Rever Cabo
	C5-2	9,37			-100,00	Rever Cabo
	C5-3	9,37			-100,00	Rever Cabo
	C6-1	13,82			-100,00	Rever Cabo
	C6-2	13,82			-100,00	Rever Cabo
	C6-3	13,82			-100,00	Rever Cabo
	C7-1	5,24			-100,00	Rever Cabo
	C7-2	5,24			-100,00	Rever Cabo
	C7-3	5,24			-100,00	Rever Cabo
	C8-1	5,24			-100,00	Rever Cabo
C8-2	5,24			-100,00	Rever Cabo	
C8-3	5,24			-100,00	Rever Cabo	
C9-1	13,82			-100,00	Rever Cabo	
C9-2	13,82			-100,00	Rever Cabo	
C10-1	13,82			-100,00	Rever Cabo	
C10-2	13,82			-100,00	Rever Cabo	
C11-1	13,82			-100,00	Rever Cabo	

Fonte: Prime View (2024).

4.3 Estimativa de Custos e Orçamento

Diante do exposto, para realizar todos os cálculos dos materiais e mão de obra necessários para a execução da obra, optamos por utilizar o aplicativo Seinfra – Ceará. Por meio desse aplicativo, realizamos todo o levantamento e estimativa de custos para a construção do Prime View.

Um dos aspectos fundamentais do nosso estudo foi o cálculo detalhado da laje nervurada protendida, levando em consideração não apenas os materiais de construção, mas também os custos associados à protensão e às armaduras necessárias para garantir a segurança e estabilidade da estrutura.

Utilizando o Seinfra – Ceará, foi possível realizar uma análise precisa e abrangente dos custos envolvidos na construção do Prime View, permitindo uma gestão eficiente dos recursos financeiros e uma tomada de decisão embasada em dados concretos. Essa abordagem contribui para a otimização dos investimentos e a maximização do retorno sobre o empreendimento, garantindo sua viabilidade econômica e financeira a longo prazo.

4.4 Revisão Técnica e de execução

Para a análise, foram levadas em consideração as necessidades específicas e exigências particulares ao planejar e executar o projeto. Antes de qualquer intervenção, realizamos uma análise detalhada para compreender completamente os requisitos do empreendimento.

Nesse processo, foram determinados os tipos de lajes e concreto mais adequados para atender aos objetivos da obra, levando em conta fatores como carga estrutural, estética, durabilidade e custo. Essa análise minuciosa nos permite tomar decisões fundamentadas e garantir a eficácia e a qualidade do projeto.

Para execução dos pavimentos com protensão, seguia-se um cronograma de execução. Por ser um prédio próximo a maresia, onde há uma maior porcentagem de corrosão, e haver grandes vãos para serem vencidos, a escolha da protensão foi do tipo Pós-Tracionada sem aderência.

5 RESULTADOS

5.1 Estudo de caso: Estrutura com Concreto Protendido.

A Edificação é localizada no Miramar, João Pessoa – PB. Sua estrutura possui 47 pavimentos, com 33 pavimentos tipo, 3 andares de Mezaninos para área de lazer, pavimento 37 com espaço gourmet, e um Rooftop no pavimento 39 para uso comum dos moradores, e cinco subsolos.

5.1.1. Revisão Técnica

Após toda a montagem da fôrma, colocação de cubetas, instalação de armadura positiva, feito o alongamento dos dutos para a passagem dos cabos de protensão, e a armadura negativa, é realizada a concretagem e a espera de sua cura até a resistência necessária. Após 3 dias, é feito o teste de corpo de prova para verificar se o concreto atingiu 60% de sua resistência indicada em projeto estrutural, e então deve ser providenciado o posicionamento do macaco hidráulico e dos seus acessórios. Os cabos de aço são inseridos nos dutos preparados, é fixada as ancoragens nas extremidades dos cabos de acordo com os projetos. E então, com o uso do macaco hidráulico, é aplicada a força de tração necessária nos cabos, de forma gradual e controlada. Após o tensionamento, é fixado os cabos nas ancoragens para manter a força aplicada e os excessos dos cabos são cortados. Depois de todo o processo, é realizada a inspeção final de qualidade, garantindo que todos os componentes de protensão estejam corretamente instalados e tensionados. Logo, é feito a remoção das fôrmas e a realização de reparos, se necessário.

A separação dos cabos é feita em outro pavimento, como é mostrado na Figura 14, para que a Grua, ao levar para o pavimento a ser concretado, já colocasse nas posições de execução, facilitando o trabalho devido ao peso e comprimento dos cabos.

Figura 14 – Separação dos Cabos



Fonte: Autoral, 2024

A Figura 15 mostra a fôrmas da Laje nervurada:

Figura 15 – Fôrma da Laje com Cubetas de Plástico



Fonte: Autoral, 2024

Após a fôrma estar toda completa, era instalado a armadura positiva da Laje e alongados os cabos de protensão. A figura 16 mostra esta disposição:

Figura 16 – Laje com Armadura positiva e cabos alongados.



Fonte: Autoral, 2024

Em seguida, é instalado a armadura negativa e realizado todas as conferências de acordo com os projetos de execução, como demonstra a Figura 17.

Figura 17 – Conferência das Armaduras da Laje.



Fonte: Autoral, 2024

Técnicos da empresa responsável pela protensão estavam sempre durante a execução do pavimento para verificar a instalação dos cabos, se estavam de acordo com o projeto e se foram instalados corretamente.

Figura 18 – Conferência de Cabos instalados



Fonte: Autoral, 2024

Após conferência, com todos os cabos alongados, armaduras positivas e negativas posicionadas e fixadas, limpeza, é executada a concretagem da Laje.

Figura 19 – Concretagem do Pavimento



Fonte: Autoral, 2024

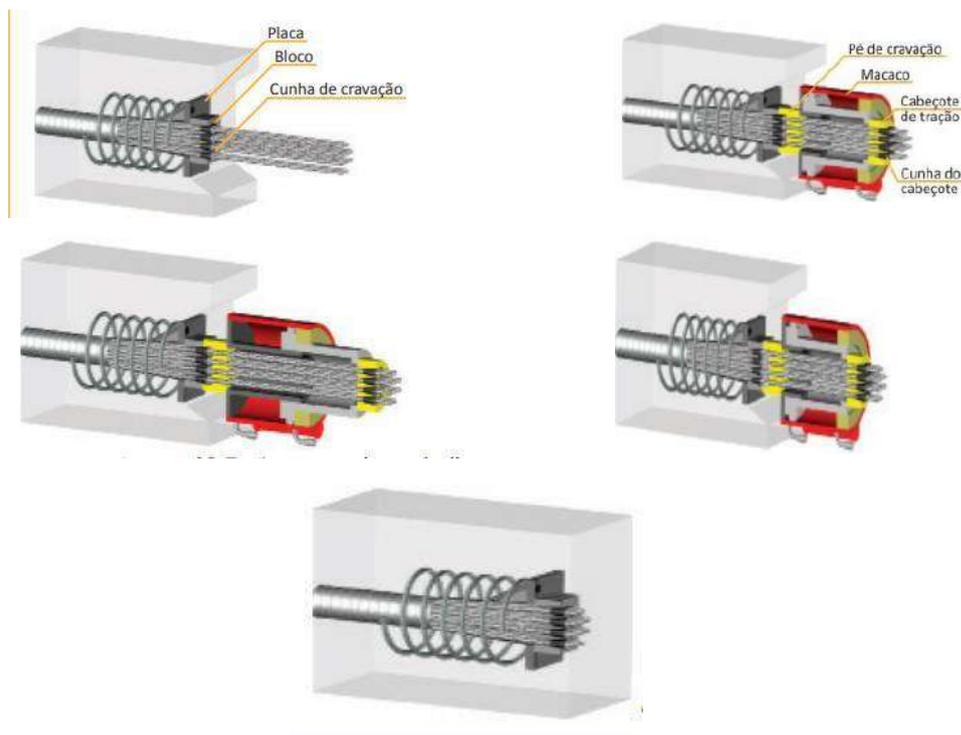
Por fim, após a cura do concreto, era realizada a protensão. A operação é realizada pelo acionamento do macaco, após posicionamento de blocos e cunhas de cravação. As cordoalhas não aderentes (Figura 20) são tracionadas obedecendo à força indicada no projeto estrutural. Deve-se registrar a pressão indicada no manômetro e o correspondente alongamento dos cabos. Quando o macaco atingir carga e/ou alongamentos indicados no projeto estrutural, finaliza-se a protensão. A pressão no macaco é aliviada e as cordoalhas se ancoram automaticamente no bloco. Em seguida, é feita a remoção do equipamento. Após a liberação, corta-se as pontas das cordoalhas, conforme o sequenciamento da Figura 21:

Figura 20 – Cordoalha não aderente



Fonte: Catálogo Rudloff – Concreto Protendido.

Figura 21– Processo de protensão não aderente.



Fonte: Catálogo Rudloff – Concreto Protendido.

As lajes nervuradas com concreto protendido possibilitaram, no caso estudado, o vencimento de grandes vãos no empreendimento, possibilitando reformas nos apartamentos de acordo com o interesse dos clientes, pois não existiram vigas e pilares dentro o apartamento, apenas externas. É possível ver, na Figura 22, a disposição de um dos apartamentos tipo 2, sem vigas internas:

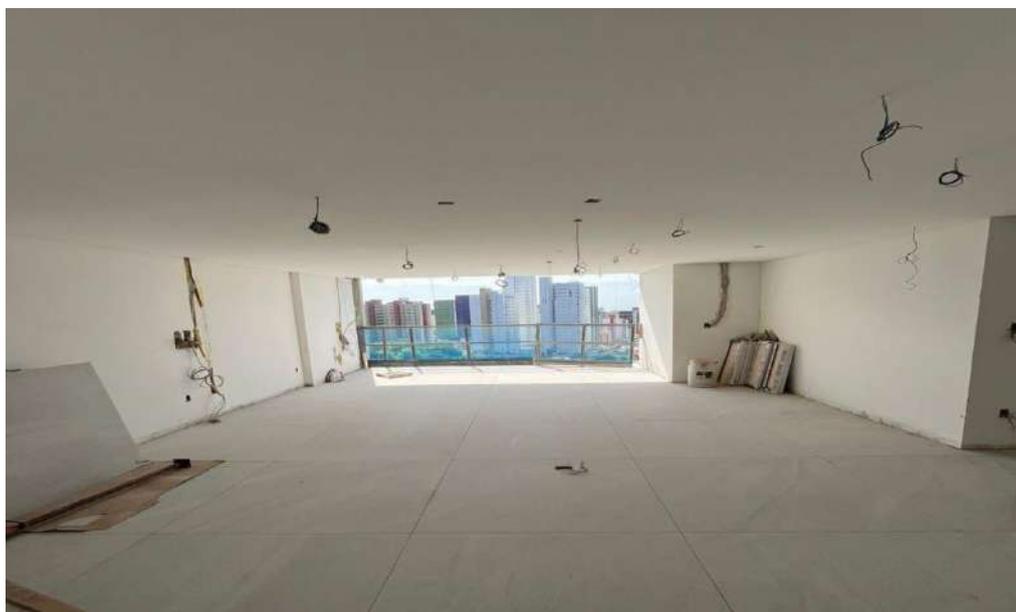
Figura 22 – Reforma do apartamento tipo 2 – Disposição sem vigas e pilares internos.



Fonte: Autoral, 2024.

Ademais, o uso do concreto protendido possibilitou a elevação do pé direito nos apartamentos. Em ambientes litorâneos, prédios com concreto armado sem protensão costumam ter forro de 2,20 a 2,30 metros. No edifício estudado, o forro ficou entre 2,50 a 2,65. As Figura 23 e 25 mostra a altura do forro nos apartamentos Tipo 2 e Tipo 1, respectivamente.

*Figura 23 – Área de Sala e Varanda do Apartamento tipo 02 –
Forro à 2,60 m do piso.*



Fonte: Autoral, 2024

*Figura 24 – Área de Sala e Varanda do Apartamento tipo 01 –
Forro à 2,60 m do piso.*



Fonte: Autoral, 2024

Na área comum dos pavimentos 37 e 39 foi realizado um pé direito duplo, chegando a uma altura de 6,54 e 4,94 metros, respectivamente. O pavimento só possui 3 pilares nesta área de maior pé direito. Este feito só foi possível devido a força de protensão aplicada na laje.

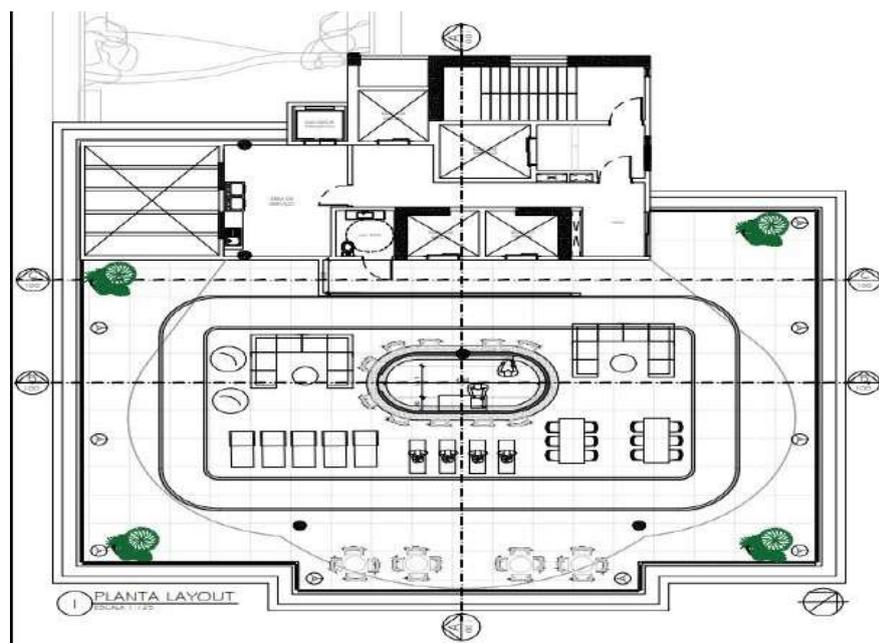
Figura 25 – Pavimento com Pé Direito Duplo e apenas 3 pilares com base circular.



Fonte: Autoral, 2024

Na figura 26 é mostrado a planta do Pavimento 39, demonstrando a pequena quantidade de pilares possível devido a protensão aplicada na laje.

Figura 26 – Planta Baixa do Pavimento 39.



Fonte: Prime View, 2024.

Uma das problemáticas encontrada foi na situação de pontos hidráulicos. Como as lajes são protendidas, para haver mudanças de ponto hidráulico ou adições é necessário a análise do projeto estrutural e de protensão, para que os furos atinjam apenas cubetas, sem interferir nos cabos. Logo, em relação a pontos hidrossanitários algumas reformas não são possíveis, sendo necessário entrar em acordo com os clientes para realizar alterações nos projetos.

Além disso, como os clientes tiveram liberdade de escolher seus projetos de reforma, constantemente haviam mudanças inesperadas que afetavam o cronograma de execução, causando um maior re-trabalho e atraso no processo de construção.

Por fim, a mão de obra especializada para lidar com cabos de protensão em João Pessoa ainda é limitada. Diante dessa dificuldade, bem como dos desafios relacionados à disponibilidade de materiais, optou-se por contratar os serviços necessários de uma empresa especialista na área em Recife, Pernambuco. Essa decisão estratégica permitiu garantir a qualidade e eficácia do processo de protensão, mesmo diante das restrições locais.

5.1.2. Estimativa de Custo e Orçamento

De acordo com os levantamentos realizados na obra e considerando os custos dos materiais e mão de obra fornecidos pela própria construtora, foram obtidos os valores de custo na execução da estrutura, concretagem de vigas, lajes, pilares, aços, proteções e mão de obra. Representados na Tabela 01:

Tabela 01: Custo total da estrutura.

ITEM	DESCRIÇÃO DOS SERVIÇOS/MATERIAIS	UNIDADE	QUANTIDADE	PREÇO UNITÁRIO	CUSTO TOTAL
1	CONCRETO VIGAS	M³	11610,68	R\$ 650,00	R\$ 7.546.944,52
2	CONCRETO DE LAJES	M³		R\$ 650,00	
3	CONCRETO DE PILARES	M³		R\$ 650,00	
4	CONCRETO ESCADA	M³		R\$ 650,00	
5	AÇO DE VIGAS	KG	1440655,58	R\$ 9,80	R\$ 14.118.424,71
6	AÇO DE LAJES	KG		R\$ 9,80	
7	AÇO DE PILARES	KG		R\$ 9,80	
8	AÇO ESCADA/GUIAS DE NEGATIVOS	KG		R\$ 9,80	
9	MÃO DE OBRA DE EXECUÇÃO DE FORMA/ESCORAMENTO/ESPAÇADORES/PREGOS/ARAME 18 RECOZIDO	M²	36530,54	R\$ 290,00	R\$ 10.593.856,60
10	CORDOALHAS DE PROTENSÃO	KG	190473,20	R\$ 25,00	R\$ 4.761.830,00
11	MÃO DE OBRA DE EXECUÇÃO DE PROTENSÃO	KG	190473,20	R\$ 6,70	R\$ 1.276.170,44
12	PROTEÇÃO DE PERIFERIA	UND	38	R\$ 70.000,00	R\$ 2.660.000,00
13	BANDEJA DE PROTEÇÃO	VB	1	R\$ 114.268,23	R\$ 114.268,23
14	PROJETO E EXECUÇÃO DO PCMAT/PCMSO	VB	1	R\$ 250.000,00	R\$ 250.000,00
15	CONTROLE TECNOLÓGICO	UND	8708	R\$ 23,00	R\$ 200.284,30
PREÇO FINAL DA ESTRUTURA					R\$ 41.521.778,80

Fonte: Autoral, 2024.

Foi quantificado também o custo com a protensão – material, serviços e locações, chegando há um total de R\$ 4.736.792,10.

Tabela 02: Custos com protensão na estrutura.

CUSTOS PRIME VIEW - PROTENSÃO - MATERIAL E SERVIÇO			
FORNECEDOR	TOTAL DE GASTOS	PERÍODO	PESO KG
DATA: 26/07/2023			
BELGO - CORDOALHAS	R\$ 2.091.140,14	27/11/2019 à 14/03/2022	184.547,3
IMPROTECH	R\$ 858.917,01	03/03/2020 à 03/07/2023	PROTENSÃO - MATERIAL E SERVIÇO
TOTAL	R\$ 2.950.057,15		
CUSTOS PRIME VIEW - LOCAÇÕES			
FORNECEDOR	TOTAL DE GASTOS	PERÍODO	FINALIDADE
IMPACTO PROTENSÃO	R\$ 988.964,08	19/11/2019 à 06/07/2023	ESCORAMENTO
RPA LOCAÇÕES	R\$ 439.517,57	01/10/2019 à 06/12/2022	ESCORAMENTO
MAGNA LOCAÇÕES	R\$ 76.586,53	29/03/2019 à 05/07/2023	CONTAINER ESCRITORIO ESCORAMENTO (ESCORAS E VIGAS) ANDAIME FACHADEIRO MAQUINAS E EQUIPAMENTOS
BMA LOCAÇÕES	R\$ 103.721,94	05/11/2018 à 15/03/2023	CONTAINER BANHEIRO ESCORAMENTO ANDAIMES TUBULAR MAQUINAS (BETONEIRA E VIBRADOR PARA CONCRETO)
RENTAL PROJECTA	R\$ 45.104,00	27/11/2018 à 31/10/2022	ANDAIMES TUBULAR MAQUINAS (MARTELETES - BOMBAS VIBRADOR PARA CONCRETO - COMPACTADOR DE SOLO)
LOÇ E RELOC - GDR FILHOS	R\$ 33.756,23	13/03/2019 à 03/05/2023	ESCORAMENTO E VIGAS
LOQFÁCIL	R\$ 26.884,70	28/02/2023 à 10/07/2023	ESCORAMENTO - BETONEIRA 600L E PENEIRA ELÉTRICA
ESCAN LOCAÇÕES	R\$ 9.896,00	07/02/2023 à 06/07/2023	BALANCINS PARA POÇO ELEVADOR E SUPORTE PARA ROOFTOP
LUIZ GUEDES	R\$ 43.500,00	04/07/2022 à 04/07/2023	BALANCINS PARA FACHADA
ANLEV	R\$ 13.820,00	14/11/2022 à 08/07/2023	MARTELETES E FURADEIRAS DE IMPACTO
CASA DO CONSTRUTOR	R\$ 4.983,90	29/06/2021 à 04/04/2023	VIGAS METÁLICAS
TOTAL	R\$ 1.786.734,95		
TOTAL GERAL	R\$ 4.736.792,10	PROTENSÃO (MATERIAL E SERVIÇO) E LOCAÇÕES	

Fonte: Autoral, 2024.

5.1.3. Desempenho de Execução

Na execução do Edifício, o cronograma mensal para a estrutura principal tinha como meta a execução de 3 lajes por mês. Todo o trabalho de mão de obra é realizado pelos funcionários da empresa, com exceção da protensão realizada após a concretagem, que é terceirizada. A equipe encarregada da montagem da laje foi composta por 1 encarregado geral, 6 carpinteiros, 5 ajudantes de carpintaria, 4 armadores e 2 ajudantes de armador. Todos os materiais utilizados na execução da laje foram alugados em diversos fornecedores. Por exemplo, as cubetas foram fornecidas pela empresa "Impacto" e as escoras foram fornecidas pela empresa "RPA". Essa abordagem permitiu uma gestão eficiente dos recursos e uma execução otimizada da obra.

5.1.4. Aspectos Positivos e Negativos

A estrutura de cabos permitiu uma redução significativa na quantidade de vigas na laje, resultando em um pé-direito mais amplo em comparação com os métodos convencionais. Além disso, a alvenaria foi utilizada apenas para vedação, proporcionando um espaço livre que pode ser dividido de acordo com as preferências do cliente.

Outra vantagem significativa foi em relação a arquitetura. O método estrutural utilizado possibilitou à equipe de arquitetura executar um projeto de cobertura com apenas 3 pilares em uma área de aproximadamente 17x15 metros, com pé-direito duplo. Essa flexibilidade arquitetônica é valorizada pelos clientes e contribui para um design mais inovador e atraente.

Contudo, durante a execução da obra, uma das principais dificuldades encontradas foi a escassez de mão de obra qualificada localmente. Para contornar esse problema, a construtora precisou buscar profissionais na cidade vizinha, Recife, onde a demanda por colocação de cabos e protensão é maior. Também foi notório a dificuldade para executar algumas reformas hidrossanitárias.

Além disso, é importante ressaltar que a utilização de lajes nervuradas protendidas requer o uso de concreto com uma resistência maior. No caso estudado, foi utilizado concreto usinado com resistência de 50 MPa, o que impacta diretamente no orçamento da obra, tornando-o mais elevado em comparação com o uso de concretos convencionais.

6 CONCLUSÕES FINAIS E CONSIDERAÇÕES

Após uma análise detalhada e compreensão dos aspectos técnicos de cada tipo de sistema construtivo, com embasamento teórico, o trabalho progrediu para a realização do estudo de caso de uma obra alto padrão na Paraíba. O objetivo foi investigar e compreender a razão pela qual o tipo de concreto foi utilizado, mostrando suas vantagens e desvantagens.

No estudo, a obra, com 47 pavimentos na torre principal, fez o uso de concreto protendido. Após pesquisas aprofundadas, foi constatado que a estrutura da obra teve um custo aproximado de R\$ 42 milhões, com R\$4.836.792,10 referentes à protensão.

Nesse contexto, foram discutidos os pontos positivos e negativos da utilização de cordoalhas nas lajes para reduzir ou eliminar a necessidade de vigas e pilares internos. É evidente que o sistema construtivo de lajes protendidas de concreto armado utilizado possui suas vantagens e desvantagens. Diante disso, cada obra deve buscar adotar o método construtivo mais adequado às suas necessidades arquitetônicas e econômicas. A escolha do sistema construtivo vai além da seleção do tipo de concreto, envolvendo uma análise minuciosa dos requisitos específicos de cada obra. Portanto, o planejamento para a execução da estrutura é realizado com grande responsabilidade, visando cumprir todas as etapas dentro do cronograma estabelecido.

A Construtora optou por usar a protensão pós-tracionada não aderente, auxiliando nos efeitos de proteção contra corrosão devido à maresia, aumentando a vida útil da construção. Além disso, com a ausência de vigas internas nos apartamentos, possível devido às ações das lajes de concreto protendido, os clientes obtiveram livre escolha arquitetônica para as unidades, com vencimento de grandes vãos, e um Pé-direito nos apartamentos com média de 2,60m.

Portanto, o estudo dos métodos construtivos é fundamental para orientar as decisões nas obras de Construção Civil. A escolha do método adequado não apenas otimiza o processo de construção, reduzindo prazos e custos, mas também assegura um ambiente mais seguro e confortável para a população.

Além disso, métodos bem escolhidos podem contribuir para a sustentabilidade das edificações, utilizando materiais de forma eficiente e minimizando impactos ambientais.

Ao considerar fatores como a durabilidade, a manutenção e a eficiência energética, os profissionais do setor podem garantir que os projetos atendam não apenas às demandas imediatas, mas também às necessidades futuras das comunidades. Assim, investir na análise e na seleção criteriosa dos métodos construtivos é crucial para a qualidade das edificações, promovendo um desenvolvimento urbano mais consciente e responsável. Dessa forma, a pesquisa e a aplicação de práticas inovadoras no campo da Construção Civil se tornam imprescindíveis para a construção de um futuro mais seguro, sustentável e adaptado às realidades do nosso tempo.

REFERÊNCIAS

- DAL PRÁ, Artur Antonio. **Análise de alternativas de projeto para pavimentos sem vigas em concreto armado**. 2012. 136 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2012. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/100577>. Acesso em: 20 ago. 2024.
- FRANCO, M. **Concreto Protendido em Edifícios: Problemas Particulares**. Rio de Janeiro: Interciência, 2002.
- FREYSSINET, Eugène. **A técnica de protensão no concreto**. 1928.
- LEONHARDT, F. **Concreto Protendido: Teoria e Prática**. 1964.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118: **Projeto de Estruturas de Concreto. Procedimento**. 3. ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.
- NILSON, A. F. **Concreto: Estruturas, Materiais e Construção**. 1987.
- CHOLFE, Luiz; BONILHA, Luciano. **Concreto protendido: teoria e prática**. São Paulo: Ofitexto, 2013. Disponível em: <https://www.ofitexto.com.br/concreto-protendido-teoria-e-pratica/p>. Acesso em: 15 set. 2024.
- GHALI, A.; NEVILLE, A. M. **Structural analysis**. 1. ed. London: Macmillan, 1967.
- DE SOUZA VERÍSSIMO, G. **Concreto Protendido: Fundamentos Básicos**. 1998. Disponível em: <https://www.feb.unesp.br/lutt/Concreto%20Protendido/CP-vol1.pdf>. Acesso em: 10 ago. 2024.
- MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concrete: Microstructure, Properties, and Materials**. 3. ed. New York: McGraw-Hill, 2008.
- RUDLOFF. Catálogo de produtos: Sistemas de protensão. Disponível em: <https://www.rudloff.com.br/download/>. Acesso em: [10 set. 2024].

TRIPADVISOR. **Ponte Estaiada Octavio Frias de Oliveira**. 2024. Disponível em: https://www.tripadvisor.com.mx/Attraction_Review-g303631-d2350329-Reviews

Ponte_Estaiada_Octavio_Frias_de_Oliveira-

Sao_Paulo_State_of_Sao_Paulo.html. Acesso em: 17 set. 2024.

NATIONAL GEOGRAPHIC. **The Icon: Sydney Opera House**.

Disponível em: <https://www.nationalgeographic.com/travel/article/the-icon-sydney-opera-house>. Acesso em: [10 set. 2024].

CONCRETO USINADO. **Concreto Protendido: O que é? Quais vantagens e desvantagens?**. 2020. Disponível em:

<https://www.concretousinado.com.br/noticias/concreto-protendido/>.

Acesso em: 22 set. 2024.

MAC PROTENSÃO. **Bainha metálica circular**. 2024. Disponível em:

<https://macprotensao.com.br/produtos/bainha-metalica-circular/>.

Acesso em: 27 set. 2024.