

ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

NÍCOLAS FERRARI IAQUINTA

Otimização da Produtividade na Construção de Edifícios Multipavimentos em
Concreto Armado: Um Estudo Comparativo entre Lajes Planas Protendidas e Lajes
Reticuladas

São Paulo
2025

ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

NÍCOLAS FERRARI IAQUINTA

Otimização da Produtividade na Construção de Edifícios Multipavimentos em
Concreto Armado: Um Estudo Comparativo entre Lajes Planas Protendidas e Lajes
Reticuladas

Versão original

Monografia apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo, para
obtenção do título de Especialista em Tecnologia
e Gestão na Produção de Edifícios

Orientador:
Prof. Carlos Eduardo Grazina

São Paulo
2025

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Catálogo-na-Publicação

Iaquinta, Nicolas Ferrari

OTIMIZAÇÃO DA PRODUTIVIDADE NA CONSTRUÇÃO DE
EDIFÍCIOS MULTIPAVIMENTOS EM CONCRETO ARMADO:
UM ESTUDO COMPARATIVO ENTRE LAJES PLANAS
PROTENDIDAS E LAJES RETICULADAS/ N. F. Iaquinta - São
Paulo, 2025.

Monografia (Especialização em Tecnologia e Gestão na Produção de
Edifícios) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Poli-
Integra.

1.Otimização da Produtividade na Construção de Edifícios
Multipavimentos em Concreto Armado: Um Estudo Comparativo
entre Lajes Planas Protendidas e Lajes Reticuladas

A ficha deve ser gerada em:

[https://www.poli.usp.br/bibliotecas/servicos/catalogacao-na-
publicacao](https://www.poli.usp.br/bibliotecas/servicos/catalogacao-na-publicacao)

IAQUINTA, Nicolas Ferrari. **Otimização da Produtividade na Construção de Edifícios Multipavimentos em Concreto Armado: Um Estudo Comparativo entre Lajes Planas Protendidas e Lajes Reticuladas**. 2025. Número de páginas p 38. Monografia (Especialidade em Tecnologia e Gestão na Produção de Edifícios) Universidade de São Paulo, São Paulo, 2025.

Aprovado em: _____

Banca Examinadora

Orientador: Professor Carlos Eduardo Grazina

Instituição: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

Julgamento: _____

Examinador 1:

Instituição:

Julgamento: _____

Examinador 2:

Instituição:

Julgamento: _____

DEDICATÓRIA

Dedico esta Monografia aos meus pais, Nicola Sérgio Iaquina e Cláudia Ferrari Iaquina, que sempre foram meus exemplos de dedicação, trabalho, honestidade, educação e compromisso. Toda minha formação e meus valores dedico a eles.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Deus acima de tudo, por me proporcionar saúde, disposição e recursos para ter a oportunidade de adquirir experiências, conhecimentos e todas as outras grandezas que o curso me proporcionou.

Agradeço também aos meus pais, Nicola e Cláudia, por me incentivarem e valorizarem todo meu esforço no dia a dia, bem como por proporcionar todo apoio quando precisei. Agradeço meus irmãos, Priscila e Rodrigo, pelos conselhos e troca de experiências que me passaram.

Agradeço também minha namorada, Giovanna, que esteve comigo em todo o processo, tendo o entendimento e compreensão quando precisei me dedicar aos estudos durante o curso e pelo incentivo e motivação quando havia um desânimo.

Não posso deixar de agradecer meus professores:

- Professor MSc. Carlos Eduardo Grazina, por me orientar durante todo o processo, dedicando seu tempo para trocar experiências e contribuir para meu crescimento profissional e acadêmico.

-Professor Dr. Francisco Cardoso e professora Dra. Mércia Maria Bottura Barros, pelos ensinamentos e dedicação durante todo o processo do curso de Tecnologia e Gestão na Produção de Edifícios, bem como na coordenação da monografia.

E por final, um agradecimento à participação do Eng. Marco Aurélio Cavaleiro, projetista com mais de 25 anos de experiência em estruturas protendidas e referência técnica no desenvolvimento dos projetos analisados.

RESUMO

A escassez de mão de obra na construção civil tem impactado diretamente a produtividade e os custos das obras. Esse tema ganha relevância no cenário atual, especialmente na região metropolitana de São Paulo, onde a alta demanda tem gerado dificuldade em encontrar profissionais qualificados. Uma das atividades mais afetadas por essa realidade é a execução da estrutura de concreto, responsável por aproximadamente 50% do prazo e por compor o caminho crítico da obra. Nesse contexto, este trabalho busca avaliar o potencial ganho de produtividade na construção de edifícios multipavimentos com uso de lajes planas protendidas e lajes reticuladas de concreto armado. Para isso, realizou-se uma revisão bibliográfica sobre ambos os sistemas estruturais, acompanhada de um estudo de caso baseado na análise de dados reais de obras executadas. Por meio desse estudo, buscou-se identificar um possível caminho que permita aumentar a produtividade, principalmente ao minimizar o uso de mão de obra e a dependência do sistema estrutural atualmente adotado. A principal diferença operacional entre os sistemas reside no conjunto de etapas necessárias para sua execução. Estruturas reticuladas demandam montagem e travamento de vigas, maior escoramento, verificação geométrica e armações complexas, enquanto a laje plana protendida elimina grande parte dessas operações, reduzindo interferências, retrabalhos e aumentando a eficiência produtiva. Embora o estudo utilize dados de materiais, o foco central desta pesquisa está na produtividade — entendida como a relação entre recursos empregados (mão de obra, processos e insumos) e o desempenho obtido no ciclo construtivo. Assim, a comparação entre os sistemas não se limita aos volumes de forma, aço e concreto, mas considera o impacto dessas diferenças sobre o esforço operacional, o número de etapas e a complexidade de execução no canteiro. Os resultados evidenciam que a adoção de lajes planas protendidas reduz significativamente a necessidade de mão de obra, otimiza recursos e torna o processo construtivo mais eficiente. O estudo também reforça a importância de um projeto estrutural bem elaborado como fator determinante para a redução de desperdícios e o aumento da produtividade. Conclui-se que a escolha do sistema estrutural impacta não apenas os custos e prazos, mas também a viabilidade da obra diante das limitações do mercado atual.

Palavras-chave: produtividade, lajes planas protendidas, lajes reticuladas, mão de obra, construção civil, concreto armado, escassez, otimização,

ABSTRACT

The labor shortage in civil construction has directly impacted productivity and construction costs. This issue is very important in the current civil construction scenario, especially in metropolitan region of São Paulo, where the sector is overheated and there has been a shortage of labor to meet such high demand. One activity that suffers directly from this is concrete structuring, which accounts for approximately 50% of the construction time and critical path. In this context, this study seeks to evaluate the potential productivity gains in the construction of multi-story buildings by comparing flat prestressed slabs and reinforced concrete lattice slabs. To this end, a literature review of the two structural systems was conducted, in addition to a case study with analysis of actual data from completed projects. Through this case study, we sought to identify a possible path to gain productivity, mainly by minimizing the use of labor and its dependence on the structural system currently adopted. The main operational difference between the systems lies in the set of steps required for their execution. Lattice structures require the assembly and locking of beams, greater shoring, geometric verification, and complex frames. The flat prestressed slab eliminates most of these operations, reducing interference and rework and increasing production efficiency. Although the study uses material data, the central focus of this research is productivity—understood as the relationship between resources employed (labor, optimal processes, and inputs) and the performance obtained in the construction cycle. Thus, the comparison between the systems is not limited to volumes of formwork, steel, and concrete, but to the impact of these differences on operational effort, the number of stages, and the complexity of execution on the construction site. The results show that the use of prestressed flat slabs significantly reduces labor requirements, optimizes resources, and makes the construction process more efficient. The study also reinforces the importance of a well-designed structural project as a determining factor in reducing waste and increasing productivity. It is concluded that the choice of structural system impacts not only costs and deadlines, but also the feasibility of the project in light of current sector limitations.

Keywords: productivity, prestressed flat slabs, lattice slabs, labor, civil construction, reinforced concrete, labor, shortage, optimization

LISTA DE FIGURAS

Figura 01: Estrutura de Concreto Armado.....	08.
Figura 02: Lajes Planas Protendidas.....	10.
Figura 03: Laje Protendida.....	11.
Figura 04: Forma em Estrutura Reticulada.....	18.
Figura 05: Forma em Laje Plana Protendida.....	19.
Figura 06: Forma em Estrutura Reticulada de Concreto Armado.....	21.
Figura 07: Forma em Laje Plana Protendida.....	22.

LISTA DE TABELAS

Tabela 01: Estudo de Viabilidade de Alteração do Projeto de Forma.....	20.
Tabela 02: Comparativo Caso 1.....	20.
Tabela 03: Estudo de Viabilidade de Alteração do Projeto de Forma.....	22.
Tabela 04: Comparativo Caso 2.....	23.
Tabela 05: Comparativo de Forma (Quantidades).....	24.
Tabela 06: Comparativo de Concreto (Volume).....	24.
Tabela 07: Comparativo de Aço (Kg).....	25.
Tabela 08: Levantamento Dados de Produção por Pavimento Tipo.....	26.
Tabela 09: Cronograma Execução Laje Reticulada de Concreto Armado.....	29.
Tabela 10: Cronograma Execução Laje Plana Protendida.....	29.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABP	Associação Brasileira de Protensão
AIA	American Institute of Architects
SWOT	Strengths, Weakness, Opportunities, Threats
CTE	Centro de Tecnologia de Edificações
CA	Concreto Armado

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1 Contexto.....	1
1.2 Objetivo.....	2
1.3 Justificativa	2
1.4 Métodos de Pesquisa.....	4
1.5 Estruturação do Trabalho.....	4
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	6
2.1 Estruturas em Concreto Armado	7
2.1.1 Definição e Propriedades	8
2.1.2 Vantagens e Desvantagens	9
2.2 Lajes Planas Protendidas	9
2.2.1 Características e Tipos de Lajes Planas Protendidas	10
2.2.2 Aplicações na Construção Civil	10
2.2.3 Vantagens e Desvantagens das Lajes Planas Protendidas.....	11
2.3 Estruturas Reticuladas.....	11
2.3.1 Definição e Tipos de Estruturas Reticuladas.....	12
2.3.2 Aplicações e Vantagens das Estruturas Reticuladas.....	12
2.4 Comparação entre Lajes Planas Protendidas e Estruturas Reticuladas	12
2.4.1 Aspectos Técnicos e Estruturais	12
2.4.2 Desempenho e Eficiência	13
2.4.3 Aplicação de Mão de Obra	13
2.4.4 Execução de Estruturas Reticuladas	13
2.4.5 Execução de Lajes Planas	14
2.5 Particularidade do Projeto.....	14
3 ESTUDO DE CASO	16
3.1 Coleta de Dados.....	17

3.2 Apresentação dos Dados Coletados.....	18
3.2.1 Caso 1.....	18
3.2.2 Caso 2.....	21
3.3 Comparativo dos Materiais dos Casos 01 e 02	23
3.4 Números de Mão de Obra	25
3.4.1 Indicadores de Produção das Obras Estudadas.....	26
3.4.1.1 Obra Kalunga	27
3.4.1.2 Obra Pedroso de Moraes	27
3.4.2 Cronograma de Execução.....	28
3.5 Cruzamento de Dados	30
3.5.1 Caso 1 – Estruturas Reticuladas de Concreto Armado.....	30
3.5.2 Caso 2 – Estruturas Reticuladas em Concreto Armado.....	31
3.5.3 Caso 1 – Lajes Planas Protendidas	31
3.5.4 Caso 2 – Lajes Planas Protendidas	32
3.6 Análise Crítica dos Resultados	32
3.7 Limitações do Estudo	33
4 CONSIDERAÇÕES FINAIS	33
REFERÊNCIAS	36

1. INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTO

O mercado imobiliário brasileiro é marcado por movimentos cíclicos de crescimento. Em 2020, um novo ciclo foi identificado e, desde então, observa-se uma elevada demanda por mão de obra. Entretanto, a oferta de profissionais em diversas funções relacionadas à produção não tem sido suficiente para suprir a necessidade do setor. De acordo com enquête produzida pela CBIC (Câmara Brasileira da Indústria da Construção) em 2023, sete em cada dez construtoras sofrem com a falta de trabalhadores (CTE, 2024).

Além da escassez de mão de obra, destaca-se também o seu envelhecimento. Um estudo encomendado pela Autodoc (2024) aponta o aumento da média de idade dos colaboradores da construção civil, passando de 36 anos em 2016 para 42 anos em 2023.

Com a escassez de mão de obra no setor, verifica-se uma perda significativa no ritmo produtivo das obras, o que pode gerar atrasos no caminho crítico do cronograma. Esses atrasos impactam diretamente a conclusão da estrutura, acarretando, conseqüentemente, atrasos nas próximas atividades dentro do ciclo produtivo de uma obra, resultando em potenciais prejuízos financeiros para as empresas do setor. Além disso, esse cenário pode causar um desequilíbrio econômico, elevando os custos das construções e inflacionando os preços finais, o que, por sua vez, gera maior insegurança para consumidores e investidores do mercado imobiliário.

Considerando o processo de industrialização que tem transformado diversos setores produtivos, a construção civil no Brasil pode avançar no mesmo sentido ao incorporar, de forma mais efetiva, tecnologias e inovações em seus processos. Essa necessidade torna-se ainda mais evidente diante do atual cenário de mercado, a fim de mitigar os efeitos da escassez de mão de obra, que permanece como um recurso central da construção. Dentre as funções, destaca-se a escassez da mão de obra básica para realização de serviços essenciais, como a carpintaria para execução de estruturas de concreto armado.

Nesse contexto, o setor precisa de alternativas que permitam suprir a demanda construtiva sem perda de ritmo, integrando à produção novas tecnologias e/ou sistemas capazes de aumentar a produtividade com menor dependência da força de trabalho.

1.2 OBJETIVO

O objetivo do trabalho é avaliar o potencial impacto na demanda de mão de obra na fase de execução da estrutura de edifícios multipavimentos, a partir de um estudo de caso comparativo entre sistemas estruturais em lajes reticuladas e com lajes planas protendidas, mediante aplicação de produtividades unitárias médias constantes aos quantitativos extraídos dos respectivos projetos estruturais, restringindo-se a análise às etapas de fôrmas, armação e concretagem.

1.3 JUSTIFICATIVA

A escassez de mão de obra qualificada afeta de maneira distinta os sistemas estruturais adotados na construção civil brasileira. Segundo levantamento da Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC), a dificuldade de contratação de trabalhadores tornou-se um dos principais entraves à expansão do setor nos últimos anos. Esse cenário impacta especialmente atividades intensivas em serviços manuais, como a execução de estruturas de concreto armado.

O método tradicional de estrutura reticulada em concreto armado, amplamente empregado em edifícios residenciais — que representam parcela significativa das edificações construídas no Brasil — caracteriza-se pela presença de vigas, lajes apoiadas e grande volume de fôrmas e escoramentos. Conforme apontado por Francisco Ferreira Cardoso (1996), sistemas construtivos com maior número de etapas e maior variabilidade operacional tendem a demandar maior coordenação de equipes e apresentar maior sensibilidade às limitações de mão de obra.

As lajes planas protendidas, por sua vez, reduzem a quantidade de vigas secundárias e simplificam parte das operações executivas da superestrutura, o que pode contribuir para maior racionalização do processo construtivo. De acordo com Hélio Paulo Salles (2004), a racionalização construtiva está diretamente associada à redução de interferências e à padronização das atividades, fatores que influenciam positivamente o desempenho produtivo.

Observa-se que, em diversas atividades da construção de edifícios, persistem métodos tradicionais de execução, como as estruturas reticuladas, em parte pela percepção de menor custo imediato quando comparados à adoção de soluções alternativas. Contudo, conforme discutido na literatura de gestão da produção na construção, o custo aparente de métodos

tradicionais nem sempre reflete o custo real quando se considera a produtividade e a disponibilidade de recursos humanos.

Além disso, a adoção de sistemas alternativos enfrenta barreiras estruturais no setor, tais como:

- **Cultura tradicional e resistência à mudança:** O setor da construção civil é historicamente conservador, o que dificulta a adoção de novas tecnologias e exige alterações significativas nos processos e métodos de trabalho.
- **Falta de conhecimento e experiência:** A ausência de formação adequada e de qualificações específicas pode dificultar a adoção eficaz de inovações, gerando incertezas e receios entre os trabalhadores.
- **Alto custo e investimento inicial;**
- **Preocupações com qualidade e confiabilidade:** Diante da falta de mão de obra qualificada para executar atividades com maior complexidade tecnológica, surge a preocupação com a qualidade final do serviço.

Apesar desses desafios, o concreto armado permanece como uma das soluções estruturais mais eficazes em termos de custo-benefício para edifícios multipavimentos residenciais, devido à sua versatilidade, disponibilidade de materiais e domínio técnico amplamente difundido no mercado.

Diante desse cenário, justifica-se a realização de estudo comparativo entre sistema reticulado em concreto armado e laje plana protendida, com foco na análise da demanda de mão de obra na execução da superestrutura, contribuindo para a tomada de decisão técnica em um contexto de restrição de recursos humanos.

1.4 MÉTODOS DE PESQUISA

Esta monografia adota uma abordagem metodológica baseada na análise de dados reais, combinada à utilização de simulações comparativas desenvolvidas a partir de projetos estruturais equivalentes. O estudo representa a aplicação de cenários reais para avaliar os impactos produtivos decorrentes da escolha do sistema estrutural.

Para subsidiar a pesquisa, os materiais e métodos utilizados foram organizados a partir de uma revisão de literatura sobre o tema, bem como da análise de pesquisas acadêmicas e fundamentos teóricos relacionados às soluções estruturais em concreto armado e às lajes planas protendidas. Posteriormente, foram realizadas pesquisas in loco e entrevistas com profissionais envolvidos na execução de obras com estruturas reticuladas de concreto armado, além de especialistas em projetos e execução de lajes planas protendidas.

As etapas metodológicas podem ser sintetizadas da seguinte forma:

- I.** Pesquisa sobre lajes planas e sua produtividade em comparação a lajes convencionais, considerando áreas de projeção semelhantes, com o intuito de apresentar um comparativo entre as soluções estudadas a partir do estudo de caso.
- II.** Análise de como a escassez de mão de obra de carpintaria e armação tem afetado o andamento das obras, bem como a identificação de ações possíveis para mitigar os impactos decorrentes desse cenário de mercado.
- III.** Levantamento e análise de obras que incorporaram planejamento específico e novas tecnologias ao ciclo produtivo, buscando alternativas capazes de suprir os desafios associados à escassez de mão de obra discutidos anteriormente.

1.5 ESTRUTURAÇÃO DO TRABALHO

No primeiro capítulo, a introdução traz o contexto geral do problema, com a exposição de exemplos, dados e indicadores que fundamentam a problemática que originou o objetivo principal do trabalho. Também são apresentados os objetivos da pesquisa, a justificativa para sua realização e os métodos adotados para a coleta e análise dos dados.

Em sequência, o capítulo 2 aborda a fundamentação teórica, reunindo conceitos essenciais sobre estruturas de concreto armado, lajes planas protendidas e lajes reticuladas. Além disso, são discutidas as vantagens e desvantagens desses sistemas, bem como a

importância do projeto estrutural para a otimização da produtividade na construção civil. Nesse capítulo, já é possível observar um comparativo teórico entre os sistemas estudados, visando compreender as potenciais vantagens da laje plana protendida em relação à estrutura reticulada de concreto armado.

O capítulo 3 apresenta o estudo de caso, detalhando a metodologia utilizada para a coleta de dados em campo, a análise comparativa entre os sistemas estruturais e os impactos da escolha do sistema no consumo de materiais, na produtividade da mão de obra e na eficiência construtiva. O elemento central dessa etapa do trabalho é a apresentação dos dados e projetos analisados, juntamente com o comparativo entre as soluções e sua conclusão final, permitindo visualizar os resultados práticos relacionados ao objetivo principal do estudo.

Por fim, o capítulo 4 traz as considerações finais, sintetizando os principais resultados da pesquisa e discutindo as implicações dos resultados obtidos. São também apresentadas sugestões para estudos futuros que possam complementar as análises realizadas.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A produtividade na construção civil constitui um dos principais indicadores de desempenho do processo construtivo, sendo tradicionalmente definida como a relação entre os recursos empregados e os resultados obtidos em determinado processo ou atividade. No contexto de edificações, essa relação envolve predominantemente mão de obra, materiais, equipamentos e métodos executivos.

Diferentemente da indústria seriada, a construção civil apresenta elevada variabilidade, forte dependência de operações manuais e condições específicas de cada empreendimento. Tal característica torna a mensuração e o controle da produtividade um desafio relevante para a gestão da produção.

Segundo SOUZA (1996), a produtividade da mão de obra na construção pode ser mensurada por meio de indicadores físicos, sendo a Razão Unitária de Produção (RUP) um dos instrumentos mais utilizados. A RUP relaciona o esforço despendido em homem-hora (Hh) à quantidade de serviço executado, como metro quadrado de fôrma montada, quilograma de armadura instalada ou metro cúbico de concreto lançado. Esse indicador permite avaliar o desempenho produtivo de diferentes sistemas construtivos, desde que mantidas premissas metodológicas consistentes.

De acordo com CARDOSO (1996), a produtividade no setor está diretamente associada à organização do processo produtivo, ao nível de padronização das atividades e ao grau de racionalização construtiva adotado. Processos que apresentam maior número de interferências, retrabalhos e variabilidade operacional tendem a demandar maior consumo de recursos humanos e apresentar menor previsibilidade de desempenho.

No cenário brasileiro, a discussão sobre produtividade está inserida em um contexto de transformações tecnológicas e organizacionais. Segundo Zorzi (2015), o setor da construção de edifícios tem passado por mudanças significativas, com avanços em projetos, processos construtivos, materiais, equipamentos e qualificação de recursos humanos. Tais avanços estão associados ao movimento de racionalização construtiva, que busca maior padronização, redução de desperdícios e aumento da eficiência operacional.

Apesar dessas evoluções, persiste um problema que vem se agravando ao longo dos anos: a escassez de mão de obra qualificada. Levantamento realizado pela Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC, 2022) aponta que empresas do setor enfrentam crescente dificuldade na contratação de profissionais para os canteiros, especialmente em construtoras de

pequeno porte. A própria CBIC (2021) destaca que parte significativa da força de trabalho do setor encontra-se na informalidade, cenário que impacta a estabilidade e a continuidade da produção.

Além dos aspectos quantitativos, fatores como condições de trabalho pouco atrativas, exigência de esforço físico elevado e limitada progressão profissional contribuem para o afastamento de novos profissionais do setor. Nesse contexto, a qualificação da mão de obra torna-se estratégica para melhorar a produtividade, reduzir retrabalhos e elevar a qualidade dos serviços executados.

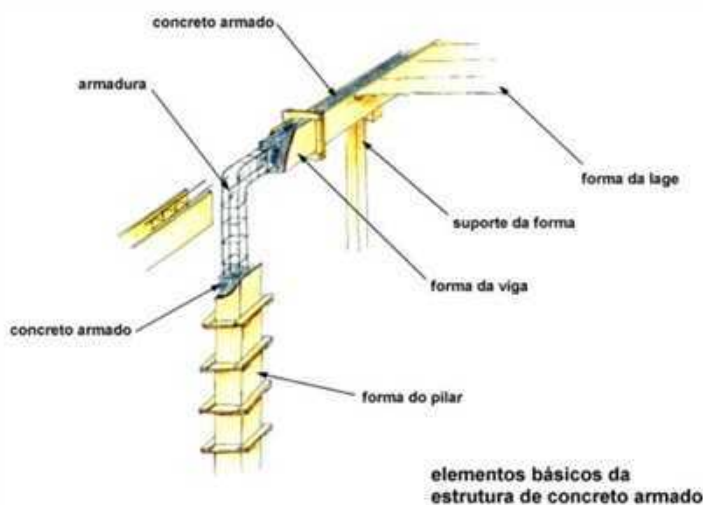
Entretanto, além da qualificação, a escolha do sistema estrutural exerce influência direta sobre a produtividade da superestrutura. A simplificação de etapas executivas, a redução de interfaces entre equipes e a padronização de elementos estruturais podem impactar significativamente a demanda total de mão de obra.

Dessa forma, compreender como diferentes sistemas estruturais em concreto armado — como a estrutura reticulada tradicional e a laje plana protendida — influenciam a organização do processo executivo torna-se essencial. A análise das características técnicas e construtivas desses sistemas estabelece a base teórica necessária para a avaliação comparativa apresentada no estudo de caso, especialmente no que se refere à estimativa da demanda de mão de obra por meio da aplicação de indicadores médios de produtividade.

2.1 ESTRUTURAS EM CONCRETO ARMADO

O concreto armado é amplamente empregado na engenharia civil e caracteriza-se pela associação entre concreto e barras de aço. Essa combinação permite que o material trabalhe de forma complementar, unindo a resistência à compressão do concreto à capacidade do aço de suportar esforços de tração, resultando em um sistema estrutural capaz de atender às diferentes solicitações presentes nas edificações.

Figura 01: Estrutura de Concreto Armado



Fonte: Editifique. *Título ou descrição da imagem* (se houver). Disponível em:

<https://editifique.arq.br>. Acesso em: 08 fev. 2025. Publicado em: 1999.

2.1.1 Definição e propriedades

Segundo a NBR 6118 (2023), o concreto armado é um material estrutural formado pela associação do concreto com armaduras de aço, de modo que ambos trabalhem conjuntamente na resistência aos esforços aplicados. Enquanto o concreto apresenta elevada capacidade de resistir a esforços de compressão, as armaduras absorvem preferencialmente os esforços de tração, permitindo que o conjunto apresente desempenho estrutural superior ao dos materiais isolados. Trata-se de um sistema construtivo versátil, durável e amplamente utilizado na engenharia civil, possibilitando a execução de elementos estruturais em diferentes formas e dimensões. Algumas propriedades essenciais incluem:

- **Resistência à compressão:** O concreto é extremamente resistente à compressão, permitindo a execução de pilares, vigas e lajes.
- **Resistência à tração:** Embora o concreto não seja bom em resistir a tração, o aço utilizado na armadura compensa essa deficiência.
- **Durabilidade:** O concreto armado tem uma longa vida útil, desde que seja bem projetado e executado.

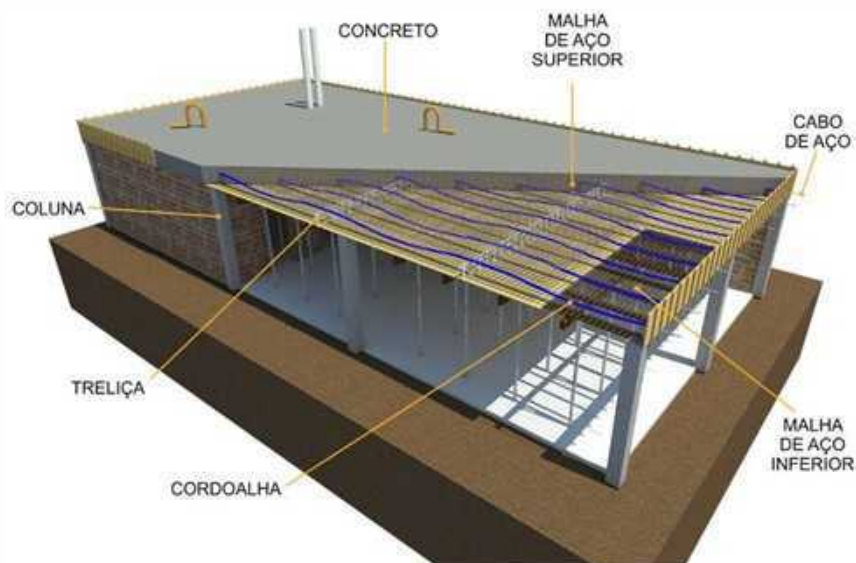
2.1.2 Vantagens e desvantagens

- **Vantagens:**
 - **Alta resistência:** Oferece boa resistência ao fogo, desgaste e intempéries.
 - **Durabilidade:** Com a correta execução, o concreto armado pode durar por décadas sem necessidade de reparos.
 - **Versatilidade:** Permite a criação de estruturas em diferentes formas e tamanhos, adaptando-se a diferentes tipos de projeto.
 - **Custo-benefício:** O custo do material e da mão de obra, embora mais alto em comparação com outros sistemas, é justificado pela durabilidade e resistência.
- **Desvantagens:**
 - **Peso:** O concreto armado é um material pesado, o que pode exigir fundações mais robustas e aumentar os custos em algumas situações.
 - **Vulnerabilidade a fissuras:** O concreto armado pode sofrer fissuras, especialmente devido a variações térmicas e movimentações estruturais.
 - **Exige formas e escoramentos:** O processo de moldagem exige o uso de formas e escoramentos, o que pode aumentar o tempo e o custo de execução.

2.2 LAJES PLANAS PROTENDIDAS

Segundo a NBR 6118:2023, as lajes protendidas são elementos estruturais de concreto que incorporam cabos ou cordoalhas submetidos a protensão, permitindo reduzir deformações e melhorar o desempenho estrutural. As lajes planas protendidas caracterizam-se pela ausência de vigas aparentes, concentrando a resistência no próprio painel de laje, o que proporciona maior liberdade arquitetônica e simplificação do processo executivo. Esse sistema tem sido amplamente empregado em edificações devido à sua eficiência estrutural e à racionalização das etapas de obra.

Figura 02: Lajes Planas Protendidas



Fonte: Construindo Casas. *Conteúdo disponível no portal Construindo Casas.* Disponível em: <https://construindocasas.com.br>. Acesso em: 08 fev. 2025.

2.2.1 Características e tipos de lajes planas protendidas

A principal característica das lajes planas é sua geometria plana, sem elementos adicionais como vigas ou nervuras. Elas podem ser divididas em diferentes tipos:

- **Laje maciça:** É a forma mais simples de laje plana, onde o concreto é moldado diretamente com a armadura, sem elementos adicionais.
- **Laje nervurada:** Embora seja uma laje plana, ela pode ter nervuras internas que a torna mais resistente e capaz de suportar maiores vãos.

2.2.2 Aplicações na construção civil

As lajes planas são mais comuns em construções de edifícios de vários andares, como prédios residenciais, comerciais e hospitais. Elas são preferidas quando se busca um acabamento estético mais limpo, sem as vigas expostas, além de uma construção mais rápida e com menor uso de materiais em relação a outras soluções.

Figura 03: Laje Protendida



Fonte: Evehx. 2018

2.2.3 Vantagens e desvantagens das lajes planas protendidas

- **Vantagens:**

- **Rápida execução:** A ausência de vigas e nervuras permite uma execução mais rápida, o que diminui o custo com mão de obra e o tempo de obra.
- **Economia de materiais:** Com a simplicidade do sistema, há uma otimização de materiais e uma melhor utilização dos espaços.

- **Desvantagens:**

- **Limitação em grandes vãos:** Lajes planas têm limitações de resistência em vãos maiores, o que pode exigir soluções adicionais.
- **Exige mão de obra especializada:** A execução de lajes planas requer um controle rigoroso da armadura e da moldagem para garantir que a estrutura seja eficiente e segura.

2.3 ESTRUTURAS RETICULADAS

As estruturas reticuladas são sistemas de lajes de concreto que utilizam vigas ou elementos adicionais para fornecer suporte à carga. Elas são mais complexas do que as lajes planas, devido à presença desses componentes adicionais.

2.3.1 Definição e tipos de estruturas reticuladas

As lajes convencionais geralmente incluem sistemas com vigas e nervuras, que ajudam na distribuição das cargas. Isso pode incluir:

- **Lajes nervuradas com vigas:** São formadas por uma série de nervuras (barras de concreto) conectadas por vigas, o que proporciona maior resistência e a capacidade de suportar maiores vãos.
- **Lajes com vigas fletidas:** Nesse caso, as vigas ficam abaixo da laje, distribuindo as cargas de forma mais eficiente em determinados tipos de projetos.

2.3.2 Aplicações e vantagens das estruturas reticuladas

As lajes convencionais são indicadas quando se exige maior capacidade de carga. Elas são comuns em edifícios de grande porte, como prédios comerciais, industriais e pontes. Algumas das vantagens incluem:

- **Capacidade de suportar grandes vãos:** O uso de vigas e nervuras torna as lajes convencionais mais adequadas para suportar vãos maiores do que as lajes planas.
- **Flexibilidade na concepção de projetos:** A possibilidade de adaptar o sistema de vigas e nervuras permite maior personalização do projeto estrutural.

2.4 COMPARAÇÃO ENTRE LAJES PLANAS PROTENDIDAS E ESTRUTURAS RETICULADAS

A comparação entre lajes planas e reticuladas foca em aspectos como resistência, eficiência e a aplicação de mão de obra, entre outros fatores.

2.4.1 Aspectos técnicos e estruturais

As lajes planas são mais simples e diretas, com resistência distribuída ao longo da laje. Já as lajes convencionais, com vigas e nervuras, oferecem uma distribuição mais eficiente das cargas, sendo mais adequadas para maiores vãos e estruturas mais pesadas. A escolha entre uma e outra depende do tipo de obra, do tamanho da estrutura e das condições do terreno.

2.4.2 Desempenho e eficiência

O desempenho de ambas as soluções depende de fatores como a carga suportada, o tipo de projeto e o tempo de execução. As lajes planas são mais eficientes em termos de tempo de execução, enquanto as lajes convencionais reticuladas são mais eficientes para projetos que exigem maior capacidade de carga e resistência.

2.4.3 Aplicação de mão de obra

A mão de obra necessária para a execução de lajes planas tende a ser mais especializada em comparação com as lajes convencionais, que exigem o conhecimento em montagem de vigas e nervuras. As lajes planas, por sua vez, são mais simples de construir, mas exigem um controle rigoroso para garantir a qualidade do trabalho.

2.4.4 Execução de estruturas reticuladas

A produtividade em estruturas de concreto armado reticuladas pode ser influenciada por diversos fatores, tais como a qualidade dos materiais utilizados, o dimensionamento correto da estrutura, a experiência da equipe de execução, a eficiência dos equipamentos e ferramentas utilizados, entre outros. Porém a maior relevância para uma maior produtividade é um projeto pensado para a melhoria da construtibilidade da estrutura.

Lajes convencionais em concreto armado (lajes maciças) são aquelas em que as lajes se apoiam em vigas que, por sua vez, descarregam em pilares (ALBUQUERQUE e PINHEIRO, 2002).

Alguns cuidados podem ser tomados para aumentar a produtividade na execução de lajes de concreto armado convencional, tais como a organização do canteiro de obras, a definição clara de etapas e responsabilidades, o treinamento da mão de obra, o controle de qualidade do concreto e da armadura, o planejamento eficiente da montagem das fôrmas e escoramentos, entre outros.

2.4.5 Execução de lajes planas

As lajes planas de concreto armado são estruturas horizontais que suportam cargas e distribuem o peso de forma uniforme em um edifício. Elas são amplamente utilizadas na construção civil por apresentarem vantagens como facilidade de execução, resistência e durabilidade. Essas estruturas permitem maior flexibilidade no projeto arquitetônico, possibilitando vãos livres maiores e áreas mais amplas.

Segundo MÜLLER (2011), as lajes planas de concreto armado são uma opção econômica e sustentável para a construção de edifícios, proporcionando conforto, segurança e eficiência energética. Já de acordo com SCHNEIDER (2008), a execução de lajes planas de concreto armado requer mão de obra qualificada e o uso de materiais de qualidade para garantir a sua durabilidade e resistência.

2.5 PARTICULARIDADES DO PROJETO

No setor da construção civil, projetos estruturais de concreto bem planejados são essenciais para aumentar a produtividade. Um projeto eficiente não apenas garante a durabilidade e a segurança da edificação, mas também impacta diretamente a otimização de recursos, a redução de custos e a produtividade durante a execução.

Um dos aspectos centrais para alcançar maior produtividade é a racionalização dos processos construtivos. Um projeto bem detalhado permite a padronização das formas e armaduras, facilitando a execução e minimizando o retrabalho. Isso significa que um projeto claro e detalhado pode reduzir significativamente o tempo de execução e os desperdícios de materiais, aumentando a eficiência no canteiro de obras.

Além disso, projetos que considerem as limitações e o potencial das tecnologias existentes podem ampliar a produtividade. A incorporação de tecnologias construtivas modernas, como formas pré-moldadas e sistemas de automação na montagem de estruturas de concreto, pode reduzir o tempo de construção e melhorar a qualidade final da obra. Dessa forma, um planejamento antecipado que leve em conta a aplicação de tecnologia pode tornar o processo mais ágil e produtivo.

Outro ponto fundamental é a integração entre as fases de projeto e execução. Para Souza (2002), a comunicação eficiente entre os profissionais envolvidos no projeto e na execução é crucial para antecipar problemas e ajustar o cronograma de obras.

Essa sinergia evita erros de interpretação e permite ajustes em tempo real, contribuindo diretamente para a produtividade. Assim, um projeto de estrutura de concreto voltado à maximização da produtividade deve integrar diversos fatores: o uso de materiais e tecnologias adequadas, o conhecimento das particularidades executivas e a articulação eficiente entre os profissionais envolvidos.

Essa abordagem abrangente garante que o trabalho seja realizado de forma rápida, econômica e com alta qualidade, atendendo aos requisitos de segurança e durabilidade. Dessa forma, a ampla discussão sobre a solução de um determinado partido estrutural tem potencial para gerar impactos diretos na produtividade da obra, influenciando desde o consumo de materiais até a necessidade de mão de obra — foco central deste estudo — além do tempo de execução do ciclo estrutural.

Para demonstrar e quantificar essas diferenças na prática, o capítulo três apresenta um estudo de caso com o comparativo entre dois sistemas estruturais tipificados neste capítulo, avaliando como cada sistema pode contribuir para uma construção mais eficiente.

3. ESTUDO DE CASO

Este capítulo apresenta o estudo de caso que fundamenta as análises desta monografia, construído a partir de projetos estruturais fornecidos por um consultor especializado em sistemas de laje plana protendida. Com base nesses projetos, foram utilizados dados reais de produção disponibilizados por uma construtora para simular o comportamento executivo e comparar o desempenho dos dois sistemas estruturais estudados. Essa integração entre informações projetuais e dados concretos de obra permitiu desenvolver uma avaliação realista do impacto de cada solução na produtividade e na demanda de mão de obra.

O estudo de caso refere-se a um empreendimento residencial multipavimentos localizado na cidade de São Paulo, selecionado por representar de forma fidedigna as condições atuais do setor, marcado pela escassez de mão de obra especializada e pela crescente necessidade de otimização dos processos construtivos. A escolha deste empreendimento possibilitou analisar, de forma prática e contextualizada, como diferentes soluções estruturais influenciam o andamento da obra e o consumo de recursos.

A pesquisa teve como base um conjunto abrangente de informações fornecidas pela construtora, incluindo cronogramas físicos, registros de produtividade, quantitativos de materiais, diários de obra e relatórios internos. Esses dados permitiram estabelecer parâmetros objetivos para as comparações entre a estrutura reticulada convencional em concreto armado e a laje plana protendida, especialmente no que se refere aos tempos de execução, à complexidade dos serviços e ao volume de mão de obra empregado.

Além da análise documental, o autor realizou visitas técnicas aos canteiros e conduziu entrevistas com engenheiros, mestres e demais profissionais envolvidos na obra. Essa aproximação direta ao ambiente de produção possibilitou compreender desafios práticos, observar etapas executivas e captar percepções que complementam e enriquecem a análise numérica apresentada nos capítulos seguintes.

Um elemento central para o desenvolvimento deste estudo foi a colaboração do consultor especializado, cuja experiência contribuiu para a interpretação dos projetos, avaliação das soluções adotadas e validação das hipóteses relacionadas ao comportamento e à produtividade dos sistemas estruturais. Sua participação permitiu aprofundar a compreensão das diferenças entre as alternativas analisadas, especialmente no que diz respeito ao potencial de racionalização construtiva proporcionado pela laje plana protendida.

Assim, este capítulo estabelece a base contextual e metodológica necessária para as análises comparativas apresentadas posteriormente, garantindo que as conclusões do trabalho

estejam sustentadas por dados reais, observações de campo e contribuições técnicas especializadas.

O estudo foi estruturado a partir de dois projetos originalmente concebidos em sistema reticulado de concreto armado. Com apoio de projetista especializado, foram desenvolvidas soluções correspondentes em laje plana protendida, mantendo-se as premissas geométricas e arquitetônicas, a fim de garantir comparabilidade técnica.

A partir desses projetos, foram extraídos os quantitativos de fôrma, concreto e armadura. Posteriormente, esses quantitativos foram cruzados com indicadores médios de produtividade (RUP), obtidos em duas obras executadas pela empresa Rocontec.

A comparação foi realizada aplicando-se as mesmas produtividades aos diferentes quantitativos estruturais, permitindo estimar a demanda total de mão de obra em cada sistema.

3.1 COLETA DE DADOS

Essa etapa tem o objetivo de obter informações detalhadas e reais sobre a aplicação dos dois sistemas de laje (plana protendida e reticulada de concreto armado) diretamente de canteiros de obras e de profissionais da área como engenheiros projetistas, além de entender a produtividade e a eficiência de cada sistema a partir dos dados em questão.

Para isso, foram realizadas algumas atividades, como:

- I. Realizar visitas a obras residenciais de médio e alto padrão em São Paulo para coletar dados diretos sobre a execução das lajes.
- II. Conduzir entrevistas com engenheiros e profissionais que gerenciam obras com ambos os sistemas de laje, buscando opiniões sobre produtividade, eficiência e desafios específicos.
- III. Coletar informações técnicas e dados sobre produtividade com o engenheiro Marco Aurélio Cavalheiro, projetista com mais de 25 anos de experiência, incluindo suas observações sobre a influência de um projeto bem elaborado na otimização de mão de obra.

A coleta de dados foi estruturada a partir de documentos técnicos e informações de campo, reunindo projetos estruturais fornecidos pelo consultor especializado, bem como registros reais de produção disponibilizados pela construtora. Esses dados foram organizados,

categorizados e tratados de modo a permitir a comparação consistente entre os sistemas estruturais estudados, servindo de base para as análises apresentadas nos capítulos subsequentes.

3.2 APRESENTAÇÃO DOS DADOS COLETADOS

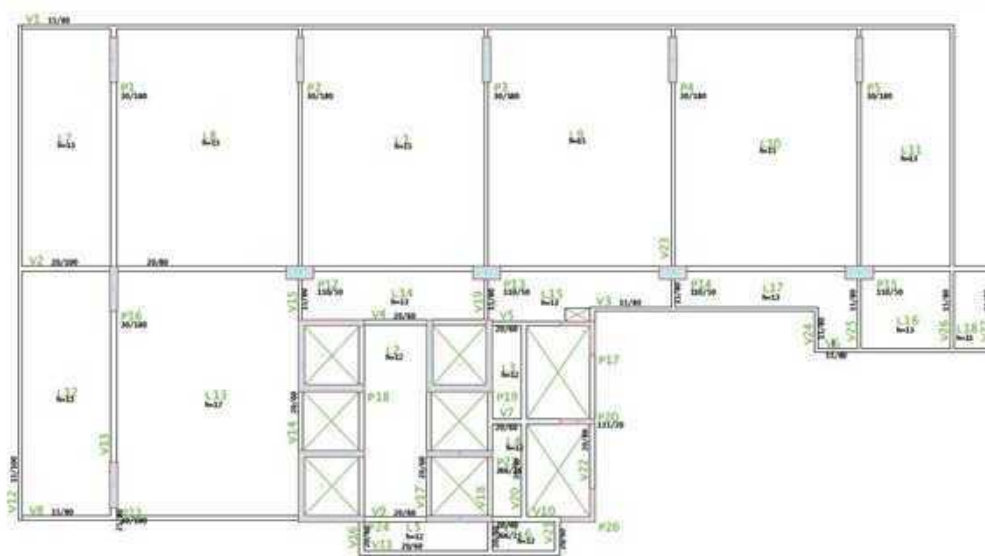
Para dar sequência no estudo de caso, foram selecionadas duas plantas que compõem projetos com usos diferentes, definidas a partir de análises de fontes técnicas e materiais consultados pelo autor. Assim, os projetos em questão, foram reanalisados sob duas concepções estruturais diferentes: uma solução em estrutura reticulada de concreto armado e outra em laje plana protendida.

3.2.1 Caso 1:

Esse primeiro caso de estudo, é uma viabilidade de uma construção inicialmente projetada em uma estrutura reticulada de concreto armado. Edifício com 20 pavimentos, 602,06 m² em cada, totalizando uma área de 12.041,20 m².

A figura 04, apresenta a planta inicialmente desenvolvida.

Figura 04: Forma em Estrutura Reticulada

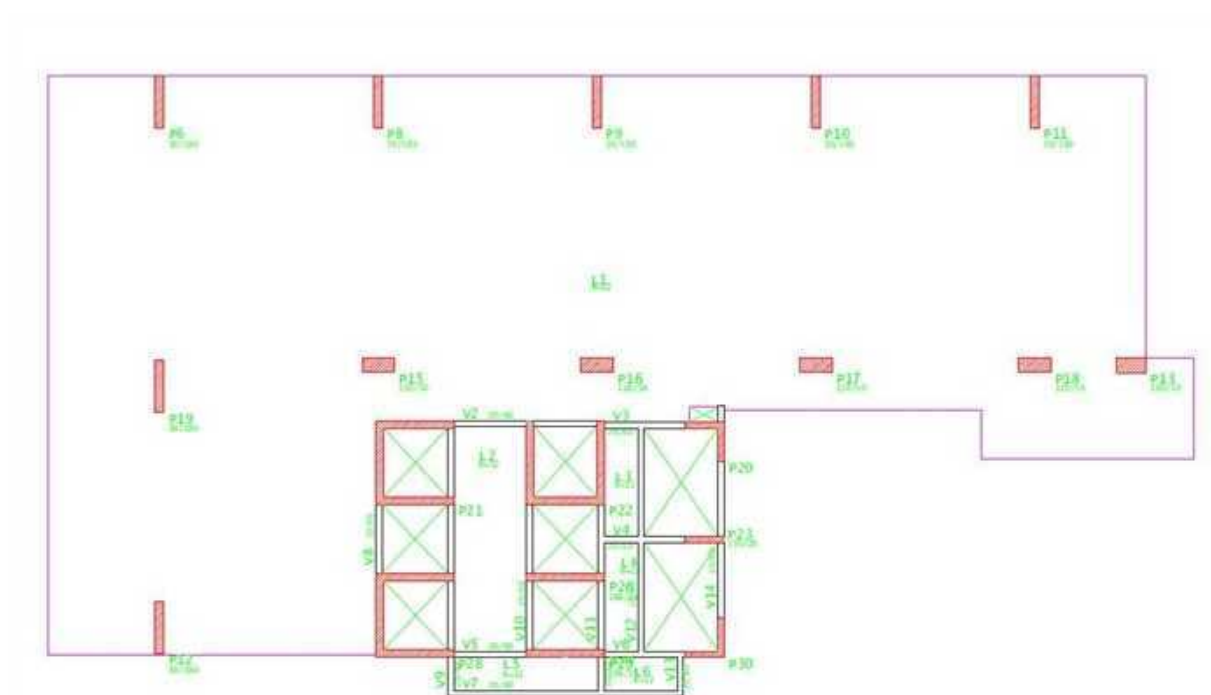


Fonte: Centro de Consultoria em Protensão

Algumas características do projeto acima, são: Lajes maciças com $h=15\text{cm}$, apoiadas em vigas de 20×80 . Vão máximo de $8,40\text{m}$.

Para dar sequência no estudo do caso 1, a planta acima foi ajustada e dimensionada para uma estrutura de laje plana protendida, com as seguintes características: Laje lisa maciça com $h=22\text{cm}$ e vão máximo de $8,40\text{m}$.

Figura 05: Forma em Laje Plana Protendida



Fonte: Centro de Consultoria em Protensão

A alteração do projeto inicial para uma forma dimensionada em um sistema construtivo diferente, resultou em uma série de alterações de quantitativos e materiais conforme tabela 01.

Tabela 01: Estudo de Viabilidade de Alteração do Projeto de Forma

CASO 1: ESTUDO DE VIABILIDADE DE ALTERAÇÃO DO PROJETO DE FORMA				Estrutura Reticulada de Concreto Armado		Estrutura Plana Protendida	
Item	Unidade	Material / Mão de Obra	Preço Unitário	Quantidade	Valor Total	Quantidade	Valor Total
Forma	m ²	Material	R\$ 95,00	25768,17	R\$ 2.447.976,15	21553,75	R\$ 2.047.606,25
Concreto	m ³	Material + Mão de Obra	R\$ 900,00	3130,71	R\$ 2.817.639,00	3383,58	R\$ 3.045.222,00
Aço CA50	Kg	Material	R\$ 10,50	366774,95	R\$ 3.851.136,98	195067,44	R\$ 2.048.208,12
Aço CP190 RB EP	Kg	Material + Mão de Obra	R\$ 23,00	0,00	R\$ 0,00	46117,80	R\$ 1.060.709,40
-R\$915.006,36 Estimativa de economia de 10,04%				Total	R\$ 9.116.752,13	Total	R\$ 8.201.745,77
				Valor por m ³	R\$ 2.912,04	Valor por m ³	R\$ 2.423,98
				Valor por m ²	R\$ 353,80	Valor por m ²	R\$ 380,53
				Total por pavimento	R\$ 455.837,61	Total por pavimento	R\$ 410.087,29

Fonte: Dados obtidos do Centro de Consultoria em Protensão

A tabela 01, relaciona nas quatro primeiras colunas os materiais englobados no sistema, bem como seu custo unitário de produção. A partir desses dados, foram realizados os comparativos financeiros. Nota-se uma grande diferença em alguns itens, isso se deve às diferenças de quantitativos (m² de forma, m³ de concreto e kg de aço) que são resultados da alteração do sistema construtivo devido as características de cada um.

Com base nisso, obtém os seguintes indicadores de custo:

Tabela 02: Comparativo Caso 1

RESUMO DE CUSTOS		
Forma	-R\$ 400.369,90	-16,36%
Concreto	R\$ 227.583,00	8,08%
Aço CA50	-R\$ 1.802.928,86	-46,82%
Aço CP190 RB EP	R\$ 1.060.709,40	100%
Total	-R\$ 915.006,36	-10,04%
Valor por m ³	-R\$ 488,06	-16,76%
Valor por m ²	R\$ 26,73	7,55%
Total por pavimento	-R\$ 45.750,32	-10,04%

Fonte: Acervo do autor, 2025.

Interpretando a tabela dos indicadores, estimam-se percentuais de redução e aumento dos materiais resultando num percentual final de aproximadamente 10,04% de economia de custos na troca do sistema estrutural do caso 1, se o projeto for executado em uma estrutura plana protendida.

3.2.2 Caso 2:

Para uma maior amostragem e coerência nos números resultantes do caso 1, esse estudo de caso contempla a mesma comparação apresentada acima, porém em um projeto que apresenta características diferentes.

Inicialmente projetado para ser executado como uma estrutura reticulada de concreto armado, a forma da estrutura em questão segue na figura 06, com as seguintes características: Laje maciça de 16cm, vigas 19x65cm e 19x80cm. Vãos médios de 7 metros.

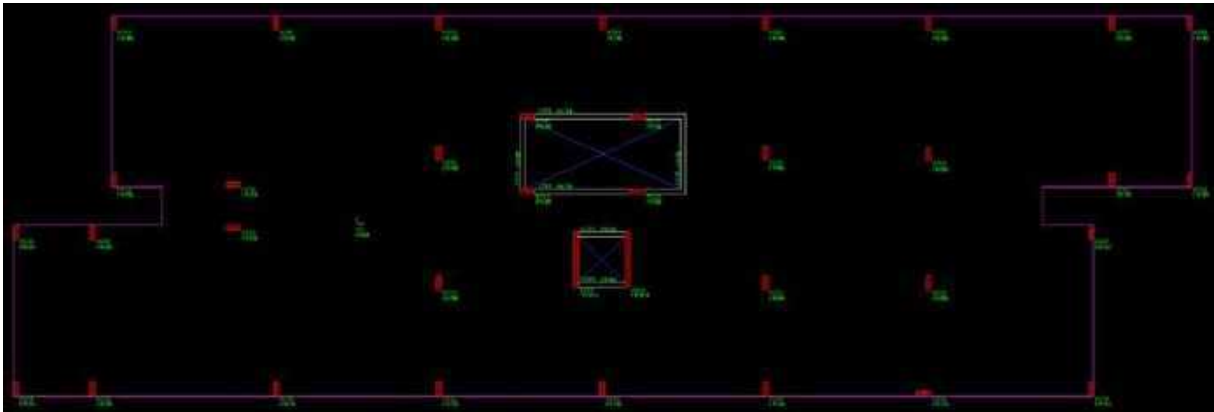
Figura 06: Forma em Estrutura Reticulada de Concreto Armado



Fonte: Apresentação OPTIMA; ABP (2024)

O estudo seguiu sendo conduzido da mesma forma, realizando a alteração do projeto estrutural para uma laje plana protendida, com características de lajes maciças com $h = 19\text{cm}$ e vãos médios de 7 metros.

Figura 07: Forma em Laje Plana Protendida



Fonte: Apresentação OPTIMA; ABP (2024)

Essa alteração resultou em um novo comparativo das quantidades e custos resultantes da alteração do sistema estrutural. Esse comparativo de viabilidade está demonstrado na Tabela 03.

Tabela 03: Estudo de Viabilidade de Alteração do Projeto de Forma

CASO 2: ESTUDO DE VIABILIDADE DE ALTERAÇÃO DO PROJETO DE FORMA				Estrutura Reticulada de Concreto Armado		Estrutura Plana Protendida	
Item	Unidade	Material / Mão de Obra	Preço Unitário	Quantidade	Valor Total	Quantidade	Valor Total
Forma	m²	Material	R\$ 95,00	894,00	R\$ 84.930,00	617,00	R\$ 58.615,00
Concreto	m³	Material + Mão de Obra	R\$ 900,00	122,00	R\$ 109.800,00	115,00	R\$ 103.500,00
Aço CA50	Kg	Material	R\$ 10,50	13420,00	R\$ 140.910,00	4600,00	R\$ 48.300,00
Aço CP190 RB EP	Kg	Material + Mão de Obra	R\$ 23,00	0,00	R\$ 0,00	1922,00	R\$ 44.206,00
-R\$81.019,00 Estimativa de economia de 24,14%				Total	R\$ 335.640,00	Total	R\$ 254.621,00
				Valor por m³	R\$ 2.751,15	Valor por m³	R\$ 2.214,10
				Valor por m²	R\$ 375,44	Valor por m²	R\$ 412,68
				Total por pavimento	R\$ 16.782,00	Total por pavimento	R\$ 12.731,05

Fonte: Dados obtidos da apresentação OPTIMA; ABP (ano 2024), adaptada pelo autor

Na tabela 03, comparou-se novamente os custos de produção com base nos preços unitários de cada material e serviço englobados no sistema. Novos indicadores foram gerados com base na planilha.

Tabela 04: Comparativo Caso 2

RESUMO DE CUSTOS		
Forma	-R\$ 26.315,00	-30,98%
Concreto	-R\$ 6.300,00	-5,74%
Aço CA50	-R\$ 92.610,00	-65,72%
Aço CP190 RB EP	R\$ 44.206,00	100%
Total	-R\$ 81.019,00	-24,14%
Valor por m ³	-R\$ 537,05	-19,52%
Valor por m ²	R\$ 37,24	9,92%
Total por pavimento	-R\$ 4.050,95	-24,14%

Fonte: acervo do autor (2025)

Na tabela 4, estima-se novamente os percentuais de redução e aumento dos materiais resultando num percentual final de aproximadamente 24,14% de economia de custos com a troca do sistema estrutural do caso 2. Encontrou-se reduções significativas na metragem de forma, podendo interpretar que na visão estrutural, o custo de executar esse projeto com lajes planas protendidas é mais vantajosa do que ser executado na sua versão em laje reticulada de concreto armado.

3.3 COMPARATIVO DOS MATERIAIS DOS CASOS 01 E 02

Analisando os estudos de viabilidade feitos com base nas composições orçamentárias dos sistemas estruturais citados, conforme demonstrado nas tabelas acima, podemos notar uma significativa mudança em quantidades de materiais, alguns apresentando vantagens e outros desvantagens quando comparados o sistema reticulado com o de lajes planas protendidas.

Para definir os percentuais de diferença, sendo vantagem ou desvantagem, demonstra-se abaixo os comparativos de quantidade item a item dos materiais da composição orçamentária.

Em primeiro caso, temos a forma trabalhada (fôrma utilizada para execução dos moldes das lajes, vigas e pilares).

No caso 1, temos uma área de forma inicial de 25.768,17m² e posteriormente passou a ter uma área de 21.553,7m², vide Tabela 05. Essa redução de 4.214,47m² representa 16,36% com base no projeto inicial.

Tabela 05: Comparativo de Forma (Quantidades)

COMPARATIVO FORMA (m ²)				
	Quantidade Sistema Reticulado	Quantidade Sistema Plano Protendido	Diferença	
Caso 1	25768,17	21553,75	4214,42	16,36%
Caso 2	894,00	617,00	277,00	30,98%

Fonte: acervo do autor (2025)

No caso 2, saímos em projeto de uma metragem de 894m² para 617m². Uma redução de 277m², o que representa 30,98% com relação ao projeto inicial.

Olhando para o segundo material das tabelas 1 e 3, o concreto apresenta um aumento no caso 1, de 8,08% e uma redução no caso 2 de 5,74%, conforme Tabela 06.

Tabela 06: Comparativo de Concreto (Volume)

COMPARATIVO CONCRETO (m ³)				
	Quantidade Sistema Reticulado	Quantidade Sistema Plano Protendido	Diferença	
Caso 1	3130,71	3383,58	-252,87	-8,08%
Caso 2	122,00	115,00	7,00	5,74%

Fonte: acervo do autor (2025)

Por último, pela análise do 3º material das tabelas 1 e 3, temos o aço. O aço CA50 está presente nos dois sistemas construtivos, porém o CP190 aparece apenas na planta que foi projetada em lajes planas protendidas.

No caso 1, o peso do aço representou uma redução de 34,24%. Já no caso 2, essa redução foi mais significativa, sendo 51,40% do peso do material. A tabela 07 apresenta o respectivo comparativo.

Tabela 07: Comparativo de Aço (Kg)

COMPARATIVO AÇO (kg)					
		Quantidade Sistema Reticulado	Quantidade Sistema Plano Protendido	Diferença	
CASO 1	CA50	366774,95	195067,44	171707,51	46,82%
CASO 1	CP190	0,00	46117,80	-46117,80	100,00%
	TOTAL	366774,95	241185,24	125589,71	34,24%
CASO 2	CA50	13420,00	4600,00	8820,00	65,72%
CASO 2	CP190	0,00	1922,00	-1922,00	100,00%
	TOTAL	13420,00	6522,00	6898,00	51,40%

Fonte: acervo do autor (2025)

Por consequência das análises de cada material acima, podemos abstrair por método de médias simples, o percentual geral, seja de redução ou de acréscimo de cada material considerando os dois comparativos. Com isso, chegou-se nos seguintes resultados com base nas tabelas acima:

Tabela 05: $(16,36\% + 30,98\%) / 2 =$ Redução de 23,67% do material de forma.

Tabela 06: $(-8,08 + 5,74\%) / 2 =$ Acréscimo de 1,17% de concreto.

Tabela 07: $(34,24\% + 51,40\%) / 2 =$ Redução de 42,82% de aço.

Esses números, apresentados nos três comparativos anteriores, compõem a etapa final deste estudo de caso, correspondente à análise da produtividade em cada projeto e, consequentemente, à avaliação do potencial de redução de mão de obra com base nos indicadores levantados. Para essa análise, foram considerados dois *cases* da empresa Rocontec, nos quais foram identificados e registrados dados característicos relacionados ao emprego de mão de obra durante a execução do empreendimento.

3.4 NÚMEROS DE MÃO DE OBRA

Dando continuidade no estudo de caso, conforme mencionado anteriormente, foi realizado a pesquisa de campo em duas obras da empresa Rocontec, com intuito de entender a produtividade das equipes de campo para execução de uma laje do empreendimento. Conforme

demonstra a Tabela 08, as obras analisadas foram a Pedroso de Moraes e empreendimento Kalunga. A primeira obra em questão, encontrava-se na fase de conclusão da estrutura no momento da coleta dos dados, o que permite considerar que os valores obtidos refletem com precisão o desempenho observado ao longo de todo o processo construtivo. Pode-se afirmar que os números apresentados são fiéis à execução de todo o empreendimento. A segunda obra estudada, encontrava-se na fase de acabamentos no período deste estudo de caso e as informações extraídas são números também exatos da execução da estrutura.

Tabela 08: Levantamento Dados de Produção por Pavimento Tipo

Comparativo Mão de Obra		OBRAS ESTUDADAS	
Item	Unidades	Pedroso de Moraes	Kalunga
Área de Forma	m ²	1173,42	1410,00
Sistema Estrutural	-	Reticulada	Reticulada
Volume de Concreto	m ³	120,00	123,00
Taxa de Armação	kg/m ³	90,40	111,00
Carpinteiros	und	8	12
Armadores	und	6	6
Ajudantes/Pedreiros	und	2	3
Encarregados	und	2	2

Fonte: acervo do autor (2025)

Os itens relacionados acima, contém números coletados com base na execução de um ciclo de laje de cada empreendimento. Conforme a Tabela 08, considerou-se metragens de forma, volume de concreto e taxa de armação como dados de materiais. Para o quantitativo de mão de obra, considerou-se os agentes presentes na execução da estrutura: Carpinteiros, armadores, ajudantes/pedreiros e encarregados.

3.4.1 Indicadores de produção das obras estudadas

Para analisarmos os números de produção, iremos calcular para cada obra a quantidade de efetivo das funções vitais para a execução da laje: Carpinteiros e armadores. Baseado nisso, esse cálculo nos trará indicadores de quantidade de carpinteiros por metro quadrado de forma e, também, quantidade de armadores por kg de aço.

3.4.1.1 Obra Kalunga

De início, o cálculo para o peso total de armação na laje foi realizado utilizando a taxa de armação.

$$111 \text{ kg} ______ 1 \text{ m}^3$$

$$X \text{ kg} ______ 123 \text{ m}^3$$

$$\rightarrow 13.653 \text{ kg/laje}$$

Para o cálculo o indicador de produtividade dos armadores, utilizamos o peso/laje encontrado acima e relacionamos com a quantidade de armadores utilizados em um ciclo de laje na obra.

$$6 \text{ armadores} ______ 13.653 \text{ kg}$$

$$1 \text{ armador} ______ 2.275,5 \text{ kg}$$

$$\rightarrow 2.275,5 \text{ kg/armador}$$

Para última análise dessa obra, realizamos o mesmo para a produtividade dos carpinteiros, porém agora relacionamos o número de carpinteiros utilizados no para cada pavimento com a área de forma total da laje.

$$12 \text{ carpinteiros} ______ 1.410 \text{ m}^2 \text{ de forma trabalhada}$$

$$1 \text{ carpinteiro} ______ 117,5 \text{ m}^2 \text{ de forma trabalhada}$$

$$\rightarrow 117,5 \text{ m}^2/\text{carpinteiro}$$

O mesmo processo foi realizado para segunda obra, Pedroso de Moraes, no caso a seguir.

3.4.1.2 Obra Pedroso de Moraes

$$\text{Peso da laje: } 90,4 \text{ kg} ______ 1 \text{ m}^3$$

$$X \text{ kg} ______ 120 \text{ m}^3$$

$$\rightarrow 10.848,0 \text{ kg/laje}$$

Mão de obra de armação: 6 armadores _____ 10.848,0 kg

1 armador _____ 1808,0 kg

→ **1.808,0 kg/armador**

Mão de obra de carpintaria: 8 carpinteiros _____ 1173,42 m² de forma trabalhada

1 carpinteiro _____ 146,67 m² de forma trabalhada

→ **146,67 m²/carpinteiro**

Após análises obtidas nas duas obras, podemos concluir que as lajes reticuladas nessas amostras de obras da empresa em questão estão, aproximadamente, com uma média de:

Equipe de armação: **2.041,75 kg/armador**

Equipe de carpintaria: **132,08 m²/carpinteiro**

As informações resultantes desses cálculos nos ajudarão a completar o estudo final da produtividade em lajes planas protendidas em comparação às reticuladas. O intuito da comparação, que conforme já citado é buscar uma redução potencial da mão de obra, tem como consideração o cronograma de execução sistema de laje plana protendida igual ao da laje reticulada em concreto armado.

3.4.2 Cronograma de execução

Com base nas obras visitadas da construtora Rocontec, todas executam uma laje em estrutura reticulada de concreto armado dentro de um ciclo de 5 dias para execução de uma laje tipo. Analisando os serviços, obtemos o seguinte cronograma de execução:

Tabela 09: Cronograma Execução Laje Reticulada de Concreto Armado

Estrutura Reticulada de Concreto Armado	Ciclo Estrutura - Ciclo 5 dias		
	Atividade 1	Atividade 2	Atividade 3
Dia 1 Manhã:	Gastalho	Grade de Pilar	Armação pilares
Dia 1 Tarde:	Fechamento do ultimo painel pilar	Início Barroteamento	
Dia 2 Manhã:	Lançamento de fundo de viga	Cimbramento	
Dia 2 Tarde:	Travamento painel lateral viga	Assoalho Finalizado	
Dia 3 Manhã:	Concretagem dos pilares		
Dia 3 Tarde:	Concretagem dos pilares	Subida de Armação para lançamento no	
Dia 4 Manhã:	Lançamento da armação das vigas		
Dia 4 Tarde:	Amarração das vigas e travamento dos pilares	Armação de positivo	Armação negativa
Dia 5 Manhã:	Concretagem da Laje	Transferência dos eixos (laje do ciclo posterior)	

Fonte: acervo do autor (2025)

Para questões de equalização no momento da comparação, é preciso considerar ciclos iguais de estrutura para sistemas diferentes. É demonstrado na Tabela 10, que a troca do sistema reticulado para a laje plana protendida não sofreria grandes alterações de cronograma e sendo assim, mantém-se o ciclo de 5 dias para execução de uma laje tipo.

Tabela 10: Cronograma Execução Laje Plana Protendida

Laje Plana Protendida	Ciclo Estrutura - Ciclo 5 dias		
	Atividade 1	Atividade 2	Atividade 3
Dia 1 Manhã:	Gastalho	Grade de Pilar	Armação pilares
Dia 1 Tarde:	Fechamento do ultimo painel pilar	Início Barroteamento	
Dia 2 Manhã:	Início Assoalho	Cimbramento	
Dia 2 Tarde:	Assoalho Finalizado		
Dia 3 Manhã:	Concretagem dos pilares		
Dia 3 Tarde:	Concretagem dos pilares	Posicionamento da Armadura Positiva	
Dia 4 Manhã:	Posicionamento da Armadura Positiva	Posicionamento das Cordoalhas	Posicionamento das Fretagens
Dia 4 Tarde:	Posicionamento da Armadura Negativa		
Dia 5 Manhã:	Concretagem da Laje	Transferência dos eixos (laje do ciclo posterior)	

Fonte: acervo do autor (2025)

O ciclo de execução da laje protendida pode ser otimizado devido ao tensionamento posterior, permitindo um cronograma mais curto em muitos casos. Contudo, o sucesso de cada sistema está diretamente relacionado à complexidade do projeto, à expertise das equipes e à escala da obra. Iremos analisar um pouco mais a frente as questões de materiais x cronograma x mão de obra.

Para fins de estimativa da demanda de mão de obra, não foi realizada modelagem específica da taxa de reutilização de fôrmas ao longo dos pavimentos. A análise considerou os quantitativos totais de área de fôrma extraídos dos projetos estruturais, aplicando-se diretamente os indicadores médios de produtividade obtidos nas obras analisadas. Tal simplificação foi adotada com o objetivo de manter a coerência comparativa entre os sistemas estruturais.

3.5 CRUZAMENTO DE DADOS

Para essa etapa, utilizaremos os dados resultantes dos quantitativos dos materiais dos casos 1 e 2, onde demonstramos projetos com dois sistemas estruturais. Cruzaremos esses dados com os indicadores de produção resultantes das duas obras analisadas da construtora Rocontec.

Com isso, analisaremos agora a quantidade de carpinteiros e armadores necessários para executar cada projeto apresentado no subcapítulo 3.2.

Iniciando comparando os projetos das lajes reticuladas de concreto armado.

3.5.1 Caso 1: Estruturas reticuladas em concreto armado

Para o primeiro cálculo, utilizamos a armação total da laje de 1 pavimento (vide Tabela 01). A tabela apresenta um número total para 20 pavimentos, com isso, dividimos esse valor e encontramos o peso de um pavimento, chegando no valor de armação de 18.338,75 kg. Utilizou-se também o valor da forma trabalhada por pavimento, realizando a mesma lógica da armação e chegou ao valor de 1.288m²/pavimento.

Para cálculo da mão de obra, relacionamos o peso de projeto do caso 1 com o índice de produtividade de um armador com base na Rocontec, e obtivemos os seguintes valores.

Mão de obra de armação: 2.041,75 kg _____ 1 armador

18.338,75 kg _____ X armadores

$$X = 8,98 = 9 \text{ armadores}$$

Para a carpintaria, utilizou-se o mesmo conceito da armação, porém substituindo os dados para a área de forma do caso 1 e índice de carpinteiros da Rocontec.

Mão de obra de carpintaria: 132,08 m² _____ 1 carpinteiro

1.288 m² _____ X carpinteiros

$$X = 9,75 = 10 \text{ carpinteiros}$$

3.5.2 Caso 2: Estruturas reticuladas de concreto armado

Abaixo os cálculos do projeto em estrutura reticulada de concreto armado do caso 2, apenas substituindo seus dados (vide Tabela 03).

Mão de obra de armação: 2.041,75 kg _____ 1 armador

13.420,0 kg _____ X armadores

$$X = 6,57 = 7 \text{ armadores}$$

Mão de obra de carpintaria: 132,08 m² _____ 1 carpinteiro

894,0 m² _____ X carpinteiros

$$X = 6,75 = 7 \text{ carpinteiros}$$

Realizando agora as análises de cálculo com as duas lajes planas protendidas.

3.5.3 Caso 1: Lajes planas protendidas

Para o primeiro cálculo, também utilizamos a armação total da laje de 1 pavimento (vide Tabela 01). A tabela apresenta um número total para 20 pavimentos, com isso, dividimos esse valor e encontramos o peso de um pavimento. Obtivemos o valor de 12.059,26 kg/laje e um valor de 1.077,69 m²/laje de forma. Segue o cálculo abaixo.

Mão de obra de armação: 2.041,75 kg _____ 1 armador

12.059,26 kg _____ X armadores

$$X = 5,90 = 6 \text{ armadores}$$

Mão de obra de carpintaria: 132,08 m² _____ 1 carpinteiro

1.077,69 m² _____ X carpinteiros

$$X = 8,15 = 9 \text{ carpinteiros}$$

3.5.4 Caso 2: Lajes planas protendidas

Isso é feito para o caso 2, cruzando os dados de projeto (vide Tabela 03) com os índices de produtividade da Rocontec.

Mão de obra de armação: 2.041,75 kg _____ 1 armador

6.522,0 kg _____ X armadores

X = 3,19 = 4 armadores

Mão de obra de carpintaria: 132,08 m² _____ 1 carpinteiro

617,0 m² _____ X carpinteiros

X = 4,67 = 5 carpinteiros

3.6 ANÁLISE CRÍTICA DOS RESULTADOS

Os resultados evidenciam que os ganhos efetivos de produtividade estão associados, de maneira predominante, à simplificação operacional proporcionada pelas lajes planas protendidas. Esse sistema reduz o número de etapas construtivas, minimiza interferências entre equipes, diminui retrabalhos e exige menor coordenação simultânea de frentes de serviço, fatores diretamente relacionados ao desempenho global do ciclo produtivo. Além disso, a menor dependência de mão de obra especializada e a redução da complexidade executiva contribuem para maior previsibilidade das atividades e mitigam riscos de atraso decorrentes da escassez de profissionais qualificados.

Interpretando os resultados temos as seguintes observações:

Case 1:

Redução de 33% da mão de obra de armação.

Redução de 10% da mão de obra de carpintaria.

Case 2:

Redução de 42,85% da mão de obra de armação.

Redução de 28,57% da mão de obra de carpintaria.

Analisando os números acima, podemos afirmar que por consequência desse estudo de caso, que a mudança do sistema construtivo dos projetos, inicialmente em lajes reticuladas de concreto armado para posteriormente serem executados em lajes planas protendidas, geram um potencial redução no número de colaboradores necessários para execução de um ciclo de laje baseado na produção real de uma construtora que atua no segmento predial residencial na cidade de São Paulo.

Os resultados indicam um potencial de redução de aproximadamente 29% na demanda estimada de mão de obra por ciclo de laje, considerando as premissas e simplificações adotadas no estudo.

3.7 LIMITAÇÕES DO ESTUDO

O presente estudo apresenta limitações metodológicas que devem ser consideradas na interpretação dos resultados. A análise restringiu-se à superestrutura, não contemplando impactos em fundações, vedações ou demais subsistemas do edifício.

As produtividades unitárias utilizadas foram obtidas a partir de duas obras específicas da empresa Rocontec, podendo não representar a totalidade do mercado.

Foi assumida equivalência entre a produtividade de armação convencional e de protensão, considerando ambas em kg por armador.

Não foi considerada modelagem detalhada da taxa de reutilização de fôrmas por pavimento, sendo adotados os quantitativos globais extraídos dos projetos estruturais.

As RUP foram consideradas constantes entre os sistemas estruturais, com o objetivo de isolar o impacto das diferenças de quantitativos na estimativa de demanda de mão de obra.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo buscou comparar a demanda de mão de obra e a produtividade entre os sistemas construtivos de estruturas reticuladas em concreto armado e de lajes planas protendidas, com base em análises realizadas em obras de edifícios multipavimentos residenciais na cidade de São Paulo. A partir de dados coletados in loco, entrevistas com profissionais especializados e da avaliação de cronogramas reais, foi possível quantificar as diferenças práticas entre os dois sistemas, demonstradas por meio do estudo de caso apresentado.

Os resultados obtidos indicam que a adoção do sistema protendido, em cenários similares ao analisado, pode representar alternativa eficaz para mitigar os impactos decorrentes da escassez de mão de obra no setor. A atividade de execução da estrutura, além de compor o caminho crítico das obras, é uma das que mais sofrem com o envelhecimento da força de trabalho e com a carência de profissionais qualificados, fatores que reforçam a relevância da discussão proposta neste trabalho.

Os resultados apresentados no Capítulo 3 demonstram que a substituição de lajes reticuladas por lajes planas protendidas pode reduzir significativamente a demanda estimada de mão de obra por ciclo de laje, contribuindo para um processo construtivo mais racional e menos vulnerável às oscilações do mercado de trabalho. Observou-se que os ganhos estão fortemente associados à simplificação operacional, à redução de interferências entre equipes e à diminuição do número de etapas executivas necessárias.

A análise realizada permitiu atender ao objetivo principal desta pesquisa, que consistiu na comparação entre os dois sistemas estruturais sob a perspectiva da produtividade da mão de obra na superestrutura. Ressalta-se que os resultados apresentados estão condicionados às premissas metodológicas adotadas, especialmente à consideração de produtividades unitárias constantes entre os sistemas analisados, conforme discutido no capítulo de limitações. Ainda assim, os dados obtidos indicam que decisões estruturais tomadas na fase de projeto possuem impacto direto sobre a organização do processo produtivo e sobre a demanda global de recursos humanos.

Apesar das vantagens evidenciadas, a implementação de lajes planas protendidas ainda enfrenta barreiras significativas no setor da construção civil. A substituição do sistema estrutural exige compatibilização com os demais subsistemas construtivos — como vedações, instalações e esquadrias — além de exigir capacitação técnica adequada das equipes envolvidas. Nesse contexto, a escolha do sistema estrutural deve ser tratada como decisão estratégica,

considerando não apenas custos diretos, mas também aspectos relacionados à produtividade, disponibilidade de mão de obra e previsibilidade de execução.

Por fim, este trabalho reforça a importância de considerar, desde a fase de concepção do projeto estrutural, estratégias voltadas à otimização do uso da mão de obra. Embora as conclusões apresentadas sejam relevantes para o contexto estudado, os resultados não esgotam as possibilidades de investigação, abrindo espaço para pesquisas futuras que aprofundem a análise em diferentes tipologias de edifícios, escalas de produção e cenários regionais.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, A. T.; PINHEIRO, L. M. Fundamentos do concreto e seu projeto estrutural. São Paulo: [editora], 2002

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118: Projeto de Estruturas de Concreto — Procedimento. Rio de Janeiro, 2023.

AUTODOC. Falta de mão de obra na construção civil: como superar esse desafio? Disponível em: <https://autodoc.com.br/conteudos/falta-de-mao-de-obra-na-construcao-civil-como-superar-esse-desafio/>. Acesso em: 4 jul. 2024.

BARROS, Mércia M.S.B. (2013). Tecnologias construtivas para produção de edifícios no Brasil: perspectivas e desafios. Apostila do curso TG-101 – MBA-USP/TGP. Escola Politécnica da USP, São Paulo, abril 2013. 40 p.

BATLOUNI NETO, J. Projeto de estruturas de concreto armado: diretrizes para otimização do desempenho e do custo do edifício. Dissertação de mestrado. IPT. São Paulo, 2003. 171p.

CARDOSO, F. F. *Estratégias empresariais e novas formas de racionalização da produção na construção de edifícios no Brasil e na França*. São Paulo, 1996. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

CBIC – Câmara Brasileira da Indústria da Construção. Sondagem da Construção Civil, 2023.

CENTRO DE CONSULTORIA EM PROTENSÃO. Forma em estrutura reticulada, 2018.

CENTRO DE CONSULTORIA EM PROTENSÃO. Forma em laje plana protendida, 2018.

CONSTRUINDO CASAS. Conteúdo disponível no portal Construindo Casas. Disponível em: <<https://construindocasas.com.br>>. Acesso em: 8 fev. 2025.

EDITIFIQUE. Estrutura de Concreto Armado. Disponível em: <<https://editifique.arq.br>>. Acesso em: 8 fev. 2025. Publicado em: 1999.

FREIRE, T.M. Produção de estruturas de concreto armado, moldadas in loco, para edificações: caracterização das principais tecnologias e formas de gestão adotadas em São Paulo. Dissertação (Mestrado). EPUSP, 325p. São Paulo, 2001.

FURTADO, Renata. Análise comparativa do custo da mão-de-obra direta na construção civil. 2000. Trabalho de Conclusão de Curso (Departamento de Ciências Contábeis) Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2000.

FUSCO, P. B. Estruturas de Concreto Protendido. São Paulo: McGraw-Hill, 1981

HAUAGGE, L. S. Um estudo sobre a escassez de mão-de-obra qualificada na construção civil. 2010. Monografia (Curso de Pós-Graduação em Construção de Obras Públicas) Universidade Federal do Paraná, Guarapuava, 2010.

HIPPERT, M. A. R.; COUTINHO, M. A. Inovações tecnológicas em canteiros de obras na região de Juiz de Fora. In: VIII CONGRESSO NACIONAL DE EXCELÊNCIA DE GESTÃO. Juiz de Fora, Minas Gerais, 2012.

LAUX, A. Capacitação na construção civil: desafios e novos formatos. Disponível em: <https://cte.com.br/blog/unictc/capacitacao-construcao-civil/>. Acesso em: 20 dez. 2024.

MARAVIESKI, E.L.; REIS, D.R. Avaliação de resistência à mudança em processos de inovação: a construção de um instrumento de pesquisa. In: XXVIII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. Rio de Janeiro, 2008.

MÜLLER, E. Lajes planas de concreto armado: concepção estrutural e detalhamento. São Paulo: Editora Pini, 2011.

MUTTI, C. N. Treinamento de mão de obra na construção civil: Um estudo de caso. Florianópolis, 1995. 132f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina.

NEVES, S. A. A qualificação da mão de obra para o aumento da produtividade em obras de construção civil: responsabilidades compartilhadas. Curitiba, Paraná, 2014, 124 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

POZZOBON, C. E.; HEINECK, L. F. M; FREITAS, M. C. D. Atualizando o levantamento de inovações tecnológicas simples em obras. In: X ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO. São Paulo, 2004.

REZENDE, I.S.; ARAUJO, R.M. Inovação na Construção Civil: Um Estudo Descritivo. Cadernos da Escola de Negócios, Curitiba, 11: 1-18 vol. 1, 2013.

RELATÓRIO TÉCNICO. Estudo de Tendências Tecnológicas na Indústria de Construção Civil no Segmento de Edificações – FIRJAN – Rio de Janeiro, RJ. 2013.

SALLES, H. P. Gestão da produção na construção civil. São Paulo: ABC, 2004.

SCHNEIDER, H. Manual de construção em concreto armado. Porto Alegre: Bookman, 2008.

SOUZA, A. L. R. Projeto e execução de lajes racionalizadas de concreto armado. 1ª edição. São Paulo: O Nome da Rosa, 2002. 116p. (Coleção primeiros passos da qualidade no canteiro de obras).

SOUZA, U. E. L. Produtividade da mão de obra na construção civil. São Paulo: EPUSP, 1996.

VIEIRA, B. A.; NOGUEIRA, L. 2018, Construção civil: crescimento versus custos de produção civil, Sistemas & Gestão, Vol. 13, No. 3, pp. 366-377, disponível em: <http://www.revistasg.uff.br/index.php/sg/article/view/1419>. Acesso em 24 fev. 2019.

ZORZI, A. C. Sistemas de Fôrmas para Edifícios – Recomendações para a melhoria da qualidade e da produtividade com redução de custos. 2ª Edição. São Paulo, IBRACON, 2015. 193p.