



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA  
CAMPUS VIII - ARARUNA  
CENTRO DE CIÊNCIAS, TECNOLOGIA E SAÚDE  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**ROBERIO HERMANO COELHO ALENCAR**

**COMPARATIVO ENTRE ESTRUTURAS DE CONCRETO PROTENDIDO E  
CONCRETO ARMADO: ANÁLISE DE VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA**

ARARUNA-PB  
2018

**ROBÉRIO HERMANO COELHO ALENCAR**

**COMPARATIVO ENTRE ESTRUTURAS DE CONCRETO PROTENDIDO E  
CONCRETO ARMADO: ANÁLISE DE VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentada  
ao curso de Engenharia Civil da Universidade  
Estadual da Paraíba, como requisito parcial à  
obtenção do título de Bacharel em Engenharia  
Civil.

Área de concentração: Estruturas.

Orientador: Prof. Marinaldo dos Santos Júnior.

ARARUNA-PB  
2018

É expressamente proibido a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano do trabalho.

A368c Alencar, Roberio Hermano Coelho.

Comparativo entre estruturas de concreto protendido e concreto armado [manuscrito] : Análise de viabilidade técnica e econômica / Roberio Hermano Coelho Alencar. - 2018.

35 p. : il. colorido.

Digitado.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências, Tecnologia e Saúde, 2018.

"Orientação : Prof. Esp. Marinaldo dos Santos Júnior, Coordenação do Curso de Engenharia Civil - CCTS."

1. Sistema Construtivo. 2. Concreto Armado. 3. Economia.

21. ed. CDD 624.183 4

**ROBÉRIO HERMANO COELHO ALENCAR**

**COMPARATIVO ENTRE ESTRUTURAS DE CONCRETO PROTENDIDO E  
CONCRETO ARMADO: ANÁLISE DE VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentada  
ao curso de Engenharia Civil da Universidade  
Estadual da Paraíba, como requisito parcial à  
obtenção do título de Bacharel em Engenharia  
Civil.

Área de concentração: Estruturas.

Aprovada em: 23/05/2018.

**BANCA EXAMINADORA**

Marinaldo dos Santos Júnior  
Prof. Marinaldo dos Santos Júnior (Orientador)  
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

Eduardo Morais de Medeiros  
Prof. Me. Eduardo Morais de Medeiros  
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

Leonardo Medeiros da Costa  
Prof. Me. Leonardo Medeiros da Costa  
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

À minha família, em especial a minha mãe Maria Aparecida, por todos os sacrifícios em apoio aos meus estudos e pela compreensão de sempre, e meus irmãos Ricardo e Ruthênio, além de todos os amigos que estiveram próximos durante todo esse tempo, DEDICO.

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus por tudo que sou, tenho, posso e que realizo.

À minha família, em especial à minha mãe Maria Aparecida e, meus irmãos, Ricardo e Ruthênio, pelo amor, carinho, incentivo e auxílio durante todos os momentos da minha vida.

À minha vó, grande mulher, batalhadora. Que sempre foi dona dos mimos e dos sorrisos que sempre recebi enquanto estive em casa durante esse tempo. Um espelho para mim por toda minha vida. Ao meu avô Djalma (*in memoriam*). Sempre lembrarei do homem forte e lutador e da sua afetividade.

À minha tia, primos e primas pelo incentivo e carinho.

Ao mais que um professor, o amigo Marinaldo, pela disponibilidade de orientação e a confiança depositado em mim durante todo o desenvolvimento do trabalho.

Ao professor Pedro, por todas as conversas e esclarecimentos que contribuíram bastante na elaboração deste trabalho.

Ao Eng.º Henri Netto, por todo o auxílio e confiança, e principalmente por contribuir de forma intrínseca na obtenção de dados, tornando possível esta pesquisa. Obrigado por ser responsável pela minha grande admiração profissional.

Aos amigos da graduação, em especial aos que tenho carinho de irmão, Ramon e Maick, no qual tive a honra de compartilhar o mesmo apartamento durante boa parte da graduação, além dos que também considero parte de minha família, Vynycius, João Carlos, Alex, Robertinho, Felipe, Sebastião.

À Jessica Queiroz, por estar comigo e fazer os meus dias melhores nesses últimos meses de graduação e os bons momentos que vivemos durante o período de estágio.

E aos demais que não foram citados, mas que também contribuíram para o sucesso dessa jornada, muito obrigado à todos.

“O progresso é impossível sem mudança.  
Aqueles que não conseguem mudar as suas  
mentes não conseguem mudar nada.”

Bernard Shaw

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	7
<b>2 OBJETIVOS</b> .....	9
<b>2.1 Objetivo Geral</b> .....	9
<b>2.2 Objetivos Específicos</b> .....	9
<b>2.3 Limitações da pesquisa</b> .....	9
<b>3 METODOLOGIA</b> .....	9
<b>3.1 Projeto arquitetônico da edificação</b> .....	10
<b>3.2 Sequência do Projeto na Solução em Concreto Armado e Concreto Protendido</b> ..	11
3.2.1 Procedimento de análise no Sistema com Concreto Armado .....	12
3.2.2 Procedimento de análise no Sistema com Concreto Protendido .....	12
<b>3.3 Solução em Concreto Armado</b> .....	12
3.2.1 Concreto Armado .....	12
3.2.2 Aço para armadura passiva .....	13
3.2.3 Lajes Nervuradas com Treliças Pré-moldadas .....	13
3.2.4 Vigas .....	14
<b>3.3 Solução em Concreto Protendido</b> .....	14
3.3.1 Concreto Protendido com Pós-tração .....	14
3.3.2 Aço para armadura Ativa e Passiva .....	15
3.3.3 Nível de Protensão .....	15
3.3.4 Perdas de Protensão .....	17
3.3.5 Lajes Planas Lisas .....	17
3.3.6 Vigas de Contorno .....	17
<b>3.4 Pilares</b> .....	17
<b>3.5 Formas e Cimbramento</b> .....	18
<b>4 RESULTADOS</b> .....	19
<b>5 CONCLUSÃO</b> .....	29
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	31
<b>ANEXO A – RESUMO DE AÇO NO SISTEMA COM CONCRETO ARMADO</b> .....	33
<b>ANEXO B – RESUMO DE AÇO NO SISTEMA COM CONCRETO PROTENDIDO</b> ..	34
<b>ANEXO C – CABOS DA PROTENSÃO</b> .....	35



## COMPARATIVO ENTRE ESTRUTURAS DE CONCRETO PROTENDIDO E CONCRETO ARMADO: ANÁLISE DE VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA

Robério Hermano Coelho Alencar\*

### RESUMO

Atualmente a sociedade se depara com novas exigências e com uma competitividade maior no meio da construção civil. Dessa forma, premente a necessidade de incrementar as pesquisas que têm por escopo buscar sistemas construtivos alternativos eficientes. Dentro desse contexto, um sistema construtivo baseado no conceito de protensão de peças de concreto armado, vem adentrando o mercado brasileiro com significativa relevância nas últimas décadas. Entretanto, questiona-se se as estruturas de concreto protendido apresentam melhor viabilidade (técnica e econômica) em relação às estruturas convencionais de concreto armado. Sendo assim, o presente trabalho visa realizar um comparativo entre os sistemas construtivos de concreto armado e protendido, respondendo o reflexo no custo total da obra, utilizando-se de uma estrutura real, dimensionada para ambos os sistemas construtivos, avaliando o consumo de materiais no quesito estrutural, de acordo com a disposição técnica para os sistemas. A metodologia adotada consistiu na extração de dados de consumo de materiais, são eles: aço, concreto, forma, EPS (Poliestireno Expansível) e vigota treliçada, aplicando as devidas considerações técnicas de execução e quantificando os custos totais do empreendimento. Na execução do primeiro pavimento tipo, o sistema com Concreto Protendido já se mostrou favorável, com um custo de R\$218,52/m<sup>2</sup>, sendo que o sistema com Concreto Armado obteve um custo de R\$231,45/m<sup>2</sup>, que resulta numa economia de 5,6%. Considerando um sistema de montagem e execução de formas que se faz necessário a permanência da mesma no pavimento inferior ao subsequente em execução, observou-se que o custo total dos materiais na execução dos 9 pavimentos tipo teve uma economia de 12,77%, o equivalente a R\$158.315,97, totalizando um custo de R\$187,19/m<sup>2</sup> e R\$214,59/m<sup>2</sup> nos sistemas de Concreto Protendido e Concreto Armado, respectivamente. Com isso, o estudo comparativo mostrou que o sistema com concreto protendido é mais viável economicamente desde a execução do primeiro pavimento tipo, intensificando conforme ocorre a amortização de custo das formas.

**Palavras-Chave:** Sistema Construtivo. Concreto Armado. Concreto Protendido. Viabilidade. Economia.

### 1 INTRODUÇÃO

O concreto é o principal componente utilizado para as construções, sendo um elemento heterogêneo composto basicamente de cimento, água e agregados. Quando utilizado como material estrutural recebe a denominação de concreto estrutural, podendo ser de três tipos diferentes: concreto simples, concreto armado e concreto protendido (COUTO, CARMINATTI, et al, 2013). Segundo Emerick (2005) e Carvalho (2012), o concreto

---

\* Aluno de Graduação em Engenharia Civil na Universidade Estadual da Paraíba – Campus VIII.  
E-mail: roberio.ec@gmail.com

protendido surgiu da necessidade de suprir algumas limitações do concreto armado. Suas primeiras aplicações datam do início do século XX, sendo consagrada a partir de 1928 após ensaios feitos por Eugene Freyssinet. A primeira obra a utilizar dessa técnica no Brasil foi a ponte Galeão no Rio de Janeiro, em 1949, sob supervisão do próprio Freyssinet.

O conceito moderno de Arquitetura vem exigindo soluções estruturais inovadoras, buscando sempre atender os limites máximos de resistência das peças e um melhor aproveitamento de espaços. Esse conceito aliado a uma necessidade de otimização de materiais e redução de custos para atender um mercado cada vez mais exigente, limita a atuação do concreto armado e exige novas técnicas para suprir tais necessidades.

O sistema de protensão é responsável por reduzir ao máximo as áreas de tração do concreto, através da inserção de um estado prévio de tensões na estrutura, onde pelo menos parte da armadura já trabalha antes mesmo da retirada do escoramento (armadura ativa). No concreto armado, todo o sistema de armaduras só será solicitado após haver deformação da estrutura que a envolve (armadura passiva).

O concreto protendido vem sendo bastante utilizado como solução estrutural: a possibilidade de vencer vãos maiores, com elementos estruturais de altura reduzida, otimizando o uso de vigas, um sistema executivo mais racional e de execução simplificada, mostram a liberdade e os novos patamares que esta técnica construtiva permite.

Ainda há um descrédito por parte de alguns construtores, pela necessidade de mão-de-obra especializada na execução e elaboração de projetos com protensão, e até então optam pelos conceitos convencionais de estruturas, não acompanhando a evolução dos métodos e modelos construtivos da engenharia estrutural e os benefícios que podem ser obtidos. Questiona-se se as estruturas de concreto protendido apresentam melhor viabilidade (técnica e econômica) em relação as estruturas convencionais de concreto armado.

Dessa forma, este trabalho visa realizar um estudo comparativo de uma estrutura de 9 pavimentos tipo, dimensionada de modo a utilizar somente concreto armado, com a mesma estrutura dimensionada de modo a utilizar-se da técnica da protensão, levando em consideração as mesmas condições de projeto, calculando e comparando o consumo de concreto, aço, fôrmas e EPS (Poliestireno Expansível), assim como avaliar as limitações e avanços técnicos para ambos sistemas construtivos.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

Avaliar a viabilidade técnica e econômica de uma edificação em concreto armado, analisando os consumos de materiais intrínsecos à estrutura, para ambos os sistemas construtivos de concreto armado e protendido, e abordando aspectos de serviços que refletem no custo total da obra.

### **2.2 Objetivos Específicos**

- Avaliar o consumo de concreto, aço, formas e EPS no pavimento tipo da estrutura em estudo, para ambos os sistemas construtivos, assim como observar os ganhos econômicos obtidos em cada sistema.
- Abordar as limitações e os avanços técnicos nos sistemas de concreto armado e protendido, e o reflexo na viabilidade técnica e econômica da estrutura.

### **2.3 Limitações da pesquisa**

O estudo foi realizado tomando como base a análise econômica somente do quesito estrutural nos sistemas construtivos, avaliando quantitativamente o consumo de materiais para execução e qualitativamente no que se refere ao reflexo na viabilidade técnica do sistema com protensão, com os ganhos econômicos referente aos serviços, como, por exemplo, a redução da mão-de-obra e do tempo de execução que este sistema proporciona. Ou seja, será avaliado o custo dos sistemas referente apenas aos materiais, discutindo a influência dos custos de serviços com os fatores favoráveis ou não em cada sistema.

A protensão utilizada na estrutura se restringe apenas às lajes, sendo avaliado a redução de materiais pelo comparativo entre lajes de ambos os sistemas. Analisando o efeito “direto” causado pela protensão, que reflete na redução de materiais, principalmente do aço, entre as lajes e, também, o efeito “indireto” da protensão, devido à redução no consumo de materiais causado em vigas e pilares, pela diminuição de cargas solicitadas pelas lajes protendidas.

## **3 METODOLOGIA**

O estudo tomou como base uma estrutura real, cuja execução encontra-se em andamento até a data de publicação desse trabalho. Partindo do projeto arquitetônico da edificação, dois estudos em paralelo foram realizados. O dimensionamento da estrutura utilizou-se da ferramenta computacional o software TQS versão Plena, e foi realizado usando a mesma

locação de pilares para ambos sistemas construtivos, diferindo somente na presença de vigas entre as lajes no sistema construtivo com concreto armado, com lajes do tipo nervuradas com treliças pré-moldadas, enquanto que no sistema construtivo com concreto protendido são necessárias somente as vigas de contorno e as lajes são do tipo planas lisas e possuem alturas reduzidas. Posteriormente, faz-se a discussão dos resultados, com as devidas inferências inerentes ao estudo e apresenta-se as considerações finais do trabalho, analisando a composição de material e a disposição técnica necessária em cada sistema.

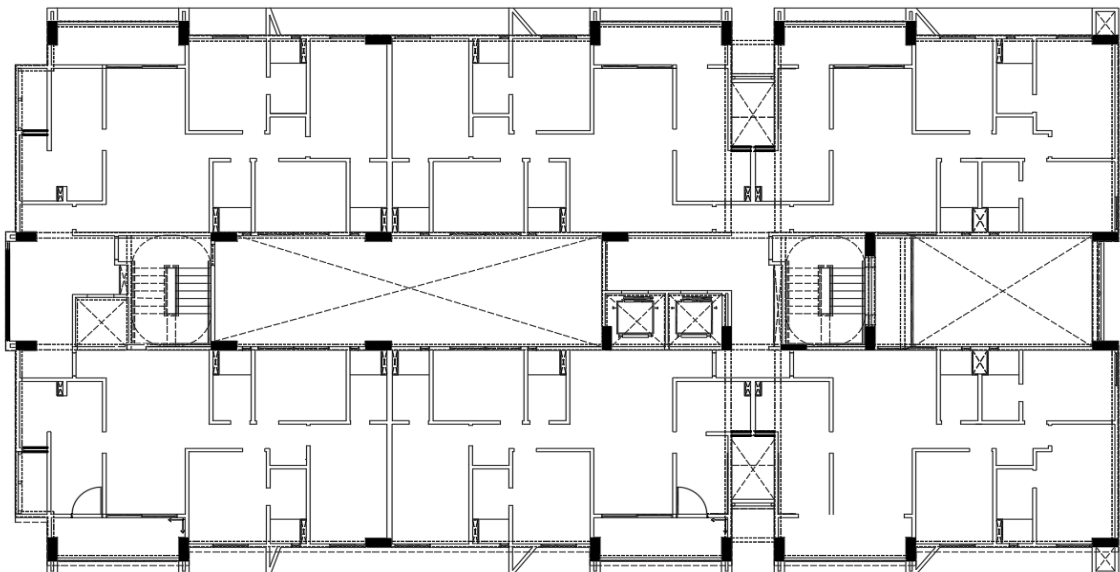
Os passos do dimensionamento descritos a seguir seguem as recomendações da norma NBR 6118 (ABNT, 2014), além de se basear em procedimentos de cálculo para o projeto de estruturas de concreto protendido abordados por Emerick (2005) e Carvalho (2012).

### 3.1 Projeto arquitetônico da edificação

A estrutura escolhida para o estudo de caso trata-se de um empreendimento residencial de alto padrão, localizado na Avenida Mar de Behring, bairro de Intermares, no município de Cabedelo. O edifício contém 9 pavimentos tipo, está localizado em ambiente com grande risco de deterioração, possui classe de agressividade ambiental do tipo III, de agressividade forte, cujo cobrimento nominal é de 3,5 cm para lajes e 4,0 cm para vigas e pilares de concreto armado e 4,0 cm de cobrimento para lajes de concreto protendido, segundo as especificações da NBR 6118 (ABNT, 2014).

Na Figura 1 é apresentada a planta baixa do pavimento tipo, tomada como base na modelagem nos sistemas construtivos em estudo.

Figura 1: Planta baixa do pavimento tipo

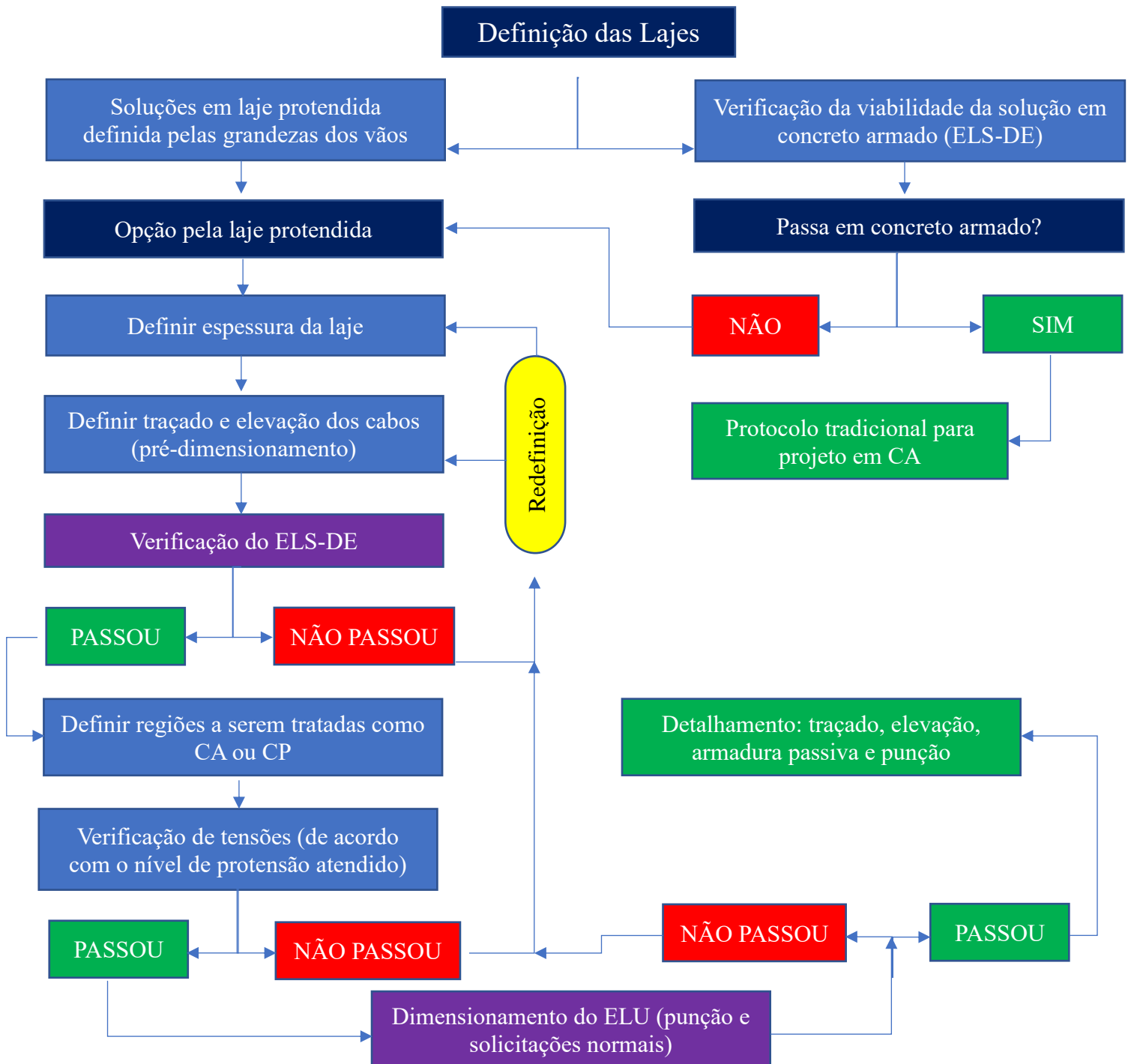


Fonte: Próprio autor.

### 3.2 Sequência do Projeto na Solução em Concreto Armado e Concreto Protendido

O desenvolvimento do projeto deste trabalho tem como base o fluxograma a seguir, nele contém o passo-a-passo com todas as etapas de projeto seguido pelo projetista, desde a concepção estrutural até o detalhamento dos desenhos finais para a obra.

Figura 2: Soluções para ambos os sistemas construtivos



Fonte: Próprio autor.

### 3.2.1 Procedimento de análise no Sistema com Concreto Armado

Em estruturas de Concreto Armado, em praticamente todos os projetos atualmente efetua-se a análise do pavimento discretizando seus elementos (vigas e lajes) e obtendo a resposta para a estrutura através da compatibilidade de todos os deslocamentos nos nós (método dos deslocamentos). As vigas e as lajes são modeladas com elementos de barra com analogia de grelha.

Resumidamente, a estrutura deverá apresentar conformidade em relação a todos os estados limites de norma e seguir eventuais premissas consideradas fundamentais pelo meio técnico. A definição e validação das formas do projeto, representativas do sistema estrutural adotado, ocorre pelo atendimento aos Estados Limites de Serviço de Deformação Excessiva (ELS-DE). Após interações na busca da solução mais otimizada, atinge-se uma condição ideal, e, a partir daí outros estados limites de serviço também são verificados.

### 3.2.2 Procedimento de análise no Sistema com Concreto Protendido

Na solução em Concreto Protendido a primeira etapa consiste em garantir o atendimento ao Estado Limite de Serviço de Descompressão (ELS-D) para a combinação quase permanente. Entretanto, a NBR 6118 (ABNT, 2014) permite o não-atendimento à esta verificação para o nível de protensão 2 (protensão limitada), adotado para a estrutura em estudo conforme descrito mais adiante. Sendo satisfatório somente o atendimento o Estado Limite de Serviço de Formação de Fissura (ELS-F) na combinação frequente para lajes protendidas, tornando-se uma condição essencial para a viabilidade de muitas estruturas em lajes protendidas, alinhando-se com a prática internacional já consagrada.

Nas lajes protendidas tem-se duas verificações principais no Estado Limite Último (ELU) para dimensionamento e detalhamento:

- Solicitações Normais-Dimensionamento da Armadura Passiva de flexão;
- Solicitações Tangenciais-Dimensionamento à Punção (Cisalhamento).

## 3.3 Solução em Concreto Armado

### 3.2.1 Concreto Armado

No dimensionamento da estrutura com concreto armado foi utilizado o concreto com  $f_{ck}$  de 35 MPa, respeitando o limite da NBR 6118 (ABNT, 2014) com o valor mínimo em 20 MPa, cujo concreto apresenta apenas amaduras passivas.

### 3.2.2 Aço para armadura passiva

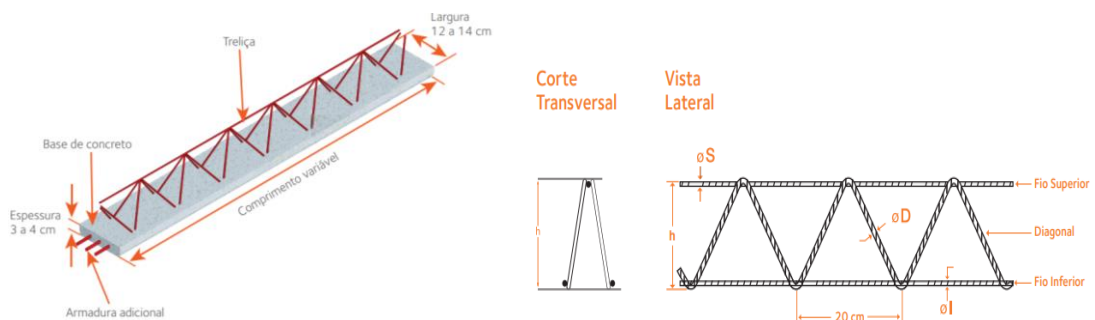
O aço utilizado na estrutura de concreto armado foi o CA-50 e CA-60, classificado pela NBR 7480 (ABNT, 2007), sendo a nomenclatura do aço iniciada com a sigla correspondente ao concreto armado (CA). Como menciona Araújo (2014), em virtude da baixa resistência à tração do concreto, as barras de aço no concreto armado cumprem a função de absorver estas tensões, como também, aumentar a capacidade de carga das peças comprimidas. Para isso, foram utilizadas bitolas com os diâmetros entre 4,2mm e 25,0mm, para as armaduras transversais e de flexão, dependendo das tensões a serem absorvidas.

### 3.2.3 Lajes Nervuradas com Treliças Pré-moldadas

As lajes da solução em Concreto Armado são do tipo nervuradas, com espessura de 24cm, sendo apenas 8cm de capa de concreto, com vigotas pré-moldadas do tipo TR20745 e EPS Bidimensional do tipo H16/40/49 como elementos de enchimento, com dimensões de 40x49cm e 16cm de espessura. Segundo Rudloff (2009), são o tipo de laje comum do sistema de concreto armado, também chamadas de lajes planas, normalmente conhecidas como “flat slab” (do inglês).

Conforme cita Cunha (2012), as vigotas são formadas por base de concreto e armação treliçada. Neste trabalho, quando necessário, ainda há a adição de uma armação adicional referente ao dimensionamento da laje. A Figura 3 mostra os elementos constituintes da vigota.

Figura 3: Vigota treliçada com armadura adicional



Fonte: Manual de Fabricação das Lajes ARCELORMITTAL, 2010.

A escolha do tipo de laje partiu da necessidade de atender as limitações na altura da estrutura, apresentadas no artigo 17 do Plano Diretor de Desenvolvimento Integrado do Município de Cabedelo-PB, que resultou num pé-esquerdo de 2,86 m para cada um dos 9 pavimentos tipo. Além disso, houve também a necessidade de atender as especificações de

altura mínima de 2,50 m do pé-direito, regulamentado pela norma de desempenho NBR 15575 (ABNT, 2013).

De posse desses valores, tem-se uma altura disponível de 36 cm. Entretanto, é necessária uma distância de 10 cm entre a face inferior da laje e o forro do cômodo, disponível para a passagem de instalações hidrossanitárias, limitando a espessura da laje em 26 cm. Com isso, em termos de otimização estrutural e atendendo as limitações arquitetônicas de locação de vigas, a melhor opção foi utilizar lajes nervuradas com treliças pré-moldadas.

#### 3.2.4 Vigas

As vigas de concreto armado resistem a carregamentos externos primariamente pela mobilização de momentos fletores e forças cortantes. A estrutura compõe de 58 vigas de seções de 15x60cm e 20x60cm, nomeadas de V1 à V58, e os comprimentos chegam a vencer vãos de 13,60 metros.

### 3.3 Solução em Concreto Protendido

#### 3.3.1 Concreto Protendido com Pós-tração

No sistema construtivo com Concreto Protendido, foi utilizado o mesmo  $f_{ck}$  de 35 MPa do sistema com Concreto Armado, atendendo ao limite de resistência do sistema e que, seguindo as especificações de Emerick (2005), o  $f_{ck}$  deve ser consideravelmente elevado para garantir uma boa durabilidade no ponto de vista dos processos de corrosão.

No que se refere a aplicação da protensão, existem dois sistemas que se diferem pelo momento de aplicação da protensão: o sistema com pré-tração, quando há o tensionamento dos cabos antes da concretagem da estrutura, e o sistema com pós-tração, no qual só existe o tensionamento dos cabos após o concreto ter atingido uma resistência mínima especificada em projeto.

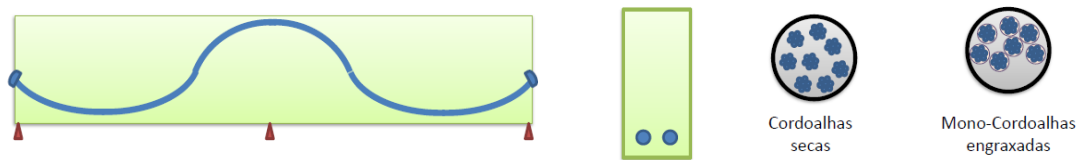
O sistema utilizado neste trabalho foi o com pós-tração, que ainda pode ser classificado quanto a aderência entre os cabos e o concreto em sistemas aderente e não aderente. Entretanto, devido a facilidade de execução e um custo mais baixo, com macacos hidráulicos menores e de fácil manuseio, optou-se pelo sistema não aderente que, como o próprio nome diz, não há aderência entre armadura e concreto, e sua armadura é ligada a estrutura através das ancoragens.

Quanto à posição relativa entre os cabos e a peça de concreto, o sistema utilizou-se de cabos internos à estrutura. Os cabos internos podem apresentar uma trajetória qualquer, sendo geralmente projetados com uma sequência de trechos retilíneos e curvilíneos.



Na Figura 4, tem-se a representação dos cabos conforme a posição relativa nas peças de concreto.

Figura 4: Protensão com cabo interno.



Fonte: Chaves, 2018.

### 3.3.2 Aço para armadura Ativa e Passiva

A cordoalha de aço utilizado no concreto protendido deve satisfazer a condição de manter efetivamente tensões de compressão no concreto, mesmo decorrido um grande período. Para isso, utilizou-se do aço CP190 RB com diâmetro nominal de 12,7mm, no qual, segundo Emerick (2005), é o mais largamente empregado no Brasil. A nomenclatura do aço inicia com a sigla correspondente ao concreto protendido (CP), seguida do valor em kgf/mm<sup>2</sup>, da tensão de ruptura aproximada, e, por fim, da sigla indicando se o aço é de relaxação baixa (RB) ou normal (RN), de acordo com as especificações da NBR 7483 (ABNT, 2008).

Segundo Carvalho (2012), as categorias de aço mais produzidas no Brasil são: CP145RB, CP150RB, CP170RN, CP175RR, CP175RN E CP190RB. Esses aços caracterizam-se por serem mais econômicos, quando comparado a relação entre o custo e o valor da força desenvolvida em cada tipo de aço (comparação entre aços utilizados para CA e CP), devido à sua alta resistência, que pode ser, aproximadamente, três vezes superior aos aços comumente utilizados nas estruturas em CA (CARVALHO, 2012; VERÍSSIMO E CÉSAR JR, 1998).

No sistema construtivo com Concreto Protendido, a estrutura não trabalha somente com a armadura ativa, composta por cordoalhas, seu mecanismo é considerado como parte dos esforços resistentes, compondo o binário com a componente de tração que compõe, juntamente com uma eventual armadura passiva complementar para equilibrar os esforços. A armadura passiva é composta de aço CA-50 e CA-60, de bitolas com diâmetros entre 4,2mm e 25,0mm.

### 3.3.3 Nível de Protensão

Segundo a NBR 6118 (ABNT, 2014), os níveis de protensão estão relacionados com os níveis de intensidade da força de protensão que, por sua vez, são função da proporção de armadura ativa utilizada em relação à passiva e podem ser caracterizados em três níveis diferentes, sendo: parcial (nível 01), limitada (nível 02) e completa (nível 03). Cada nível deve

ser verificado em diferentes condições, relacionando classes de agressividade ambiental com os estados limites de serviço, conforme descrito na Tabela 1 a seguir.

Tabela 1: Níveis de Protensão

Tipo de concreto	Classe de agressividade ambiental (CAA) e tipo de protensão	Exigências relativas à fissuração	Combinação de ações em serviço a utilizar
Concreto simples	CAAI a CAA IV	Não há	-
Concreto armado	CAA I	ELS-W $w_k \leq 0,4\text{mm}$	Combinação frequente
	CAA II e CAA III	ELS-W $w_k \leq 0,3\text{mm}$	
	CAA IV	ELS-W $w_k \leq 0,2\text{mm}$	
Concreto protendido nível 1 (protensão parcial)	Pré-tração com CAA I Ou Pós-tração com CAA I e II	ELS-W $w_k \leq 0,2\text{mm}$	Combinação frequente
Concreto protendido nível 2 (protensão limitada)	Pré-tração com CAA II Ou Pós-tração com CAA III e IV	Verificar as duas condições abaixo	
		ELS-F	Combinação frequente
		ELS-D <sup>a</sup>	Combinação quase permanente
Concreto protendido nível 3 (protensão completa)	Pré-tração com CAA III e IV	Verificar as duas condições abaixo	
		ELS-F	Combinação rara
		ELS-D <sup>a</sup>	Combinação frequente

<sup>a</sup> A critério do projetista, o ELS-D pode ser substituído pelo ELS-DP com  $a_p = 50 \text{ mm}$ .

**NOTAS**

1 As definições de ELS-W, ELS-F e ELS-D encontram-se em 3.2.

2 Para as classes de agressividade ambiental CAA-III e IV, exige-se que as cordoalhas não aderentes tenham proteção especial na região de suas ancoragens.

3 No projeto de lajes lisas e cogumelo protendidas, basta ser atendido o ELS-F para a combinação frequente das ações, em todas as classes de agressividade ambiental.

Fonte: Adaptado da NBR 6118 (ABNT, 2014)

Conforme já descrito no item 3.1 e 3.3, a estrutura possui classe de agressividade ambiental do tipo CAA III e utiliza-se do sistema de pós-tração, ou seja, de acordo com a Tabela 1 acima, a estrutura de concreto protendido atende o nível 02 de protensão limitada. Na protensão limitada, admitem-se tensões de tração, mas sem ultrapassar o estado limite de formação de fissuras (ELS-F), sendo que com combinações quase permanente de ações deve-se respeitar o estado limite de descompressão (ELS-D).

De acordo com a NBR 8681 (ABNT, 2003), os estados limites de uma estrutura marcam os estágios a partir dos quais a estrutura apresenta desempenho inadequado às finalidades da construção. Os Estados Limite de Serviço (ELS) a serem verificados no nível de protensão 02 são:

- Estado Limite de Formação de Fissuras (ELS-F): estado em que se inicia a formação de fissuras, admite-se que o mesmo é atingido quando a tensão de tração máxima na seção transversal for igual a resistência à tração  $f_{ct,f}$ .
- Estado Limite de Descompressão (ELS-D): estado no qual, em um ou mais pontos da seção transversal, a tensão normal é nula, não havendo tração no restante da seção.

#### 3.3.4 Perdas de Protensão

Conforme Sousa e Macedo (2016), na elaboração de um projeto estrutural utilizando estruturas em concreto protendido, sempre devem ser previstas as perdas de protensão. Estas são caracterizadas por uma redução da força de protensão inicialmente aplicada no cabo, devido a algum fator influenciador. Essas perdas podem ocorrer no ato da protensão (perdas imediatas), ou podem se dar ao longo do tempo (perdas progressivas as diferidas). As perdas imediatas podem ocorrer devido ao atrito, por acomodação de ancoragem e, até mesmo, pelo encurtamento elástico do concreto. As perdas progressivas são caracterizadas pelo efeito de fluência e retração do concreto e por relaxação do aço.

#### 3.3.5 Lajes Planas Lisas

As lajes utilizadas no sistema construtivo com protensão são lajes planas lisas de 18cm de espessura, chamadas de “flat plate”, elas são realmente lisas e não se admite capitéis (“column heads”), nem tampouco engrossamentos da laje (“drops at column heads”). Nesse estudo, somente as lajes serão submetidas a protensão no sistema construtivo com Concreto Protendido.

#### 3.3.6 Vigas de Contorno

As vigas que compõe o sistema com protensão são chamadas vigas de contorno, dispostas de modo que atuem no sentido de enrijecer as bordas e evitar grandes deformações. A estrutura compõe de 48 vigas de seções de 15x60cm, 15x64cm e 25x64cm, nomeadas de V1 à V48, e os comprimentos chegam a vencer vãos de até 37,75 metros.

### 3.4 Pilares

A estrutura compõe 31 pilares que possuem alturas que vencem o pé-esquerdo de 2,86 metros, sendo todos eles nascendo na fundação e morrendo no último pavimento. Suas seções variam entre 19x65 cm e 30x85 cm. Esses elementos estruturais são responsáveis por suportar

cargas axiais, centralizadas ou não. O dimensionamento destes elementos parte do princípio de que não possua um comportamento linear, devendo ser analisados pela chamada teoria de 2ª ordem ou também conhecida como verificação dos efeitos de 2ª ordem (ZWIRTES, 2016).

A NBR 6118 (ABNT, 2014) apresenta diferentes métodos para análise destes efeitos, dentre eles tem-se o método de análise da estabilidade global através dos coeficientes  $\gamma_z$  e P-Delta. A versão do software usado nesse trabalho utiliza-se do coeficiente P-Delta como método de análise dos efeitos de segunda ordem.

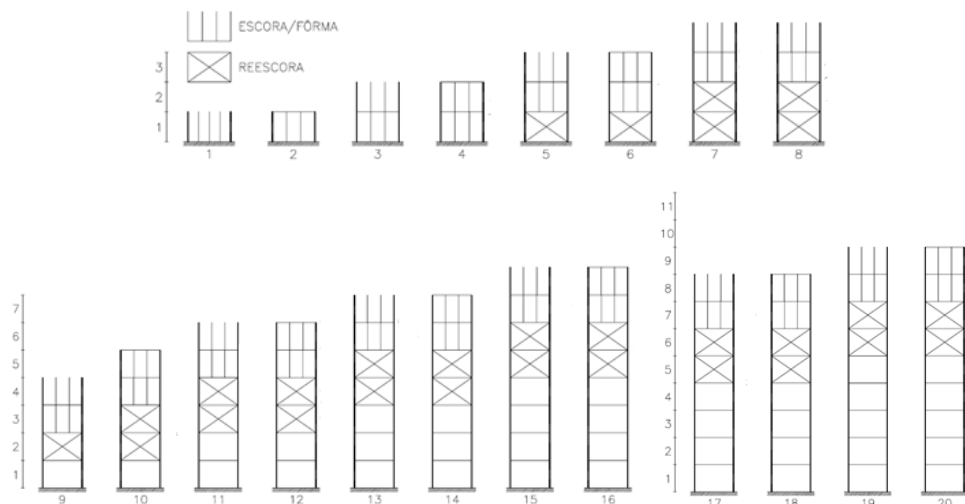
### 3.5 Formas e Cimbramento

Segundo Fajersztajn (1987) as formas devem ter características de resistência para suportar o seu próprio peso, o peso do concreto, o peso do aço e o tráfego de operários e equipamentos, devendo ser previstos em projeto. Para efeito comparativo, as formas utilizadas em ambos sistemas construtivos possuem o mesmo tipo de material, sendo de madeira que podem ser reutilizadas de 10 a 15 vezes.

O projeto executivo dos escoramentos metálicos é elaborado pela empresa locatária dos equipamentos e deve ser elaborado de acordo com as necessidades e particularidades de cada obra. Com isso, não será levado em consideração o quantitativo de cimbramento.

A única consideração tomada referente à execução do projeto, trata-se do sistema de escoramento e reescoramento da estrutura, que será desenvolvida partindo do método de Gundy e Kabaila, para ambos os sistemas. A Figura 5 mostra um processo de execução que se utiliza de dois níveis de escora mais dois níveis de reescora (2+2).

Figura 5: Processo executivo de formas e escoras



Fonte: Maranhão, 2000.

Operações:

- 1- Escoras são instaladas, apoiando-se numa base rígida;
- 2- Primeiro pavimento é concretado, moldando-se nas formas.
- 3- Segundo nível de escoras é instalado sobre o primeiro pavimento;
- 4- Concretagem do segundo pavimento;
- 5- Remoção das formas e escoras do primeiro pavimento e instalação de escoras no terceiro nível e de reescoras no primeiro nível;
- 6- Concretagem do terceiro pavimento;
- 7- Remoção do nível mais baixo de formas e escoras e instalação de escoras no quarto nível e de reescoras no segundo nível.
- 8- Concretagem do quarto pavimento;
- 9- Remoção do nível mais baixo de formas e escoras e instalação de escoras no quinto nível e de reescoras no terceiro nível;
- 10- Concretagem do quinto pavimento.

A partir da operação (10), a operação (11) repete a sequência da operação (9), e assim por diante até a operação (20), referente a concretagem do décimo pavimento.

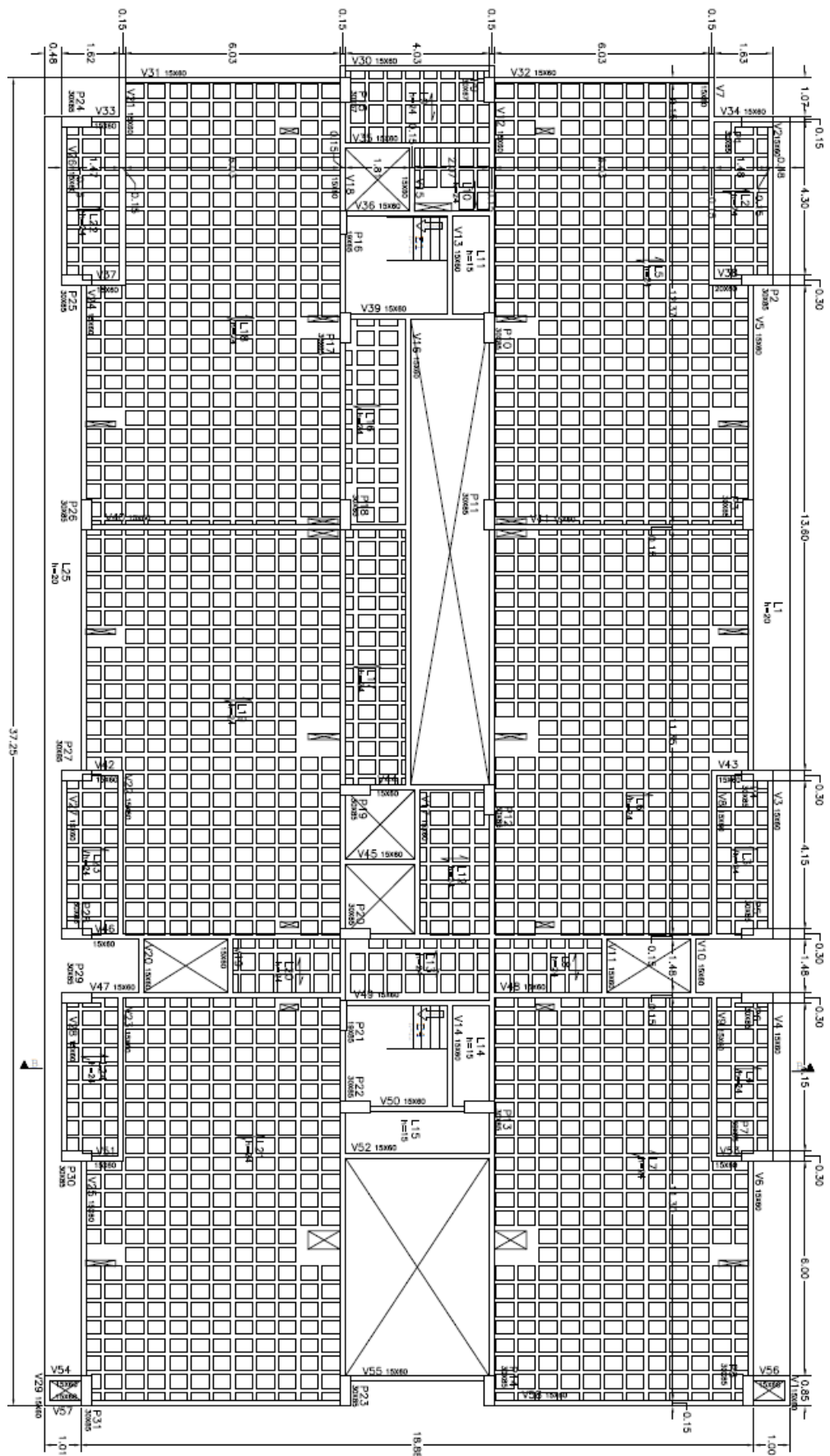
O sistema executivo de formas e escoras é um fator importante a ser levado em consideração na avaliação de custos, sendo determinante na amortização dos custos de formas. Segundo Assahi (2005), esse material pode ser responsável pelo custo de 25% a 40% de uma estrutura de 17 pisos, equivalente a 5% a 8% do custo total.

#### **4 RESULTADOS**

As plantas de forma do pavimento tipo nos sistemas com lajes nervuradas e lajes protendidas, assim como a disposição dos elementos estruturais discretizados estão presentes nas Figuras 6 e 7 a seguir.

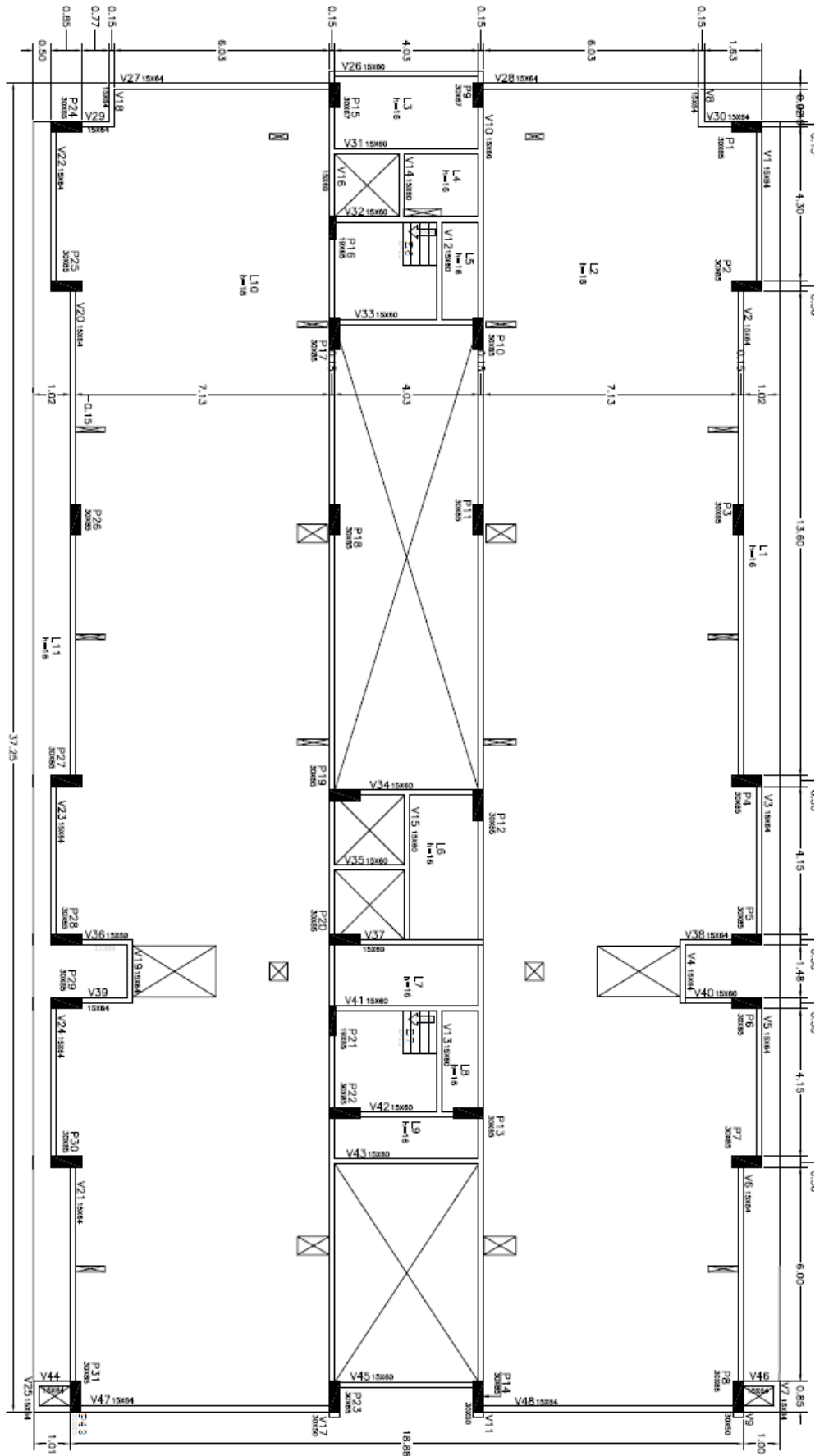
Na Figura 6 é possível observar a distribuição dos EPSs na laje nervurada, assim como a direção de armação das treliças. No sistema construtivo com Concreto Protendido, o pavimento tipo conta com duas lajes protendidas que somam uma área de 516,90m<sup>2</sup>, equivalente à 80,51% da área construída do pavimento, sendo estas substituídas por lajes nervuradas com vigotas treliçadas no sistema com Concreto Armado. A Figura 7 representa a disposição das lajes protendidas no pavimento tipo, a distribuição dos cabos de protensão do sistema com Concreto Protendido estão representados em Anexos C.

Figura 6: Planta de forma do pavimento tipo no sistema com Concreto Armado



Fonte: Próprio autor.

Figura 7: Planta de forma do pavimento tipo no sistema com Concreto Protendido



Fonte: Próprio autor.

Seguindo o dimensionamento da estrutura conforme já descrito nos itens anteriores, foi possível obter o consumo de materiais da superestrutura em estudo. A quantificação econômica tomou posse de valores de custos e de composições da tabela do Sistema Nacional de Pesquisa de Custo e Índice da Construção Civil (SINAPI) no mercado de João Pessoa-PB, na data de emissão em 16 de março de 2018.

Para os materiais que necessitam de atuação prévia de serviços e que não são tabelados pelo SINAPI, como a vigota treliçada e a cordoalha de protensão, os custos foram retirados de fornecedores atuantes no mercado de João Pessoa-PB. Deste modo, os preços dos materiais utilizados apresentam-se nas Tabela 2 e 3.

Tabela 2: Preços de materiais tabelados no SINAPI com encargos sociais desonerados.

Código	Componente	Unid.	Preço(R\$)
00000036	Aço CA-60, 4,2mm, Vergalhão	Kg	4,66
00000039	Aço CA -60, 5,0mm, Vergalhão	Kg	4,66
00000032	Aço CA -50, 6,3mm, Vergalhão	Kg	4,92
00000033	Aço CA -50, 8,0mm, Vergalhão	Kg	5,52
00000034	Aço CA -50, 10,0mm, Vergalhão	Kg	4,70
00000031	Aço CA -50, 12,5mm, Vergalhão	Kg	4,47
00000027	Aço CA -50, 16,0mm, Vergalhão	Kg	4,47
00000029	Aço CA -50, 20,0mm, Vergalhão	Kg	4,18
00000028	Aço CA-25, 25,0mm, Vergalhão	Kg	4,18
00034495	Concreto Usinado, C35	m <sup>3</sup>	291,73
00001346	Chapa de madeira compensada para forma de concreto, de 2,20x1,10m, e=10 mm	m <sup>2</sup>	23,32
00039995	Poliestireno Expandido/EPS, tipo 2F, Bloco	m <sup>3</sup>	347,14

Fonte: SINAPI, 2018.

Tabela 3: Custo de materiais fornecidos por empresas da cidade de João Pessoa-PB

Empresa	Descrição	Unid.	Preço(R\$)
Central Prémoldado	Vigota Treliçada TR20745	M	15,00
Impacto Protensão	Aço para Protensão, CP-190 RB,12.7mm	Kg	6,79

Fonte: Próprio autor

Na Tabela 4, é apresentado o consumo de cada material intrínseco as lajes do pavimento tipo no sistema com Concreto Armado.



Tabela 4: Consumo de materiais na laje de Concreto Armado

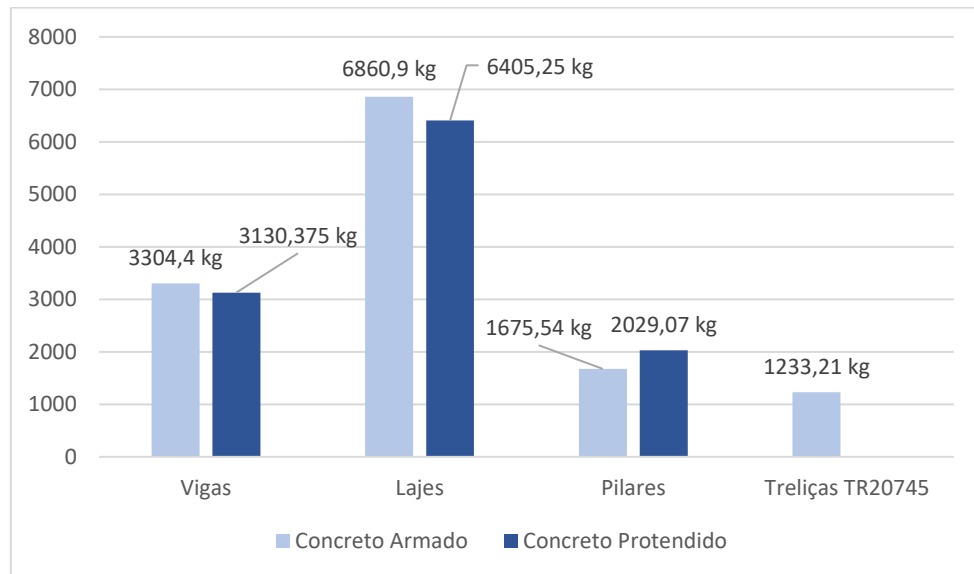
Laje de CA	Concreto (m <sup>3</sup> )	Aço (Kg)		Treliça TR20745	EPS (und)
		Passiva	Reforço de Treliça		
Consumo	93,60	5201,59	2040,00	1111,0m	1929,00

Fonte: Próprio autor

Para uma análise de efeito econômico, o consumo de aço nas lajes de Concreto Armado é resultante da soma da armadura passiva e do reforço de treliça, não considerando o consumo de aço natural das treliças, cujo valor de consumo é agregado ao custo de produção das vigotas treliçadas.

A Figura 8 representa o consumo de aço das armaduras passivas por elemento discretizado, conforme recomenda os critérios de análise no item 3.2.1, no pavimento tipo da estrutura em estudo, como também o consumo de aço natural das treliças TR20745.

Figura 8: Consumo de aço das armaduras passivas por elemento discretizado.



Fonte: Próprio autor

Para efeito comparativo de armaduras, o consumo de aço das lajes de concreto armado deve conter, também, o consumo de aço natural das treliças, somando um total de 8.094,11 kg, considerando que a massa linear de aço nas treliças é de 1,11 kg/m. Com isso, é possível observar a superioridade de armadura passiva das vigas e lajes no sistema construtivo de Concreto Armado em relação às vigas e lajes no sistema construtivo de Concreto Protendido, cerca de 5,56% e 26,36%, respectivamente. Isso ocorre pela maior presença de vigas no sistema

com Concreto Armado e pela ação da armadura ativa no sistema de Concreto Protendido fazendo com que a tensão aplicada reduza as áreas de tração na laje, diminuindo de forma significativa a armadura passiva necessária para combater esses esforços. Entretanto, é notório a diferença de armadura entre os sistemas no que se refere aos pilares, equivalente à 17,42% a mais no sistema com Concreto Protendido, que se justifica pela melhor distribuição de vigas no sistema com Concreto Armado, contribuindo para formar pórticos de contraventamento, resistindo melhor aos esforço do vento e diminuindo a transferência de esforços para os pilares.

No geral, houve uma diferença de 12,66% de armadura passiva entre os sistemas. O efeito da protensão em reduzir os esforços de tração e proporcionar uma menor necessidade de vigas em seu sistema, superou o efeito causado pela melhor distribuição de vigas no sistema com Concreto Armado, necessitando, portanto, de menos armaduras passivas no sistema com protensão. A Tabela 5 apresenta o consumo de material no pavimento tipo em cada sistema.

Tabela 5: Consumo total de aço por bitola em cada pavimento tipo

Componente	Und.	Armado	Protendido
Aço CA-60, 4,2mm, Vergalhão	Kg	1,16	1,13
Aço CA -60, 5,0mm, Vergalhão	Kg	493,59	480,00
Aço CA -50, 6,3mm, Vergalhão	Kg	2138,52	1.452,55
Aço CA -50, 8,0mm, Vergalhão	Kg	1096,62	1.217,65
Aço CA -50, 10,0mm, Vergalhão	Kg	1.849,52	1925,62
Aço CA -50, 12,5mm, Vergalhão	Kg	3.347,54	3180,09
Aço CA -50, 16,0mm, Vergalhão	Kg	692,48	1657,30
Aço CA -50, 20,0mm, Vergalhão	Kg	1.710,8	814,28
Aço CA -50, 25,0mm, Vergalhão	Kg	510,61	876,46
Total	Kg	11.840,84	11.605,08

Fonte: Próprio autor

O consumo de aço da armadura passiva entre os sistemas mostrou-se próximo, sendo maior no sistema com Concreto Armado. Porém, cabe ressaltar que, para efeito de comparativo econômico, não está sendo considerado nessa tabela o consumo de aço natural das vigotas treliçadas.

Na Tabela 6, é apresentado o consumo de material por sistema construtivo. Tomando o consumo de aço em quilograma total. O consumo de materiais das vigotas treliçadas não será

quantificado separadamente, considerando que deve ser levado em consideração o custo na modelagem desse material. O consumo de EPS será convertido de unidades para m<sup>3</sup>, se adequando as unidades de custo da tabela SINAPI.

Tabela 6: Consumo de material por sistema construtivo em cada pavimento tipo

Sistema Construtivo	Concreto (m <sup>3</sup> )	Aço (Kg)		Forma (m <sup>2</sup> )	Treliça TR20745 (m)	EPS (m <sup>3</sup> )
		CA-50/60	CP190			
Concreto Armado	143,15	11.840,84	-	596,84	1.111,00	60,49
Concreto Protendido	142,00	11.605,08	2.737,0	1.109,0	-	-
Diferença (%)	1,52	-0,7	-	-46,18	-	-

Fonte: Próprio autor.

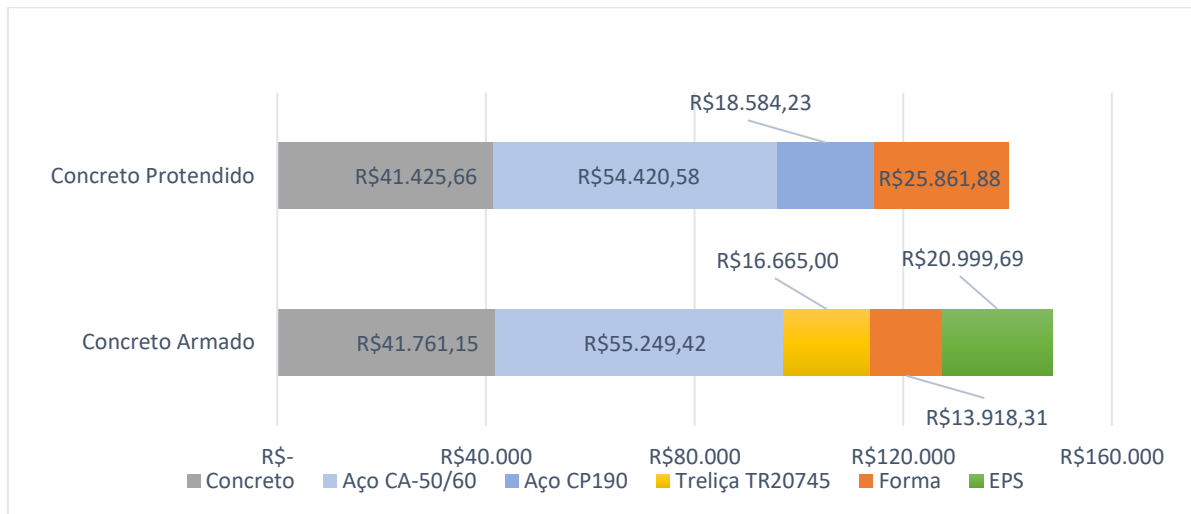
No sistema com Concreto Protendido, as lajes, por serem do tipo plana lisa, possuem altura de 18cm na camada de concreto, 10cm a mais que as lajes nervuradas de Concreto Armado que possuem capa de 8cm de concreto. Entretanto, o consumo final mostrou-se contrário ao que se esperava, uma vez que o excedente de vigas nas lajes treliçadas e o concreto das nervuras transversais contribuíram para suprir o consumo de concreto elevado das lajes do sistema construtivo com Concreto Protendido, com uma diferença muito baixa de 1,52% no consumo final.

Um dos dados mais importantes a serem analisados é o consumo de formas em ambos os sistemas. Observa-se que o consumo de formas no sistema com Concreto Protendido praticamente dobrou em relação ao consumo de formas no sistema com Concreto Armado, isso se deve a extensa área das lajes planas lisas protendidas a serem ocupadas pelas formas em seu processo de execução.

Observa-se, também, que as lajes nervuradas necessitam de dois componentes que não são comuns ao sistema com lajes protendidas, são eles os EPS e as treliças. Por outro lado, as lajes protendidas também possuem um material que não é comum ao sistema com Concreto Armado, que são as cordoalhas de protensão. O consumo desses materiais é intrínseco à cada pavimento da estrutura, onde não há o reaproveitamento dos mesmos.

Analisando os custos conforme os preços de mercado obtidos em João Pessoa-PB, tem-se o diagrama de custos no pavimento tipo da estrutura, presente na Figura 9.

Figura 9: Diagrama de custos para ambos sistemas construtivos no pavimento tipo



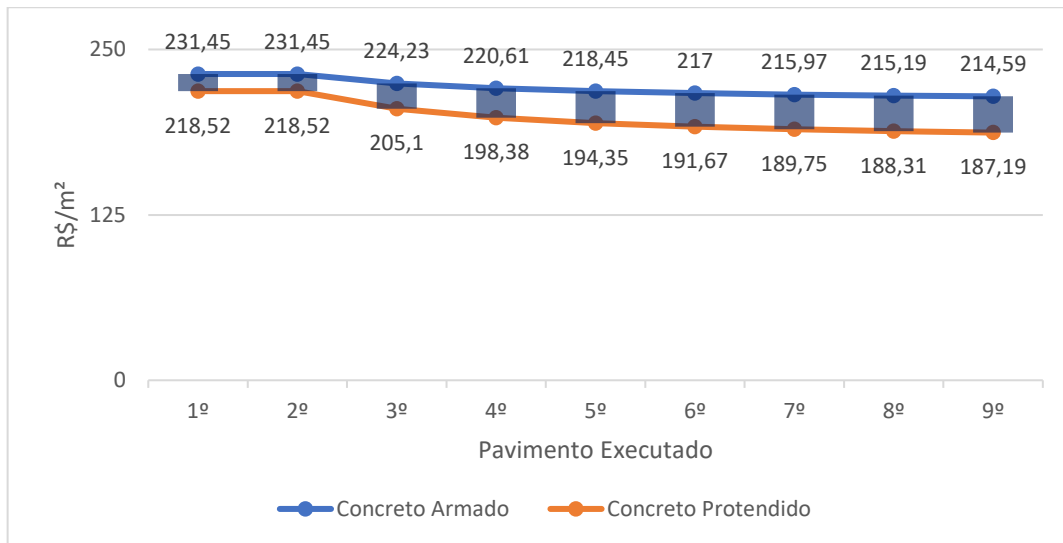
Fonte: Próprio autor.

Conforme visto na figura acima, o custo total do consumo de materiais que compõe o sistema estrutural do pavimento tipo da estrutura em estudo foi de R\$140.292,35 e R\$148.593,57, para os sistemas construtivos com Concreto Protendido e Concreto Armado, respectivamente. No qual resulta em uma economia de 5,6% na opção pelo sistema com Concreto Protendido. Considerando uma área de 642m<sup>2</sup>, tem-se um custo de 218,52R\$/m<sup>2</sup> na opção por lajes protendidas e de 231,45 R\$/m<sup>2</sup> na opção por lajes nervuradas, apenas na execução do 1º pavimento tipo. A princípio, ambos os sistemas apresentam diferença de custos pouco significativa no custo por metro quadrado.

Entretanto, deve-se ressaltar que na avaliação econômica das alternativas estruturais não se deve comparar simplesmente o consumo dos materiais por metro quadrado do pavimento tipo. Mas sim o custo final, onde se considera também o menor tempo de execução e o melhor reaproveitamento das formas.

Com isso, partindo do sistema executivo tomado como referência no item 3.5, os custos com formas são amortizados à cada reutilização durante a execução dos 9 pavimentos tipo da estrutura em estudo. Na Figura 10, apresenta os custos em R\$/m<sup>2</sup> de acordo com a sequência de execução dos pavimentos.

Figura 10: Custo por metro quadrado da estrutura de acordo com a sequência de execução



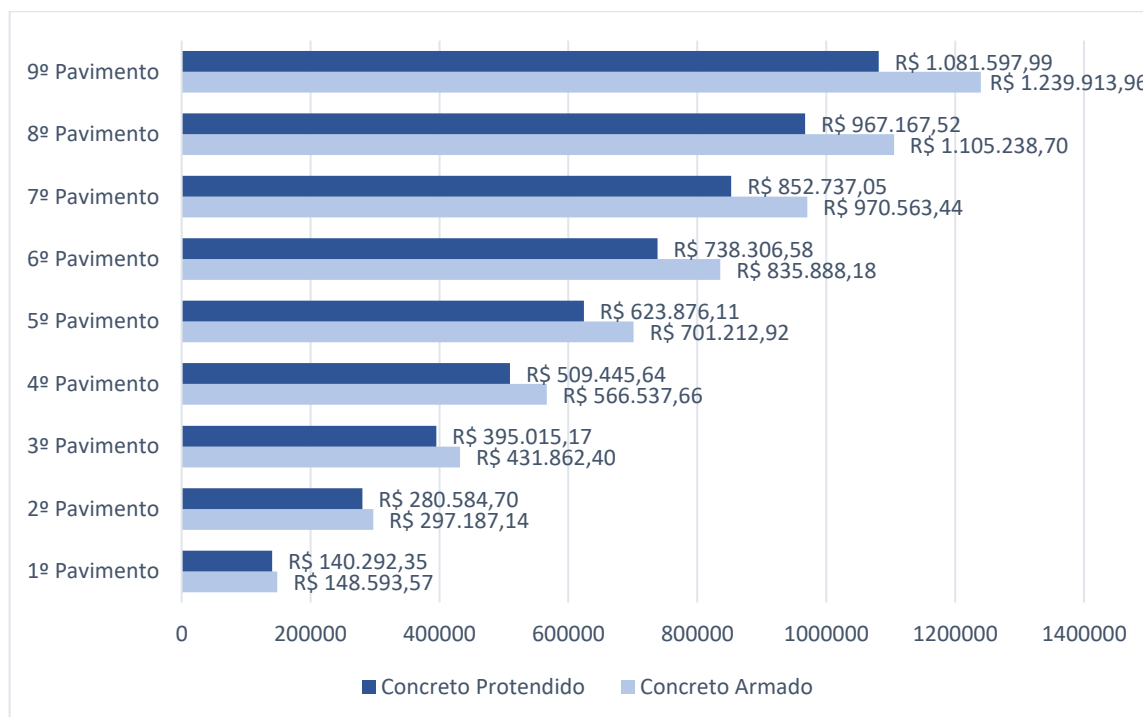
Fonte: Próprio autor.

Seguindo a execução, conforme os sistemas aderem o reaproveitamento das formas, vai ocorrendo a queda de custos por metro quadrado na estrutura. Entretanto, como o sistema executivo definem a utilização de formas nos dois primeiros pavimentos, em ambos o custo será o mesmo.

Observa-se que, ao termino da execução do 9º pavimento tipo, toda a estrutura possui um custo de 187,19 R\$/m² e 214,59 R\$/m² nos sistemas construtivos com Concreto Protendido e Concreto Armado, respectivamente, equivalente à 12,77% de diferença. Embora a diferença de custos dos materiais dos dois primeiros pavimentos tipo, entre os sistemas, serem relativamente desprezível, a amortização dos custos com formas, que conferia um valor de R\$11.943,57 a mais no sistema com protensão, passou a reduzir de forma brusca o custo total por metro quadrado da estrutura.

Na Figura 11, tem-se o custo final da estrutura considerando o reaproveitamento das formas do pavimento tipo 1 e 2 nos pavimentos subsequentes.

Figura 11: Custo da estrutura ao final de cada pavimento executado



Fonte: Próprio autor.

Finalmente, os custos totais do consumo dos materiais que compõe o elemento estrutural em estudo, foi de R\$1.081.597,99 e R\$1.239.913,96, para os sistemas construtivos com Concreto Protendido e Concreto Armado, respectivamente. No qual, resulta em uma economia de mais de 158 mil reais na opção pelo sistema com Concreto Protendido, comparado ao sistema com Concreto Armado, que equivale a 12,77% de diferença, em toda estrutura, apenas no que se refere ao quantitativo dos materiais utilizados pelos sistemas.

Desde a execução do 1º pavimento tipo, o custo da estrutura já se mostrou favorável ao sistema com protensão, antes mesmo da reutilização das formas que intensificou ainda mais a diferença de custo. Além da redução de custos proveniente dos materiais, ainda se tratando do sistema com Concreto Protendido, pode-se levar em consideração, também, os custos referentes aos serviços na execução.

Na execução do sistema com Concreto protendido, há a necessidade de mão-de-obra qualificada na execução e elaboração do projeto com protensão, agregando um custo a mais nesse sistema. Entretanto, por se tratar de um sistema de lajes lisas e que possuem uma menor disposição de vigas, a facilidade na montagem das formas confere um gasto de tempo menor quando comparado ao sistema com Concreto Armado, cujo sistema necessita de uma montagem de formas, treliças e EPS, que carecem de uma mão-de-obra mais elaborada, consumindo mais tempo na execução.

Além do tempo de mão-de-obra necessário para execução de cada pavimento, a estrutura também é dependente do período de cura do concreto, fator que controla o tempo de cada ciclo de pavimento, limitado pelo prazo mínimo de escoramento e desforma dos elementos estruturais.

No sistema com lajes protendidas, a desforma acontece assim que atingida a protensão final das lajes, quando o concreto atinge a resistência de projeto da estrutura. No projeto em estudo a aplicação total da protensão se deu no 7º dia após a concretagem, sendo que, no sistema com lajes em Concreto Armado, a desforma das faces inferiores, deixando a estrutura reescorada, acontece apenas no 14º dia. Com isso, é possível perceber a diferença de tempo na execução de ambos os sistemas, no qual a economia em mão-de-obra se inclina para o sistema com protensão.

O tempo de execução é um fator decisivo, que reflete na economia de gastos com salários de profissionais, que vão desde do engenheiro ao vigia da obra, como também na economia com alugueis de máquinas para execução.

## **5 CONCLUSÃO**

O reflexo dos custos apresentou uma economia de 5,6% na opção do sistema com Concreto Protendido apenas no primeiro pavimento tipo. Quando aplicado a amortização dos custos com formas, baseado na reutilização, o custo do consumo final dos 9 pavimentos tipos resultou numa economia de 12,77%, o equivalente a R\$158.315,97, na opção pelo sistema com Concreto Protendido.

O estudo comprovou a economia na opção pela protensão, o que torna esse sistema construtivo o mais viável economicamente, além dos benefícios técnicos de estabilidade que não constituem foco nesse trabalho. Se tratando dos serviços, o tempo de execução é o fator determinante nos custos dos sistemas, favorecendo ao sistema com protensão. Sabendo disso, é sugerido o uso do sistema com protensão para todos os empreendedores e profissionais da construção civil.

Entretanto, por se tratar de uma avaliação que se limita ao custo dos insumos de materiais utilizados nos sistemas, novas pesquisas devem ser direcionadas aos custos com serviços de execução. Ainda tratando de insumos, uma outra análise sugerida se refere ao consumo de materiais nos elementos de fundação.

## COMPARATIVE BETWEEN PROTECTED CONCRETE STRUCTURES AND ARMED CONCRETE: ANALYSIS OF TECHNICAL AND ECONOMIC VIABILITY

### ABSTRACT

Today society is facing new demands and greater competitiveness in the construction industry. Thus, it is necessary to increase the researches that are in search of efficient alternative constructive systems. Within this context, a constructive system based on the concept of reinforced concrete parts has been entering the Brazilian market with significant relevance in the last decades. However, it is questioned if the prestressed concrete structures present better viability (technical and economic) than conventional structures of reinforced concrete. Thus, the present work aims to perform a comparison between the constructive systems of reinforced and prestressed concrete, responding to the reflex in the total cost of the work, using a real structure, sized for both constructive systems, evaluating the material consumption in the according to the technical provision for the systems. The methodology used consisted in the extraction of material consumption data: steel, concrete, shape, EPS (Expandable Polystyrene) and trellised vigota, applying the technical execution considerations and quantifying the total costs of the project. In the execution of the first type pavement, the system with Proposed Concrete was already favorable, with a cost of R\$ 218.52 / m<sup>2</sup>, and the system with Armed Concrete obtained a cost of R\$ 231.45 / m<sup>2</sup>, which results in an economy of 5.6%. Considering a system of assembly and execution of forms that it is necessary the permanence of the same in the floor inferior to the subsequent one in execution, it was observed that the total cost of the materials in the execution of the 9 type pavements had an economy of 12.77%, the equivalent to R\$ 158,315.97, totaling a cost of R\$ 187.19 / m<sup>2</sup> and R\$ 214.59 / m<sup>2</sup> in the Proposed Concrete and Reinforced Concrete systems, respectively. Thus, the comparative study showed that the system with prestressed concrete is more economically viable since the execution of the first type pavement, intensifying as the amortization of cost of the forms occurs.

**Keywords:** Constructive System. Armed Concrete. Prestressed concrete. Viability. Economy.



## REFERÊNCIAS

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575: Projeto de Estruturas de Concreto - Procedimento**. Rio de Janeiro, 2013.

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118: Projeto de Estruturas de Concreto - Procedimento**. Rio de Janeiro, 2014.

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6122: Projeto e execução de fundações**. Rio de Janeiro, 2010.

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7480: Aço Destinado a Armaduras para Estruturas de Concreto Armado-Especificação**. Rio de Janeiro, 2007.

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7483: Cordoalhas de aço para estruturas de concreto protendido – Especificação**. Rio de Janeiro, 2008.

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8681: Ações e Segurança na Estrutura**. Rio de Janeiro, 2003.

ARCELORMITTAL-AÇOS LONGOS. **Manual Técnico de Lajes Treliçadas**. Belo Horizonte, disponível em: <http://longos.arcelormittal.com.br/pdf/produtos/construcao-civil/outros/manual-tecnico-trelicas.pdf>. Acesso em: 01 de maio de 2018.

ASSAHI, P. N. **Sistema de Fôrmas para Estruturas de Concreto**. ASSAHI Engenharia Ltda, 2005.

CARVALHO, R. C. **Estruturas em concreto protendido: cálculo e detalhamento**. 1 ed. São Paulo: PINI, 2012.

CHAVES, P. R. M. **Introdução ao curso de concreto protendido: conceitos fundamentais**. Universidade de Brasília, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, 2018.

COUTO, CARMINATTI, et al. **O concreto como material de construção**. Sergipe: Cadernos de Graduação - Ciências Exatas e Tecnológicas, 2013.

CUNHA, M. O. **Recomendações para projeto de lajes formadas por vigotas com armação treliçada.** São Carlos. Dissertação (Mestrado)- Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2012.

EMERICK, A. A. **Projeto e execução de lajes protendidas.** Rio de Janeiro: Interciência, 2005.

FAJERSZTAJN, H. **Formas para concreto armado.** Aplicação para o caso do edifício. Tese de Doutorado pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1987.

MARANHÃO, G. M. **Fôrmas para concreto: subsídios para a otimização do projeto segundo a NBR 7190/97.** Dissertação de mestrado pela Escola de Engenharia de São Paulo, São Carlos, 2000.

RUDLOFF. Rudloff editora. **Lajes Planas Protendidas.** 3 ed. São Paulo:[s.n], 2009.

SOUSA, J. P. V. L.; MACEDO, M. G. G. **Lajes Lisas em Concreto Protendido.** Monografia (Monografia em Engenharia Civil) - UFG. Goiânia, p. 20. 2016.

VERÍSSIMO, G.S.; CÉSAR JR., K.M.L. **Concreto Protendido – Fundamentos básicos.** Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Engenharia Civil, 1998.

ZWIRTES, A.A. **Dimensionamento de pilares retangulares de concreto armado pela NBR 6118/2014 e verificação da capacidade resistente da seção pelo diagrama de interação.** Monografia (Monografia em Engenharia Civil) - UNIJUI. Santa Rosa, p. 13. 2016.

**ANEXO A – RESUMO DE AÇO NO SISTEMA COM CONCRETO ARMADO**

LAJES-RESUMO AÇO CA 50-60			
AÇO	BIT (mm)	COMPRIMENTO (m)	PESO (kg)
50A	6,3	4496,8	1101,7
50A	8	2488,2	982,9
50A	10	2242,4	1383,5
50A	12,5	1087,7	1047,4
50A	16	74,7	117,9
50A	20	54,9	135,5
50A	25	13,7	52,8
PESO TOTAL 50A = 4821,8 kg			

VIGAS - RESUMO AÇO CA 50-60			
AÇO	BIT (mm)	COMPRIMENTO (m)	PESO (kg)
50A	5	1161,6	178,8
50A	6,3	2775,6	680,0
50A	8	230,5	91,0
50A	10	610,3	376,5
50A	12,5	513,6	494,6
50A	16	279,6	441,1
50A	20	276,2	680,9
50A	25	93,9	361,6
PESO TOTAL 60A = 178,8 kg			
PESO TOTAL 50A = 3125,6 kg			

PILARES - RESUMO AÇO CA 50-60			
AÇO	BIT (mm)	COMPRIMENTO (m)	PESO (kg)
60A	4,2	10,64	1,16
60A	5	1836,30	282,79
50A	6,3	1448,25	354,82
50A	8	44,86	17,72
50A	10	131,96	81,42
50A	12,5	747,18	719,54
50A	16	30,72	48,48
50A	20	29,76	73,40
50A	25	24,97	96,21
PESO TOTAL 60A = 283,95 kg			
PESO TOTAL 50A = 1391,59 kg			

### ANEXO B – RESUMO DE AÇO NO SISTEMA COM CONCRETO PROTENDIDO

LAJES-RESUMO AÇO CA 50-60			
AÇO	BIT (mm)	COMPRIMENTO (m)	PESO (kg)
60A	5	583	89,75
50A	6,3	1461,38	704,75
50A	8	2693,12	1063,75
50A	10	2395,37	1477,87
50A	12,5	2063,0	1986,63
50A	16	760,25	1008,25
50A	20	30,13	74,25
PESO TOTAL 60A = 89,75 kg			
PESO TOTAL 50A = 6315,5 kg			

VIGAS - RESUMO AÇO CA 50-60			
AÇO	BIT (mm)	COMPRIMENTO (m)	PESO (kg)
60A	4,2	10,625	1,13
60A	5	2379,25	366,37
50A	6,3	1414,625	346,62
50A	8	208,125	82,25
50A	10	612,375	377,87
50A	12,5	589,625	567,75
50A	16	271,375	428,12
50A	20	241,625	595,63
	25	94,625	364,63
PESO TOTAL 60A = 367,50 kg			
PESO TOTAL 50A = 2762,87 kg			

PILARES - RESUMO AÇO CA 50-60			
AÇO	BIT (mm)	COMPRIMENTO (m)	PESO (kg)
60A	5	155,04	23,88
50A	6,3	1637,41	401,17
50A	8	181,40	71,65
50A	10	113,24	69,87
50A	12,5	649,76	625,72
50A	16	140,00	220,92
50A	20	58,56	144,41
50A	25	132,84	511,83
PESO TOTAL 60A = 23,88 kg			
PESO TOTAL 50A = 2045,57 kg			

### ANEXO C – CABOS DA PROTENSÃO

