

UNIEVANGÉLICA

CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

JAQUELINE DE SOUZA SOMBRA

JOÃO HENRIQUE AZEVEDO DE MORAES

**ESTUDO COMPARATIVO ENTRE LAJE PROTENDIDA E
LAJE TRELIÇADA**

**ANÁPOLIS / GO
2021**

**JAQUELINE DE SOUZA SOMBRA
JOÃO HENRIQUE AZEVEDO DE MORAES**

**ESTUDO COMPARATIVO ENTRE LAJE PROTENDIDA E
LAJE TRELIÇADA**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA**

**ORIENTADORA: KÍRIA NERY ALVES DO ESPÍRITO
SANTOS GOMES**

ANÁPOLIS / GO: 2021

FICHA CATALOGRÁFICA

SOMBRA, Jaqueline Souza / MORAES, João Henrique Azevedo.

Estudo comparativo entre laje protendida e laje treliçada.

58p., 297 mm (ENC/UNI, Bacharel, Engenharia Civil, 2021).

TCC - UniEVANGÉLICA

Curso de Engenharia Civil.

- | | |
|----------------------|----------------|
| 1. Laje Treliçada | 2. Vigotas |
| 3. Lajes protendidas | 4. Viabilidade |
| I. ENC/UNI | II. Bacharel |

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

SOMBRA, Jaqueline Souza; MORAES, João Henrique Azevedo. Estudo comparativo entre laje protendida e laje treliçada. TCC, Curso de Engenharia Civil, UniEVANGÉLICA, Anápolis, GO, 58p. 2021.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Jaqueline de Souza Sombra

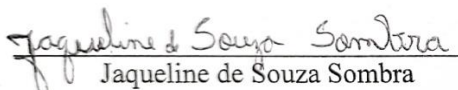
João Henrique Azevedo de Moraes

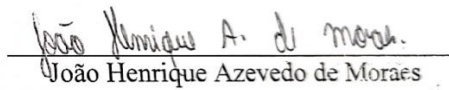
TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO: Estudo comparativo entre laje protendida e laje treliçada.

GRAU: Bacharel em Engenharia Civil

ANO: 2021

É concedida à UniEVANGÉLICA a permissão para reproduzir cópias deste TCC e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste TCC pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.


Jaqueline de Souza Sombra
E-mail: jaquelines.s.15.js@gmail.com

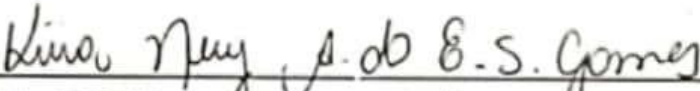

João Henrique Azevedo de Moraes
E-mail: joaohenriqueazm@gmail.com

**JAQUELINE DE SOUZA SOMBRA
JOÃO HENRIQUE AZEVEDO DE MORAES**

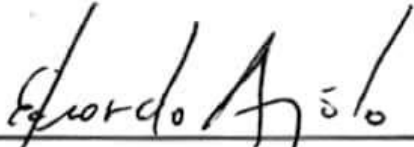
**ESTUDO COMPARATIVO ENTRE LAJE PROTENDIDA E
LAJE TRELIÇADA**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO CURSO DE
ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA COMO PARTE DOS REQUISITOS
NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL**


APROVADO POR:



**KÍRIA NERY ALVES DO ESPÍRITO SANTOS GOMES, Mestra
(UnIEVANGÉLICA)
(ORIENTADORA)**



**EDUARDO DOURADO ARGOLO, Mestre (UnIEVANGÉLICA)
(EXAMINADOR INTERNO)**



**JULLIANA SIMAS VA^S CONCELLOS, Doutora (UEG)
(EXAMINADORA EXTERNO)**

DATA: ANÁPOLIS/GO, 01 de DEZEMBRO de 2021

AGRADECIMENTOS

Agradecemos primeiramente a Deus e aos nossos familiares por todo o apoio que nos foi concebido, agradecemos a todos professores que contribuiu para o nosso crescimento durante esses anos e a todos que colaboraram de alguma maneira para nosso desenvolvimento profissional. Reconhecemos também a importância da nossa orientadora, por toda sua paciência em nos guiar nesse grande passo.

Jaqueline Souza e João Henrique Azevedo

RESUMO

Diante do cenário econômico atual, onde cada vez mais as exigências dos clientes são evidentes, e a concorrência mais apurada, o empreendedor deve sempre procurar a inovação de seus produtos, porém, para que estes sejam vendáveis, eles devem ser economicamente viáveis. Este trabalho apresenta uma análise comparativa de custos de dois sistemas construtivos: a laje treliçada e a laje protendida. A análise envolve o custo de vigotas, material de enchimento para laje, ferragens adicionais, escoramentos e concreto, fazendo uma análise de cada um desses materiais. Os dados quantitativos e custos foram extraídos dos projetos estruturais, do orçamento e do projeto de montagem fornecidos pela empresa Vibracon – Goiás. Os resultados obtidos apresentaram economia para o sistema de lajes protendido de R\$ 10.748,85 sendo o custo total desse sistema de R\$ 34.834,02 e o da treliçada de R\$ 45.582,87, tornando a laje protendida viável economicamente.

PALAVRAS-CHAVE:

Laje treliçada. Laje protendida. Vigotas. Viabilidade.

ABSTRACT

In the current economic scenario, where customer requirements are increasingly evident, and competition is more acute, the entrepreneur must always seek to innovate their products, however, for them to be salable, they must be economically viable. This work presents a comparative analysis of the execution costs of two constructive systems, the lattice slab with the prestressed slab, the analysis involves the cost of joists, filling material for the slab, additional hardware, shoring and concrete, making an analysis of each of these materials. Quantitative data and costs were extracted from the structural projects, budget and assembly project provided by the company Vibracom – Goiás. The results obtained showed savings for the prestressed slab system of R\$ 10,748.85, with the total cost of this system being R\$ 34,834.02 and that of the latticework of R\$ 45,582.87. Making prestressed slab economically viable.

KEYWORDS: Prefabricated slabs. lattice slab. prestressed slab. joists.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Avanço do sistema construtivo para lajes.	16
Figura 2 – Vigota de concreto armado.....	17
Figura 3 – Vigota de concreto armado.....	18
Figura 4 – Vigota com armadura protendida.....	18
Figura 5 – Vigota com armadura protendida.....	19
Figura 6 – Vigota treliçada.....	19
Figura 7 – Vigota treliçada.....	20
Figura 8 – Minipainéis treliçados	20
Figura 9 – Painel treliçado.....	21
Figura 10 – Lajota Cerâmica (LC).....	22
Figura 11 – Lajota Cerâmica (LC).....	22
Figura 12 – Lajota de EPS.....	23
Figura 13 – Lajota de EPS.....	23
Figura 14 – Capa de concreto executada sobre a laje treliçada.....	24
Figura 15 – Corte em laje de vigota treliçada.....	25
Figura 16 – Corte em laje de vigota treliçada.....	26
Figura 17 – Seção típica da laje treliçada.....	26
Figura 18 – Perspectiva.....	27
Figura 19 – Vigota com armadura treliçada.	27
Figura 20 – Condições de escoramento para as lajes protendidas.....	30
Figura 21 – Tipos de seção.....	31
Figura 22 – Quantidade de fios.....	31
Figura 23 – Pista de laje Protendida.	33
Figura 24 – Cabeceira de Protensão.....	33
Figura 25– Macaco Hidráulico de Protensão	34
Figura 26 – Projeto Estrutural	36
Figura 27 – Projeto de Montagem da Laje Treliçada	37
Figura 28 – Treliça.....	38
Figura 29 – Nervura de Travamento.....	39
Figura 30 – Nervura de Travamento.....	39
Figura 31 – Malhas de Distribuição.....	40
Figura 32 – Ferragem Negativa Construtiva	41

Figura 33– Armadura Superior de Tração.....	41
Figura 34 – Ferragem Negativa do Beiral.....	42
Figura 35 – Ferragem Negativa do Beiral.....	42
Figura 36 – Escoramento.....	43
Figura 37 – Detalhe de Escoramento.....	44
Figura 38 – Contra Flecha.....	44
Figura 39 – Contra Flecha.....	45
Figura 40 – Projeto de montagem da Laje Protendida.....	46
Figura 41 – Altura da Laje.....	47
Figura 42 – Ferragem Contra Cisalhamento.....	48
Figura 43 – Uma Linha de Escora.....	49
Figura 44 – Duas Linhas de Escoras.....	49
Figura 45 – Três Linhas de Escoras.....	50

LISTA DE TABELA

Tabela 1 – Dimensões e tolerância padronizadas para vigota comum VC	18
Tabela 2 – Dimensões e tolerâncias padronizadas para vigotas protendidas VP	19
Tabela 3 – Dimensões e tolerâncias padronizadas para vigotas treliçadas VT	20
Tabela 4 – Dimensões e tolerâncias padronizadas para minipainéis treliçados MPT	21
Tabela 5 – Dimensões e tolerâncias padronizadas para painéis treliçados PT	21
Tabela 6 – Tipos usuais de treliças	28
Tabela 7 – Tabela de aço.....	32

LISTA DE GRÁFICO

Gráfico 1– Custo de Cada Material da Laje Treliçada.....	52
Gráfico 2 – Custo de Cada Material da Laje Protendida	54
Gráfico 3 - Custo de Cada Material da Laje Treliçada e Laje Protendida	54
Gráfico 4 - Custo Total da Laje Treliçada e Laje Protendida	55

LISTA DE ABREVIATURA E SIGLA

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
IBTS	Instituto Brasileiro de telas soldadas
NBR	Norma Brasileira
VC	Vigota com armadura simples ou comum
VP	Vigota com armadura protendida
VT	Vigota com armadura treliçada
MPT	Minipainel treliçado
PT	Painel treliçado
HV	Altura da vigota
HMP	Altura do minipainel treliçado
HP	Altura do painel treliçado
I	Intereixo de vigotas pré-fabricadas, minipainéis e painéis pré-fabricados.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 JUSTIFICATIVA	13
1.2 OBJETIVOS.....	14
1.2.1 Objetivo geral	14
1.2.2 Objetivos específicos	14
1.3 METODOLOGIA.....	14
2 REFERENCIAL TEÓRICO	16
2.1 MÉTODO CONSTRUTIVO DAS LAJES PRÉ-FABRICADAS.	17
2.1.1 Elementos estruturais	17
2.1.1.1 Vigota com armadura simples ou comum (VC).....	17
2.1.1.2 Vigota com armadura protendida (VP).....	18
2.1.1.3 Vigota com armadura treliçada (VT).....	19
2.1.1.4 Minipainel treliçado (MPT).....	20
2.1.1.5 Painel treliçado (PT)	21
2.1.2 Elementos de enchimento	22
2.1.2.1 Lajota Cerâmica (LC)	22
2.1.2.2 Lajota de EPS – poliestireno expandido (LEPS).....	23
2.1.3 Capa de concreto	24
2.2 LAJES TRELIÇADAS	25
2.2.1 Armadura Treliçada Eletrossoldada	26
2.2.2 Principais vantagens da laje treliçada.	28
2.2.3 Principais desvantagens da laje treliçada	28
2.3 LAJE DE VIGOTA PROTENDIDA.....	29
2.3.1 Características da laje protendida	29
2.3.2 Processo de Fabricação da Vigota Protendida	32
2.3.3 Principais vantagens da laje protendida	34
2.3.4 Principais desvantagens da laje protendida	34
3 ESTUDO DE CASO	36
3.1 LAJE TRELIÇADA.....	37
3.1.1 Ferragens Complementares	38
3.1.2 Ferragem de Nervura de Travamento	38
3.1.3 Malha de Distribuição	39

3.1.4	Ferragem Negativa Construtiva	40
3.1.5	Ferragem Negativa do Beiral em Balanço.....	41
3.1.6	Escoramento	42
3.2	LAJE PROTENDIDA.....	45
4	COMPARATIVO DE CUSTO DA LAJE TRELIÇADA COM A LAJE PROTENDIDA	51
4.1	CUSTO DA LAJE TRELIÇADA	51
4.2	CUSTO DA LAJE PROTENDIDA.....	52
4.3	RESULTADO DA COMPARAÇÃO	54
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	56
5.1	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	56

1 INTRODUÇÃO

Com o avanço tecnológico a busca por qualidade, custo-benefício e agilidade é inevitável, e no ramo da construção civil não é diferente. A procura por tecnologias para o melhor desempenho de edificações é necessário, com isso as indústrias da área da construção civil precisaram desenvolver técnicas construtivas e novos produtos que apresentem melhores características quanto ao seu desempenho.

O pré-moldado de concreto veio apresentando características únicas. Destaca-se a rapidez na construção, a economia de materiais e mão de obra e sua maior resistência e durabilidade. Também se destaca sua acústica e resistência ao fogo, tornando assim possível sua construção em qualquer clima (TORRES, 2018).

Flório (2004) afirma que a utilização de tais elementos tem se intensificado nos últimos anos, devido ao objetivo de padronizar e aperfeiçoar as edificações, evitando problemas comuns que podem acontecer no canteiro de obra, como erros de execução, dispendo de alguns tipos de lajes pré-fabricadas na qual se destacam a laje de vigota protendida (VP) e a laje de vigota treliçada (VT).

No Brasil as lajes pré-fabricadas já é comum em quase todas as cidades, pois a fabricação é quase artesanal. A laje pré-fabricada é comum em obras residenciais e em projetos de poucos pavimentos. Mas, com o avanço dos tempos, as lajes pré-fabricadas começaram a serem utilizadas em edifícios de mais pavimentos, chegando a substituir até mesmo as lajes maciças dos edifícios, pois são mais baratas, mais fáceis de instalar, possuem maior precisão em suas dimensões, suportam vários tipos de cargas e vencem variados vãos, adaptando-se a quase todo tipo de construção (ANDRADE, 2014).

1.1 JUSTIFICATIVA

O mercado da construção dispõe de vários recursos para obter a realização de lajes, os profissionais devem optar pelo sistema mais adequado para cada situação, considerando a especificação do projeto.

Com isso, a realização desse trabalho tem-se pela necessidade de apresentar um estudo comparativo financeiro e técnico entre os dois processos construtivos: a laje protendida e a laje treliçada, na qual ambas apresentam vantagens e desvantagens que irá depender de cada edificação, para determinar qual será a laje mais viável.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

A pesquisa teve como objetivo geral, realizar um estudo comparativo entre o método construtivo da laje treliçada e a laje protendida, a partir de um projeto residencial térrea.

1.2.2 Objetivos específicos

- Conceituar e descrever os dois tipos de lajes citados;
- Analisar a viabilidade financeira dos dois métodos construtivos;
- Apresentar as vantagens e desvantagens de cada método;
- Realizar o comparativo de custo e tempo de um mesmo projeto residencial térrea;

1.3 METODOLOGIA

Para o desenvolvimento deste trabalho de conclusão de curso, realizou-se um levantamento bibliográfico de artigos e revistas relevantes referente ao tema apresentado.

Realizou, também, um estudo em um projeto residencial, com o objetivo de comparar os dois métodos construtivos de lajes pré-fabricadas, apresentando qual será a opção mais viável para a residência analisada. Através de uma mesma planta analisou-se a viabilidade financeira disponibilizados por uma empresa de artefatos pré-moldados da cidade de Anápolis-GO.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho é dividido em cinco capítulos para estabelecer o entendimento da análise.

O primeiro capítulo é apresentado a introdução, a justificativa, os objetivos e a metodologia do trabalho sobre o tema abordado.

O segundo capítulo abrange os conceitos e elementos teóricos do sistema construtivo da laje protendida e a laje treliçada.

Já o terceiro capítulo mostra os materiais necessários que serão usados para montar cada laje.

No quarto capítulo expõe a comparação das lajes, apontamento das vantagens e desvantagens da produtividade, do custo e da qualidade de ambos os elementos.

E por fim o quinto capítulo será expressa-se a conclusão alcançada no comparativo das lajes, mostrando qual a laje mais viável para o projeto em análise.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

A história da laje vem da construção ocidental, onde os seres humanos levaram milhares de anos para vencer grandes vãos de piso acima do solo. O desafio sempre foi a sustentação de maiores cargas nesses vãos (CAIXETA, 1998).

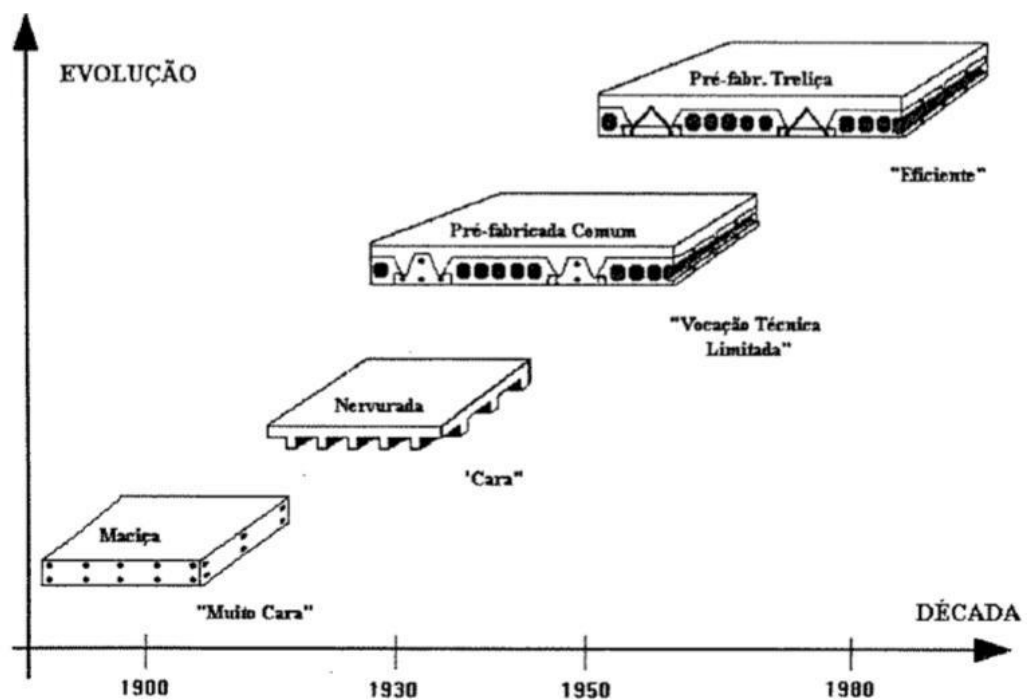
A princípio utilizava-se apenas materiais que a natureza oferecia, como pedra e madeira, porém esses materiais limitavam em suas dimensões naturais o tamanho dos vãos. (CAIXETA, 1998).

Uma evolução muito importante foi a chegada do concreto e do aço, onde foi possível o desenvolvimento de estruturas planas, denominadas lajes com a capacidade de suportar maiores vãos (CAIXETA, 1998).

As lajes têm como finalidade suportar cargas aplicadas diretamente na sua superfície, e as distribuir para os apoios. As lajes são componentes básicos de uma estrutura, tendo como sua principal função receber as cargas quando utilizada como piso, e também server como cobertura (BASTOS, 2015).

A Figura 1 apresenta o avanço dos sistemas construtivos.

Figura 1 – Avanço do sistema construtivo para lajes.



2.1 MÉTODO CONSTRUTIVO DAS LAJES PRÉ-FABRICADAS.

O método construtivo das lajes pré-fabricadas inicia-se desde o recebimento do material e passa por uma rigorosa verificação de qualidade eliminando os materiais com defeitos NBR 14859-1 (ABNT, 2016 a).

Um processo bastante importante é a fase do projeto, onde um projeto bem detalhado faz toda a diferença. O projeto deve indicar o sentido de colocação das vigotas, o tipo de concreto que será utilizado, as armaduras complementares, a altura da capa do concreto, entre outros.

A lajes pré-fabricadas são formadas por vigotas pré-moldadas com elementos de enchimento, para depois receber uma capa de concreto. A norma NBR 14859-1 (ABNT, 2016 a) cita alguns tipos de elementos pré-fabricados estruturais, que serão descritos a seguir.

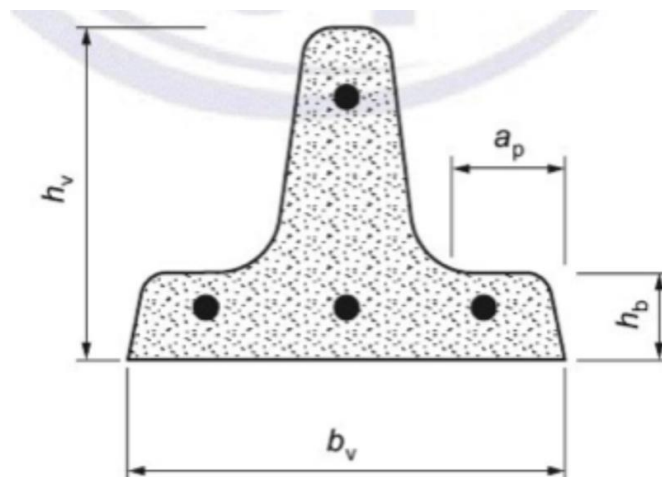
2.1.1 Elementos estruturais

2.1.1.1 Vigota com armadura simples ou comum (VC)

A vigota com armadura simples é um elemento pré-fabricado estrutural, formado por concreto estrutural e fios ou barras, conforme especificação de cada projeto.

A Figura 2 e Figura 3 mostra como é a vigota com armadura simples ou comum. A Tabela 1 descreve as dimensões e tolerâncias, em milímetros.

Figura 2 – Vigota de concreto armado



Fonte: ABNT, 2016

Figura 3 – Vigota de concreto armado



Fonte: VIBRACOM, 2021

Tabela 1 – Dimensões e tolerância padronizadas para vigota comum VC

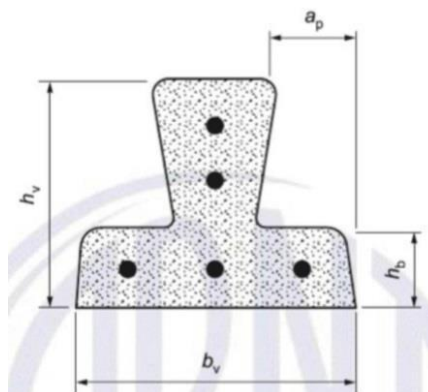
Largura mínima (b_v)	Altura mínima (h_v)	Largura mínima do apoio (a_p)	Altura mínima do apoio (h_b)
80 ± 2 mm	80 ± 2 mm	15 ± 1 mm	30 ± 1 mm

Fonte: ABNT, 2016

2.1.1.2 Vigota com armadura protendida (VP)

A vigota com armadura protendida é um elemento pré-fabricado estrutural, formado por concreto estrutural e armadura principal ativa (fios aderentes). A Figura 4 e Figura 5 apresenta como é a vigota com armadura protendida e na Tabela 2 especifica as dimensões e tolerâncias.

Figura 4 – Vigota com armadura protendida



Fonte: ABNT, 2016

Figura 5 – Vigota com armadura protendida

Fonte: VIBRACOM, 2021

Tabela 2 – Dimensões e tolerâncias padronizadas para vigotas protendidas VP

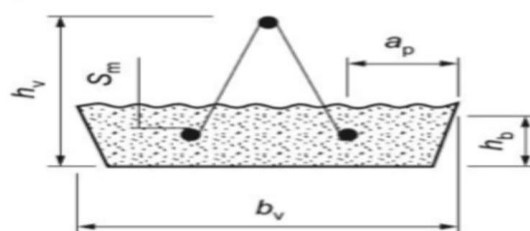
Largura mínima (b_v)	Altura mínima (h_v)	Largura mínima do apoio (a_p)	Altura mínima do apoio (h_b)
100 ± 2 mm	90 ± 2 mm	15 ± 1 mm	30 ± 1 mm

Fonte: ABNT, 2016

2.1.1.3 Vigota com armadura treliçada (VT)

A vigota com armadura treliçada é um elemento pré-moldado estrutural, feito de concreto estrutural e armadura treliçada, capaz de armazenar. Armadura passiva inferior de tração (fios e/ou barras). A Figura 6 e Figura 7 ilustra o formato e as dimensões da vigota com armadura treliçada, e Tabela 3 cita as dimensões e tolerâncias definidas. O valor do S_m (espessura mínima) é calculado através da Equação 1.

$$S_m \text{ mínimo} = 5 + 0,1 \times h_b \text{ (mm)} \quad (1)$$

Figura 6 – Vigota treliçada

Fonte: ABNT, 2016

Figura 7 – Vigota treliçada



Fonte: VIBRACOM, 2021

Tabela 3 – Dimensões e tolerâncias padronizadas para vigotas treliçadas VT

Largura mínima (b_v)	Altura mínima (h_v)	Largura mínima do apoio (a_p)	Altura mínima do apoio (h_b)
130 ± 2 mm	75 ± 2 mm	15 ± 1 mm	30 ± 1 mm

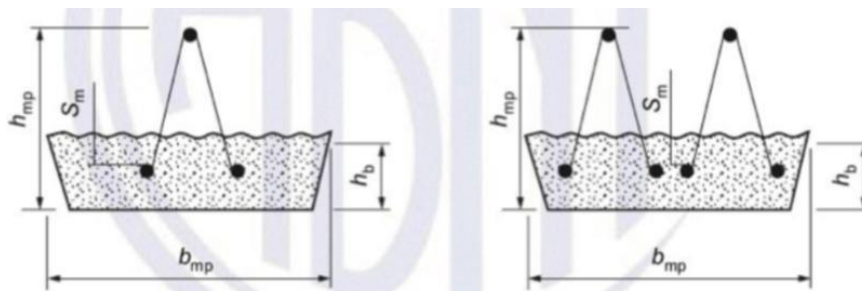
Fonte: ABNT, 2016

2.1.1.4 Minipainel treliçado (MPT)

O minipainel treliçado é um elemento pré-fabricado estrutural, com largura de até 400 mm, ele é construído de concreto estrutural e uma ou duas armaduras treliçadas, capaz de armazenar, armadura principal passiva inferior de tração (cabos e/ou fios e/ou barras). A Figura 8 demonstra como é o minipainel treliçado, e a Tabela 4 mostra as tolerâncias e dimensões. O valor do S_m (espessura mínima) é calculado através da Equação 2.

$$S_m \text{ mínimo} = 5 + (0,1 \times h_b) / n \text{ (mm)} \quad (2)$$

Figura 8 – Minipainéis treliçados



Fonte: ABNT, 2016

Tabela 4 – Dimensões e tolerâncias padronizadas para minipainéis treliçados MPT

Largura mínima (h_{mp})	Altura mínima (h_{mp})	Altura mínima da base (h_b)
200 ± 2 mm	75 ± 2 mm	30 ± 1 mm

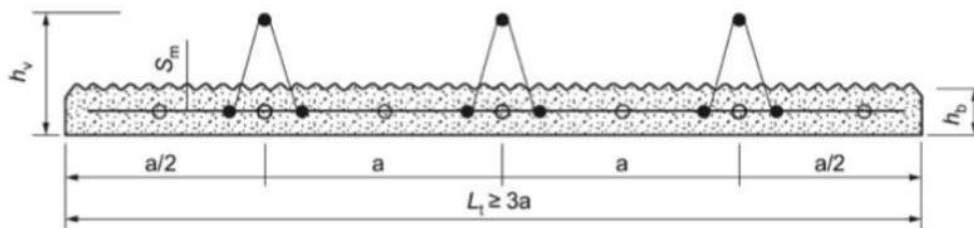
NOTA Geometria, dimensões e tolerâncias para seção genérica. Para recursos opcionais para atendimento aos requisitos de durabilidade, ver ABNT NBR 6118 e ABNT NBR 9062.

Fonte: ABNT, 2016

2.1.1.5 Painel treliçado (PT)

O painel treliçado é um elemento pré-fabricado estrutural, com largura superior a 400 mm. Ele é construído de concreto estrutural e armaduras treliçadas, capaz de armazenar, armadura passiva inferior de tração principal e secundária (telas e/ou fios e/ou barras). A Figura 9 mostra como é o painel treliçado, e a Tabela 5 define as tolerâncias e as dimensões do painel. O valor do S_m (espessura mínima) é calculado através da Equação 3.

$$S_m \text{ mínimo} = 5 + (0,1 \times h_b) / n \text{ (mm)} \quad (3)$$

Figura 9 – Painel treliçado

Fonte: ABNT, 2016

Tabela 5 – Dimensões e tolerâncias padronizadas para painéis treliçados PT

Largura mínima (h_{mp})	Altura mínima (h_v)	Altura mínima da base (h_b)
$>400 \pm 2$ mm	75 ± 2 mm	40 ± 1 mm

NOTA Geometria, dimensões e tolerâncias para seção genérica. Para recursos opcionais para atendimento aos requisitos de durabilidade, ver ABNT NBR 6118 e ABNT NBR 9062.

Fonte: ABNT, 2016.

2.1.2 Elementos de enchimento

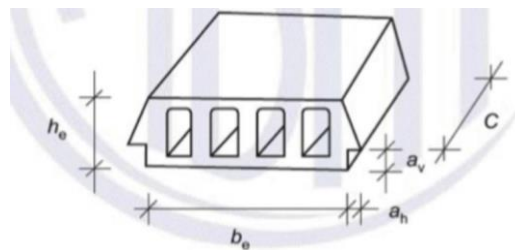
Segundo norma NBR 14859-1 (ABNT, 2016(a)), o elemento de enchimento trata de um elemento destinado a suportar o concreto de capeamento, a fim de aliviar o peso da laje. O elemento de enchimento tem características de ruptura frágil ou dúctil, disposto entre vigotas, e é capaz de resistir aos pesos previstos durante a fase de trabalho.

A norma NBR 14859-2 (ABNT, 2016(b)), descreve os tipos de enchimentos utilizados nas lajes pré-fabricadas, sendo os mais usuais, a lajota cerâmica e a lajota de EPS.

2.1.2.1 Lajota Cerâmica (LC)

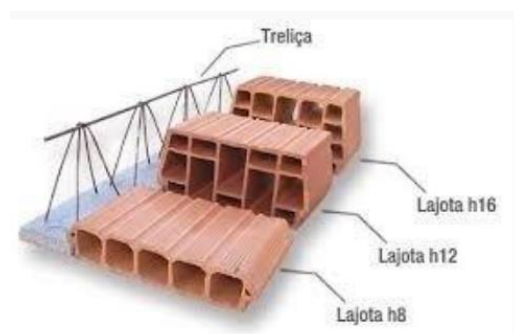
A lajota cerâmica é um elemento cerâmico vazado destinado ao preenchimento de lajes, assentados entre as vigas. É um elemento de enchimento não estrutural com característica de ruptura frágil. As dimensões desse produto são especificadas segundo a NBR 14.859-2 (ABNT, 2016), podendo variar em relação à largura, altura e comprimento, como por exemplo: 08x20x40 cm, 07x10x30 cm. A Figura 10 e Figura 11 mostram como são essas medidas.

Figura 10 – Lajota Cerâmica (LC)



Fonte: ABNT, 2016

Figura 11 – Lajota Cerâmica (LC)



Fonte: LAJES TATU, 2021

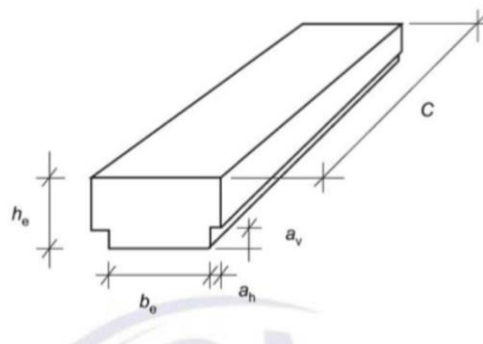
Da Figura 10 tem-se:

- h_e – altura da lajota cerâmica;
- b_e – largura da lajota cerâmica;
- C – comprimento;
- a_v – encaixe vertical;
- a_h – encaixe horizontal;

2.1.2.2 Lajota de EPS – poliestireno expandido (LEPS)

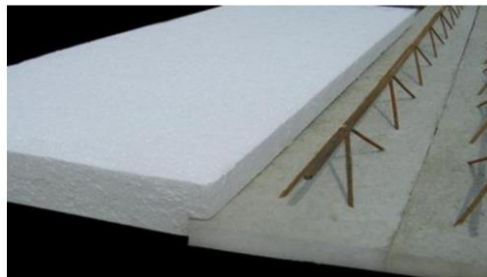
O EPS nada mais é do que um bloco recortado de Poliestireno Expandido, tem características muito favoráveis para utilização como enchimento de lajes, é leve, é resistente apesar de muito leve, sendo um excelente isolante térmico. O EPS é fornecido em diversas medidas, sendo algumas delas: 90x430x1000mm, 100x430x1000mm, 160x400x1000mm, entre diversos outros tamanhos. A Figura 12 e a Figura 13 ilustram como é a lajota de EPS.

Figura 12 – Lajota de EPS



Fonte: ABNT, 2016

Figura 13 – Lajota de EPS



Fonte: VIBRACOM, 2021

Da Figura 12 tem-se:

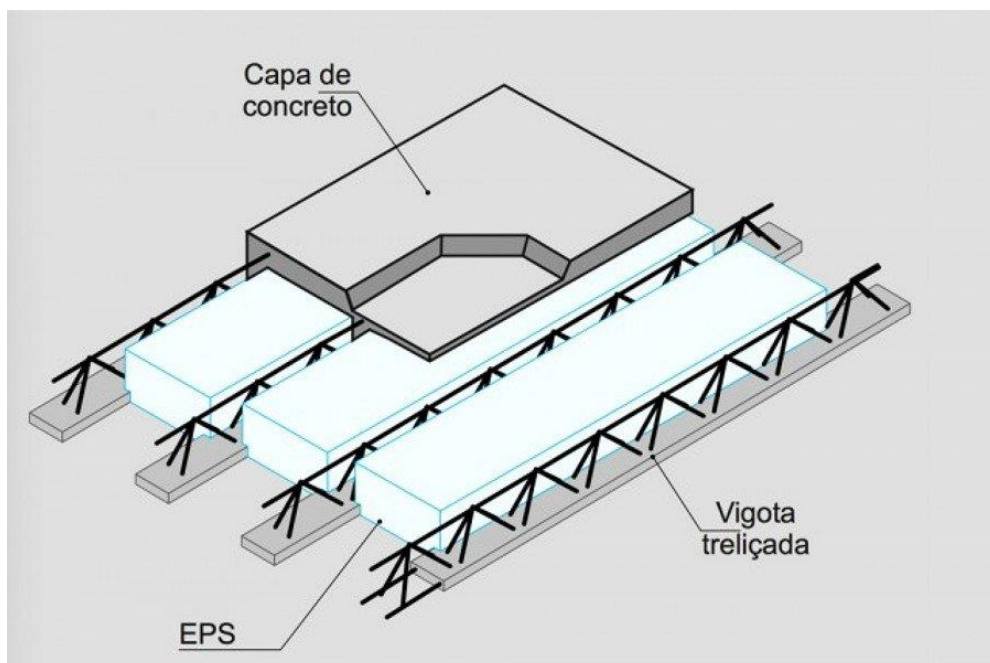
- h_e – altura da lajota de EPS;
- b_e – largura da lajota de EPS;
- C – comprimento;
- a_v – encaixe vertical;
- a_h – encaixe horizontal;

2.1.3 Capa de concreto

A capa de concreto é necessária na execução das lajes pré-fabricadas. A resistência do concreto irá depender de cada projeto estrutural. Normalmente essa etapa fica por conta do contratante, por isso a importância de um projeto bem detalhado, pois a aderência entre a laje e a capa de é fundamental (PINHEIRO, 2018).

A Figura 14 ilustra como é a capa de concreto em uma laje treliçada.

Figura 14 – Capa de concreto executada sobre a laje treliçada



Fonte: SALEMA PRÉ-FABRICADO, 2018.

2.2 LAJES TRELIÇADAS

As lajes treliçadas ou pré-fabricadas são as mais utilizadas em obras de pequeno e médio porte pela sua facilidade de instalação não necessitando de mão de obra especializada.

Segundo a norma NBR 14859-2 (ABNT, 2016), a laje treliçada é formada por vigotas estruturais, elementos de enchimento, armadura de aço e capa de concreto. A Figura 15 mostra o corte de uma laje treliçada para compreender melhor sua formação.

Figura 15 – Corte em laje de vigota treliçada



Fonte: PINHEIRO, 2018

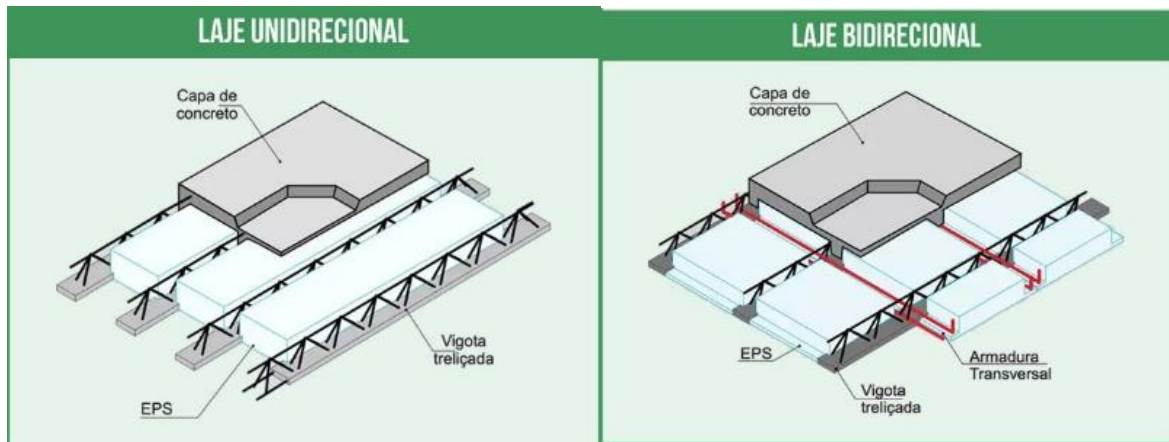
Segundo Pinheiro (2018) a treliça é obtida através fios ou barras de aço que ao passar por uma máquina para tomar sua forma, depois é soldada por fusão aos seus banzos inferiores e superior.

Pinheiro (2018) também descreve as fases de montagem da laje treliçada;

- Montagem das formas e preparação do escoramento;
- Colocação das vigotas treliçadas na posição;
- Colocação dos reforços designados;
- Colocação das armaduras designadas a resistir ao momento negativo;
- Limpeza e umedecimento da laje;
- Lançamento do concreto;
- Cura da laje e desforma;

As lajes pré-fabricadas podem ter suas nervuras principais em uma direção conhecida como lajes unidirecionais, ou em duas direções que são as lajes bidirecionais. A laje unidirecional quando submetida a forças concentradas, necessita de nervuras secundárias transversais perpendiculares às nervuras principais, já as lajes bidirecionais possuem nervuras transversais em duas direções ortogonais entre si (CAIXETA, 1998), como mostra a Figura 16.

Figura 16 – Corte em laje de vigota treliçada



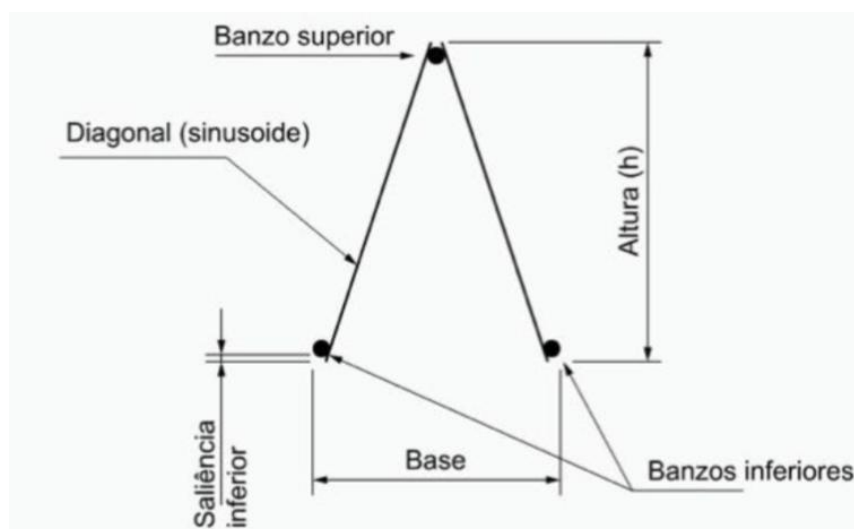
Fonte: AMAZON LAJE, 2019.

2.2.1 Armadura Treliçada Eletrossoldada

A armadura treliçada é uma armadura de aço pronta, pré-fabricada, em forma de estrutura espacial prismática. Ela é constituída por dois fios ou barras de aço paralelos na base (banzo inferior), um fio ou barra de aço no topo da treliça (banzo superior), por dois fios ou barras nas diagonais contínuas (sinusoides), e são interligadas por eletrofusão (caldeamento) (ABNT, 2016).

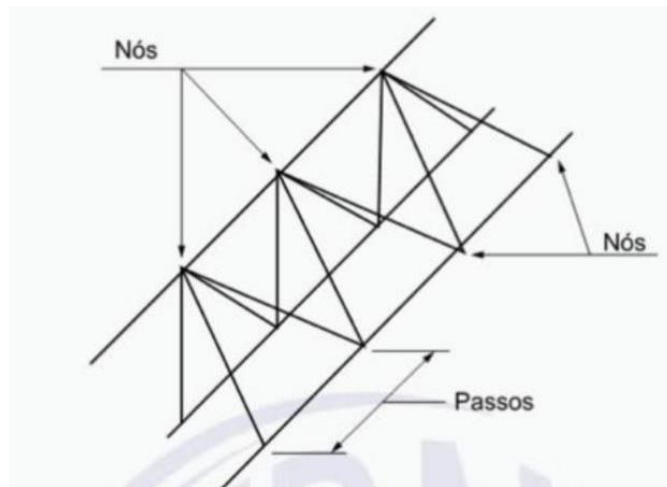
Nas Figuras 17 e 18 pode-se ver detalhadamente a armadura treliçada segundo a NBR 14859-2 (ABNT, 2016).

Figura 17 – Seção típica da laje treliçada



Fonte: ABNT,2016

Figura 18 – Perspectiva



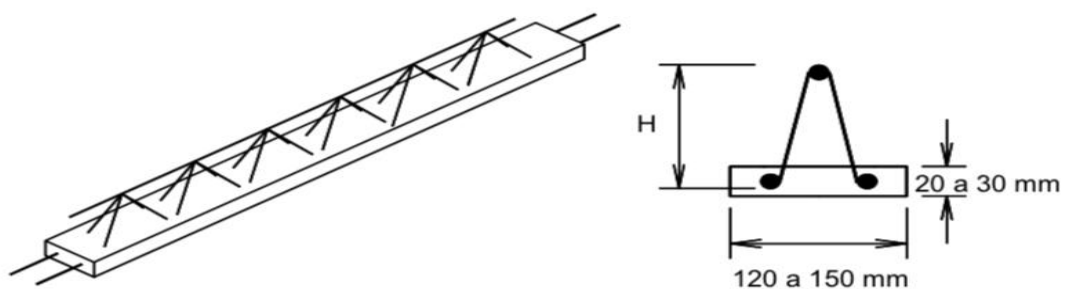
Fonte: ABNT,2016

Das Figuras 17 e 18 tem-se que:

- Nó – ponto de junção entre fios ou barras de aço;
- Altura (h) – distância da base ao banzo superior;
- Passo (p) – distância entre os eixos dos nós;
- Base (b) – distância entre as faces externas dos fios ou barras;
- Saliência inferior – distância entre a face inferior a face do sinusoide;

Segundo Gaspar (1997) quanto ao dimensionamento das armaduras tem algumas características padrões como: a altura entre o banzo inferior e o banzo superior, que variam entre 80 mm a 300 mm; a distância das barras inferiores e superiores da armadura ficam entre 80 mm a 110 mm; já a distância entre as duas barras diagonais é padrão por 200 mm. A Figura 19 e a Tabela 6, mostram os tipos de treliças utilizados.

Figura 19 – Vigota com armadura treliçada.



Fonte: GASPAR, 1997.

Tabela 6 – Tipos usuais de treliças

CÓDIGO TR(H)(BS)(D)(BI)	ALTURA H (cm)	DIÂMETRO (mm)		
		BS	D	BI
TR 08634	8	6	3,4	4,2
TR 12645	12	6	4,2	5
TR 16746	16	7	4,2	6
TR 20756	20	7	5	6
TR 25856	25	8	5	6

Fonte: DROPPA JUNIOR, 1999.

2.2.2 Principais vantagens da laje treliçada.

São inúmeras as vantagens deste método construtivo devido a sua facilidade de construção e não necessidade de mão de obra especializada para montagem. Algumas das vantagens da laje treliçada são, (VIBRACOM, 2021):

- Redução de vigas e pilares;
- Execução mais rápida;
- Redução de mão de obra, fácil manuseio;
- Redução de concreto e de escoramentos;
- Tubulação elétrica e hidráulica embutidas na laje;
- Redução de perda e quebra;
- Facilidade de transporte devido ao seu baixo peso;
- Não necessita de mão de obra especializada;

2.2.3 Principais desvantagens da laje treliçada

A laje treliçada apresenta algumas desvantagens quando comparada com outras lajes. Devido ao seu material, fica mais difícil fazer furos e aberturas na sua parte inferior, assim se torna necessário a aplicação de alguns materiais mais aderentes como, chapisco ou gesso para que possa ser executado o revestimento da parte inferior.

2.3 LAJE DE VIGOTA PROTENDIDA

O desenvolvimento da tecnologia da protensão certamente constitui-se em uma das mais importantes melhorias no campo da engenharia estrutural. A laje protendida ou laje de armadura ativa, é um elemento estrutural que faz parte da superestrutura da edificação, na qual sua principal função é aumentar a resistência do concreto, permitindo vencer grandes vãos. As normas atuais definem como peças estruturais de concreto protendido aquelas que, por meio da aplicação de forças, tornam-se comprimidas de forma a eliminar total ou parcialmente as tensões de tração quando colocadas em serviço, ou ainda, eliminar apenas uma parcela dessas tensões (MORAES, 1999).

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

A protensão, portanto, pode ser definida como o artifício de introduzir, numa estrutura, um estado prévio de tensões, de modo a melhorar sua resistência ou seu comportamento, sob ação de diversas solicitações. A aplicação da protensão pode então anular ou reduzir consideravelmente as tensões de tração presentes no concreto, evitando que fissuras expressivas surjam, as quais prejudicam a estética e a durabilidade das peças. Esta aplicação promove, antes de a estrutura ser carregada, tensões permanentes de compressão nas áreas tracionadas, manipulando as tensões internas e obtendo-se uma contribuição da área total da seção para a inércia da mesma, uma vez que não haverá fissuras (PFEIL, 1984).

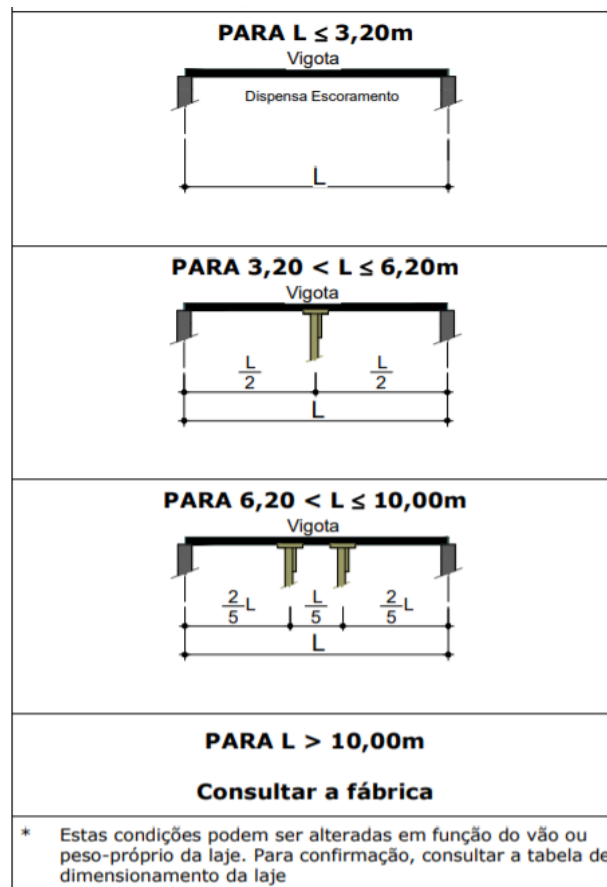
Existem basicamente dois sistemas, de acordo com o momento da aplicação da protensão: o sistema com pré-tração, no qual os cabos são tensionados antes da concretagem do elemento estrutural, e o sistema pós -tração, em que o tensionamento dos cabos é feito após o concreto ter atingido uma resistência mínima especificada no projeto.

2.3.1 Características da laje protendida

O aço utilizado normalmente na laje protendida são fios para protensão de bitola 4 mm entalhados. As lajes pré-fabricadas protendidas são compostas por nervuras pré-fabricadas em concreto protendido (vigotas) e elementos de enchimento (lajotas) que podem ser de cerâmica, concreto ou EPS. Quanto maior a altura do elemento de enchimento, maior será a altura final

da nervura e, conseqüentemente, maior os esforços resistentes da laje. Estas vigotas podem suportar o carregamento da fase executiva sem auxílio de escoramento ou, nos casos de vãos maiores ou lajes mais pesadas, com auxílio de escoramento que deve ser executado antes da montagem das vigotas, conforme a Figura 20. (CONCREVIGA, 2014).

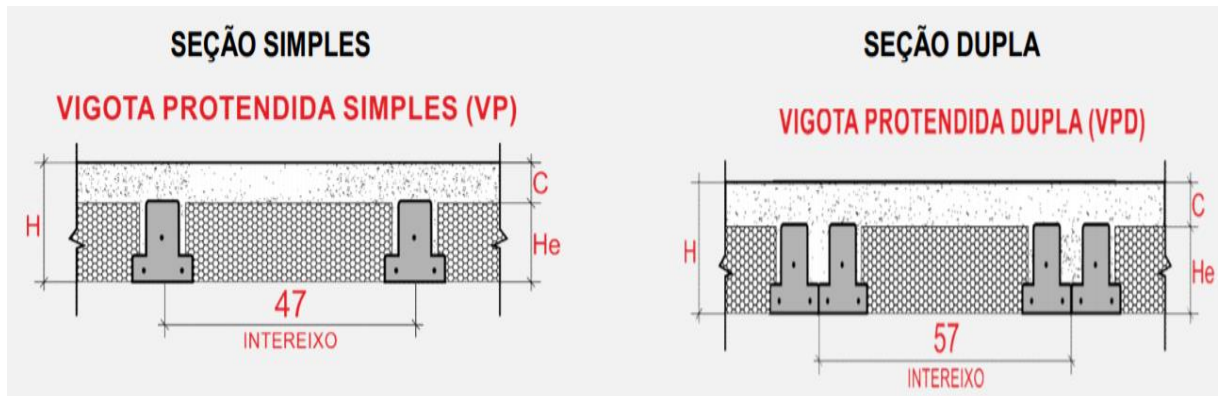
Figura 20 – Condições de escoramento para as lajes protendidas



Fonte: TATU PRÉ-MOLDADOS, 2019

As lajes pré-moldadas protendidas podem ser do tipo de simples que é apenas uma vigota e em seguida vem com o enchimento ou do tipo dupla na qual são duas vigotas juntas e em seguida o enchimento. A vigota dupla suporta vãos maiores, mais peso e o entre eixo de uma viga a outra é maior, já a vigota simples é o oposto. Na Figura 21 pode ser observado como elas devem ser colocadas. (CONCREVIGA, 2014)

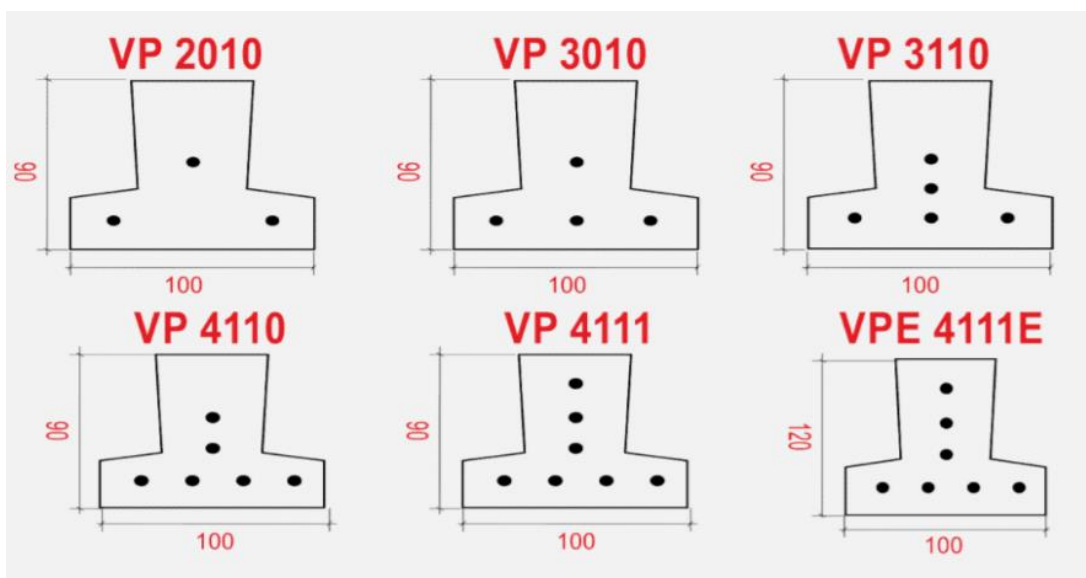
Figura 21 – Tipos de seção



Fonte: CONCREVIGA, 2014

A quantidade de aço que vai dentro da viga protendida pode variar de acordo com a necessidade que o projetista precisa para cada projeto. A quantidade de aço varia entre 3 e até 7 fios de aço dentre da vigota, para a quantidade existe um código por exemplo: Para 3 aços o código é 2010, que significa que a vigota possui 2 fios na posição 1, nenhum fio na posição 2, um fio na posição 3 e nenhum fio na posição 4. A altura da viga protendida (VP) é a mesma independentemente da quantidade de fios 9 cm de altura, exceto para o VP 4111E (7 fios especial), que é de 12cm. Na Figura 22 e na Tabela 7 é possível compreender melhor. (VIBRACOM, 2018).

Figura 22 – Quantidade de fios.



Fonte: CONCREVIGA, 2014.

Tabela 7 – Tabela de aço

TABELA DE AÇO – FIO CP 175 RB		
Vigota	Seção vigota	Qtd. de fio de aço
VP 2010	10x9 cm	3
VP 3010	10x9 cm	4
VP 3110	10x9 cm	5
VP 4110	10x9 cm	6
VP 4111	10x9 cm	7
VP 4111E	10x12 cm	7

Fonte: CONCREVIGA, 2014

Da Tabela 7 tem-se:

- CP - Concreto Protendido;
- 175 - Resistência característica de ruptura em KN/cm²;
- RB - Relaxação Baixa;

2.3.2 Processo de Fabricação da Vigota Protendida

As indústrias de produção de vigas protendidas são constituídas de pistas de protensão bastante extensas que chegam a cerca de 150 metros de comprimento. No início e no final das pistas existem os blocos de ancoragem, chamados cabeceiras, que são elementos estruturais com fundação reforçada para suportar a tendência de tombamento gerada pela tensão aplicada nos cabos de protensão. Nas cabeceiras, existem chapas de aços furadas em pontos estratégicos usados para ancorar a armadura. Entre a pista e a cabeceira é colocado os moldes das vigotas.

São esses moldes que permite posicionar corretamente os cabos nas pistas, esses moldes podem ser trocados de acordo com a quantidade dos fios que a vigota terá.

Na Figura 23 é possível ver um pouco da pista de fabricação da laje protendida e na Figura 24 mostra uma das cabeceiras da pista.

Figura 23 – Pista de laje Protendida.



Fonte: VIBRACOM, 2021

Figura 24 – Cabeceira de Protensão



Fonte: VIBRACOM, 2018

Para iniciar o processo de fabricação a pista deve estar limpa e com a aplicação de desmoldante, logo após os cabos de aço são distribuídos de modo que passem pelos moldes das cordoalhas e pelas chapas de ancoragem no início e no fim da pista. Em um dos lados da cabeceira os cabos são ancorados, enquanto na outra cabeceira é feito a protensão dos cabos, feita com um macaco hidráulico de protensão, como mostra a Figura 25. Após os cabos tensionados inicia-se a concretagem da vigota, que é feita com o uso da moldadora deslizante, que é uma máquina capaz de moldar e compactar o concreto. A medida que a moldadora vibra ela se desloca na pista e forma à seção da vigota protendida. Logo após a concretagem a pista é tampada por uma lona para que não haja perda excessiva de água do concreto, consequentemente não perdendo a resistência do concreto. Na fabricação da laje protendida normalmente é utilizado cimento de alta resistência já nos primeiros dias, possibilitando assim que nas 48 horas após a concretagem da pista. Pode ser feita á liberação da protensão nas

vigotas, na qual é feita marcações na pista de acordo com os tamanhos de vigotas necessária. O corte é feito por uma serra diamantada refrigerada com água. Após feito os cortes, as lajes estão prontas para ser transportada para o cliente ou estocada. (VIBRACOM, 2018).

Figura 25– Macaco Hidráulico de Protensão



Fonte: WEILER, 2019

2.3.3 Principais vantagens da laje protendida

A protensão aplicada no concreto consiste na introdução de movimentos repetitivos e rápidos na viga, que ajudam a anular ou reduzir tensões das trações no concreto. Surgindo grandes vantagens para a utilização da laje protendida como:

- Evita o surgimento de fissuras precoces;
- Capacidade de vencer grandes vãos sem o uso de pilares, colunas ou vigas;
- Facilidade de menor consumo de concreto;
- Redução e até eliminação do escoramento;
- Menor peso próprio;
- Maior velocidade na desforma e retirada se escoramentos;

2.3.4 Principais desvantagens da laje protendida

A laje protendida consiste na associação entre cordoalhas engraxadas e armaduras de laje, reduzindo tensões de tração e criando, portanto, um elemento estrutural plano com tamanha

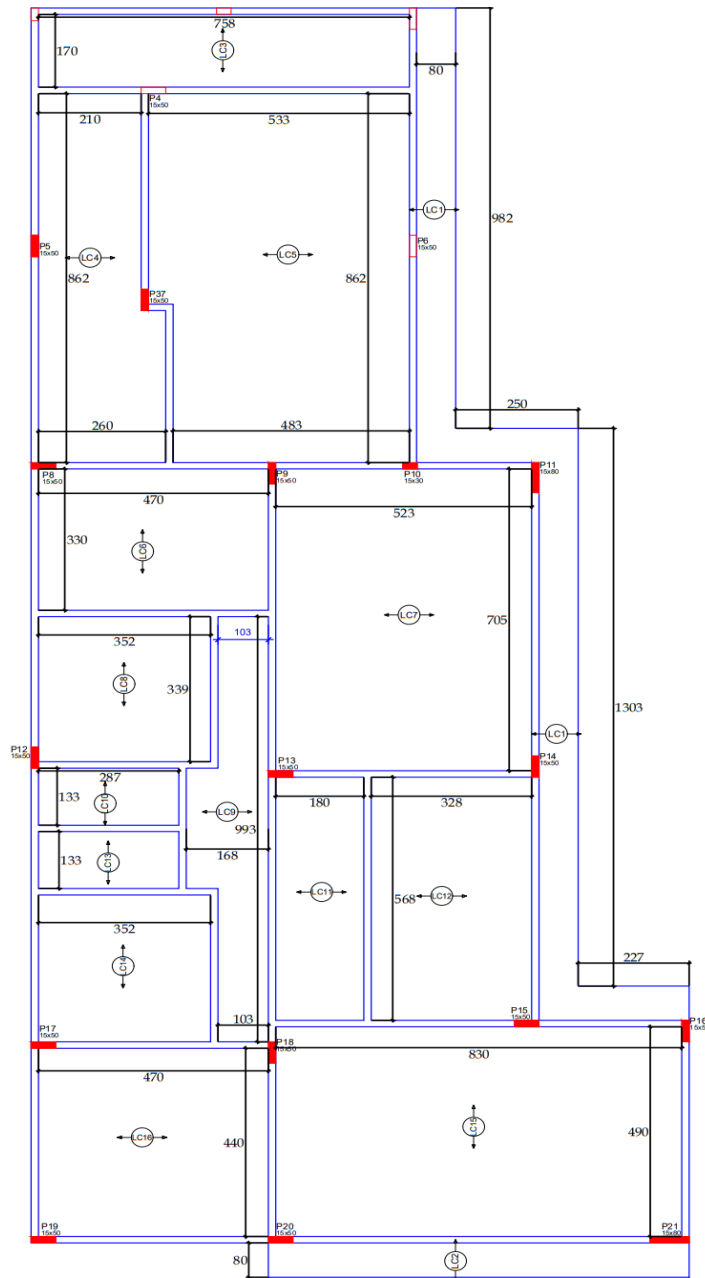
resistência capaz de substituir o uso de vigas, as quais reduziriam a quantidade escoras, com isso surge algumas desvantagens tais como:

- Falta de mão de obra especializada;
- Conforme a geometria da estrutura, esta técnica pode ser inviável;
- É preciso concreto de alta resistência, o que nem sempre é possível conseguir devido ao seu custo mais elevado ou indisponibilidade no local da obra;
- Boa qualidade do concreto durante a produção, a execução e compactação, o que necessita maiores cuidados;
- Requer aço de alta resistência, o que custa até 3 vezes mais que o aço comum utilizado no concreto armado;
- Requer bastante supervisão durante todas as fases da construção;

3 ESTUDO DE CASO

Para a realização da comparação entre as lajes treliçada e protendida, foi analisada uma casa residencial térrea localizada no município de Anápolis – GO. A residência consta uma área de 291,09 m², com uma sobrecarga de 100 kfg/m². Através de uma análise e calculo técnico do projeto estrutural foi possível determinar o tipo e a quantidade de ferragens, enchimento, altura da laje e escoras a serem usados em cada tipo de laje. Na Figura 26 mostra o projeto estrutural, que está sendo analisado.

Figura 26 – Projeto Estrutural



Fonte: VIBRACOM, 2021

3.1 LAJE TRELIÇADA

A Figura 27 mostra o projeto de montagem da laje treliçada, sendo que, para laje treliçada será usada uma treliça (TR) de altura (h) = 8 cm (644), (na qual os números 644 significam respectivamente: diâmetro do fio superior 6.0mm, diâmetro do fio inferior 4.2mm e diâmetro do fio sinusóide 4.2mm, como mostra a Figura 28), mais a capa de concreto de 4 cm, sendo assim, uma altura de laje total de h=14.

Figura 27 – Projeto de Montagem da Laje Treliçada

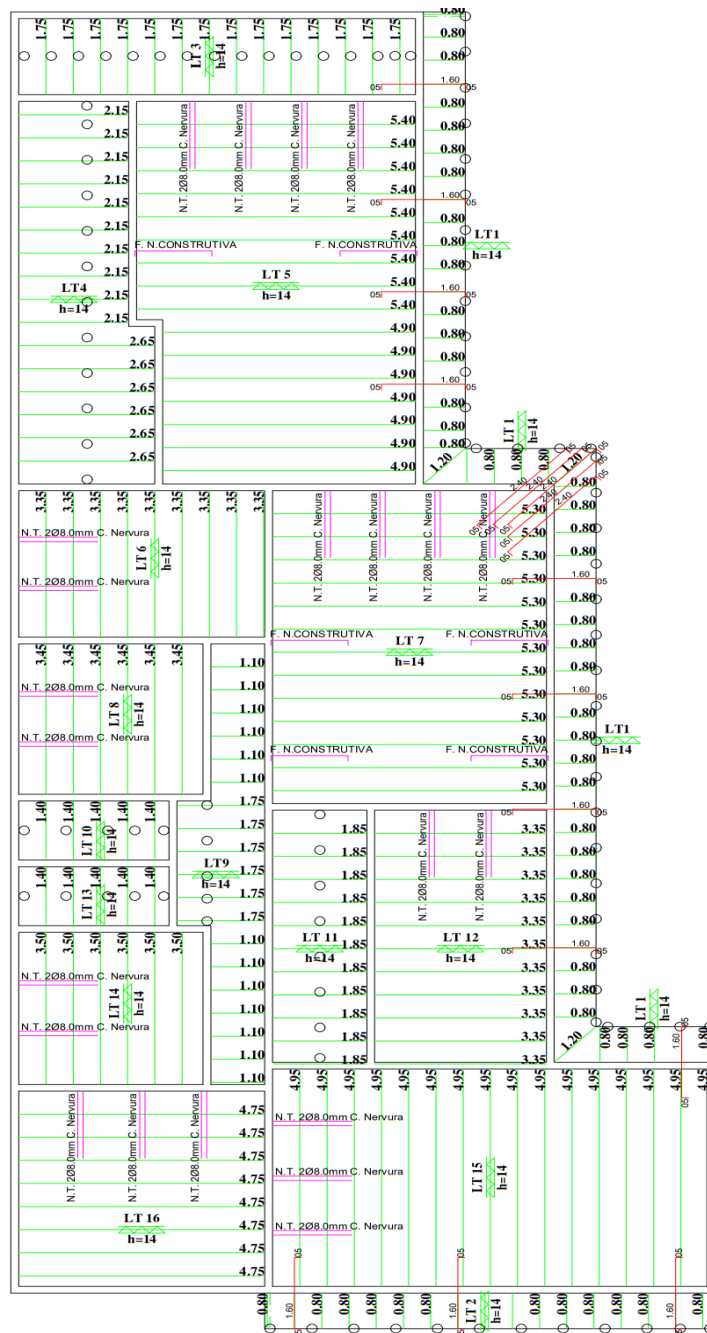
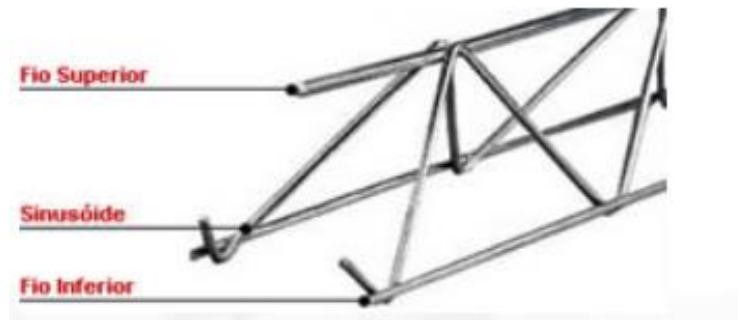


Figura 28 – Treliça



Fonte: PUMA, 2020

Serão necessárias aproximadamente 560 peças de TR 8 de 12m cada para a fabricação da laje, sendo os cortes das TRs variando entre 0,80 m a 5,40 m. O material de enchimento orçado foi a lajota em EPS por ser mais leve que a lajota cerâmica, reduzindo assim o esforço nos pontos de apoio, com isso, possibilitando o uso de uma TR mais baixa, fazendo com que diminua o custo da obra. A quantidade de EPS necessária será de 554 peças de 10x43x100 cm, ou seja 23,82m³ de EPS. Além de ser usado as vigotas e o material de enchimento, outros materiais que devem existir na laje treliçada para evitar deformações na laje, na qual serão citados a seguir, seguindo o projeto de montagem fornecida pela a empresa Vibracom.

3.1.1 Ferragens Complementares

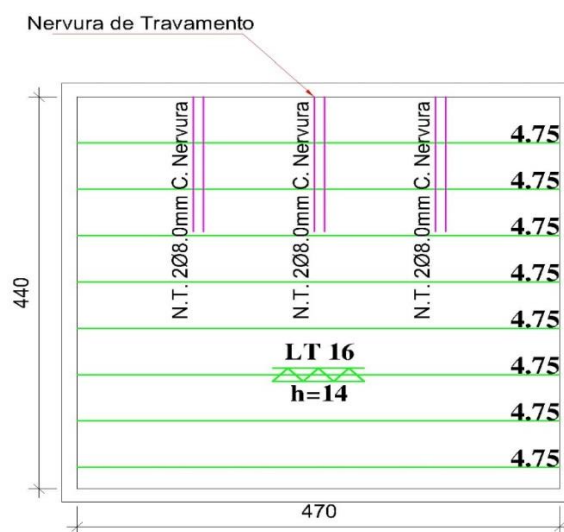
Para evitar o cisalhamento e deformações na laje é necessário, após ao posicionamento das vigotas e de material de enchimento, colocar algumas ferragens na laje treliçada. No projeto orçado foi determinado algumas ferragens, tais como: ferragem de nervura de travamento, malha de distribuição, ferragem negativa construtiva e ferragem negativa do beiral em balanço. Para o uso dessas ferragens deve se ser feito cálculos para saber em quais vãos de lajes que será necessário o uso delas e o diâmetro do aço, na qual deverá constar no projeto de montagem da laje.

3.1.2 Ferragem de Nervura de Travamento

A nervura é uma ferragem perpendicular ao trilho, colocada em todo o comprimento do vão. Têm a função de dar estabilidade lateral às vigotas, travando o painel da laje e aumentando assim a rigidez do conjunto, reduzindo vibrações e deformações na laje. Para vãos

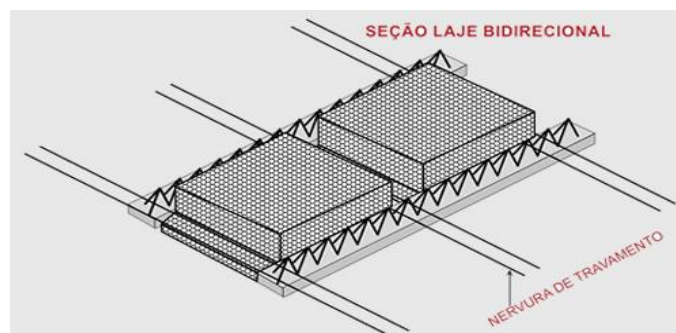
livres a partir de 2,70 m devem ter nervura de travamento com o espaçamento de a cada 1,30 m. O tipo de aço e a quantidade a ser usado em cada nervura varia de acordo com a altura da laje. Para alturas até $H=14$ são usados $2\text{Ø}8.0$ mm, já para alturas maior que $H=14$ e menor que $H=20$ é necessário $4\text{Ø}8.0$ mm e para altura maior ou igual a $H=20$ serão $4\text{Ø}10.0$ mm. No projeto que está sendo analisado será usado $2\text{Ø}8.0$ mm. Como exemplo pode-se observar na Figura 29 e Figura 30.

Figura 29 – Nervura de Travamento



Fonte: VIBRACOM, 2021

Figura 30 – Nervura de Travamento



Fonte: ESTRUTURAL LAJES, 2019

3.1.3 Malha de Distribuição

Uma armadura de distribuição serve para distribuir as tensões que surgem de cargas concentradas e também para controlar a fissuração. Ela é colocada na capa, em sentido transversal e longitudinal, para complementar. O dimensionamento dessa armação pode variar

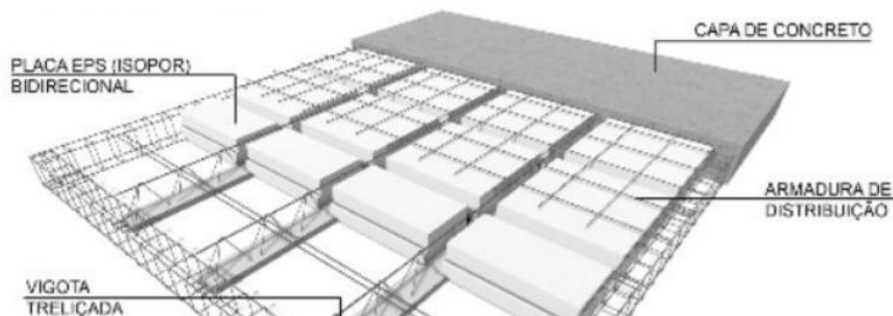
conforme a sobrecarga da laje. No projeto de montagem de laje tem que está mostrando qual a malha ideal para o tipo de laje e sobrecarga atuante na laje. Para o projeto em estudo será usada a malha Q92 reforçada 15x15 cm. A Tabela 8 mostra alguns tipos de malhas. E a Figura 31 mostra seu posicionamento na laje.

Tabela 8 – Tipo de Malhas de Distribuição

Especificação	Tipo	Malha (cm)	Ø	Largura	Comp.	Peso
Q45	Leve	20 x 20	3,4 mm	2 m	3 m	4,3 kg
Q61	Média	15 x 15	3,4 mm	2 m	3 m	6,0 kg
Q92	Reforçada	15 x 15	4,2 mm	2 m	3 m	9,0 kg

Fonte: LAJES REAL, 2018

Figura 31 – Malhas de Distribuição

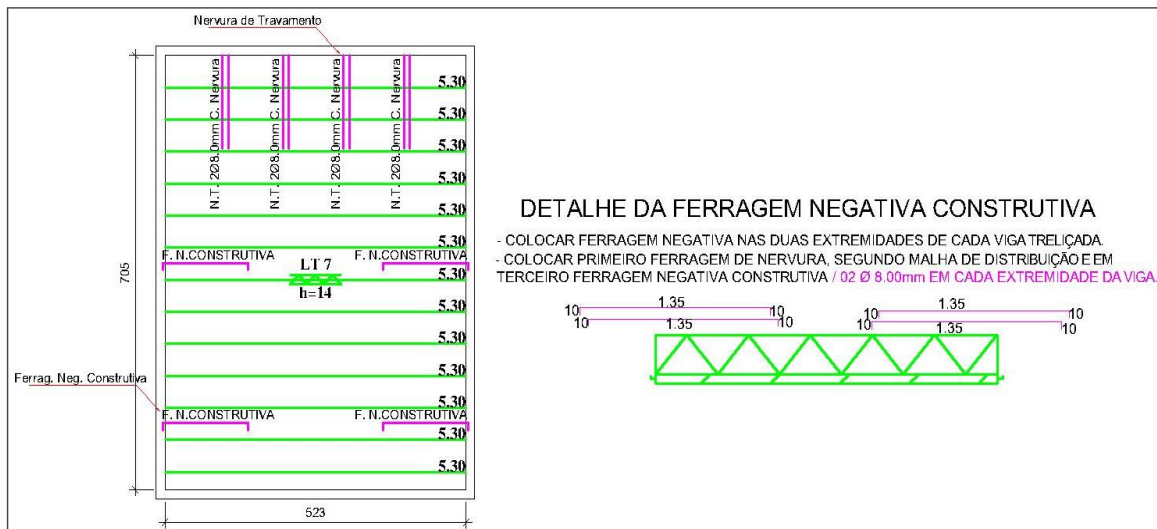


Fonte: LAJES REAL, 2018

3.1.4 Ferragem Negativa Construtiva

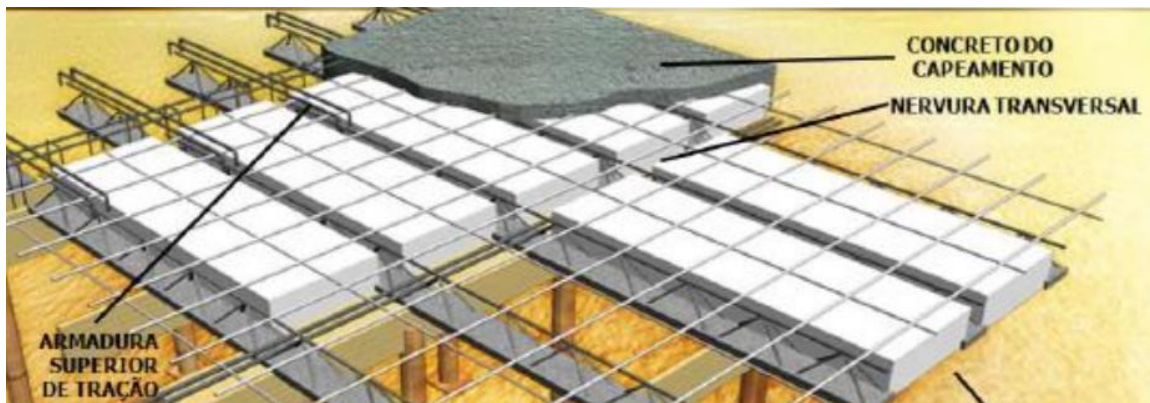
Ferragem negativa construtiva ou armadura superior de tração é uma ferragem distribuída no mesmo sentido das vigas. Sua função é fazer a ligação entre lajes e vigas proporcionando rigidez e monoliticidade ao conjunto dos elementos estruturais. Serve também para combater as fissuras, evitando assim o cisalhamento e sua oxidação. No projeto de montagem de laje, deste estudo de caso, a ferragem é usada em vãos livres a partir de 5,00 m. Elas devem ser colocadas depois de adicionada a ferragem de nervura de travamento e malha de distribuição. Devem ser posicionadas nas duas extremidades com $2\text{Ø}8.0$ mm em cada vigota treliçada. A ferragem tem comprimento igual a $\frac{1}{4}$ do tamanho do vão livre, arredondando sempre para cima. A Figura 32 e Figura 33 detalha melhor como funciona.

Figura 32 – Ferragem Negativa Construtiva



Fonte: VIBRACOM, 2021

Figura 33– Armadura Superior de Tração

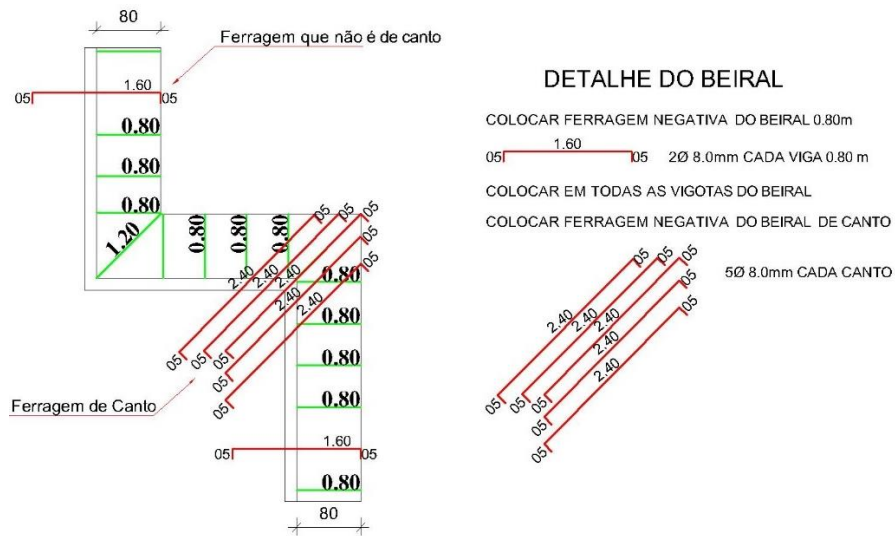


Fonte: ESTRUTURAL LAJES, 2019

3.1.5 Ferragem Negativa do Beiral em Balanço

A ferragem negativa deve ser distribuída no mesmo sentido das vigas, e  utilizada para garantir o apoio das vigas tanto nas laterais como nos apoios intermediários formando a continuidade nos encontros das vigas. A ferragem deve ser colocada em todas as vigotas dos beirais, podendo variar o aço a ser utilizado de acordo com o tamanho do beiral. Para beirais até 0,80 m Ø6.3 mm, beirais de 0,80 m até 1,50 m Ø8.0 mm e para beirais maior e igual a 1,50 m Ø10.0 mm. Para beirais onde não for de canto o tamanho da ferragem  2 vezes o tamanho de beiral e usa 2Ø em cada viga, já quando houver beiral de canto o tamanho dever ser 3 vezes o tamanho de beiral e usa 5Ø em cada canto. Observar a Figura 34 e Figura 35.

Figura 34 – Ferragem Negativa do Beiral



Fonte: VIBRACOM, 2021

Figura 35 – Ferragem Negativa do Beiral



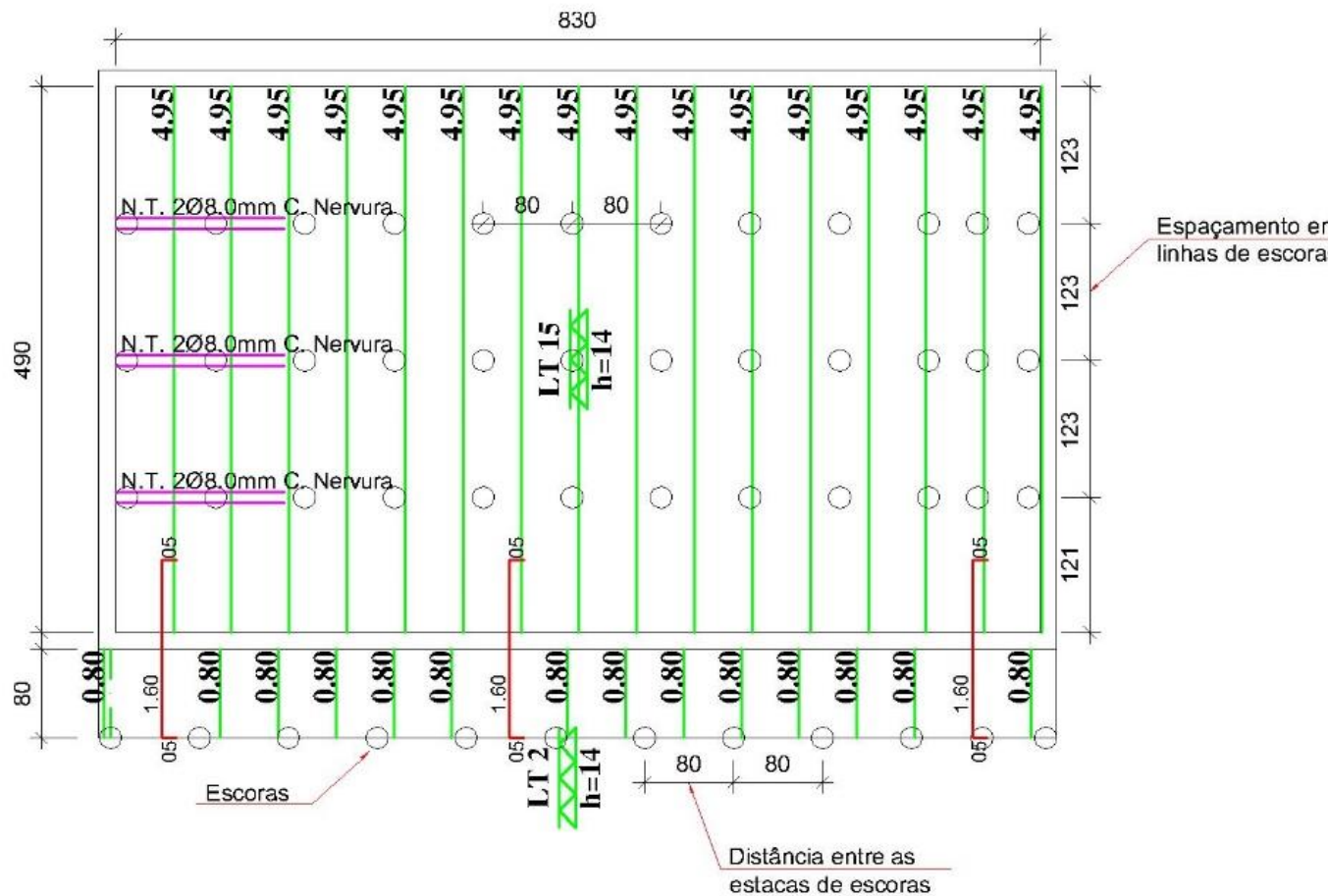
Fonte: VIBRACOM, 2018

3.1.6 Escoramento

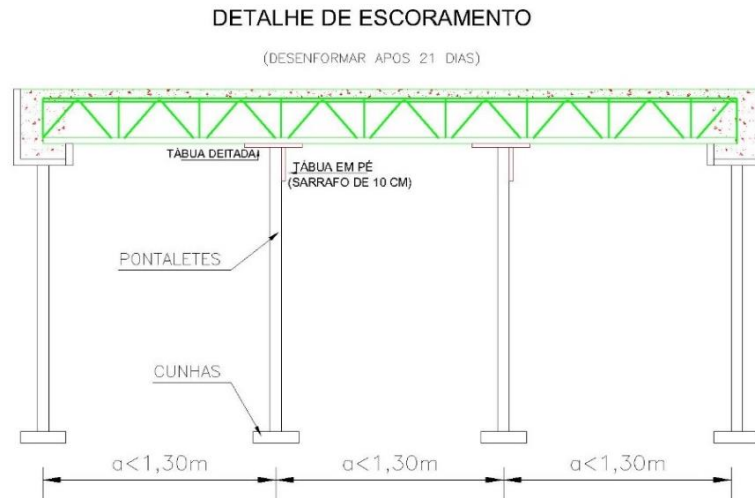
Escoras é fundamental para execução de lajes, o escoramento é responsável por suportar as cargas atuantes (peso próprio do concreto, movimentação de operários e equipamentos etc.) e transmitindo-as ao piso ou ao pavimento inferior. As escoras podem ser metálicas ou de madeira, será utilizado o escoramento de madeira. O escoramento deve ser feito no sentido inverso ao de apoio das vigotas, com espaçamento máximo entre as linhas de escoras de 1,30 m, ou seja, só haverá escoras na laje treliçada onde o vão livre for a partir de 1,30 m e se as vigotas treliçadas forem apoiadas nas duas extremidades. Caso a laje for em balanço, ela deverá ser escorada independentemente do tamanho do vão livre. A distância máxima entre os

pontaletes de escoramento não deve ultrapassar 0,80 m, como mostra na Figura 28. É necessário colocar uma tábua deitada (longarina) por toda o comprimento da linha de escora de 30 cm de largura, entre a viga e o pontalete, para que as cargas atuantes sejam distribuídas iguais em os todos pontaletes. É preciso usar uma tabua em pé (sarrafo) de no mínimo 10cm. O sarrafo é usado para evitar consequências indesejáveis da deformação do escoramento e ações causada pelo vento. O escoramento só deverá ser retirado 21 dias após a concretagem. Observar a Figura 36 e a Figura 37.

Figura 36 – Escoramento



Fonte: VIBRACOM, 2021

Figura 37 – Detalhe de Escoramento

Alguns vãos estão sujeitos a surgir uma flecha causando deformação na laje e para combatê-lo é preciso fazer um contra flecha, que é uma elevação na linha de escora, utilizando-se cunhas que são colocadas no pé das escoras que se deseja suspender. A contra flecha é muito importante para a qualidade final da laje, pois é através dela que irá contrabalancear as deformações causadas pelos carregamentos acidentais e permanentes (flechas). A altura dessa elevação irá depender do tamanho do vão, da sobrecarga e altura da laje. A elevação deve ser feita de acordo com o projeto de montagem da laje, para o projeto que esta sendo analisado será necessário uma contra flecha de 1,40 cm nos vãos de 5,33 e 5,23 e uma de contra flecha de 1,10 m nos vãos de 4,70m, 4,83 m e 4,90 cm. Nas Figura 38 e 39 mostram como funciona a contra flecha.

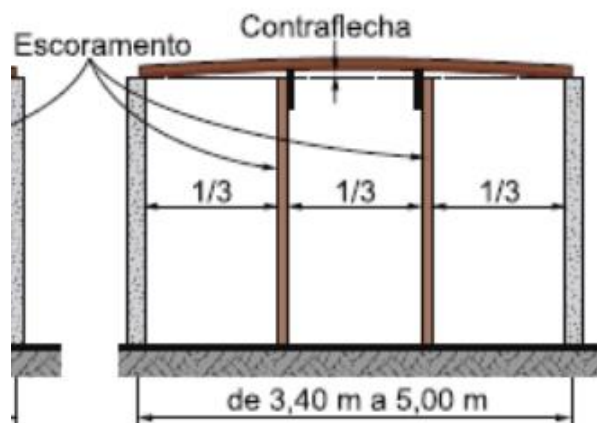
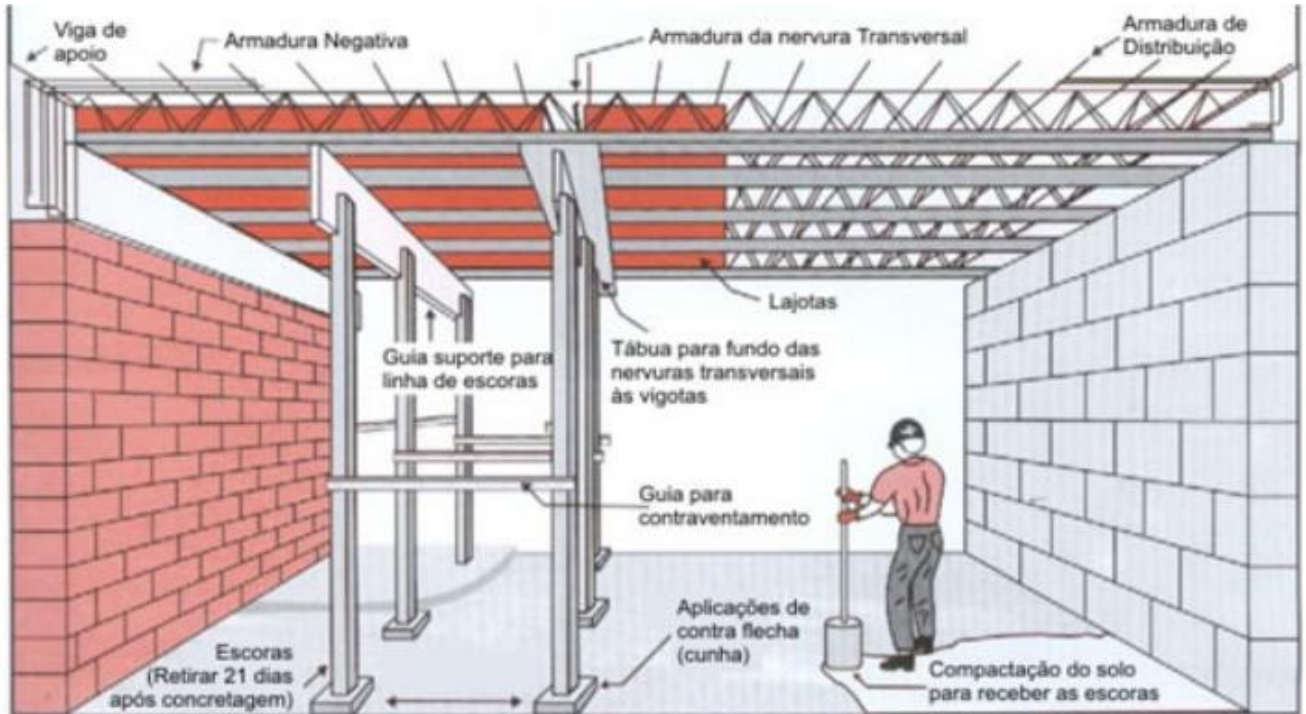
Figura 38 – Contra Flecha

Figura 39 – Contra Flecha

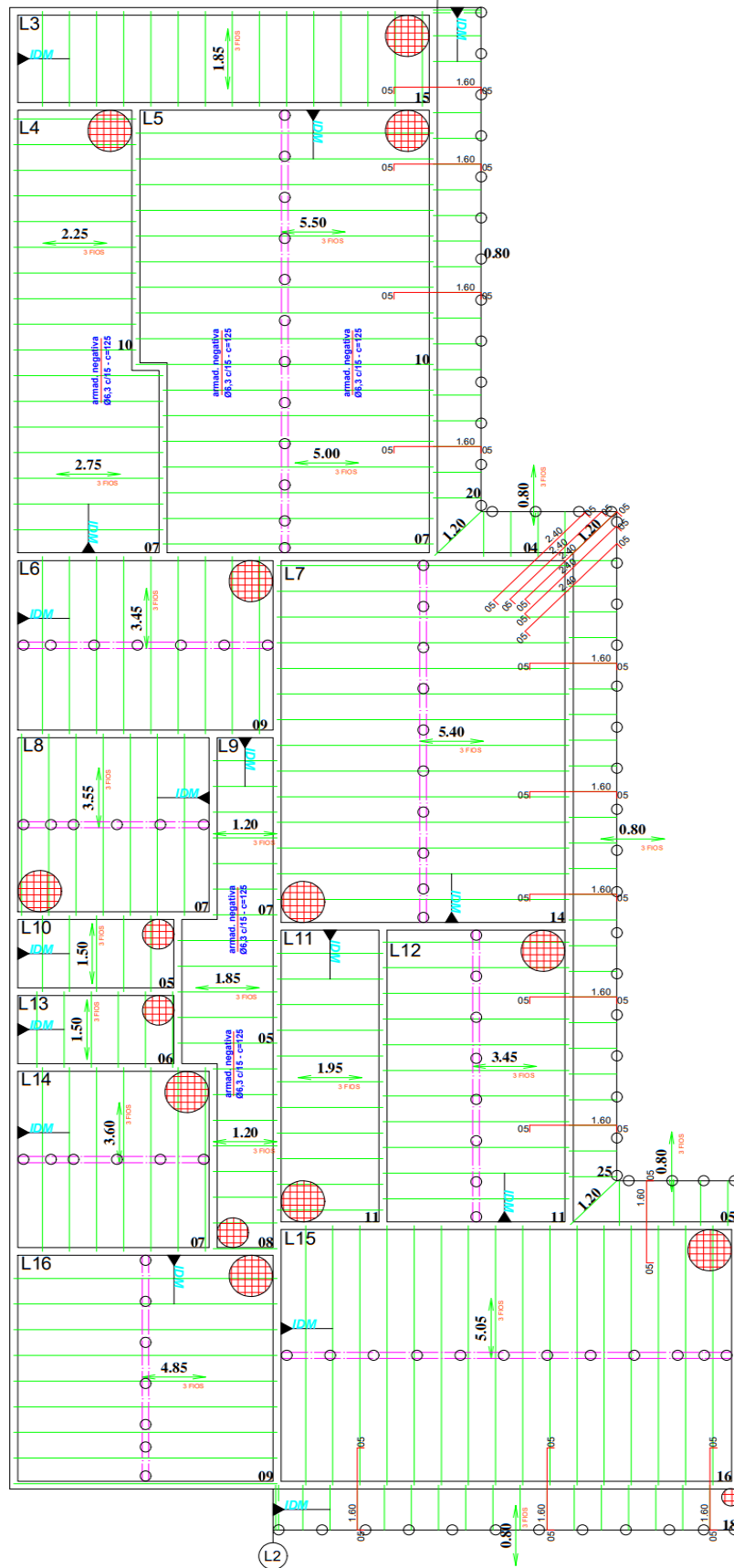


Fonte: CONCREVIGA, 2016

3.2 LAJE PROTENDIDA

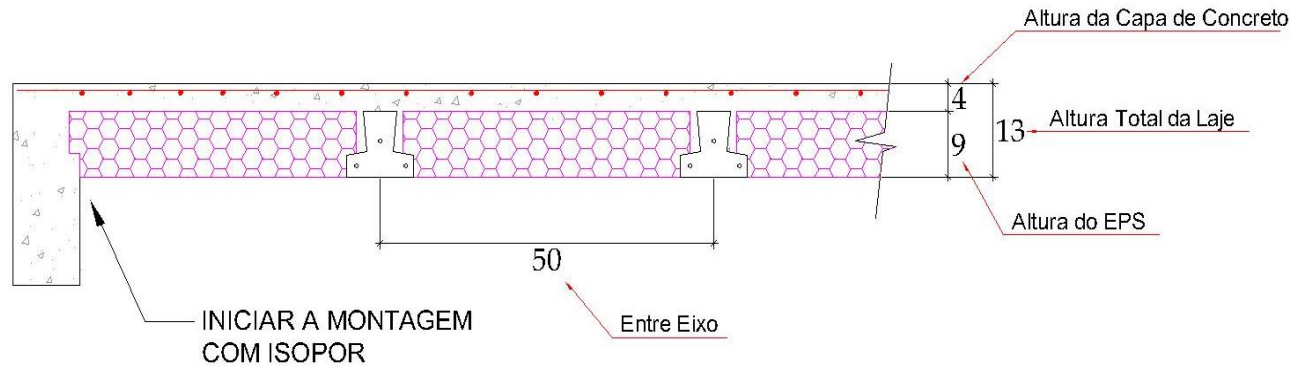
A Figura 40 mostra o projeto de montagem da laje protendida que está sendo analisado, com a sobrecarga da laje de 100 kgf/m^2 , será usado na laje protendida uma altura 13 cm, sendo 9 cm de altura do enchimento (considerando EPS), mais 4 cm da capa de concreto, altura total da laje $h=13$. Serão gastos para essa obra 618 peças de EPS, que é igual a $23,92 \text{ m}^3$ de EPS de $09 \times 43 \times 100 \text{ cm}$. Observar a Figura 41 e a Figura 42.

Figura 40 – Projeto de montagem da Laje Protendida



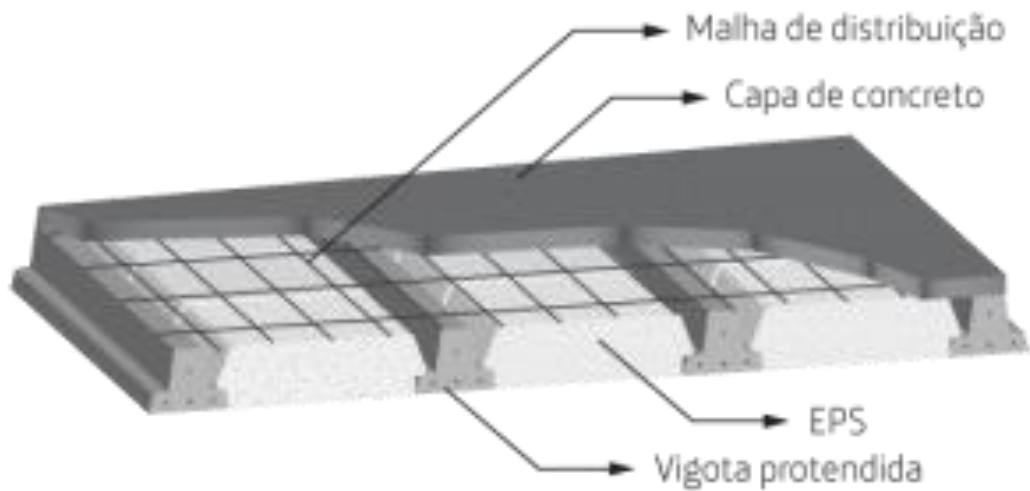
Fonte: VIBRACOM, 2021

Figura 41 – Altura da Laje



Fonte: VIBRACOM, 2021

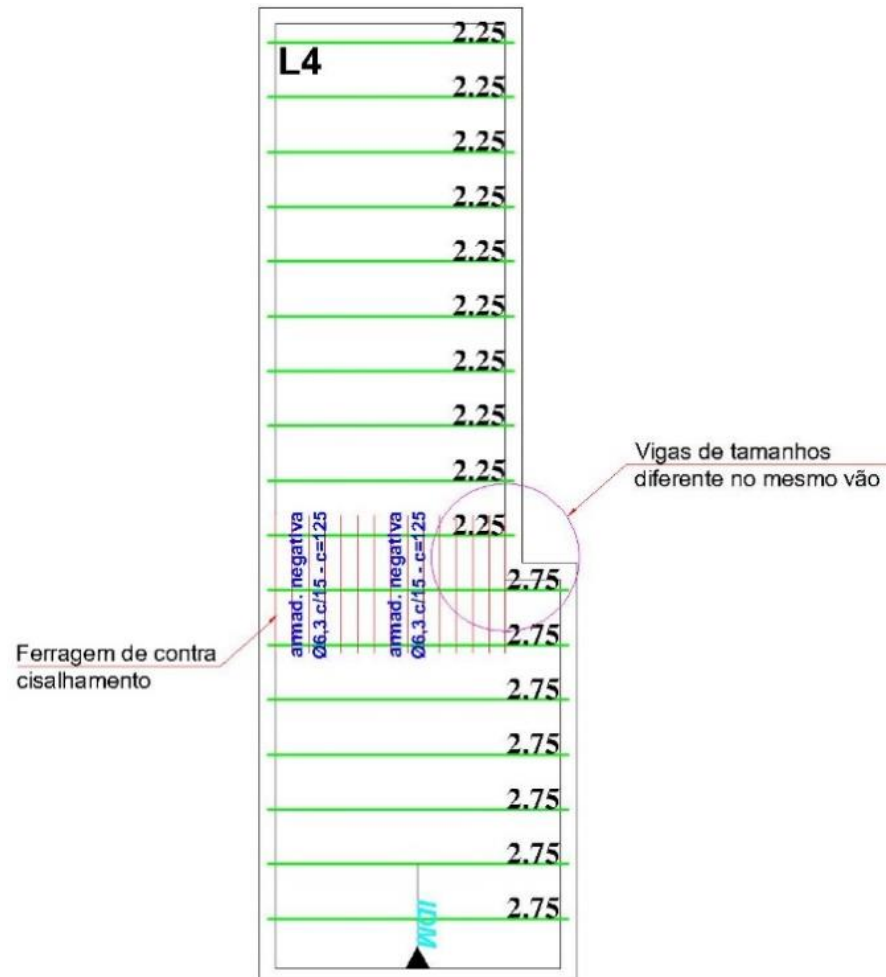
Figura 42 – Altura da Laje



Fonte: VIBRACOM, 2021

Para laje protendida será necessário utilizar ferragem negativa de beiral na qual o cálculo do tamanho e os ferros a ser usados segue o mesmo critério de cálculo da laje treliçada, visto anteriormente. A malha de distribuição será a Q45 para a laje protendida e deverá ser colocada em todos os vãos. Quando há no projeto trilhos com medidas diferentes nos mesmos vãos, no encontro dessas duas medidas está sujeito a ter cisalhamento, e para evitar que ele ocorra é necessário colocar ferragem de contra cisalhamento $\varnothing 6,3$ c/15 - c=1,25 m. Observar a Figura 42.

Figura 42 – Ferragem Contra Cisalhamento



Fonte: VIBRACOM, 2021

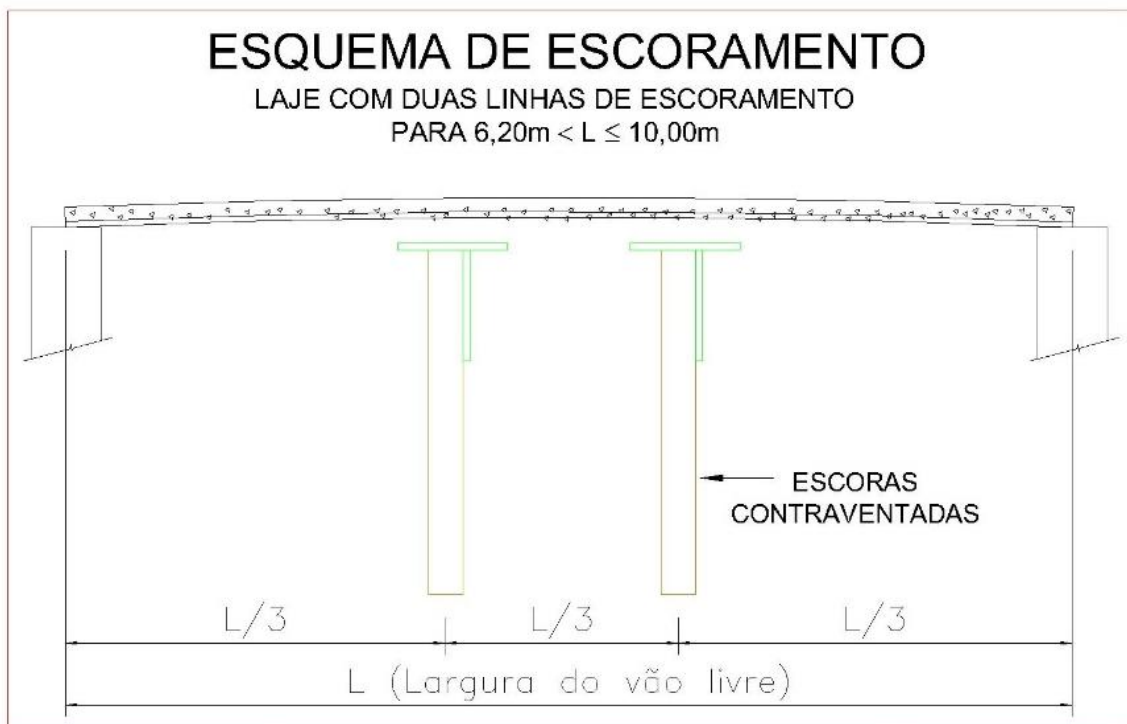
O escoramento feito na laje protendida deve ser feito no sentido inverso ao de apoio das vigotas, caso a laje for em balanço, ela deverá ser escorada independentemente do tamanho do vão livre. A distância máxima entre os pontaletes de escoramento não deve ultrapassar 0,80 m, assim como na laje treliçada, com a diferença de que vãos livres a partir de 3,20 m até 6,20 m necessário o uso de apenas uma linha de escora, como mostra a Figura 43. E para vãos entre 6,20 m e 10,00 m é preciso a instalação de duas linhas de escoras, observar a Figura 44. Já para vãos de 10,00 m até 12,00 utilizar três linhas de escoras como mostra a Figura 45. A retirada das formas e escoramento pode ser feito 14 dias após a concretagem da laje.

Figura 43 – Uma Linha de Escora



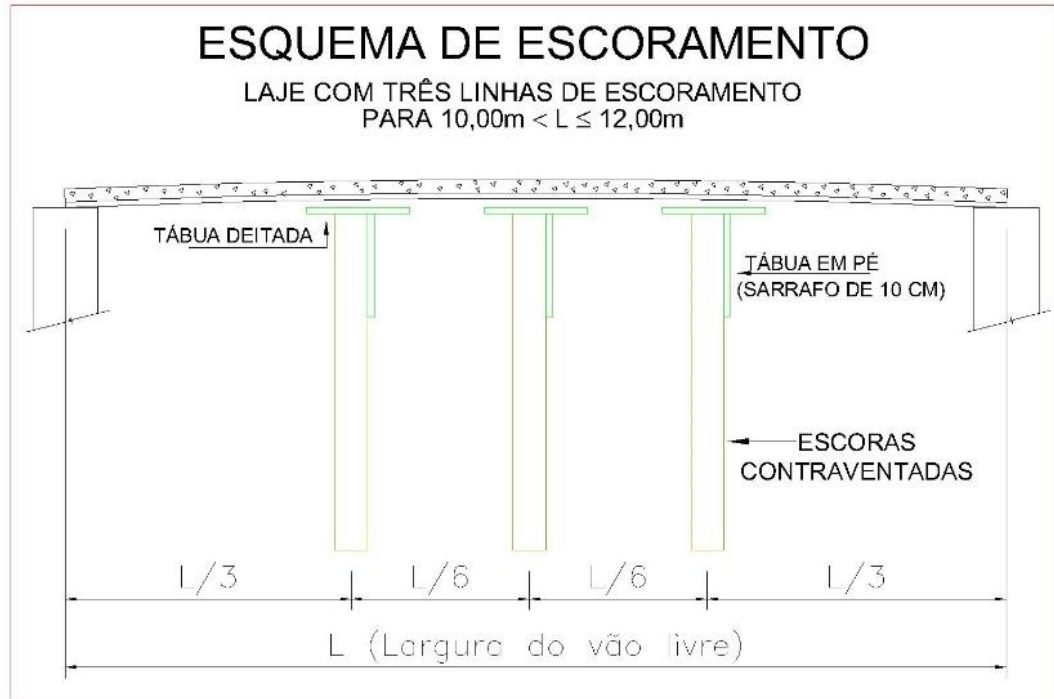
Fonte: VIBRACOM, 2021

Figura 44 – Duas Linhas de Escoras



Fonte: VIBRACOM, 2021

Figura 45 – Três Linhas de Escoras



Fonte: VIBRACOM, 2021

4 COMPARATIVO DE CUSTO DA LAJE TRELIÇADA COM A LAJE PROTENDIDA

4.1 CUSTO DA LAJE TRELIÇADA

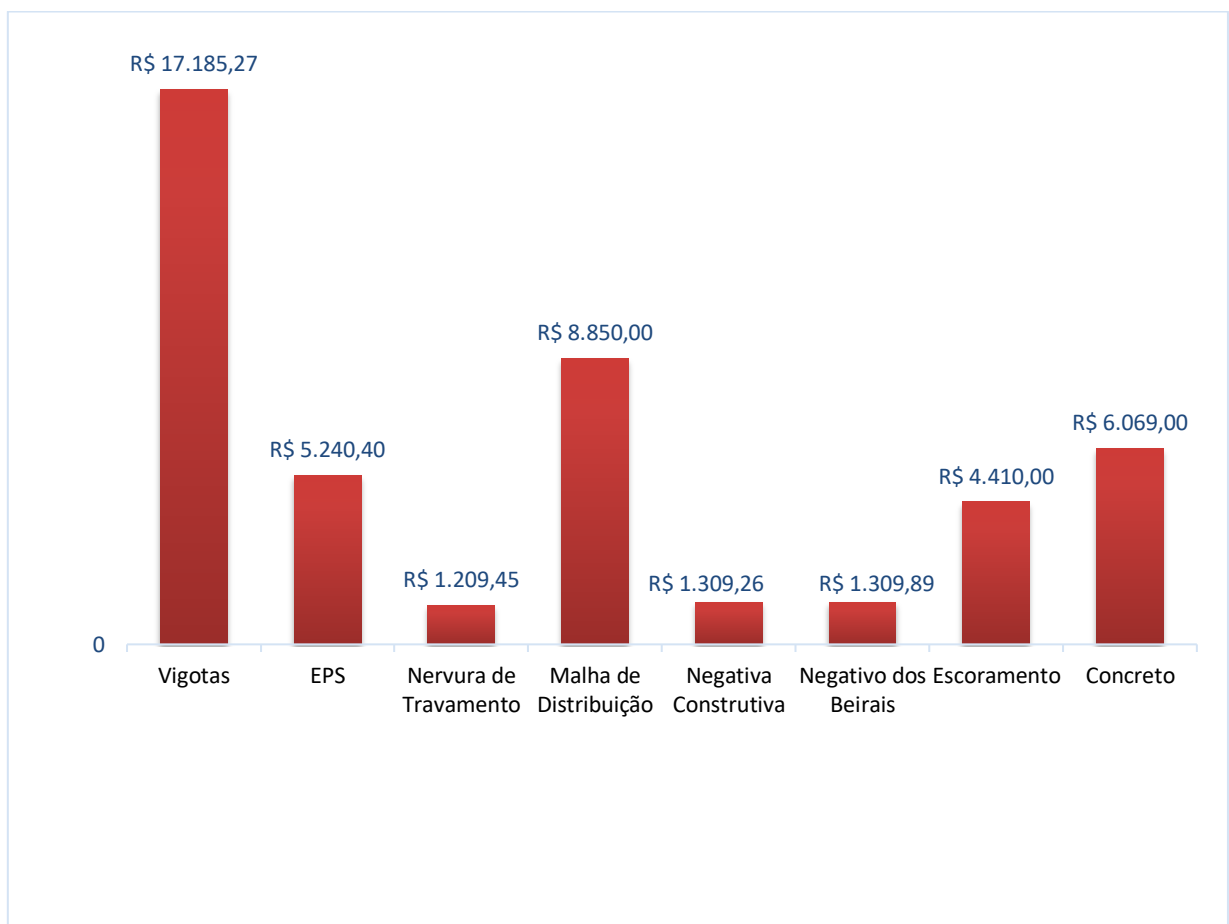
Para fazer a montagem completa da laje treliçada será preciso de 15 dias, na qual utilizarão os seguintes materiais para montá-la:

- Vigotas: 228 trilhos serão usados para a montagem da laje treliçada, variando os tamanhos de 0,80 m a 5,40 m. A área total da laje foi de 320,92 m², saindo a R\$ 53,55 o m² da laje, ou seja R\$ 17.185,27 foi o valor das vigas;
- EPS: Na execução da laje treliçada utilizara 554 peças de enchimento de EPS de 10x43x100 cm, que a 23,82 m³, o valor unitário do m³ foi de R\$ 220,00 sendo o valor total do EPS de R\$ 5240,00;
- Nervura de Travamento: Para fazer a armação das nervuras de travamento irá precisar 114,64 kg de aço de 8.0 mm e serão colocados 2Ø8.0 mm em cada linha de nervura. O valor do quilo do aço de 8.0 mm foi de R\$ 10,55 saindo R\$ 1.209,45 a ferragem da nervura;
- Malha de Distribuição: Para o cobrir 320,92 m² de laje será utilizada 59 malhas Q92 reforçada (15x15 cm) com a medida total de 2x3 m, custando R\$ 150,00 a peça, ou seja, a malha de distribuição custará R\$ 8.850,00;
- Ferragem Negativa Construtiva: A quantidade essencial para a montagem da ferragem negativa construtiva é de aproximadamente 124,10 kg e aço de 8.0 mm, custando R\$ 10,55 o quilo, custando R\$ 1.309,26;
- Ferragem Negativa do beiral: Utilizará cerca de 124,16 kg de aço de 8.0 mm para fazer a armação em todas as vigotas treliçada, saindo a um valor de R\$ 1.309,89;
- Escoramento: Na instalação do escoramento, serão necessárias aproximadamente 300 peças de pontaletes custando R\$ 6,80 o metro e 300 m de tábuas de 15 cm a 30 cm de largura para a montagem de longarinas, sarrafos e cunhas (contra flecha), saindo a R\$ 7,90 o metro, totalizando R\$ 4.410,00 a montagem do escoramento;

- Concreto: Para concretar a laje treliçada deve ser usado um concreto com resistência mínima de 25MPa. Será gasto 17,00 m³ de concreto, na qual sairá a R\$ 6069,00, sendo que o m³ do concreto é de R\$ 357,00;

Para fazer a montagem da laje treliçada, custará R\$ 45.582,87 esse valor é apenas do material que será utilizado, como mostra o Gráfico 1.

Gráfico 1– Custo de Cada Material da Laje Treliçada



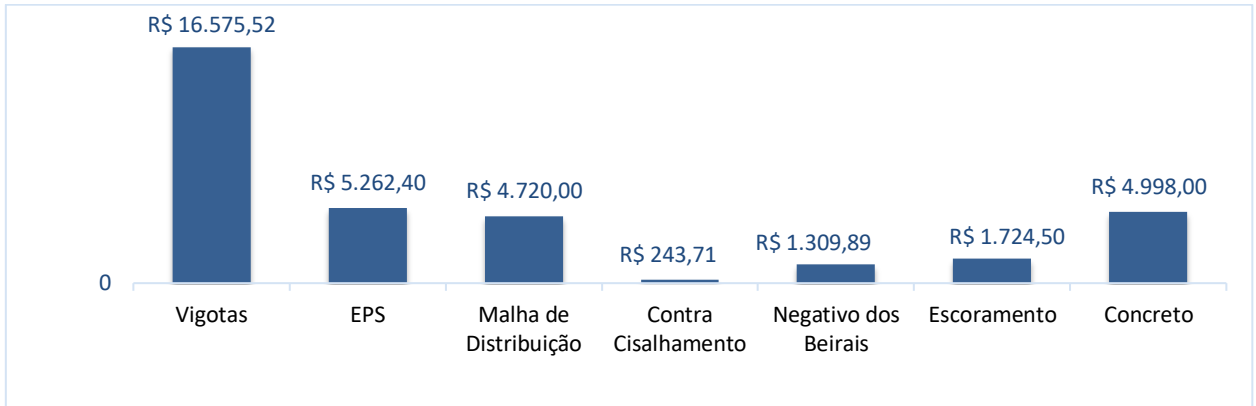
Fonte: AUTORES, 2021

4.2 CUSTO DA LAJE PROTENDIDA

Para fazer a montagem completa da laje protendida será preciso de 7 dias, na qual utilizarão os seguintes materiais para montá-la:

- Vigotas: Serão usados 240 trilhos para a montagem da laje protendida, variando os tamanhos de 0,80 m a 5,50 m. A área total da laje foi de 320,92 m², saindo a R\$ 51,65 o m² da laje, ou seja R\$ 16.575,52 foi o valor das vigotas protendida;
- EPS: Na montagem da laje protendida utilizará 618 peças de enchimento de EPS de 90x43x100 cm, que a 23,92 m³, o valor unitário do m³ foi de R\$ 220,00 sendo o valor total do EPS de R\$ 5.262,40;
- Malha de Distribuição: Para o cobrir 320,92 m² de laje será utilizada 59 malhas Q45 leve (20x20 cm) com a medida total de 2x3 m, custando R\$ 80,00 a peça, ou seja, a malha de distribuição custará R\$ 4.720,00;
- Ferragem Contra Cisalhamento: Utilizará cerca de 23,10 kg de aço de 6.3 mm na ferragem na qual evitará que ocorra o cisalhamento na laje protendida, onde há tamanho de vigotas diferente no mesmo vão, saindo a um valor unitário de R\$ 10,55 ou seja R\$ 243,71;
- Ferragem Negativa do beiral: Utilizará cerca de 124,16 kg de aço de 8.0 mm para fazer a armação em todas as vigotas protendida, saindo a um valor de R\$ 1.309,89;
- Escoramento: Na instalação do escoramento, serão necessárias aproximadamente 120 peças de pontaletes custando R\$ 6,80 o metro e 115 m de tábuas de 15 cm a 30 cm de largura para a montagem longarinas e sarrafos, saindo a R\$ 7,90 o metro, totalizando R\$ 1.724,50 a montagem do escoramento;
- Concreto: Para concretar a laje protendida deve ser usado um concreto com resistência mínima de 25 MPa. Será gasto 14,00 m³ de concreto, na qual sairá a R\$ 4.998,00, sendo que o m³ do concreto é de R\$ 357,00;

Para fazer a montagem da laje protendida, custará R\$ 34.834,02 esse valor é apenas do material que será utilizado, como mostra o Gráfico 2.

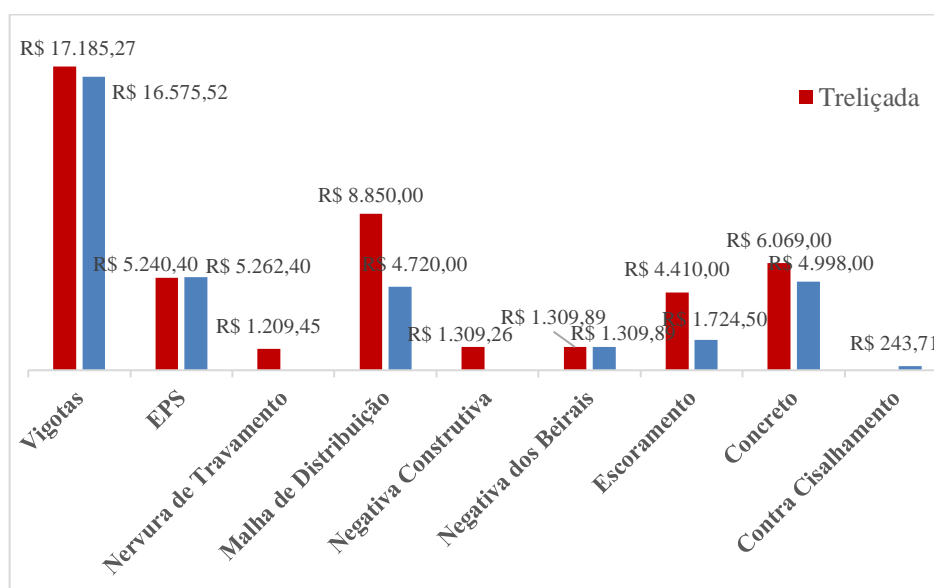
Gráfico 2 – Custo de Cada Material da Laje Protendida

Fonte: AUTORES, 2021

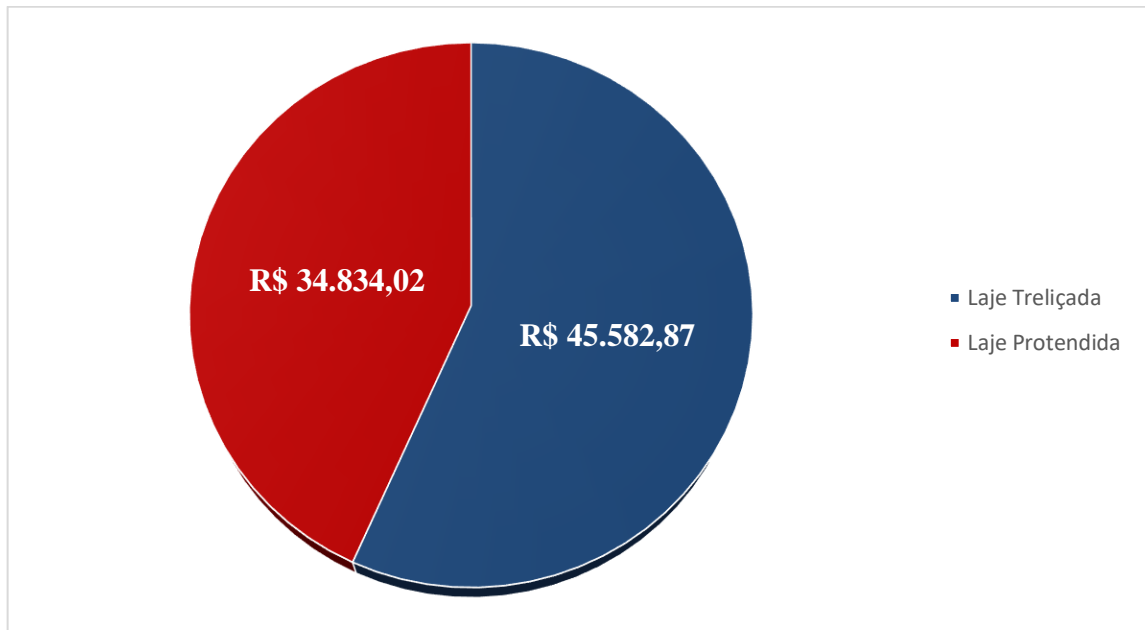
4.3 RESULTADO DA COMPARAÇÃO

Após descrever e compreender os aspectos técnicos da laje treliçada e da laje protendida, buscando de maneira minuciosa esclarecer e destacar as diferenças em cada método com embasamento teórico, o trabalho progrediu para determinar qual seria o método mais viável para um determinado projeto.

O resultado deste trabalho apontou o sistema de laje protendido como o mais vantajoso, sendo 7,9% mais econômico e rápido comparado ao sistema de laje treliçada, obtendo uma economia de R\$ 10.748,85 na execução da laje. Observar o Gráfico 3 e o Gráfico 4.

Gráfico 3 - Custo de Cada Material da Laje Treliçada e Laje Protendida

Fonte: AUTORES, 2021

Gráfico 4 - Custo Total da Laje Treliçada e Laje Protendida

Fonte: AUTORES, 2021

Enquanto na treliçada levaria 15 dias para ser montada, na protendida o tempo de montagem é menor. Alguns dos motivos dessa diferença de custo e rapidez, se dá ao escoramento. Na laje treliçada praticamente todos os vãos precisam ser escorados com uma ou mais linha de escoramento, já na laje protendida serão poucos os vãos escorados e será necessário apenas uma linha de escora para esses vãos. A quantidade de ferragem utilizada na protendida também é menor em relação á treliçada, pois na protendida não se utiliza as ferragens de nervura de travamento e a ferragem negativa construtiva, com isso se diminui custo e ganha tempo.

Para o projeto que foi analisado e feito o comparativo foi mais viável utilizar a laje protendida, por se tratar de uma obra residencial simples, com uma sobrecarga de laje de apenas 100 kgf/m², a laje protendida será mais econômica e rápida para ser montada. Isso não quer dizer que a protendida será sempre a melhor escolha de laje. Para determinar a laje ideal para cada obra é preciso fazer uma análise técnica do projeto estrutural para saber qual será a mais viável de se utilizar.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com o passar do tempo, as lajes pré-moldadas se tornaram cada vez mais conhecida, tornando-se assim uma excelente solução construtiva para os profissionais que atuam na área da construção civil. As lajes pré-moldadas permitem a rapidez na construção e a economia de materiais. Com esse aumento no uso das lajes pré-fabricadas, achou-se necessário fazer um estudo de caso comparando a laje treliçada e a laje protendida, buscando mostrar as vantagens e desvantagens de cada uma delas.

Após descrever e compreender os aspectos técnicos de cada sistema construtivo verificou-se que no caso que está sendo analisado a laje protendida apresentou uma viabilidade maior, em comparação com a laje treliçada, tanto em relação ao custo de materiais quanto no tempo, uns dos motivos são: por não precisar de tantas ferragens adicionais e escoras, fazendo com que os custos e o tempo de montagem sejam menores.

No projeto que foi feito o estudo de comparação a laje treliçada, ficou no valor de R\$ 45.582,87 enquanto a laje protendida ficou R\$ 34.834,02. Tendo assim uma economia de R\$ 10.748,85 na laje protendida, pode-se dizer, que a laje com vigotas protendidas é uma opção de laje que oferece uma gama de benefícios e economia para esse caso de estudo. Sendo assim a laje adotada para essa residência térrea foi a laje protendida.

Porém nem sempre será vantajoso o uso da laje protendida, pois cada projeto estrutural exige algo diferente, sendo necessária uma análise técnica, para poder determinar qual a melhor laje a ser usada em cada construção.

5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Em função da importância do tema torna-se relevante o desenvolvimento de novas pesquisas abordando outros tipos de laje, como por exemplo, laje nervurada e laje maciça.

REFERÊNCIAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Lajes pré-fabricadas de concreto: NBR 14859-1**, 2016 a.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Lajes pré-fabricadas de concreto: NBR 14859-2**, 2016 b.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Lajes pré-fabricadas de concreto: NBR 14859-3**, 2016 c.

ANDRADE, Carlos. **Construindo com vigas de concreto pré-moldado**. Disponível em: <http://premonta.com.br/construindo-comvigas-de-concreto-pre-moldados>

AMAZON LAJE. **Laje treliçada unidirecional e bidirecional**. Disponível em: <http://www.amazonlaje.com.br/produtos/laje-trelicada>

ARCHDAILY. **Tipos de lajes de concreto: vantagens e desvantagens**, 2021. Disponível em: <https://www.archdaily.com.br/br/889035/tipos-de-lajes-de-concreto-vantagens-e-desvantagens/>

BASTOS, Paulo Sérgio dos Santos. **Lajes de concreto**. Bauru, SP 2015. Disponível em: http://professor.pucgoias.edu.br/SiteDocente/admin/arquivosUpload/3922/material/Paulo%20Bastos_Lajes%20de%20Concreto_2015.pdf

CAIXETA, Delma pereira. **Contribuição ao estudo de lajes pré-fabricadas com vigas treliçadas**. Campinas, SP 1998. Dissertação disponível em: <http://www.repositorio.unicamp.br/handle/REPOSIP/258482>

CHOLFE; L.; BONILHA, L. **Concreto Protendido: Teoria e prática**. São Paulo: Pini, 2013.

CONCREVIGA. **Etapas de produção da laje protendida**. Disponível em: <https://www.concreviga.com.br/>

Droppa Junior, Alonso. **Análise estrutural de lajes formadas por elementos pré-moldados tipo vigota com armação treliçada**. São Carlos, 1999. Dissertação disponível em: [10.11606/D.18.2017.tde-06122017-152937](https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/4630)

ESTRUTURAL LAJES, **Laje treliçada**. Disponível em: <https://estruturlajes.com.br/produtos/laje-trelicada-bidirecional>

FLÓRIO, Márcio C. **Projeto e execução de lajes unidirecionais com vigotas em concreto armado**. São Carlos, SP 2004. Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/4630>

GASPAR, Ricardo. **Análise da segurança estrutural das lajes pré-fabricadas na fase de construção**. São Paulo, SP 1997. Dissertação disponível em:
10.11606/D.3.1997.tde-26122008-112709

LAJESREAL, **Tipos de Malhas**, Disponível em: <https://lajesreal.blog>

MORAES, M. C. – Concreto **Protendido: Introdução ao uso da cordoalha engastada Plastificada**. Brasília, DF 1999.

http://www.deecc.ufc.br/Download/TB812_Estruturas%20de%20Concreto%20Protendido/LP.pdf

PUMA. **Treliça**, 2014. Disponível em: www.puma.com.br

SALEMAPREFABRICADOS. **Laje-trelica**, 2018. Disponível em:
<http://www.salemaprefabricados.com.br>

PFEIL, W. Concreto Protendido: Introdução. Rio de Janeiro: S.a, 1984.

PINHEIRO, Marcos Roberto. **Estudo comparativo entre lajes pré-fabricadas de concreto para edifícios residenciais**. Atibaia, 2018. Disponível em:
<http://localhost:8080/xmlui/handle/123456789/141>

TATU PREMOLDADOS. **Lajes pré-fabricadas protendidas: TATU PREMOLDADOS**. Disponível em: <http://www.tatu.com.br>

TORRES, Ana Paula Vedoato. **Contribuição ao dimensionamento de lajes treliçadas em concreto pré-moldado**, CAMPINAS 2018. Disponível em:
<http://repositorio.unicamp.br/jspui/handle/REPOSIP/333990>

VIBRACOM. **Lajes**. Disponível em: <http://www.vibracom.com.br>

WEILER. **Sistema de protensão e desprotensão** Disponível em: <http://www.weiler.com.br>