



**CENTRO UNIVERSITÁRIO CHRISTUS  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**RODRIGO ALVES SILVEIRA**

**ESTUDO DE CASO DE EDIFICAÇÃO RESIDENCIAL UNIFAMILIAR DE ALTO  
PADRÃO COM USO DE SOLUÇÃO ESTRUTURAL EM LAJE NERVURADA EM  
CONCRETO ARMADO COM FÔRMAS DE POLIPROPILENO**

**FORTALEZA**

**2021**

RODRIGO ALVES SILVEIRA

ESTUDO DE CASO DE EDIFICAÇÃO RESIDENCIAL UNIFAMILIAR DE ALTO  
PADRÃO COM USO DE SOLUÇÃO ESTRUTURAL EM LAJE NERVURADA EM  
CONCRETO ARMADO COM FÔRMAS DE POLIPROPILENO

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC)  
apresentado ao curso de Engenharia Civil  
do Centro Universitário Christus, como  
requisito parcial para obtenção do título  
de bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Profa. Mariana de Araújo  
Leite.

FORTALEZA

2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Centro Universitário Christus - Unichristus  
Gerada automaticamente pelo Sistema de Elaboração de Ficha Catalográfica do  
Centro Universitário Christus - Unichristus, com dados fornecidos pelo(a) autor(a)

S587e Silveira, Rodrigo Alves.  
Estudo de caso de edificação residencial unifamiliar de alto padrão com uso de solução estrutural em laje nervurada em concreto armado com fôrmas de polipropileno / Rodrigo Alves Silveira. - 2021.  
87 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Centro Universitário Christus - Unichristus, Curso de Engenharia Civil, Fortaleza, 2021.  
Orientação: Profa. Ma. Mariana de Araújo Leite.

1. Laje nervurada. 2. Edificação unifamiliar. 3. Fôrma de polipropileno para laje nervurada. 4. Estrutura de concreto armado. I. Título.

RODRIGO ALVES SILVEIRA

ESTUDO DE CASO DE EDIFICAÇÃO RESIDENCIAL UNIFAMILIAR DE ALTO  
PADRÃO COM USO DE SOLUÇÃO ESTRUTURAL EM LAJE NERVURADA EM  
CONCRETO ARMADO COM FÔRMAS DE POLIPROPILENO

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC)  
apresentado ao curso de Engenharia Civil  
do Centro Universitário Christus, como  
requisito parcial para obtenção do título  
de bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Profa. Mariana de Araújo  
Leite.

Aprovada em \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. M.Sc. Mariana de Araújo Leite  
Centro Universitário Christus (UNICHRISTUS)

---

Prof.<sup>a</sup> M.Sc. Erivano Lúcio Passos  
Centro Universitário Christus (UNICHRISTUS)

---

Prof.<sup>a</sup> M.Sc. Rafaela Fujita Lima  
Centro Universitário Christus (UNICHRISTUS)

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço aos meus pais, Jackson e Ana Claudia, que me guiaram e deram todo apoio e incentivo que serviram de base para o meu percurso acadêmico.

Aos meus irmãos, Jader e Felipe, pela amizade, atenção e ajuda, e por serem um grande exemplo para mim.

A minha tia, Claudete por todas as conversas e incentivo dado nesse período.

A minha namorada, Maria Camila, pela essencial ajuda e compreensão, por estar sempre ao meu lado e por todo apoio e incentivo que foi me dado durante essa trajetória.

Aos meus amigos, em especial, Edson Rene, Simão Pedro, Sandy Oliveira, Ruan Carlos, entre outros que se fizeram presentes em tantos momentos importantes, além da troca de experiência vivida em obra.

Ao Centro Universitário Christus, por proporcionar a estrutura necessária para a realização deste trabalho, bem como os professores e coordenadores, em especial ao professor Erivano Passos, onde serei eternamente grato por todos os ensinamentos e aprendizados.

Aos professores, Rafael Eufrásio, Paula Nobre, José Carlos, por toda dedicação e ensinamentos que tornaram base para realização estudantil e profissional.

Por fim, um agradecimento especial à minha orientadora, Mariana Leite, por ser um grande exemplo de profissional e por aceitar a conduzir a minha pesquisa, além da dedicação ao nosso projeto.

## RESUMO

O presente trabalho propõe um estudo de caso de uma residência unifamiliar de alto padrão com sistema estrutural composto por laje nervurada executada com fôrmas de polipropileno. O estudo se justifica por apresentar uma solução construtiva utilizada mais frequentemente em edificações de múltiplos pavimentos, em uma edificação unifamiliar, caso não tão corriqueiro, e que demandou soluções específicas para solicitações de projeto próprias do caso em estudo. Para melhor compreensão do processo descrito, apresentou-se referencial teórico com todas as definições e sistemas para execução de uma laje nervurada, desde a descrição do sistema de cimbramento e escoramento, o processo de concretagem completo da laje nervurada, processo de desforma das formas de polipropileno e desmontagem do escoramento. Por se tratar de trabalho com análise basicamente do tipo qualitativa, a metodologia seguida para obtenção de resultados foi inicialmente realizar a descrição completa e detalhada do processo executivo do caso em estudo e, posteriormente, a realização de uma análise comparativa entre o que foi planejado e o que foi executado, apresentando nos resultados pontos divergentes e soluções adotadas, e uma análise crítica das vantagens e limitações percebidas no processo. Os resultados apontam para um maior número de vantagens em relação às limitações para a solução estrutural adotada, mostrando que é possível ter vantagens executivas com um olhar global da produção, e não somente olhando para limitações isoladas, como os custos de locação das formas de polipropileno. Conclui-se, por fim, que foi atingido o objetivo de apresentar uma solução construtiva diferenciada e uma análise crítica do processo como um todo, de maneira a auxiliar outras obras construídas com o mesmo sistema, servindo de subsídio para evitar as mesmas dificuldades sentidas no caso estudado.

**Palavras-chave:** Laje nervurada, Edificação unifamiliar, Forma de polipropileno para laje nervurada, Estrutura de concreto armado.

## ABSTRACT

The present work proposes a case study of a high standard single-family residence with a structural system composed of a ribbed slab executed with polypropylene molds. The study is justified by presenting a constructive solution used more frequently in buildings with multiple floors, in a single-family building, a case not so common, and which demanded specific solutions for project requests specific to the case under study. For a better understanding of the described process, a theoretical framework was presented with all the definitions and systems for the execution of a ribbed slab, from the description of the shoring and shoring system, the complete concreting process of the ribbed slab, the process of deforming the forms of polypropylene and disassembly of the shoring. As this is a work with basically qualitative analysis, the methodology followed to obtain results was initially to carry out a complete and detailed description of the executive process of the case under study and, subsequently, to carry out a comparative analysis between what was planned and what was executed, presenting divergent points and adopted solutions in the results, and a critical analysis of the advantages and limitations perceived in the process. The results point to a greater number of advantages in relation to the limitations for the structural solution adopted, showing that it is possible to have executive advantages with an overall look at production, and not just looking at isolated limitations, such as the cost of renting polypropylene molds. Finally, it is concluded that the objective of presenting a differentiated constructive solution and a critical analysis of the process as a whole was achieved, in order to help other works built with the same system, serving as a subsidy to avoid the same difficulties felt in the case studied.

**Keywords:** Ribbed slab, Single-family building, Polypropylene formwork for ribbed slab, Reinforced concrete structure.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Exemplos de lajes nervuradas .....	13
Figura 2 – Detalhamento de lajes nervuradas.....	15
Figura 3 – Laje nervurada armada em uma direção.....	16
Figura 4 – Laje nervurada armada em duas direções .....	17
Figura 5 – Lajes nervuradas com uso de fôrmas de polipropileno .....	19
Figura 6 – Tapas Nervuras.....	20
Figura 7 – Formas de polipropileno (cubetas).....	21
Figura 8 – “Dentes” para auxílio da fôrma de polipropileno.....	22
Figura 9 – Sistema de escoramento de Laje moldada <i>in loco</i> .....	25
Figura 10 – Peça denominada cabeça em sistema de cimbramento .....	27
Figura 11 – Peça denominada forçado em sistema de cimbramento.....	28
Figura 12 – Sistema de cimbramento.....	29
Figura 13 – Utilização da madeira no processo de acabamento.....	30
Figura 14 – Processo de desforma das fôrmas de polipropileno.....	31
Figura 15 – Etapas metodológicas .....	35
Figura 16 – Localização do terreno do objeto de estudo.....	35
Figura 17 – Corte longitudinal “A” da residência .....	36
Figura 18 – Fachada lateral da edificação em estudo.....	37
Figura 19 – Solução prática para o sistema de cimbramento.....	42
Figura 20 – Solução prática e concretagem finalizada.....	43
Figura 21 – Retirada de concreto remanescente dos tubos rígidos .....	45
Figura 22 – Mangote flexível para execução da concretagem .....	46
Figura 23 – Disposição do aditivo impermeabilizante no traço do concreto.....	47
Figura 24 – Área remanescente a ser concretada .....	49
Figura 25 – Graute executado na área solicitada.....	50
Figura 26 – Detalhamento construtivo do encontro da viga com a laje .....	62
Figura 27 – Capitéis dos pilares .....	63
Figura 28 – Projeto de cimbramento e escoramento da residência .....	64
Figura 29 – Projeto parcial de cimbramento e escoramento .....	65
Figura 30 – Quantitativo de peças e equipamentos para o cimbramento .....	66
Figura 31 – Execução do travamento entre o forçado e as LD’s.....	68
Figura 32 – Sistema de cimbramento (Análogo a grelha) .....	69

Figura 33 – Disposição das fôrmas de polipropileno sobre o cimbramento .....	71
Figura 34 – Cronograma de execução das armações gerais da laje .....	74
Figura 35 – Compatibilização do projeto estrutural e projeto hidrossanitário .....	75
Figura 36 – Processo de concretagem do sistema estrutural.....	79
Figura 37 – Processo de retirada de escoramento e cimbramento .....	82
Figura 38 – Conclusão do processo executivo da laje nervurada .....	83

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Benefícios e limitações de laje nervurada moldada <i>in loco</i> .....	18
Quadro 2 – Vantagens e limitações da laje nervurada com cubetas plásticas.....	23
Quadro 3 – Especificações técnicas do graute (Resistências).....	50
Quadro 4 – Horários de chegada/saída dos caminhões betoneiras.....	80

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>9</b>
1.1	Justificativa do trabalho	11
1.2	Questão de pesquisa	11
1.3	Objetivos	11
1.3.1	<i>Objetivo geral</i>	11
1.3.2	<i>Objetivos específicos</i>	12
1.4	Estrutura do trabalho	12
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b>	<b>13</b>
2.1	Lajes nervuradas	13
2.1.1	<i>Comportamento estrutural de lajes nervuradas</i>	14
2.1.2	<i>Distribuição de armaduras em lajes nervuradas</i>	15
2.1.3	<i>Vantagens e limitações das lajes nervuradas</i>	17
2.2	Lajes nervuradas com uso de cubetas plásticas	18
2.2.1	<i>Vantagens e limitações da laje nervurada com uso de cubetas plásticas</i>	22
2.3	Sistema de escoramento	24
2.3.1	<i>Sistema de escoramento e cimbramento de fôrmas plásticas</i>	25
2.3.2	<i>Desmontagem do sistema de escoramento de fôrmas plásticas</i>	30
2.4	Trabalhos similares	31
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b>	<b>34</b>
3.1	Delineamento metodológico	34
3.2	Etapas metodológicas	34
3.2.1	<i>Descrição do objeto de estudo do trabalho</i>	35
3.2.2	<i>Acompanhamento in loco</i>	37
3.2.3	<i>Análise dos projetos</i>	38
3.2.4	<i>Análise comparativa após execução</i>	39
<b>4</b>	<b>RESULTADOS</b>	<b>40</b>
4.1	Descrição detalhada do processo executivo da laje em estudo	40
4.2	Análise comparativa: Executado X Planejado	41
4.2.1	<i>Solução prática e exequível do cimbramento metálico</i>	41
4.2.2	<i>Concretagem geral e impermeabilização de áreas molhadas</i>	44
4.2.3	<i>Preenchimento com “graute” em área não concretada</i>	48

4.3	Análise comparativa: Vantagens e ponderações dos serviços executados .....	51
5	CONCLUSÃO.....	54
	REFERÊNCIAS.....	56
	APÊNDICE A – PROJETO BÁSICO DO PAVIMENTO TÉRREO.....	59
	APÊNDICE B – PROJETO BÁSICO DO PAVIMENTO SUPERIOR .....	60
	APÊNDICE C – DESCRIÇÃO DETALHADA DO PROCESSO EXECUTIVO DA LAJE EM ESTUDO.....	61

## 1 INTRODUÇÃO

É de conhecimento geral que entre os materiais empregados no setor da construção, o concreto armado é um dos mais utilizados. BASTOS (2019) confirma essa afirmação, dizendo que “estruturas de concreto são comuns em todos os países do mundo, caracterizando-se pela estrutura preponderante no Brasil”. O autor afirma que a disponibilidade dos materiais componentes do concreto é maior se comparada a de outros materiais, e que isso é um fator importante para a sua larga utilização.

Esse emprego também ocorre por outras características favoráveis do concreto. Dentre essas características, tem-se a facilidade com que elementos estruturais de concreto podem ser executados em uma variedade de formas e tamanhos, além do custo menor com a obtenção de materiais e mais facilmente acessível no mercado, como afirmam Couto, Carminatti, Numes, *et al* (2013).

Contudo, esse material também possui limitações que devem ser consideradas na etapa de projeto e tomada de decisões. Parizotto (2017) afirma que dentre as limitações do concreto armado uma das principais é com relação ao seu valor de massa específica elevado ( $2500\text{kg/m}^3$ ), o que aumenta o peso próprio dos elementos estruturais. Além disso, tem-se a dificuldade em processos de reformas e demolições, e na imprecisão de comportamento em concretos moldados *in loco*. O autor afirma que muitas vezes a resistência final do concreto pode ser afetada devido a erros durante os processos de mistura e cura, ou mesmo durante o lançamento e adensamento.

De acordo com Pott, Eich, Rojas (2017) nos últimos anos, o avanço da tecnologia vem tendo um grande impacto de forma gradativa e revolucionária na área da construção civil. As inúmeras novidades tecnológicas registradas ao longo da última década estão estimulando o desenvolvimento e facilitando a modernização do setor. Diante desse crescimento, surgiu a necessidade de aprimoramento dos materiais estruturais, com o objetivo de melhorar o desempenho das construções, reduzindo gastos excessivos e tendo uma maior produtividade.

Parizotto (2017) afirma que as soluções tecnológicas desenvolvidas pelo setor da construção abrangem também aquelas ligadas aos sistemas estruturais sabendo que são formados por diferentes arranjos de elementos estruturais deformáveis e capazes de resistir, receber e transmitir esforços entre si. O autor

descreve ainda que a superestrutura é normalmente composta por lajes, vigas, paredes e pilares. Esses são os elementos de suporte direto dos carregamentos externos de utilização, recebidos pelo sistema, em outras palavras, aquelas que buscam melhorias para o comportamento do sistema estrutural responsáveis por receber as cargas das edificações.

Com o crescente aumento da construção de edifícios atrelados com o surgimento de conjuntos arquitetônicos atuais ocasionou o aumento dos vãos, exigindo uma estrutura esbelta, e o uso da laje nervurada, cuja mesma, necessita de um baixo consumo de concreto, ocorrendo uma notória redução no peso próprio, e com um maior aproveitamento do concreto armado, pode-se tornar essa opção como a mais viável para determinados tipos de estrutura.

Os elementos estruturais possuem grande influência no custo final da obra, e as lajes possuem um peso maior nessa etapa, tanto pelo tempo de execução como pela necessidade de atendimento às demandas arquitetônicas (SILVA, 2005). De acordo com Pott, Bellei, Barbisan (2019) a necessidade por grandes vãos nas edificações modernas demanda soluções que atendam a esse objetivo sem impactar em custos excessivos. Com isso, as lajes nervuradas surgem como solução diante do seu comportamento estrutural e vantagens construtivas.

É importante assim a definição do processo construtivo a ser utilizado, entendendo que em cada escolha o sistema estrutural deverá ser projetado obedecendo às disposições normativas, sendo feita considerando-se aspectos econômicos, de funcionamento, de execução, e os relacionados à interação com os demais subsistemas construtivos do edifício (SILVA, 2005)

Segundo Silva (2005), algumas vantagens para esse sistema estrutural devem ser destacadas como a facilidade nas aplicações, permitem o uso de racionalização e se tratando de grandes vãos estas lajes apresentam deslocamentos transversais menores que os proporcionados pelas lajes maciças e por aquelas com nervuras pré-fabricadas e velocidade na execução do projeto.

Em contrapartida, Silva (2005) também aponta algumas limitações para essa solução. Dentre elas é possível destacar o aumento da altura total da edificação, as dificuldades de compatibilização com outros subsistemas, as dificuldades na fixação dos elementos de enchimento, e alguns erros de execução com a possibilidade de movimentação dos materiais inertes durante a concretagem.

Com esse tipo de sistema estrutural de lajes nervuradas, a utilização do método construtivo com fôrmas plásticas tipos cubetas, surgiram como uma opção eficiente, ágil e flexível (ARAUJO, 2008).

O estudo desenvolvido no presente trabalho mostrará a aplicação dessa solução estrutural que por não ser comum em estruturas residenciais, será estudado em um edifício residencial unifamiliar de alto padrão.

## **1.1 Justificativa do trabalho**

Diante do fato de usualmente as soluções em laje nervurada serem empregadas principalmente em edificações altas, existe a necessidade de apresentar ao mercado e à comunidade acadêmica soluções e alternativas para esse uso em residências unifamiliares. Com isso o presente trabalho se justifica pela elaboração de um estudo técnico e acompanhamento sobre o processo executivo de edificação residencial unifamiliar de alto padrão com uso de solução estrutural de laje nervurada em concreto armado moldado no local com o uso de cubetas plásticas.

## **1.2 Questão de pesquisa**

Como é o processo de montagem e execução de lajes nervuradas em concreto armado com fôrmas de polipropileno em edificações unifamiliares e quais as consequências do uso dessa solução nesse tipo de edificação?

## **1.3 Objetivos**

### *1.3.1 Objetivo geral*

Analisar o processo de execução de uma edificação residencial unifamiliar de alto padrão com uso de solução estrutural em laje nervurada em concreto armado executada com fôrma de polipropileno.

### 1.3.2 *Objetivos específicos*

- a) Determinar e descrever o caso que será utilizado como objeto de estudo do projeto;
- b) Realizar acompanhamento de processo de montagem e execução de laje nervurada em campo;
- c) Realizar análise comparativa entre a solução empregada mediante o processo executivo e limitações baseada na tipologia construtiva dos projetos do edifício unifamiliar.
- d) Ponderar vantagens e limitações do processo em estudo;

## 1.4 **Estrutura do trabalho**

O presente estudo, em fase de projeto, está dividido em 4 capítulos. O capítulo 1 se refere à introdução do estudo, onde são apresentados os objetivos e justificativa do trabalho, assim como uma breve introdução sobre o assunto. Em seguida, no capítulo 2, tem-se o referencial teórico com a apresentação de tópicos importantes para o bom entendimento do presente estudo. Dividiu-se este capítulo em tópicos de forma a organizar a linha de pensamento, sempre buscando detalhar assuntos que serão utilizados nos resultados da pesquisa em questão. Com isso, o foco principal desse capítulo é o estudo de lajes, em especial as lajes nervuradas em concreto armado com uso de cubetas plásticas.

Com isso, tem-se o capítulo 3 com a apresentação da metodologia de desenvolvimento da pesquisa. Neste capítulo, buscou-se detalhar o passo a passo do processo de obtenção de resultados de forma a facilitar a compreensão e ajudar a execução futuros trabalhos, similares a este desenvolvido aqui.

No capítulo 4 são descritos os resultados obtidos através do processo de análise da execução do objeto de estudo deste trabalho. Esse processo de avaliação foi composto e fixado em meio a contemplação de todos os objetivos específicos para o presente trabalho. A finalidade desse capítulo é apresentar, descrever e interpretar os dados nos quais foram apresentados no decorrer do processo executivo. Por fim, tem-se o capítulo 5 com as conclusões obtidas neste estudo.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Descrevendo a laje nervurada, Araújo (2008) relata que em decorrência do tempo e as necessidades atribuídas pelos projetos arquitetônicos, conectados ao desenvolvimento de novas técnicas executivas e o surgimento de modernos materiais, a ampliação dos vãos livres entre pilares tornou-se uma tendência. Uma das soluções construtivas que atende a todos estes requisitos é o sistema construtivo de lajes nervuradas. Com isso, esse capítulo destacará as definições e processo executivo das lajes nervuradas com fôrmas de polipropileno como objeto de estudo.

### 2.1 Lajes nervuradas

De acordo com o item 14.7.7 da ABNT (Associação Brasileira De Normas Técnicas) NBR 6118 (2014) as lajes nervuradas são “lajes moldadas *in loco* ou com nervuras pré-moldadas, cujas zonas de tração para momentos positivos estejam localizadas nas nervuras entre as quais pode ser colocado material inerte”. A Figura 1 mostra exemplos de lajes nervuradas, moldada no local e pré-moldadas, demonstrando as áreas de locação de material inerte e zonas tracionadas.

Figura 1 – Exemplos de lajes nervuradas



(a) laje nervurada moldada *in loco*



(b) laje nervuradas pré-moldadas

Fonte: Adaptado de “<https://www.vivadecora.com.br/pro/arquitetura/laje-nervurada/>”

De acordo com Dorneles (2014), as lajes nervuradas foram um grande avanço nos sistemas estruturais. Como as primeiras lajes eram maciças o uso do concreto era excessivo e atrelado a isso, seu peso próprio também crescia. Os custos eram bastante elevados pela quantidade de formas de madeiras e escoras, além da dificuldade de vencer grandes vãos.

Necessitando de uma ideia de redução de tempo e custo, as lajes nervuradas apresentam desempenho no seu papel estrutural de reduzir o peso próprio das estruturas, minimizar os custos e vencer vãos maiores pelas suas características de seção (SILVA, 2005). Diante dessa solução, diferente da solução convencional maciça em concreto armado, é normal se questionar sobre o motivo de seu surgimento e as vantagens construtivas que ela pode trazer. Esse assunto é detalhado nos subtópicos posteriores.

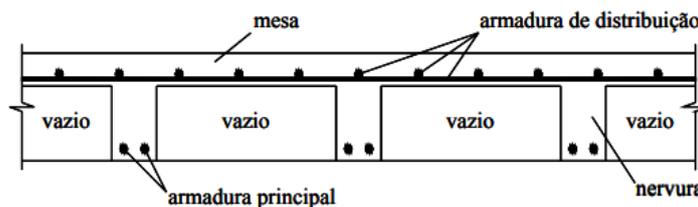
### *2.1.1 Comportamento estrutural de lajes nervuradas*

Dentre os elementos estruturais podemos definir as lajes como placas, que além de cargas permanentes como, por exemplo, peso próprio, peso dos elementos construtivos fixos e de instalações permanentes, recebem as ações de uso e as transmitem para os apoios. As lajes travam os pilares e distribuem as ações horizontais entre os elementos de proteção do edifício contra a ação do vento. Pinheiro (2007).

Em resumo, as lajes nervuradas exercem resistência aos seguintes esforços: Compressão (resistido pela mesa de concreto e pelas nervuras que fazem a ligação da mesa com armadura, ou seja, se assemelham a uma viga T) e Tração (resistido pela armadura), além de esforços promovidos por deslocamentos horizontais em estruturas. DORNELES (2014)

A Figura 2 demonstra como são distribuídas as nomenclaturas de cada seção que compõe a laje nervurada. Podemos atentar que a mesa está na área da zona comprimida e a nervura (armadura principal) está na área de zona tracionada.

Figura 2 – Detalhamento de lajes nervuradas



Fonte: Silva (2005)

É importante salientar que para a eliminação do concreto da zona tracionada, como descrito no item 14.7.7 da NBR 6118 (2014), Silva (2005) relata que pelo fato da altura da laje, o braço de alavanca é maior (distância entre forças resultantes das tensões de tração na armadura e compressão no concreto) do que nas lajes maciças. Com isso as lajes nervuradas moldadas no local têm maior rigidez e vencem vãos maiores. Com o equilíbrio do momento externo com o momento interno através desse binário nesta laje haverá um aproveitamento mais eficiente do aço e do concreto.

Pinheiro (2007) classifica que “[...] no caso de mesa comprimida, que é o usual, a seção a ser considerada é uma seção T. Em geral a linha neutra encontra-se na mesa, e a seção comporta-se como retangular com seção resistente”. Ressaltando então que para todo dimensionamento a flexão simples devemos nos certificar que a linha neutra sempre estará sobre a mesa. Assim, em termos de cálculo de projeto, podemos dimensionar a laje nervurada de forma idêntica a laje maciça.

Resultantes da eliminação do concreto abaixo da linha neutra, elas propiciam uma redução no peso próprio e um melhor aproveitamento do aço e do concreto. Tal região é considerada inerte e poderá ser preenchida com material mais leve, sem função estrutural, como placas de isopor, elementos cerâmicos, formas reaproveitáveis (polipropileno), entre outros. (ARAÚJO, 2008).

### 2.1.2 Distribuição de armaduras em lajes nervuradas

De acordo com Silva (2005) as lajes nervuradas moldadas in loco dispõem de armaduras, que são colocadas nas nervuras e na mesa da laje. Nas nervuras é distribuída uma armadura longitudinal e, caso seja necessária, uma

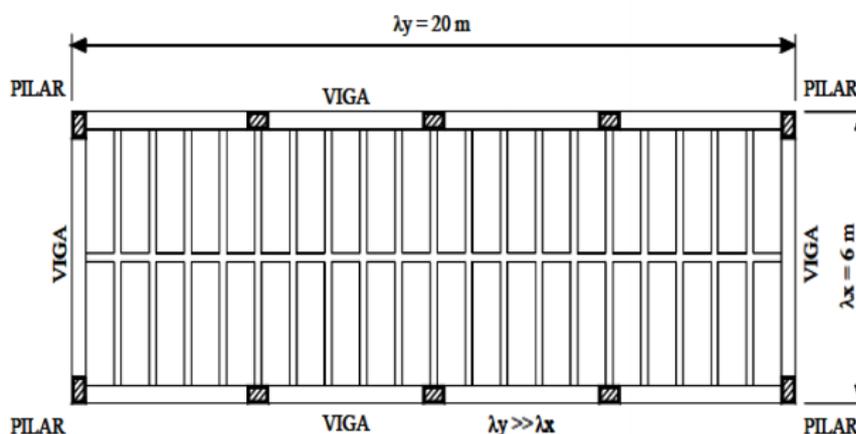
armadura transversal. Na mesa da laje dispõe-se uma armadura de distribuição e, nos casos em que for necessária, em apenas algumas regiões da mesa, uma armadura superior que normalmente é ancorada na viga (armadura negativa).

Araújo (2008) quanto à distribuição da armadura nas nervuras, podem ser em uma ou duas direções. As que apresentam nervuras armadas em apenas um sentido são aquelas que possuem relação entre o maior lado e o menor superior a dois, conhecidas como lajes unidirecionais. São distribuídas, geralmente, na direção do menor vão e possuem um comportamento estrutural semelhante ao de vigas simplesmente apoiadas.

Silva (2005), nas lajes nervuradas em uma direção as nervuras são dispostas na direção do menor vão teórico, e admite-se que apresentam comportamento estrutural de vigas simplesmente apoiadas; dependendo das dimensões do vão, utiliza-se nervuras transversais (nervuras na direção do maior vão) com a função de travamento das nervuras principais. Quando existem ações concentradas ou parcialmente distribuídas (peso das paredes, por exemplo) nessas lajes, com a função de distribuí-las entre as nervuras principais, também se utiliza nervuras transversais.

As lajes armadas em uma direção devem ser usadas quando a relação entre a dimensão do maior vão e do menor vão teórico da laje é superior a dois. É visto na Figura 3 essa relação como exemplo da maior dimensão de 20 metros e de menor dimensão de 6 metros.

Figura 3 – Laje nervurada armada em uma direção

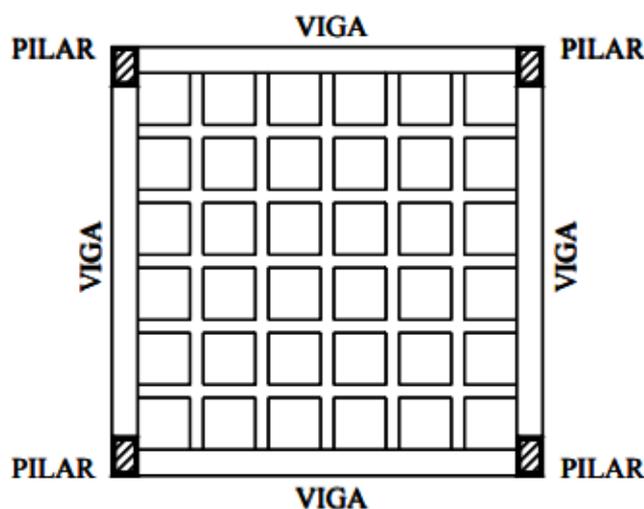


Fonte: Silva (2005)

O cálculo dos esforços solicitantes e dos deslocamentos transversais para as lajes nervuradas armadas em uma direção normalmente é feito considerando, de acordo com Pinheiro (2007), “um conjunto de vigas que se cruzam solidarizadas sobre a mesa. Esse elemento estrutural terá comportamento intermediário entre o de laje maciça e o de grelha.” Podemos ainda adotar a seção transversal das nervuras que acabam sendo em forma de “T”.

De acordo com Araújo (2008), as lajes bidirecionais são aquelas que as nervuras são dispostas paralelas ao seu contorno e ortogonais entre si, proporcionando uma melhor distribuição dos esforços em seus apoios, além de diminuir possíveis deformações. Silva (2005) diz que as distribuições das armaduras sobre as lajes bidirecionais, por sua vez, devem ser usadas quando a relação entre a dimensão do maior e do menor vão teórico da laje não é superior a dois. No caso de serem apoiadas em vigas ou em paredes, neste tipo de laje costuma-se dispor as nervuras paralelas às direções destes apoios, e geralmente ortogonais entre si, como demonstra na Figura 4.

Figura 4 – Laje nervurada armada em duas direções



Fonte: Silva (2005)

### 2.1.3 Vantagens e limitações das lajes nervuradas

Podemos desenvolver alguns critérios de avaliação desse tipo de laje em acordo com as necessidades exigidas pela própria edificação. É importante salientar que para cada tipo de sistema estrutural haverá sempre características positivas em

relação a diversos fatores, quanto também suas limitações que restringem e necessitam de alguns requisitos para sua execução. De acordo com Silva (2005), temos como principais características tanto positivas quanto limitações do sistema de lajes nervuradas moldadas *in loco* disposta no Quadro 1 abaixo pontuando e caracterizando cada uma delas.

Quadro 1 – Benefícios e limitações de laje nervurada moldada *in loco*

<b>Pontos positivos e limitações de laje nervurada moldada <i>in loco</i></b>	
<b>a) Pontos Positivos</b>	<b>b) Limitações</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Permitem vencer grandes vãos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumento da altura total da edificação</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Versatilidade nas aplicações e processos executivos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumento das dificuldades de compatibilização com outros subsistemas (instalações, vedações, etc.)</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Garantia a agilidade de execução da obra</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Construção com maior número de operações de montagem</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Apresentam deslocamentos transversais menores que os apresentados em lajes maciças</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Exigem maiores cuidados durante a concretagem pelo fato de se evitar vazios nas nervuras</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Peso próprio da estrutura reduzido economizando ainda mais materiais como concreto e aço.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dificuldades na fixação dos elementos de enchimento, com a possibilidade de movimentação entre eles</li> </ul>

Fonte: Adaptado de Silva (2005)

## **2.2 Lajes nervuradas com uso de cubetas plásticas**

Com o crescente aumento da construção de edifícios atrelados com o surgimento de conjuntos arquitetônicos atuais ocasionou o aumento dos vãos, exigindo uma estrutura esbelta, e o uso da laje nervurada, cuja mesma, necessita de um baixo consumo de concreto, ocorrendo uma notória redução no peso próprio, e com um maior aproveitamento do concreto armado.

É importante assim a definição do processo construtivo a ser utilizado, entendendo que em cada escolha o sistema estrutural deverá ser projetado obedecendo às disposições normativas, sendo feita considerando-se aspectos econômicos, de funcionamento, de execução, e os relacionados à interação com os demais subsistemas construtivos do edifício (SILVA, 2005).

Araújo (2008) relata que a utilização dessas fôrmas de polipropileno, denominadas cubetas, adquiriu importância por vencer grandes vãos e colaborar para a redução significativa tanto do consumo de concreto, pelo fato do preenchimento desse material nas zonas tracionadas da laje, quanto das armaduras, quando comparadas às lajes maciças.

De acordo com Lopes (2015) as cubetas plásticas são moldes desenvolvidos exclusivamente para construção de lajes nervuradas. Sendo uma tecnologia desenvolvida na Inglaterra por algumas décadas. Seu uso é mundial sendo executada atualmente por mais de 30 países, inclusive no Brasil. Atualmente existem empresas que alugam e/ou vendem essas fôrmas e sistemas de escoramento próprio para os mesmos conhecidos como cimbramento, normalmente compostos por elementos metálicos. A Figura 5 mostra quais são os tipos de lajes nervuradas com cubetas plásticas.

Figura 5 – Lajes nervuradas com uso de fôrmas de polipropileno



a) Laje nervurada bidirecional



b) Laje nervurada unidirecional

Fonte: <http://impactoprotensao.com.br/servicos/formas/>

Como visto na Figura 5, a laje nervurada pode ser classificada em 2 tipos: bidirecional e unidirecional. Segundo Lopes (2015) Para a laje unidirecional, as nervuras são colocadas em apenas uma direção, onde descarregam suas cargas

em apenas dois apoios. Porém, na realidade elas possuem armação nas duas direções, onde a armadura principal, no sentido do menor vão é calculada para resistir a momento fletor nessa direção, ignorando-se a existência da outra direção. Basicamente, a laje será calculada como um conjunto de vigas faixas na direção do menor vão.

Ainda de acordo com Lopes (2015) para o funcionamento da laje bidirecional, é necessário que, além de possuir apoios em todos os bordos, que a relação entre os lados seja próxima a um o que equivale a uma laje quadrada. Deve-se observar que os esforços solicitantes deveram ser importantes nas duas direções principais da laje, e que quanto mais a relação entre os lados for crescendo, mais os esforços vão sendo distribuídos na direção do menor vão, e a laje perde o seu comportamento bidirecional.

De acordo com os conceitos abordados nos parágrafos anteriores, podemos distribuir as lajes nervuradas de duas formas, unidirecionais ou bidirecionais. Com isso, existe um tipo de fôrma plástica que direciona a laje em um sentido tornando-a unidirecional. É o caso da Figura 6 – Tapas Nervuras que é locada sobre as fôrmas de polipropileno bidirecionais já distribuídas sobre a laje. Com essa utilização, obteremos uma redução ainda maior de concreto e aço na laje. Podemos também ver sua utilização na Figura 5 onde está disposta no item b.

Figura 6 – Tapas Nervuras



Fonte: O autor (2021)

Os moldes de polipropileno, mesmo com seu peso relativamente leve, resistem consideravelmente à sobrecarga do concreto fresco, do peso da armadura da laje, dos equipamentos e dos trabalhadores que caminham sobre sua superfície. De acordo com Araújo (2008), a resistência da cubeta decorre da presença de nervuras estruturais internas. No processo de produção existe a aplicação de aditivos que a conferem, simultaneamente, resistência à flexão, à tração e aos impactos na concretagem e desforma, transformando o material mais resistente podendo ser reutilizável, além da proteção diante da incidência de raios solares como visto na Figura 7

Figura 7 – Formas de polipropileno (cubetas)



a) Parte interna da fôrma



b) Parte externa da fôrma

Fonte: O autor (2021)

As cubetas são encontradas em diversas dimensões e alturas e possuem faces inclinadas para facilitar a desforma, observados na Figura 7. É imprescindível a utilização de desmoldante para facilitar a desforma, salientando que pelo fato da forma de polipropileno ter uma característica de cantos arredondados, isso facilitará nesse processo. De acordo com alguns fabricantes, deve-se usar o cimbramento metálico para viabilizar a execução do escoramento. Gonçalves (2016).

É importante salientar o uso do material que auxilia na fixação das cubetas sobre os sistemas de cimbramento. Esse suporte é chamado de “Dente”, onde é fixado abaixo e nas extremidades da fôrma de polipropileno onde limitam a sua movimentação indesejada no decorrer da concretagem. Na Figura 8 é

demonstrado como são essas peças e na Figura 7 item a), é disposto como a peça já está disposta na cubeta.

Figura 8 – “Dentes” para auxílio da fôrma de polipropileno.



Fonte: O autor (2021).

Araújo (2008) relata que existem alguns aspectos que devem ser seguidos para o alcance de resultados satisfatórios e conservação das fôrmas, como por exemplo, evitar causar choques e impactos às formas tendo o cuidado no manuseio de distribuição para que não ocorram atitudes de arremessá-las podendo causar algum dano a cubeta.

Araújo (2008) também alerta que a concretagem deve ser de forma gradual e uniforme, evitando uma determinada concentração de concreto em uma única cubeta ou em uma pequena região. Alerta-se também que se deve usar vibradores para o adensamento do concreto do tipo agulha fina, impedindo assim o contato direto com a fôrma e evitando prováveis danificações causadas pela ressonância.

### *2.2.1 Vantagens e limitações da laje nervurada com uso de cubetas plásticas*

Salientando que foi visto rigorosamente as características intrínsecas da forma plástica no tópico 2.2 desse trabalho também observado na Figura 7. Desse modo de acordo com o autor Silva (2002), podemos descrever algumas vantagens e

limitações do emprego de fôrmas de polipropileno em lajes nervuradas descritas pelo Quadro 2.

Quadro 2 – Vantagens e limitações da laje nervurada com cubetas plásticas

<b>Vantagens</b>	<b>Limitações</b>
Não incorporam peso à laje	Elevado custo de aluguel das fôrmas de polipropileno
Limitam o uso da madeira, contribuindo para a preservação ambiental	Necessidade do emprego de forros, aumentando o custo do sistema
Atendem a diversos tipos de projetos, pois são encontrados com diversas dimensões e alturas	Elevado custo de aluguel dos sistemas de escoramento
Facilitação do manuseio da disposição das formas	Mão de obra especializada
Apresentam boa estética após executada	Mercado limitado, disposto para aluguel das fôrmas de polipropileno
Facilidade na desforma manual	Perda de algumas fôrmas

Fonte: Adaptado de Silva (2002)

Descrevendo ainda algumas vantagens além das citadas acima, temos como disposto a eliminação do concreto abaixo da linha neutra. Como estudado, em flexão simples, uma das premissas que se adota para o cálculo da peça em flexão, foi que abaixo da linha neutra, na zona de tracionada podemos considerar a resistência do concreto a tração igual a zero como descrito em norma. Assim, podemos definir que o concreto abaixo da linha neutra tem função de comprimento do aço.

De acordo com Araújo (2008) outra característica que devemos ter o cuidado são as condições das fôrmas. Elas devem ser conferidas antes de cada uso no processo de utilização para que o transcorrer da obra não seja prejudicado e suas características intrínsecas do material não serem afetados ocasionando problemas na hora da concretagem. Devemos observar se a determinada fôrma está deformada, pois, acarretará no mal acabamento da laje, ocasionando uma quantidade maior de material na regularização.

Ainda de acordo com o autor, devemos também, analisar e verificar o estado em que as abas das fôrmas se encontram. Onde caso estejam desgastadas, e mesmo com a utilização do material desmoldante, essa peça vai acarretar no aumento da aderência entre o concreto e a superfície da peça, podendo assim, levar o rompimento da cubeta na hora da desforma.

### **2.3 Sistema de escoramento**

Para Barros e Melhado (2006), os sistemas de escoramento são definidos como conjunto temporário de escoras e contraventamentos, de madeira ou de aço, projetado para resistir ao peso próprio da estrutura, eventuais sobrecargas, ação do vento e de provenientes intemperes durante a construção. O escoramento é de essencial importância pelo fato dos objetivos definidos no projeto. Um exemplo disso são as contras flechas utilizadas nos sistemas estruturais, onde por meio do escoramento empregado, pode-se executá-las de forma correta, evitando deformações prejudiciais à sua forma e esforço no concreto na fase de endurecimento.

De acordo com Pereira (2014), o escoramento deve ser dimensionado e executado em função das cargas e ações atuantes que serão transferidas no sistema estrutural. Assim, podemos afirmar que esse processo de escoramento tem total finalidade de sustentar as fôrmas, oferecendo segurança estrutural e estabilidade na execução dos serviços, como por exemplo, a concretagem de uma laje que necessita de operários trabalharem sobre a laje e o próprio concreto, onde haverá uma carga maior para esse sistema de escoramento.

Pelo fato da importância do escoramento em uma obra, é necessário que profissionais especializados realizem os projetos e os cálculos para garantir que a quantidade e o posicionamento de cada peça estejam corretos. Para isso, de acordo o projeto tem que ser avaliado de forma que na execução seja feito corretamente contendo todas as informações necessárias e precisas para execução. Em exemplos, são às distâncias e cotas, quais peças deverão ser utilizadas, além de informações importantes sobre a montagem dos componentes para que a preparação seja realizada com segurança (ANA, 2018).

Figura 9 – Sistema de escoramento de Laje moldada *in loco*



Fonte: <http://impactoprotensao.com.br/servicos/formas/>

Destacando assim pelo autor Assahi (2005), o cimbramento é definido como um elemento de sustentação análogo à grelha que resiste e suporta as fôrmas de modo que o concreto atinja resistência suficiente para suportar todos os esforços que estarão submetidos sobre ele.

O autor acima ainda aborda outras finalidades do cimbramento, como pode ser distribuído para o suporte e o posicionamento de outros elementos estruturais como a armação ou cabos e acessórios de protensão no caso de lajes protendidas ou vigas faixas, como também, elementos de outros subsistemas, de instalações elétricas e hidráulicas. Esse sistema também servirá de suporte de trabalho para própria concretagem dos elementos estruturais além da facilidade com que poderemos desenformar as cubetas sem que tenhamos de retirar as escoras. No próximo sub tópico podemos analisar o estudo mais aprofundado sobre esses sistemas unidos com uso de fôrmas plásticas.

### 2.3.1 Sistema de escoramento e cimbramento de fôrmas plásticas

Após definido o sistema estrutural, o sistema de escoramento e cimbramento são essenciais para a velocidade na execução da disposição das fôrmas plásticas e concretagem da laje. De acordo com Dorneles (2014) os tipos de materiais para esse processo variam de acordo com o projeto e devemos sempre

observar as especificações do fabricante quanto à utilização das fôrmas, pois em consonância a isso, Silva (2005) alerta que durante a concretagem pode-se haver uma deformação ou a possibilidade de movimentação sendo necessário o uso de travas para impedir esses problemas.

Existem as fôrmas de madeira compensada que, diante de suas limitações, como os relacionados ao custo, questão ambiental e absorção de água limitando sua vida útil, impulsionaram a utilização de outros materiais para essa finalidade. Pode-se eliminar o uso de compensados de madeira utilizando cimbramento metálico para apoiar as formas e escoras tubulares ajustáveis para facilitar a execução do escoramento reutilizável.

De acordo com Pinheiro (2014), os escoramentos metálicos tem composição de peças tubulares de aço ou de alumínio, telescopadas graduadas, utilizadas como suporte de fôrmas para sistemas estruturas de concreto. Sua função é de total importância pelo fato de sustentar as cargas e transferi-las ao chão ou a pavimentos inferiores seguindo o sistema. Os escoramentos metálicos são indicados para diversos tipos de obras, desde edifícios a obras de infraestrutura urbana. Esse sistema é combinado, principalmente, por escoras pontuais, torres e vigas compostas também por barrotes.

Antes da instalação das formas plásticas, precisamos primeiramente dispor todos os elementos que compõem o sistema de escoramento e cimbramento. Geralmente esse sistema é metálico, fornecido por empresas especializadas. Os seus componentes são:

- Escoramento metálico
- Cimbramento metálico para lajes
- Longarinas de distribuição (LD)
- Longarina principal (LP)
- Longarina de distribuição com sarrafo (LDS)

Indicando ainda que para esse tipo de sistema de cimbramento metálico exclusivo em uso de lajes nervuradas com cubetas plásticas, o escoramento metálico também faz parte desse sistema. O projeto que será executado indica e demonstra como de fato deve ser locadas todas essas escoras e ainda, se devemos utilizar barrotes que auxiliam no escoramento.

Além desses componentes, temos as “cabeças” onde esse é um elemento básico do sistema de cimbramento. Ele é fixado sobre as longarinas principais servindo de elemento de apoio das longarinas de distribuição para ambos os lados. É importante salientar que esse tipo de equipamento está inteiramente relacionado a outro item que auxilia no suporte das longarinas. As “cabeças” tem um papel importantíssimo de sustentar e receber o sistema análogo à grelha. A Figura 10 mostra um desse elemento utilizado no sistema de cimbramento.

Figura 10 – Peça denominada cabeça em sistema de cimbramento



Fonte: O autor (2021).

Com isso, temos o segundo equipamento chamado de “Forcado”, onde é locado e executado na união das longarinas principais e também para recebimento das longarinas de distribuição nas extremidades do salão tornando o sistema principal único e rígido, auxiliando no suporte de sustentação das longarinas de distribuição. Esse equipamento também facilita o processo de desforma, onde é fixado também com uma barra de ferro que transpassa a peça. Na Figura 11 é disposto esse equipamento.

Figura 11 – Peça denominada forçado em sistema de cimbramento

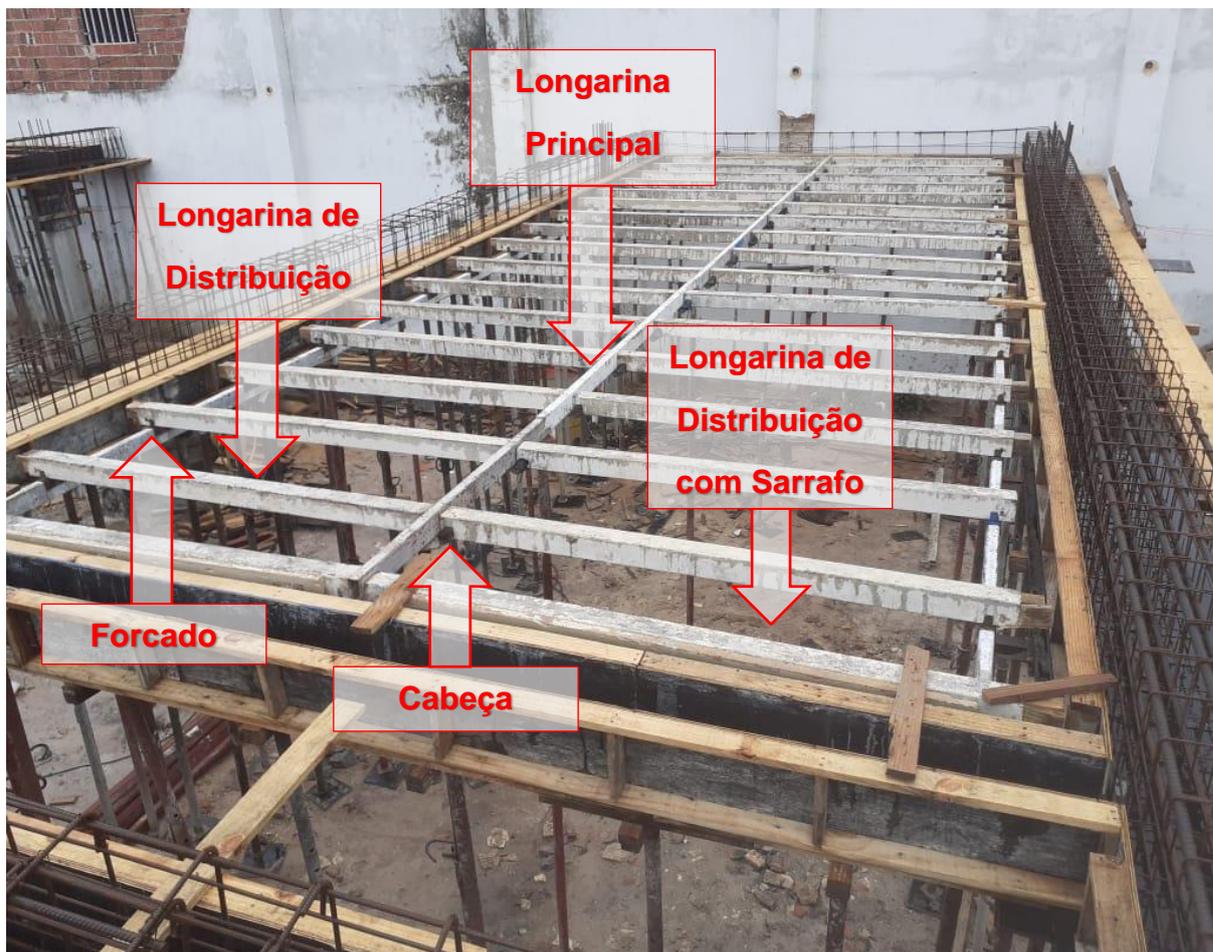


Fonte: O autor (2021).

É importante observar também que para a execução do processo de cimbramento, escoramento e disposição das fôrmas de polipropileno, deve-se ser realizada por profissionais qualificados e treinados, para que, durante a montagem e a concretagem, onde a carga sobre o sistema será bem maior, o escoramento resista aos esforços externos. Os sistemas de cimbramento são bem variados, indicados pelas necessidades da obra. É importante salientar que para cada tipo de solução estrutural, existe um tipo de cimbramento que supra as necessidades do sistema, significando ainda que cada sistema é realizado e projetado de acordo com certa finalidade e que não podemos usar de forma generalizada.

O processo de cimbramento ocorre juntamente com esses componentes, onde depois de escorados é realizada a disposição das longarinas conforme projeto. Pode-se executar a locação das fôrmas plásticas sobre o esquema de grelha que é executado nesse processo de acordo com Figura 12 e descrito todos os componentes desse método por setas indicativas com legendas.

Figura 12 – Sistema de cimbramento



Fonte: O autor (2021).

Para que as fôrmas plásticas mantenham o alinhamento e não se desloquem durante a fase de montagem e concretagem são empregados sarrafos de madeira (LDS) que auxiliam nas peças denominadas “dentes” observadas na Figura 8 justamente para combater esse deslocamento indesejável. A utilização da madeira nesse processo é importante, pois podemos fazer com que espaços vazios da laje, onde não se consegue locar uma cubeta ou meia cubeta, tenham a liberdade de fazer o acabamento com a madeira, mas que, é importante um bom planejamento no projeto justamente para diminuir o seu uso no processo executivo, tornando a obra mais sustentável. É observado na Figura 13 esse tipo de utilização.

Figura 13 – Utilização da madeira no processo de acabamento



Fonte: O autor (2021).

É importante salientar o quanto é importante a utilização da madeira na fase de cimbramento. Mesmo sendo executado por cimbramento metálico, ainda é necessário o uso da madeira para acabamentos, ajustes das longarinas e auxílio no escoramento metálico. Os barrotes também estão inteiramente ligados à essa área da parte da execução onde em alguns casos, podemos utilizá-los justamente como o cimbramento de madeira. Ele trabalha justamente com algumas características parecidas com o cimbramento metálico. Porém, esse procedimento não é aconselhável ser utilizado em madeira pelo fato ambiental e desperdício de material.

### 2.3.2 *Desmontagem do sistema de escoramento de fôrmas plásticas*

De acordo com Pereira (2015) o processo de desmontagem dos elementos é dividido em duas etapas, onde na primeira etapa é todo o procedimento de desmontagem do material reutilizável (compensados, cubetas, sistemas de cimbramento) ficando apenas as respectivas escoras. Na segunda etapa, seguindo o período de escoramento definido em projeto, são retiradas as escoras que ficaram em contato com o concreto, justamente com seus elementos de apoio. É importante salientar que após a retirada dos materiais, devemos armazená-los de forma que tenhamos facilidade no deslocamento dos mesmos, pelo fato de serem reutilizáveis

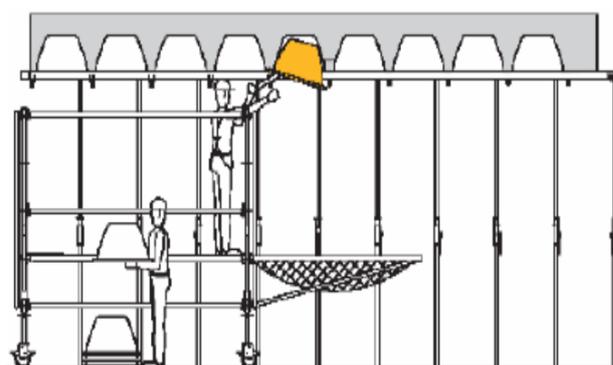
e que podemos transportá-los sem que tenhamos perda de tempo por logística mal elaborada. Além do fato de que esse tipo de organização tornará à obra mais limpa e organizada, bem como reduzirá o volume de material perdido ou danificado.

Pereira (2015) também retrata o método executivo correto da desforma de cubetas plásticas, onde se deve, com o auxílio do martelo, bater nos forcados, e assim proceder com a retirada das longarinas principais, e conseqüentemente as de distribuição. Seguidamente, com o auxílio de um pé-de-cabra ou de um equipamento para puxar, é realizado a desforma das cubetas. Neste procedimento deve-se tomar um cuidado especial para não danificar as fôrmas reutilizáveis. Elas estão suscetíveis a quebra quando soltas, sendo importante evitar caírem no chão, procedimento representado na Figura 14.

Figura 14 – Processo de desforma das fôrmas de polipropileno



a) Processo de desforma das cubetas 1



b) Processo de desforma das cubetas 2

Fonte: [http://www.astrasa.com.br/pt/construtoras/produto.asp?id\\_produtoWebConstrucaoCivil=578](http://www.astrasa.com.br/pt/construtoras/produto.asp?id_produtoWebConstrucaoCivil=578)

## 2.4 Trabalhos similares

Podemos observar que para o devido trabalho, é importante a comparação com outros trabalhos acadêmicos com semelhança ao tema proposto. Vale salientar que essa comparativa nos leva a entender que o trabalho disposto tem total embasamento teórico e que outros autores já realizaram estudos parecidos, e que a contribuição é única para cada estudo, onde as visões e conclusões se complementam a responder às questões de pesquisa.

A fim de destacar e comparar esses estudos já realizados por outros autores, pode-se inicialmente citar o trabalho desenvolvido por Lopes (2015), dissertação de título estudo comparativo entre lajes nervuradas moldadas no local

com fôrmas de polipropileno e lajes pré-fabricadas treliçadas. Esse estudo aprofunda vários conceitos sobre a laje nervurada em suas diversas utilizações, podendo assim obtermos embasamento teórico e prático, visto que esse tema já foi abordado em uma dissertação.

Lopes (2015) descreve características aprofundadas desse sistema estrutural, utilizando definições relativas às normas brasileiras. Apresenta ainda a tipologia das lajes nervuradas em concreto armado, distinguindo os dois tipos existentes, salientando o seu método executivo e de montagem a serem seguidos. O autor ainda lista e detalha como se deve realizar o processo de execução para as duas tipologias.

Lopes (2015) também relata todas as características e limitações do uso da forma de polipropileno em lajes nervuradas. É importante observar que esse estudo é relativo a um determinado caso que utiliza além das lajes nervuradas moldadas *in loco* com uso de cubetas plásticas, também é estudado o uso de lajes nervuradas pré-moldadas. Esses dois tipos, são definições já descritas anteriormente no relativo trabalho.

O autor acima, concluiu comparativos de esforços, deslocamentos verticais e horizontais e estabilidade da estrutura, bem como, os custos dos elementos estruturais que compõem a estrutura do edifício analisado para os dois modelos de sistemas construtivos utilizados. Salientou também a importância, de prever e empregar o sistema estrutural que seja mais adequado ao objetivo que a estrutura se destina através do conhecimento das cargas que este sistema irá suportar. Diante disso, definiu-se a solução economicamente mais viável, influenciada por diversos fatores, salientando-se que, na composição dos custos, devem ser incluídos fatores tais como mão de obra, tempo de execução, equipamentos, materiais necessários e a reutilização das fôrmas.

Listando ainda outro referido trabalho similar ao tema proposto, temos a dissertação de Silva (2005), intitulado: Projeto e construção de lajes nervuradas de concreto armado. Esse estudo também descreve minuciosamente características, definições, processos executivos e finalidades apresentadas para esse tipo de solução estrutural.

Silva (2005) Aborda este tipo de laje, indicando características, opções construtivas, funcionamento e comportamento estrutural e as principais recomendações propostas por outros autores a todos os potenciais usuários. É

relatado também os modelos com indicações gerais sobre o projeto e construção, e exemplos ilustrativos com o cálculo, o detalhamento e as verificações do estado limite de serviço (fissuração e deformação excessiva).

Silva (2005) expõe também que grande parte dos problemas e acidentes durante a construção das lajes nervuradas na etapa de concretagem da mesa, são provenientes pela falta de conhecimento técnico do funcionamento do sistema ou por falha de execução não seguindo alguns devidos detalhes expostos em projetos. Foi exposto também a correta disposição das escoras da laje, onde deve-se defini-las previamente qual tipo de equipamento a ser utilizado na concretagem.

Por fim, Silva (2005) conclui que os sistemas estruturais em lajes nervuradas de concreto armado são apresentados como uma das melhores alternativas para a construção de pavimentos de edificações. Em virtude de apresentarem diversas vantagens construtivas e de necessidades de vencer grandes vãos, analisando ainda o comportamento estrutural onde podemos ter excelentes resultados com a união de concreto e aço. Obteremos ainda uma grande economia desse material.

### **3 METODOLOGIA**

#### **3.1 Delineamento metodológico**

De acordo com o trabalho apresentado e pelo fato de sua natureza científica, podemos classificá-lo em diversos critérios de estudos aprofundados. O primeiro critério apresentado é o ambiente da pesquisa, caracterizado como *in loco*, pelo acompanhamento presencial da execução de uma solução estrutural de laje nervurada em concreto armado com uso de fôrmas de polipropileno em uma residência unifamiliar localizada em Fortaleza, Ceará.

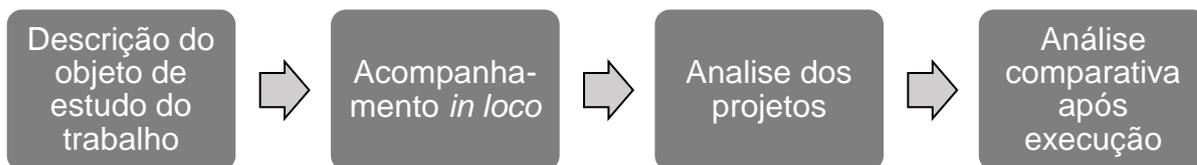
Outro critério avaliado nos traz a natureza da pesquisa, onde o presente estudo pode ser caracterizado por uma pesquisa aplicada, utilizando como estratégia da pesquisa um estudo de caso de uma aplicação prática e análise de arquivos de campo. Além disso, em relação ao tipo de pesquisa o presente estudo se caracteriza de forma qualitativa. Neves (1996) relata que os principais tipos de pesquisa são qualitativos e quantitativos, onde o foco principal do estudo qualitativo está em interesse amplo e a parte de uma perspectiva diferenciada e aplicada pelos métodos qualitativos, assim, obtendo os dados descritivos mediante contato direto e interativo do pesquisador com o objeto de estudo.

Por fim, tem-se o critério de instrumentos de coleta. Com o auxílio da tecnologia e estudos técnicos, realizou-se o acompanhamento físico da obra. Serão utilizadas fotos, análises de projetos, vídeos e conteúdos técnicos que aprofundam ainda mais a análise da execução do projeto, dando credibilidade e confiabilidade ao processo.

#### **3.2 Etapas metodológicas**

De acordo com o delineamento apresentado anteriormente, foram traçadas etapas para a obtenção de resultados. Essas etapas foram resumidas no fluxograma da Figura 15.

Figura 15 – Etapas metodológicas



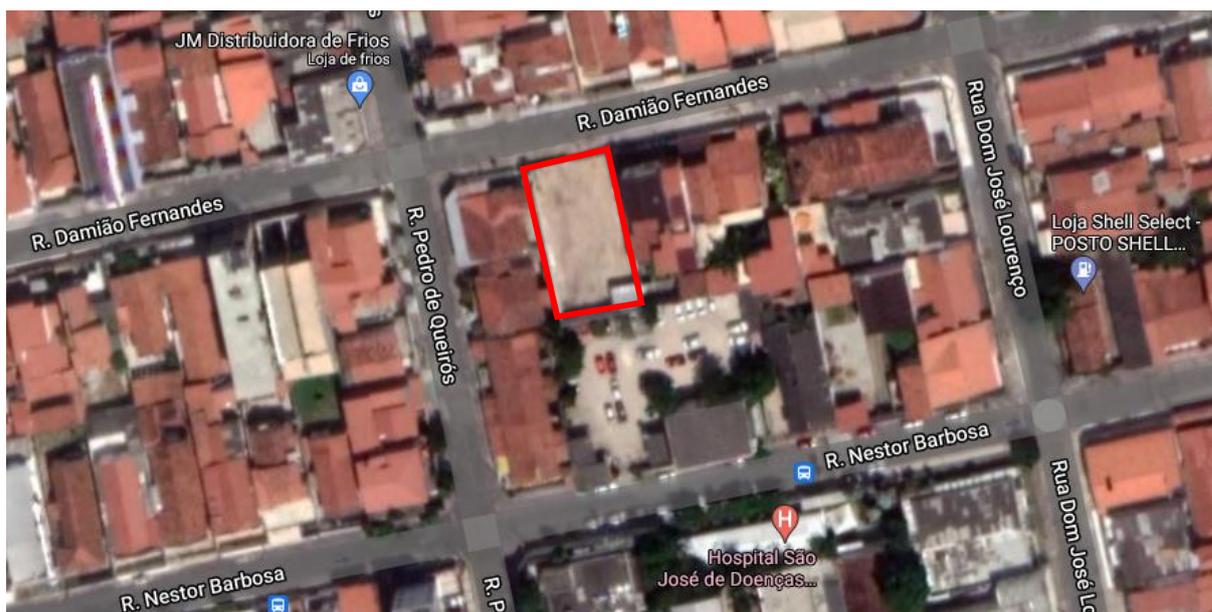
Fonte: O autor (2021)

### 3.2.1 Descrição do objeto de estudo do trabalho

A primeira etapa metodológica é a determinação do objeto de estudo do trabalho. Tendo como foco a análise de solução estrutural em lajes nervuradas com uso de fôrmas de polipropileno em residência unifamiliar, esse estudo será embasado por estudo de caso visando realizar aprofundamentos e avaliações dos métodos construtivos empregados.

O objeto de estudo foi executado em terreno de dimensões 28,76m x 18,44m, terreno localizado no bairro Amadeu Furtado na cidade de Fortaleza, Ceará. A Figura 16 mostra a localização e as dimensões do terreno em relação à rua e ao quarteirão.

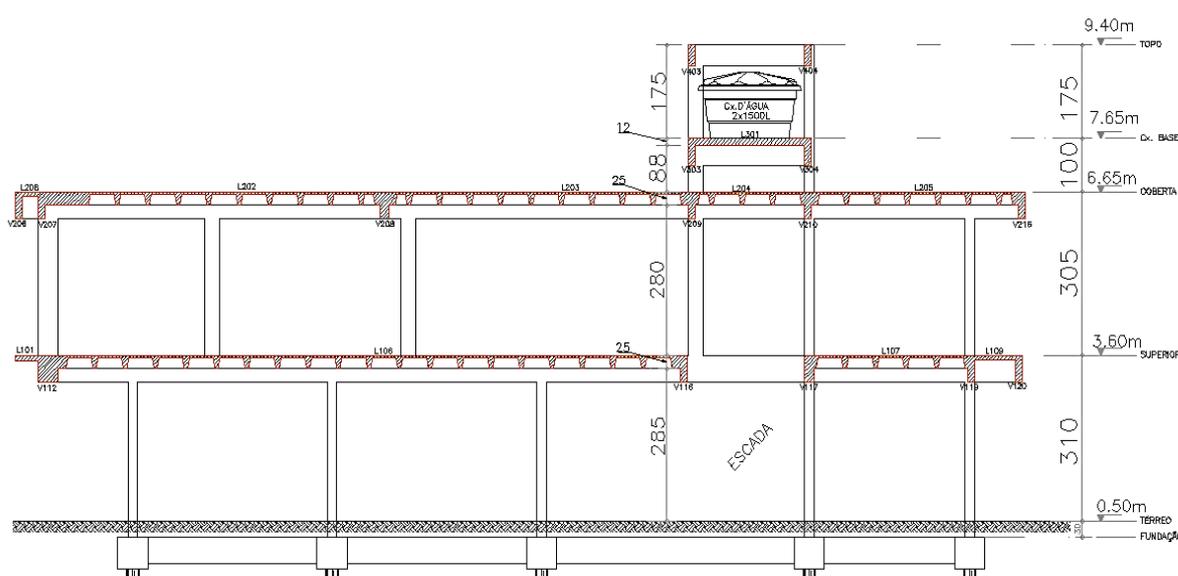
Figura 16 – Localização do terreno do objeto de estudo



Fonte: Google Maps (2021).

A residência unifamiliar será dividida em pavimentos térreo, pavimento superior e coberta. Por características do projeto arquitetônico, apresentando vigas de maiores dimensões e vãos maiores, o engenheiro calculista junto com o arquiteto definiu um tipo de solução que suprisse todas as solicitações, destacando as lajes nervuradas com uso de fôrmas de polipropileno. Tanto a laje do pavimento superior como a laje da coberta foram projetadas em laje nervurada, sendo as características de dimensões para laje do pavimento superior de área equivalente a 213,91 m<sup>2</sup>, e a coberta de área equivalente a 95,04 m<sup>2</sup>. Na Figura 17 podemos observar os cortes longitudinais “A” da residência objeto de estudo onde é possível compreender qualitativamente a dimensão da estrutura e reconhecer o uso da laje nervurada. As plantas baixas para conferência e comparação estão disponíveis no Apêndice A e no Apêndice B do presente trabalho.

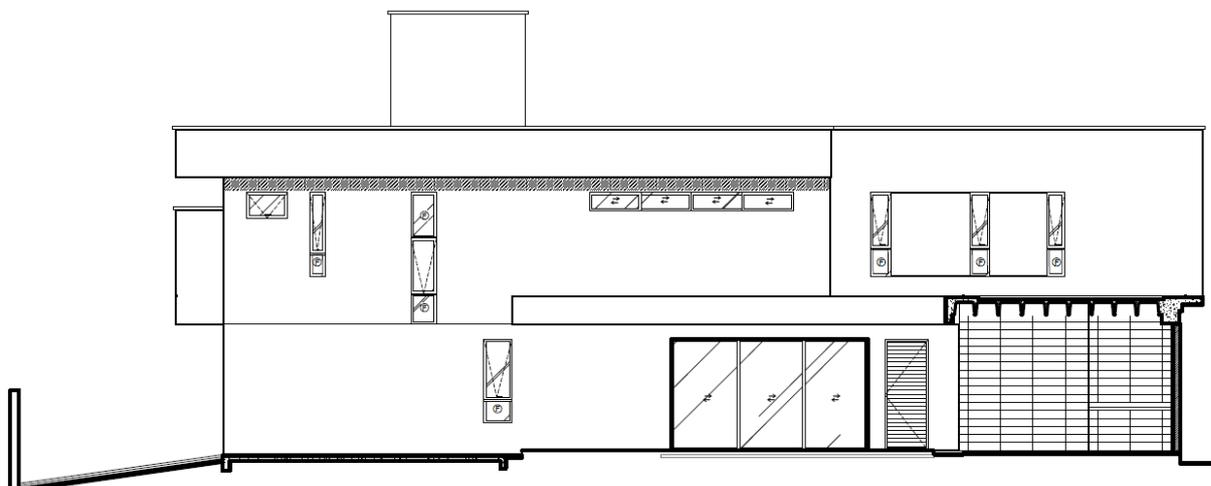
Figura 17 – Corte longitudinal “A” da residência



Fonte: O autor (2021).

Conforme especificação do projeto estrutural, nessa construção não será utilizada nenhuma armação protendida, e todas as armaduras dispostas em projeto, serão beneficiadas *in loco*. Observando então as características gerais do empreendimento, podemos observar que se trata de uma casa de grande porte, mas que não terá uma grande quantidade de pavimentos, limitando-se a dois pavimentos. É importante também a visualização da fachada lateral, disposta na Figura 18 como finalidade de avaliar o sistema estrutural finalizado.

Figura 18 – Fachada lateral da edificação em estudo



Fonte: o autor (2021).

Pelo fato do tipo de solução estrutural em estudo ser mais utilizada em construções de edifícios com maiores quantidades de pavimentos, esse estudo de caso nos trouxe uma alternativa de novas definições durante e após a conclusão da obra, por se tratar de estudo em tipologia de residência unifamiliar, diferenciando assim e exaltando esse tipo de solução para obra de pequeno porte. Com isso, os resultados agregarão à comunidade científica embasando os conteúdos sobre esse sistema já realizados, auxiliando em processos de tomada de decisão.

### 3.2.2 Acompanhamento *in loco*

A segunda etapa trata-se do acompanhamento físico no local obra, havendo 4 visitas diárias por semana, em um período de aproximadamente 2 meses, a fim de avaliar minuciosamente todos os detalhes construtivos e possíveis problemas pertinentes, seja pelo projeto, pela execução, ou ainda por atraso de materiais de fornecedores. A utilização de tecnologias para o auxílio do acompanhamento da obra torna-se essencial, como por exemplo, o uso de celulares, projetos impressos e utilização de softwares para avaliação dos projetos.

Com a finalidade de apresentar ao leitor todo o processo executivo para que se obtenha conhecimento prático do que o objeto de estudo apresenta, os resultados provenientes da execução *in loco*, são fixados no APÊNDICE C –

DESCRIÇÃO DETALHADA DO PROCESSO EXECUTIVO DA LAJE EM ESTUDO. Esse remanejamento da etapa detalhada do processo executivo para o apêndice tem objetivo de apresentar conhecimentos específicos dos pontos principais de execução em campo de forma geral. Como a descrição exige um maior detalhamento e conseqüentemente uma maior quantidade de informações escritas, fixou-se então no apêndice.

Vale ressaltar que todas as negociações e orçamentos dos materiais utilizados para execução das lajes nervuradas também foram avaliados, pois se entende que uma análise qualitativa dos custos fornece uma visão da qualidade e execução adequada da obra. Pelo fato da utilização da laje nervurada em uma residência unifamiliar, a fim de comparar os lados positivos desse emprego, o orçamento de materiais específicos e insumos também trarão ao presente trabalho embasamento teórico para que possamos levantar dados de um possível custo final com finalidade de agregar ainda mais o estudo.

Outro ponto de grande importância no acompanhamento *in loco* está relacionado ao recebimento do concreto utilizado nas lajes. Pela execução do objeto de estudo em um período chuvoso, buscou-se um planejamento diferenciado para que não houvesse atrasos por eventuais chuvas que afetariam inteiramente no andamento da obra. Com isso, os dados de custo e documentos de execução foram avaliados para o concreto utilizado, analisando as características e quantidades das fôrmas de polipropileno e de compensados de madeira empregadas pelo projeto, o serviço de profissionais capacitados para realização da concretagem e ainda, equipamentos importantes que auxiliam na concretagem para que se obtenham os resultados esperados.

Para os equipamentos utilizados na obra, avaliou-se *in loco*, qualitativamente, a produtividade tanto de uso na obra, tempo necessário para preparação e montagem do equipamento, medidas respectivas de uso (“traço”) e eventuais situações que poderiam ser melhoradas para que possa ter uma finalidade de maior produção com maior qualidade.

### 3.2.3 Análise dos projetos

Em qualquer obra de edificação, para que se obtenham resultados satisfatórios e que seja seguido um cronograma executivo organizado, devem-se

analisar todas as etapas do projeto. As especificações devem também ser seguidas com finalidade de suprir a todas as solicitações provenientes de esforços tanto externos e internos.

O objetivo desta etapa é avaliar todas as disposições das soluções empregadas dispostas em projeto, constituídas por pilares, vigas e lajes, os quais foram concretadas *in loco* por concreto usinado. Analisou-se tanto o projeto estrutural como os projetos específicos para as lajes nervuradas, executado por empresa especializada, no quesito distribuição das fôrmas de polipropileno e do escoramento utilizado. Buscou-se avaliar todos esses critérios de forma a realizar análise crítica ao comparar com o processo de execução *in loco*, acompanhado neste estudo.

#### 3.2.4 *Análise comparativa após execução*

Após avaliar previamente todos os projetos e executá-los, é de vital importância que se tenham ainda outro estudo em relação ao pós-obra. O objetivo, então, desta última etapa é a realização de uma análise comparativa da execução com as especificações de projeto. Com esse estudo, a verificação da correta execução do sistema estrutural de lajes nervuradas, levando em consideração todos os insumos e equipamentos que auxiliaram na execução, torna-se possível, com foco na determinação se o projeto foi realizado corretamente e obteve um resultado satisfatório.

Analisaram-se todas as características dos elementos estruturais, da qualidade de execução aplicada em cada etapa e ainda, resultados satisfatórios na utilização de materiais impermeabilizantes ainda na fase de construção da estrutura. Por fim, compararam-se ainda as visões de vantagens e limitações da solução empregada em laje nervurada com uso de cubetas plásticas.

## **4 RESULTADOS**

Neste capítulo serão abordados os resultados do presente estudo. Visto que a descrição da etapa de execução é algo importante para outros engenheiros terem como base para futuras construções, a etapa inicial dos resultados é a descrição detalhada, com registros fotográficos, do processo executivo do estudo de caso. Em seguida, será apresentada uma análise crítica do resultado do processo executável em comparação com o projeto planejado. Por fim, são ponderadas algumas vantagens e limitações percebidas do processo em estudo, de forma a resumir a aplicabilidade da solução utilizada para futuras obras.

### **4.1 Descrição detalhada do processo executivo da laje em estudo**

Como já foi falado, observou-se a importância da descrição do processo executivo do estudo de caso de forma a balizar futuras decisões de projeto em situações similares. Com isso, foi descrito todo o processo executivo do estudo de caso da edificação unifamiliar de alto padrão de concreto armado com solução estrutural em lajes nervuradas com uso de fôrmas de polipropileno, e tal descrição encontra-se disponível no APÊNDICE C – DESCRIÇÃO DETALHADA DO PROCESSO EXECUTIVO DA LAJE EM ESTUDO deste trabalho.

Para o início da leitura do processo descritivo, é importante destacar que se dividiu a explanação em tópicos cronológicos da execução com finalidade de detalhar e especificar todas as etapas. A disposição do sistema construtivo foi apresentada de acordo com o projeto executado. Sendo, portanto, divididas nas etapas de cimbramento, escoramento, disposição das fôrmas de polipropileno, montagem das armaduras positivas e negativas, concretagem, desforma das cubetas e retirada do escoramento. A descrição da execução da laje, sendo esse estudo feito após a conclusão da concretagem completa dos pilares tornando viável o início do processo executivo.

É importante ressaltar ainda que o processo executivo realizado dos pilares tem função de favorecer a cura do concreto dos pilares. O fato de concretar o pilar e manter sua fôrma posicionada e fixada para a concretagem executada propiciou uma menor perda de água, favorecendo a sua cura. Outro fator importante foi o favorecimento da qualidade do adensamento dos pilares, pois neste caso,

como ainda não se tem nessa etapa a armação das vigas e lajes posicionadas, a seção do pilar fica completamente livre e desimpedida para o manuseio do mangote do vibrador.

Com isso, para o próximo subitem é disposto e apresentado resultados práticos de análises executivas que foram realizadas baseadas no projeto específico de cada etapa da obra.

## **4.2 Análise comparativa: Executado X Planejado**

Com a descrição e detalhamento de cada etapa construtiva explícita de todo o processo executado disposto no Apêndice C, podemos avaliar algumas situações que foram realizadas, baseado em soluções executivas práticas que determinaram o contínuo andamento da obra. Essas soluções são apresentadas nos subtópicos seguintes.

### *4.2.1 Solução prática e exequível do cimbramento metálico*

Na etapa de execução do cimbramento metálico, onde foram dispostas todas as longarinas principais escoradas entre os pontos centrais de eixo a eixo, foram fixadas as longarinas de distribuição perpendiculares às longarinas principais. Realizou-se também o travamento dos equipamentos para estabelecer a unificação de todo o sistema. Após conclusão dessa etapa foi realizada a disposição das fôrmas de polipropileno.

Foram distribuídas assim, seguindo o projeto, todas as cubetas nos espaços dos cimbramentos. Salientando que, após distribuir as cubetas em uma fileira, nas laterais de menor ou maior comprimento, observa-se que não se consegue locar uma cubeta inteira (61 x 61 x 25 cm) no espaçamento. Assim, é utilizada a meia cubeta (30,5 x 61 x 25 cm) para esse preenchimento, visando o transpasse da longarina de distribuição sobre a longarina principal do entorno. Esse transpasse foi responsável justamente para suportar a meia cubeta plástica ainda podendo realizar um acabamento melhor.

Porém, na obra, com a realização das disposições e fixações das cubetas plásticas, ocorreu um imprevisto com as longarinas de distribuição, que pelo seu comprimento, não conseguiram vencer o vão que se suporta as cubetas,

impossibilitando sua locação pelo fato de ficarem suspensas e sem nenhum tipo de suporte na extremidade. Foi comunicada a empresa responsável, contratada para a execução do projeto de cimbramento, que distribuiu os equipamentos para a execução do cimbramento e escoramento, admitindo o equívoco em relação a entrega das longarinas somente no comprimento reduzido dessa lateral do salão. Mas, como o processo executivo do cimbramento estava concluído e visando ainda o prazo de entrega estabelecido da etapa do sistema estrutural para o cliente, foi realizada então uma solução prática e exequível para esse contratempo.

Como as longarinas de distribuição são metálicas e ocas, foram executadas as fixações entre seus orifícios, barrotes de madeira preenchendo-a e deixando um braço de apoio com comprimento de 25 centímetros, justamente para suportar a meia cubeta. Esse tipo de solução foi utilizado por toda a lateral demandada com comprimento do vão de 12,45 metros.

Pelo fato da compatibilização das fôrmas de polipropileno e forma da viga, é necessária a vinculação entre o sistema de cimbramento e a viga. Por esse fato um dos pontos que também auxiliou essa execução foi a redistribuição das longarinas de distribuição com sarrafo de madeira, os quais facilitaram o ajuste do material para essa execução. Podemos observar essa solução através da Figura 19.

Figura 19 – Solução prática para o sistema de cimbramento



Fonte: o autor (2021)

Alinhada, então, toda a disposição da estrutura de cimbramento, foram distribuídas todas as fôrmas de polipropileno no decorrer do salão. Foi importante uma nova conferência da resistividade, travamento, qualidade e distribuição correta, no sentido correto de cada cubeta. Os dentes, peças auxiliares também das meias cubetas, auxiliaram em toda essa disposição pelo fato do seu encaixe sobre os barrotes. Por fim, foi executado o acabamento na parte superior do cimbramento, onde foi fixado e unido as formas de compensado da viga com a meia cubeta fixada no cimbramento de madeira com finalidade de garantir a concretagem linear entre as meias cubetas e a viga.

Realizado então essa solução prática e avaliado todos os requisitos dispostos para obtenção de resultados satisfatórios, é apresentado na Figura 20 o acabamento entre a meia cubeta (sustentada pelos barrotes) e a finalização da concretagem.

Figura 20 – Solução prática e concretagem finalizada



a) Acabamento entre a meia cubeta e a viga lateral



b) Finalização da concretagem do entorno lateral onde foi realizado a solução prática

Fonte: O autor (2021)

Após finalizada a concretagem da lateral onde foram fixados os barrotes, foram obtidos resultados satisfatórios quanto ao conjunto estrutural estar unificado. Pelo fato da realização desse tipo de solução, mesmo não estando em projeto,

obteve-se um tipo de solução que realmente desempenhou várias vantagens positivas para a finalização eficiente da concretagem.

#### *4.2.2 Concretagem geral e impermeabilização de áreas molhadas*

Como já descrito no Apêndice C, optou-se por utilizar no caso em estudo um concreto do tipo usinado. Essa solução foi utilizada com o objetivo de garantir a qualidade do controle de sua resistência característica (fck), e, juntamente pela área extensa de concretagem, isso demandou o uso de bombeamento do concreto visando prevenir problemas e otimizar a produtividade na execução da estrutura.

Com isso, possibilitou-se a execução da laje nervurada de forma a evitar paradas desnecessárias, o que poderia ocasionar o endurecimento do concreto sem o complemento do material na forma, gerando descontinuidade no concreto. Isso gerou também uma redução de custos indiretos com mão de obra, que trabalhou no processo durante somente 1 dia, tempo que seria diferente caso fosse optado pelo uso de transporte por carrinho de mão, por exemplo.

Dentre os tipos de bombeamento, foi utilizada na obra do objeto de estudo a bomba estacionária com emprego do mangote rígido e flexível para o direcionamento do concreto nos locais a serem concretados. Esse sistema foi escolhido também pelo fato de as instalações elétricas públicas dificultarem o acesso até a área a ser concretada. Pelo recurso positivo empregado da bomba estacionária, onde facilitou-se o acesso com os mangotes rígidos inibindo o contato com a rede elétrica pública, conseguiu-se obter resultados satisfatórios frente a essa limitação.

Pelo fato da utilização dos mangotes rígidos para disposição do concreto, é possível estabelecer alguns pontos desfavoráveis no decorrer de sua execução pela razão do peso dos mangotes rígidos e pela dificuldade em manuseá-los para redirecionar em áreas que precisam de curvas.

Como esses tubos têm comprimentos de 3 metros, todas suas junções para união entre os tubos foram realizadas com gargantilhas especiais compostas em seu entorno interno por borrachas que vedam e inibem vazamentos provenientes das junções. Porém, por esse fato de remover essas gargantilhas e realizar um novo travamento do mangote após concluir uma área concretada, partindo para outra

mais recuada, podemos observar a demora e a conseqüente perda de produtividade dos operários.

Além disso, outro impasse que esse sistema de bombeamento apresentou foi a existência de concreto remanescente dentro da tubulação, o que pode ser visto como material perdido se não for pensado o processo de sua retirada. Com isso, foi necessário dispor o tubo rígido do mangote na posição vertical para que o concreto escoasse sempre após cada retirada de peças para redução do mangote. Em consonância a isso, esse fato também apresenta uma perda de constância na execução da concretagem. Podemos observar isso na Figura 21.

Figura 21 – Retirada de concreto remanescente dos tubos rígidos



Fonte: O autor (2021)

Como apresentado na imagem, após remoção do tubo rígido observou-se a quantidade de concreto existente internamente. Assim, foi realizada essa remoção com finalidade de garantir o maior uso efetivo de todo o concreto que foi bombeado para execução da laje. Como o concreto está fresco, e a quantidade bombeada preencherá toda a área, as junções entre esse material disposto e o material bombeado pelo mangote flexível não tiveram nenhuma limitação ou problema nas suas junções.

O mangote flexível facilitou a produtividade e disposição nas áreas que eram solicitadas para concretagem. Com isso é importante salientar que a tubulação utilizada na execução da obra foi com diâmetro de 125 mm, onde com essa dimensão o concreto pode fluir no decorrer da tubulação sem problema em relação

ao espaço interno ser menor do que o necessário para o bombeamento constante. Podemos observar isso, na Figura 22.

Figura 22 – Mangote flexível para execução da concretagem



Fonte: O autor (2021)

Porém, mesmo com essas limitações impostas por esse sistema, foi possível obter resultados satisfatórios que repercutiram na obra. O preparo inicial dos operários, após a escolha desse sistema foi de fato muito importante para que a concretagem pudesse ser feita com constância e com redução de períodos ociosos. Com isso, quando se foi necessária a redução do mangote rígido, já existia uma dupla para realizar a retirada do tubo e executar a união entre o mangote flexível agilizando o processo de junção.

Visando os ambientes de área molhada e a compatibilização do projeto estrutural com o projeto hidrossanitário, ocorreu uma avaliação pertinente em relação as áreas molhadas, onde percebeu-se que, após o processo executivo da concretagem, esses ambientes concretados necessitariam de impermeabilizações pontuais pelo fato do contado direto com a umidade presente.

Em consonância a isso e visando estabelecer ainda mais praticidade e velocidade na execução e entrega da obra, foi utilizado um produto impermeabilizante na composição do concreto. Esse produto tem características de

um aditivo impermeabilizante hidrofugante nano tecnológico em pó para concretos e argamassas.

O aditivo utilizado torna-se a origem das substâncias minerais quando misturado com água e cimento bloqueando a rede capilar, resultando assim em uma impermeabilização totalmente eficaz do local da aplicação. O fabricante do produto utilizado afirmou que sua durabilidade é condizente com a vida útil da edificação, isto é, sua ação não diminui com o tempo permanecendo assim sua elevada impermeabilidade tornando-se uma solução definitiva para impermeabilização.

Pelo fato do concreto transportado pelo caminhão betoneira estar sendo movimentado em todo seu percurso em um só sentido, após seu recebimento, deve-se então atentar na mudança do sentido contrário da rotação. Com isso, é aplicado assim o aditivo impermeabilizante no próprio traço do concreto nesse momento de mudança de rotação. Esse produto foi aplicado e o concreto foi movimentado em alta rotação no caminhão betoneira por um período de 20 minutos para homogeneização do concreto e aditivo, como exemplifica a Figura 23.

Figura 23 – Disposição do aditivo impermeabilizante no traço do concreto



Fonte: O autor (2021)

#### 4.2.3 Preenchimento com “graute” em área não concretada

Como descrito no processo executivo, fixado no Apêndice C, foram necessários 48 m<sup>3</sup> de concreto usinado para finalização da área posteriormente concretada. Com isso, foram contratados 6 caminhões betoneiras onde cada caminhão carrega 8 m<sup>3</sup> de concreto. Essa quantidade de concreto foi calculada mediante ao projeto estrutural e medição de cada componente do sistema estrutural. Executando assim a concretagem, foram obtidos resultados satisfatórios pelo fato da cobertura completa de todos os cobrimentos necessários das armaduras negativas, armaduras positivas localizadas na mesa e ainda, as vigas que também foram concretadas tornando o sistema estrutural unificado.

Com isso, baseando-se no sentido de maior distância relativa ao ponto de referência principal que seria o caminhão bomba estacionário, foi realizada a concretagem nesse mesmo sentido. Porém, pelo fato de mesmo com a padronização das áreas concretadas que necessitam do cobrimento mínimo estabelecido pelo projeto, e que todas as vigas também foram concretadas padronizando o nível igualitário ao da laje, verificou-se que após a execução e disposição do concreto do último caminhão betoneira contratado, finalizando a última área a ser concretada, necessitou-se ainda de aproximadamente 0,3 m<sup>3</sup> de concreto. Em outras palavras, a quantidade de concreto calculada e contratada não foi suficiente, faltando concretar um pequeno volume.

Devido a necessidade da quantidade de concreto após a execução do último salão concretado, não seria prudente realizar outro pedido de um novo caminhão betoneira, mesmo que esse tivesse a quantidade inferior à sua capacidade mínima por conta da logística do caminhão e pelo seu custo elevado. Por isso, optou-se por concretar a quantidade faltante com material rodado na própria obra, de características similares, denominado graute.

O graute é um tipo de concreto ou argamassa de alta resistência utilizado, dentre outras finalidades, para preencher vazios de concretagem. Com isso, foi utilizado justamente para esse preenchimento da área remanescente da concretagem da laje. Pelo fato de sua característica intrínseca e pelo seu grande diferencial de se tratar de um concreto com consistência mais fluida, foi possível dispor o graute sobre a superfície da laje sem a necessidade de adensamento da área executada com os mangotes e vidradores utilizados anteriormente.

Outra característica da utilização do graute para esse preenchimento é a questão do destaque por alcançar em um período curto, a resistência inicial e final sem que ocorra um período maior de cura. Diante esse fato, também podemos obter outros resultados de melhoria de produtividade quanto a liberação das fôrmas de polipropileno. A seguir podemos observar na Figura 24 a área que foi necessária a execução do graute.

Figura 24 – Área remanescente a ser concretada



a) Área pendente (Vista 1)



b) Área pendente (Vista 2)

Fonte: O autor (2021)

Como visto na Figura 24, foi disposto para a execução dessa área o graute industrializado que já é disponível em uma saca com 25 kg, pronto para uso, que requer apenas a adição da quantidade correta de água para a obtenção de um material fluído destinado ao grauteamento de seções solicitantes. O graute utilizado é composto por cimento Portland, agregados minerais, aditivos especiais e fluidificantes.

Outra característica disposta pelo próprio fabricante é a relação da resistência à compressão após sua aplicação. Por essa qualidade apresentada, obtemos uma maior segurança quanto ao seu uso, pelo fato de sua resistência ser ainda maior que o próprio concreto usinado. Podemos observar essas resistências no Quadro 3.

Quadro 3 – Especificações técnicas do graute (Resistências)

Propriedades e especificações	Resistências e características
Massa unitária	2,200 kg/dm <sup>3</sup>
Resistência à compressão às 24 horas (NBR 5.739/07)	25 MPa
Resistência à compressão aos 3 dias (NBR 5.739/07)	35 MPa
Resistência à compressão aos 28 dias (NBR 5.739/07)	50 MPa
Tempo em aberto para lançamento a 25°C	30 minutos
Teor de cloretos	Isento

Fonte: Adaptado de “[https://www.quartzolit.weber/files/br/2017-12/super\\_graute\\_quartzolit.pdf](https://www.quartzolit.weber/files/br/2017-12/super_graute_quartzolit.pdf)”

Seguindo todas as recomendações propostas para a utilização correta do graute, foi então assim executado e aplicado sobre a área solicitada. O período de preenchimento foi realizado em aproximadamente 1 hora pelo fato da mistura em si do material, e ainda da logística de compra da saca. Com isso, realizou-se a mistura em um carrinho de mão inteiramente limpo em sua superfície interna para não haver nenhum resíduo ou outro tipo de material remanescente que pudesse entrar em contato com o graute, contaminando-o e alterando suas características. Podemos observar o processo executivo do graute finalizado na Figura 25, na qual foi evidenciado o local do complemento, mostrando uniformidade no processo.

Figura 25 – Graute executado na área solicitada



Fonte: O autor (2021)

Por fim, após aplicação do graute, foi executado o sarrafeamento do material onde realizou-se a regularização e padronização do cobrimento mínimo estabelecido em projeto. Esse sarrafeamento foi executado com a régua de alumínio onde foi movimentada em um sentido único.

### **4.3 Análise comparativa: Vantagens e limitações dos serviços executados**

Apresentados os procedimentos dispostos no apêndice C do processo executivo como todo, além das especificações de cada material e equipamento utilizado na obra, podemos de fato elencar as vantagens e limitações desse processo. É importante ressaltar e destacar as vantagens e limitações das escolhas específicas do projeto em estudo com objetivo de auxiliar tomadas de decisões futuras levando em consideração a especificidade de cada obra. Essas alternativas têm suas particularidades para cada demanda específica, mas que, o objetivo principal será de embasamento para outros casos similares a esse processo descrito onde será facilitado de certa forma.

O objetivo desse tópico é a realização de um quadro resumo com os principais pontos levantados, explicando suas principais características vantajosas e limitações provenientes das soluções utilizadas. É importante salientar que nenhuma das limitações apresentadas invalidam ou então diminuem o processo realizado no estudo de caso, mas pode-se tornar pontos de atenção em outras obras e auxílio no processo de tomada de decisão frente à outras soluções que podem ser utilizadas. Apresenta-se então, a disposição geral dos resultados empregados nos itens que seguem:

Serviço / processo: Execução de acordo com o especificado em projeto

Vantagem: Diante o fato do planejamento elaborado e o acompanhamento “in loco” realizados diariamente, foram necessárias poucas tomadas de decisão que não estavam em projeto. Com isso, existiu a padronização dos serviços de forma técnica e seguindo cada especificidade do projeto.

Limitação / Ponderações de projeto e sugestões: É necessário o planejamento diário para execução da obra. Esse planejamento para cada serviço leva ao construtor mais segurança na distribuição dos serviços empregados para a

etapa cronológica da obra. Com isso, a avaliação juntamente com o executor e o projetista deve estar em conformidade com o projeto executado.

Serviço / processo: Concretagem geral

Vantagem: Definição do tipo de concreto usinado utilizado com a bomba estacionária, onde obtemos uma boa produtividade em relação a concretagem da laje nervurada e das vigas, tornando o sistema inteiramente unificado.

Limitação / Ponderações de projeto e sugestões: Pelo fato da decisão do tipo de solução empregada para concretagem, obteve-se resultados de produtividade reduzidos pelo fato do manuseio dos equipamentos utilizados. Porém, essa alternativa para o objeto de estudo foi definida por conta da rede elétrica pública, que limitaria outros tipos de soluções e equipamentos de concretagem.

Serviço / processo: Impermeabilização das áreas molhadas

Vantagem: Com a escolha da impermeabilização da laje nervurada em áreas molhadas na própria concretagem, obtemos resultados satisfatórios em relação a agilidade na execução de serviços de impermeabilização, que seriam necessários após concretagem.

Limitação / Ponderações de projeto e sugestões: Com a facilidade de concretar áreas molhadas já impermeabilizadas, tem-se o devido cuidado quanto ao preencher o sistema estrutural (vigas e lajes). Deve-se utilizar de forma ponderada e pontual o concreto usinado com o aditivo impermeabilizante devido seu custo. Esse concreto impermeabilizado seria especificamente utilizado em áreas molhadas.

Serviço / processo: Solução prática e exequível do cimbramento metálico

Vantagem: Execução de solução prática do sistema de cimbramento metálico com finalidade de agilizar e atender todas as especificações que o projeto solicita. Com isso, foi necessária a tomada de decisão de uma solução exequível como descrita nos resultados anteriores.

Limitação / Ponderações de projeto e sugestões: Necessitou-se a execução do cimbramento metálico após perceber a insuficiência das longarinas de distribuição que não conseguiriam sustentar toda a área concretada pelo fato de sua seção ser menor do que a solicitada. Com isso, era necessário a conferência e avaliação pontual de cada equipamento que seria necessário para a obra. Mesmo

empregando um outro material para sustentação, o resultado supriu todas as necessidades e ainda favoreceu o período cronológico.

Serviço / processo: Execução do Graute

Vantagem: Finalização do processo de concretagem sem a necessidade de contratação de concreto usinado em excesso e com a segurança da execução com material de alta resistência e compatível com o sistema.

Limitação / Ponderações de projeto e sugestões: Essa foi uma solução encontrada quando se percebeu que a falta de material aconteceria. É importante ter-se atenção às diferenças de dimensões de projeto e de execução de fôrma. Outro ponto de atenção é que esse fato ocorreu no final do dia, onde felizmente ainda foi possível realizar a compra do material necessário. Porém, caso não estivesse disponível haveria necessidade de criação de junta fria.

## 5 CONCLUSÃO

Esse trabalho teve como objetivo geral a análise do processo de execução de uma edificação residencial unifamiliar de alto padrão com uso de solução estrutural em laje nervurada em concreto armado executada com fôrma de polipropileno. Pode-se afirmar que esse objetivo proposto foi atingido com sucesso, tendo uma descrição detalhada de um processo executivo, de forma a servir de subsídio para futuras construções.

Para isso, inicialmente foi feita a determinação e descrição do caso utilizado como escopo do projeto. Esse objetivo tornou-se uma introdução geral ao processo executivo descrito de forma a caracterizar a tipologia analisada, onde pôde-se concluir que esse fato influencia diretamente nos resultados encontrados. Em outras palavras, o processo descrito e detalhado possui soluções adequadas à uma edificação residencial unifamiliar nas características especificadas, devendo ser feita uma análise de viabilidade para a aplicação dessas mesmas soluções em outras tipologias.

Um dos principais resultados do presente estudo foi a descrição detalhada do acompanhamento *in loco* do processo de montagem e detalhamento construtivo de execução da laje nervurada, apresentado no Apêndice C deste documento. Esse objetivo foi primordial para a análise crítica dos resultados deste trabalho. Por esse resultado, pôde-se concluir que foi obtido características únicas executadas por meio da tipologia construtiva da residência em objeto de estudo. Sendo, portanto, possível o detalhamento aprofundado de cada processo executado expondo ao leitor todos os detalhes construtivos e limitações de projeto de cada etapa vigente da obra.

Esse detalhamento não é comumente visto em bibliografias sobre o assunto. Em muitos casos, o processo executivo é algo sigiloso dentro da empresa por questões técnicas e de mercado. Contudo, sabe-se que é importante que existam registros de erros e casos de sucesso para que os processos agregadores possam ser repetidos e os erros evitados.

Seguindo a análise dos resultados e da descrição do processo executivo realizada, fez-se uma análise comparativa entre a solução empregada mediante o processo executivo e ainda, limitações baseadas na tipologia construtiva dos projetos da edificação unifamiliar. Dessa análise foi possível concluir que a

experiência em obras é de extrema importância, pois muitas vezes ocorrerão problemas que não estão previstos em projeto. Sendo, portanto, o planejamento uma solução fundamental, tornando o processo executivo de forma mais harmoniosa possível, propiciando uma menor chance de aparição de problemas antes mesmo da execução, ou ainda durante. Com isso, é necessário sempre uma equipe preparada, com profissionais qualificados, coordenados pelo engenheiro experiente.

Por fim, o presente estudo teve como limitação a obtenção de resultados em um estudo de caso específico, não sendo abrangente para outras situações. Com isso, este estudo é passível de continuidade, onde pode-se apresentar como sugestões de trabalhos futuros os seguintes:

- a) Estudo do problema em questão em outras tipologias construtivas: por meio do presente estudo, pode-se obter embasamento teórico e prático para outros estudos de caso voltados ao detalhamento construtivo da laje nervurada compondo outras soluções de solicitações.
- b) Eficiência de uso de aditivos impermeabilizantes em substituição de soluções a base de betume: a partir das informações apresentadas a respeito do aditivo impermeabilizante usado neste estudo, pelo fato de sua facilidade e obtenção de resultados positivos, torna-se interessante um estudo futuro aprofundado sobre esse tipo de solução em substituição a outras soluções dispostas no mercado, como o caso da impermeabilização à base de betume (manta asfáltica).
- c) Análise quantitativa da viabilidade do uso de laje nervurada para residências unifamiliares: diante do exposto como análise qualitativa, é possível estender o presente estudo para uma análise quantitativa, percebendo outros aspectos de comparação, como a viabilidade de custo, rendimento e trabalhabilidade, usando como parâmetro, por exemplo, outros tipos de soluções para lajes (como as com o uso de vigas pré-moldadas com preenchimento de lajotas cerâmicas ou placas de EPS, ou até mesmo lajes maciças convencionais).

## REFERÊNCIAS

ANA. **Escoramento: Muito mais do que uma simples etapa da obra**, Fortaleza, 18 de março de 2018. Disponível em:

<<https://impactoprotensao.com.br/escoramento-muito-mais-do-que-uma-simples-etapa-da-obra/>>. Acesso em: 09 de maio de 2021.

ARAÚJO, A. da R. **Estudo técnico comparativo entre pavimentos executados com lajes nervuradas e lajes convencionais**. 2008. 150 f. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Anhembí Morumbi, São Paulo.

ASSAHI, P. N. **Sistema de fôrma para estrutura de concreto**. SIMPÓSIO SOBRE ESTRUTURAS DE CONCRETO, v. 5, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 6118: **Projeto e execução de obras de concreto armado**. Rio de Janeiro, 2014.

BASTOS, P. S. S. . **Fundamentos do Concreto Armado**. 2019.

COUTO, J. A. S., Carminatti, R. L., Nunes, R. R. A., & Moura, R. C. A. (2013). **O concreto como material de construção**. Caderno De Graduação - Ciências Exatas E Tecnológicas - UNIT - SERGIPE, 1(3), 49–58.

DORNELES, D. M. **Lajes na Construção Civil Brasileira: Estudo de Caso em Edifício Residencial em Santa Maria-RS**. 2014. (Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Maria, RS.

L. M. Pinheiro, C. D. Muzardo, S. P. Santos. **ESTRUTURAS DE CONCRETO** capítulo 1.. 31 de março, 2004.

GONÇALVES, R. F. **Projeto de Laje Nervurada Unidirecional**. - Florianópolis, SC, 2016. 83 p.

LOPES, A. F. de O. **Estudo comparativo entre lajes nervuradas moldadas no local com fôrmas de polipropileno e lajes pré-fabricadas treliçadas**. Caruaru, 2015.

M. M. S. B. de BARROS, V. M. ARAÚJO. **“Recomendações para a produção de estruturas de concreto armado em edifícios”**. Versão Ampliada e Atualizada em 2006.

NEVES, J. L. **Pesquisa qualitativa: características, usos e possibilidades**. Caderno de pesquisas em administração, São Paulo, v. 1, n. 3, p. 1-5, 1996.

PARIZOTTO, L. **Concreto Armado**, 1º Edição – São Paulo, 2017 (página 13,14)

PEREIRA, R. C. S. M. **Fôrmas plásticas e escoramentos metálicos na construção civil-utilização do sistema RECUB para fôrmas e escoramentos de lajes nervuradas**. (2015).

POTT, A. A.; BELLEI, P.; BARBISAN, A. O. **Estudo Comparativo entre Lajes Treliçadas de EPS, Nervuradas com Forma Plástica tipo cubeta e Lajes de Formas colaborantes mistas Nervuradas**. Anais da Engenharia Civil / 2595-1823, [S.I.], v. 3, n. 1, p. 57 – 74. 2019.

POTT, L. M.; EICH, Monique Costa; ROJAS, Fernando Cuenca. **Inovações Tecnológicas Na Construção Civil**. 2017.

RUFINO, S. **Importância do projeto no empreendimento**. Revista OESP Construção. São Paulo, ano, v. 4, 2011.

SILVA, A. R. **Análise comparativa de custos de sistemas estruturais para pavimentos de concreto armado**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2002.

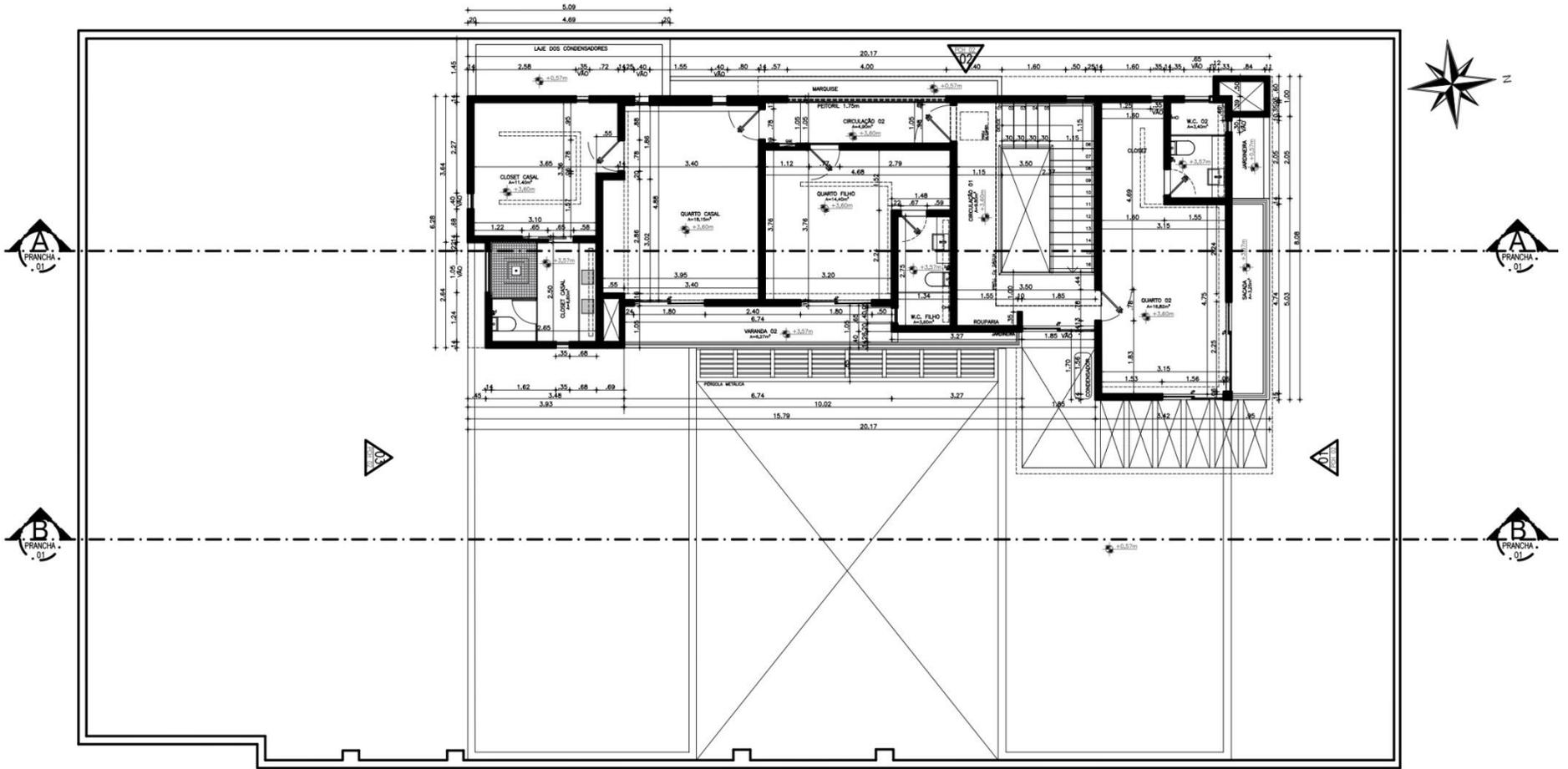
SILVA, L. **Estudo Comparativo entre lajes nervuradas e maciças em função dos vãos entre apoios**. 99 pág. Dissertação (trabalho de conclusão de curso) –

Departamento de Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2010.

SILVA, M.A.F. **Projeto e construção de lajes nervuradas de concreto armado.** Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2005.



### APÊNDICE B – PROJETO BÁSICO DO PAVIMENTO SUPERIOR



04| PL SUPERIOR COTADA  
ESCALA 1/100

## **APÊNDICE C – DESCRIÇÃO DETALHADA DO PROCESSO EXECUTIVO DA LAJE EM ESTUDO**

Com a conclusão da concretagem dos pilares, foi iniciado o processo executivo da laje do 1º pavimento. Como definido em projeto, a laje foi concretada de forma unificada com as vigas. Toda a disposição das armaduras gerais da obra foi realizada por ferreiros capacitados e com treinamentos específicos, assim cada profissional, executou os dobramentos, cortes e disposições das armações definidas no projeto. Por esse fato, o engenheiro responsável atentou-se bastante, na conferência de dobramento e produção das armaduras.

Um dos fatores para o processo executivo ter sido realizado de forma unificada entre a viga e a laje foi por reduzir o volume de concreto no dia da concretagem. Esse benefício reduziu consideravelmente o tempo de concretagem se comparar concretar pilares-vigas-lajes-escada em um único dia. E com isso obtivemos uma melhoria na condição de trabalho dos operários e na qualidade do adensamento dos elementos estruturais.

Dito isso, foi produzida e realizada o dobramento de todas às armações das vigas sendo também distribuído em torno do seu eixo o sistema de escoramento. As armações e compensados de madeira naval foram dispostas como definido no projeto, sendo eles suportados por todo o sistema de escoramento que também auxiliou na concretagem geral da laje pelo fato do sistema estrutural ser concretado uniformemente.

É importante salientar que as fôrmas das vigas foram compatibilizadas com a laje nervurada para obtermos o aspecto principal do sistema estrutural unificado. A face lateral da fôrma necessita vencer a altura da seção da viga nos casos de vigas de ponta e para vigas centrais deve-se deixar a altura respectiva da cubeta para preenchimento e união da viga com a laje. A Figura 26 facilita a visualização do processo executado.

Figura 26 – Detalhamento construtivo do encontro da viga com a laje



Fonte: O autor (2021).

Como podemos observar na Figura 26, a disposição da fôrma de madeira da viga tem altura igual a metade da seção transversal da viga, sendo, portanto, durante a concretagem, a união e vinculação da viga com a laje. Para vigas de ponta, a fôrma foi executada de forma a vencer à altura da viga e o cobrimento da mesa. No subtópico seguinte serão apresentados detalhamentos do processo executado do sistema de cimbramento e seus componentes como às peças e equipamentos auxiliares.

Os capitéis dos pilares também auxiliaram na vinculação das fôrmas das vigas entre os pilares. Sendo, portanto, um sistema unificado que além das vigas e lajes, os pilares foram inseridos no processo executivo diretamente. Esse elemento utilizado no processo executivo é observado na Figura 27.

Figura 27 – Capitéis dos pilares

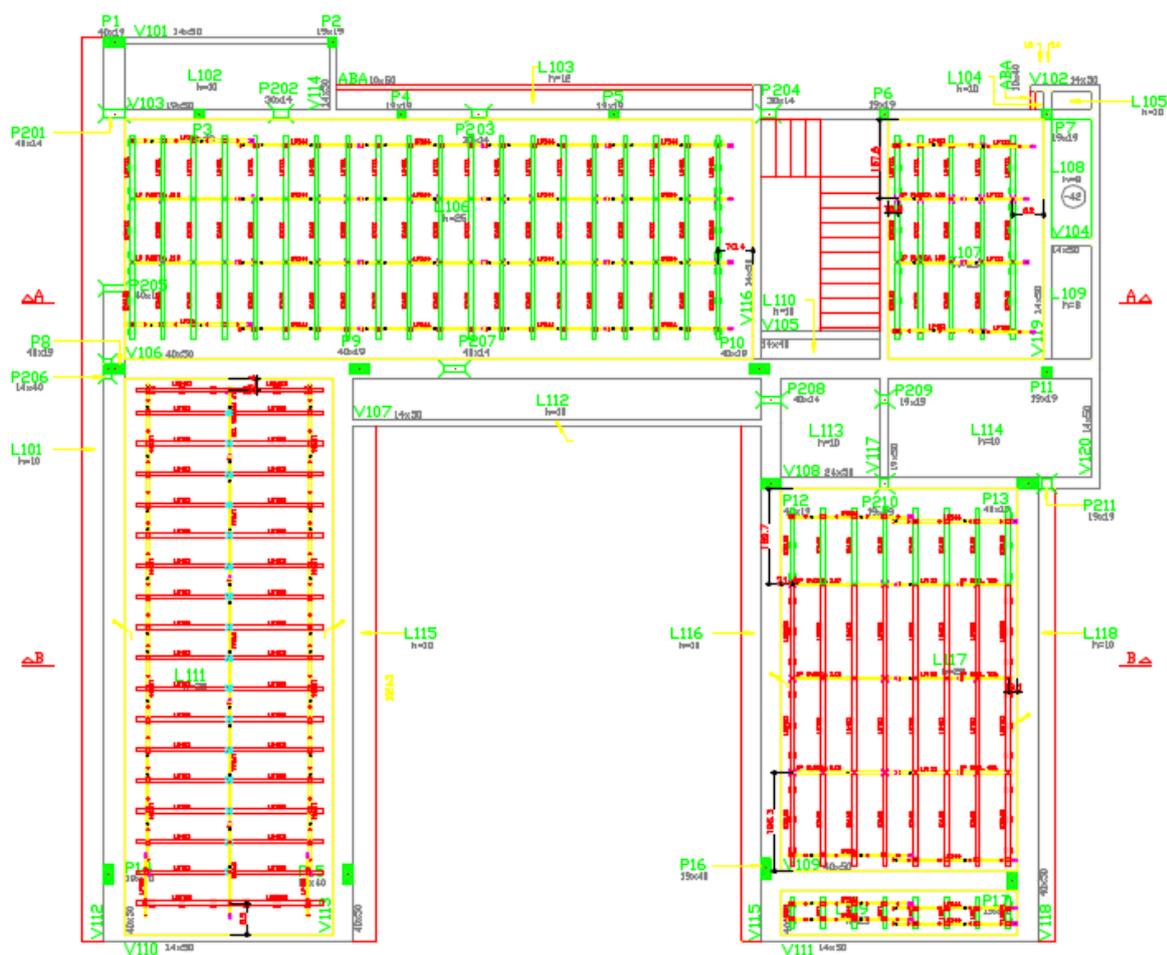


Fonte: O autor (2021).

### *Projeto, peças e execução de cimbramento metálico*

Após conclusão do processo executivo da viga, foi disposto diretamente a execução da laje nervurada. Sendo executado inicialmente o processo de cimbramento. A Figura 28 dispõe o projeto de cimbramento metálico que foi utilizado na execução do objeto de estudo da residência unifamiliar.

Figura 28 – Projeto de cimbramento e escoramento da residência



Fonte: O autor (2021).

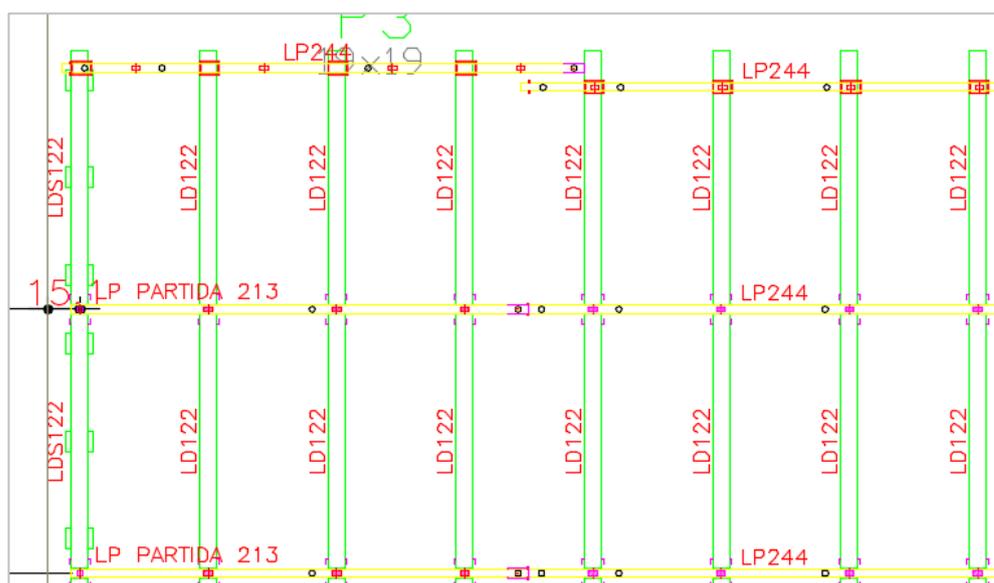
Descrevendo que o cimbramento é a estrutura que inclui todos os sistemas estruturais provisórios, incluindo elementos verticais (escoras) e horizontais (fôrmas para as vigas e lajes). Esse deve ser disposto por um conjunto de equipamentos e peças que formará um sistema capaz de suportar as fôrmas de polipropileno, dando condições de alinhamento, nivelamento e suporte também para a transição dos operários sobre a laje antes e depois da concretagem. Sua função principal será a sustentação, suporte e auxílio no sistema estrutural para a execução da disposição das fôrmas de polipropileno.

Com a realização da definição do tipo de solução estrutural empregada, foi contratada uma empresa especializada para execução do projeto de cimbramento e escoramento onde foi apresentado anteriormente na Figura 28. De forma geral, o projeto baseou-se nas dimensões do projeto arquitetônico e em

algumas limitações de ambientes, nos quais foi necessária a execução específica desse sistema de cimbramento.

De acordo com o projeto, as peças utilizadas para a execução do cimbramento foram: longarinas principais (LP) divididas em final e de partida, longarinas de distribuição (LD) e longarinas de distribuição com sarrafo (LDS). Os equipamentos utilizados que auxiliaram na execução do cimbramento foram: cabeças, forcados e pinos de travamentos. Para exemplificar e demonstrar uma melhor visualização da nomenclatura de cada peça do sistema de cimbramento, é apresentado na Figura 29 um trecho do projeto geral.

Figura 29 – Projeto parcial de cimbramento e escoramento



Fonte: O autor (2021)

Abaixo segue um quadro esquemático de quantidades de todas as peças para execução do sistema de cimbramento. Cada peça é padrão e também é especificada em projeto detalhando suas disposições e distribuições à cada área concretada. Com essa visualização prévia da disposição de cada equipamento e cada peça, o projeto de escoramento e cimbramento apresentam em forma de figura as quantidades específicas que foram necessárias para a concretagem geral de toda a laje. Podemos observar esses quantitativos por meio da Figura 30.

Figura 30 – Quantitativo de peças e equipamentos para o cimbramento

Quantitativo de peças e equipamentos	
Quantidade	Peça
81	Cabeça c/ pino
374	Cubeta 61x61x21
118	Forcado
42	LD122
27	LD150
50	LD183
6	LD61
8	LDS122
6	LDS150
10	LDS183
2	LDS61
3	LP Final 103
3	LP partida 138
5	LP partida 213
9	LP122
3	LP183
37	LP244
25	Meia Cubeta 30,5x61x21
249	Tapa nervura 61x61x21

Fonte: O autor (2021).

Cada quantidade e equipamento tem sua dimensão específica. Com isso, após avaliação de cada peça e cada característica dos equipamentos de auxílio, realizou-se o processo executivo do sistema de cimbramento. Esse processo é detalhado e descrito nos tópicos posteriores onde é demonstrado como foi realizada sua execução.

#### *Processo executivo do cimbramento*

Após a chegada dos equipamentos e peças, foi realizada a distribuição nas áreas estratégicas para melhor aproveitamento do espaço e maior produção efetiva dos operários. Para cada área da laje que necessitará do sistema de cimbramento, foi realizada uma limpeza superficial no chão de forma que fosse seguro locar as escoras do cimbramento para apoiar o sistema. As escoras parciais foram distribuídas em pontos estratégicos para melhor aproveitamento do salão para concretagem. As escoras locadas para o sistema tem característica de

automodelação de altura, propiciando um maior controle para solicitações de contra flechas, agilidade e facilidade na regularização da altura correta para o escoramento.

Executou-se primeiramente o esqueleto do cimbramento, considerado por via de exemplo o perímetro da área concretada formando um retângulo. Esse perímetro é facilmente visto pelo contorno interno das vigas que se submeterão a concretagem unificadas com a laje em exercício. Esse esqueleto estava compatível com o projeto e com as formas das vigas, para que tivessem um encaixe justo e com menor possibilidade de vazamentos ou de brechas não agradáveis para concretagem. Assim, foi disposto o restante das longarinas principais no decorrer de todo o salão de forma paralela às outras longarinas do esqueleto.

As longarinas principais tem uma pequena área vazada para locação das cabeças, que são peças auxiliares no sistema de cimbramento, uma vez que, para o seu desempenho e finalidade serem alcançados, sua execução seguiu especificamente o projeto. Como a longarina principal tem os espaços vazios para locar as cabeças, todas as peças de escoramento foram dispostas na metade do comprimento entre uma cabeça e outra. Ou seja, para cada espaço de 61 cm (dimensão da fôrma de polipropileno), dita do centro da cubeta até o outro centro, realizou-se a locação de uma escora metálica.

As cabeças foram dispostas nas longarinas principais que são paralelas as longarinas principais das extremidades. Uma vez que, sua finalidade, além de suportar o restante do cimbramento, facilitou na pós-concretagem, mais especificamente na retirada das cubetas plásticas, sem que tivéssemos de desescorar toda a estrutura, retirar manualmente as cubetas e depois escorar novamente.

Após a distribuição de todas as longarinas principais do salão e as cabeças, foi locada então outra peça que auxiliará na execução do sistema. Essa peça é denominada de forçado, onde foi distribuída no mesmo alinhamento das cabeças, de forma que suas angulações sejam de  $180^{\circ}$ , paralelas uma a outra. O forçado foi distribuído no entorno das longarinas principais externas para suportar as longarinas de distribuição.

As longarinas de distribuição, foram executadas e locadas de forma ortogonais entre as longarinas principais seguindo o alinhamento entre a cabeça e o forçado. Porém, para cada longarina de distribuição fixada sobre o sistema foi

realizado o travamento da mesma por uma haste de travamento que é alocado nos espaços da cabeça transpassando-a entre si e finalizando com o dobramento das pontas para baixo, para que não ocorra seu deslizamento ou deslocamento. A Figura 31 ilustra de forma clara e objetiva esse procedimento importantíssimo para a unificação do sistema.

Figura 31 – Execução do travamento entre o forçado e as LD's



Fonte: o autor (2021)

Com isso, as longarinas que foram locadas com sua ponta sobre as longarinas principais de entorno do salão também são seguradas com esse ferro de travamento. A peça forçado também é vazada, executando assim o travamento da cabeça. Essas longarinas também devem ter especificações de longarinas de distribuição com sarrafo, nos casos de locação em extremidades, pois, para a sua execução foi necessário o espaço para preenchimento de compensado ou madeiramento para o melhor ajuste entre os acabamentos das fôrmas de madeira das vigas entre as cubetas plásticas para a laje.

Após o encaixe da longarina principal (LP), realizou-se o travamento de segurança do sistema de cimbramento metálico. Esse travamento é obrigatório o uso do ferro de travamento em todos os forçados e cabeças com pinos. Na obra em

estudo, essa haste de travamento, foi utilizado com bitola de 5 mm, sendo realizada também como armação transversal mínima. Assim, com a espessura ficou facilmente executável, pois os espaços vazios encaixaram perfeitamente.

Visualmente, o sistema de cimbramento executado tem características análogas a grelha, onde, restará apenas os espaçamentos para locação as cubetas plásticas e os acabamento finais para unificação do sistema estrutural laje-viga, onde posteriormente foi concretado uniformemente. A Figura 32 nos demonstra essa citação.

Figura 32 – Sistema de cimbramento (Análogo a grelha)



Fonte: o autor (2021)

Realizou-se, após finalizado o cimbramento, a conferência dos níveis e alinhamentos de todas as peças e equipamentos. Essa conferência é de vital importância para a próxima etapa, pelo fato da estrutura ainda não estar submetida a cargas externas, como o caso da cubeta. Cada escoramento deve estar no nível correto, sendo fixado em contato direto com uma base de compensado que ficará diretamente em contato com o chão. O próximo tópico será descrito todo o processo de fixação das fôrmas de polipropileno e armações positivas negativas e de combate a fissuração.

### *Disposição das fôrmas de polipropileno e armação da laje nervurada*

Os espaços vazios do cimbramento foram preenchidos por todas as fôrmas de polipropileno. É importante salientar que para a distribuição das fôrmas, foi realizada a conferência para seguir o sentido correto, definido pela sua característica intrínseca e pelos dentes, onde são locados (4 unidades para cada cubeta). Esses dentes, unidos na cubeta, encaixam-se nos espaços vazios do cimbramento. Além de propiciar o melhor ajuste da cubeta sobre o cimbramento, os dentes auxiliaram facilmente na conferência de esquadro e espaçamento geral. Se estivessem “sambando” sobre o sistema de cimbramento, significaria que os espaçamentos não estavam seguindo o critério do comprimento correto da cubeta, assim, sendo ajustados antes de iniciar a distribuição do restante das fôrmas.

Na obra, foi apresentado um pequeno deslocamento indevido da estrutura, porém, com a facilidade de movimentação do cimbramento, onde não foi locadas as escoras justamente pelo fato da conferência final do alinhamento do cimbramento, onde foi ajustado facilmente após um deslocamento significativamente pequeno. Com isso, após conferência de alinhamento, realizou-se a locação de todas as escoras.

Distribuiu-se então, seguindo o projeto, todas as cubetas nos espaços dos cimbramentos. Salientando que, após à distribuição das cubetas em uma fileira, nas laterais de menor ou maior comprimento, observa-se que não se conseguiu locar uma cubeta inteira (61x61x25) cm no espaçamento. Assim, utilizaram-se as meias cubetas (30,5x61x25) cm para esse preenchimento. Visando o transpasse da longarina de distribuição sobre a longarina principal do entorno, o transpasse foi responsável justamente para suportar a meia cubeta plástica, nos proporcionando ainda a realização de um acabamento melhor.

Visto que, em projeto, a disposição do salão tem características de laje nervurada unidirecional, e conseqüentemente, foram utilizadas as tapas nervuras (61 x 61 x 21) cm, onde teve justamente a finalidade de redistribuir as cargas da laje sobre as vigas de maior comprimento. Como descrito e visualizado na Figura 3 do referencial teórico e no projeto de distribuição das fôrmas. As tapas nervuras foram executadas, sendo fixadas sobre as cubetas plásticas no sentido de maior comprimento, paralelas as vigas que receberão praticamente toda a carga da laje.

As tapas nervuras, tiveram função significativa em relação a disposição e quantidade de armação e concreto.

Abaixo é possível observar a disposição das etapas de distribuição das cubetas plásticas na Figura 33 esquematizando cada etapa e vinculando todas as peças de forma correta por meio do quadro exemplificativo. A característica inicial da área de distribuição primeiramente tem-se como laje nervura bidirecional.

Figura 33 – Disposição das fôrmas de polipropileno sobre o cimbramento



(a) Disposição das fôrmas



(b) Fôrmas distribuídas



(c) Conferência de travamento



(d) Fixação das tapas nervuras

Fonte: O autor (2021)

De acordo com a Figura 33, executamos todas as etapas realizando todas as conferências. Priorizando sempre o projeto, foi executado a disposição das

cubetas locadas sobre o sistema de cimbramento como visto na Figura 33 no item (a), sendo finalizado como observado no item (b) da mesma figura. Com isso, foi realizada a conferência do seu travamento, baseado entre as longarinas e os dentes, como visto no item (c) da Figura 33. Após execução das cubetas bidirecionais, é fixada as tapas nervuras como visto no item (d) da Figura 26, tornando a laje unidirecional e finalizando toda a disposição das cubetas plásticas.

Após realizado todo esse processo descrito na Figura 33 foi iniciada a aplicação do desmoldante sobre as cubetas. Esse material foi aplicado com finalidade de facilitar a retirada das cubetas após a concretagem por meio de formação de uma película fina entre a estrutura e a fôrma de polipropileno. Sua execução foi disposta em 2 demãos para melhor fixação.

Mesmo com uma das características da fôrma de polipropileno obter pontas arredondadas, o desmoldante é essencial para que a incidência de perda de fôrmas seja bem menor. Aplicou-se ainda o material, sobre as fôrmas de compensado naval, pelo fato de sua provável reutilização para a segunda laje. Por isso, para a execução da construção com resultados satisfatórios em relação a construção enxuta e com perda de material relativamente baixo, foi essencial a realização da aplicação do desmoldante por profissionais treinados e especializados seguindo as recomendações do responsável técnico.

Prosseguindo no detalhamento executado da laje nervurada, e após essas etapas prescritas anteriormente nesse tópico, foi iniciado a disposição das armações das lajes. Os ferreiros já estavam preparando e executando as armações para melhor aproveitamento do tempo. Visto que, foi realizada a execução das cocadas, onde auxiliaram toda a efetivação entre os espaçamentos de cada armação. As cocadas foram realizadas de cimento e areia sobre uma fôrma de compensado naval.

Cada detalhamento de armaduras positivas e negativas utilizadas na laje estão dispostos no projeto estrutural. Observando cada disposição das barras, foi realizado um planejamento para o seu melhor aproveitamento do período de organização e para o pedido do concreto, pois o fornecedor precisa de pelo menos 7 dias para a disponibilidade e preparo do material. Conseqüentemente, foi necessário avaliar o período cronológico das etapas para que no dia da concretagem, toda a

área que posteriormente foi concretada estivesse pronta para o recebimento do concreto.

A vinculação das armaduras longitudinais nas nervuras foi desempenhada pelos ferreiros com a amarração das barras entre as vigas. Sua característica de dobramento nas pontas tem justamente essa finalidade de maior vinculação entre os mesmos. Cada espaçamento foi produzido baseado na medição entre as barras e disposto ainda às cocadas sobre o salão que serão de suma importância para as armações positivas e negativas são fiquem em contato direto com a cubeta plástica. Sua dimensão é (5x5x2,5) cm, observando então que as nervuras e espaçamentos entre as armações da laje e viga foram efetuados com cobrimento de 2,5 centímetros em relação a cubeta plástica ou fôrma de compensado.

Sendo disposto então as armações positivas entre as nervuras nos sentidos, a armação perpendicular, de comprimento com sentido do maior vão, deve estar vinculada e armada sobre a armadura secundária de comprimento do sentido do menor vão. Essa vinculação e posicionamento das armações da laje atendem as especificações da ABNT NBR 15200:2012 – projetos de estruturas de concreto em situação de incêndio.

A armadura negativa foi efetuada, vinculada e fixada sobre as vigas, com denominação de armadura aba (10x50) cm onde sua finalidade será de inibir esforços de força cortante e momento fletor da viga sobre a laje. Sua dimensão de transpasse da viga será de 165 centímetros, com bitola de 5mm e 6,3mm, onde foi seguido o sentido do alinhamento da armadura de capa. A armadura de capa jamais poderá substituir a armadura positiva. Sendo, portanto, utilizada a Q61 onde é soldada em todos os pontos de cruzamento, garantindo a melhor ancoragem, ligando os elementos estruturais, além de um excelente controle de fissuração. A vinculação e disposição das armações foram realizadas sob as cocadas, para que não estejam em contato direto sobre as faces superiores da cubeta.

Considerando assim, as descrições e observações principais na etapa do processo executado da laje nervurada, é demonstrado então na Figura 34 o cronograma executado em ordem cronológica de cada uma das etapas.

Figura 34 – Cronograma de execução das armações gerais da laje



1ª) Execução das "cocadas"



2ª) Distribuição das barras em cada área



3ª) Fixação das barras



4ª) Disposição das barras entre as nervuras de menor vão



5ª) Barras entre as nervuras de maior vão



6ª) Amarração das barras entre vigas



7ª) Execução das armaduras positivas vinculadas sobre as vigas



8ª) Disposição das armaduras de capa e distribuição das cocadas em todo o salão

Com a finalização da disposição de todas as armações da laje, desempenhou-se a compatibilização entre o projeto estrutural e o projeto hidrossanitário. Em alguns ambientes, como disposto no projeto, realizou-se a perfuração de algumas fôrmas onde foi transpassado a tubulação, e, deixando o espaço do ramal de esgoto com dimensão dos tubos de 100 mm. É importante salientar que os pontos de compatibilização foram estritamente distribuídos de acordo com o projeto estrutural para, depois de realizado a execução, não ocorresse nenhum prejuízo ou dano ao sistema estrutural. Abaixo, a Figura 35 exemplifica esse sistema antes da concretagem.

Figura 35 – Compatibilização do projeto estrutural e projeto hidrossanitário



a) Compatibilização da tubulação de esgoto sobre a laje



b) Compatibilização da tubulação de esgoto entre as vigas

Fonte: O autor (2021)

Ainda, em relação à preparação da laje para a concretagem, realizou-se a compatibilização com o projeto estrutural do pavimento superior, fixando os pilares para a estrutura do segundo pavimento. Esses pilares foram distribuídos nos entornos das vigas, não sendo executados e montados sobre a continuação dos pilares do térreo. O projeto descreveu essa distribuição com as nomenclaturas e simbologias de pilares que “nascem” e pilares que “morrem” durante e após cada concretagem.

O próximo tópico dispõe o processo completo de execução da concretagem da laje realizada após a conclusão e disposição das armações, fôrmas de polipropileno e compatibilizações dos projetos.

### *Processo de concretagem da laje*

Com a finalização de todo o processo de cimbramento, escoramento, disposição das fôrmas, disposição das armações e compatibilização dos projetos, realizou-se as disposições preliminares para o processo de concretagem. Foi definido para a concretagem, pelo fato da quantidade para preenchimento de toda a área concretada (pilares e vigas) a contratação de fornecedores exclusivos para que obtivéssemos uma concretagem mais rápida, eficiente e com maior controle tecnológico.

Foram utilizados os sistemas e equipamentos para bombeamento do concreto usinado, instalado sobre o caminhão e a tubulação rígida onde distribuiu todo o concreto para as áreas de recebimento do concreto. Por sua característica de rigidez dos tubos, peso do equipamento e por suas emendas necessitarem de garras de travamento que são manuais, sua tubulação foi disposta no seu final por mangote flexível, onde se facilitou o manuseio e distribuição do concreto sobre a laje.

O equipamento de adensamento também foi separado para a data prevista da execução da concretagem. Com isso, todos os testes e avaliações da funcionalidade do vibrador foram executados para que não tivesse ocorrido nenhum contratempo durante a concretagem. Pela quantidade e densidade da armadura sobre a laje, foi utilizado o mangote com agulha de 40mm com finalidade de conseguir suprir a demanda do adensamento de todo o concreto composto para o sistema estrutural.

O volume de concreto solicitado no pedido para o preenchimento de todo o sistema estrutural (lajes e vigas) foi de 48 m<sup>3</sup> divididos em 6 caminhões betoneiras com capacidade de 8 m<sup>3</sup> de concreto cada. Lembrando ainda que, foi solicitada a chegada de cada caminhão betoneira em horários aproximados para finalidade de garantir a unificação e junção de todas as faixas de concreto de cada área concretada.

Assim, durante o processo executável da concretagem na data prevista, foi utilizada anteriormente uma mangueira com água para molhar todas as fôrmas, tanto de madeira, quanto de cubetas plásticas. Com isso, toda a equipe de profissionais que auxiliou na execução da concretagem esteve inicialmente preparada para a chegada dos caminhões de concreto.

A instalação do caminhão bomba também foi realizada, sendo esse estacionado em frente à residência do objeto de estudo. Realizou-se então o preparado do equipamento para o recebimento dos caminhões betoneiras para bombear o concreto. Foi então disposto sobre o compartimento de armazenamento do concreto, sacas de cimento e uma quantidade significativa de água. Com isso, é bombeada seguindo todo o percurso da tubulação rígida, mas, não sendo aplicada sobre a laje, pois essa mistura tem finalidade de engraxar toda a tubulação para quando de fato ocorrer o bombeado do concreto, não se tenha prováveis problemas nos entornos da tubulação.

Com a chegada do primeiro caminhão betoneira é executado os procedimentos de recebimento do concreto, para segurança da obra e controle tecnológico e de qualidade. Como exemplo de controle, primeiramente foi feito a conferência do pedido, com as especificações solicitadas e avaliação do lacre do caminhão betoneira. Com isso a disposição da tubulação de distribuição do concreto foi realizada, iniciando assim o processo de bombeamento do setor de recebimento do concreto do fundo da residência para o setor de recebimento do concreto frontal a rua.

No primeiro caminhão, foi utilizado um material impermeabilizante distribuído dentro do caminhão betoneira, rodado em alta durante 20 minutos. Esse concreto, impermeabilizado, é utilizado na laje em áreas molhadas. Visto que, com o uso desse material, não será necessária a impermeabilização de nenhum ambiente onde foi disposto esse concreto.

Com a execução da disposição do concreto e momentaneamente após a execução do adensamento, foi realizado o sarrafeamento do concreto com finalidade de realizar a regularização da laje. Essa regularização foi efetuada com o auxílio das taliscas que indicam a espessura mínima do concreto da laje. Elas são de vital importância justamente para essa padronização da quantidade de cobrimento do concreto.

A quantidade total de concreto para o preenchimento do sistema estrutural (laje e viga) foi de 48 m<sup>3</sup>. Porém, no decorrer da disposição final da quantidade de concreto do último caminhão betoneira, houve à ausência equivalente a 1(um) m<sup>3</sup> para preenchimento completo da laje, sendo inviável a contratação de um novo caminhão betoneira, pois sua quantidade de concreto excedia o valor de utilização. Assim, foi realizado o preenchimento com o “graute” com finalidade de complementar e concluir inteiramente a concretagem.

Durante a execução da distribuição do concreto, além do acompanhamento do adensamento, nivelamento e regularização com sarrafeamento, foi realizado o acompanhamento do comportamento do sistema de escoramento e cimbramento. Esse comportamento deve ser avaliado em cada quantidade de material fixada sobre o sistema, com finalidade de avaliar o desempenho geral do sistema de sustentação.

Para cada caminhão recebido, foi realizada a vistoria do lacre do caminhão. Esse lacre é uma garantia que o concreto não foi utilizado ou violado em outra obra. Significando assim, que sua origem é exclusiva da fábrica do fornecedor para a obra. Podemos observar no Figura 36 toda a disposição da etapa de concretagem.

Figura 36 – Processo de concretagem do sistema estrutural



a) Equipamento de adensamento e tubo rígido para concretagem



b) Aplicação do material impermeabilizante no traço do concreto



c) Caminhão betoneira com lacre inviolado



d) Execução da concretagem



e) Sistema de cimbramento e escoramento durante a concretagem



f) Execução da concretagem



g) Irrigação do salão



h) Sarrafamento do lastro de concreto



i) Área da laje que será preenchida com "graute"



j) Finalização geral da concretagem da laje

A etapa de concretagem foi realizada em uma diária, isto é, com recebimento dos caminhões ao longo de um dia, constituindo os horários de cada recebimento de caminhão como um período razoavelmente curto. Essa metodologia da chegada de cada caminhão foi escolhida para otimizar o procedimento de cura do concreto. Significando que, com um período relativamente longo entre as quantidades de concreto do caminhão betoneira, sua junção sobre a área concretada poderia ter sido diretamente prejudicada. No Quadro 4 são listados todos os horários de chegada de cada caminhão na obra, além de suas identificações.

Quadro 4 – Horários de chegada/saída dos caminhões betoneiras

<b>Identificação e Horários de chegada e saída dos caminhões betoneiras</b>			
	<b>Saída da usina</b>	<b>Chegada à obra</b>	<b>Lacre</b>
<b>1º Caminhão</b>	10h30min	10h57min	025760
<b>2º Caminhão</b>	12h32min	13h02min	025750
<b>3º Caminhão</b>	13h00min	13h26min	025782
<b>4º Caminhão</b>	14h10min	14h43min	025759
<b>5º Caminhão</b>	15h03min	15h34min	025765
<b>6º Caminhão</b>	16h26min	16h50min	025777

Fonte: O autor (2021)

Com a finalização completa da execução da concretagem da laje, foi realizada a distribuição de irrigação (ou seja, processo de cura úmida) em 3 turnos dos dias posteriores. Essa irrigação foi realizada sobre o lastro com finalidade de garantir o melhor desempenho do processo de cura do concreto, além de combater sua retração e fissuração. O sub tópico posterior mostrará todo o processo executado para remoção do escoramento e cimbramento metálico após o período de ganho de resistência do concreto.

#### *Processo de remoção de cimbramento e escoramento*

Com a realização do processo de concretagem descrito no sub tópico anterior, foram seguidas as recomendações posteriores do projeto de escoramento

para remoção dos sistemas de escoramento e cimbramento. Respeitaram-se as quantidades de dias para retirada de cada etapa de escoramento para garantir a resistência completa do concreto, e a quantidade de dias de fôrma e cimbramento, de forma a garantir a pega do concreto.

Com a garantia de retirada das escoras pelo tempo mínimo estabelecido em projeto, seguindo as etapas de períodos de retiradas, iniciou-se o processo pela remoção dos cimbramentos parciais e cubetas plásticas. O sistema empregado possibilitou a retirada das cubetas plásticas e longarinas de distribuição sem a remoção completa dos escoramentos das longarinas principais, ou ainda, a remoção de escoramento, retirada do cimbramento e reescoramento das lajes, o que impossibilitaria e não obedeciam às normas do projeto.

Por intermédio da peça cabeça, desparafusando o pino que o vincula à longarina principal central, onde sustenta as longarinas de distribuição, foi realizada a desmontagem do sistema de cimbramento parcial. Retiraram-se as escoras permitidas em projeto, e conseqüentemente, as cubetas plásticas. Pelo fato da utilização do desmoldante sobre as cubetas plásticas no início do processo executivo da laje, ocorreu a facilitação da remoção das fôrmas sem que ocorresse prejuízo ou dano ao material.

Com a realização da retirada das fôrmas de polipropileno foram utilizados martelos de borracha e alavancas para forçar a cubeta para desforma. Para que não ocorresse prejuízo da cubeta plástica após sua queda, foram locados colchões antigos para amortecimento das cubetas. Com isso, os resultados obtidos em obra foram satisfatórios nessa remoção, tanto na redução de perda de material, quanto na positividade de trabalhabilidade dos operários.

Após o passar 10 dias iniciais da concretagem geral da laje nervurada, foi retirado 30% do valor total das escoras, sendo as escoras intermediárias, ou seja, aquelas intercaladas pelos intermédios das escoras de extremidade e centro, as primeiras a serem retiradas.

Após 20 dias foi retirado 70% do valor total de escoras. Totalizando toda a retirada das escoras, foi respeitado o período de 30 dias após conclusão da laje nervurada para retirada de 100% das escoras, com a finalização geral da laje, obtendo a resistência total do concreto. Com isso, demonstrando todo o processo de retirada de escoramento e cimbramento, tem-se a Figura 37.

Figura 37 – Processo de retirada de escoramento e cimbramento



(a) Sistema de escoramento e cimbramento



(b) Avaliação de retirada de escoramento e cimbramento



(e) Avaliação após retirada de 30% do escoramento e todas as cubetas plásticas



(f) Finalização de retirada de 70% do escoramento

Fonte: O autor (2021)

Com isso, após remoção completa do sistema de cimbramento e escoramento, obteve-se a completa finalização do processo executivo da laje nervurada. A Figura 38 ilustra o aspecto da laje nervurada, objeto de estudo deste trabalho, finalizado.

Figura 38 – Conclusão do processo executivo da laje nervurada



a) Laje nervurada executada 1



(b) Laje nervurada executada 2



c) Laje nervurada executada 3



d) Laje nervurada executada 4



e) Laje nervurada executada 5



f) Laje nervurada executada 6

Fonte: O autor (2021)