

CENTRO UNIVERSITÁRIO ASSIS GURGACZ
ALLAN MACIEL FARIA ZANELLA

**DESENVOLVIMENTO DE FÔRMAS DE CHAPAS METÁLICAS CALANDRADAS
PARA VIGAS DE CONCRETO ARMADO PARA UTILIZAÇÃO EM OBRAS DA
ENGENHARIA CIVIL**

CASCADEL - PR

2021

CENTRO UNIVERSITÁRIO ASSIS GURGACZ

ALLAN MACIEL FARIA ZANELLA

**DESENVOLVIMENTO DE FÔRMAS DE CHAPAS METÁLICAS CALANDRADAS
PARA VIGAS DE CONCRETO ARMADO PARA UTILIZAÇÃO EM OBRAS DA
ENGENHARIA CIVIL**

Trabalho apresentado na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II, do Curso de Engenharia Mecânica, do Centro Universitário Assis Gurgacz, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Professor Orientador:

MSc. Eng. Aeron. Darlan Machado de Souza

CASCADEL - PR

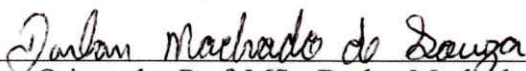
2021

CENTRO UNIVERSITÁRIO ASSIS GURGACZ
ALLAN MACIEL FARIA ZANELLA

**DESENVOLVIMENTO DE FÔRMAS DE CHAPAS METÁLICAS CALANDRADAS
PARA VIGAS DE CONCRETO ARMADO PARA UTILIZAÇÃO EM OBRAS DA
ENGENHARIA CIVIL**

Trabalho apresentado no Curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário FAG, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica, sob orientação do Professor (a) Darlan Machado de Sousa

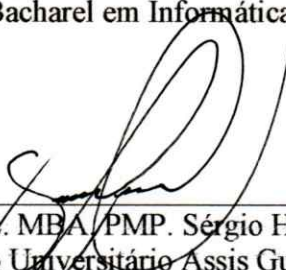
BANCA EXAMINADORA



Orientador Prof MSc. Darlan Machado de Sousa
Centro Universitário Assis Gurgacz
Engenheiro Aeronáutico



Professor MSc. Rosemar Dal Ponte
Centro Universitário Assis Gurgacz
Bacharel em Informática



Professor MSc. MBA/PMP. Sérgio Henrique Mota
Centro Universitário Assis Gurgacz
Engenheiro Mecânico

Cascavel, 22 de novembro de 2021.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais,
Por sempre me incentivarem a persistir e continuar.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por sempre estar comigo e me levantar nos momentos difíceis.

A minha mãe Rute Maciel Zanella, que com sua compaixão e carinho, fizera com que eu nunca me sentisse sozinho e perdido, com seu apoio eu fui mais forte.

Ao meu pai Eliseu Avelino Zanella Junior, com o seu conhecimento e sua experiência, aprendi que a engenharia mecânica tem uma vasta área de atuação, me guiou profissionalmente e me orientou nessa jornada.

Ao meu orientador Darlan Machado de Souza, por sua paciência me auxiliando no progresso da pesquisa, zelo ao mostrar interesse ao tema e eficiência ao realizar as correções.

A construtora Wust & Casarotto, por oferecer a oportunidade de realizar esta pesquisa e me permitir evoluir profissionalmente com tantos outros projetos.

A todos os funcionários da metalúrgica Fortunato, sem o seu comprometimento com o projeto, nada disso seria possível.

Ao João Casarotto, pela disposição em ajudar com as fotos aéreas da obra, sempre sendo complacente as minhas solicitações.

A minha psicóloga Mariana Gudino, por me ouvir durante esse ano e me guiar calmamente até a conclusão desse ciclo.

RESUMO

Esse projeto de pesquisa trata-se do desenvolvimento de formas para vigas de concreto, feitas com chapas metálicas calandradas, para utilização em obras da engenharia civil. Se analisarmos o histórico de obras da construtora “Wust & Casarotto”, que vai executar este projeto de pesquisa, nenhuma obra necessitou da criação de vigas de concreto armado curvadas. As obras anteriores possuíam apenas vigas de concreto armado no formato retangulares, as quais são simples de fabricar com a utilização de fôrmas de madeira, porém para vigas sem cantos vivos, a utilização da madeira se torna questionável. Tendo isso em vista, a construtora precisou de uma nova solução para ser adaptada em sua obra mais recente, a qual este mesmo projeto está sendo desenvolvido. Para desenvolver este projeto, serão utilizados os seguintes dados especificados no projeto arquitetônico: os raios de cada curvatura e o comprimento, a altura e a largura da viga de concreto curvada. Atualmente, este trabalho terá como objetivo, desenvolver uma nova forma calandrada para ser utilizada nas vigas de apoio do guarda-corpo dos vinte e dois pavimentos do Edifício Soleil, localizado na Travessa Getúlio Vargas, número 105, esquina com a Rua Manoel Ribas, no bairro Centro, na cidade de Cascavel, no estado do Paraná. Futuramente, tal projeto estará disponível para ser readequado e utilizado em obras seguintes, facilitando a solicitação de orçamentos em metalúrgicas, prevenindo possíveis falhas e otimizando o planejamento da obra. Serão utilizados “softwares” como o “AutoCAD” e o “SolidWorks” para calcular o peso e as dimensões das chapas e esboçar os melhores tipos de encaixe no momento da fabricação e montagem; uma pesquisa de mercado em diferentes metalúrgicas com a comparação de orçamentos e prazos de entrega; acompanhamento desde a fabricação até a montagem. Com esse experimento, a forma calandrada poderá ser utilizada no Edifício Soleil e em qualquer outro caso que precise de uma viga curva com uma boa resistência e um bom acabamento superficial. Espera-se, enfim, o sucesso de uma nova forma de trabalho facilitada na engenharia civil, sem precisar fazer cortes em madeira e acabamentos superficiais desnecessários.

Palavras-chave: Processos de fabricação. Viabilidade. Otimização.

ABSTRACT

This research project is about the development of forms for concrete beams, made with calendered metal sheets, for use in civil engineering works. If we analyze the construction history of the construction company “Wust & Casarotto”, which will carry out this research project, none of the works required the creation of curved reinforced concrete beams. The previous works only had reinforced concrete beams in rectangular format, which are simple to manufacture using wooden molds, but for beams without sharp corners, the use of wood becomes questionable. With this in mind, the construction company needed a new solution to be adapted in its most recent work, which this same project is being developed. To develop this project, the following data specified in the architectural project will be used: the radii of each curvature and the length, height and width of the curved concrete beam. Currently, this work will aim to develop a new calendered form to be used in the support beams of the guardrail of the twenty-two floors of the Soleil Building, located at Travessa Getúlio Vargas, number 105, on the corner of Rua Manoel Ribas, in Centro neighborhood, in the city of Cascavel, in the state of Paraná. In the future, this project will be available to be readjusted and used in subsequent works, facilitating the request of budgets in metallurgy, preventing possible failures and optimizing the planning of the work. “Software” such as “AutoCAD” and “SolidWorks” will be used to calculate the weight and dimensions of the plates and sketch the best types of fittings at the time of manufacture and assembly; market research in different metallurgical companies with the comparison of budgets and delivery times; monitoring from manufacturing to assembly. With this experiment, the calendered form can be used in the Soleil Building and in any other case that needs a curved beam with good strength and a good surface finish. Finally, the success of a new way of working easier in civil engineering is expected, without the need to make unnecessary wood cuts and surface finishes.

Key words: Manufacturing processes. Viability. Optimization.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: Vista superior do edifício com a viga curvada.	30
FIGURA 2: Primeiro modelo da fôrma de chapa metálica.	31
FIGURA 3: Esboço do tipo de encaixe entre as partes da fôrma.	32
FIGURA 4: Esboço do segundo modelo da fôrma.....	33
FIGURA 5: Foto do protótipo fabricado.	34
FIGURA 6: Foto do protótipo fabricado desmontado.....	35
FIGURA 7: Materiais comprados para a fabricação.	36
FIGURA 8: Chapas metálicas de 1,20 x 3,00 m (chapa 12) compradas.	37
FIGURA 9: Pedações de barra chata cortados com 50 centímetros.....	38
FIGURA 10: Pedacos de barra chata cortados com 30 centímetros.	38
FIGURA 11: Pontos para realizar a calandragem da chapa interna.	39
FIGURA 12: Gráfico desenhado no chão da metalúrgica para calandrar a chapa metálica. ..	40
FIGURA 13: Fôrma externa sendo fabricada.....	40
FIGURA 14: Soldagem das chapas e dos reforços.	41
FIGURA 15: Soldagem das cantoneiras de fixação na fôrma.....	42
FIGURA 16: Soldagem dos tubos quadrados na fôrma.	42
FIGURA 17: Esboço de redução da altura da fôrma interna.....	43
FIGURA 18: Soldagem do aumento da altura da chapa externa.....	44
FIGURA 19: Partes da fôrma na estufa de pintura com fundo anticorrosivo.	45
FIGURA 20: Fôrmas prontas para serem transportadas.....	45
FIGURA 21: Local de armazenamento das fôrmas na obra.....	46
FIGURA 22: Pedaco de chapa que faltou.	47
FIGURA 23: Eletrodo revestido utilizado na obra.....	48
FIGURA 24: Soldagem das cantoneiras para içamento.	48
FIGURA 25: Soldagem da chapa metálica adaptada externa.	49
FIGURA 26: Soldagem da chapa metálica adaptada interna.	49
FIGURA 27: Local das caixarias das vigas existentes na obra.	50
FIGURA 28: Corte da chapa interna para as caixarias.....	51
FIGURA 29: Tubos retangulares calandrados.	52
FIGURA 30: Sistema antigo de fixação por tubos.	53
FIGURA 31: Novo sistema de fixação por tubos.....	54
FIGURA 32: Modelo de encaixe do guarda corpo.....	55

FIGURA 33: Primeiro teste da utilização do guarda-corpo.	55
FIGURA 34: Fixação da fôrma no primeiro pavimento.	56
FIGURA 35: Escoramento da fôrma.	57
FIGURA 36: Imagem aérea da fôrma instalada.	58
FIGURA 37: Funcionários iniciando a retirada da fôrma.	59
FIGURA 38: Retirada parcial da fôrma no primeiro pavimento.	59
FIGURA 39: Vista aérea da obra sem a fôrma no lado direito da obra.	60
FIGURA 40: Vista frontal da viga de concreto armado.	60
FIGURA 41: Acabamento superficial da viga de concreto armado.	61
FIGURA 42: Curvatura da viga de concreto armado.	62
FIGURA 43: Parte direita da fôrma fixada no segundo pavimento.	63
FIGURA 44: Parte esquerda da fôrma fixada no segundo pavimento.	63
FIGURA 45: Fôrma instalada no segundo pavimento.	64
FIGURA 46: Parte central da fôrma fixada no segundo pavimento.	64
FIGURA 47: Vista aérea do início da obra.	69
FIGURA 48: Escoras instaladas na parte interna da obra.	70
FIGURA 49: Caixaria de madeira para vigas de concreto armado.	71
FIGURA 50: Fixação da fôrma interna.	72
FIGURA 51: Marcação da sequência das partes das fôrmas.	73
FIGURA 52: Guarda-corpo de madeira instalado.	74

LISTA DE TABELAS

TABELA 1: Materiais atualizados.....	33
---	----

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1: Esquema metodológico.....	29
--	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

cm - Centímetros

mm - Milímetros

m - Metros

NBR - Normas Brasileiras

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	16
1.1. OBJETIVOS	17
1.1.1. Objetivo Geral	17
1.1.2. Objetivos Específicos	17
1.2. JUSTIFICATIVA	18
1.3. CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA	19
1.4. DELIMITAÇÃO DA PESQUISA.....	19
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	20
2.1. FÔRMAS PARA VIGAS DE CONCRETO ARMADO	20
2.2. ABNT NBR 15696:2009	20
2.3. ESCORAMENTO	20
2.4. CUIDADOS NA RETIRADA DAS FÔRMAS	21
2.5. DESMOLDANTE	21
2.6. MADEIRA.....	21
2.6.1. ABNT NBR 7190:1997	22
2.6.2. Substituição da madeira.....	22
2.7. CONCRETO.....	22
2.7.1. Cuidados na concretagem.....	23
2.8. ABNT NBR 8800	23
2.8.1. Plasticidade dos metais.....	23
2.9. MÉTODOS DE UNIÃO.....	24
2.10. PROCESSO DE SOLDAGEM	24
2.10.1. Soldagem por fusão	24
2.10.2. Arco elétrico	24
2.10.3. Soldagem MIG/MAG	25
2.10.4. Consumíveis	25

2.10.5. Roupas de proteção na soldagem.....	25
2.11. PROCESSO DE CALANDRAGEM.....	26
3. METODOLOGIA.....	27
3.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS	28
3.2. EXECUÇÃO DO PROJETO.....	30
3.2.1. Pré-projeto	30
3.2.2. Orçamentos.....	33
3.2.3. Desenvolvimento de protótipo.....	34
3.3. ACOMPANHAMENTO DA FABRICAÇÃO.....	36
3.3.1. Compra do material	36
3.3.2. Terceirização do corte das chapas	37
3.3.3. Análise do processo de calandragem das chapas.....	39
3.3.4. Análise do processo de soldagem das chapas e dos reforços na metalúrgica.....	41
3.4. ADAPTAÇÕES NA ESTRUTURA	43
3.4.1. Redução da altura da chapa interna	43
3.4.2. Aumento da altura da chapa externa.....	44
3.4.3. Ajustes nas partes de chapas que faltaram.....	47
3.4.4. Corte da chapa interna para a fixação das caixarias laterais.....	50
3.4.5. Reajuste na altura da chapa interna	52
3.4.6. Remoção do sistema de fixação entre a fôrma interna e a fôrma externa	53
3.4.7. Desenvolvimento do novo sistema de fixação	54
3.4.8. Fixação dos encaixes para o guarda-corpo de madeira	55
3.5. PREPARAÇÃO PARA A MONTAGEM.....	56
3.5.1. Içamento da fôrma no pavimento superior	56
3.5.2. Fixação da fôrma e posicionamento das escoras	56
3.5.3. Adição de desmoldante.....	57
3.5.4. Preenchimento com a armação metálica e o concreto	57

3.5.5. Tempo de cura do concreto	58
3.5.6. Desmontagem da fôrma.....	58
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	61
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	65
5.1. LIMITAÇÕES DA PESQUISA	65
5.2. CONTRIBUIÇÕES	66
5.3. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	66
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	67
APÊNDICE I – IMAGEM AÉREA DO INÍCIO DA OBRA	69
APÊNDICE II – ESCORAS INSTALADAS DENTRO DA OBRA	70
APÊNDICE III – CAIXARIA DE VIGAS DE CONCRETO EM MADEIRA	71
APÊNDICE IV – FIXAÇÃO DA FÔRMA INTERNA.....	72
APÊNDICE V – MARCAÇÃO DA SEQUÊNCIA DAS PARTES DAS FÔRMAS.....	73
APÊNDICE VI – GUARDA-CORPO DE MADEIRA INSTALADO.....	74

1. INTRODUÇÃO

Os métodos construtivos da construção civil ainda são arcaicos e obsoletos, além de grandes geradores de resíduos, as escadas são um dos maiores responsáveis por estes números, (SABBATINI, 1989). As fôrmas metálicas para construção surgem com a necessidade de reaproveitamento e sustentabilidade, servindo também para melhor acabamento superficial reduzindo o retrabalho.

Estima-se que os resíduos da construção civil representam cerca de 51% a 70% dos resíduos sólidos urbanos. Infelizmente ainda em sua grande maioria, os entulhos são lançados em bota-foras clandestinos, nas margens de rios e córregos, em terrenos baldios, nas encostas e demais áreas públicas e em áreas protegidas por lei (MARQUES NETO, 2005).

Segundo Assahi (2010), a execução da estrutura sempre faz parte do caminho crítico na constituição do cronograma físico, para edifícios com processo produtivo moldado *in loco*. Geralmente, a execução da estrutura consome 50% do prazo total de execução. A fôrma por sua vez é responsável por 60%, conclui-se, portanto, que ela consome 30% do prazo total do empreendimento e do caminho crítico do cronograma físico.

Este trabalho consiste, no desenvolvimento de um novo método, para a criação de vigas de concreto curvadas, com a utilização de chapas metálicas calandradas. Para a realização do mesmo, será necessária uma pesquisa bibliográfica sobre diversos processos de fabricação, como a calandragem, a soldagem e os principais processos de união.

A pesquisa levará em consideração, o estudo do principal método de fabricação de vigas de concreto armado nas obras civis atualmente, que é a utilização de madeira e madeirite. Neste método, são utilizadas chapas de madeirite cortadas, fixadas por vergalhões e barras roscadas, porém, a madeira é um material difícil de se utilizar na modelagem de curvas, devido ela ser pouco resiliente e ser frágil ao sofrer tensões de flexão.

O projeto será desenvolvido para utilização em uma obra da construtora “Wust & Casarotto”, porém, a fabricação do mesmo será terceirizada para a metalúrgica “Fortunato”. A obra consiste em um edifício de 30 andares em um lugar nobre da cidade em que a viga em questão a ser executada compreende toda a fachada frontal e laterais (sacadas) do edifício. Estas sacadas em curvas compreende um perímetro aproximado de 150 metros por andar. Sendo assim, as formas serão utilizadas para a confecção desta viga de cada andar.

O processo de fabricação precisará ser acompanhado cuidadosamente, para que seja possível ter o registro de uma relação de materiais utilizados, dos dados econômicos, de

imagens e vídeos durante o desenvolvimento, com adversidades e contratempos encontrados na fabricação, assim como suas devidas soluções.

Para dar início à produção, é necessária uma análise profunda no projeto estrutural da obra em que o protótipo será testado, realizando a conferência das dimensões da viga, cada raio da viga e quais os mais eficientes métodos de fixação das chapas. Para esta análise, será necessária a utilização de dois *softwares* popularmente utilizados, tanto na engenharia mecânica quanto na engenharia civil, são eles: “*AutoCAD*” e o “*SolidWorks*”.

O processo de fabricação das vigas de concreto armado que serão analisados, consistem nos seguintes passos: desenvolvimento do projeto da forma; elaboração da relação de materiais; compra e estocagem do material; corte das chapas e dos reforços segundo o projeto; calandragem das chapas e soldagem dos perfis metálicos; furações para posicionar os fixadores; lixamento da escória da solda para um melhor acabamento superficial; limpeza das peças fabricadas para retirada de fluidos, como óleos, graxas e poeira; finalizando com a pintura de fundo anticorrosivo.

Com a implantação dessa adequação nas futuras obras de construção civil, o trabalho com a madeira será reduzido e por consequência, seu desperdício. Ao final da utilização do projeto, as formas podem ser reutilizadas, vendidas ou até mesmo fundidas.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo Geral

Como objetivo geral, o desenvolvimento desse projeto, visa testar a viabilidade de um novo método de fabricação de vigas curvas, por meio da análise dos processos de fabricação utilizados, focando no melhor ganho econômico e rendimento do material, sempre pontuando as vantagens e desvantagens.

1.1.2. Objetivos Específicos

Para complementar a pesquisa, objetivos específicos poderão ser analisados para uma melhor visualização do desempenho do projeto. São eles:

- Utilizar as formas de chapas metálicas em futuras obras da engenharia civil, sendo adaptada / atualizada para cada situação.
- Servir de auxílio para profissionais que necessitem de soluções para desafios equivalentes, fontes bibliográficas e normas técnicas referentes ao tema, anotações dos testes em obra e sugestões para propostas de pesquisas futuras.
- Analisar novas possíveis utilizações para as chapas calandradas utilizadas no projeto.
- Reduzir gastos desnecessários, focando no melhor aproveitamento do material com cortes, soldas e métodos de união.
- Padronizar o acabamento superficial, pois a mesma fôrma será utilizada em todos os pavimentos do edifício, em vez de fazer um trabalho artesanal em cada pavimento separadamente;
- Otimizar a montagem da mesma, devido ter uma simples fixação e um passo-a-passo de montagem padronizado.
- Minimizar as imperfeições.

1.2. JUSTIFICATIVA

A cidade de Cascavel no oeste do estado do Paraná, vem crescendo muito nos últimos anos. Um dos principais motivos, é a grande quantidade de pessoas que vem para a cidade para trabalharem no setor industrial ou para cursarem suas graduações em uma faculdade / universidade.

No curso de graduação de engenharia mecânica, um tópico muito abordado na formação do profissional que decidir seguir essa área, é a engenharia dos materiais. Nesse segmento, o acadêmico tem contato com o histórico de utilização de cada material, quais suas principais características, considerando suas vantagens e desvantagens, o estudo da estrutura cristalina do material e como utilizar o diagrama Tensão x Deformação. Este último conteúdo, também é muito utilizado em outras duas matérias, que são a resistência dos materiais e os processos de fabricação.

Para o desenvolvimento de um projeto, desde um produto até uma estrutura metálica, a escolha do material a ser utilizado, tem um significativo impacto na viabilidade econômica e funcional do mesmo. A resistência dos materiais estuda qual o material mais adequado para a fabricação, prezando sempre no mínimo desperdício e na maior eficiência, o qual também se enquadra a escolha dos processos de fabricação a serem escolhidos.

Na criação desse trabalho, serão analisadas essas áreas abordadas no curso de engenharia mecânica, com uma coleta de dados e informações, adquiridas na execução prática do projeto, supervisionando desde a fase de planejamento, passando pela fabricação e finalizando com a montagem final na obra da engenharia civil.

Seguindo esses passos, esta pesquisa servirá de apoio para futuros projetos semelhantes, contendo dados de viabilidade econômica, fotos tiradas durante a fabricação e montagem das peças, processos de fabricação escolhidos e uma relação de materiais utilizados no orçamento com a utilização real no final do projeto.

1.3. CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA

Como desenvolver fôrmas feitas de chapas calandradas, para serem implantadas como um novo método para a fabricação de vigas de concreto armado curvas em construções de obras civis?

1.4. DELIMITAÇÃO DA PESQUISA

A pesquisa tem início em janeiro de 2021 e terá um término em novembro de 2021. A elaboração abrange a parte teórica, estudada durante o curso e a parte prática, com a análise da fabricação na metalúrgica e da montagem na obra do edifício, os dois situados na cidade de Cascavel, na região oeste do estado do Paraná.

O estudo se limitará nas áreas mais pertencentes à engenharia mecânica, que são desde a elaboração da relação de materiais para a criação do orçamento e todos os passos da fabricação da forma. A parte da montagem será abordada apenas na parte final da pesquisa, para comparar os resultados esperados com os resultados finais, servindo de base como sugestão para trabalhos futuros, tanto da engenharia mecânica quanto na adaptação para pesquisas na engenharia civil.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. FÔRMAS PARA VIGAS DE CONCRETO ARMADO

Para a fabricação de vigas de concreto armado, é necessário primeiro fabricar suas fôrmas. Essas estruturas possuem a função de manter o concreto no formato desejado, no tempo necessário para que haja a solidificação do mesmo, se unindo à armação de aço. Para seguirem as normas regulamentadoras, elas precisam seguir a NBR 6118:2004 e a NBR 14931:2004.

“Diversos materiais são utilizados em fôrmas, “segundo Claudinei Lima, da Mills, empresa ligada à Associação Brasileira das Empresas de Sistemas de Fôrmas e Escoramentos (Abrasfe), elas podem ser de madeira, aço, PVC, alumínio, papelão ou chapas fenólicas (resina). Os fatores que determinam qual o tipo ideal de fôrma a ser utilizado em cada obra são: tipo de estrutura a construir, se as fôrmas devem ser geométricas, número necessário de reaproveitamentos para uma mesma fôrma, cronograma da obra, disponibilidade de equipamentos de transporte vertical ou horizontal, local da obra e espaço interno disponível no canteiro para armazená-las.”

(MAPA DA OBRA, 2017)

2.2. ABNT NBR 15696:2009

Na ABNT NBR 15696:2009, é possível encontrar dados uteis para o estudo sobre a criação de fôrmas para fabricação de vigas de concreto. Nesta norma técnica conseguimos encontrar como é feito o dimensionamento das fôrmas, os materiais mais utilizados nos processos de fabricação e como é feita a execução de fôrmas e escoramentos.

2.3. ESCORAMENTO

O escoramento tem a finalidade de suportar o peso da estrutura temporária, permitindo o preenchimento do concreto armado e assegurando o tempo de secagem requerido. Existem dois materiais que podem ser utilizados para o escoramento, por escoras de madeira simples ou por escoras metálicas com regulagem (ABNT NBR 15696:2009).

A utilização de escoras na obra é de extrema importância, portanto deve ser cuidadosamente executada e orientada pelo responsável técnico.

2.4. CUIDADOS NA RETIRADA DAS FÔRMAS

Com o objetivo de garantir a melhor segurança para os trabalhadores, existem recomendações durante a retirada da fôrma e do escoramento. A estrutura temporária somente pode ser retirada com a supervisão do responsável técnico, em que o mesmo inspecione o tempo de secagem do concreto e as resistências sobre as cargas previstas foram atendidas.

Ao certificar-se dos temas citados, a ABNT NBR 15696:2009 (2009, p. 10) cita que “a retirada do escoramento e das fôrmas deve ser efetuada sem choques e obedecendo a um programa elaborado de acordo com o tipo da estrutura. Durante o procedimento de retirada do escoramento, a aplicação de esforços na estrutura deve ser lenta e gradual”.

2.5. DESMOLDANTE

O desmoldante é um produto líquido que tem a função de facilitar a remoção da estrutura temporária com a viga de concreto armado. Tem como base o óleo mineral, misturado a alguns aditivos.

Ao utilizar o desmoldante, o acabamento superficial da viga fica mais protegido na retirada das partes da fôrma, também diminuindo o desgaste da mesma.

2.6. MADEIRA

A madeira é o material mais utilizado na fabricação de vigas de concreto armada, por apresentarem uma simples montagem das fôrmas, porém dependendo da quantidade de umidade presente nela, suas propriedades mecânicas alteram muito. No momento em que ela é cortada, sua umidade chega a 80%, porém quando exposta a temperaturas elevadas, sua umidade pode chegar a 25% (MCGRAW-HILL, 1986).

Por tais motivos, a madeira não é considerada um material reutilizável quando exposto aos fenômenos naturais, como é o caso das edificações civis. McGraw-Hill (1986, p. 321) diz que “as madeiras estão sujeitas a defeitos ou anomalias que alteram sua estrutura e a enfermidades que afetam sua composição química, reduzem sua resistência e causam seu ‘apodrecimento’”.

2.6.1. ABNT NBR 7190:1997

Para desenvolver projetos cujo o material primário é a madeira, é necessário seguir os critérios exigidos na norma ABNT NBR 7190:1997, que contém informações sobre projeto de estruturas de madeira. (ABNT NBR 7190:1997)

2.6.2. Substituição da madeira

As fôrmas de madeira são as mais utilizadas nas obras civis, devido ao utilizar uma fabricação simples e barata, porém, quando se trata de vigas curvas a madeira se torna ineficiente. Em razão da madeira não ser flexível, o projeto fica mais complexo aumentando o tempo de fabricação da caixa, uma maior quantidade de material e uma mão de obra mais especializada.

Segundo o livro do Nazar, as madeiras são divididas em duas categorias, as Angiospermas e as Gimnospermas. Para a fabricação de fôrmas, estão cada vez mais sendo utilizadas as madeiras da subcategoria Coníferas do grupo das Gimnospermas, que são conhecidas como “*softwood*” sendo elas Pinus e Acácias (NAZAR, 2007).

Quando a madeira é utilizada nas obras da engenharia civil, seus resíduos tem a tendência de causar um impacto ambiental. Por este motivo, é preferível utilizar equipamentos industrializados, como escoras de metal simples ou com regulagem e madeirite selado para aumentar a durabilidade (ABNT NBR 15696:2009).

2.7. CONCRETO

O concreto é a mistura de cimento e água, podendo ser misturados com outros materiais conhecidos como “agregados”. McGraw-Hill diz que “essa mistura, quando ‘fresca’ ou recém-preparada, pode ser moldada com facilidade, possibilitando a execução de peças e estruturas das mais diversas formas” (MCGRAW-HILL, 1986, p. 309).

Uma propriedade fundamental do concreto é que ele apresenta uma boa resistência à compressão axial, porém não é muito resistente quando se trata de tração axial (MCGRAW-HILL, 1986). Por esse motivo, quando é necessária uma boa ductibilidade para as duas

situações, a viga é concretada junta a barras de aço em sua composição, por resistirem bem a tração porém não à compressão (MCGRAW-HILL, 1986).

2.7.1. Cuidados na concretagem

Para obter o melhor aproveitamento possível da forma, alguns cuidados precisam ser tomados antes da concretagem. Para assegurar que a viga fique com o acabamento superficial esperado, é necessário que seja feita a conferência de todas as dimensões, nivelamentos e prumos (ABNT NBR 15696:2009).

Em casos de vigas de concreto aparente, é exigido um cuidado a mais na limpeza interna da fôrma, uma inspeção minuciosa para evitar vazamentos e cuidados para evitar o acúmulo de concreto extra, que pode ser prejudicial ao bom desempenho da fôrma (ABNT NBR 15696:2009).

2.8. ABNT NBR 8800

Mesmo a escolha por estruturas metálicas sendo menor do que estruturas de concreto no Brasil, os projetos de estruturas de aço e de estruturas mistas obedecem à ABNT NBR 8800:2008.

O aço é um material com excelentes propriedades físicas, não apenas por ser um material resistente, mas também por possuir flexibilidade e leveza, duas características muito importantes na fabricação de estruturas curvas (ABNT NBR 8800:2008).

2.8.1. Plasticidade dos metais

Os materiais possuem duas fases de deformação, a elástica e a plástica. Na deformação elástica, o material é tensionado ou comprimido e sofre uma deformação menor ao “limite de elasticidade” do material, isso faz com que ao parar as forças atuantes o material retorne ao estado inicial de deformação. Porém, se a deformação passar o limite de elasticidade do material, a deformação passa a ser permanente, passando agora para a fase da deformação (MCGRAW-HILL, 1986).

2.9. MÉTODOS DE UNIÃO

Para a fabricação das formas, serão utilizados alguns métodos de união, desde utilização de parafusos, parabolt e até métodos de soldagem. Na utilização de forças macroscópicas, é possível analisar as tensões de cisalhamento atuantes nos parafusos, já nas forças microscópicas é possível presenciar a unificação dos átomos dos materiais (MARQUES, 2009).

2.10. PROCESSO DE SOLDAGEM

A soldagem consiste em um processo de união de dois ou mais materiais por coalescência localizada, em que um fluxo de corrente elétrica é criado, gerando calor e pressão em um ponto específico (CUNHA, 1989). Segundo Marques, “a soldagem é o mais importante processo de união de metais utilizado industrialmente” (MARQUES, 2009, p. 17).

Com o objetivo de classificar os processos de soldagem, foram separados em dois grupos distintos, a soldagem que utiliza pressão e a soldagem que utiliza fusão (MARQUES, 2009).

2.10.1. Soldagem por fusão

No processo de soldagem por fusão, estão os principais métodos utilizados tanto na fabricação quanto na manutenção. Ele consiste em gerar aquecimento, através da utilização de fontes de energia, para que as peças se fundam (MARQUES, 2009). Neste trabalho será utilizado a soldagem MIG/MAG.

2.10.2. Arco elétrico

O arco elétrico é a principal característica presente no processo de soldagem por fusão. Segundo Marques, “[...] o arco de soldagem pode ser caracterizado pela diferença de potencial entre suas extremidades e pela corrente elétrica que circula por este.” (MARQUES, 2009, p. 52).

O arco elétrico consiste de uma descarga elétrica, sustentada através de um gás ionizado, a alta temperatura, conhecido como plasma, podendo produzir

energia térmica suficiente para ser usado em soldagem, pela fusão localizadas das peças a serem unidas.

(MARQUES, 2009, p. 50)

2.10.3. Soldagem MIG/MAG

Em locais que utilizem metais em fabricações como nas metalúrgicas, ou estabelecimentos que realizam manutenções preventivas rotineiras como nas indústrias, a soldagem MIG/MAG é muito necessária. Ao tratar dos melhores materiais para aplicar tal método de soldagem, Marques (2009, p. 22) cita “Soldagem de aços carbono, baixa e alta liga com espessura ≥ 1 milímetro. Soldagem de chapas, tubos etc.”

O processo utiliza máquinas semiautomáticas, com sistemas motorizado de alimentação contínua de eletrodo, que é comercializado em formato de bobinas que são inseridas dentro das máquinas. Com o calor gerado no fluxo da corrente, o material do eletrodo se funde ao metal de base como um metal de adição (MARQUES, 2009).

A intitulação da soldagem MIG/MAG se deve ao tipo de gás que cada processo utiliza. A soldagem MIG (*Metal Inert Gas*) possui gases inertes como proteção os efeitos atmosféricos, porém, na composição da soldagem MAG (*Metal Active Gas*) os gases são ativos (MARQUES, 2009).

2.10.4. Consumíveis

Com o objetivo de criar o arco elétrico, durante o processo de soldagem MIG ou soldagem MAG, é necessário a utilização de um consumível específico para esse método, o qual são utilizadas bobinas de arame. Para a soldagem com eletrodo, o consumível é o eletrodo revestido que é comprada a caixa medida por quilograma. Por meio do arco elétrico e da proteção gasosa que o envolve, partículas de ligas de cobre e alumínio são transferidas para o metal, sofrendo um processo de fusão entre eles (SANNE METALS, 2008).

2.10.5. Roupas de proteção na soldagem

Para evitar eventuais choques ou exposição à radiação eletromagnética, os soldadores precisam estar devidamente protegidos ao exercerem suas funções. Tendo isso em vista, foram

desenvolvidas roupas especiais para o trabalho com soldagem, com o objetivo de proteger o corpo, a cabeça e os olhos (MARQUES, 2009).

Qualquer material inflamável ou suscetível a queima, é proibido de serem utilizados com qualquer tipo de equipamento de soldagem, priorizando a utilização de itens resistentes ao fogo e calor intenso.

2.11. PROCESSO DE CALANDRAGEM

A calandragem é um processo muito importante quando é preciso curvar materiais através da conformação mecânica. São utilizados equipamentos chamados de calandras, que consiste em rolos de metal que pressionam os diversos tipos de perfis contra eles mesmos em formato de triângulo, essa pressão faz com que o material aumente a sua energia térmica nesse ponto e realiza a conformação mecânica dobrando o material (CALLISTER, 2002).

3. METODOLOGIA

O foco dessa pesquisa científica será na exploração e na familiarização do tema de fabricação de fôrmas para vigas de concreto armado. Contudo, será estudado um novo método de fabricação do mesmo, analisando a viabilidade econômica e se é um investimento que compensa o tempo de trabalho e a quantidade de esforço necessário à realização do projeto, desde a fabricação até a montagem.

Alguns dados econômicos serão fornecidos pela metalúrgica contratada e pela construtora contratante, como o valor do orçamento faturado das fôrmas, o custo do material para a fabricação das fôrmas (considerando o preço no período da compra), cálculos da metragem da madeira necessária se fosse utilizada ela no lugar das chapas metálicas e será realizado o comparativo de custos e a qualidade do acabamento das formas aço será evidenciado por meio de fotos e vídeos do resultado final da obra.

Como fontes secundárias, serão utilizados livros sobre métodos de união, processos de fabricação, tecnologia dos materiais, desenho técnico, vigas de concreto armado e gerenciamento de projetos.

Também serão utilizados como referência, artigos científicos que tratem de temas como: trabalho e manuseio de chapas metálicas, melhores métodos de fabricação e fixação, histórico da utilização de madeira em obras da engenharia civil, entre outros.

Durante o desenvolvimento, todos os resultados quantitativos que consideramos importante serão registrados, garantindo a análise clara da viabilidade do projeto. Um dos critérios de escolha da metalúrgica é ela ser da cidade de Cascavel para facilitar as inspeções.

O método tem como objetivo desenvolver a fôrma de chapa calandrada para a moldagem de vigas de concreto armado curvas, substituindo a madeira e reduzir assim os custos com materiais não reaproveitáveis, otimizando o acabamento, o tempo de trabalho e a mão de obra dos funcionários.

Para a realização da fabricação da fôrma, um projeto será desenvolvido no programa “AutoCAD”, para ser possível esboçar as dimensões das vigas, os materiais necessários para os reforços, os modos de fixação adicionais para manter a forma da viga no processo de secagem do concreto e todos os pontos de ancoragem com estacas de regulação ou as estacas de madeira simples.

A fabricação será acompanhada e inspecionada pelo responsável por essa pesquisa. Semanalmente, ele cobrará relatórios sobre o progresso da fabricação e irá até o local para

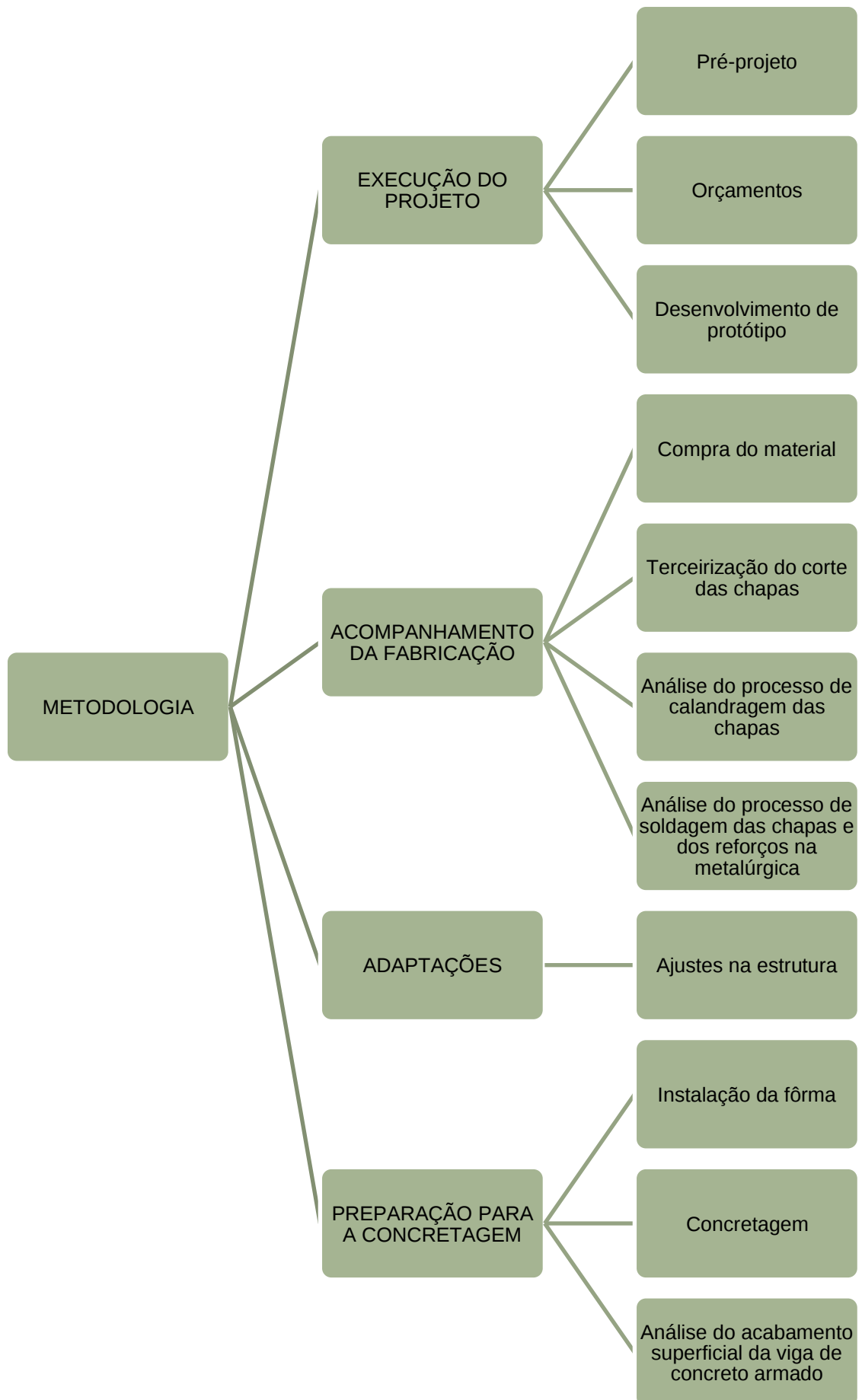
registrar fotos e vídeos das etapas de cada processo, possibilitando a consulta em trabalhos futuros. Durante conversas com metalúrgicos, engenheiros e mestres de obra, o pesquisador fará “*brainstorms*” para selecionar os melhores materiais, melhores métodos de fixação e possíveis alterações para otimizar o desempenho da função da fôrma.

3.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Para implantar um novo modo de criação de vigas, esse trabalho de conclusão de curso foi desenvolvido com o objetivo de analisar todos os processos que envolvem as fôrmas para vigas de concreto armado, catalogar os resultados encontrados, igualmente com as adversidades ocasionais e viabilizar a utilização em futuras obras da engenharia civil.

Ao desenvolver esse projeto, temos como expectativa a obtenção de uma melhor economia de materiais não reaproveitáveis, padronização da viga em todos os pavimentos e uma eficiência no tempo de trabalho quando utilizado o aço ao invés da madeira. Seguindo essa linha de pensamento, alguns assuntos serão abordados no planejamento:

- Pesquisa sobre fôrmas de chapas metálicas;
- Estudo de fabricação de vigas de concreto armado, utilizando madeira e outros materiais;
- Análise de custos e viabilidade do método, comparando o material que foi utilizado na fabricação da forma e o material que seria necessário ao utilizar a madeira;
- Registro de resultados obtidos após a montagem, por meio de imagens, vídeos, orçamentos e documentos.



3.2. EXECUÇÃO DO PROJETO

3.2.1. Pré-projeto

Para a obtenção da metragem das chapas externas e internas, a planta baixa do “tipo” foi utilizada no programa “*AutoCAD*”. Nesta planta, é possível visualizar todas as curvas que a viga precisa possuir.



FIGURA 1: Vista superior do edifício com a viga curvada.

(Fonte: Autor, 2021).

Para iniciar a pesquisa de viabilidade da fôrma, alguns esboços foram desenvolvidos para guiar a elaboração dos orçamentos pelas metalúrgicas. O primeiro projeto foi desenvolvido no programa “*SolidWorks*”, nele é possível observar quais os materiais escolhidos inicialmente, o método de união entre cada secção das curvas e os reforços de “ferro mecânico” necessário.

Como ideia inicial, utilizaríamos uma chapa de madeirite 16 mm cortado no formato da curva e apoiado sobre vergalhões de 1 polegada, que seria passado da parte externa da fôrma até a interna.

Também foi necessário encontrar uma solução para manter as chapas unidas na hora da concretagem, sem prejudicar o acabamento superficial da viga de concreto armado. A princípio furaríamos as chapas metálicas de 1/4 de polegada e entrelaçariamos arames para manter a largura de 15 centímetros da viga.

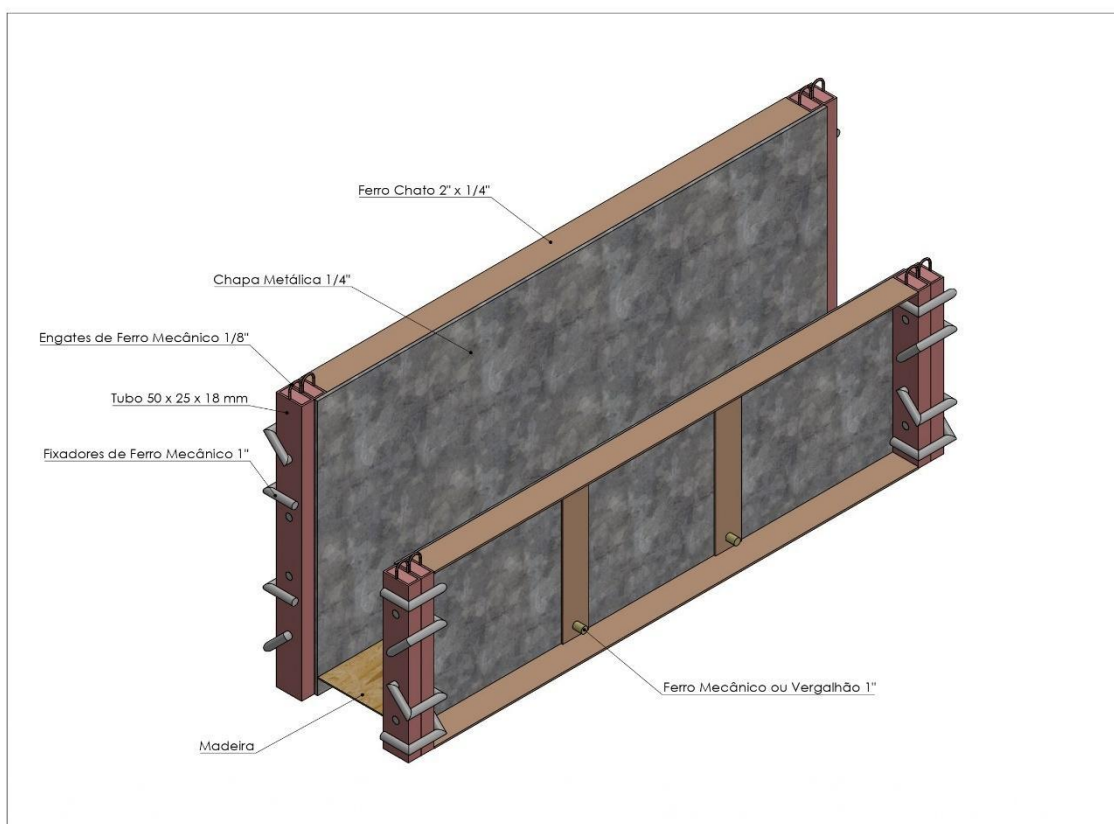


FIGURA 2: Primeiro modelo da fôrma de chapa metálica.

(Fonte: Autor, 2021)

Devido a viga possuir diferentes ângulos no mesmo projeto, foi necessário separar a fôrma em segmentos e desenvolver um novo tipo de encaixe entre eles.

O primeiro modelo de fixação sugerido pelo mestre de obra consiste em cortar um vergalhão de 2 polegadas, presente na obra e solda-lo de forma que seja possível fixar dois tubos retangulares, impedindo o movimento na horizontal.

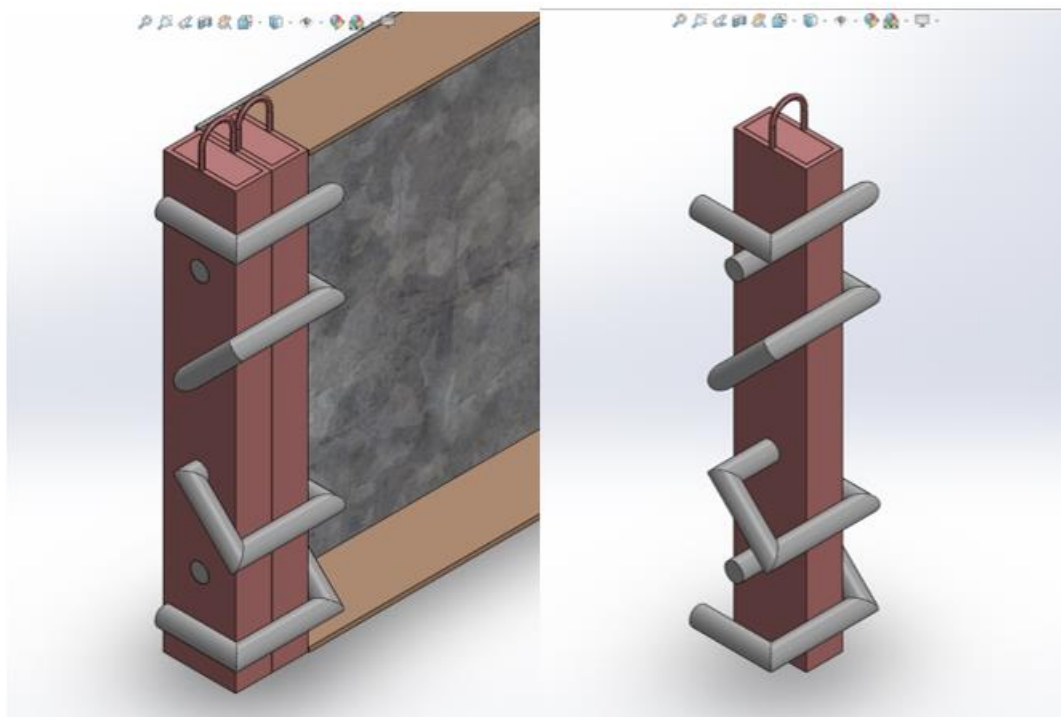


FIGURA 3: Esboço do tipo de encaixe entre as partes da fôrma.

(Fonte: Autor, 2021).

No primeiro modelo, a fôrma externa iria ser entrelaçada a fôrma interna com arame que ficaria imerso durante o processo de cura do concreto, porém este método foi substituído pela utilização de um tubo quadrado 50 x 50 x 4,75 mm na forma interna e um tubo 40 x 40 x 4,75 mm na forma externa, o qual um serviria de “luva” para o outro, facilitando na montagem e na segurança ao carregar de concreto.

Pensando em facilitar o encaixe da chapa externa e da chapa interna, melhorar a compreensão do projeto e otimizar a quantidade de material necessário, os três suportes de tubo quadrado 50 x 50 x 4,75 mm foram substituídos por dois paralelos às barras chatas internas.

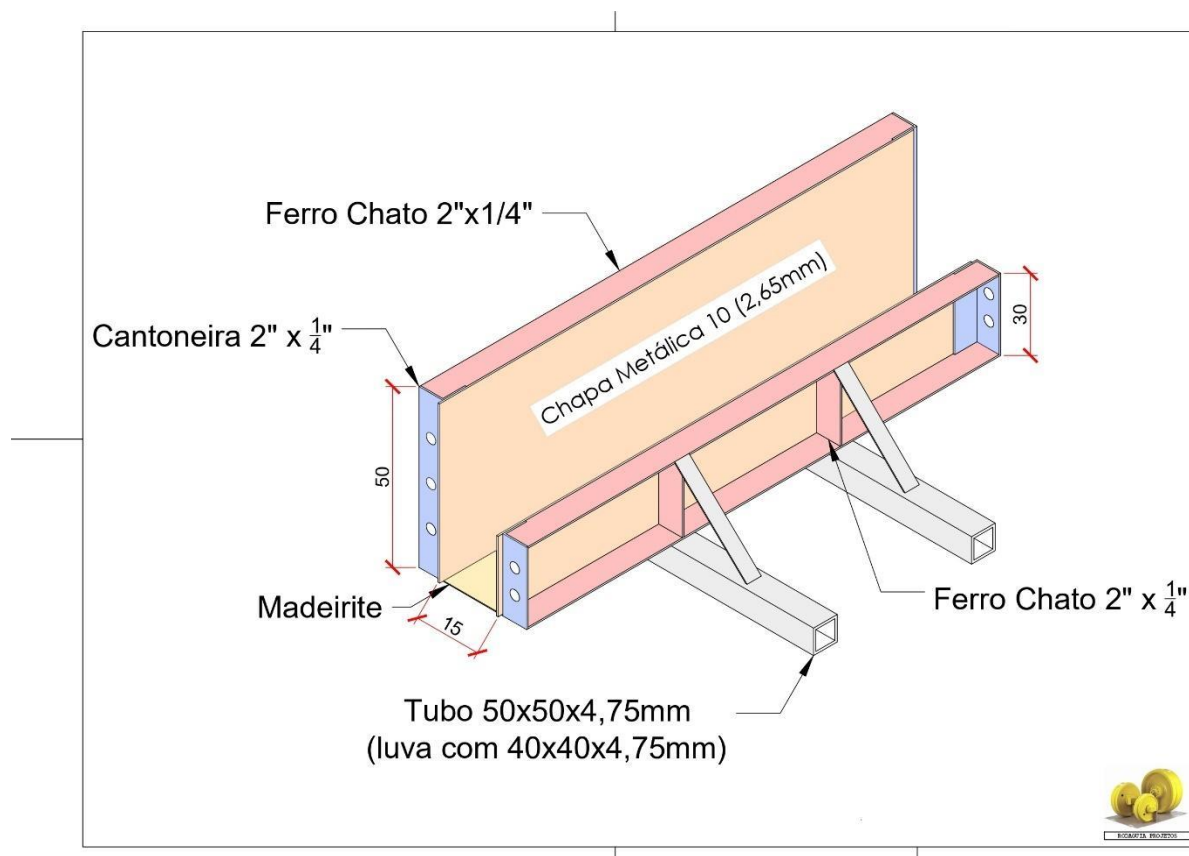


FIGURA 4: Esboço do segundo modelo da fôrma.

(Fonte: Autor, 2021).

3.2.2. Orçamentos

Ao todo, seis orçamentos foram feitos para a fabricação deste projeto. Os valores repassados permaneciam entre duzentos e sessenta mil reais e duzentos e oitenta mil reais.

Ao comparar os orçamentos, o engenheiro solicitou algumas alterações no material e nos sistemas de fixação das fôrmas. Tais alterações foram necessárias para que houvesse uma redução de gastos, melhores métodos de fixação, possibilidade de ajustes na obra facilitados e uma melhor resistência na estrutura da fôrma.

Para a criação do novo orçamento, os materiais nos detalhamentos foram alterados em conjunto com a altura das chapas externa e da chapa interna. Os materiais alterados foram:

Material Original	Material Alterado
Ferro chato 2" x 1/8"	Ferro chato 2" x 1/4"
Tubo 50 x 25x 18 mm	Cantoneira 2" x 1/4"
Chapa metálica 10	Chapa metálica 12

3.2.3. Desenvolvimento de protótipo

O primeiro modelo (ainda na fase de orçamento) foi desenvolvido pela metalúrgica “Inov Fôrmas Metálicas Ltda.”, da cidade de Toledo, a 43 quilômetros da cidade de Cascavel, no oeste do Paraná. O protótipo foi carregado para Cascavel duas vezes, a primeira para a avaliação do projetista (20/03/2021).

Esse modelo inicial serviu de apoio para entendermos os tipos de fixação que seriam necessários para suportar o peso da estrutura temporária somada com o peso do concreto, as regulagens complementares que a fôrma precisaria ter para ajustes no momento da montagem e permitiu visualizar as dificuldades de movimentar a fôrma em cada direção.

Na Figura 5, é possível observar que foram utilizados vários reforços extras, como regulagens por barras roscadas e cantoneiras na parte interna da chapa menor, porém, para esta estrutura ser utilizada na obra que idealizamos, tais reforços precisaram ser retirados por causa do local em que ela seria instalada.



FIGURA 5: Foto do protótipo fabricado.

(Fonte: Autor, 2021).

O protótipo foi fabricado com 1 metro de comprimento (com a chapa sem estar curvada), 60 centímetros de altura maior, 30 centímetros de altura menor e 15 centímetros de espaçamento entre a fôrma interna e a externa. Logo no início da elaboração do projeto, foi pensado de a fôrma ser instalada na laje superior seguinte, então esses sistemas de regulação e os reforços extras precisaram ser retirados por dificultarem o manuseio.

Na Figura 6, podemos observar como seria o processo de desmontagem da estrutura após o tempo de cura do concreto. A parte interna ficaria fixada na laje superior e apoiada por escoras, ao mesmo tempo em que a parte externa seria movimentada horizontalmente, removendo a ligação entre os tubos quadrados que estavam um dentro do outro.



FIGURA 6: Foto do protótipo fabricado desmontado.

(Fonte: Autor, 2021).

Após avaliarmos a armação e conversar com o metalúrgico que transportou ela até o local, agendamos o segundo transporte para a avaliação do engenheiro civil no dia (24/03/2021). para considerarmos alguns casos recorrentes nas obras civis, que futuramente poderiam prejudicar a eficiência na fabricação das vigas

3.3. ACOMPANHAMENTO DA FABRICAÇÃO

3.3.1. Compra do material

O orçamento foi aprovado no dia 18 de junho de 2021, o qual foi autorizada a compra do material e a inserção do projeto no planejamento da fabricação.

A fabricação foi iniciada uma semana e meia depois do fechamento do orçamento, com dois funcionários responsáveis pela marcação de pontos no chão para calandrar a chapa conforme o projeto. Essa marcação foi realizada para soldar os reforços nas chapas, mantendo as curvaturas ideais para a fabricação da viga calandrada.

A compra do material foi realizada por partes, sendo feita para evitar o desperdício e manter um valor menor no orçamento. Na Figura 7, podemos observar os materiais comprados para a fabricação das formas, contendo tubos quadrados, cantoneiras e barras chatas.



FIGURA 7: Materiais comprados para a fabricação.

(Fonte: Autor, 2021).

3.3.2. Terceirização do corte das chapas

Para a realização desse serviço, a metalúrgica contratada terceirizou o corte e a dobra das chapas metálicas por outra metalúrgica. As chapas de 1,20 x 3,00 m foram entregues no local e cortadas tiras de 50 centímetros e 30 centímetros, para a fabricação das fôrmas externas e das fôrmas internas, respectivamente.



FIGURA 8: Chapas metálicas de 1,20 x 3,00 m (chapa 12) compradas.

(Fonte: Autor, 2021).

A ideia de terceirizar o corte das chapas otimizou o processo de fabricação na metalúrgica. No momento do corte das chapas estavam por bancadas de corte profissionais, as quais esta metalúrgica não possuía, os funcionários da metalúrgica começaram a cortar os pedaços de “barra chata” e estudarem o projeto.

Na Figura 9, foram cortadas em 90 pedaços de 50 centímetros de ferro chato de 1 polegada e meia. Já na Figura 10, o mesmo tipo de material foi cortado em 90 pedaços de 30 centímetros.

A quantidade total de barras cortadas para a fabricação dos reforços da estrutura foram 12 barras de 6 metros de comprimento.



FIGURA 9: Pedações de barra chata cortados com 50 centímetros.

(Fonte: Autor, 2021).



FIGURA 10: Pedações de barra chata cortados com 30 centímetros.

(Fonte: Autor, 2021).

3.3.3. Análise do processo de calandragem das chapas

Para conseguir obter as chapas curvadas nos ângulos do projeto, é necessário a utilização das calandras. Esses equipamentos são formados por três rolos de metal que quando pressionados contra as chapas, é possível deixá-las curvas com o raio de giro que foi preciso para o determinado projeto.

Na Figura 11, para reproduzir os ângulos exigidos no projeto, observa-se um esboço que foi desenvolvido para calandrar as chapas metálicas. Nele foram marcados pontos de 50 em 50 centímetros, assim, foi possível desenhar com giz no chão da metalúrgica, um gráfico de 8 metros por 2 metros, como é mostrado na Figura 12, possibilitando nós traçarmos a curva da chapa metálica calandrada pelo método de coordenadas.

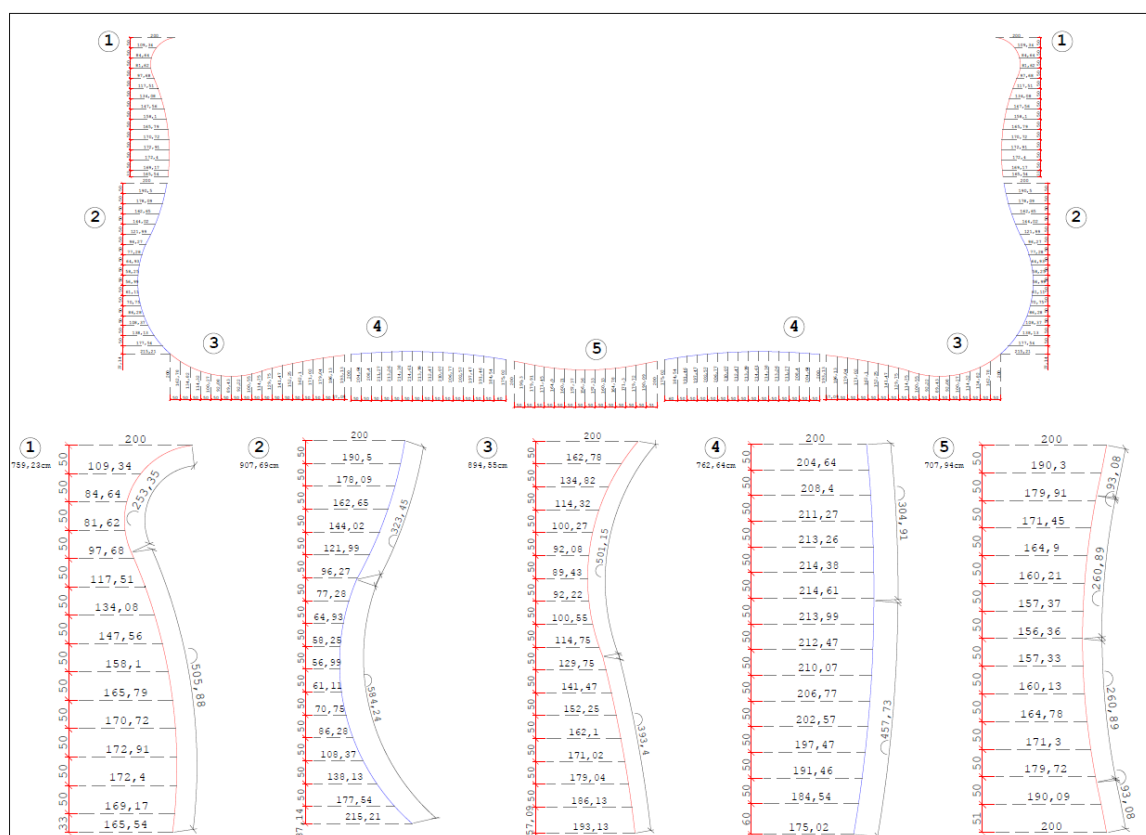


FIGURA 11: Pontos para realizar a calandragem da chapa interna.

(Fonte: Autor, 2021).

Do mesmo modo, além das chapas metálicas, os reforços superiores e inferiores de ferro chato precisaram ser calandrados para seguir a curvatura da fôrma, como é visto na Figura 13.



FIGURA 12: Gráfico desenhado no chão da metalúrgica para calandrar a chapa metálica.

(Fonte: Autor, 2021).

Após obtermos os ângulos de um conjunto, os pedaços de chapas já cortados nas medidas certas, foram calandrados e posicionados sobre a linha, assim realizando a conferência do alinhamento.



FIGURA 13: Fôrma externa sendo fabricada.

(Fonte: Autor, 2021).

3.3.4. Análise do processo de soldagem das chapas e dos reforços na metalúrgica

Para a soldagem das chapas na metalúrgica, os funcionários utilizaram máquinas de solda do tipo MIG, utilizando como consumível o arame de 8 milímetros. Após as chapas serem calandradas, cada pedaço foi unido pelo processo de soldagem para facilitar a organização e o transporte das mesmas.

Nas seguintes figuras, estão presentes as chapas soldadas entre elas e com a adição dos pedaços de ferro chato cortados anteriormente, muito importantes para evitar a movimentação da chapa quando ela servir de molde para o concreto armado.



FIGURA 14: Soldagem das chapas e dos reforços.

(Fonte: Autor, 2021).

A divisão da fôrma ficou conforme o ângulo do projeto, então, pensando na fixação entre os segmentos da estrutura, foram soldadas cantoneiras em cada ponta das seções e perfuradas para utilizarmos parafusos sextavados e porcas. Na Figura 15 é mostrado o local de uma conexão com essas cantoneiras.

Também na fase de soldagem, os tubos quadrados 40 x 40 mm foram presos nas fôrmas internas e os tubos quadrados 50 x 50 mm foram presos nas fôrmas externas. Na Figura 16, é observado que os tubos maiores foram fixados a cantoneira s para melhorar a estabilidade ao realizar o encaixe.



FIGURA 15: Soldagem das cantoneiras de fixação na fôrma.
(Fonte: Autor, 2021).



FIGURA 16: Soldagem dos tubos quadrados na fôrma.
(Fonte: Autor, 2021).

3.4. ADAPTAÇÕES NA ESTRUTURA

3.4.1. Redução da altura da chapa interna

Durante a fase de fabricação, o engenheiro solicitou a alteração na altura da chapa interna. O engenheiro descontou a espessura da camada acústica e a espessura da camada térmica da laje superior, o que fez com que o projeto fosse alterado de 30 cm para 25,5 cm.

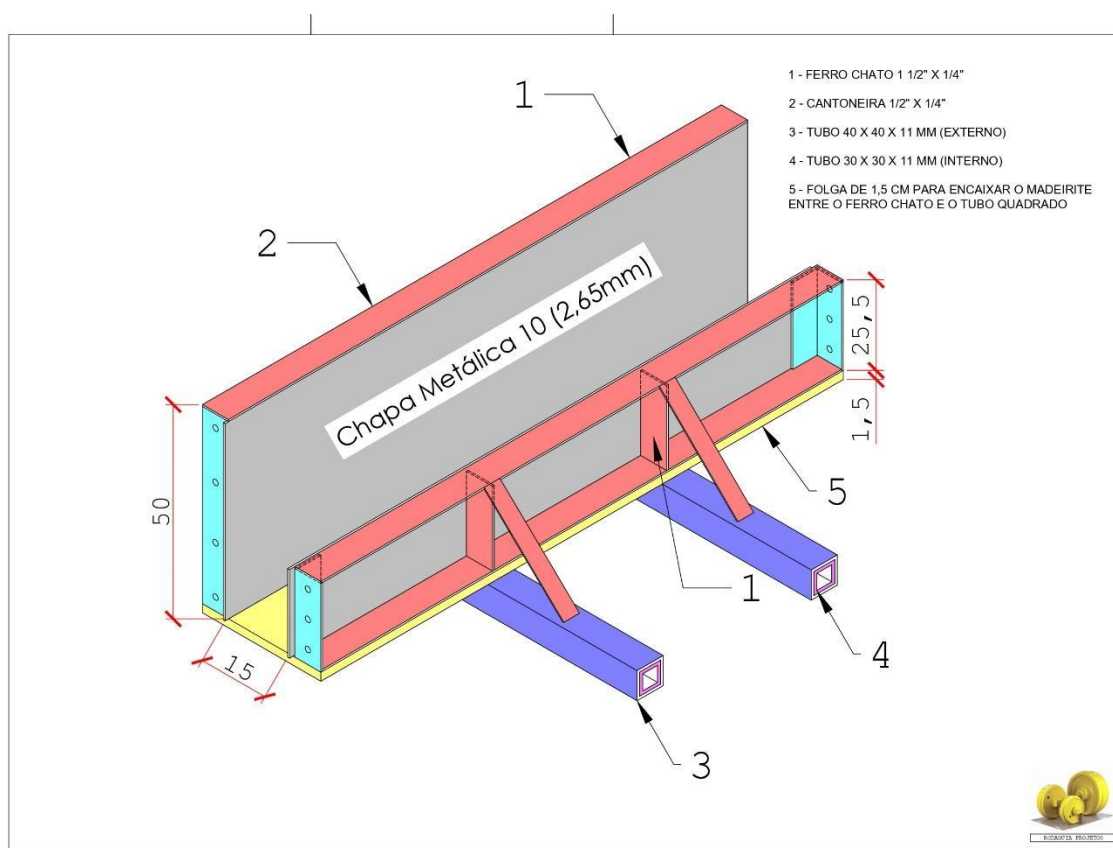


FIGURA 17: Esboço de redução da altura da fôrma interna.

(Fonte: Autor, 2021).

3.4.2. Aumento da altura da chapa externa

Para evitar o possível problema de vazamento de concreto ao encher a fôrma, foi preferível aumentar a altura da chapa externa com barras de ferro chato de 2 polegadas. Esse material foi fixado com pedaços de chapa cortada em formato de triângulo, soldados sobre o ferro chato de reforço existente na fôrma e soldados ao ferro chato novo.

O ferro chato utilizado nessa alteração, já tinha sido providenciado pela metalúrgica, o qual antecipara futuras alterações no projeto.

Com esse ajuste, obtivemos a ideia de futuramente instalar suportes de guarda-corpo na secção aumentada, como é possível verificar na Figura 32, solicitando então, um novo orçamento da instalação das abraçadeiras na fôrma. Para facilitar o processo, preferimos executar a instalação quando a estrutura temporária já estivesse no local da obra.



FIGURA 18: Soldagem do aumento da altura da chapa externa.

(Fonte: Autor, 2021).

Após finalizar a fabricação de todos os segmentos da fôrma, os mesmos foram levados para a estufa de pintura da metalúrgica e pintados com fundo anticorrosivo. Nela foi preferível pintar por conjunto da secção interna e externa.



FIGURA 19: Partes da fôrma na estufa de pintura com fundo anticorrosivo.

(Fonte: Autor, 2021).

O transporte da fôrma foi realizado no dia 03 de agosto de 2021 com a utilização do caminhão da metalúrgica contratada. Para elevar as partes fabricadas, do caminhão até o primeiro andar, foi utilizada a grua da obra e ajuda dos funcionários liberados pelo engenheiro.



FIGURA 20: Fôrmas prontas para serem transportadas.

(Fonte: Autor, 2021).

Todas as partes do projeto foram armazenadas na laje do primeiro pavimento. Na Figura 21, representa a vista lateral da obra em que a estrutura será testada. No último andar das garagens, nos locais indicados por setas vermelhas, as partes da fôrma foram armazenadas e organizadas.

Neste local conseguimos alinhar os segmentos e ajusta-los em sequência, analisando se as medidas do projeto estavam corretas ou se necessitavam de alterações ocasionais.

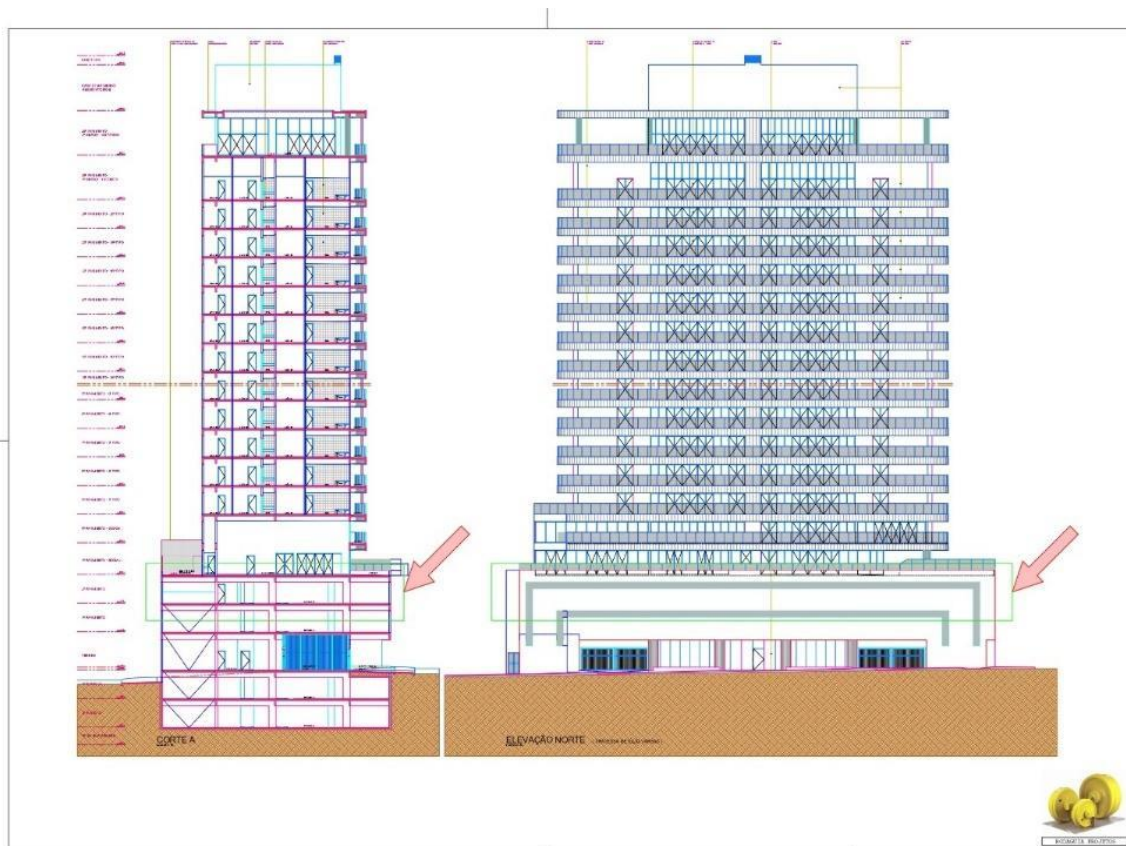


FIGURA 21: Local de armazenamento das fôrmas na obra.

(Fonte: Autor, 2021).

3.4.3. Ajustes nas partes de chapas que faltaram

Ao começarmos a organizar as partes conforme o projeto, foi visto que a medida do comprimento total da chapa não estava correta. A metalúrgica entendeu o projeto da forma interna como se fosse a forma externa, o que fez com que o comprimento total faltasse 3,2 metros.

Para solucionar esse imprevisto, foram utilizadas chapas que tinham sobrado da fabricação e cortadas. Foram quatro chapas de 60 centímetros e duas chapas de 40 centímetros.

Esses pedaços já cortados foram calandrados e soldados às cantoneiras, que precisaram ser furadas para a fixação com parafusos sextavados.



FIGURA 22: Peça de chapa que faltou.

(Fonte: Autor, 2021).

Devido as alterações necessárias, foram utilizadas máquinas de solda portátil do tipo eletrodo, as quais possuem como consumível o eletrodo revestido. Nesse caso, a metalúrgica utilizou o eletrodo 6013, de 2,5 milímetros de diâmetro, como é visto na Figura 23.

Nas imagens a seguir, é possível visualizar como ficaram as soldagens das adaptações para preencher os espaçamentos que faltaram.



FIGURA 23: Eletrodo revestido utilizado na obra

(Fonte: Autor, 2021).



FIGURA 24: Soldagem das cantoneiras para içamento.

(Fonte: Autor, 2021).



FIGURA 25: Soldagem da chapa metálica adaptada externa.

(Fonte: Autor, 2021).



FIGURA 26: Soldagem da chapa metálica adaptada interna.

(Fonte: Autor, 2021).

3.4.4. Corte da chapa interna para a fixação das caixarias laterais

Para que as caixarias de madeira das vigas internas, encaixassem na fôrma nos pavimentos seguintes, cortes de 30 centímetros na chapa interna foram executados. Ao total foram dez cortes na parte superior da fôrma interna.

Para facilitar a união da caixa de madeira com a chapa metálica, foram soldadas barras chatas de 1 polegada para servir de apoio ao compensado de madeira.

Optamos por fazer essas alterações na obra para alinhar as vigas da laje superior com a fôrma, evitando possíveis desalinhamentos.

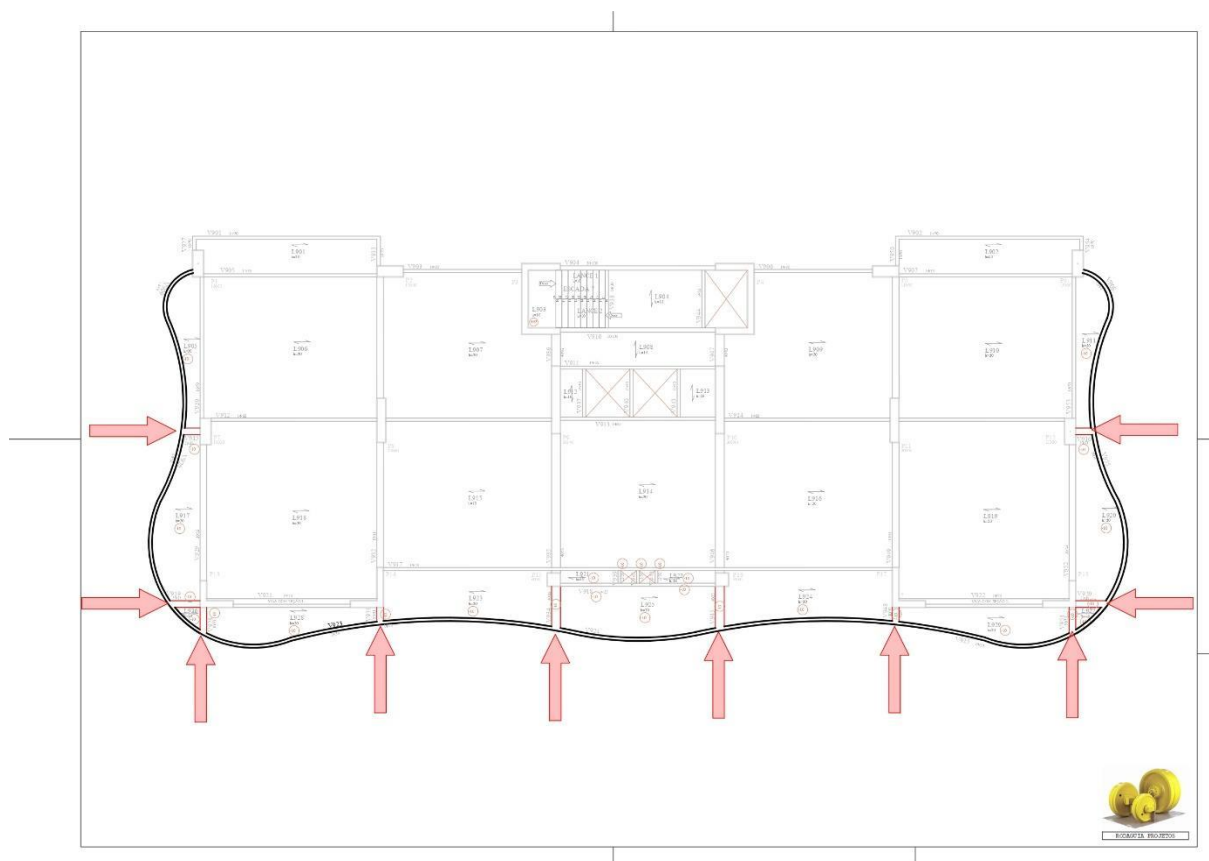


FIGURA 27: Local das caixarias das vigas existentes na obra.

(Fonte: Autor, 2021).



FIGURA 28: Corte da chapa interna para as caixarias.

(Fonte: Autor, 2021).

3.4.5. Reajuste na altura da chapa interna

Ao ser realizada a conferência da altura das chapas, notou-se que para encaixar a fôrma interna com a laje superior e ao mesmo tempo alinhar a fôrma externa, foi necessário o aumento da altura da chapa interna em 5 centímetros. O motivo desta adaptação foi porque a redução citada anteriormente, não era necessária no local de fixação da parte interna da fôrma, por estar na área da varanda do edifício e não precisar da camada acústica e térmica, como projetado na parte interna do apartamento.

Para reverter essa redução de 5 centímetros, foi preciso comprar tubos retangulares 20 x 50 milímetros e pintá-los com o fundo anticorrosivo.



FIGURA 29: Tubos retangulares calandrados.

(Fonte: Autor, 2021).

3.4.6. Remoção do sistema de fixação entre a fôrma interna e a fôrma externa

Para facilitar a montagem das duas partes da fôrma, um novo sistema de fixação entre elas foi necessário. Ao unirmos as partes segmentadas, a fixação por meio do movimento horizontal entre os tubos quadrados 40 x 40 e os tubos quadrados 30 x 30 ficaram inviáveis.



FIGURA 30: Sistema antigo de fixação por tubos.

(Fonte: Autor, 2021).

3.4.7. Desenvolvimento do novo sistema de fixação

Pensando em facilitar o procedimento de encaixe da parte externa e interna, todos os sistemas de fixação foram retirados e levados de volta à metalúrgica para serem realizadas as algumas alterações.

A solução encontrada foi fixar uma das pontas de uma barra chata no tubo quadrado horizontal e na outra ponta da barra, soldar um pino que encaixa dentro de um furo passante entre o tubo vertical 30 x 30 mm da fôrma interna e a luva da fôrma externa de 40 x 40 mm.



FIGURA 31: Novo sistema de fixação por tubos.

(Fonte: Autor, 2021).

3.4.8. Fixação dos encaixes para o guarda-corpo de madeira

Pensando na segurança dos trabalhadores da obra, foram soldados encaixes na barra chata superior da fôrma externa, o que viabiliza a instalação de guarda-corpo de madeira.



FIGURA 32: Modelo de encaixe do guarda corpo.

(Fonte: Autor, 2021).



FIGURA 33: Primeiro teste da utilização do guarda-corpo.

(Fonte: Autor, 2021).

3.5. PREPARAÇÃO PARA A MONTAGEM

3.5.1. Içamento da fôrma no pavimento superior

Para elevar a fôrma do primeiro pavimento até o primeiro “tipo”, a grua da obra serviu de auxílio.



FIGURA 34: Fixação da fôrma no primeiro pavimento.

(Fonte: Autor, 2021).

3.5.2. Fixação da fôrma e posicionamento das escoras

Logo em seguida do içamento da estrutura para o pavimento superior, uma equipe de funcionários da obra já cuidou de posicionar as escoras de metal com regulagem sob a fôrma, como visto na Figura 35.



FIGURA 35: Escoramento da fôrma.

(Fonte: Autor, 2021).

3.5.3. Adição de desmoldante

Para um melhor acabamento superficial da viga, foi passada na parte interna da estrutura temporária um desmoldante, o qual possui a função de proteger a viga e diminuir a aderência do concreto a superfícies, facilitando assim sua remoção.

3.5.4. Preenchimento com a armação metálica e o concreto

Em seguida, depois do tempo de secagem recomendado do desmoldante, a armação metálica foi posicionada nas curvas e logo preenchida com o concreto fresco para iniciar seu tempo de secagem.

3.5.5. Tempo de cura do concreto

A viga de concreto ficou um período de 3 semanas em secagem. Ela iniciou seu tempo de cura no dia 28 de setembro de 2021 e terminou no dia 19 de outubro de 2021.



FIGURA 36: Imagem aérea da fôrma instalada.

(Fonte: Autor, 2021).

3.5.6. Desmontagem da fôrma

A remoção das partes das fôrmas iniciou no dia 19 de outubro de 2021 e terminaram no dia 22 de outubro de 2021. Uma equipe de quatro funcionários trabalhou em conjunto para realizar o afrouxamento dos fixadores e o desengate dos segmentos.

Na Figura 37, mostra o início da retirada das partes da estrutura pelos os funcionários da metalúrgica e nas Figuras 38, 39 e 40, o resultado obtido após a remoção completa do lado direito da obra, o qual foi iniciada a montagem no segundo pavimento no mesmo dia.



FIGURA 37: Funcionários iniciando a retirada da fôrma.

(Fonte: Autor, 2021).



FIGURA 38: Retirada parcial da fôrma no primeiro pavimento.

(Fonte: Autor, 2021).



FIGURA 39: Vista aérea da obra sem a fôrma no lado direito da obra.

(Fonte: Autor, 2021).

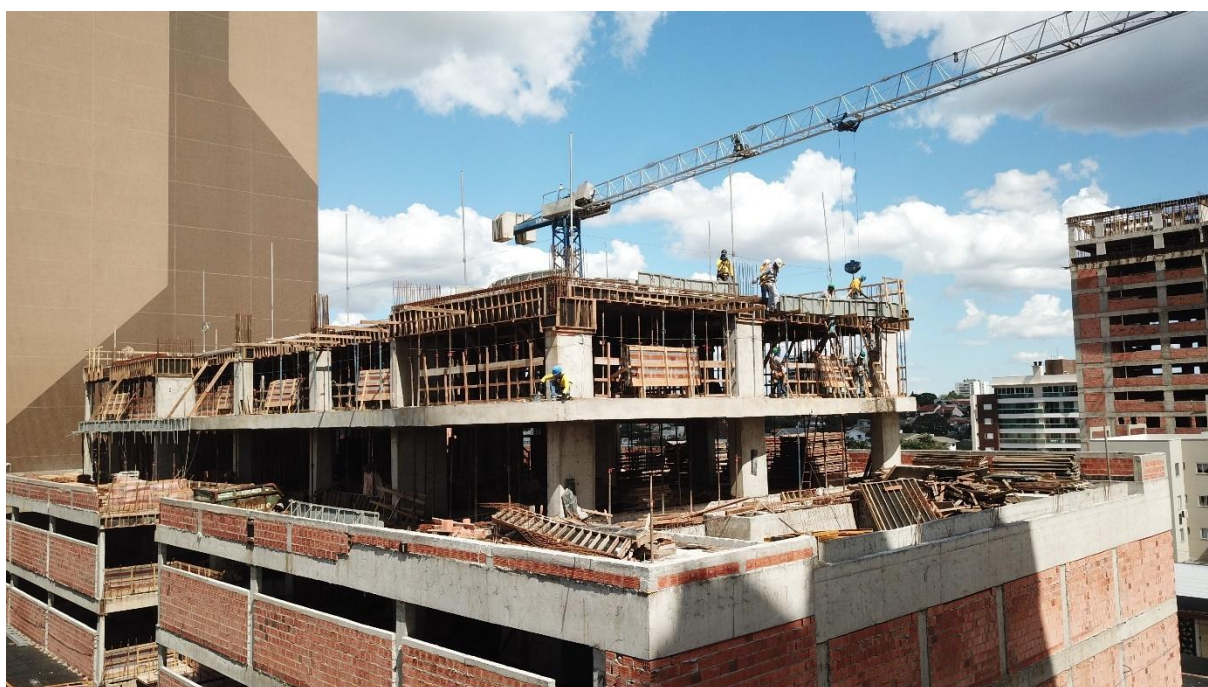


FIGURA 40: Vista frontal da viga de concreto armado.

(Fonte: Autor, 2021).

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Segundo a avaliação do próprio engenheiro civil da obra, a estrutura metálica funcionou pois o acabamento superficial da viga ficou no padrão esperado. Na Figura 41 e na Figura 42, observa-se que não se encontram rachaduras ou trincas na estrutura da viga e que a curva segue o formato mostrado no projeto da construtora.



FIGURA 41: Acabamento superficial da viga de concreto armado.

(Fonte: Autor, 2021).



FIGURA 42: Curvatura da viga de concreto armado.

(Fonte: Autor, 2021).

No dia 22 de outubro de 2021, as fôrmas terminaram de ser fixadas no segundo pavimento, faltando apenas a execução da parte civil para continuar a concretagem.



FIGURA 43: Parte direita da fôrma fixada no segundo pavimento.

(Fonte: Autor, 2021).



FIGURA 44: Parte esquerda da fôrma fixada no segundo pavimento.

(Fonte: Autor, 2021).



FIGURA 45: Fôrma instalada no segundo pavimento.

(Fonte: Autor, 2021).



FIGURA 46: Parte central da fôrma fixada no segundo pavimento.

(Fonte: Autor, 2021).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como objetivo principal dessa pesquisa, tínhamos o desenvolvimento e a análise de viabilidade de um novo método de fabricação de vigas curvas, realizando o acompanhamento de todos os processos de fabricação e montagem das fôrmas, evitando o máximo de desperdício de materiais não reutilizáveis.

Durante todo o plano de execução, obtivemos diversos resultados os quais podem ser replicados ou até mesmo otimizados. Tais os quais agregam experiência a todos os envolvidos no projeto, desde a fase de planejamento até a última viga fabricada. Após realizar esta pesquisa exploratória, será possível aprimorar diversos mecanismos que foram utilizados nesse primeiro modelo, adequando-o a utilização em casos mais específicos e desafiadores nas obras da engenharia civil.

Algumas adversidades foram encontradas durante todo o percurso, porém elas foram solucionadas com a ajuda do conhecimento adquirido durante o curso de engenharia mecânica, o qual possui matérias que estudam as propriedades dos materiais, os processos de fabricação e gestão de projetos, que facilitam a obtenção de soluções e organização de cronogramas.

Ao analisar o acabamento superficial alcançado na viga do primeiro pavimento do edifício, foi atingido o padrão esperado se comparado com as vigas fabricadas com fôrmas de madeira. Segundo o engenheiro civil da obra em que foi realizado o experimento, a questão custo aço versus madeira, compensou financeiramente a utilização do aço, porém, por se tratar de um dado financeiro sigiloso da empresa, não nos foi permitido acesso aos valores gastos com o projeto em si.

Ao acompanhar a montagem e desmontagem das partes, foi possível observar que se a mesma fosse fabricada utilizando madeira e madeirite, iria ser necessário uma maior mão de obra dos funcionários, um prazo de montagem e desmontagem, um retrabalho desgastante e repetitivo e um pior acabamento, tanto superficial quanto possivelmente o aparecimento de falhas na estrutura da viga.

5.1. LIMITAÇÕES DA PESQUISA

Por causa do prazo final deste trabalho de conclusão de curso, foi possível analisar a efetividade do projeto apenas em uma viga criada das 15 subsequentes. Para obtermos mais

dados, precisaremos analisar o resultado de todas as vigas subsequentes, avaliando o desgaste das fôrmas e o acabamento superficial da viga.

Ao desenvolver esse projeto, a construtora tinha estabelecido um limite econômico que influenciou no material que utilizamos e em algumas ideias que facilitariam a fabricação, porém não se adequavam aos orçamentos.

5.2. CONTRIBUIÇÕES

Para comprovar a eficácia do método, será crucial utilizar a mesma ideia em futuras obras da engenharia civil. Assim, ao utilizar está ideia em múltiplas situações, as limitações da construção civil serão solucionadas com a atuação de conceitos da engenharia mecânica.

Ao concretizar esse projeto de pesquisa, é possível analisar que o engenheiro mecânico pode atuar em diversas áreas que precisem de seus conhecimentos, não apenas as relacionadas ao senso comum implantado na sociedade. Inúmeros eventos acontecem todos os dias, os quais com um conhecimento técnico abrangente e uma boa noção de gestão de projetos, podem ser solucionados sem dificuldades e problemas futuros.

A fabricação de fôrmas de madeira possui vantagens, porém ao considerar os avanços na arquitetura contemporânea, em breve essa prática pode se tornar inviável.

5.3. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como sugestões para trabalhos futuros, acreditamos que as seguintes ideias agregaram bastante credibilidade ao tema abordado nesta pesquisa:

- Avaliar a padronização do acabamento das vigas nos próximos andares;
- Avaliar o desgaste da fôrma na reutilização;
- Comparar o impacto ambiental entre a utilização da chapa metálica e da madeira;
- Otimizar o projeto da fôrma.

Executando essas pesquisas, é possível viabilizar esse método para futuros colegas de profissão, facilitando vários processos de fabricação e evitando o desperdício de materiais não reutilizáveis. Tendo isso em vista, profissionais do mundo inteiro podem aderir à um sistema de construção com um menor impacto ambiental.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CUNHA, Lelis José G. da **Solda: como, quando e por quê.** – 2. ed. – D. C. Luzzatto Ed., 1989. 260p. 1. Solda. I. Título CDU 621.791

MARQUES, Paulo Villani. **Soldagem: fundamentos e tecnologia** / Paulo Villani Marques, Paulo José Modenesi, Alexandre Queiroz Bracarense – 3ª edição atualizada – Belo Horizonte: Editora UFMG, 2009. 363 p. il- (Didática)

CHIAVERINI, Vicente, 1914 – **Tecnologia mecânica** / Vicente Chiaverini – 2. ed. – São Paulo: McGraw-Hill, 1986.

SABBATINI, Fernando Henrique. **Desenvolvimento de métodos, processos e sistemas construtivos – formulação e aplicação de uma metodologia.** 204f. Tese (Doutorado em...) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1989.

MARQUES NETO, José da Costa. **Gestão dos Resíduos de Construção e Demolição no Brasil.** São Carlos: Rima, 2005. 162 p.

ASSAHI, Paulo Nobuyoshi. **Sistema de Fôrma para estrutura de concreto.** Boletim Técnico, São Paulo: s.n.

MAPA DA OBRA. Disponível em: <<https://www.mapadaobra.com.br/inovacao/saiba-como-e-por-que-utilizar-o-concreto-colorido-na-sua-obra> > Acesso em: 05 dezembro 2017.

NAZAR, Nilton. **Fôrmas e escoramentos para edifícios: critérios para dimensionamento e escolha do sistema** / Nilton Nazar. — São Paulo: Pini, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6118:** Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 14931:** Execução de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASIELIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7190**: Projeto de estruturas de madeira. Rio de Janeiro: ABNT, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASIELIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 8800**: Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.

AZAR, N. **Fôrmas e escoramentos para edifícios**. São Paulo: PINI, 2007.

NEIVA NETO, Romeu da Silva. **O projeto da produção de fôrmas para estrutura de concreto armado incorporando bim**. 2014. 154f. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, Campinas, 2014.

PANNONI, Fabio Domingos. **Aços Estruturais**. Disponível em: <<https://www.gerdau.com.br/arquivos-tecnicos/12.brasil.es-ES.force.axd>>. Acesso em: 13 mar. 2019.

FAJERSZTAIN, H. **Formas para concreto armado**: aplicação para o caso do edifício. 1987. Tese (Doutorado em...) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1987.

DANIEL JAZYNSKI, Paulo. **Redimensionamento de componentes de uma calandra de três rolos**. 2019. 102 p. Trabalho de Conclusão de Curso de Bacharelado em Engenharia Mecânica - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2019.

FRANCO, Antônio G. J.; Escola Pro-Tec. **Conformação de elementos de máquinas**. São Paulo, SP: F. Provenza, 1991. [162] p.

CALLISTER, William D. **Ciência e engenharia de materiais: uma introdução**. 5. ed. Rio Janeiro: LTC, 2002. 589 p.

APÊNDICE I – IMAGEM AÉREA DO INÍCIO DA OBRA

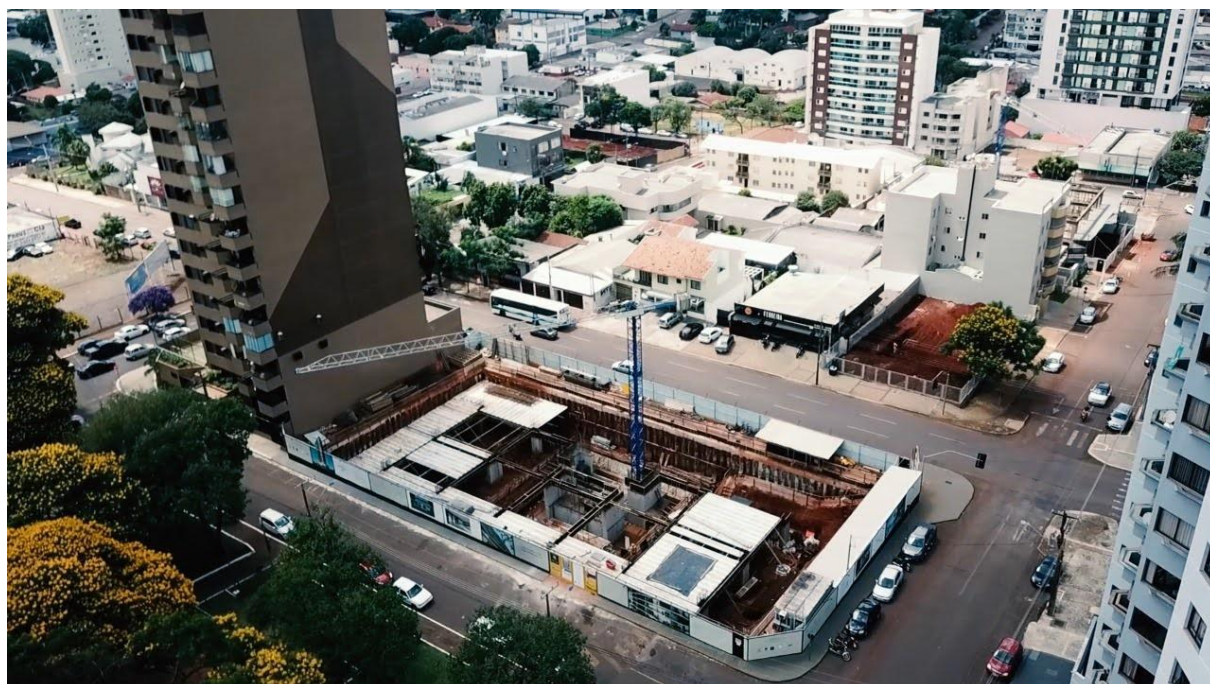


FIGURA 47: Vista aérea do início da obra.

(Fonte: Autor, 2021).

APÊNDICE II – ESCORAS INSTALADAS DENTRO DA OBRA



FIGURA 48: Escoras instaladas na parte interna da obra.

(Fonte: Autor, 2021).

APÊNDICE III – CAIXARIA DE VIGAS DE CONCRETO EM MADEIRA



FIGURA 49: Caixaria de madeira para vigas de concreto armado.

(Fonte: Autor, 2021).

APÊNDICE IV – FIXAÇÃO DA FÔRMA INTERNA



FIGURA 50: Fixação da fôrma interna.

(Fonte: Autor, 2021).

APÊNDICE V – MARCAÇÃO DA SEQUÊNCIA DAS PARTES DAS FÔRMAS



FIGURA 51: Marcação da sequência das partes das fôrmas.

(Fonte: Autor, 2021).

APÊNDICE VI – GUARDA-CORPO DE MADEIRA INSTALADO



FIGURA 52: Guarda-corpo de madeira instalado.

(Fonte: Autor, 2021).