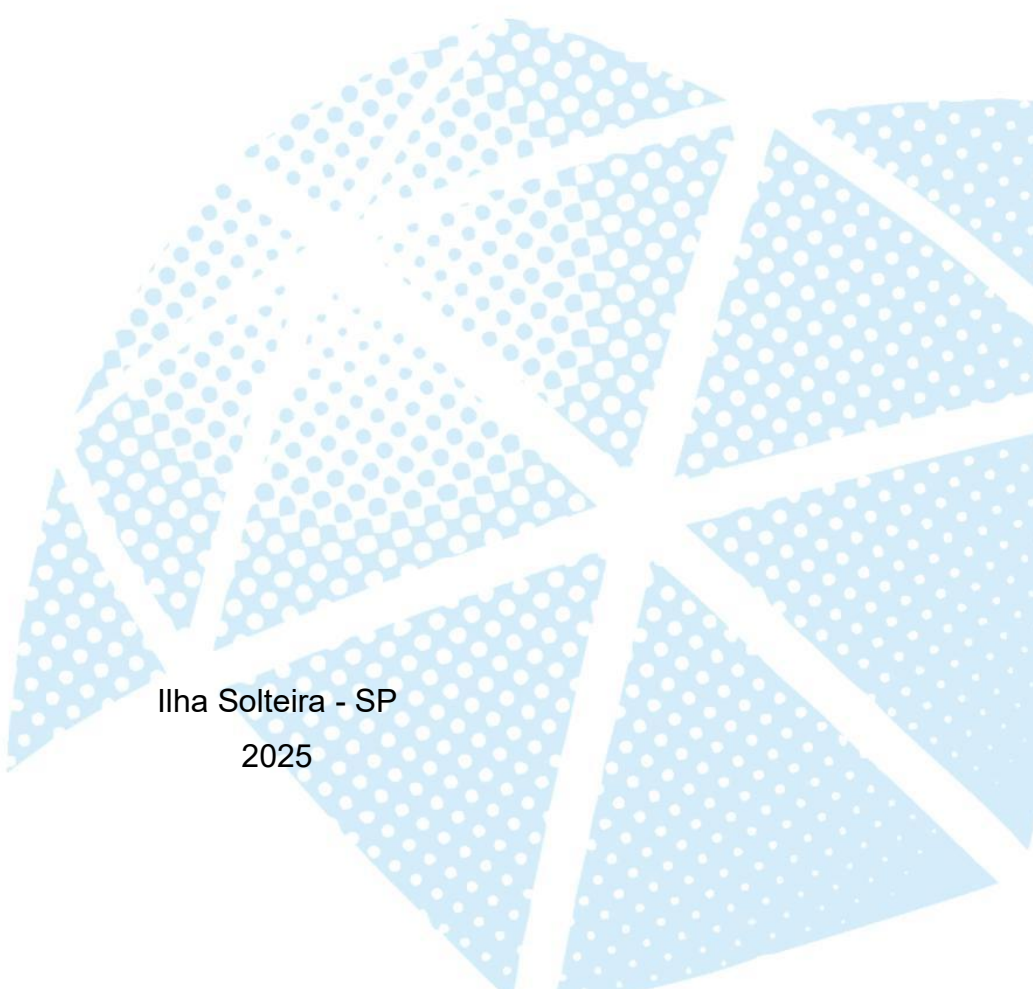


**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA**

DAYANE GOUVEIA CARROCIERE

**ESTUDO COMPARATIVO DOS SISTEMAS DE FÔRMAS E CIMBRAMENTOS EM
MADEIRA PARA USO EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO**



Ilha Solteira - SP
2025

DAYANE GOUVEIA CARROCIERE

**ESTUDO COMPARATIVO DOS SISTEMAS DE FÔRMAS E CIMBRAMENTOS EM
MADEIRA PARA USO EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO**

Trabalho de Graduação apresentado à Faculdade de Engenharia do Campus de Ilha Solteira – Unesp, como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheira Civil.

Orientador(a): Prof. Dr. Vinicius Borges de Moura Aquino

Ilha Solteira - SP

2025

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

- C319e Carrociere, Dayane Gouveia.
Estudo comparativo dos sistemas de fôrmas e cimbramentos em madeira para uso em estruturas de concreto armado / Dayane Gouveia Carrociere. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2025
106 f. : il.
- Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Engenharia, Ilha Solteira, 2025
- Orientador: Vinicius Borges de Moura Aquino
- Inclui bibliografia
1. Dimensionamento. 2. Fôrmas . 3. Cimbramentos. 4. Madeira. 5. Estruturas. 6. Concreto.

IMPACTO POTENCIAL DESTA PESQUISA

O emprego de fôrmas e cimbramentos de madeira em estruturas de concreto armado constitui uma prática de uso consolidado e de larga escala na indústria da construção civil brasileira. Não obstante sua relevância, a ausência de um dimensionamento técnico rigoroso para tais elementos é uma ocorrência frequente. Essa negligência técnica é um fator de risco significativo, culminando em uma alta incidência de acidentes no setor, muitos dos quais resultam em fatalidades ou graves prejuízos materiais, evidenciando a carência de um acompanhamento técnico especializado e atualizado.

Diante desse cenário, a presente pesquisa se justifica pela necessidade de se avaliar e sistematizar, com base na literatura técnica e normativa, os métodos de dimensionamento desses elementos. O foco recai sobre a análise à luz dos documentos normativos vigentes, que regulamentam o suporte do concreto armado em sua fase fresca.

POTENTIAL IMPACT OF THIS RESEARCH

The use of timber formwork and falsework in reinforced concrete structures is a long-established and large-scale practice in the Brazilian civil construction industry. Notwithstanding its relevance, the absence of rigorous technical design for such elements is a frequent occurrence. This technical negligence is a significant risk factor, culminating in a high incidence of accidents in the sector, many of which result in fatalities or serious material losses, highlighting the lack of specialized and up-to-date technical supervision.

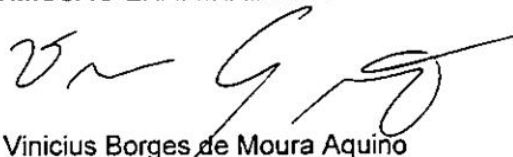
In view of this scenario, the present research is justified by the need to evaluate and systematize, based on technical and normative literature, the methods for designing these elements. The focus is on the analysis in the light of the current normative documents that regulate the support of reinforced concrete in its fresh state.

FOLHA DE APROVAÇÃO

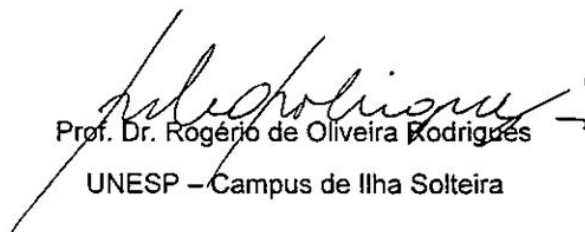
Aluno: Dayane Gouveia Carrociere

Titulo: "Estudo Comparativo dos Sistemas de Fôrmas e Cimbramentos em Madeira para Uso em Estruturas de Concreto Armado"

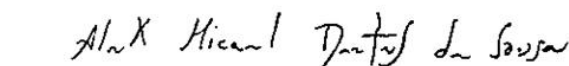
Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado como parte dos requisitos para obtenção do grau de Engenheiro Civil, junto ao Curso de Graduação em Engenharia Civil, da Faculdade de Engenharia da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Campus de Ilha Solteira

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof. Dr. Vinicius Borges de Moura Aquino
UNESP – Campus de Ilha Solteira (Orientador)



Prof. Dr. Rogério de Oliveira Rodrigues
UNESP – Campus de Ilha Solteira



Prof. Dr. Alex Micael Dantas de Sousa
UNESP – Campus de Ilha Solteira

Ilha Solteira

01/12/2025

Dedico este trabalho
à toda minha **família**.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a **Deus** por minhas vitórias e superações. Em cada provação, ele me deu a força para não desistir e a coragem para enfrentar os obstáculos que surgiram no caminho. Em todos os momentos, foi sua presença que me permitiram seguir adiante e alcançar meus objetivos.

Agradeço, com o coração cheio de gratidão, à minha família, que sempre foi minha base e meu alicerce nos momentos mais desafiadores.

Em especial, ao meu namorado, **Lucas Mariano**, por dividir comigo momentos de alegria, ansiedade e até de raiva — obrigada por estar ao meu lado em cada etapa dessa jornada. À minha sogra, agradeço o acolhimento e apoio durante minha estadia.

À professora **Silvia Regina da Silva**, enviada por Deus, minha profunda gratidão. Sua ajuda nos momentos mais difíceis foi essencial para que eu conseguisse chegar até aqui.

Aos amigos que estiveram presentes ao longo dessa caminhada, em especial, à Almerinda Keila Oliveira da Silva, por seu incentivo constante, compreensão nas ausências e o apoio mesmo à distância.

Ao meu orientador, **Vinicius Borges de Moura Aquino**, agradeço pela orientação técnica, pelas sugestões valiosas e pela atenção dedicada em todas as etapas deste trabalho.

O presente trabalho foi realizado com apoio do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (**PIBIC**), programa de incentivo à pesquisa, financiado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), sendo assim, agradeço por ter me proporcionado a oportunidade de vivenciar a pesquisa científica, ir além dos conhecimentos vistos em sala de aula e desenvolver o senso crítico.

Este trabalho é fruto de muito esforço, estudo e colaboração. A todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização desta conquista, deixo aqui o meu mais sincero agradecimento.

"Esforça-te, e tem bom ânimo"

Josué 1:9

RESUMO

O emprego de fôrmas e cimbramentos de madeira, embora seja uma prática de larga escala na construção civil brasileira, frequentemente carece do devido rigor técnico no dimensionamento, o que eleva a incidência de acidentes. Diante disso, o presente trabalho objetivou-se avaliar os métodos de dimensionamento desses elementos e propor a elaboração de um manual para seu uso correto, fundamentado nas recentes atualizações das Normas Brasileiras: ABNT NBR 7190-1:2022, ABNT NBR 6118:2023, ABNT NBR 14931:2023 e ABNT NBR 8681:2025. A metodologia consistiu na análise comparativa entre o sistema tradicional de fôrmas (ABCP) e o sistema Toshio Ueno, que utiliza madeira compensada, detalhando as propriedades desse material e as ações atuantes (pressão lateral do concreto e sobrecargas). Posteriormente, desenvolveu-se um projeto de edificação aplicado para o dimensionamento de fôrmas de lajes, vigas e pilares. Os resultados demonstraram que o dimensionamento preciso é crucial para a segurança ocupacional e a qualidade estrutural. Conclui-se que a correta aplicação das diretrizes normativas atualizadas é fundamental para a mitigação de riscos, consolidando este estudo como uma contribuição relevante para a busca por processos mais seguros, eficientes e sustentáveis na indústria da construção civil.

Palavras-chave: Fôrmas; Cimbramentos; Dimensionamento; Normas Brasileiras; Concreto Armado.

ABSTRACT

The use of wooden formwork and shoring, although a widespread practice in Brazilian civil construction, often lacks the necessary technical rigor in its design, which increases the incidence of accidents. Therefore, this work aimed to evaluate the design methods for these elements and propose the development of a manual for their correct use, based on recent updates to Brazilian Standards: ABNT NBR 7190-1:2022, ABNT NBR 6118:2023, ABNT NBR 14931:2023, and ABNT NBR 8681:2025. The methodology consisted of a comparative analysis between the traditional formwork system (ABCP) and the Toshio Ueno system, which uses plywood, detailing the properties of this material and the acting forces (lateral pressure of the concrete and overloads). Subsequently, a building design project was developed for the design of formwork for slabs, beams, and columns. The results demonstrated that precise dimensioning is crucial for occupational safety and structural quality. It is concluded that the correct application of updated normative guidelines is fundamental for risk mitigation, consolidating this study as a relevant contribution to the pursuit of safer, more efficient, and sustainable processes in the civil construction industry.

Keywords: Formwork; Shoring; Dimensioning; Brazilian Standards; Reinforced Concrete.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Compostos de madeira	34
Figura 2 - Cinemática Geral dos Processos de Usinagem	35
Figura 3 e Figura 4 - Estoque de matéria prima e o cozimento das toras	35
Figura 5 e Figura 6 - O descascador e a obtenção das folhas no torno laminador ...	36
Figura 7 e Figura 8 - A guilhotinagem e secagem das folhas	36
Figura 9 - Prensagem das folhas	36
Figura 10 e Figura 11 - O lixamento, acabamento e a estocagem	37
Figura 12 - Posicionamento das lâminas no compensado	37
Figura 13 - Chapa de madeira compensada destacando as lâminas.....	38
Figura 14 - Tabela de dimensões de pregos com cabeça Gerdau.....	40
Figura 15 - Tabela de dimensões de pregos com cabeça Gerdau.....	41
Figura 16 - Tabela de dimensões de pregos com cabeça dupla Gerdau.	42
Figura 17 - Sistema de fôrma para concretagem de um pilar.....	43
Figura 18 - Tirantes para Forma de Concreto	44
Figura 19 - Esticador para Tensor de Forma.....	44
Figura 20 - Travamento da fôrma de Concreto	44
Figura 21 - Forma de Laje sobre travessas.....	46
Figura 22 - Subsistema de fôrmas de laje	48
Figura 23 - Subsistema de fôrmas de vigas	49
Figura 24 - Subsistema de fôrmas de pilares	50
Figura 25 - Ilustração de medidas do gastalho.....	51
Figura 26 - Ilustração da montagem das grades dos pilares.....	52
Figura 27 - Ilustração da montagem dos painéis.....	53
Figura 28 - Ilustração do fechamento da forma dos pilares	54
Figura 29 - Ilustração da montagem dos painéis das vigas	55
Figura 30 - Ilustração do cimbramento das lajes.....	56
Figura 31 - Ilustração da montagem dos cavaletes.....	56
Figura 32 - Ilustração de montagem do assoalho	57
Figura 33 - Ilustração de nivelamento e travamento de vigas	58
Figura 34 - Carregamento vertical em fôrmas de laje	59
Figura 35 - Carga vertical e horizontal em fôrmas de viga	60
Figura 36 - Carga horizontal em fôrmas de pilares	61

Figura 37 - Pressão horizontal em fôrmas de pilares	61
Figura 38 - Grande volume de concreto fresco concentrado em uma.....	64
Figura 39 - Grande volume de concreto fresco em uma região e o surgimento de possíveis anomalias nos pavimentos inferiores.	64
Figura 40 - Diagrama de pressões triangular e a consideração para.....	70
Figura 41 - Pressão de Janssen para pilares	71
Figura 42 - Planta baixa – Edificação	73
Figura 43 – Corte – Edificação	73
Figura 44 – Fôrma da laje	76
Figura 45 - Distribuição das transversinas	82
Figura 46 - Área de influência de uma transversina	83
Figura 47 - Distribuição dos pontaletes	86
Figura 48 - Ações no pontalete	86
Figura 49 – Esquema geral da fôrma de viga.....	89
Figura 50 – Esforços atuantes na fôrma de viga (dimensões em cm).....	90
Figura 51 – Planta baixa fôrmas e acessórios para pilares	95
Figura 52 - Vista lateral	95
Figura 53 - Vista frontal	95
Figura 54 - Posicionamento dos sarrafos e tensores no pilar	100
Figura 55 - Detalhamento da Laje (cm).....	101
Figura 56 - Detalhamento das Vigas e do garfo	102
Figura 57 - Detalhamento das peças de Madeira Compensada da Viga	102
Figura 58 - Detalhamento das peças de Madeira C27 da Viga	103
Figura 59 - Detalhamento das peças de Madeira Compensada do pilar.....	103
Figura 60 - Detalhamento das peças de Madeira C27 do pilar	104
Figura 61 - Detalhamento pilar (cm).....	104

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classes de resistência de espécies de florestas nativas de definidas em ensaios de corpos de prova isentos de defeitos.....	26
Tabela 2 - Classes de resistência para espécies de madeiras nativas do Brasil	27
Tabela 3 - Valores médios de madeiras de florestas plantadas	30
Tabela 4 - Dimensões comerciais usuais de madeira serrada	32
Tabela 5 – Coeficientes para ações variáveis consideradas separadamente	68
Tabela 6 - Valores dos fatores de combinação (ψ_0) e de redução (ψ_1 e ψ_2) para as ações variáveis.....	69
Tabela 7 - Fatores que afetam a pressão lateral nas fôrmas devido ao concreto fresco	70
Tabela 8 - Valores limite de deslocamentos para elementos fletidos	75
Tabela 9 – Definição de classes de carregamentos e valores de K_{mod1}	81
Tabela 10 – Valores de K_{mod2}	81

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Dimensões de comercialização das chapas de compensado	39
--	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABCP	Associação Brasileira de Concreto Portland
PIBIC	Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica
CNPq	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	19
2	OBJETIVOS	20
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	21
3.1	PLANEJAMENTO E PROJETO DE FÔRMAS	21
3.2	UTILIZAÇÃO DAS FÔRMAS	23
3.3	CLASSIFICAÇÃO POR TIPO DE MATERIAL EMPREGADO	24
3.4	SISTEMA DE FÔRMAS DE MADEIRA	24
3.5	PATOLOGIAS E RECOMENDAÇÕES DE PROJETO	24
3.6	MATERIAIS	25
3.7	MADEIRAS SERRADAS COMERCIAIS	25
3.8	CHAPAS DE MADEIRA COMPENSADA	33
3.8.1	MADEIRA COMPENSADA	33
3.8.2	PARÂMETROS ELÁSTICOS E DE RESISTÊNCIA DA MADEIRA COMPENSADA	38
3.9	ACESSÓRIOS	39
3.9.1	PREGOS	39
3.9.2	TENSORES	42
3.9.3	EQUIPAMENTOS	42
4	SISTEMA DE FÔRMAS E CIMBRAMENTOS	45
4.1	SISTEMA TRADICIONAL (ABCP)	45
4.2	SISTEMA TOSHIO UENO	48
5	DESCRIÇÃO DE MONTAGEM DAS FÔRMAS	51
5.1	MONTAGEM DAS FÔRMAS (PAVIMENTO TIPO)	51
6	AÇÕES EM FÔRMAS E ESCORAMENTOS DE MADEIRA	59
6.1	COMPORTAMENTO ESTRUTURAL	59
6.1.1	FÔRMAS PARA LAJES	59
6.1.2	FÔRMAS PARA VIGAS	60
6.1.3	FÔRMAS PARA PILARES	60
6.2	PROPRIEDADES DO CONCRETO	61
6.2.1	COMPORTAMENTO DO CONCRETO	61
6.2.2	PESO DO CONCRETO	62
6.2.3	PEGA E ENDURECIMENTO	62

6.2.4	RETRAÇÃO	62
6.3	AÇÕES NAS FÔRMAS E CIMBRAMENTOS	63
6.3.1	PESO PRÓPRIO DAS FÔRMAS	63
6.3.2	PESO DO CONCRETO FRESCO	63
6.3.3	SOBRECARGAS	63
6.4	COMBINAÇÕES DAS AÇÕES	65
6.4.1	COMBINAÇÕES ÚLTIMAS NORMAIS	65
6.4.2	COMBINAÇÕES ÚLTIMAS ESPECIAIS OU DE CONSTRUÇÃO	66
6.4.3	COMBINAÇÕES RARAS DE SERVIÇO	67
6.4.4	COEFICIENTES PARA AS COMBINAÇÕES DE AÇÕES	67
6.4.4.1	COMBINAÇÕES ÚLTIMAS	67
6.5	ESTUDO DA PRESSÃO LATERAL DO CONCRETO	69
6.5.1	VIGAS	70
6.5.2	PILARES	71
7	RESULTADOS E DISCUSSÃO	72
7.1	MODELO DE PROJETO ESTRUTURAL	72
7.2	PROJETO DE FÔRMAS	74
7.3	FÔRMAS DA LAJE	75
7.3.1	PAINEIS DA LAJE	75
7.3.2	COMBINAÇÕES DE AÇÕES	76
7.3.3	DIMENSIONAMENTO DO ESPAÇAMENTO ENTRE AS TRANSVERSINAS	78
7.3.4	DIMENSIONAMENTO DO ESPAÇAMENTO ENTRE PONTALETES ...	83
7.3.5	VERIFICAÇÃO DOS PONTALETES	86
7.4	FÔRMAS E CIMBRAMENTOS DE VIGAS	89
7.4.1	DIMENSIONAMENTO DO ESPAÇAMENTO DOS GARFOS NO FUNDO DA VIGA ($L_{G,1}$)	91
7.4.2	DIMENSIONAMENTO DO ESPAÇAMENTO DOS GARFOS NA LATERAL DA VIGA	92
7.5	FÔRMAS DOS PILARES	94
7.5.1	AÇÕES A CONSIDERAR	96
7.5.2	DIMENSIONAMENTO DO ESPAÇAMENTO ENTRE SARRAFOS (L_s):	97
7.5.3	DIMENSIONAMENTO DO ESPAÇAMENTO ENTRE TENSORES (L_{TENS})	

7.5.4	POSICIONAMENTO DOS SARRAFOS E TENSORES NO PILAR.....	100
7.6	DETALHAMENTO DAS PEÇAS E DOS CORTES.....	101
7.6.1	Lajes	101
7.6.2	Vigas.....	101
7.6.3	Pilares.....	103
8	CONCLUSÃO	105
	REFERÊNCIAS.....	106

1 INTRODUÇÃO

O uso de madeira na indústria e construção civil é uma prática realizada por muitos anos desde quando o ser humano necessitava suprir suas demandas, desde guardar alimento e construção de abrigos e atualmente é utilizada na construção civil, indústria de papel e celulose, indústria moveleira, instrumentos musicais, equipamento esportivo e madeira processada, como painéis de madeira (Christoforo et al., 2017; Dias & Lahr, 2004).

A madeira possui grande potencial de aproveitamento em estruturas, pois apresenta resistências próximas de outros materiais de construção como aço e concreto, é um material natural, renovável e possui uma baixa demanda energética em seu processo produtivo (Almeida et al., 2016). O uso deste versátil material é amplo, destacando o seu uso nos Estados Unidos da América para construção de novas residências, demandando mais de um terço da produção estadunidense de madeira serrada (158 milhões de metros cúbicos), painéis estruturais e outros materiais não estruturais de madeira, como móveis, portas e acabamentos (Howard & Jones, 2016).

No Brasil, as estruturas de madeira, sejam residenciais ou industriais, são regidas pela norma brasileira NBR 7190-1 (ABNT, 2022), da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Ela discorre sobre as condições gerais executivas, de projeto e de controle das estruturas de madeira.

Um fim nobre para uso de madeira também ocorre como estrutura de suporte para estruturas de concreto durante a fase fresca deste. Assim, o material deve possuir resistência suficiente para suportar o carregamento hidrostático do concreto durante a fase fresca, as armaduras, bem como suportar os esforços devido ao processo de concretagem, como colaboradores bem como a vibração do concreto para adensamento deste material e permanecer estático durante o processo de cura do concreto.

Desta forma, as estruturas de fôrmas e cimbramentos de madeira devem ser efetuadas e montadas de tal forma a fim de impedir o colapso durante o processo de concretagem, possuir estanqueidade para evitar o vazamento da nata de concreto bem como da água de amassamento do concreto.

2 OBJETIVOS

Objetivo Geral:

O presente trabalho tem como objetivo geral, analisar criticamente e comparar os métodos de dimensionamento de fôrmas e cimbramentos de madeira, propondo a atualização dos critérios técnicos em conformidade com as novas Normas Brasileiras ABNT NBR 7190-1:2022, ABNT NBR 6118:2023, ABNT NBR 14931:2023 e ABNT NBR 8681:2025, a fim de desenvolver um projeto de edificação para uso seguro e eficiente na construção civil.

Objetivos Específicos:

Definem-se como objetivos específicos deste projeto de pesquisa:

1. Efetuar revisão bibliográfica sobre os métodos de dimensionamento de fôrmas e cimbramentos de madeira na construção civil;
2. Determinar parâmetros necessários para o dimensionamento de fôrmas e cimbramentos;
3. Atualizar, de forma técnica, os critérios para dimensionamento de fôrmas e cimbramentos, com base nas Normas Brasileiras ABNT NBR 7190-1:2022, ABNT NBR 6118:2023, ABNT NBR 14931:2023 e ABNT NBR 8681:2025;
4. Desenvolver um projeto de edificação aplicado para o dimensionamento de fôrmas e cimbramentos de lajes, vigas e pilares.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Fôrmas são um conjunto de elementos usados para moldar estruturas de concreto, a fim de adquirir o formato desejado. As fôrmas são utilizadas temporariamente, possuindo três funções principais: dar forma ao concreto, dar a textura ao concreto e sustentar o concreto fresco até atingir sua resistência autoportante.

Essas fôrmas devem possuir resistência aos esforços submetidos de seu próprio peso, sobrecarga da concretagem, empuxo lateral do concreto, adensamento, trânsito de pessoas e equipamentos, atendendo a rigidez necessária e garantindo a estabilidade com os suportes e contraventamentos estabelecido no projeto.

Em relação ao acabamento, a textura das fôrmas deve atender as especificações de cada projeto, principalmente das estruturas de concreto aparente. Para facilitar a desforma, a aderência da fôrma com o concreto deve ser a menor possível, entretanto, as chapas de compensado geralmente são tratadas com produtos desmoldantes, impedindo quaisquer danos para o concreto e para as fôrmas. De maneira geral, deve ser projetada as fôrmas com simplicidade, facilidade na desforma e no seu reaproveitamento.

3.1 PLANEJAMENTO E PROJETO DE FÔRMAS

O planejamento de fôrma é realizado pelos projetistas ou empresas especializadas, que elaboram uma proposta com base na análise da geometria da estrutura e depois determinam o sistema mais econômico para cada situação, apresentando uma previsão dos custos totais por unidade de trabalho e tempo determinado de execução. Através dessa análise, é possível comparar os sistemas existentes e escolher aquele que mais se adequa a este projeto.

Definido o sistema, o projeto estabelece instruções detalhadas sobre como executar, apresentando desenhos simples e objetivos que facilitam o entendimento.

Assim, segue um roteiro de planejamento:

- I. Com o projeto estrutural em mãos, realiza-se o estudo e análise do conjunto estrutural, não desprezando as variáveis de projeto e os carregamentos de cada elemento. Será projetado através da elaboração de um arranjo estrutural de acordo com a geometria, posicionamento e interligação dos elementos;

- II. Exigisse do profissional uma visão espacial, sendo capaz de elaborar um projeto economicamente viável e seguro;
- III. Separar a obra em seções de serviço, em planta e em corte, elementos que possuindo características semelhantes, quantidades e volumes aproximadamente iguais, criando uma padronização para facilitar a execução;
- IV. Determinar o prazo de execução da fôrma, armação, concretagem e desforma de acordo com a quantidade de cada seção.;
- V. Determinar o prazo necessário de execução dos outros serviços de estrutura detalhando o ritmo que a obra deve seguir;
- VI. Montar um cronograma com datas de início e término de cada etapa e um plano de reutilização das formas;
- VII. Estimar as quantidades de materiais necessários para a execução do projeto dos moldes, em relação às áreas totais de fôrmas;
- VIII. Averiguar a necessidade de utilização de equipamentos pesados, pois influenciam no carregamento da estrutura;
- IX. Realizar especificações para os materiais utilizados;
- X. Prever o custo comparando com dados existentes, a depender do método construtivo, o custo irá variar de acordo com a mão de obra disponível na região e o tempo de execução;
- XI. Revisão das etapas do planejamento, pois inconsistências e imprevistos podem ocorrer e assim sendo necessário, preparar o gestor e a equipe para lidar com isso, podendo ser feito reajustes constantemente.

Um projeto bem definido com detalhamento das fôrmas, quantidades e um desenho representativo, consegue orientar na execução economizando tempo e dinheiro. O desenho de fôrmas além de apresentar os detalhes, orienta como o operário deve prosseguir com as tarefas de forma clara e objetiva.

Para realizar um desenho de fôrmas recomenda-se seguir algumas orientações:

- I. As instruções acompanhadas de desenhos devem ser escritas de forma concisa e clara, enfatizando detalhes difíceis de expressar.
- II. A escrita deve ser legível e escrita de forma que todos possam entender, levando em consideração as condições difíceis em campo;

- III. Os desenhos devem estar todos na mesma escala, podendo ser utilizadas 1:50 e 1:100;
- IV. As cotas precisam estar destacadas e as dimensões sempre em centímetros;
- V. Os símbolos devem ser padrões usualmente empregados nos desenhos de fôrmas, estando acompanhado de legendas em formato de tabelas;
- VI. O “layout” de todos os desenhos devem ser padronizados facilitando a leitura;
- VII. O título deve estar identificando a estrutura desenhada e se possível, os números das peças da estrutura projetada devem ser listados em ordem sequencial no título;
- VIII. Ter vistas isométricas permitindo melhor visualização e detalhamento;
- IX. A planta deverá sempre apresentar a disposição geral da obra e o projeto de execução de cada trecho;
- X. Nos desenhos executivos, prepare um “layout” da instalação do painel usando o tipo de localização e detalhes de localização dos desenhos de execução;
- XI. Mostra dimensões de corte e montagem das peças mais comuns (vigas e pilares) em desenhos padrão;
- XII. Especifique valores de carga, tensões, tipo de concreto, temperatura e outros valores a serem enfatizados;
- XIII. Os desenhos de fôrma devem ser consistentes com os desenhos estruturais e de arquitetura.

Seguir essas orientações resultará em um bom projeto. No entanto, é importante fazer uma revisão minuciosa dos desenhos, atentando se as numerações, localização, detalhamento das etapas, sequência de concretagem e verificação dos parâmetros adotados nos cálculos.

3.2 UTILIZAÇÃO DAS FÔRMAS

As fôrmas são estruturas de caráter provisório utilizadas para moldar o concreto fresco, resistindo às cargas atuantes até que o concreto se torne autoportante, resultando em um elemento estrutural com a forma projetada.

As fôrmas de madeira ainda são as mais utilizadas por apresentarem melhor custo-benefício. Podem ser fabricadas no próprio canteiro, com madeira de reaproveitamento, e dimensionadas de acordo com as cargas e pressão do concreto, o que varia de acordo com cada obra e necessidade, atendendo às mais diversas formas geométricas para elementos estruturais (Teixeira, 2018).

Existem vários tipos de fôrmas a depender do tipo de estrutura que será construída, podendo elas ser: blocos e sapatas para fundação; pilares; vigas; lajes; cintas; vigas paredes; túneis; maciços, etc.

3.3 CLASSIFICAÇÃO POR TIPO DE MATERIAL EMPREGADO

A fôrma de madeira é composta por diversos elementos que podem ser de materiais como: o aço, plástico, alumínio, papelão e principalmente a madeira. Esses materiais dependem de alguns fatores como: tipo de estrutura, a carga atuante, custo da obra, mão de obra, entre outros motivos. Sua escolha deve basear-se nos critérios de segurança, economia e qualidade.

3.4 SISTEMA DE FÔRMAS DE MADEIRA

Em geral, na construção civil, as fôrmas de madeira são compostas por peças de madeira, como: tábuas, chapas de compensado, pontaletes, sarrafos e vigas. E outros materiais como: pregos, prumo, cunhas, espaçadores, entre outros.

3.5 PATOLOGIAS E RECOMENDAÇÕES DE PROJETO

As patologias são causadas por falhas das fôrmas e escoramentos, ocasionado na execução ou no dimensionamento do projeto.

Para que a execução das fôrmas ocorra de forma adequada, algumas considerações são essenciais antes da concretagem, como a limpeza das fôrmas e o nivelamento correto. Além disso, segue abaixo mais algumas recomendações:

- I. Obedecer criteriosamente à planta de fôrmas do projeto estrutural (Teixeira, 2018);

- II. Serem dimensionadas para resistir aos esforços: Peso próprio das fôrmas; Peso próprio das armaduras e do concreto; Peso próprio dos operários e equipamentos; Vibrações devidas ao adensamento (Teixeira, 2018);
- III. As fôrmas devem ser estanques, não permitindo a passagem de argamassa pelas frestas e arestas das tábuas (Teixeira, 2018);
- IV. Devem ser executadas de modo a possibilitar o maior número possível de realização, proporcionando economia no material e mão-de-obra (Teixeira, 2018).
- V. A retirada das fôrmas deve obedecer sempre à ordem e aos prazos mínimos indicados de acordo com o Artigo 71 da NB-1 (Teixeira, 2018).

A desforma deve ser realizada de forma cuidadosa, evitando o aparecimento de fissuras e trincas. Para isso é importante um planejamento preliminar, a fim de melhorar a qualidade e diminuir os custos da obra. A remoção das fôrmas e do escoramento deve ser feita após o concreto estiver endurecido, resistindo aos esforços solicitados. Deve-se preservar as fôrmas para o reuso, assim, é recomendado a utilização de mão de obra qualificada.

3.6 MATERIAIS

As fôrmas de madeira são as mais utilizadas na construção civil no Brasil, possuindo grandes vantagens na moldagem do concreto por se adaptar e ajustar a formatos, podem ser pré-fabricadas no canteiro de obra e quando bem projetadas possuem resistência a carga do concreto fresco.

Os materiais mais empregados para o sistema de fôrmas de madeira para concreto armado são: madeira serrada, chapas de madeira compensada e acessórios.

3.7 MADEIRAS SERRADAS COMERCIAIS

Alguns anos atrás, a madeira serrada mais utilizada para a produção das fôrmas, eram a Pinho do Paraná. Mas com o tempo, sua disponibilidade diminuiu, impulsionando o surgimento de novos tipos de madeira.

Atualmente, são empregadas para o sistema de fôrmas, as tábuas de cedrinho, pinho, jatobá e pinus. Sendo o pinus, o tipo que se destacou mais, por ser encontrado com facilidade e possuir preços mais baixos.

Podem ser encontradas na forma de vigas, caibros, pranchões, pontaletes, sarrafos, tábuas e ripas. Entretanto, para a produção de fôrmas é utilizada a tábua comum.

As peças de madeira serrada têm seu aproveitamento reduzido, por absorver muita umidade a deixando com aparência rugosa. Ela pode ser reutilizada três vezes para que não cause patologias na estrutura. De maneira geral, esse tipo apresenta baixa durabilidade e dificuldade de manuseio, sendo benéfico sua utilização apenas em obras de pequeno porte, já que é de baixo custo. A seguir, a tabela 1, 2 e 3 apresenta as classes de resistência das madeiras de forma a orientar na escolha do material para o projeto estrutural.

Tabela 1 - Classes de resistência de espécies de florestas nativas de definidas em ensaios de corpos de prova isentos de defeitos

Classes	$f_{c0,k}$ (MPa)	$f_{v0,k}$ (MPa)	$E_{0,med}$ (MPa)	Densidade 12% (Kg/m ³)
D20	20	4	10 000	500
D30	30	5	12 000	625
D40	40	6	14 500	750
D50	50	7	16 500	850
D60	60	8	19 500	1 000

Fonte: ABNT NBR 7190-1,2022.

Tabela 2 - Classes de resistência para espécies de madeiras nativas do Brasil

Classe de resistência	Nome popular	Nome científico
D20	Amescla	Trattinnickia burserifolia
D20	Caixeta	Simarouba amara
D20	Cajueiro	Anacardium sp.
D20	Cambará Rosa	Erisma sp.
D20	Cedro Doce	Cedrela sp.
D20	Cedro Amargo	Cedrela odorata
D20	Cedrinho	Erisma sp.
D20	Cedroarana	Cedrelinga catanaeformis
D20	Marupá	Simarouba sp.
D30	Castanheira	Bertholletia excelsa
D30	Cedro Amazonense	Cedrela sp.
D30	Embireira	Guatteria sp.
D30	Quarubarana	Erisma uncinatum
D30	Tauari	Couratari sp.
D30	Umirana	Qualea retusa
D40	Abiú	Pouteria sp.
D40	Angelim Amargoso	Vatairea fusca
D40	Angelim Araroba	Vataireopsis araroba
D40	Angico Branco	Anadenanthera colubrina
D40	Bicuíba	Micropholis sp.

D40	Branquilha	<i>Sebastiania commersoniana</i>
D40	Cafearana	<i>Andira stipulacea</i>
D40	Canafístula	<i>Cassia ferruginea</i>
D40	Canela Parda	<i>Ocotea</i> sp.
D40	Canelão	<i>Ocotea</i> sp.
D40	Catanudo	<i>Micropholis</i> sp.
D40	Copaíba	<i>Copaifera</i> sp.
D40	Cupiúba	<i>Goupia glabra</i>
D40	Goiabão	<i>Planchonella pachycarpa</i>
D40	Louro verde	<i>Ocotea</i> sp.
D40	Mirarema	<i>Hymenolobium</i> sp.
D40	Quaruba Rosinha	<i>Vochysia</i> sp.
D40	Rabo de Arraia	<i>Vochysia haenkeana</i>

D50	Angelim Pedra	<i>Hymenolobium paetrum</i>
D50	Angelim Saia	<i>Vatairea</i> sp.
D50	Casca Grossa	<i>Pouteria pachycarpa</i>
D50	Castelo	<i>Calycophyllum</i> sp.
D50	Envira	<i>Xylopia</i> sp.
D50	Envira Branca	<i>Xylopia nãtida</i>
D50	Garrote	<i>Bagassa</i> sp.
D50	Louro Preto	<i>Ocotea</i> sp.
D50	Mirarema	<i>Hymenolobium</i> sp.

D50	Parinari	Parinari excelsa
D50	Peroba Mica	Aspidosperma sp.
D50	Piolho	Tapirira sp.
D50	Quina Rosa	Cinchona sp.
D60	Angelim Ferro	Hymenolobium sp
D60	Angelim Vermelho	Dinizia excelsa
D60	Angico Preto	Anaderanthera macrocarpa
D60	Breu Vermelho	Protium sp.
D60	Champanhe	Dipteryx odorata
D60	Cutiúba	Qualea paraensis
D60	Garapa	Bagassa guianensis
D60	Guaíçara	Luetzeiburbia sp.
D60	Guajará	micropholis venulosa
D60	Guanandi	Calophyllum brasiliense
D60	Ipê	Tabebuia serratifolia
D60	Itaúba	mezilaurus itaãba
D60	Jatobá	Hymenaea stilbocarpa
D60	Maçaranduba	manilkara sp.
D60	mandioqueira C60	Qualea paraensis
D60	Oiticica Amarela	Clarisia racemosa
D60	Oiuchu	Pradosia sp.
D60	Roxinho	Peltogyne leicointei

D60	Sucupira	Bowdichia sp.
D60	Tachi	Tachigali mirmecophylla
D60	Tatajuba	Bagassa guianensis
D60	Umirana	Qualea retusa

Fonte: ABNT NBR 7190-3,2022.

Tabela 3 - Valores médios de madeiras de florestas plantadas

Nome comum	Nome científico	$ap_{(12\%)}$ (Kg/m^3)	f_{c0} (MPa)	f_{t0} (MPa)	f_{t90} (MPa)	f_v (MPa)	E_{c0} (MPa)
E. Alba	Eucalyptus alba	705	47,3	69,4	4,6	9,5	13409
E. Camaldulensis	Eucalyptus camaldulensis	899	48,0	78,1	4,6	9,0	13286
E. Citriodora	Eucalyptus citriodora	999	62,0	123,6	3,9	10,7	18421
E. Cloeziana	Eucalyptus cloeziana	822	51,8	90,8	4,0	10,5	13963
E. Dunnii	Eucalyptus dunnii	690	48,9	139,2	6,9	9,8	18029
E. Grandis	Eucalyptus grandis	640	40,3	70,2	2,6	7,0	12813
E. Maculata	Eucalyptus maculata	931	63,5	115,6	4,1	10,6	18099
E. Maídene	Eucalyptus maidene	924	48,3	83,7	4,8	10,3	14431
E. Microcorys	Eucalyptus microcorys	929	54,9	118,6	4,5	10,3	16782
E. Paniculata	Eucalyptus paniculata	1087	72,7	147,4	4,7	12,4	19881

E. Propinqua	Eucalyptus propinqua	952	51,6	89,1	4,7	9,7	15561
E. Punctata	Eucalyptus punctata	948	78,5	125,6	6,0	12,9	19360
E. Saligna	Eucalyptus saligna	731	46,8	95,5	4,0	8,2	14933
E. Tereticornis	Eucalyptus tereticornis	899	57,7	115,9	4,6	9,7	17198
E. Triantha	Eucalyptus triantha	755	53,9	100,9	2,7	9,2	14617
E. Umbra	Eucalyptus umbra	889	42,7	90,4	3,0	9,4	14577
E. Urophylla	Eucalyptus urophylla	739	46,0	85,1	4,1	8,3	13166
Pínus caríbea	Pínus caribea var. caribea	579	35,4	64,8	3,2	7,8	8431
Pínus bahamensis	Pínus caribea var. bahamensis	537	32,6	52,7	2,4	6,8	7110
Pínus hondurensis	Pínus caribea var. hondurensis	535	42,3	50,3	2,6	7,8	9868
Pínus elliottii	Pínus elliottii var. elliottii	560	40,4	66,0	2,5	7,4	11889
Pínus oocarpa	Pínus oocarpa shiede	538	43,6	60,9	2,5	8,0	10904
Pínus taeda	Pínus taeda L.	645	44,4	82,8	2,8	7,7	13304

Fonte: SET 613 - Carlito C. JR. et al.

Sendo:

- $ap_{(12\%)}$: massa específica aparente a 12% de umidade;
- f_{c0} : resistência à compressão paralela às fibras;
- f_{t0} : resistência à tração paralela às fibras;

- f_{t90} : resistência à tração normal às fibras;
- f_v : resistência ao cisalhamento;
- E_{c0} : módulo de elasticidade longitudinal obtido no ensaio de compressão paralela às fibras.

A tabela 4, mostra as dimensões mais comuns no mercado de peças de madeira serrada.

Tabela 4 - Dimensões comerciais usuais de madeira serrada

Nome da peça	Dimensões da Seção (Transversal em cm)
Pranchão	10,0 x 20,0
Pranchão	10,0 x 25,0
Pranchão	15,0 x 20,0
Vigas	6,0 x 12,0
Vigas	6,0 x 16,0
Vigas	6,0 x 20,0
Vigas	10,0 x 5,0
Vigas	10,0 x 15,0
Caibros	5,0 x 6,0
Caibros	6,0 x 8,0
Caibros	10,0 x 10,0
Sarrafos	2,5 x 5,0
Sarrafos	2,5 x 7,0
Sarrafos	2,5 x 10,0

Tábuas	2,5 x 15,0
Tábuas	2,5 x 20,0
Tábuas	2,5 x 30,0
Ripas	1,0 x 5,0
Ripas	1,5 x 5,0
Ripas	2,5 x 5,0

Fonte: IPT- Catálogo de serviços S6: Estruturas de madeiras, 2011.

3.8 CHAPAS DE MADEIRA COMPENSADA

3.8.1 MADEIRA COMPENSADA

Com o aumento do consumo de madeira ao longo dos anos, ocasionou os desenvolvimentos de novos recursos, juntamente com a evolução tecnológica, foi possível a criação de produtos derivados da madeira, buscando maiores diversidades de dimensões e qualidade. Atualmente, entre os derivados, os laminados são os mais usuais.

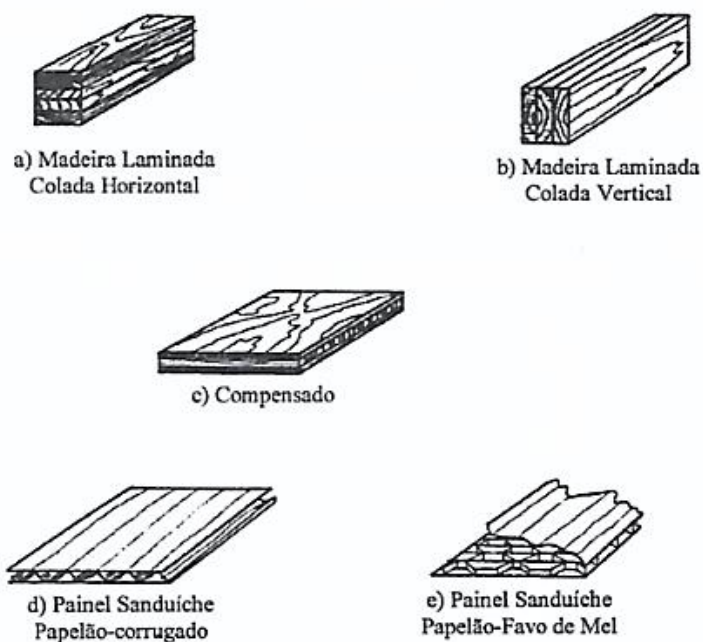
Os compensados são obtidos pela associação de finas camadas de madeira coladas com adesivos, ligadas por pregos ou parafusos, com a direção da fibra formando ângulos retos com as camadas adjuntas. A depender da montagem das lâminas podem ser classificados como transversal ou paralelo.

Comparando os painéis de compensado com a madeira serrada, percebe-se o aumento das possibilidades na fabricação de peças maiores e com diminuição de defeitos. Possui grande resistência das fibras e com isso a diminuição do fendilhamento da madeira por pregos e parafusos. Em contrapartida, seu custo de fabricação é maior, então, é preciso evitar erros de corte para não se ter custos adicionais.

A madeira compensada trata-se do laminado colado, muito utilizado em projetos estruturais, pode ser composta por lâminas 1,5 e 3,0 cm de espessura, e em alguns casos, até 5 cm em paralelo ao eixo longitudinal da peça. Atualmente, são usados os microlaminados que têm espessuras menores, assim, tendo um custo maior com a colagem, mas ganhando resistência e rigidez.

Os painéis sanduíches são outro tipo de laminado muito utilizado, composto por lâminas de face de alta resistência e rigidez, mas, o núcleo possui características mais inferiores. A figura 1 mostra alguns tipos de madeira laminada.

Figura 1 - Compostos de madeira



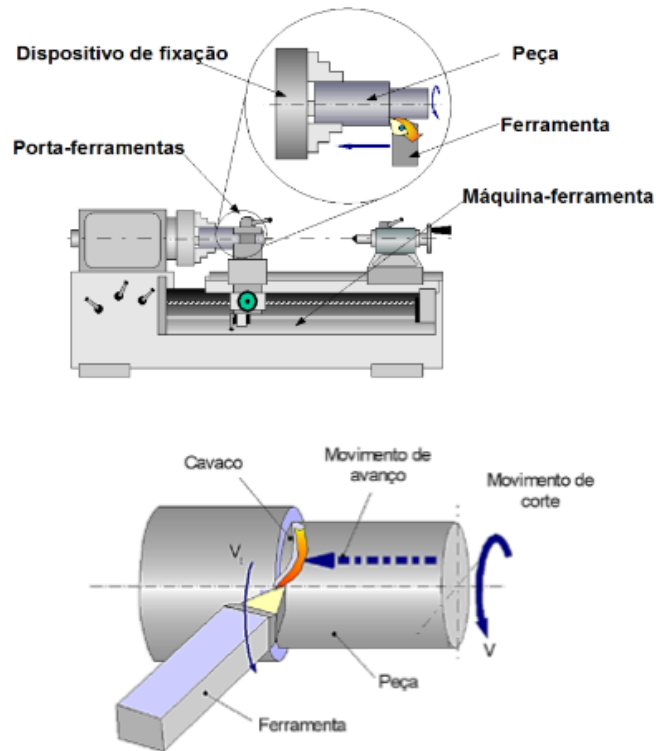
Fonte: SET 613 - Carlito C. JR. et al.

A produção das lâminas de madeira é a partir das toras de madeira, este corte pode ser por meio de facas, de modo franqueado ou rotatório.

São cortadas em formato de blocos para capas, contracapas ou intermediárias, com os devidos tamanhos do comprimento e largura das chapas, para isso, o comprimento das toras devem ser um pouco maior que as medidas das chapas, pois sofrem processo de contração na secagem e passam por cortes finais no acabamento.

Em seguida, esses blocos são torneados em lâminas contínuas e depois essas lâminas são cortadas em uma cortadeira de guilhotina de forma a saírem inteiras, mas nem sempre isso é possível devido aos defeitos da madeira. A própria cortadeira identifica os defeitos, mas mesmo assim, é importante o operador observar, pois a máquina possui certos limites, precisando então de uma operação manual.

Figura 2 - Cinemática Geral dos Processos de Usinagem



Fonte: Prof. Dr. Eng. Rodrigo Lima Stoeterau - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

O processo de fabricação do compensado, representado nas figuras a seguir.

Figura 3 e Figura 4 - Estoque de matéria prima e o cozimento das toras



Fonte: Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5406754/mod_resource/content/1/AULA%2013_AUT%202518_PRODUTOS%20DERIVADOS%20DE%20MADEIRA%20%282020-1%29.pdf. Acesso: 03 de abril de 2024.

Figura 5 e Figura 6 - O descascador e a obtenção das folhas no torno laminador



Fonte: Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5406754/mod_resource/content/1/AULA%2013_AUT%202518_PRODUTOS%20DERIVADOS%20DE%20MADEIRA%20%282020-1%29.pdf. Acesso: 03 de abril de 2024.

Figura 7 e Figura 8 - A guilhotinagem e secagem das folhas



Fonte: Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5406754/mod_resource/content/1/AULA%2013_AUT%202518_PRODUTOS%20DERIVADOS%20DE%20MADEIRA%20%282020-1%29.pdf. Acesso: 03 de abril de 2024.

Figura 9 - Prensagem das folhas



Fonte: Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5406754/mod_resource/content/1/AULA%2013_AUT%202518_PRODUTOS%20DERIVADOS%20DE%20MADEIRA%20%282020-1%29.pdf. Acesso: 03 de abril de 2024.

Figura 10 e Figura 11 - O lixamento, acabamento e a estocagem

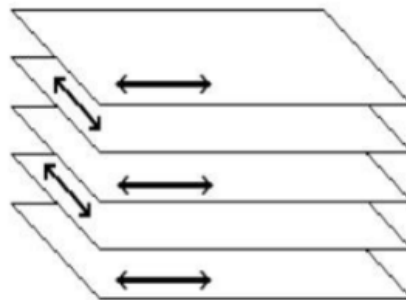


Fonte: Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5406754/mod_resource/content/1/AULA%2013_AUT%202518_PRODUTOS%20DERIVADOS%20DE%20MADEIRA%20%282020-1%29.pdf. Acesso: 03 de abril de 2024.

Os adesivos utilizados na montagem dos painéis são sintéticos, a quantidade usada geralmente é muito baixa, menor que 1% das vezes. Sendo assim, a qualidade deles é importante para a resistência e a elasticidade das chapas.

As chapas de madeira normalmente são compostas por um número ímpar de lâminas, dispostas as direções das fibras alternadas paralelamente e a 90°. A figura 12 representa o posicionamento das lâminas no compensado.

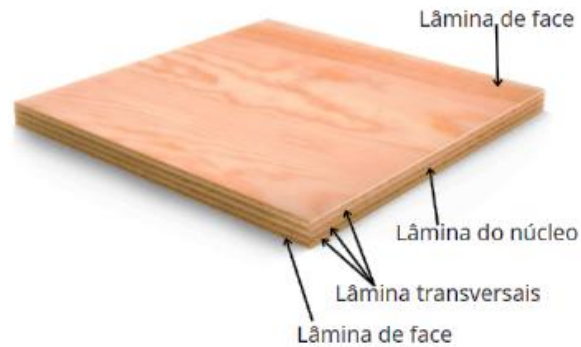
Figura 12 - Posicionamento das lâminas no compensado



Fonte: Stamato, 2002, p. 7.

A fabricação com um número par de lâminas, não é bem aceito devido a colocação de duas lâminas centrais com mesma orientação das fibras, obtendo um ganho na eficiência e gerando um custo adicional que não compensatório. A figura 13 mostra uma chapa com sete lâminas e sua composição.

Figura 13 - Chapa de madeira compensada destacando as lâminas.



Fonte: Adaptado. Disponível em: <https://loja.voltarellimadeiras.com.br/comp-naval-10mm-250-x-160>. Acesso: 13 de fevereiro de 2024.

3.8.2 PARÂMETROS ELÁSTICOS E DE RESISTÊNCIA DA MADEIRA COMPENSADA

Para aplicações em compensado, é importante determinar os parâmetros de elasticidade e de resistência, o que pode ser feito tanto através de equações teóricas quanto de medições experimentais.

O compensado comum pode ser considerado como um material plano ortotrópico, o que significa que se comporta de maneira diferente em relação à direção da fibra, possui simetria elástica em relação a dois planos perpendiculares e é considerado completamente elástico nas direções x e y .

Atualmente existem dois tamanhos padrão no mercado, os tamanhos são 1,10m x 2,20m e 1,22m x 2,44m. A diferença está na espessura e no número de lâminas, mudando a reutilização dos painéis. A seguir o quadro 1 mostra algumas dimensões de comercialização.

Quadro 1 - Dimensões de comercialização das chapas de compensado

ESPESSURA	COMPRIMENTO X LARGURA	N.º DE LÂMINAS	N.º DE REUTILIZAÇÕES
6 mm	2,20 x 1,10 m 2,44 x 1,22 m	3	4 a 6
8 mm	2,20 x 1,10 m 2,44 x 1,22 m		
10 mm	2,20 x 1,10 m 2,44 x 1,22 m	5	6 a 8
12 mm	2,20 x 1,10 m 2,44 x 1,22 m		
14 mm	2,20 x 1,10 m		
15 mm	2,44 x 1,22 m	7	
17 mm	2,20 x 1,10 m		
18 mm	2,44 x 1,22 m		
20 mm	2,20 x 1,10 m	9	8 a 10
21 mm	2,44 x 1,22 m		
25 mm	2,20 x 1,10 m 2,44 x 1,22 m	11	

Fonte: Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5406754/mod_resource/content/1/AULA%2013_AUT%202518_PRODUTOS%20DERIVADOS%20DE%20MADEIRA%20%282020-1%29.pdf. Acesso: 03 de abril de 2024.

3.9 ACESSÓRIOS

3.9.1 PREGOS

As ligações com pregos são as mais comuns do mercado e estão disponíveis em diversos tamanhos, mas é importante padronizar o uso desses pregos na execução e montagem das fôrmas para o controle do consumo e a agilidade do serviço. Perdas e desvios desse material na obra, acontecem muito mesmo em pequenas quantidades, ocasionando aumento de custo das fôrmas.

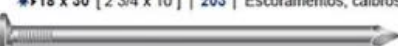
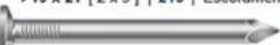
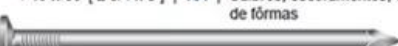
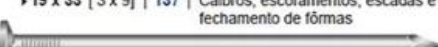
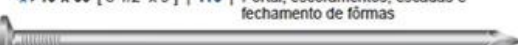
A utilização de pregos, pode causar fendilhamento na madeira, ou seja, rachadura. Para evitar isto, é necessário seguir recomendações onde o diâmetro do prego é 1/8 a 1/10 da menor espessura da madeira atravessada e a norma ABNT NBR 7190:2022 diz que o diâmetro do prego não deve exceder 1/5 da menor espessura atravessada.

Para ligação de tábuas e sarrafos com 1 polegada de espessura, recomenda-se o uso de bitolas 18 x 24 e 18 x 30 com diâmetros de 3,4 mm e comprimento 50 e 60 mm, o primeiro em casos de ligação mais longa e o segundo, prevendo o despreendimento. A ponta fica aparente, não podendo ser dobrada e somente com um martelo pode ser retirado.

Os pregos de duas cabeças permitem a simplificação e aceleração da retirada das fôrmas. Recomenda-se também os pregos 17 x 24 e 17 x 27 a depender da madeira utilizada, pois possui diâmetro menor 3 mm podendo evitar o fendilhamento.

Para pregar chapas compensadas em tábuas, usa-se bitolas menores 14 x 18 e 15 x 18 com diâmetro 2,2 mm e 2,4 mm e comprimento 36 mm, as pontas desses não ficam aparentes. A seguir as figuras 14 a 16 mostram dimensões de pregos da Gerdau.

Figura 14 - Tabela de dimensões de pregos com cabeça Gerdau.

✱ 14 x 18 [1 1/2 x 14] 802 Caixarias para frutas e verduras 	✱ 18 x 27 [2 1/2 x 10] 221 Caixas/fôrmas para concreto, escoramentos, caibros e alinhamentos 
▶ 14 x 21 [2 x 14] 688 Caixarias para frutas e verduras 	✱ 18 x 30 [2 3/4 x 10] 203 Escoramentos, caibros e alinhamentos 
▶ 14 x 24 [2 1/4 x 14] 598 Caixarias para frutas e verduras 	▶ 18 x 33 [3 x 10] 185 Escoramentos, caibros e alinhamentos 
▶ 14 x 27 [2 1/2 x 14] 535 Caixarias para frutas e verduras 	✱ 18 x 36 [3 1/4 x 10] 166 Escoramentos, caibros e alinhamentos 
✱ 15 x 15 [1 1/4 x 13] 777 Ripas, telhados e caixarias para frutas e verduras 	▶ 19 x 15 [1 1/4 x 9] 301 Escoramentos e escadas 
✱ 15 x 18 [1 1/2 x 13] 647 Ripas, telhados e caixarias para frutas e verduras 	▶ 19 x 21 [2 x 9] 215 Escoramentos e escadas 
✱ 15 x 21 [2 x 13] 555 Ripas, telhados e caixarias para frutas e verduras 	▶ 19 x 27 [2 1/2 x 9] 167 Caixas/fôrmas para concreto 
▶ 15 x 27 [2 1/2 x 13] 432 Ripas, telhados e caixarias para frutas e verduras 	▶ 19 x 30 [2 3/4 x 9] 151 Caibros, escoramentos, escadas e fechamento de fôrmas 
✱ 16 x 18 [1 1/2 x 12] 514 Lambris e carpintaria 	▶ 19 x 33 [3 x 9] 137 Caibros, escoramentos, escadas e fechamento de fôrmas 
✱ 16 x 21 [2 x 12] 441 Lambris e carpintaria 	✱ 19 x 36 [3 1/4 x 9] 126 Caibros, portal, escoramentos, escadas e fechamento de fôrmas 
✱ 16 x 24 [2 1/4 x 12] 386 Lambris e móveis 	✱ 19 x 39 [3 1/2 x 9] 116 Portal, escoramentos, escadas e fechamento de fôrmas 
▶ 16 x 27 [2 1/2 x 12] 343 Lambris e caixas/fôrmas para concreto 	
✱ 17 x 21 [2 x 11] 334 Escoramentos, caibros e caixas/fôrmas para concreto 	
▶ 17 x 24 [2 1/4 x 11] 326 Escoramentos, caibros e caixas/fôrmas para concreto 	

▶ TAMANHO | QUANTIDADE APROXIMADA DE PREGOS POR kg | UTILIZAÇÃO

Fonte: Disponível em: <https://www.arkuero.com.br/prego-com-cabeca-galvanizado-gerdau>.

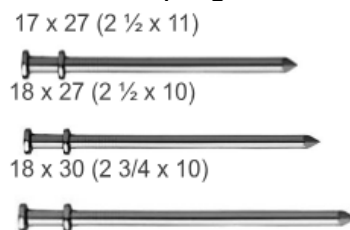
Acesso: 19 de fevereiro de 2024.

Figura 15 - Tabela de dimensões de pregos com cabeça Gerdau.

► 19 x 42 [3 3/4 x 9] 108	Portal, escoramentos e fechamento de fôrmas
► [3 x 8] 121	Caibros
► [3 1/2 x 8] 104	Caibros
► 20 x 30 [2 3/4 x 7] 121	Caibros, escoramentos, escadas e fechamento de fôrmas
► 20 x 33 [3 x 7] 110	Escoramentos, escadas e fechamento de fôrmas
► 20 x 36 [3 1/4 x 7] 101	Escoramentos, escadas e fechamento de fôrmas
► 20 x 39 [3 1/2 x 7] 93	Escoramentos, escadas e fechamento de fôrmas
✱ ► 20 x 42 [3 3/4 x 7] 81	Escoramentos, escadas e fechamento de fôrmas
► 20 x 48 [4 1/4 x 7] 73	Escoramentos, escadas e fechamento de fôrmas
► 21 x 33 [3 x 6] 89	Escoramentos, escadas e fechamento de fôrmas
► 21 x 36 [3 1/4 x 6] 77	Escoramentos, escadas e fechamento de fôrmas
► 21 x 36 [3 1/4 x 6] 77	Escoramentos, escadas e fechamento de fôrmas
✱ ► 21 x 42 [3 3/4 x 6] 66	Escoramentos, escadas e fechamento de fôrmas
► 21 x 45 [4 x 6] 61	Escoramentos, escadas e fechamento de fôrmas
► 21 x 48 [4 1/4 x 6] 58	Escoramentos, escadas e fechamento de fôrmas
► 21 x 54 [5 x 6] 48	Escoramentos, escadas e fechamento de fôrmas

Fonte: Disponível em: <https://www.arkuero.com.br/prego-com-cabeca-galvanizado-gerdau>.
Acesso: 19 de fevereiro de 2024.

Figura 16 - Tabela de dimensões de pregos com cabeça dupla Gerdau.



Fonte: Adaptado. Disponível em: <https://www.arkuero.com.br/prego-cabeca-dupla-galvanizado-gerdau>. Acesso: 19 de fevereiro de 2024.

3.9.2 TENSORES

De um modo geral, os tensores são usados para o travamento das fôrmas, em geral. Principalmente, são usados para conectar fôrmas de paredes em pilares, sujeitas às pressões do concreto fresco. Utilize vigas de aço com peças soldadas, roscas e porcas ou acessórios especiais. Alguns tensores são perdidos, pois quando deformados são cortados o mais próximo possível da superfície do pilar. As dimensões dos tensores variam de 3/16" a 5/8" considerando a seção utilizada e a tensão admissível, precisando ser compatível com o aço ou fixador utilizado.

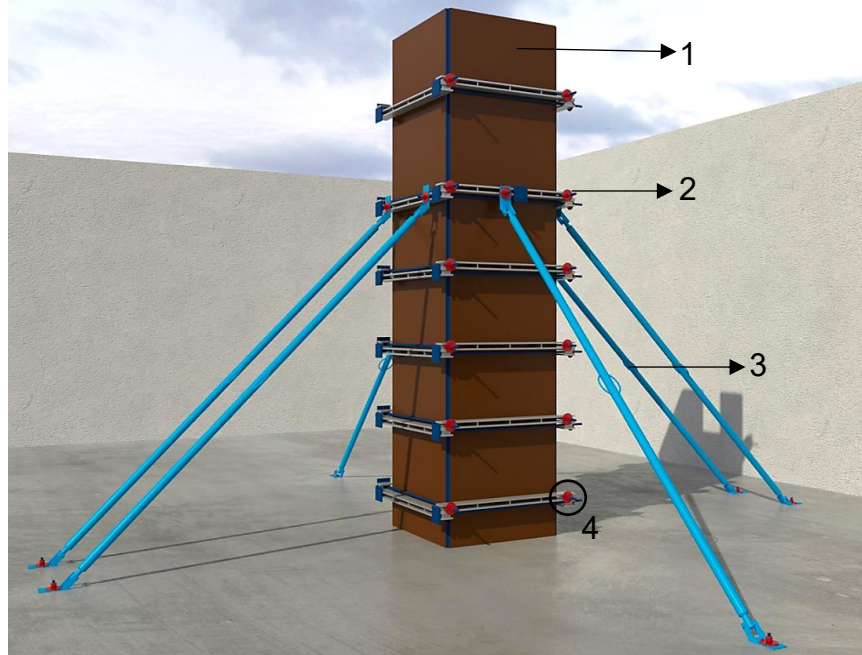
Dependendo do diâmetro do vergalhão, os esforços admissíveis para a utilização dos tensores podem mudar. Deve-se considerar a carga permitida junto ao fabricante para saber o diâmetro a ser usado.

3.9.3 EQUIPAMENTOS

Para a execução de laje de edifícios, por exemplo, usa-se torres tubulares pré-fabricadas, nas escoras metálicas, vigas metálicas e mistas, treliçadas extensíveis. Sendo as torres e escoras, nesse caso, escoramentos que auxiliam as fôrmas.

Em pilares que podem ser considerados como parede, pode-se usar os sistemas de fôrmas de concretagem de paredes. Em relação às vigas, verificaram-se alguns problemas durante a sua pré-produção, principalmente quando são ligadas a lajes, sendo difícil a elaboração de equipamentos possíveis. A figura 17 mostra uma representação esquemática.

Figura 17 - Sistema de fôrma para concretagem de um pilar



- 1: Painel de madeira compensado.
- 2: Gravata metálica.
- 3: Escora aprumadora metálica.
- 4: Barra de ancoragem rosca.

Fonte: Adaptado. Disponível em: <https://www.formacon.com.br/produtosareas/sistemas-de-travamento-de-pilares-e-cortinas/>. Acesso em: 19 de fevereiro de 2024.

As barras de ancoragem, também conhecidas como tirantes, são feitas em aço, possuem rosca com três fios por polegada e espessura de 16 mm. Utilizado em plataformas suspensas, suporte de bandeja, travamento de fôrmas, entre outros. O esticador, conhecido como alavanca, também é feito em aço, usado para tracionar os tirantes e fixar os tensores. As figuras 18 a 20 mostram alguns equipamentos muito utilizados no sistema de fôrmas para concretagem.

Figura 18 - Tirantes para Forma de Concreto



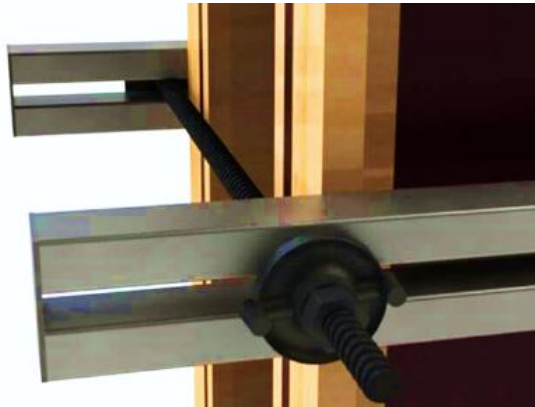
Fonte: Disponível em: <https://www.barradeancoragem.com.br/galeria-de-imagens/>. Acesso em: 20 de fevereiro de 2024.

Figura 19 - Esticador para Tensor de Forma



Fonte: Disponível em: <https://www.barradeancoragem.com.br/galeria-de-imagens/>. Acesso em: 20 de fevereiro de 2024.

Figura 20 - Travamento da fôrma de Concreto



Fonte: Disponível em: <https://www.barradeancoragem.com.br/galeria-de-imagens/>. Acesso em: 20 de fevereiro de 2024.

4 SISTEMA DE FÔRMAS E CIMBRAMENTOS

O concreto armado é muito utilizado na construção civil, o seu emprego nas estruturas está correlacionado indiretamente às fôrmas de madeiras, pois são elas, servindo como moldes que possibilitam a construção destas estruturas. Com a alta demanda das fôrmas, impulsionou o melhoramento da sua utilização com a diminuição de custos e melhoramento da qualidade final das estruturas.

4.1 SISTEMA TRADICIONAL (ABCP)

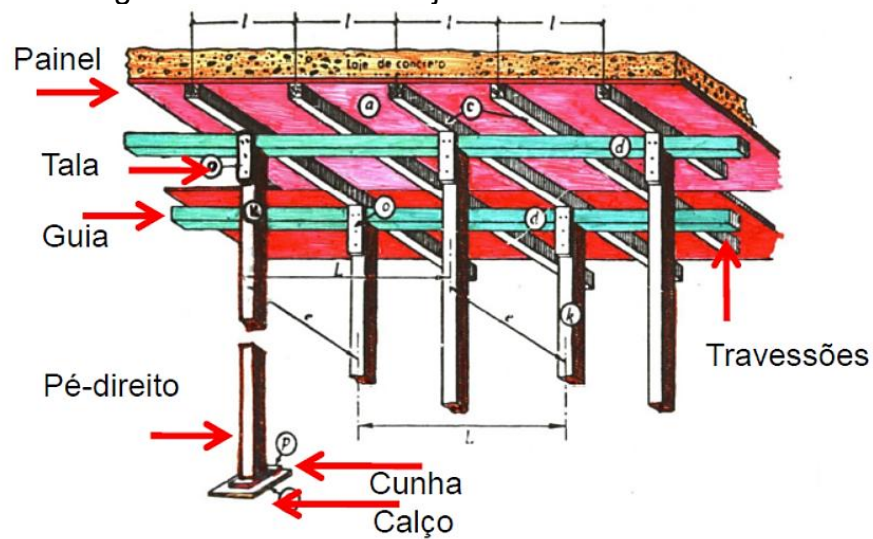
Em 1943, as fôrmas eram feitas de madeira maciça, lançado pela Associação Brasileira de Concreto Portland (ABCP) um Boletim Técnico com um sistema de fôrmas, estabelecendo procedimentos para aplicação de fôrmas usadas nos dias atuais.

De acordo com o Boletim Técnico nº 50 temos os seguintes procedimentos:

- I. Deve seguir as dimensões indicadas na planta de execução de fôrmas;
- II. As fôrmas devem atender aos critérios de rigidez para não ocorrer problemas na execução causadas por flechas excessivas, empenamento, desalinhamento, entre outros defeitos;
- III. As fôrmas precisam estar estancadas a fim de impedir a perda de cimento pelas fendas;
- IV. A instalação das fôrmas deve ser feita de maneira que a desmontagem seja facilitada.
- V. As fôrmas devem possuir um grande número de reutilizações.

No entanto, existem alguns elementos básicos que compõem esse sistema de fôrmas representados a seguir:

Figura 21 - Forma de Laje sobre travessas



Fonte: Adaptado do boletim técnico 50 da ABCP, (1944). Disponível em: <https://sulfor-mas.com/sistema-de-formas-de-concreto/>. Acesso em: 24 de fevereiro de 2024.

- Painéis de laje, viga e pilar: são denominados de superfície plana com diversas dimensões, geralmente compostas por tábuas de 2,5 cm de espessura por 30 cm de largura, conectadas por sarrafos de 2,5 x 10 cm ou caibros de 7,5 x 7,5 cm;
- Travessões: são usados para suportar os painéis de lajes, compostos por caibros que são apoiados em guias e possuem dimensões 7,5 x 7,5 x 10 cm;
- Guias: são usados para suportar os travessões que são apoiados em pernas (pés-direitos ou escoras), compostos por caibros de dimensões 7,5 x 10 cm ou tábuas de 2,5 x 30 cm quando não usados os travessões;
- Travessas de apoio: são elementos que servem como apoio para as extremidades dos painéis das lajes, travessões e guias, sendo fixados nas travessas verticais das faces das vigas;
- Cantoneiras: possuem formato triangular, sendo usados nos cantos internos das fôrmas onde é necessário chanfrar os cantos vivos de pilares e vigas;

- Gravatras: usados para o travamento dos painéis que sofrem esforços decorrente do lançamento do concreto fresco;
- Montantes: são usados como reforço de gravatas dos pilares, podendo ser reforçado várias gravatas juntas, compostos por caibros de dimensões 7,5 x 7,5 cm ou 7,5 x 10 cm. Colocados em face oposta dos pilares, são interligados por ferros redondos ou tirantes;
- Pé-direito (perna): servem de suporte para os painéis de laje, composto por caibros de dimensões 7,5 x 10 cm;
- Pontaletes (pernas): servem de suporte para os painéis de fundo das vigas composto por caibros de dimensões 7,5 x 10 cm;
- Escoras (mãos-francesas): usados para impedir o deslocamento dos painéis laterais das fôrmas das vigas, sendo inclinados atuando à compressão;
- Chapuz e tala: usados como suporte e reforço para fixação dos escoramentos ou entre os extremos das escoras, entre os elementos de escoramento e os painéis, impedindo o deslocamento no lançamento do concreto. Composto por sarrafos de dimensões 2,5 x 10 cm;
- Calço: serve como apoio dos pontaletes e pés-direitos, através das cunhas. É composto por tábuas de dimensões 2,5 x 30 cm.

4.2 SISTEMA TOSHIO UENO

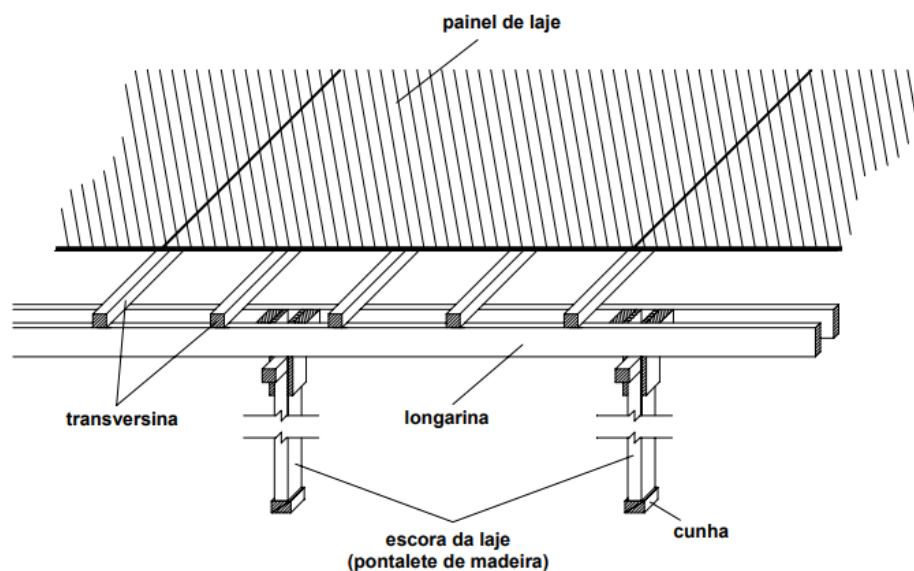
Com o desenvolvimento industrial, anos depois, na década de 60, surgiu a utilização de madeira compensada na confecção dos painéis de laje, painéis de viga e painéis de pilar, desenvolvido pelo Toshio Ueno.

Esse sistema manteve os critérios básicos da ABCP e incorporou o uso de fôrmas com chapas de madeira compensadas, a pré-confecção com dimensões definidas de acordo com o desenho, que possui passo a passo de montagem, além de passarem a ser moldadas no próprio canteiro de obras “in loco”. Os elementos comuns desse sistema são: painéis de laje, painéis de viga e painéis de pilar.

- Painéis de laje

Compõem chapas de madeira compensadas apoiadas em vigas (transversinas) feitas por dois sarrafos justapostos. As transversinas apoiam nas longarinas, transferindo os esforços para o escoramento. A figura 22 mostra o subsistema de fôrmas de laje.

Figura 22 - Subsistema de fôrmas de laje



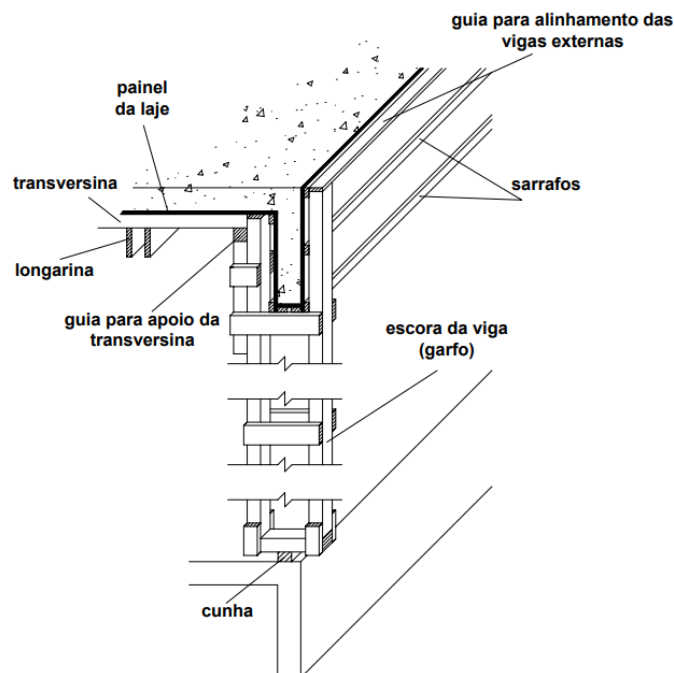
Fonte: Magalhães, 2000.

- Painéis de viga (lateral e fundo)

Compõem chapas de madeira compensadas de bordas enrijecidas por sarrafos pregados, a depender da altura da viga. Para o escoramento dos painéis de viga, usa-se o “garfo de perna dupla”.

Os mesmos trabalham como escora para os painéis de fundo de viga e como travamento para os laterais, evitando deformações horizontais excessivas. Além disso, são eles que transmitem os esforços verticais do molde e da estrutura do molde para os pontos de apoio na superfície (MAGALHÃES, 2000). A figura 23, mostra subsistema de fôrmas de vigas.

Figura 23 - Subsistema de fôrmas de vigas



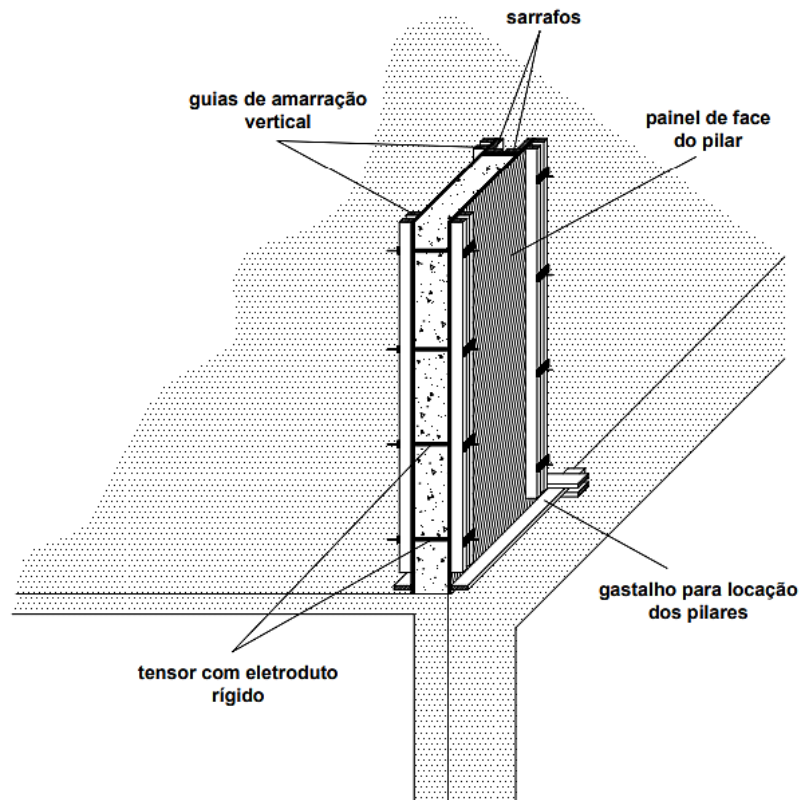
Fonte: Magalhães, 2000.

- Painéis de pilar

Esse sistema possui chapas de madeira compensadas, os principais equipamentos para confecção dos painéis são: as gravatas, os gualhos, os tensores ou tirantes e acessórios para nivelamento. Os painéis são enrijecidos por meio de dois sarrafos justapostos verticais, sendo travados ao longo de seu comprimento.

São utilizados sarrafos e pontaletes para estruturação do molde e o travamento é executado com a utilização das gravatas ou dos tirantes. Os tirantes normalmente são as barras de ancoragem apertadas com porcas (MAGALHÃES, 2000). A figura 24, mostra subsistema de fôrmas de pilares.

Figura 24 - Subsistema de fôrmas de pilares



Fonte: Magalhães, 2000.

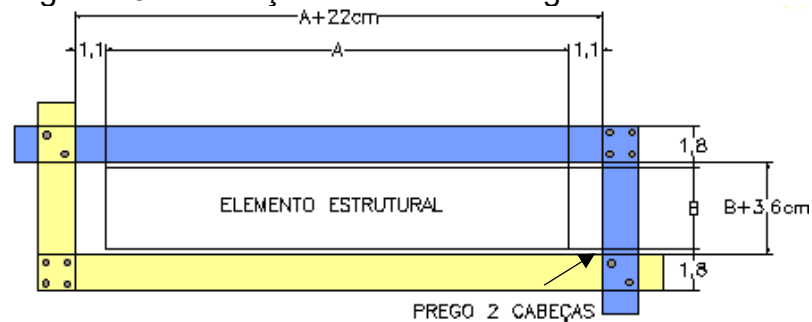
5 DESCRIÇÃO DE MONTAGEM DAS FÔRMAS

Segue abaixo a descrição do passo-a-passo de como realizar a montagem das fôrmas no canteiro de obras.

5.1 MONTAGEM DAS FÔRMAS (PAVIMENTO TIPO)

- i) Locação dos gastalhos: os gastalhos são marcados no dia seguinte à concretagem da laje. Deve-se remover as impurezas depositadas junto ao concreto e os arranques dos pilares serem limpos com escova de aço para retirar a nata de concreto;

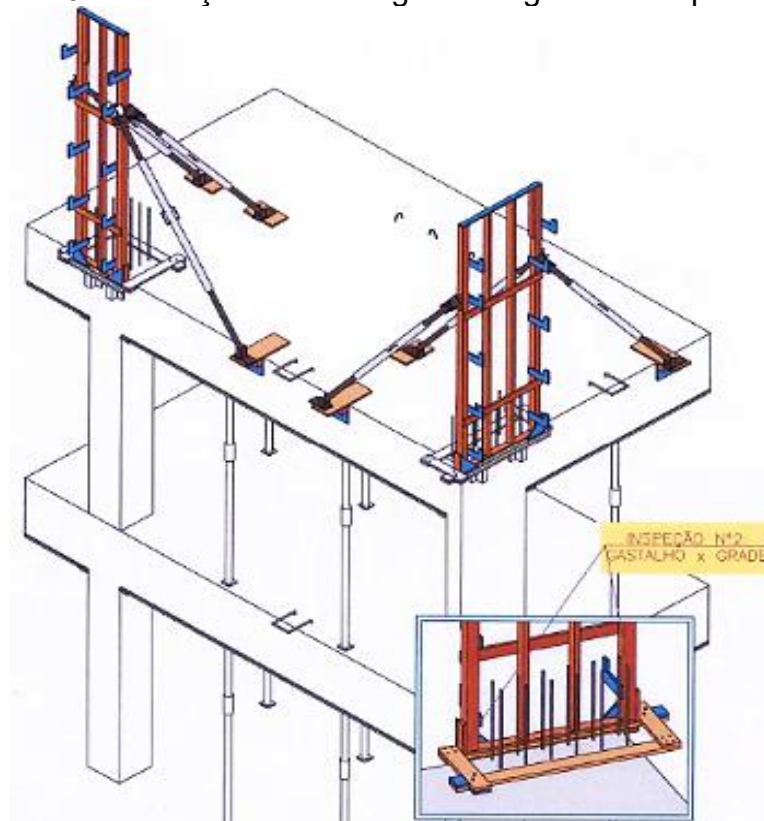
Figura 25 - Ilustração de medidas do gastalho



Fonte: Adaptado do manual de montagem sistema de fôrma de madeira (Assahi e Associados).

- ii) Montagem das grades dos Pilares: a montagem das grades sobre os gastalhos deve ser apumada nas duas direções usando os “aprumadores” ou a mãos francesas;

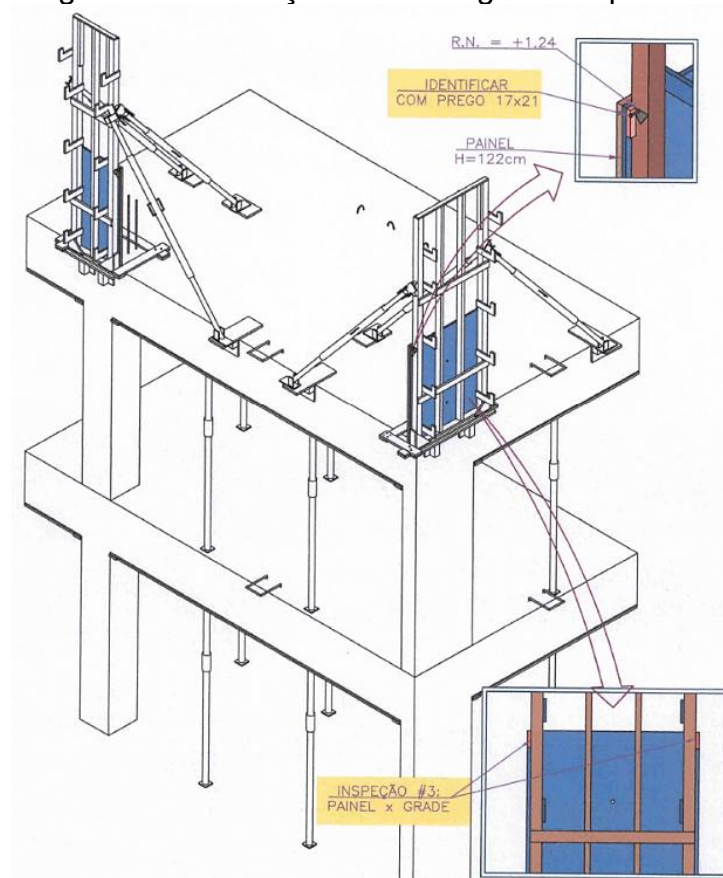
Figura 26 - Ilustração da montagem das grades dos pilares



Fonte: Manual de montagem sistema de fôrma de madeira (Assahi e Associados).

- iii) Montagem dos painéis dos pilares: usando como referência o nível do pavimento, que deve ser obtido a partir de um nível de referência, geralmente o do pavimento térreo, assim distribuir com o uso de um equipamento (trena ou nível) para todas as grades de pilares e verificar a ocorrência de espaços entre a grade e o painel usando pregos. Os painéis devem estar untados com desmoldante específico;

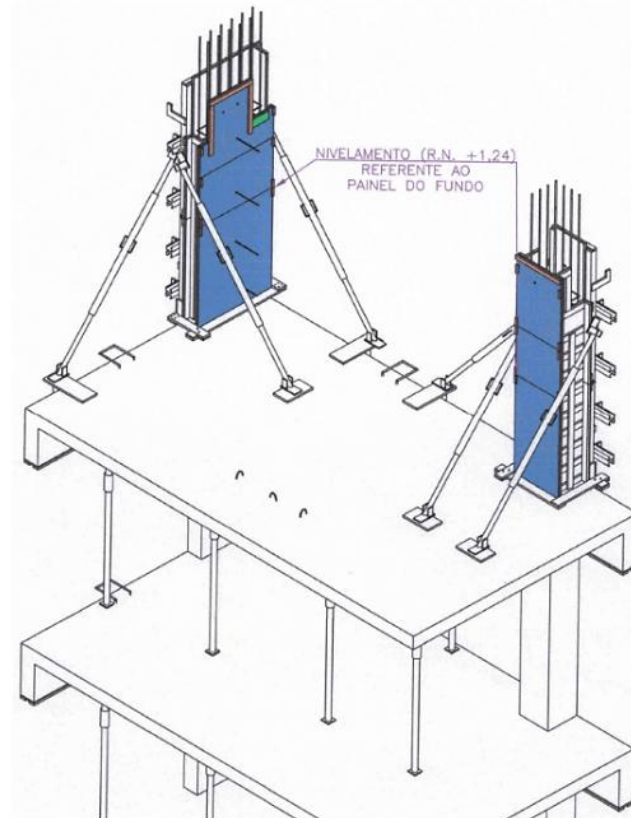
Figura 27 - Ilustração da montagem dos painéis



Fonte: Manual de montagem sistema de fôrma de madeira (Assahi e Associados).

- iv) Armação dos pilares: colocar um estribo no topo dos arranques dos pilares e outro na altura da laje, para o posicionamento das barras longitudinais. Em seguida, fixa a armadura aos arranques do pilar com arame. Antes do fechamento das fôrmas, remove os arames. Verifica-se o cobrimento mínimo foi atendido, usar espaçadores de plástico para não ter o contato da armação com as fôrmas;
- v) Fechamento dos pilares: em seguida ao fechamento do pilar, apoiar os travamentos metálicos (sanduíches), com barras de ancoragem nos furos dos painéis externos. Para o uso das barras de ancoragem, devem ser embutidas em tubos de PVC deixando livres as barras de ancoragem na concretagem;

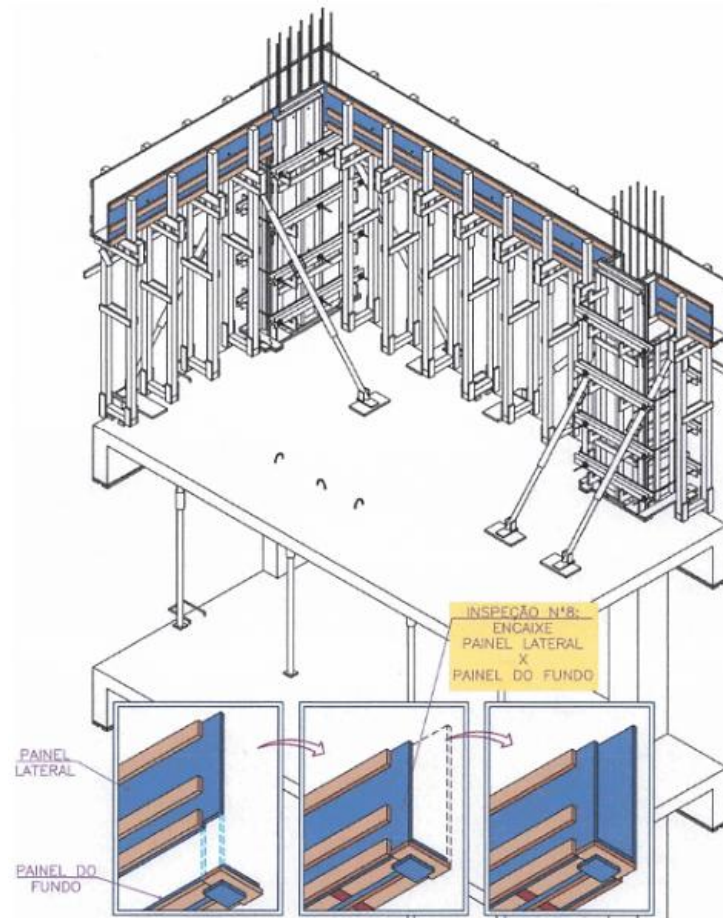
Figura 28 - Ilustração do fechamento da forma dos pilares



Fonte: Manual de montagem sistema de fôrma de madeira (Assahi e Associados).

- vi) Travamentos dos pilares: utilizar “sanduíches” de madeira ou aço nos pilares com largura igual ou superior a 1,50m, colocando-as horizontalmente. Além disso, os dois sanduíches inferiores devem estar separados por uma distância de no máximo 40 cm, sendo o primeiro deles ficando a uma altura máxima de 35 cm do chão;
- vii) Montagem do fundo das vigas com garfos e cimbramento: colocar o fundo das vigas e posicionar as torres ou garfos nivelados. Se usado garfos de madeira, pregar os gastalhos “malucos” para fixação das mãos francesas travando as vigas. Deve-se verificar o prumo dos pilares novamente para garantir o prumo da estrutura;
- viii) Montagem dos painéis de lateral das vigas: posicionar, nivelar e ajustar os painéis de fundo com os das laterais das vigas. Para a limpeza das fôrmas, é feito um furo no painel de fundo da viga e depois tampado antes da concretagem;

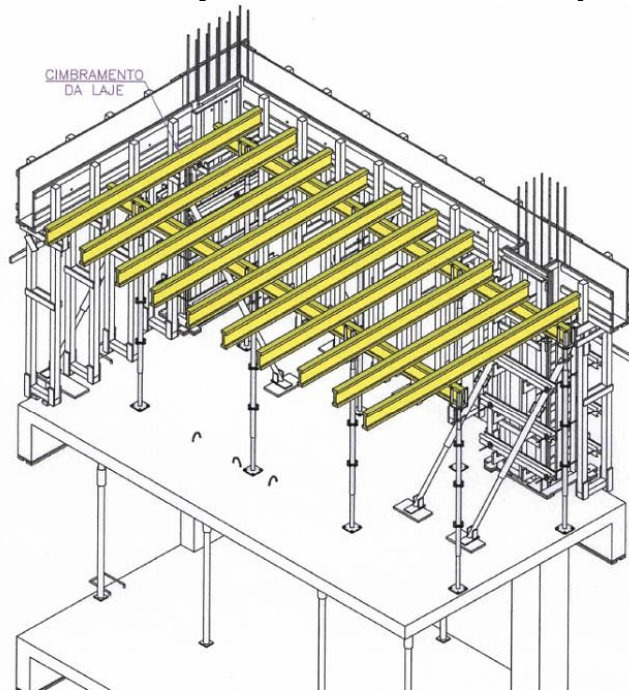
Figura 29 - Ilustração da montagem dos painéis das vigas



Fonte: Manual de montagem sistema de fôrma de madeira (Assahi e Associados).

- ix) Montagem do cimbramento das lajes: posicionar as escoras ou torres. Em seguida, colocar os barrotes inferiores (vigas longarinas) e depois os barrotes superiores (vigas transversinas), fazendo o nivelamento dessa montagem;

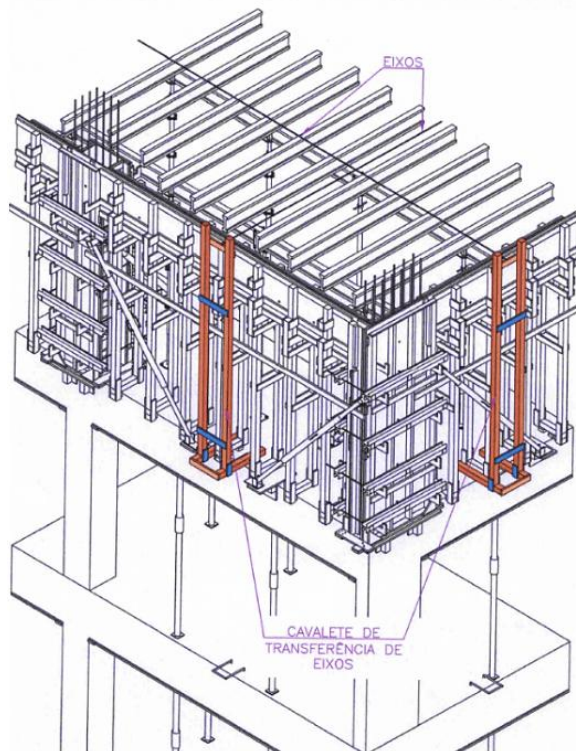
Figura 30 - Ilustração do cimbramento das lajes



Fonte: Manual de montagem sistema de fôrma de madeira (Assahi e Associados).

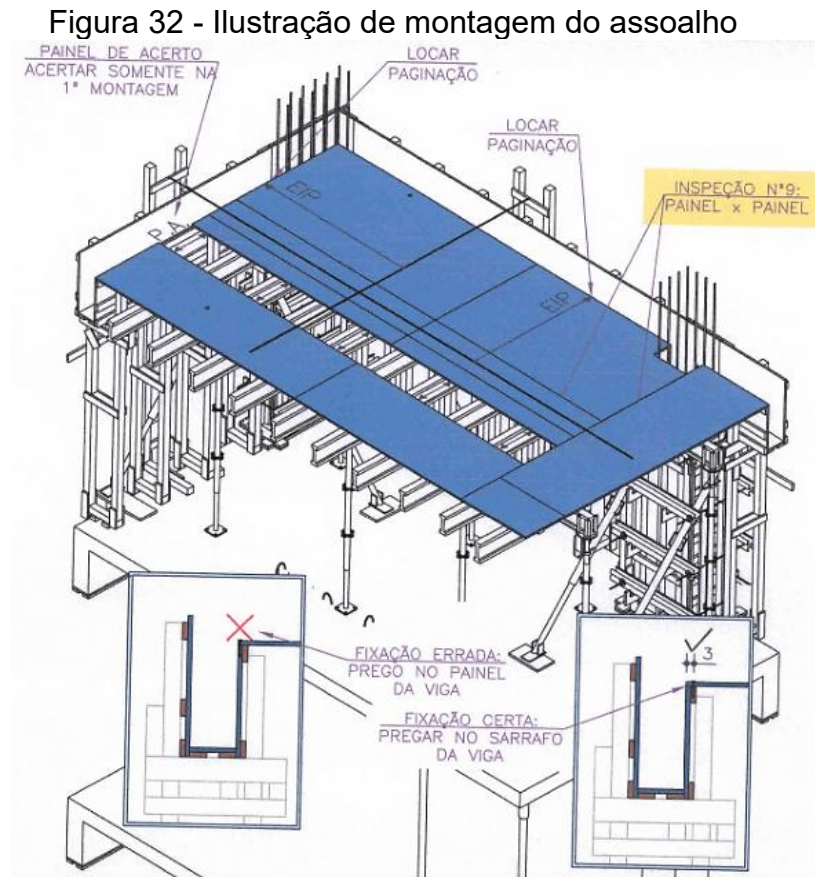
- x) Montagem do cavalete: a transferência precisa dos eixos sobre a laje para a paginação da laje. Fazer a verificação da estabilidade do cavalete;

Figura 31 - Ilustração da montagem dos cavaletes



Fonte: Manual de montagem sistema de fôrma de madeira (Assahi e Associados).

- xi) Paginação das lajes: ajustar o assoalho em relação ao eixo de paginação. Fixar as chapas do assoalho nos barrotes para ter estabilidade. Também deve fixar as chapas junto ao topo do painel das vigas, na região do sarrafo a 3 cm da borda interna do painel;



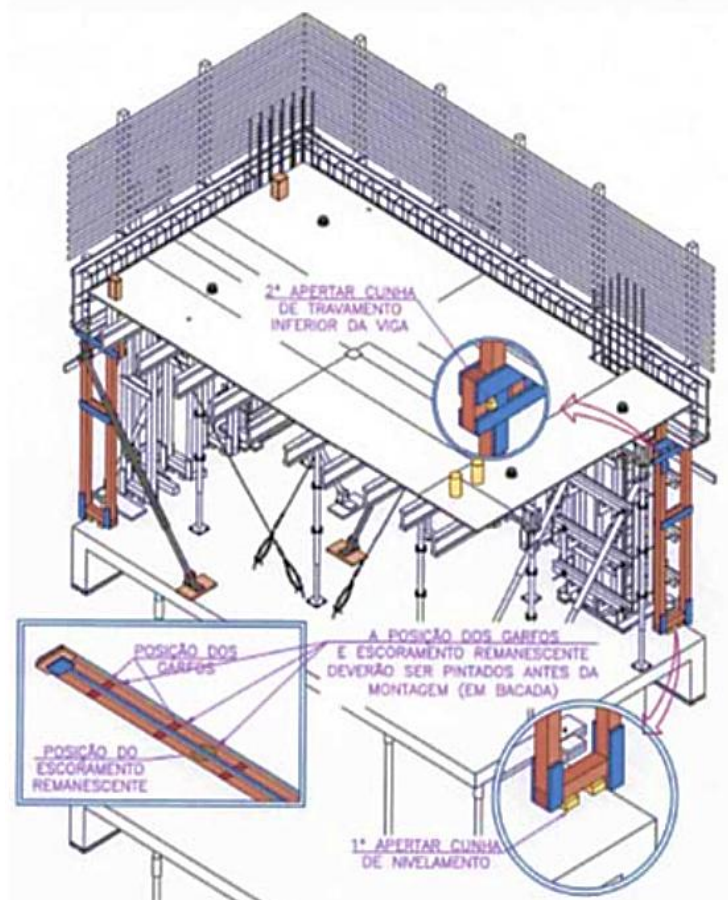
Fonte: Manual de montagem sistema de fôrma de madeira (Assahi e Associados).

- xii) Prumo de pilares: deve ser verificado sempre o prumo dos pilares, utilizando dois prumos em uma face maior do pilar e um prumo em uma face menor, atingindo a maior altura para a verificação;
- xiii) Painéis de acerto de lajes: para terminar a montagem da laje, realiza-se o painel de acerto, da seguinte forma: antes do ajuste, verificar a geometria dos painéis inteiros, se o problema for de medida de fábrica, usa-se o painel de acerto. Deve-se molhar bastante as fôrmas e jogar nata de cimento antes de lançar o concreto, a fim de melhorar a aderência do concreto antigo com o novo. Para a concretagem, o lançamento do concreto deve ser em camadas, com sua espessura de acordo com o comprimento da agulha do vibrador. É necessário o uso de martelos

de borracha, batendo na forma do pilar impedindo a formação de bicheiras. Para pilares de altura acima de 4m, abrir janelas nas fôrmas concretando a cada 2,5m;

- xiv) Nivelamento, alinhamento e travamento de vigas: montagem da armação das vigas, fixando os garfos de acordo com a marcação do painel de fundo. Deve-se encunhar primeiro na base de apoio para nivelar e depois encunhar junto ao fundo das vigas para o travamento;

Figura 33 - Ilustração de nivelamento e travamento de vigas



Fonte: Manual de montagem sistema de fôrma de madeira (Assahi e Associados).

6 AÇÕES EM FÔRMAS E ESCORAMENTOS DE MADEIRA

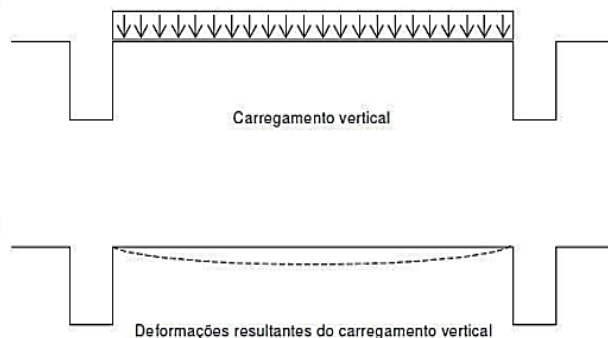
6.1 COMPORTAMENTO ESTRUTURAL

Em geral, as propriedades da madeira dependem da natureza e da intensidade das ações que ocorrem durante a sua vida útil que requer uma abordagem adequada. Para o projeto das fôrmas, as peças são dimensionadas no regime elástico-linear pelo Estado Limite e analisadas de forma global do conjunto da estrutura e individuais isolando os elementos de acordo com os conceitos da Teoria de Segurança. As fôrmas são estruturas provisórias, os esforços que atuam sobre elas são cargas verticais, horizontais e oblíquas, resultantes das inclinações no molde e provenientes do peso próprio do concreto armado, do peso próprio do sistema de fôrmas e das cargas acidentais.

6.1.1 FÔRMAS PARA LAJES

As fôrmas para lajes recebem o peso do concreto, juntamente com as sobrecargas (pessoas, móveis, equipamentos fixos ou móveis, paredes, divisórias, água, etc.) As lajes recebem as cargas de utilização e são transmitidas para as transversinas e longarinas até descarregar nas escoras. As cargas verticais são predominantes, porém, solicitações advindas da ação do vento ou de choques laterais podem ocasionar cargas horizontais.

Figura 34 - Carregamento vertical em fôrmas de laje



Araújo e Freire (2004, p. 9).

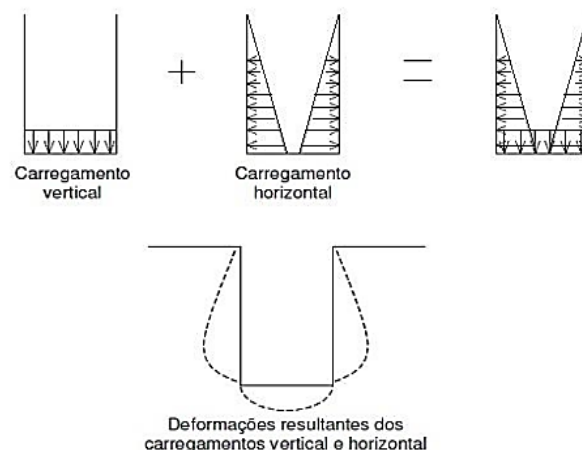
6.1.2 FÔRMAS PARA VIGAS

As vigas transmitem a carga vertical no painel de fundo, portanto, as fôrmas devem ser dimensionadas para que o painel de fundo consiga suportar essa carga. Para isso, devem ser atribuídas às cargas atuantes, as combinações das ações, como peso próprio do concreto, aço e fôrmas. A sobrecarga, como o peso dos equipamentos e pessoas.

Os painéis de face, recebendo o concreto fresco está sujeito ao empuxo lateral nas suas faces. Além disso, devem ser consideradas as componentes advindas das lajes, a depender da ligação feita entre laje e viga, ou seja, se a laje estiver apoiada na fôrma da viga, a viga receberá a carga vertical da laje.

Se atentar às características construtivas do sistema de fôrmas adotado é importante para definir o carregamento de cada elemento.

Figura 35 - Carga vertical e horizontal em fôrmas de viga

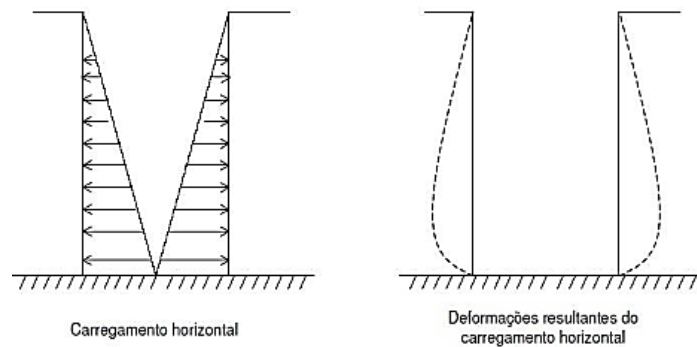


Araújo e Freire (2004, p. 9).

6.1.3 FÔRMAS PARA PILARES

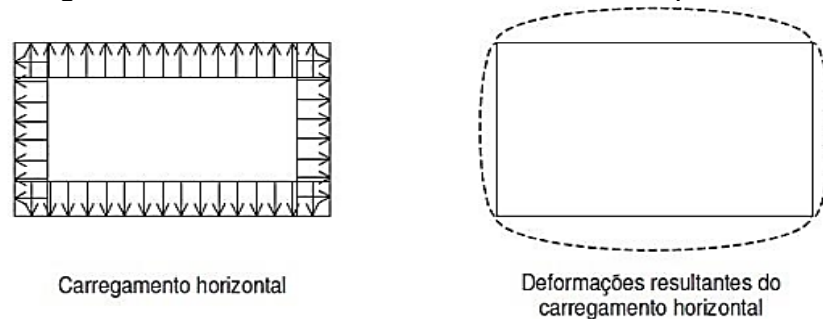
As fôrmas dos pilares são solicitadas pelo empuxo na execução dessas fôrmas. É predominante, carregamentos horizontais, provenientes das pressões laterais do concreto, variando da base do pilar onde possui valor máximo, diminuindo até a extremidade do pilar onde o valor é zero. Pode ser considerado um valor equivalente para todo o comprimento do pilar, tornando-se uma carga máxima constante.

Figura 36 - Carga horizontal em fôrmas de pilares



Araújo e Freire (2004, p. 10).

Figura 37 - Pressão horizontal em fôrmas de pilares



Araújo e Freire (2004, p. 11).

6.2 PROPRIEDADES DO CONCRETO

6.2.1 COMPORTAMENTO DO CONCRETO

O concreto fresco inicialmente possui substâncias que se comportam de forma líquida e plástica. A fôrma recebendo esse concreto fresco, precisa suportar a pressão causada ocasionando uma posição de equilíbrio. Em seguida, no adensamento, passa do estado de repouso pois ocorre uma fluidificação da mistura modificando para um comportamento parecido a um líquido.

Se a concretagem é executada em alta velocidade, gera uma pressão máxima sobre a fôrma, mas se for de baixa velocidade pode gerar ao concreto imediatamente lançado uma resistência cisalhante, ou seja, podendo ter ocasionado o início da pega e por consequência diminuindo a pressão.

A velocidade que o concreto passa do estado plástico ao sólido interfere na pressão lateral das fôrmas.

6.2.2 PESO DO CONCRETO

O peso específico do concreto armado é 2500 kg/m^3 , influenciando diretamente nas pressões laterais e cargas verticais.

6.2.3 PEGA E ENDURECIMENTO

A pega refere-se à mudança do estado fluido para um estado rígido, percebido pela rápida mudança no aumento da viscosidade da pasta e da temperatura.

O tempo de início de pega compreende desde a adição da água até o início das reações, com a mistura dos compostos do cimento juntamente com a água. Temos o fim da pega quando a pasta para de se deformar, passando a se tornar rígida, dando fim a pega. Mas, a massa continua aumentando sua resistência após a pega, aumentando sua coesão e consistência, esse processo refere-se ao endurecimento.

Geralmente, os cimentos nacionais, com pega rápida tem o início em 30 minutos e os de pega normal podem ter início superior a 1 hora, o fim de pega varia entre 5 a 10 horas para os cimentos normais e minutos para os de pega rápida.

6.2.4 RETRAÇÃO

A retração ocorre no estado fresco e no estado endurecido do concreto, com a diminuição do seu volume, através da saída da água contida no concreto fresco. Os fatores que mais afetam a retração do concreto são as condições de secagem e a umidade da atmosfera.

A retração tem influência no desempenho de estruturas de concreto, podendo gerar deformações excessivas e redistribuição de tensões, que não solucionadas, podem ocasionar a degradação e até mesmo o colapso da estrutura. Segundo Carlito C. JR. et al (SET 613, p. 41), estima-se em média, uma deformação de ordem 0,25 mm/m em 10 dias e tensão de tração de ordem 65 kg/cm^2 .

6.3 AÇÕES NAS FÔRMAS E CIMBRAMENTOS

O sistema de fôrmas estão sujeitas ações, que serão abordadas neste tópico, auxiliando para a elaboração do projeto, assim deve ser levado em consideração:

6.3.1 PESO PRÓPRIO DAS FÔRMAS

Existem vários tipos de fôrmas no mercado, cada uma possuindo dados próprios a serem consultados com o fabricante. No entanto, segundo Carlito C. JR. et al (SET 613, p. 41), pode-se fazer uma estimativa do peso próprio em fôrmas de madeira ou mesmo mistas, entre 40 e 60 kg/m^2 , executando um anteprojeto ou esquema de execução com memorial de cálculo. Este peso próprio é considerado como sobrecarga, é analisado como ação variável por possuir um tempo de uso muito curto.

6.3.2 PESO DO CONCRETO FRESCO

No cálculo das ações atuantes nas fôrmas, considera-se o peso específico do concreto fresco $\gamma = 2500 \text{ kg/m}^3$.

6.3.3 SOBRECARGAS

As sobrecargas apresentam variações significativas, algumas ações que podem ser consideradas são devidas a concretagem: peso dos trabalhadores, equipamentos (vibradores, carrinhos de mão, etc.) e o próprio impacto gerado no lançamento do concreto nas fôrmas.

I. Vibração do concreto:

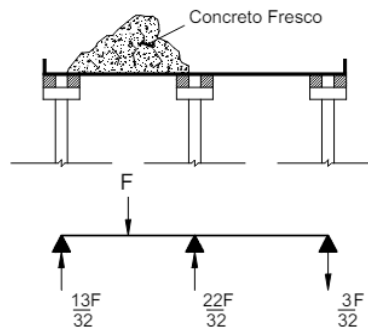
Deve-se considerar a sobrecarga gerada pelos vibradores de concreto um valor de 10% da carga do concreto (SET 613, p. 41).

II. Outras ações:

Durante o período de concretagem é comum a concentração de uma grande quantidade de concreto em uma única região, para em seguida, ser espalhado no assoalho da fôrma, causando o levantamento da fôrma nos apoios opostos. Isso pode

ocasionar uma solicitação maior que a prevista levando a ruptura. É importante ser previsto em projeto, visando manter-se unido às escoras, uma possível solução seria no sistema de apoio colocar apoio simples.

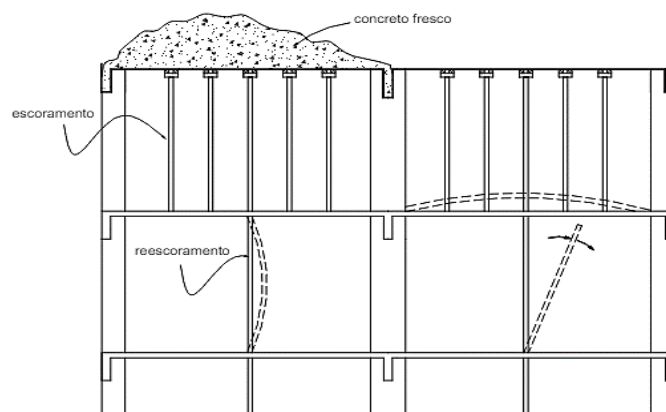
Figura 38 - Grande volume de concreto fresco concentrado em uma região da fôrma.



Maranhão, M. G. Fôrmas para concreto: subsídios para a otimização do projeto segundo NBR 7190/97, São Carlos 2000, p. 50.

Quando se trata de múltiplos pavimentos, o problema pode não aparecer diretamente no cimbramento do pavimento em que foi lançado o concreto fresco e sim, nos pavimentos anteriores, podendo ocorrer o desmoronamento das escoras através de fatores como: flambagem, esmagamento, punção da laje ou desaprumo das escoras.

Figura 39 - Grande volume de concreto fresco em uma região e o surgimento de possíveis anomalias nos pavimentos inferiores.



Maranhão, M. G. Fôrmas para concreto: subsídios para a otimização do projeto segundo NBR 7190/97, São Carlos 2000, p. 51.

Em projeto, deve-se dimensionar as fôrmas para qualquer eventualidade, como sobrecargas: lançamento do concreto, peso dos trabalhadores e equipamentos e o armazenamento de materiais. Segundo Carlito C. JR. et al (SET 613, p. 41), adota-se um valor entre 150 a 200 kgf/m^2 , mas em alguns casos esse valor pode ser maior, precisando ser analisado. Em casos de lajes protendidas “in loco”, prever as cargas adicionais que precisam ser consideradas.

6.4 COMBINAÇÕES DAS AÇÕES

O dimensionamento correto das fôrmas e cimbramentos deve garantir que estas resistam de maneira segura a todas as ações e esforços atuantes, como o peso próprio do concreto, a pressão lateral exercida pelo concreto fresco, sobrecargas de pessoas e equipamentos, e ações dinâmicas de lançamento.

A segurança das estruturas, tanto permanentes quanto provisórias, é regida por normas técnicas que estabelecem critérios rigorosos de projeto. Especificamente, a ABNT NBR 8681:2025 - Ações e segurança nas estruturas desempenha um papel fundamental. Esta norma estabelece os requisitos para a verificação da segurança estrutural, definindo os possíveis estados limites (Estados Limites Últimos - ELU e Estados Limites de Serviço - ELS) e introduzindo os conceitos de cargas, combinações de ações e coeficientes de segurança a serem aplicados.

6.4.1 COMBINAÇÕES ÚLTIMAS NORMAIS

Essenciais para o dimensionamento da capacidade resistente das fôrmas, garantindo que não colapsem sob as cargas normais (peso próprio do concreto, sobrecarga de execução, etc.).

$$F_d = \sum_{i=1}^m \gamma_{gi} F_{Gi,k} + \gamma_{q1} F_{Q1,k} + \sum_{j=2}^n \gamma_{qj} \psi_{0j} F_{Qj,k} \quad (1)$$

Onde:

$F_{Gi,k}$ é o valor característico das ações permanentes (diretas e indiretas);

$F_{Q1,k}$ é o valor característico das ações variáveis considerada a ação

Principal para a combinação;

$\psi_{0j}F_{Qj,k}$ representa os valores reduzidos de combinação de cada uma das demais ações variáveis;

γ_{gi} representa os valores dos coeficientes de ponderação para as ações permanentes;

γ_{qi} representa os valores dos coeficientes de ponderação para as ações variáveis.

Em casos específicos, devem ser considerados dois conjuntos de combinações: em um deles admite-se que as ações permanentes sejam desfavoráveis e, no outro conjunto, que sejam favoráveis para a segurança da estrutura (ABNT NBR 8681:2025).

6.4.2 COMBINAÇÕES ÚLTIMAS ESPECIAIS OU DE CONSTRUÇÃO

Cruciais para dimensionar fôrmas e cimbramentos, pois estas são estruturas temporárias que existem apenas na fase de construção. Consideram as cargas variáveis típicas dessa fase (ex: içamento, vibração do concreto).

$$F_d = \sum_{i=1}^m \gamma_{gi} F_{Gi,k} + \gamma_{q1} F_{Q1,k} + \sum_{j=2}^n \gamma_{qj} \psi_{0j,ef} F_{Qj,k} \quad (2)$$

Onde:

$F_{Gi,k}$ é o valor característico das ações permanentes (diretas e indiretas);

$F_{Q1,k}$ é o valor característico da ação variável admitida como especial para a situação transitória considerada;

$\psi_{0j,ef}$ é o fator de combinação efetivo de cada uma das demais ações variáveis que podem atuar concomitantemente com a ação especial F_{Q1} , durante a situação transitória (ABNT NBR 8681:2025).

6.4.3 COMBINAÇÕES RARAS DE SERVIÇO

Relevantes para verificar deformações (flechas) que podem comprometer a geometria da estrutura de concreto. Permite garantir que, sob a carga máxima de concretagem, a fôrma não apresente deformações excessivas que prejudiquem o nivelamento.

Nas combinações raras de serviço, a ação variável principal F_{Q1} , é tomada com seu valor característico $F_{Q1,k}$, e todas as demais ações são tomadas com seus valores frequentes $\psi_1 F_{Qk}$:

$$F_{d,ser} = \sum_{i=1}^m F_{Gi,k} + F_{Q1,k} + \sum_{j=2}^n \psi_{1j} F_{Qj,k} \quad (3)$$

6.4.4 COEFICIENTES PARA AS COMBINAÇÕES DE AÇÕES

6.4.4.1 COMBINAÇÕES ÚLTIMAS

Para as combinações nos estados limites últimos são utilizados os seguintes coeficientes:

- γ_Q = coeficiente de majoração para as ações variáveis;
- ψ_0 = coeficiente de minoração para as ações variáveis secundárias (SET 613, p. 43).

Os coeficientes apresentados pela norma ABNT NBR 8681:2025 são:

- a) Coeficientes de majoração - ações variáveis (γ_Q)

Tabela 5 – Ações variáveis consideradas separadamente

Combinação	Tipo de ação	Coefficiente de ponderação
		(γ_Q)
Normal	Ações truncadas. ¹⁾	1,2
	Efeito de temperatura devidos à variação térmica da atmosfera.	1,2
	Ação do vento.	1,4
	Demais ações e efeitos de temperatura gerados por equipamentos.	1,5
Especial ou de Construção	Ações truncadas. ¹⁾	1,1
	Efeito de temperatura devidos à variação térmica da atmosfera.	1,0
	Ação do vento.	1,2
	Demais ações e efeitos de temperatura gerados por equipamentos.	1,3
Excepcional	Ações e efeitos em geral	1,0

¹⁾ Ações truncadas são consideradas ações variáveis cuja distribuição de máximos é truncada por um dispositivo físico de modo que o valor dessa ação não pode superar o limite correspondente. O coeficiente de ponderação mostrado nesta Tabela 4 se aplica a esse valor limite.

Adaptado ABNT NBR 8681:2025.

b) Coeficientes de minoração – ações variáveis secundárias (ψ_0)

Os fatores de combinação ψ_0 , salvo indicação em contrário, expressa em norma relativa ao tipo de construção e de material considerados, estão indicados na tabela 6, juntamente com os fatores de redução ψ_1 e ψ_2 referentes às combinações de serviço (NBR 8681, p. 1, 2003).

c) Combinação última de construção

São utilizados os seguintes coeficientes para as combinações nos estados limites de utilização:

- ψ_1 = coeficiente para as ações variáveis de média duração;
- ψ_2 = coeficiente para as ações variáveis de longa duração (SET 613, p. 44).

Tabela 6 – Valores dos fatores de combinação (ψ_0) e de redução (ψ_1 e ψ_2) para as ações variáveis (continua)

Ações		ψ_0	ψ_1	ψ_2 c)
Cargas de utilização de edifícios	Locais em que não há predominância de pesos e de equipamentos que permanecem fixos por longos períodos de tempo, nem de elevadas concentrações de pessoas ¹⁾	0,5	0,4	0,3
	Locais em que há predominância de pesos de equipamentos que permanecem fixos por longos períodos de tempo, ou de elevadas concentrações de pessoas ²⁾	0,7	0,6	0,4
	Bibliotecas, arquivos, depósitos, oficinas e garagens e coberturas	0,8	0,7	0,6
Vento	Pressão dinâmica do vento nas estruturas em geral	0,6	0,3	0
Temperatura	Variações uniformes de temperatura em relação à média anual local	0,6	0,5	0,3
Cargas móveis e seus efeitos dinâmicos	Passarelas de pedestres	0,6	0,4	0,3
	Pontes rodoviárias	0,7	0,5	0,3
	Pontes ferroviárias	1,0	1,0	0,6
	Vigas de rolamentos de pontes rolantes	1,0	0,8	0,5

a) Edificações residenciais, de acesso restrito.
b) Edificações comerciais, de escritórios e de acesso público.
c) Para combinações excepcionais em que a ação transitória excepcional seja o fogo, o fator de redução ψ_2 pode ser reduzido, multiplicando-o por 0,7.
d) No caso de silos e reservatórios, os fatores de combinação e redução devem ser considerados iguais a 1,0.

Adaptado ABNT NBR 8681:2025.

6.5 ESTUDO DA PRESSÃO LATERAL DO CONCRETO

O estudo das pressões laterais é influenciado por diversas variáveis que dificultam o equacionamento das pressões atuantes. Os principais fatores que influenciam estão representados na tabela a seguir de forma qualitativa.

Tabela 7 - Fatores que afetam a pressão lateral nas fôrmas devido ao concreto fresco

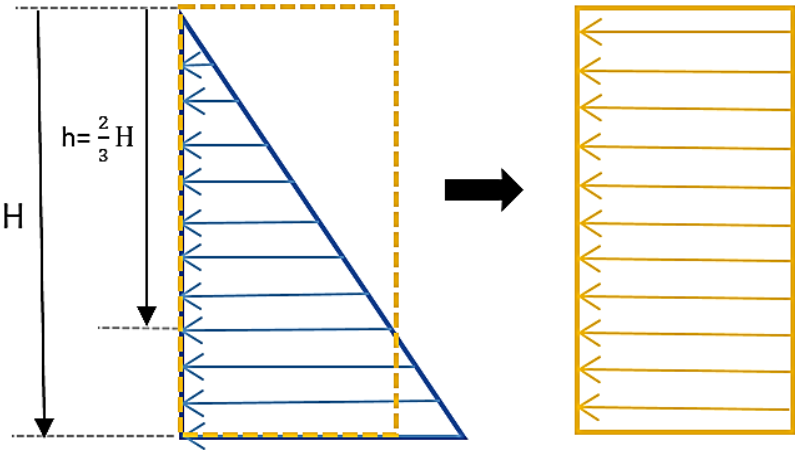
Fatores		Pressão
Velocidade de concretagem	↑	↑
Temperatura	↑	↓
Dosagem de cimento	↑	↑
Consistência	↑	↓
Energia de adensamento	↑	↑
Impacto de lançamento	↑	↑
Dimensões da fôrma	↑	↑
Armação	↑	↓
Peso do concreto	↑	↑
Altura da camada	↑	↑

Adaptado SET 613 (1999 p. 42)

6.5.1 VIGAS

A pressão que o concreto exerce nas vigas possui um comportamento não linear na variação entre a lateral e a altura da viga, pois essa variação é tão pequena que consideramos um diagrama de pressões triangular. Para facilitar no cálculo da flexão, aproxima-se essa carga triangular para uma carga de distribuição uniforme e a profundidade será de $\frac{2}{3}H$ da carga triangular, como exemplificado a seguir:

Figura 40 - Diagrama de pressões triangular e a consideração para distribuição uniforme.



Fonte: Autora (2025).

Para determinar a pressão lateral:

$$Ph = \gamma \times h \times K \quad (4)$$

Onde:

γ = peso específico do concreto;

$$k = \frac{1 - \text{sen}\phi}{1 + \text{sen}\phi} = \frac{1 - \text{sen}15^\circ}{1 + \text{sen}15^\circ} = 0,60$$

onde, $\phi=15^\circ$ = ângulo de atrito interno do concreto;

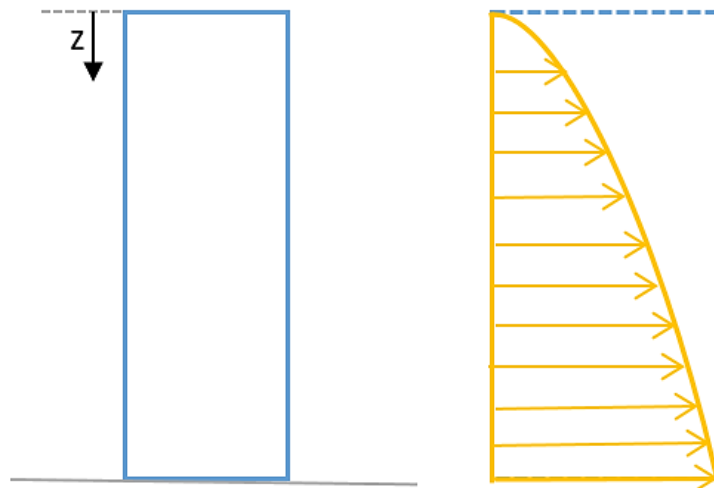
$h = \frac{2}{3}H$ = altura considerada para a pressão uniforme

onde, H= altura total da viga.

6.5.2 PILARES

No caso dos pilares, a pressão que o concreto exerce possui uma grande variação na relação lateral e altura. Assim, considera-se uma variação da pressão lateral conforme a exemplificação a seguir:

Figura 41 - Pressão de Janssen para pilares



Fonte: Autora (2025).

Para a determinação da pressão lateral, pela pressão Janssen:

$$Ph = \frac{\gamma \times R}{\mu} \times \left(1 - e^{\left(-\frac{\mu \times K \times z}{R}\right)}\right) \quad (5)$$

Onde:

γ = peso específico do concreto;

$$R = \text{raio hidráulico} = \frac{\text{área}}{\text{perímetro}} = \frac{b \times h}{2b + 2h} = \frac{b \times h}{2(b + h)};$$

μ = coeficiente de atrito do concreto com a chapa de compensado = $\text{tg } 10^\circ$
= 0,176;

$$k = \frac{1 - \text{sen}\phi}{1 + \text{sen}\phi} = \frac{1 - \text{sen}15^\circ}{1 + \text{sen}15^\circ} = 0,60$$

onde, $\phi=15^\circ$ = ângulo de atrito interno do concreto;

A fim de cálculo, considera-se que a carga é uniforme e distribuída com valor referente à máxima pressão de Janssen mostrado na figura 41.

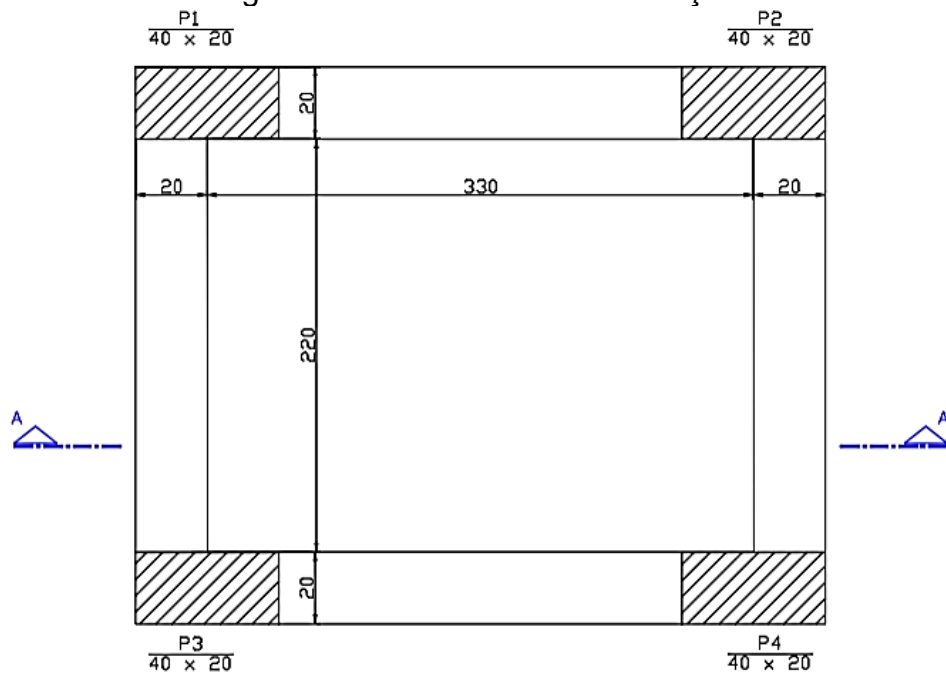
7 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O projeto de dimensionamento das fôrmas segundo ABNT NBR 7190-1:2022 deve conter o memorial justificativo, desenhos e a depender da particularidade do projeto um plano de execução.

7.1 MODELO DE PROJETO ESTRUTURAL

Adotou-se uma edificação (2,60m x 3,70m), como pode ser vista em planta baixa nas figuras 42 e 43. Recomenda-se o uso da escala para projetos 1:50. Para apresentações, usa-se a escala 1:75 como a seguir:

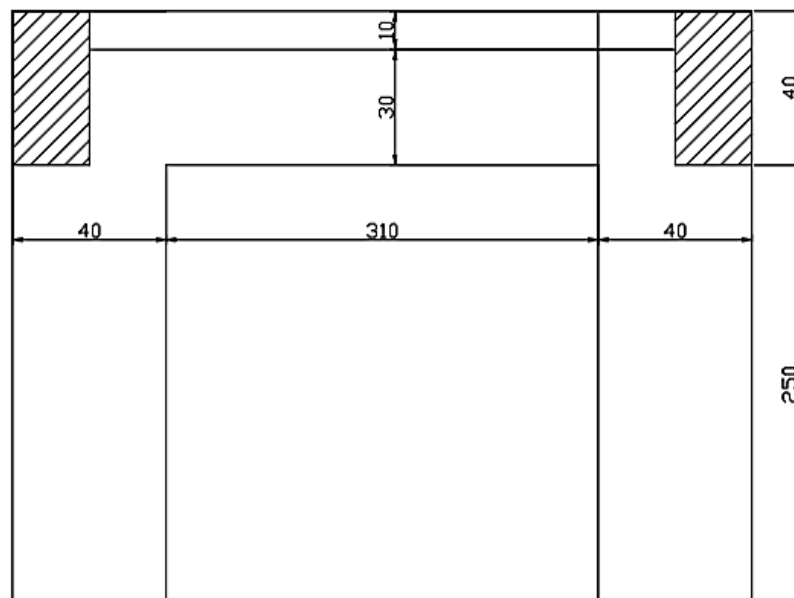
Figura 42 - Planta baixa – Edificação



① PLANTA BAIXA
Escala 1:75

Fonte: Autora (2025).

Figura 43 – Corte – Edificação



② CORTE A-A
Escala 1:75

Fonte: Autora (2025).

Características do concreto:

$$f_{ck} = 20 \text{ MPa}$$

$$\gamma_{conc} = 25 \text{ kN/m}^3$$

7.2 PROJETO DE FÔRMAS

Os desenhos utilizados para representar os sistemas de fôrmas devem estar com as especificações adequadas. De acordo com a ABNT NBR 10067, em desenhos estruturais indicam-se as classes de resistência das madeiras, assim como a espessura, fabricante e a identificação dos materiais a serem utilizados no projeto. É importante o detalhamento dessas informações, pois o dimensionamento é realizado com base nesses dados, com a mudança de algum material, pode prejudicar ou aumentar o custo da obra.

Material de Projeto:

Madeira de reflorestamento C27: $\rho_{C27} = 370 \text{ kg/m}^3 \rightarrow \gamma_{C27} = 3,70 \text{ kN/m}^3$
 $E_{C27} = 12 \text{ GPa} = 1200 \text{ kN/cm}^2$

$$\gamma_{comp} = 5,50 \text{ kN/m}^3$$

$$E_{comp,0} = 850 \text{ kN/cm}^2$$

Madeira compensada 12 mm: $E_{comp,90} = 450 \text{ kN/cm}^2$

$$f_{M.k,comp} = 2,85 \text{ kN/cm}^2$$

Elemento 110 cm x 220 cm

Para as sobrecargas, considerar-se-á o já mencionado neste trabalho como circulação de pessoas, lançamento do concreto, vibração do concreto, entre outras circunstâncias. Assim, tem-se:

Sobrecargas:

Circulação: $q_{circ} = 2 \text{ kN/m}^2$;

Vibração: $q_{vibr} = (10\%) \cdot g_{conc}$

onde g_{conc} - peso próprio do concreto;

Deslocamentos:

Deslocamentos conforme a NBR 7190-1 (ABNT, 2022a):

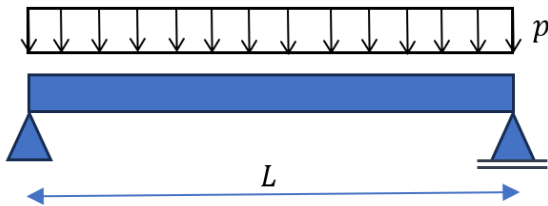
Tabela 8 - Valores limite de deslocamentos para elementos fletidos

Tipo de viga	δ_{inst}	δ_{fin}	$\delta_{net,fin}$
Vigas biapoiadas ou contínuas	L/300 a	L/150 a	L/250 a
	L/500	L/300	L/350
Vigas em balanço	L/150 a	L/75 a L/150	L/125 a
	L/250		L/175

Fonte: Adaptado ABNT NBR 7190-1:2022^a.

Para as fôrmas para concreto armado, será utilizado o limite máximo de L/500, conforme a prescrição em Moliterno (1989), no Boletim Técnico 50 (ABCP, 196-), bem como na NBR 15696 (ABNT, 2009).

Esquema estático:



Flecha:

$$w = \frac{5 \cdot p \cdot L^4}{384 \cdot EI}$$

7.3 FÔRMAS DA LAJE

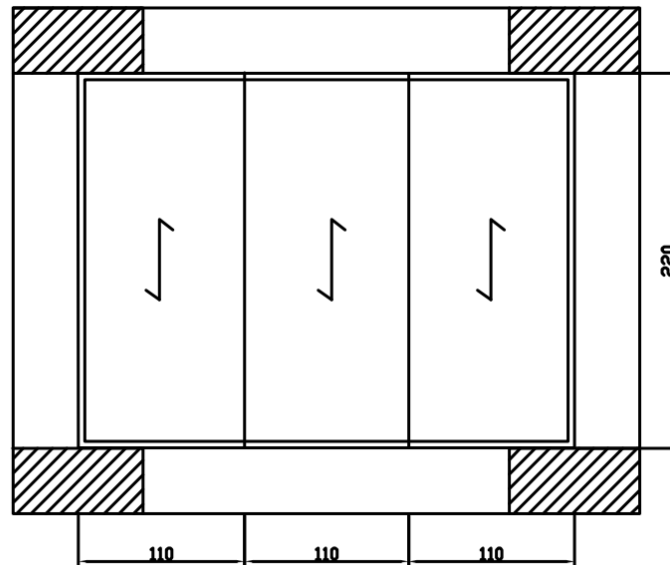
Para realizar o dimensionamento das fôrmas e cimbramentos, deve-se realizar o posicionamento das chapas de compensado, determinar o espaçamento das transversinas, dimensionar os pontaletes e verificar a estabilidade destes.

7.3.1 PAINEIS DA LAJE

O posicionamento das chapas de compensado requer atenção para não haver desperdícios e cortes desnecessários. Pode-se reutilizar pedaços de chapas que sobram de uma laje em outras.

As transversinas devem ser posicionadas paralelas à menor dimensão da chapa de compensado.

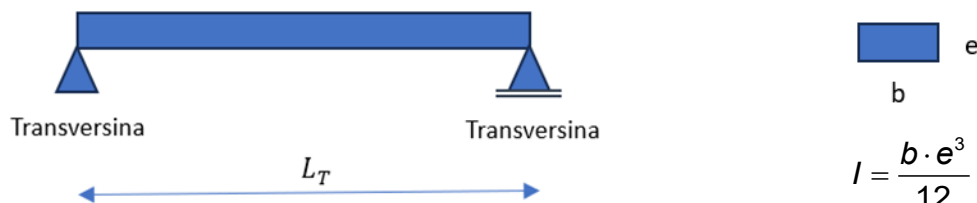
Figura 44 – Fôrma da laje



③ LAJE
Escala 1:75

Fonte: Autora (2025).

Para o cálculo do espaçamento entre transversina será considerada uma viga biapoiada como esquema estático.



7.3.2 COMBINAÇÕES DE AÇÕES

A norma NBR 7190-1 (ABNT, 2022a) prescreve que as combinações devem ser feitas conforme a NBR 8681 (ABNT, 2003). Para a avaliação das ações nas fôrmas não serão considerados os efeitos das ações permanentes devido ao curto período em que a estrutura de fôrmas atuará.

- Peso do concreto armado: $g_{conc} = \gamma_{conc} \cdot h_{laje}$;
 $g_{conc} = 25 \cdot 0,10 = 2,50 \text{ kN/m}^2$;
- Peso próprio das chapas: $g_{comp} = \gamma_{comp} \cdot e$;
 $g_{comp} = 5,5 \cdot 0,012 = 0,07 \text{ kN/m}^2$;

Como o valor é pequeno, pode-se desconsiderá-lo.

- Sobrecarga – Circulação: $q_{circ} = 2 \text{ kN/m}^2$.

Os fatores de combinação ψ_0 e de redução ψ_1 usados a seguir, estão indicados na Tabela 6 para “Locais em que há predominância de pesos de equipamentos que permanecem fixos por longos períodos de tempo, ou de elevadas concentrações de pessoas”.

Estado limite último - Combinação última de construção:

$$F_d = \gamma_q \left[F_{Q1,k} + \sum_{j=2}^n \psi_{0j,ef} F_{Qj,k} \right]$$

- Combinação 1 – g_{conc} como ação variável principal:

$$\begin{aligned} q_d &= \gamma_q [q_{conc} + \psi_{0j,ef} q_{circ}] \\ q_d &= 1,3 [2,5 + 0,7 \cdot 2,0] \\ q_d &= 5,07 \text{ kN/m}^2 = 5,07 \cdot 10^{-4} \text{ kN/cm}^2 \end{aligned}$$

- Combinação 2 - q_{circ} como ação variável principal:

$$\begin{aligned} q_d &= \gamma_q [q_{circ} + \psi_{0j,ef} q_{conc}] \\ q_d &= 1,3 [2,0 + 0,7 \cdot 2,5] \\ q_d &= 4,875 \text{ kN/m}^2 = 4,875 \cdot 10^{-4} \text{ kN/cm}^2 \end{aligned}$$

Será considerado o valor mais desfavorável:

$$q_d = 5,07 \text{ kN/m}^2 = 5,07 \cdot 10^{-4} \text{ kN/cm}^2.$$

Estado limite de utilização - Combinação rara de serviço:

$$F_{d,uti} = \sum_{i=1}^m F_{Gi,k} + F_{Q1,k} + \sum_{j=2}^n \psi_{1j} F_{Qj,k}$$

- Combinação 1 – g_{conc} como ação variável principal:

$$\begin{aligned}
 q_{d,s} &= q_{conc} + \psi_{1j} F_{circ} \\
 q_{d,s} &= 2,5 + 0,6 \cdot 2,0 \\
 q_{d,s} &= 3,70 \text{ kN/m}^2 = 3,70 \cdot 10^{-4} \text{ kN/cm}^2
 \end{aligned}$$

- Combinação 2 - q_{circ} como ação variável principal:

$$\begin{aligned}
 q_{d,s} &= q_{circ} + \psi_{1j} q_{conc} \\
 q_{d,s} &= 2,0 + 0,6 \cdot 2,5 \\
 q_{d,s} &= 3,50 \text{ kN/m}^2 = 3,50 \cdot 10^{-4} \text{ kN/cm}^2
 \end{aligned}$$

Será considerado o valor mais desfavorável:

$$q_{d,s} = 3,70 \text{ kN/m}^2 = 3,70 \cdot 10^{-4} \text{ kN/cm}^2.$$

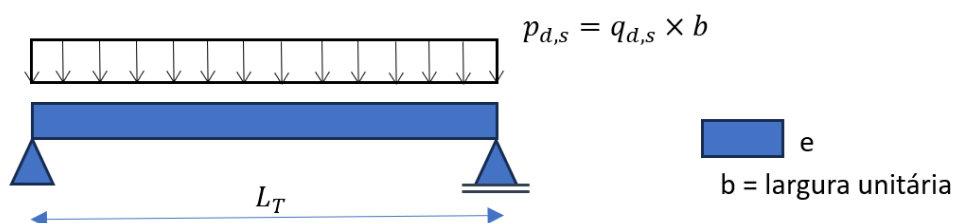
7.3.3 DIMENSIONAMENTO DO ESPAÇAMENTO ENTRE AS TRANSVERSINAS

Considera-se para o dimensionamento do espaçamento entre transversinas a flecha máxima admitida ($L/500$). Para o cálculo da flecha em fôrmas, devido à sua curta atuação, será considerada apenas a combinação rara de serviço (ABNT, 2022a).

Posteriormente, deve-se fazer a verificação da resistência do material usado para esse espaçamento. O cálculo do espaçamento será pela flecha no Estado Limite de Utilização e a verificação de resistência ao momento fletor na chapa compensado, pelo Estado Limite Último.

Estado Limite de Serviço:

Esquema estático:



$$w = \frac{5 \cdot p_{d,s} \cdot L_T^4}{384 \cdot EI} \leq \frac{L_T}{500}$$

$$\downarrow$$

$$L_T \leq \left[\frac{384 \cdot E_{comp} \cdot e^3}{5 \cdot 500 \cdot 12(q_{d,s})} \right]^{\frac{1}{3}}$$

Para os espaçamentos entre transversinas é preferível serem iguais, as transversinas devem ser posicionadas prioritariamente sob as emendas das chapas e realizar as configurações de apoios. Assim, utilizando as informações da tabela 8 com as especificações do fabricante da chapa, temos:

$$L_T \leq \left[\frac{384 \cdot 850 \cdot 1,2^3}{5 \cdot 500 \cdot 12(3,70 \cdot 10^{-4})} \right]^{\frac{1}{3}}$$

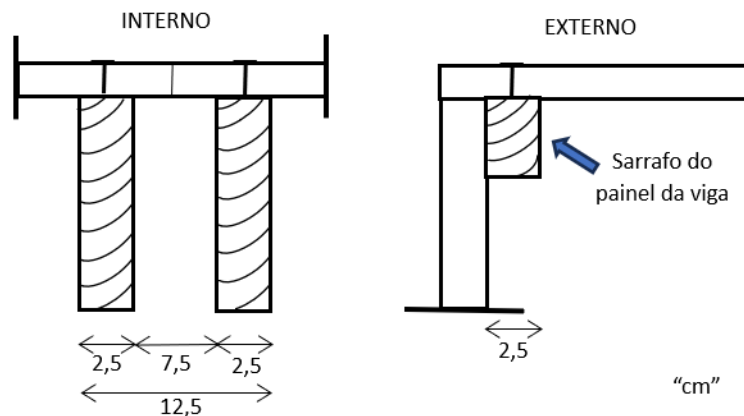
$$\downarrow$$

$$L_T \leq 37,1 \text{ cm}$$

Considerando um espaçamento com seis vãos, tem-se:

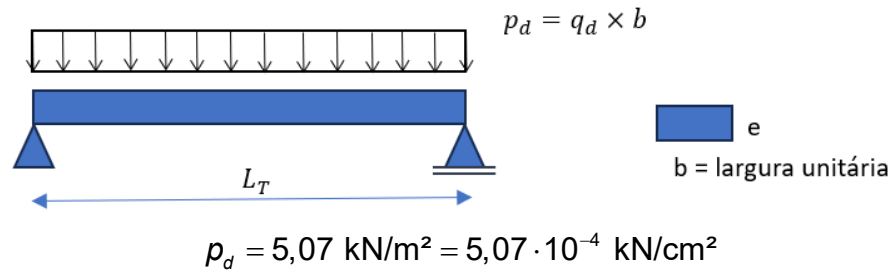
$$Esp = \frac{220 \text{ cm}}{6} \cong 36,7 \text{ cm}$$

Desta forma, serão adotados seis espaçamentos de 36,7 cm. A visualização da sua disposição, bem como sua seção estão apresentados no esquema a abaixo:



Verificação do Estado Limite Último:

Esquema estático:



Cálculo do momento à flexão na chapa de compensado:

$$M_d = \frac{p_d \cdot L_T^2}{8}$$

$$\sigma_{Md} = \frac{M_d}{I} \cdot \frac{h}{2} = \frac{\frac{p_d \cdot b \cdot L_T^2}{8}}{\frac{b \cdot h^3}{12}} \cdot \frac{h}{2} = \frac{p_d \cdot L_T^2 \cdot 3}{4 \cdot h^2}$$

$$\sigma_{Md} = \frac{(5,07 \cdot 10^{-4}) \cdot (36,7)^2 \cdot 3}{4 \cdot 1,2^2}$$

$$\sigma_{Md} = 0,36 \text{ kN/cm}^2$$

Vale lembrar que a resistência característica à flexão é dada por $f_{M,k,comp} = 2,85 \text{ kN/cm}^2$.

Os coeficientes de modificação K_{mod} influenciam no cálculo das propriedades da madeira, em relação à classe de carregamento da estrutura e a classe de umidade considerada, como apresentado na Equação 6.

$$K_{mod} = K_{mod1} \cdot K_{mod2} \quad (6)$$

A Tabela 9 apresenta os valores para o K_{mod1} e a Tabela 10, os valores para o K_{mod2} .

Tabela 9 – Definição de classes de carregamentos e valores de K_{mod1}

Classes de Carregamento	Ação Variável Principal da Combinação		Tipos de Madeira	
	Duração acumulada	Ordem de Grandeza da Duração Acumulada da Ação Característica	Madeira serrada Madeira laminada colada Madeira compensada	Madeira re-composta
Permanente	Permanente	Mais de dez anos	0,60	0,30
Longa duração	Longa duração	Seis meses a um ano	0,70	0,45
Média duração	Média duração	Uma semana a seis meses	0,80	0,65
Curta duração	Curta duração	Menos de uma semana	0,90	0,90
Instantânea	Instantânea	Muito curta	1,10	1,10

Fonte: Adaptado ABNT NBR 7190-1: 2022^a.Tabela 10 – Valores de K_{mod2}

Classes de Umidade	Madeira serrada Madeira roliça Madeira lamelada colada (MLC) Madeira lamelada colada cruzada (MLCC) Madeira laminada colada (LVL)	Madeira Recompоста
(1)	1,0	1,00
(2)	0,9	0,95
(3)	0,8	0,93
(4)	0,7 ^a	0,90

^a Não é permitido uso de MLCC para classe de umidade (4)Fonte: Adaptado ABNT NBR 7190-1: 2022^a.

Assim, tem-se:

$$K_{mod1} = 0,9 \text{ (carregamento de curta duração)}$$

$$K_{mod2} = 0,7 \text{ (classe de umidade 4)}$$

$$\gamma_w = 1,4 \text{ (tensões normais - NBR 7190-1)}$$

$$f_{M,d,comp} = \frac{K_{mod} \cdot f_{M,k,comp}}{\gamma_w}$$

$$f_{M,d,comp} = \frac{(0,9 \cdot 0,7) \cdot 2,85}{1,4}$$

$$f_{M,d,comp} = 1,28 \text{ kN/cm}^2$$

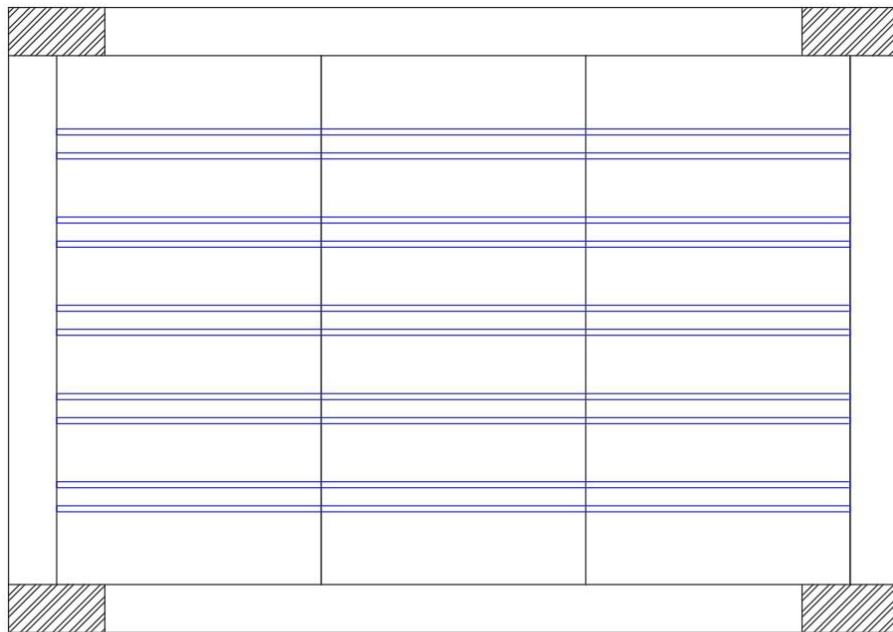
Efetuando a verificação de segurança:

$$\sigma_{M,d} \leq f_{M,d}$$

$$0,36 \text{ kN/cm}^2 \leq 1,28 \text{ kN/cm}^2 \rightarrow \text{O.k.}$$

A chapa de compensado não atinge o estado limite último. A figura 45 mostra a distribuição das transversinas.

Figura 45 - Distribuição das transversinas



4 - DISTRIBUIÇÃO DAS TRANSVERSINAS
Escala 1:75

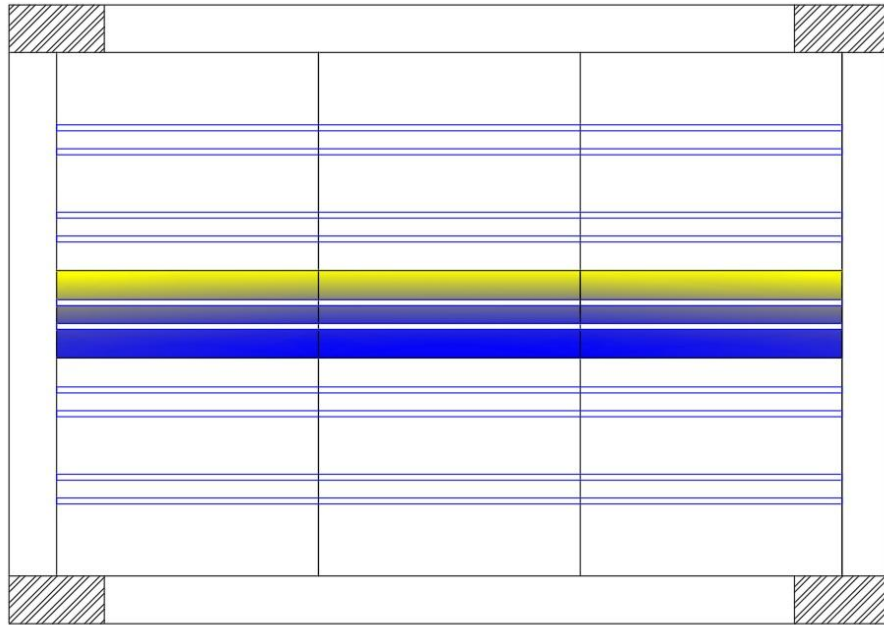
Fonte: Autora (2025).

Pode ser considerado para o cálculo viga contínua, mas para isso todas as chapas de compensado devem estar apoiadas em pelo menos 3 transversinas (viga contínua de 2 tramos). Além disso, pode ser crítica a verificação do Estado Limite Último.

7.3.4 DIMENSIONAMENTO DO ESPAÇAMENTO ENTRE PONTALETES

Para o dimensionamento do espaçamento entre pontaletes é realizado o cálculo da flecha e do momento fletor na transversina, a partir do Estado Limite de Serviço e Estado Limite Último. A figura 46 mostra a área de influência de uma transversina.

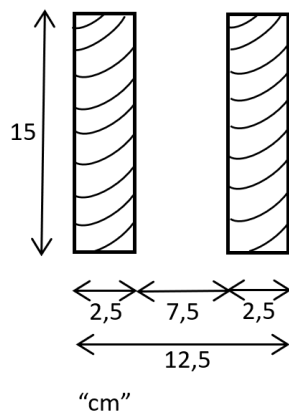
Figura 46 Figura 50 - Área de influência de uma transversina



5 ÁREA DE INFLUÊNCIA DE UMA TRANSVERSINA
Escala 1:75

Fonte: Autora (2025).

Segue a seção adotada para as transversinas:

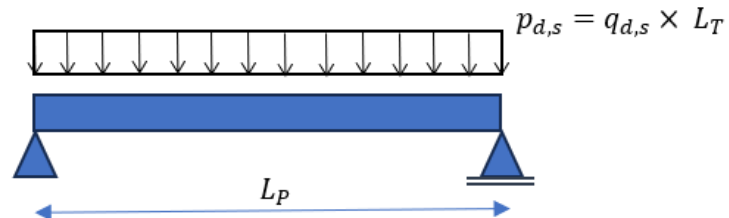


$$A = 2 \cdot (2,5 \cdot 15) = 75 \text{ cm}^2$$

$$I = 2 \cdot \frac{2,5 \cdot 15^3}{12} = 1406 \text{ cm}^4$$

Estado Limite de Serviço:

Esquema estático:



$$w = \frac{5 \cdot p_{d,s} \cdot L_P^4}{384 \cdot E_{C27} \cdot I} \leq \frac{L_P}{500}$$

↓

$$L_P \leq \left[\frac{384 \cdot E_{C27} \cdot I}{5 \cdot 500 \cdot 12 (p_{d,s} \cdot b)} \right]^{\frac{1}{3}}$$

$$p_{d,s} = q_{d,s} \cdot b = q_{d,s} \cdot L_T = 3,70 \cdot 10^{-4} \cdot 36,7$$

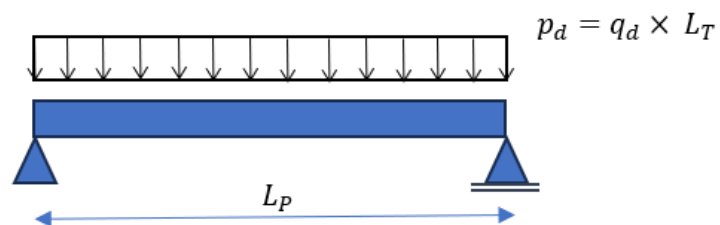
$$p_{d,s} = 0,0136 \text{ kN/cm}$$

$$L_P \leq \left[\frac{384 \cdot 1200 \cdot 1406}{5 \cdot 500 \cdot 0,0136} \right]^{\frac{1}{3}}$$

$$L_P \leq 267,1 \text{ cm}$$

Verificação Estado Limite Último:

Esquema estático:



$$p_d = 5,07 \cdot 10^{-4} \cdot 36,7 = 0,019 \text{ kN/cm}$$

$$M_d = \frac{p_d \cdot L_P^2}{8}$$

$$\sigma_{Md} = \frac{M_d}{I} \cdot \frac{h}{2} = \frac{\frac{p_d \cdot L_p^2}{8}}{I} \cdot \frac{h}{2} = \frac{p_d \cdot L_p^2 \cdot h}{16 \cdot I}$$

$$\sigma_{Md} = \frac{0,019 \cdot (267,1)^2 \cdot 15}{16 \cdot 1406}$$

$$\sigma_{Md} = 0,90 \text{ kN/cm}^2 \quad 1$$

Avaliação da resistência da madeira:

$$f_{M,k,C27} = 27 \text{ MPa} = 2,7 \text{ kN/cm}^2$$

$$K_{\text{mod}1} = 0,9 \text{ (carregamento de curta duração)}$$

$$K_{\text{mod}2} = 0,7 \text{ (classe de umidade 4)}$$

$$f_{M,d,C27} = \frac{K_{\text{mod}} \cdot f_{M,k,C27}}{\gamma_w}$$

$$f_{M,d,C27} = \frac{(0,9 \cdot 0,7) \cdot 2,7}{1,4}$$

$$f_{M,d,C27} = 1,21 \text{ kN/cm}^2 \quad 2$$

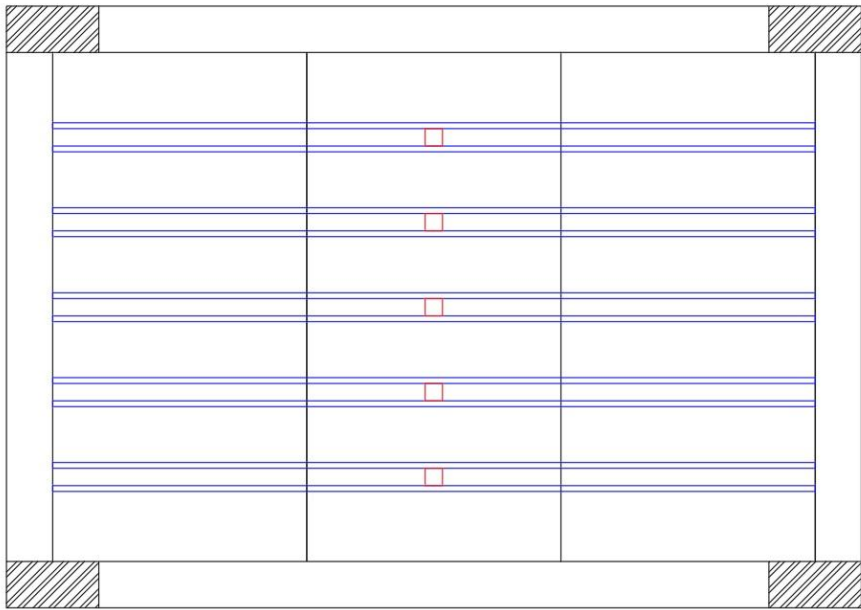
Portanto, $\sigma_{Md} = 0,90 \text{ kN/cm}^2 < f_{M,d,C27}$, onde as transversinas não atingem o estado limite último. Adotar-se-á 1 pontalete no meio do vão, conforme figura 47. Para as extremidades, as transversinas estarão apoiadas. Assim, o vão real será:

$$L_{P,real} = 165 \text{ cm}$$

¹ σ_{Md} Tensão de cálculo solicitada

² f_{Md} Resistência de cálculo do material

Figura 47 - Distribuição dos pontaletes



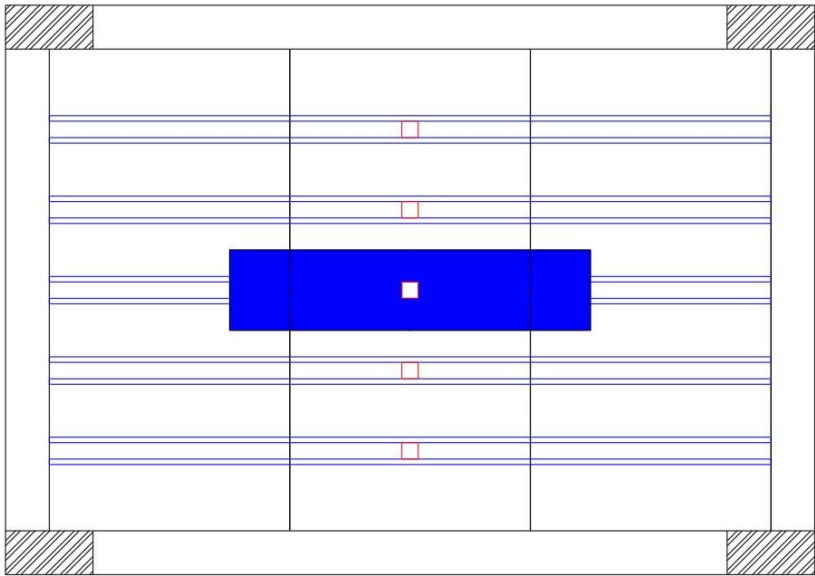
6 DISTRIBUIÇÃO DOS PONTALETES
Escala 1:75

Fonte: Autora (2025).

7.3.5 VERIFICAÇÃO DOS PONTALETES

Com o espaçamento dos pontaletes, analisa-se a carga atuante de cada peça, conforme a figura 48 e realiza-se a verificação de estabilidade.

Figura 48 - Ações no pontalete



7 ÁREA DE INFLUÊNCIA DOS PONTALETES
Escala 1:75

Fonte: Autora (2025).

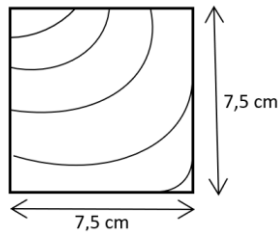
Carga atuante:

$$P_{p,d} = L_{T,real} \cdot L_{P,real} \cdot q_d = 36,7 \cdot 165 \cdot 5,07 \cdot 10^{-4} = 3,07 \text{ kN}$$

$$P_{p,d} = 36,7 \cdot 165 \cdot 5,07 \cdot 10^{-4}$$

$$P_{p,d} = 3,07 \text{ kN}$$

Geometria:



$$A = (7,5 \cdot 7,5) = 56,3 \text{ cm}^2$$

$$I = \frac{7,5 \cdot 7,5^3}{12} = 263,7 \text{ cm}^4$$

$$i_{\min} = i_{\max} = \sqrt{\frac{263,7}{56,3}} = 2,16 \text{ cm}$$

Cálculo da esbeltez:

- Cálculo índice de esbeltez

$$\lambda_x = \lambda_y = \frac{L_e}{i_{\min}} = \frac{280}{2,16} = 129,6$$

$$\lambda_x = \lambda_y = 129,6 < 140 \text{ (Limite NBR 7190-1) - O.k.}$$



- Cálculo índice de esbeltez relativa

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{129,6}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{22}{7700}} = 2,20$$

Verificação a ser feita (NBR 7190-1):

Para $\lambda_{rel} \leq 0,3$ - Verificação de segurança;

Para $\lambda_{rel} > 0,3$ - Verificação de segurança e verificação de estabilidade de peças comprimidas e flexo comprimidas;

Verificação de segurança:

Cálculo da tensão de compressão normal no pontalete:

$$\sigma_{Nc,d} = \frac{N_{c,d}}{A} \leq f_{c0,d}$$

Assim, tem-se:

$$f_{c0,k,C27} = 22 \text{ MPa} = 2,2 \text{ kN/cm}^2$$

$$K_{\text{mod}1} = 0,9 \text{ (carregamento de curta duração)}$$

$$K_{\text{mod}2} = 0,7 \text{ (classe de umidade 4)}$$

$$f_{c0,d,C27} = \frac{K_{\text{mod}} \cdot f_{c0,k,C27}}{\gamma_w} = \frac{(0,9 \cdot 0,7) \cdot 2,2}{1,4}$$

$$f_{c0,d,C27} = 0,99 \text{ kN/cm}^2$$

A verificação de segurança:

$$\sigma_{Nc,d} = \frac{3,07}{56,3} \leq 0,99$$

$$\sigma_{Nc,d} = 0,055 \text{ kN/cm}^2 < f_{c0,d,C27} = 0,99 \text{ kN/cm}^2 \rightarrow \text{O.k.}$$

Verificação de estabilidade de peças comprimidas:

$$k_y = 0,5 \cdot \left[1 + \beta_c (\lambda_{rel,y} - 0,3) + (\lambda_{rel,y})^2 \right]$$

Para madeiras serradas, tem-se: $\beta_c = 0,2$;

$$k_y = 0,5 \cdot \left[1 + 0,2(2,20 - 0,3) + (2,20)^2 \right] = 3,13$$

O coeficiente k_{cy} :

$$k_{cy} = \frac{1}{k_y + \sqrt{(k_y)^2 - (\lambda_{rel,y})^2}}$$

$$k_{cy} = \frac{1}{3,13 + \sqrt{(3,13)^2 - (2,20)^2}}$$

$$k_{cy} = 0,187$$

A verificação de estabilidade (NBR 7190-1):

$$\frac{\sigma_{Nc,d}}{k_{cx} \cdot f_{c0,d}} + \frac{\sigma_{Mx,d}}{f_{M,d}} + k_M \cdot \frac{\sigma_{Mx,d}}{f_{M,d}} \leq 1$$

$$\frac{\sigma_{Nc,d}}{k_{cy} \cdot f_{c0,d}} + k_M \cdot \frac{\sigma_{Mx,d}}{f_{M,d}} + \frac{\sigma_{Mx,d}}{f_{M,d}} \leq 1$$

Assim, como não há tensões de flexão atuando no pontalete, bem como por conta da simetria da seção transversal do pontalete, tem-se que $k_{cy} = k_{cx}$, tem-se:

$$\frac{\sigma_{Nc,d}}{k_{cy} \cdot f_{c0,d}} + k_M \cdot \frac{\sigma_{Mx,d}}{f_{M,d}} + \frac{\sigma_{Mx,d}}{f_{M,d}} \leq 1$$

$$\frac{0,055}{0,187 \cdot 0,99} + 0,7 \cdot \frac{0}{1,21} + \frac{0}{1,21} = 0,30 \leq 1 \rightarrow \text{O.k.}$$

Desta forma, as condições de estabilidade foram atendidas.

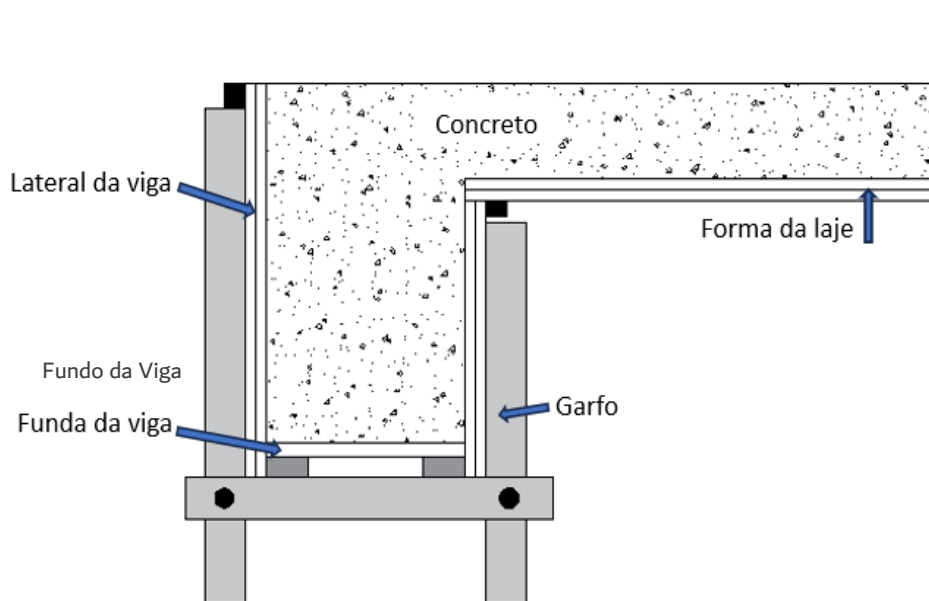
7.4 FÔRMAS E CIMBRAMENTOS DE VIGAS

Para o dimensionamento das fôrmas das vigas, determina-se o espaçamento entre garfos através do cálculo da flecha máxima admitida ($L/500$) pelo Estado Limite de Serviço e verificar-se-á a resistência pelo Estado Limite Último.

Teoricamente, os espaçamentos entre os garfos não são iguais, pois os painéis laterais e de fundo das vigas possuem geometrias e rigidez diferentes, sendo assim, submetidos a carregamentos diferentes. Na prática, utiliza-se o menor espaçamento calculado para os painéis laterais e os de fundo para facilitar na execução.

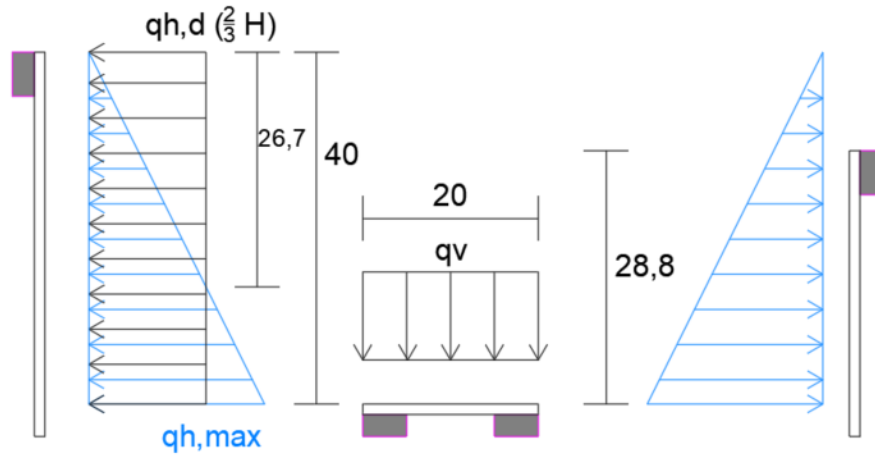
Também pode-se adotar outras medidas como: enrijecimento das seções, utilização de gravatas, tensores, etc. A seguir um esquema geral de uma viga.

Figura 49 – Esquema geral da fôrma de viga



Fonte: Adaptado de Calil Jr. *et al.* (1999).

Figura 50 – Esforços atuantes na fôrma de viga (dimensões em cm).



Fonte: Adaptado de Calil Jr. *et al.* (1999).

Onde:

q_v - Pressão vertical ($q_{v,d}$ e $q_{v,uti}$);

$q_{h,max}$ - Máxima pressão horizontal ($q_{h,max}$ e $q_{h,max,uti}$);

$q_{h,d}$ - Pressão equivalente a altura de $2/3 H$ ($q_{h,d}$ e $q_{h,d,uti}$).

- Pressão vertical:

$$q_{v,d,uti} = (q_{conc} + \psi_1 \cdot q_{vib})H = (25 + 0,6 \cdot 0,1 \cdot 25) \cdot 0,40 = 10,6 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{v,d,uti} = \gamma_q (q_{conc} + \psi_0 \cdot q_{vib})H = 1,3(25 + 0,7 \cdot 0,1 \cdot 25) \cdot 0,40 = 13,91 \text{ kN/m}^2$$

- Pressão horizontal:

$q_{h,max} = q_v \cdot k$, onde k é o coeficiente de empuxo lateral:

$$k = \frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi} = \frac{1 - \sin 15^\circ}{1 + \sin 15^\circ} = 0,6$$

$$q_{h,max,uti} = 10,6 \cdot 0,6 = 6,36 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{h,max} = 13,91 \cdot 0,6 = 8,35 \text{ kN/m}^2$$

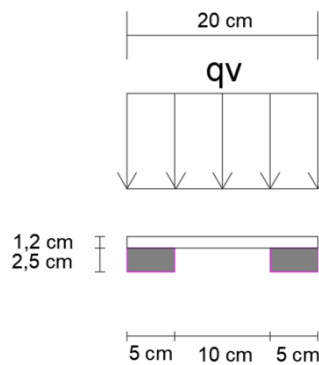
Para a pressão de projeto, deve-se tomar o valor da pressão a 2/3 da altura H (40 cm):

$$q_{h,d,uti} = q_{h,max,uti} \cdot \frac{2}{3} = 6,36 \cdot \frac{2}{3} = 4,24 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{h,d} = q_{h,max} \cdot \frac{2}{3} = 8,35 \cdot \frac{2}{3} = 5,57 \text{ kN/m}^2$$

7.4.1 DIMENSIONAMENTO DO ESPAÇAMENTO DOS GARFOS NO FUNDO DA VIGA (L_{G,1})

Seção do fundo da viga:



Ações para carga linearmente distribuída:

$$p_{v,d,uti} = 10,6 \cdot 0,20 = 2,12 \text{ kN/m} = 0,0212 \text{ kN/cm}$$

$$p_{v,d} = 13,91 \cdot 0,20 = 2,78 \text{ kN/m} = 0,0278 \text{ kN/cm}$$

Geometria:

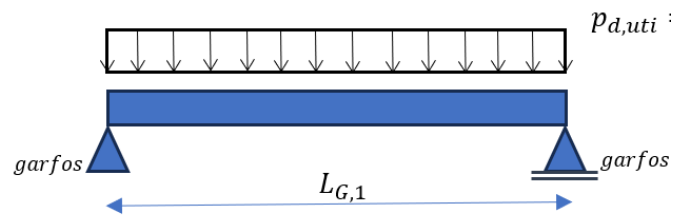
$$\text{C.G.: } y_{CG} = \frac{1,2 \cdot 20 \cdot 0,6 + 2 \cdot 2,5 \cdot 5 \cdot (1,25 + 1,20)}{1,2 \cdot 20 + 2 \cdot 2,5 \cdot 5} = 1,54 \text{ cm}$$

Inércia:

$$I = \frac{20 \cdot 1,2^3}{12} + 1,2 \cdot 20 \cdot (0,6 - 1,54)^2 + 2 \cdot \left[\frac{5 \cdot 2,5^3}{12} + 5 \cdot 2,5 \cdot (2,45 - 1,54)^2 \right] = 57,81 \text{ cm}^4$$

Módulo de Elasticidade: $E_{comp} = 850 \text{ kN/cm}^2$
 $E_{C27} = 1200 \text{ kN/cm}^2$

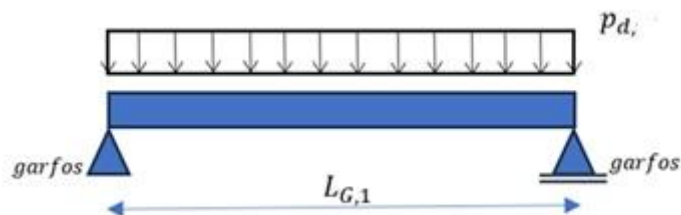
Esquema estático:



$$L_{G,1} = \sqrt[3]{\frac{384 \cdot E \cdot I}{5 \cdot 500 \cdot p_{v,d,uti}}} = \sqrt[3]{\frac{384 \cdot 1200 \cdot 57,81}{5 \cdot 500 \cdot 0,0212}} = 79,51 \text{ cm}$$

Verificação do Estado Limite Último:

Esquema estático:



$$M_d = \frac{p_{v,d} \cdot l^2}{8}$$

$$\sigma_{Md} = \frac{M_d}{I} \cdot \frac{h}{2} = \frac{\frac{p_{v,d} \cdot l^2}{8}}{I} \cdot \frac{h}{2} = \frac{p_{v,d} \cdot l^2 \cdot h}{8 \cdot 2 \cdot I} = \frac{0,0278 \cdot (79,51)^2 \cdot (1,2 + 2,5)}{8 \cdot 2 \cdot (57,81)}$$

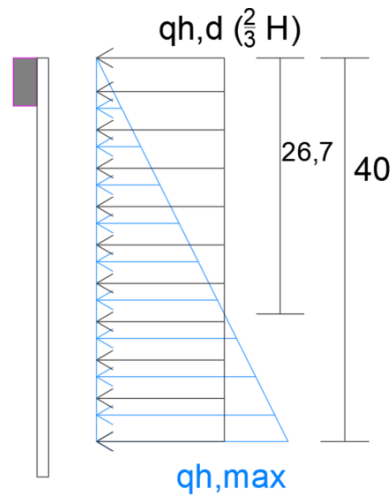
$$\sigma_{Md} = 0,70 \text{ kN/cm}^2$$

Portanto:

$$\sigma_{Md} < \begin{cases} f_{M,d,C27} = 1,21 \text{ kN/cm}^2 \\ f_{M,d,comp} = 1,28 \text{ kN/cm}^2 \end{cases} \rightarrow \text{O.K.}$$

7.4.2 DIMENSIONAMENTO DO ESPAÇAMENTO DOS GARFOS NA LATERAL DA VIGA

Seção da lateral da viga:



Ações para carga linearmente distribuída:

$$p_{h,d,uti} = q_{h,d,uti} \cdot b = 4,24 \cdot 0,40 = 1,70 \text{ kN/m} = 0,017 \text{ kN/cm}$$

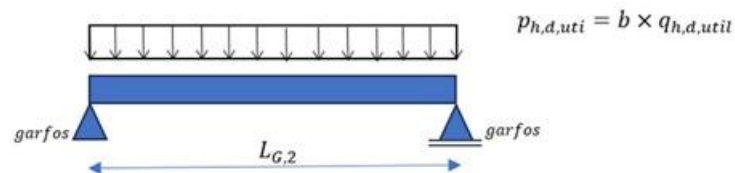
$$p_{h,d} = q_{h,d} \cdot b = 5,57 \cdot 0,40 = 2,23 \text{ kN/m} = 0,0223 \text{ kN/cm}$$

Geometria:

$$\text{Inércia: } I = \frac{b \cdot e^3}{12} = \frac{40 \cdot 1,2^3}{12} = 5,76 \text{ cm}^4$$

$$\text{Módulo de Elasticidade: } E_{comp,0} = 850 \text{ kN/cm}^2$$

Estado Limite de Utilização:

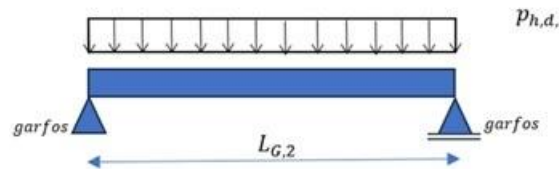


$$w = \frac{5 \cdot p_{h,d,uti} \cdot L_{G,2}^4}{384 \cdot E_{comp,0} \cdot I} \leq \frac{L_{G,2}}{500}$$

$$L_{G,2} \leq \sqrt[3]{\frac{384 \cdot E_{comp,0} \cdot I}{5 \cdot p_{h,d,uti} \cdot 500}} = \sqrt[3]{\frac{384 \cdot 850 \cdot 5,76}{5 \cdot 0,017 \cdot 500}} = 35,4 \text{ cm}$$

Estado Limite Último:

Esquema estático:



$$M_d = \frac{p_{h,d} \cdot l^2}{8}$$

$$\sigma_{Md} = \frac{M_d}{I} \cdot \frac{h}{2} = \frac{\frac{p_{h,d} \cdot l^2}{8}}{I} \cdot \frac{h}{2} = \frac{p_{h,d} \cdot l^2 \cdot h}{8 \cdot 2 \cdot I} = \frac{0,0223 \cdot (35,4)^2 \cdot (1,2)}{8 \cdot 2 \cdot (5,76)}$$

$$\sigma_{Md} = 0,37 \text{ kN/cm}^2$$

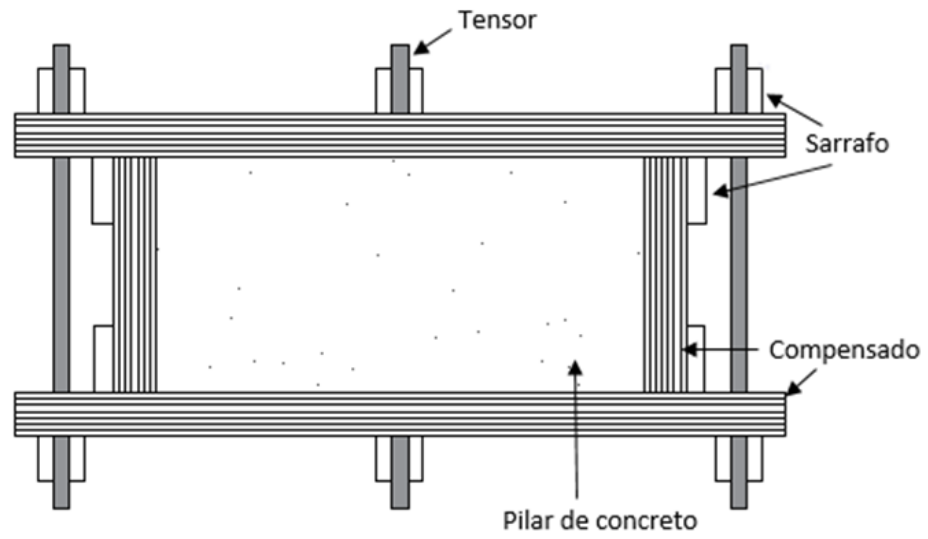
Portanto: $\sigma_{Md} < f_{M,d,comp} = 1,28 \text{ kN/cm}^2 \rightarrow O.K.$

Assim, temos que $L_{G,1}$ é aproximadamente o dobro de $L_{G,2}$, então, será adotado para o espaçamento entre os garfos de 35 cm.

7.5 FÔRMAS DOS PILARES

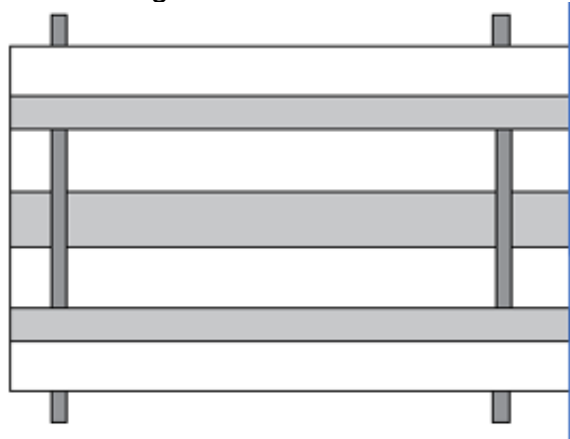
Para o dimensionamento das fôrmas dos pilares é necessário inicialmente calcular o espaçamento entre os sarrafos e em seguida, o cálculo dos espaçamentos entre os tensores. Na figura 51, temos a planta baixa do esquema de fôrmas e acessórios para pilares, posteriormente segue a vista lateral e frontal.

Figura 51 – Planta baixa fôrmas e acessórios para pilares



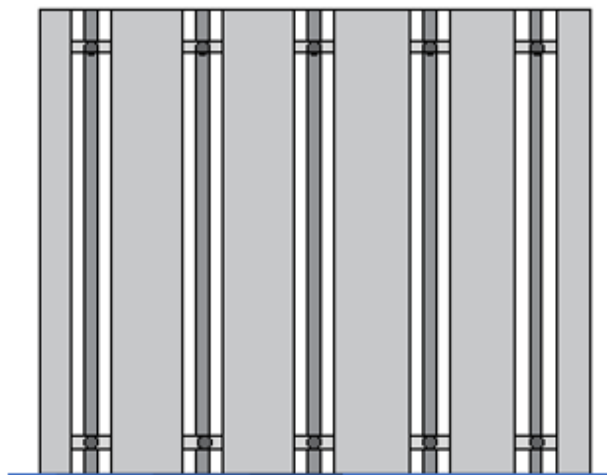
Fonte: Autora (2025).

Figura 52 - Vista lateral



Fonte: Autora (2025).

Figura 53 - Vista frontal



Fonte: Autora (2025).

7.5.1 AÇÕES A CONSIDERAR

Pressão do concreto (pressões horizontais):

$$q_h = \frac{\gamma \cdot R}{\mu} \left[1 - e^{-\left(\frac{\mu \cdot k \cdot z}{R}\right)} \right]$$

Onde:

γ é o peso específico do concreto, já com as combinações das ações:

$$\gamma_{d,uti} = \gamma_{conc} + \psi_1 \cdot \gamma_{vib} = 25 + 0,6 \cdot 2,5$$

$$\gamma_{d,uti} = 26,5 \text{ kN/m}^3$$

$$\gamma_d = \gamma_Q (\gamma_{conc} + \psi_0 \cdot \gamma_{vib}) = 1,2 (25 + 0,7 \cdot 2,5)$$

$$\gamma_d = 32,1 \text{ kN/m}^3$$

μ é o coeficiente de atrito concreto/parede da fôrma:

$$\mu = \tan \phi = \tan 10^\circ = 0,176$$

R é o raio hidráulico da seção:

$$R = \frac{A}{P} = \frac{\text{área}}{\text{perímetro}} = \frac{a \cdot b}{2 \cdot (a + b)} = \frac{15 \cdot 30}{2 \cdot (15 + 30)} = 5 \text{ cm}$$

k é o coeficiente de empuxo lateral:

$$k = \frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi} = \frac{1 - \sin 15^\circ}{1 + \sin 15^\circ} = 0,6$$

Para painéis de pilares, temos a altura total do pilar preenchida em uma única concretagem. Sendo à conta do piso superior menos a cota do piso atual, neste caso o valor é 290 cm.

Assim, substitui os valores calculados na equação de Janssen:

$$q_{h,d,uti} = \frac{26,5 \cdot 0,05}{0,176} \left[1 - e^{-\left(\frac{0,176 \cdot 0,6 \cdot 2,90}{0,05}\right)} \right]$$

$$q_{h,d,uti} = 7,51 \text{ kN/m}^2 = 7,51 \cdot 10^{-4} \text{ kN/cm}^2$$

$$q_{h,d} = \frac{32,1 \cdot 0,05}{0,176} \left[1 - e^{-\left(\frac{0,176 \cdot 0,6 \cdot 2,90}{0,05} \right)} \right]$$

$$q_{h,d} = 9,10 \text{ kN/m}^2 = 9,10 \cdot 10^{-4} \text{ kN/cm}^2$$

- Geometria:

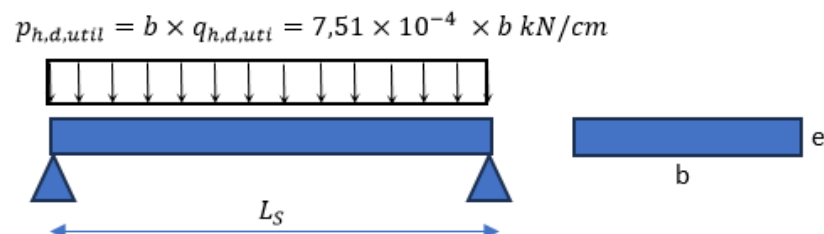
$$I = \frac{b \cdot e^3}{12} = \frac{b \cdot 1,2^3}{12} = 0,144 \cdot b \text{ cm}^4$$

7.5.2 DIMENSIONAMENTO DO ESPAÇAMENTO ENTRE SARRAFOS (L_S):

Para obter o valor do espaçamento entre sarrafos, calcula-se em função da flecha (Estado Limite de Utilização) na chapa de compensado. Em seguida, realiza-se a verificação para o Estado Limite Último.

Estado Limite de Utilização:

Esquema estático:



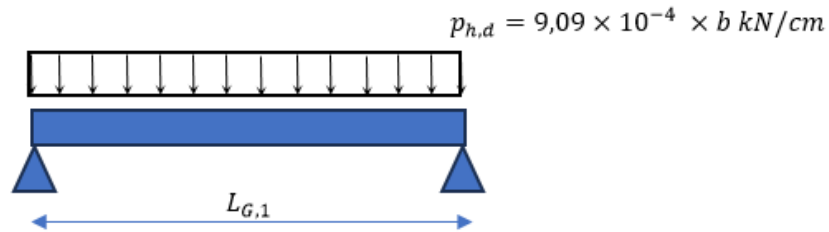
$$w = \frac{5 \cdot p_{h,d,uti} \cdot L_S^4}{384 \cdot E_{comp,90} \cdot I} \leq \frac{L_S}{500}$$

$$L_S \leq \sqrt[3]{\frac{384 \cdot E_{comp,90} \cdot I}{500 \cdot 5 \cdot p_{h,d,uti}}} = \sqrt[3]{\frac{384 \cdot 450 \cdot 0,144 \cdot b}{500 \cdot 5 \cdot 7,51 \cdot 10^{-4} \cdot b}} = 23,7 \text{ cm}$$

Então adota-se $L_S = 22 \text{ cm}$ (três linhas de sarrafos);

Verificação do Estado Limite Último:

Esquema estático:



$$M_d = \frac{p_{h,d} \cdot l^2}{8}$$

$$\sigma_{Md} = \frac{M_d}{I} \cdot \frac{h}{2} = \frac{\frac{p_{h,d} \cdot l^2}{8}}{I} \cdot \frac{h}{2} = \frac{p_{h,d} \cdot l^2 \cdot h}{8 \cdot 2 \cdot I} = \frac{9,09 \cdot 10^{-4} \cdot b \cdot (22)^2 \cdot (1,2)}{8 \cdot 2 \cdot (0,144 \cdot b)}$$

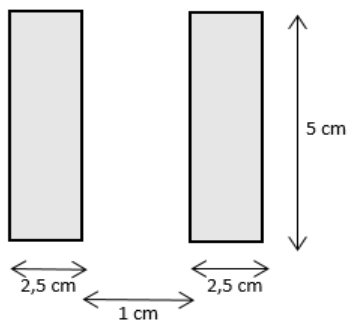
$$\sigma_{Md} = 0,23 \text{ kN/cm}^2$$

Portanto, $\sigma_{Md} < f_{M,d,comp} = 1,28 \text{ kN/cm}^2 \rightarrow \text{O.K.}$

7.5.3 DIMENSIONAMENTO DO ESPAÇAMENTO ENTRE TENSORES (L_{TENS})

Para obter o valor do espaçamento entre tensores, calcula-se em função da flecha máxima (Estado Limite de Utilização) permitida para sarrafos. Em seguida, realiza-se a verificação para o Estado Limite Último.

- Seção do sarrafo:

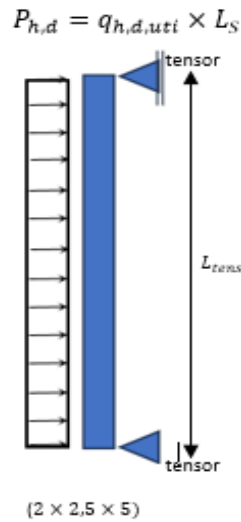


$$\text{Área: } A = 2 \cdot (2,5 \cdot 5) = 25 \text{ cm}^2$$

Momento de inércia:

$$I = 2 \cdot \frac{2,5 \cdot 5^3}{12} = 52,1 \text{ cm}^4$$

Esquema estático do sarrafo:



$$p_{h,d,uti} = q_{h,d,uti} \cdot L_S = 7,51 \cdot 10^{-4} \cdot 22 = 0,016 \text{ kN/cm}$$

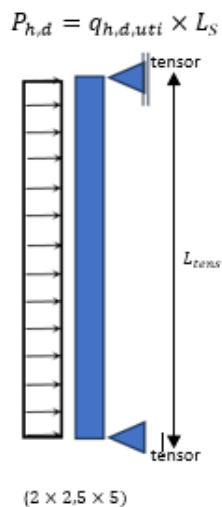
$$w = \frac{5 \cdot p_{h,d,uti} \cdot L_{tens}^4}{384 \cdot E_{C27} \cdot I} \leq \frac{L_{tens}}{500}$$

$$L_S \leq \sqrt[3]{\frac{384 \cdot E_{C27} \cdot I}{500 \cdot 5 \cdot p_{h,d,uti}}} = \sqrt[3]{\frac{384 \cdot 1200 \cdot 52,1}{500 \cdot 5 \cdot (7,51 \cdot 10^{-4} \cdot 22)}} = 83,4 \text{ cm}$$

Para o vão de 290 cm serão adotados 4 tensores.

Verificação do Estado Limite Último:

Esquema estático do sarrafo:



$$p_{h,d} = q_{h,d} \cdot L_S = 9,09 \cdot 10^{-4} \cdot 22 = 0,020 \text{ kN/cm}$$

$$M_d = \frac{p_{h,d} \cdot l^2}{8}$$

$$\sigma_{Md} = \frac{M_d}{I} \cdot \frac{h}{2} = \frac{\frac{p_{h,d} \cdot l^2}{8}}{I} \cdot \frac{h}{2} = \frac{p_{h,d} \cdot l^2 \cdot h}{8 \cdot 2 \cdot I} = \frac{0,020 \cdot (80)^2 \cdot (5)}{8 \cdot 2 \cdot (52,1)}$$

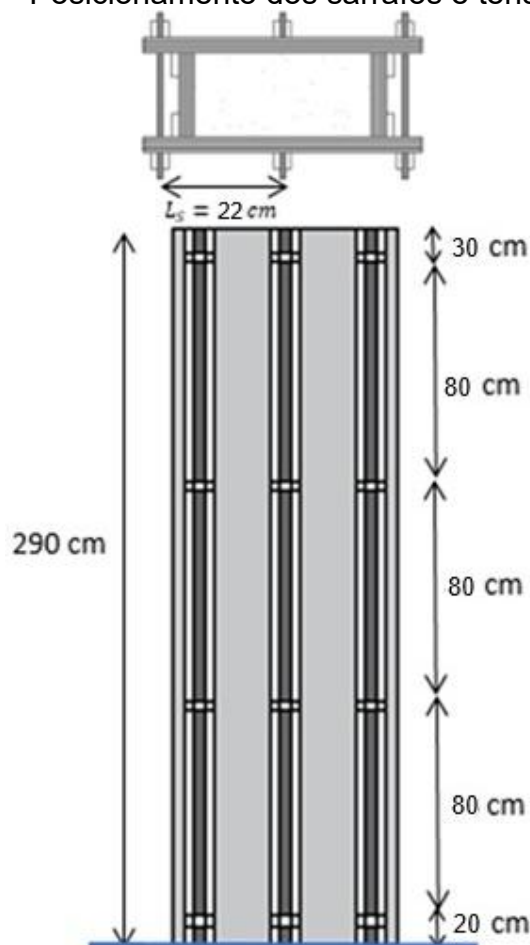
$$\sigma_{Md} = 0,77 \text{ kN/cm}^2$$

Como $\sigma_{Md} < f_{M,d,C27} = 1,21 \text{ kN/cm}^2 \rightarrow \text{O.K.}$

7.5.4 POSICIONAMENTO DOS SARRAFOS E TENSORES NO PILAR

A partir do dimensionamento do espaçamento entre sarrafos e do cálculo dos espaçamentos entre os tensores, consegue-se fazer a montagem das fôrmas e cimbramentos para pilar, conforme a figura 54.

Figura 54 - Posicionamento dos sarrafos e tensores no pilar



Fonte: Autora (2025).

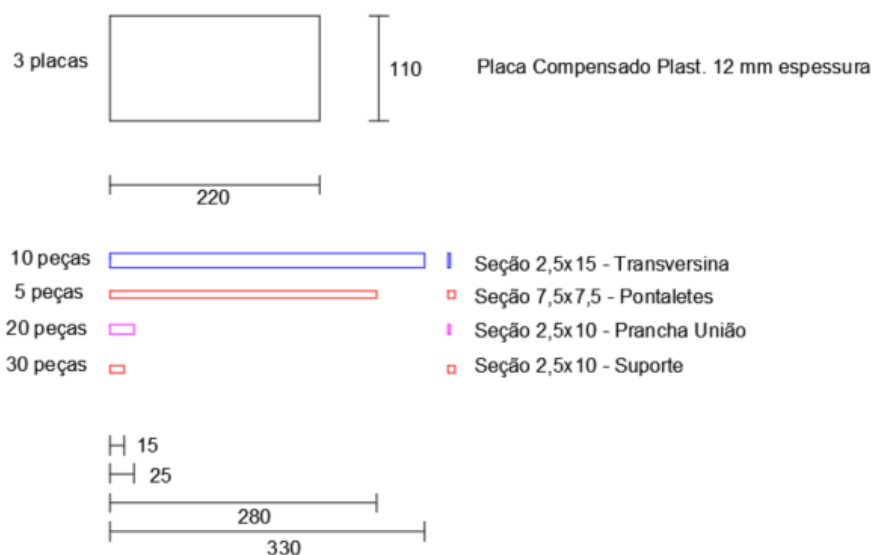
7.6 DETALHAMENTO DAS PEÇAS E DOS CORTES

O projeto das fôrmas e cimbramentos precisam conter todas as peças e cortes das chapas detalhadamente para facilitar a compreensão no canteiro de obras. É importante otimizar ao máximo a utilização dos materiais, diminuindo perdas e custos.

7.6.1 Lajes

A figura 55, mostra o detalhamento das peças usadas para a montagem das fôrmas de lajes.

Figura 55 - Detalhamento da Laje (cm)

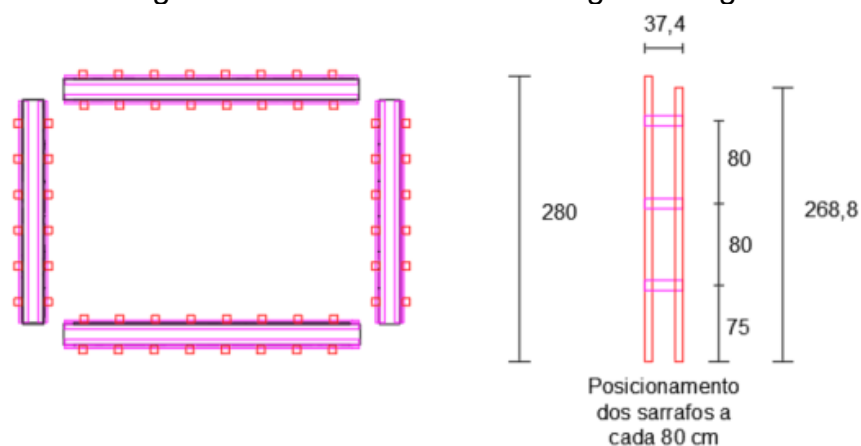


Fonte: Autora (2025).

7.6.2 Vigas

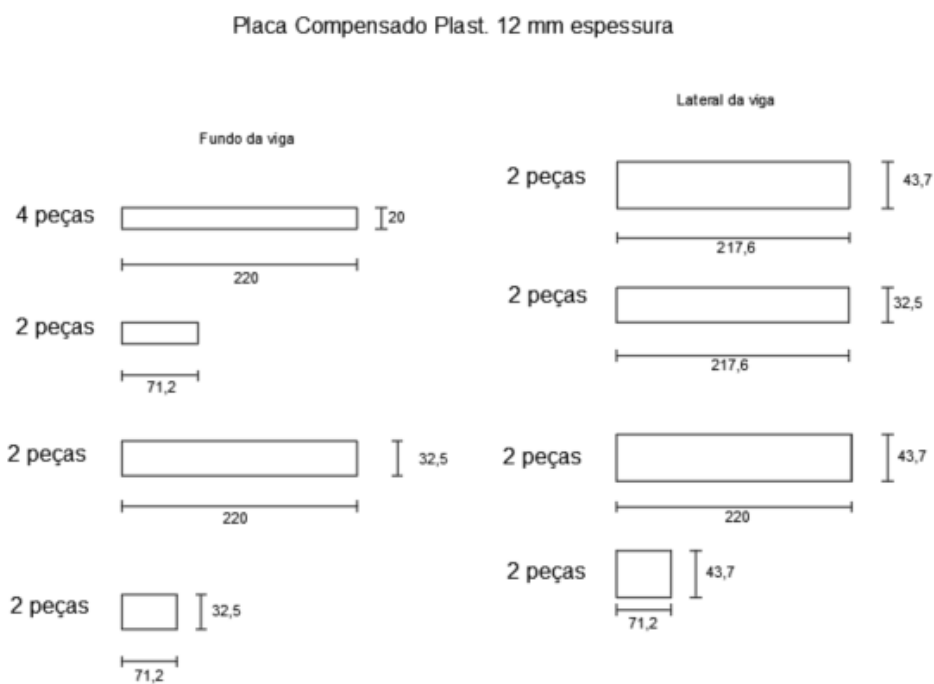
A figura 56 a 58, mostram o detalhamento das peças usadas para a montagem das fôrmas de lajes.

Figura 56 - Detalhamento das Vigas e do garfo



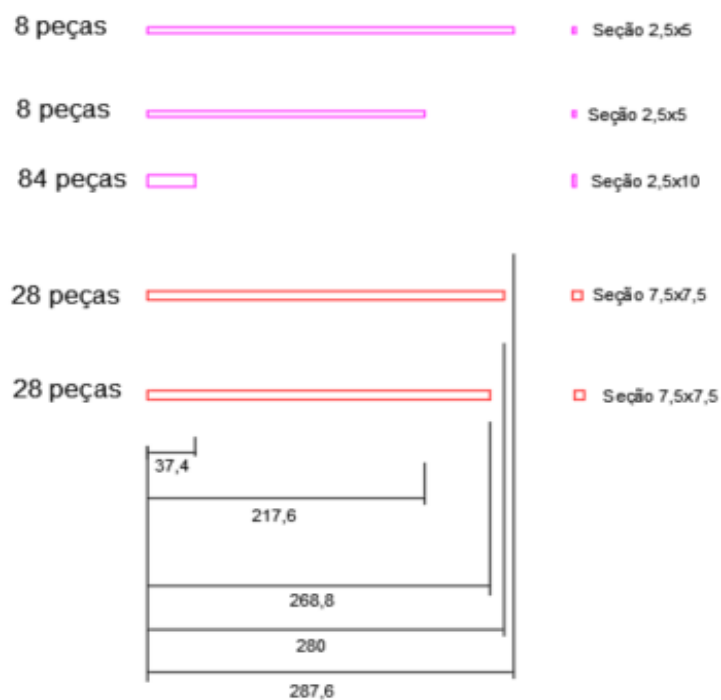
Fonte: Autora (2025).

Figura 57 - Detalhamento das peças de Madeira Compensada da Viga



Fonte: Autora (2025).

Figura 58 - Detalhamento das peças de Madeira C27 da Viga

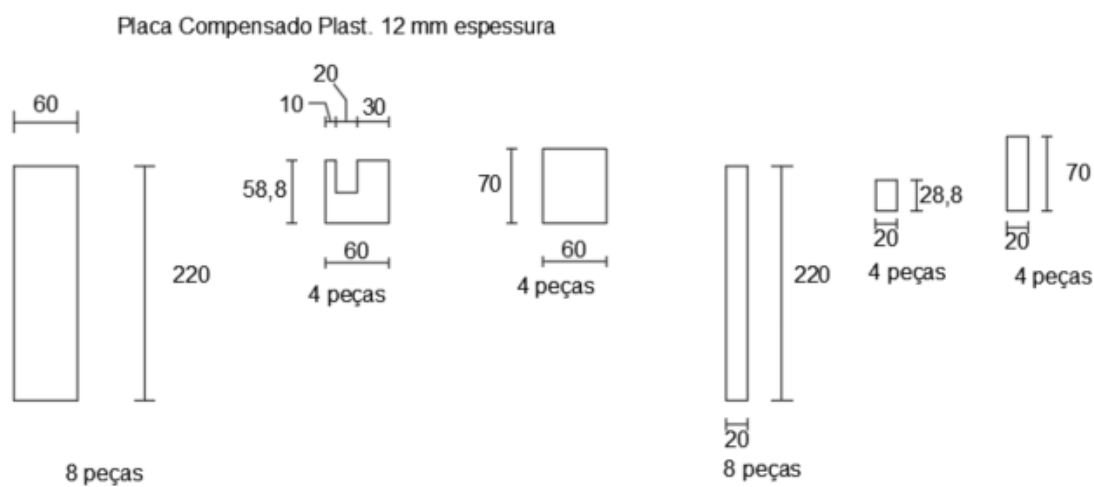


Fonte: Autora (2025).

7.6.3 Pilares

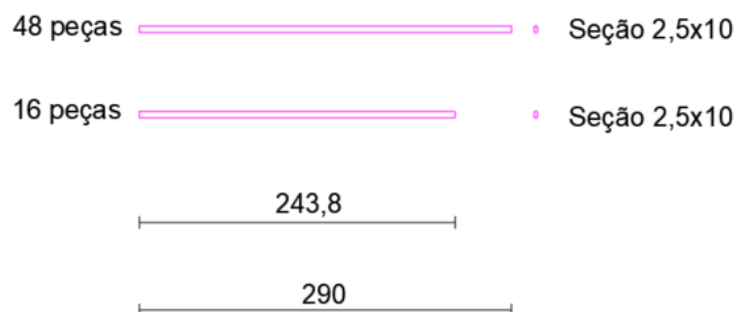
A figura 59 a 61, mostram o detalhamento das peças usadas para a montagem das fôrmas de lajes.

Figura 59 - Detalhamento das peças de Madeira Compensada do pilar



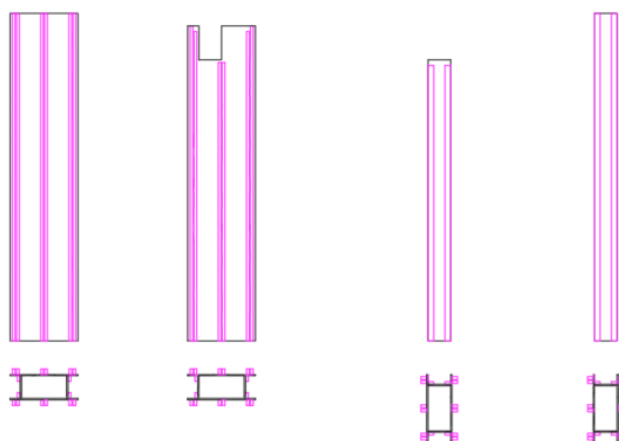
Fonte: Autora (2025).

Figura 60 - Detalhamento das peças de Madeira C27 do pilar
Sarrafos - Madeira C27



Fonte: Autora (2025).

Figura 61 - Detalhamento pilar (cm)



Fonte: Autora (2025).

8 CONCLUSÃO

A aplicação dos métodos de dimensionamento de fôrmas e cimbramentos de madeira em estruturas de concreto armado demonstrou a criticidade do dimensionamento desses elementos, que exige não apenas a qualificação técnica dos profissionais, mas também a adesão rigorosa e atualizada às normativas vigentes.

O estudo ressaltou a importância das recentes atualizações das Normas Brasileiras, em particular a ABNT NBR 7190-1:2022, ABNT NBR 6118:2023, ABNT NBR 14931:2023 e ABNT NBR 8681:2025. A correta interpretação e aplicação dessas diretrizes são fundamentais para a mitigação de riscos e a garantia da integridade estrutural durante a fase de concretagem.

Por meio do desenvolvimento de um projeto de edificação aplicado, possibilitou a avaliação prática dos métodos normativos vigentes. Pelo dimensionamento de fôrmas e cimbramentos de lajes, vigas e pilares realizado, percebe-se que todas as verificações de segurança foram atendidas e o quanto o dimensionamento preciso é o pilar para a segurança ocupacional e a qualidade estrutural.

Contudo, este trabalho não apenas validou a necessidade de atualização técnica, mas também forneceu subsídios para a elaboração de um manual prático, consolidando-se como uma contribuição relevante para a comunidade acadêmica e para a indústria da construção civil na busca por processos mais seguros, eficientes e sustentáveis.

REFERÊNCIAS

Almeida, T. H., Almeida, D. H. de, Christoforo, A. L., Chahud, E., Branco, L. A. M. N., & Lahr, F. A. R. (2016). Density as Estimator of Strength in Compression Parallel to the Grain in Wood. *International Journal of Materials Engineering*, 6(3), 67–71. <https://doi.org/10.5923/j.ijme.20160603.01>.

Christoforo, A. L., Arroyo, F. N. Lopes Silva, D. A. Panzera, T. H., & Lahr, F. A. R. (2017). Full characterization of *Calycophyllum multiflorum* wood species. *Engenharia Agrícola*, 37(4), 637–643. <https://doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v37n4p637-643/2017>.

Dias, F. M., & Lahr, F. A. R. (2004). Estimativa de propriedades de resistência e rigidez da madeira através da densidade aparente. *Scientia Forestalis*, 65, 102–113.

Howard, J. L., & Jones, K. C. (2016). U.S. Timber Production, Trade, Consumption, and Price Statistics, 1965-2013. USDA Forest Service, Forest Products Laboratory, Research Paper FPL-RP-679. 100 p., February, 1965–2013. <https://www.fs.usda.gov/treesearch/pubs/50895>.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CONCRETO PORTLAND (ABCP). Fôrmas de madeira para concreto armado em edifícios comuns. Boletim técnico no 50, ABCP, São Paulo, 1943.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. Ações e segurança nas estruturas - Procedimento. NBR 8681:2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. Fôrmas e escoramentos para estruturas de concreto – Projeto, dimensionamento e procedimentos executivos. NBR 15696:2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. Projeto de estruturas de madeira. NBR 7190:1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. Projeto de estruturas de madeira - Parte 1: Critérios de dimensionamento. NBR 7190-1:2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. Projeto de estruturas de madeira - Parte 3: Métodos de ensaio para corpos de prova isentos de defeitos para madeiras de florestas nativas. NBR 7190-3:2022.

Calil Junior, C. Fôrmas de madeira para concreto armado – SET 613 Complementos de estruturas de madeira. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2005.

Silva, Ana Caroline Nascimento da; Freitas, Elisandra Vieira de; Miranda, Luan Danierik Silva de; BATISTA, Marina Alves; GOMES, Raylan Pinto. Análise do uso das fôrmas de madeira em estruturas de concreto armado- Ages, [S. l.], 2022. Disponível em: file:///D:/i7/Downloads/ATCC%20FO%CC%82RMAS%20(1).pdf. Acesso em: 16 jan. 2024.

Stamato, Guilherme Corrêa. Resistência ao embutimento da madeira compensada. Universidade de São Paulo- USP. São Carlos, 1998. Dissertação de mestrado em Engenharia de Estruturas.

Teixeira, L. T.; Guedes, M. D. Representatividade do sistema de fôrmas de madeira em superestruturas de concreto armado. Santos: Universidade Santa Cecília, 2018 44p. Monografia TCC (Bacharel em Engenharia Civil).

Teixeira, L. T.; Guedes, M. D. Técnicas Construtivas – Fôrmas Para Concreto Armado. Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia CONTECC, Palmas/TO, 17 set. 2019. Disponível em: <https://www.confea.org.br/sites/default/files/uploads-imce/Contecc2019/Civil/TECNICAS%20CONSTRUTIVAS%20-%20FORMAS%20PARA%20CONCRETO%20ARMADO.pdf>. Acesso em: 22 fev. 2024.

Maranhão, George Magalhães. Fôrmas para concreto: Subsídios para a otimização do projeto segundo a NBR 7190/97. 2000. Título de mestre em Engenharia de estruturas (Mestre Engenharia Civil) - Escola de Engenharia de São Carlos-Universidade de São Paulo, [S. I.], 2000.

Müller, Guilherme Luiz. DIMENSIONAMENTO DE FÔRMAS DE MADEIRA PARA ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO: UMA PROPOSTA TEÓRICA. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) - UNIVATES, [S. I.], 2016.