



UNIVATES

CENTRO UNIVERSITÁRIO UNIVATES

CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

**DIMENSIONAMENTO DE FÔRMAS DE MADEIRA PARA
ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO: UMA PROPOSTA
TEÓRICA**

Guilherme Luiz Müller

Lajeado, junho de 2016



Guilherme Luiz Müller

**DIMENSIONAMENTO DE FÔRMAS DE MADEIRA PARA
ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO: UMA PROPOSTA
TEÓRICA**

Monografia apresentada na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso – Etapa II, do Curso de Engenharia Civil, do Centro Universitário UNIVATES, como parte da exigência para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Me. Rafael Mascolo

Lajeado, junho de 2016

Guilherme Luiz Müller

**DIMENSIONAMENTO DE FÔRMAS DE MADEIRA PARA
ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO: UMA PROPOSTA
TEÓRICA**

A Banca examinadora abaixo aprova a Monografia apresentada na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso – Etapa II, na linha de formação específica em Engenharia Civil, do Centro Universitário UNIVATES como parte da exigência para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil:

Prof. Me. Rafael Mascolo - orientador
Centro Universitário UNIVATES

Prof. Me. Marcelo Freitas Ferreira
Centro Universitário UNIVATES

Prof. Me. João Batista Gravina
Centro Universitário UNIVATES

Lajeado, junho de 2016

Dedico este trabalho à minha família e namorada, pelo apoio incondicional e que sempre estiveram do meu lado durante esta importante etapa de minha vida.

RESUMO

No cenário competitivo atual no qual a construção civil encontra-se, utilizar e desenvolver novas tecnologias são essenciais para as empresas. O estímulo em comum entre elas é a redução de custos, os prazos e a mão de obra qualificada. Neste contexto, o estudo das fôrmas, conhecidas como uma estrutura provisória que serve para dar forma ao concreto fresco é de suma importância, pois além de influenciar diretamente na qualidade da estrutura da edificação, também apresenta significativa participação no custo total da estrutura e conseqüentemente na construção como um todo. Assim, o estudo sobre o dimensionamento das fôrmas é interessante a ponto de que se pode tirar proveito para que se possa reduzir os custos e aprimorar o procedimento executivo das construções. Desta forma, o trabalho versa sobre dimensionamentos de fôrmas de madeira para pilares e vigas de concreto armado, a fim de determinar e verificar os espaçamentos necessários para montagem das mesmas. Após as verificações conclui-se que quatro das cinco empresas analisadas poderiam ter reduções dos travamentos, tanto para pilares, como para as vigas. Isso traria reduções significativas de custos e prazos. Apenas uma das empresas não poderia ter reduções, pois já adota espaçamentos máximos.

Palavras-chave: Dimensionamento de fôrmas. Fôrmas de madeira. Concreto.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Carga vertical em fôrmas de laje.....	23
Figura 2 - Carga vertical e horizontal em fôrmas de viga	24
Figura 3 - Carga horizontal em fôrmas de pilares	24
Figura 4 - Corte esquemático da pressão horizontal em fôrmas de pilares	25
Figura 5 - Eixos principais em relação à direção das fibras	27
Figura 6 - Comparação de retratilidades	29
Figura 7 - Amostragem de chapas de madeira compensada	31
Figura 8 - Posicionamento das lâminas no compensado	31
Figura 9 - Arranjo das lâminas e adesivo de ligação.....	32
Figura 10 - Exemplo de reforço em painel	35
Figura 11 - Diagrama da pressão lateral	45
Figura 12 - Desenvolvimento da envoltória da pressão lateral do concreto	46
Figura 13 - Diagrama do empuxo do concreto e altura hidrostática	47
Figura 14 - Diagrama de pressão do concreto nas faces laterais da fôrma	48
Figura 15 - Diagrama para determinação da pressão do concreto	50
Figura 16 - Diagrama de pressões nas fôrmas para vigas	51
Figura 17 - Vigamento primário e secundário das fôrmas de pilares	52
Figura 18 - Sarrafo de estruturação posicionado na vertical da fôrma	56
Figura 19 - Dimensões do pilar	61
Figura 20 - Pressão do concreto	61
Figura 21 - Espaçamentos máximos	62
Figura 22 - Dimensões da viga.....	62
Figura 23 - Espaçamento lateral	63

Figura 24 - Estruturação horizontal	64
Figura 25 - Espaçamento máximo fundo da fôrma.....	64
Figura 26 - Travamentos primários da fôrma de pilar.....	68
Figura 27 - Travamento primário da fôrma de pilar	72

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1- Espaçamentos adotados e calculados da empresa A.....	67
Gráfico 2 - Espaçamentos adotados e calculados da empresa B	69
Gráfico 3 - Espaçamentos adotados e calculados da empresa C	70
Gráfico 4 - Espaçamentos adotados e calculados da empresa D	71
Gráfico 5 - Espaçamentos adotados e calculados da empresa E	71
Gráfico 6 - Comparativo entre as empresas.....	73
Gráfico 7 - Espaçamentos dos travamentos para fôrmas de vigas da empresa A	76
Gráfico 8 - Espaçamentos dos travamentos para fôrmas de vigas da empresa B	77
Gráfico 9 - Espaçamentos dos travamentos para fôrmas de vigas da empresa C....	78
Gráfico 10 - Espaçamentos dos travamentos para fôrmas de vigas da empresa D..	78
Gráfico 11 - Espaçamentos dos travamentos para fôrmas de vigas da empresa E ..	79
Gráfico 12 - Comparativo entre as empresas.....	80

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Prazos de desforma	22
Tabela 2 - Dimensões de comercialização das chapas de compensado	33
Tabela 3 - Dimensões de pregos	36
Tabela 4 - Coeficientes de majoração	39
Tabela 5 - Fatores de minoração	40
Tabela 6 - Valores de $k_{mod, 1}$	41
Tabela 7 - Valor de $k_{mod, 2}$	41
Tabela 8 - Classes de umidade	42
Tabela 9 - Características físicas e geométricas de compensados	43
Tabela 10 - Classificação da consistência do concreto de acordo com o abatimento	49
Tabela 11 - Valores do fator K_0	50
Tabela 12 - Levantamento de dados para fôrmas de pilares	65
Tabela 13 - Levantamento de dados para fôrmas de vigas	73

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

ABNT Associação Brasileira de Normas Técnicas

ACI *American Concrete Institute*

DIN *Deutsches Institut Für Normung*

NBR Norma Brasileira Regulamentadora

b = largura

E = módulo de elasticidade

F = força

f_{wd} = resistência da madeira

f_{wk} = resistência característica da madeira

h = altura

H = altura

J = momento de inércia

k = constante

kg = quilograma

k_{mod} = coeficiente de modificação

KN = quilonewton

L = distância entre os centros de suporte

$L_{máx}$ = flecha máxima

M = momento admissível

m = metro

m² = metro quadrado

m³ = metro cúbico

mm = milímetro

n = número de unidades

P = pressão

P_C = empuxo ou pressão máxima do concreto

Q = pressão

$Q_{C,máx}$ = empuxo ou pressão máxima do concreto

R = velocidade de enchimento

T = temperatura do concreto

tf = tonelada força

U_{am} = umidade relativa do ambiente

U_{eq} = umidade de equilíbrio da madeira

W = módulo de resistência

°C = graus Celsius

δ = diâmetro do prego

ψ = ações variáveis

σ_{adm} = tensão admissível

γ = peso específico

γ_w = coeficiente de ponderação

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	15
1.1 Objetivos	16
1.1.1 Objetivo principal	16
1.1.2 Objetivos Específicos	16
1.2 Justificativa.....	17
1.3 Delimitações do trabalho.....	17
1.4 Problema de pesquisa	17
1.5 Estrutura do trabalho	18
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	19
2.1 Conceito geral sobre fôrmas para estruturas de concreto armado.....	19
2.1.1 Definição de fôrmas e escoramento	20
2.1.2 Importância das fôrmas	20
2.1.3 Influência das fôrmas no prazo de execução e no custo da edificação....	20
2.1.4 Funções das fôrmas.....	21
2.1.5 Desforma	22
2.2 Cargas atuantes nas fôrmas	22
2.3 Fôrmas de madeira	25

2.3.1 Fisiologia da madeira.....	25
2.3.2 Propriedades físicas e mecânicas da madeira	26
2.3.2.1 Teor de umidade.....	27
2.3.2.2 Densidade	28
2.3.2.3 Retratilidade.....	28
2.3.2.4 Resistência à compressão	29
2.3.2.5 Resistência à tração.....	30
2.3.3 Painéis derivados de madeira	30
2.3.4 Solidarização e reforço dos painéis	35
2.3.5 Pregos	35
3 DIMENSIONAMENTO DE FÔRMAS.....	38
3.1 Definições e critérios	38
3.2 Estimativa das resistências características.....	43
3.3 Valores de cálculo das resistências	44
3.4 Deformações máximas (flechas).....	44
3.5 Pressão lateral do concreto	44
3.5.1 Pressão lateral em fôrmas para pilares e vigas.....	47
3.6 Dimensionamento de fôrmas para pilares	51
3.7 Dimensionamento de fôrmas para vigas.....	55
4 METODOLOGIA.....	58
4.1 Levantamento de dados	58
4.2 Método de dimensionamento de fôrmas para pilares.....	58
4.3 Método de dimensionamento de fôrmas para vigas	59

5 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	60
5.1 Criação de planilha eletrônica para obtenção dos resultados.....	60
5.1.1 Pilares.....	60
5.1.2 Vigas.....	62
5.2 Vistorias realizadas.....	64
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	81
SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	83
REFERÊNCIAS.....	84
ANEXOS.....	86

1 INTRODUÇÃO

Utilizadas desde o início da história do concreto armado, as fôrmas constituem um conjunto de elementos que permitem dar forma a estrutura. Portanto, ela é uma estrutura provisória e deve atender algumas condições para que sua montagem e desfôrma garantam a modelagem projetada.

Desta forma, segundo Salgado (2014, p. 51) as fôrmas para o concreto armado precisam atender alguns requisitos como, execução rigorosamente de acordo com as dimensões indicadas no projeto, resistência adequada aos esforços para não se deformar sob a ação do concreto fresco até que o mesmo atinja resistência mecânica suficiente para autosuporte, e rugosidade superficial para o concreto conforme a requerida de acordo com o projeto.

“A importância das fôrmas para concreto na concepção, na execução e nos custos da estrutura de um edifício, justifica plenamente um estudo detalhado do seu dimensionamento e a melhor escolha dos materiais” (NAZAR, 2007, p. 30). Seguindo o conceito do autor, nas edificações habitacionais e comerciais com múltiplos pavimentos, o custo das fôrmas e escoramento, pode variar de 25% até 30% do total da estrutura. Além do mais, o estudioso afirma que, um mal dimensionamento pode causar ao longo do período de execução, fissuras, as quais podem comprometer o desempenho e durabilidade da estrutura de concreto armado.

No geral, de acordo com Nazar (2007, p. 31), na construção civil as fôrmas de madeira, geralmente compostas por chapas de compensado resinado ou

plastificado, tábuas e pontaletes, são as mais utilizadas dentre os materiais que podem compor um sistema de fôrmas, por apresentarem características que atendem às especificações com o menor custo. O critério para adotar um sistema de fôrmas depende do custo da obra e do prazo de execução, ou seja, deve haver um estudo sobre possibilidades de adotar um sistema alternativo, como o metálico, em que é possível alugar os materiais que compõem as fôrmas.

Embora as fôrmas sejam estruturas provisórias, não deveria se enquadrá-las nesta categoria, pois durante a execução de uma estrutura as sobrecargas, segundo Nazar (2007, p. 31) são, na maioria das vezes, acima daquelas previstas no projeto definitivo e, desta maneira, requerem um rigoroso dimensionamento para sua execução, garantindo suas necessidades e segurança da edificação.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo principal

Este trabalho possui como objetivo principal, apresentar um correto dimensionamento do sistema de fôrmas de madeira para pilares e vigas de concreto armado, demonstrando um método de cálculo para o mesmo e comparando-o em cinco obras diferentes.

1.1.2 Objetivos Específicos

- ✓ Verificação das condições de fôrmas e escoramentos, e do dimensionamento adequado do sistema, se houver;
- ✓ Revisão teórica sobre o dimensionamento de fôrmas;
- ✓ Apresentação de cálculos de dimensionamento de fôrmas;
- ✓ Desenvolvimento de planilhas eletrônicas que auxiliem no dimensionamento do sistema de fôrmas de madeira;

1.2 Justificativa

O tema de dimensionamento de fôrmas e escoramento na maioria das universidades é aplicado de maneira breve e sem aprofundamento. Nas disciplinas de projetos estruturais, as fôrmas são apenas um curto tópico dentro delas, não contendo características, nem mesmo o tipo de material a ser utilizado e o processo de dimensionamento e execução das fôrmas.

Com isso, a procura por essas informações se torna difícil, porém, são de grande valia ao mercado da construção civil. Dentre os custos totais de uma edificação, as fôrmas podem atingir valores muito expressivos, sendo que se o sistema for estudado e adaptado ao mercado, certamente será possível obter uma relação de custo menor do que o atual.

1.3 Delimitações do trabalho

O presente trabalho delimita-se ao estudo de cinco obras de diferentes empresas, ambas situadas no Vale do Taquari, para que se possa ter comparativos entre as técnicas de execução das fôrmas. O dimensionamento se limitou às fôrmas de madeira com chapas de compensado plastificado para vigas e pilares. A metodologia de cálculo foi baseada nos estudos de Silva (1998) e SH Fôrmas (2008).

1.4 Problema de pesquisa

As atividades desenvolvidas nos canteiros de obras diariamente referente às fôrmas para estruturas de concreto armado, atendem um dimensionamento básico? Métodos primitivos e por experiência ainda predominam nos canteiros quanto a montagem de fôrmas?

1.5 Estrutura do trabalho

O presente trabalho aborda em seu segundo capítulo, uma revisão teórica sobre os conceitos gerais sobre a fisiologia da madeira, suas propriedades e também retrata definições e importâncias de fôrmas de madeira para estruturas de concreto armado.

O terceiro capítulo apresenta a revisão teórica do dimensionamento de fôrmas. Além disto, destaca valores normativos para auxiliar nos cálculos. Ao fim do capítulo, menciona sobre a pressão exercida do concreto em fôrmas de madeira para pilares e vigas, sendo que este, é predominante no roteiro de cálculo presente no conteúdo.

O quarto capítulo expõe a metodologia utilizada para o dimensionamento das fôrmas, descrevendo o processo adotado nos cálculos que serão feitos para obtenção dos resultados.

O quinto capítulo apresenta os resultados das visitas técnicas nas obras. Além disto, gráficos e tabelas comparativas, são analisadas os espaçamentos dos travamentos utilizados pelas empresas e também os espaçamentos calculados pelo presente trabalho.

O sexto capítulo é composto pelas considerações finais do trabalho.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Serão abordados neste capítulo definições e conceitos gerais sobre os sistemas de fôrmas para estruturas em concreto armado, com ênfase para dimensionamentos do sistema, escolha correta do modelo e comparativos entre os mais usuais na região do Vale do Taquari.

2.1 Conceito geral sobre fôrmas para estruturas de concreto armado

Azevedo (2008, p. 05) cita que:

A tecnologia de fôrma, amplamente utilizada pela maioria das construtoras atualmente, teve início nos canteiros de obra no fim da década de 60. O desenvolvimento deu-se embasado nos conhecimentos da engenharia civil, completando com as observações e experiências do dia a dia dos canteiros. O objetivo principal, na época, era a otimização dos custos através da melhoria de produtividade e do menor consumo de materiais com aumento do número de reaproveitamento dos mesmos.

Com o passar do tempo, a necessidade de conhecimentos técnicos sobre o dimensionamento do conjunto de fôrmas cresceu, e, segundo Salvador (2007, p. 34), a execução do sistema era feito por profissionais que utilizavam mais conhecimentos empíricos do que propriamente do conhecimento técnico. Seguindo de acordo com Salvador (2007, p. 35), no final da década de 80, algumas empresas brasileiras demonstraram preocupações com a utilização das fôrmas, criando normas internas para aperfeiçoar os processos e gerar uma estrutura básica para projetar, produzir e montar as fôrmas.

2.1.1 Definição de fôrmas e escoramento

De modo breve, pode-se definir a fôrma como um item auxiliar para moldar e dar geometria ao concreto armado, com uma função básica de suportar o concreto fresco até que ele possa se auto suportar. Já o escoramento compreende todos os elementos que servem de suporte provisório, com função de apoiar integralmente o sistema de fôrmas.

2.1.2 Importância das fôrmas

Desde os primórdios do concreto armado, as fôrmas são utilizadas para moldar a estrutura. Segundo Clélio Júnior (1997, texto digital), além desta função básica, é necessário que suporte cargas até que o concreto atinja a resistência prescrita em projeto. É, portanto, uma estrutura provisória que deve atender alguns requisitos para que sua montagem e desfôrma propiciem ao concreto, o acabamento da superfície desejado.

Segundo Azevedo (2008, p. 7), a fôrma é um dos subsistemas que compõem o grupo construtivo, em prol das necessidades do empreendimento. Todos estes subsistemas contribuem para o resultado do conjunto. Ainda nos conceitos do autor, a fôrma tem uma particularidade única dentro deste cenário, que é iniciar todo o processo, e por isso, passa a ser a referência para os demais, estabelecendo e padronizando a exigência para a obra. O autor relata ainda que o desempenho do sistema de fôrma exerce forte influência na qualidade, prazo e custo do empreendimento.

2.1.3 Influência das fôrmas no prazo de execução e no custo da edificação

Assahi (2005, p. 4) destaca que:

No processo produtivo tradicional de edifícios (elementos estruturais moldados “in-loco”), a execução da estrutura sempre faz parte do caminho crítico na composição do cronograma físico. Desconsiderando-se alguns casos atípicos, a execução da estrutura consome, aproximadamente, 50%

do prazo total de execução. Por sua vez, a fôrma é responsável por 60% deste, concluindo-se que ela consome 30% do prazo total do empreendimento. Ou seja, as atividades de montagem da fôrma são responsáveis por, aproximadamente 30% do caminho crítico do cronograma físico, elegendo-se uma das atividades de maior influência no prazo de execução de qualquer empreendimento civil com estrutura em concreto armado.

Para o autor, o custo da estrutura representa cerca de 20% a 25% do empreendimento e o da fôrma, entre 25% a 40% da estrutura, equivalentes 5% a 10% do custo total de uma obra. Esta variação se dá a vários fatores, sendo os principais como, o sistema de fôrma adotado, índice de reaproveitamento dos materiais, potencializado ou minimizado pela definição arquitetônica adotada e produtividade da equipe, sendo este o principal, responsável por 50% a 70% do item.

2.1.4 Funções das fôrmas

De certa maneira, as fôrmas ainda são entendidas como um item auxiliar para moldar o concreto armado, tendo como função básica suportar o concreto no estado fresco até seu estado de endurecimento. Segundo Araújo e Freire (2004, p. 7), destacam além das características básicas, algumas atribuições como:

- Moldar o concreto no seu estado fresco;
- Manter o concreto fresco e sustenta-lo até que tenha resistência suficiente para se auto sustentar;
- Proporcionar à superfície do concreto a textura definida em projeto
- Ajudar no suporte para o posicionamento da armação, permitindo a colocação de espaçadores, garantindo o cobrimento necessário da armadura;
- Servir de suporte para o posicionamento de elementos das instalações e outros itens embutidos;
- Proteger o concreto contra choques mecânicos; e
- Garantir estanqueidade para que não haja perda de água do concreto, facilitando a cura.

Ainda com os conceitos dos autores, verifica-se que são muitas as responsabilidades das fôrmas, destacando a importância e a necessidade de

garantir o seu desempenho através da sua concepção, do seu dimensionamento e da sua execução.

2.1.5 Desforma

Como principal função do sistema de fôrmas é moldar o concreto fresco até seu estado final, com resistência mecânica suficiente para suportar as cargas projetadas. A Desforma do sistema, somente poderá ocorrer quando o concreto atingir o endurecimento capaz de suportar os esforços que nele atuarem. Os prazos para remoção do sistema de fôrmas, segundo Maranhão (2000, p. 164), são destacados na Tabela 1. Há uma variação no tempo de desforma em função do tipo de cimento utilizado no concreto, sendo que o tempo de retirada das fôrmas com a utilização do cimento ARI (alta resistência inicial) é menor, em comparação ao cimento Portland comum.

Tabela 1 - Prazos de desforma

Tipos de fôrmas	Cimento Portland CP-IV	Cimento Portland CP-V (alta resistência inicial)
Paredes, pilares e faces laterais de vigas	03 dias	02 dias
Lajes de até 10cm de espessura	07 dias	03 dias
Faces inferiores de vigas com reescoramento	14 dias	07 dias
Lajes com mais de 10cm de espessura e faces inferiores de vigas com menos de 10m de vão	21 dias	07 dias
Arcos e faces inferiores de vigas com mais de 10m de vão	28 dias	10 dias

Fonte: Adaptado pelo autor com base em Maranhão (2000, p. 164).

2.2 Cargas atuantes nas fôrmas

Para um melhor entendimento e cálculos dos elementos que compõem o sistema de fôrmas, evitando transtornos ou erros nos dimensionamentos, que podem trazer sobre custos desnecessários e, deformações excessivas, é necessário o conhecimento das cargas atuantes, tanto na intensidade quanto na forma de aplicação.

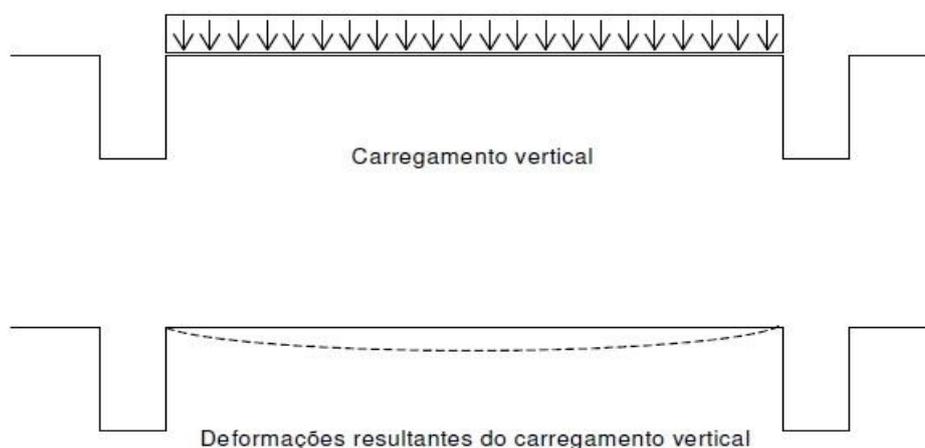
Cristiani apud Araújo e Freire (2004, p. 8), menciona que se tratando de uma estrutura provisória, as cargas a serem consideradas são aquelas devidas ao peso próprio do concreto armado, ao peso próprio do sistema de fôrmas e às cargas acidentais. Ainda conforme o autor, alguns fatores que influenciam na pressão lateral das fôrmas, entre eles:

- Peso próprio do concreto;
- Método e velocidade de lançamento do concreto sobre a fôrma;
- Altura do elemento estrutural;
- Altura de lançamento do concreto;
- Vibração proveniente do adensamento;

Todos os carregamentos são importantes e, segundo Araújo e Freire (2004, p. 8), as cargas devido ao peso do concreto, são de um modo geral mais significativas. Para a avaliação dos esforços que agem sobre as fôrmas, são consideradas as cargas verticais, horizontais e oblíquas, provenientes de inclinações no molde.

Para as fôrmas de lajes planas, predominam as cargas verticais como as principais atuantes, Segundo Araújo e Freire (2004, p. 8) o carregamento vertical é o mais importante, porém, solicitações derivadas da ação do vento ou de choques laterais podem resultar em cargas horizontais. A atuação da carga vertical, bem como sua deformação oriunda desta, é visto na Figura 1.

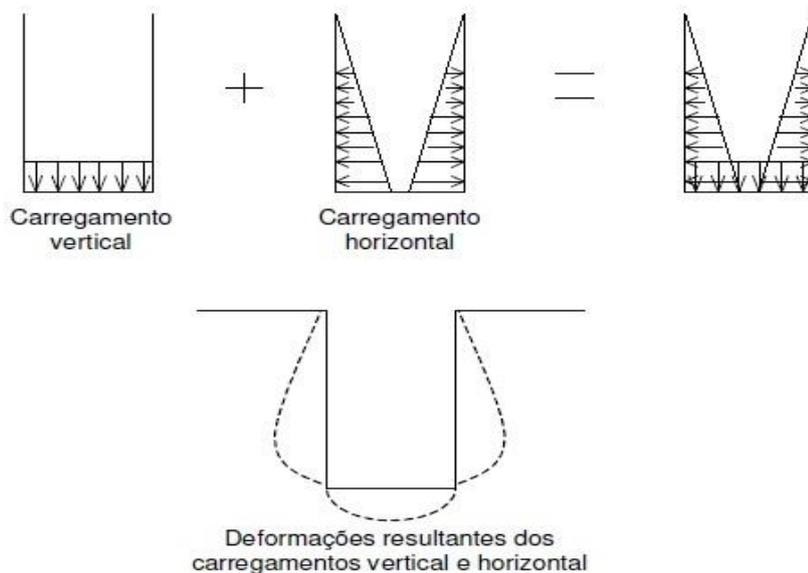
Figura 1 - Carga vertical em fôrmas de laje



Fonte: Araújo e Freire (2004, p. 9).

As fôrmas de vigas, recebem cargas verticais e horizontais, diferentemente das fôrmas de laje, conforme a Figura 2.

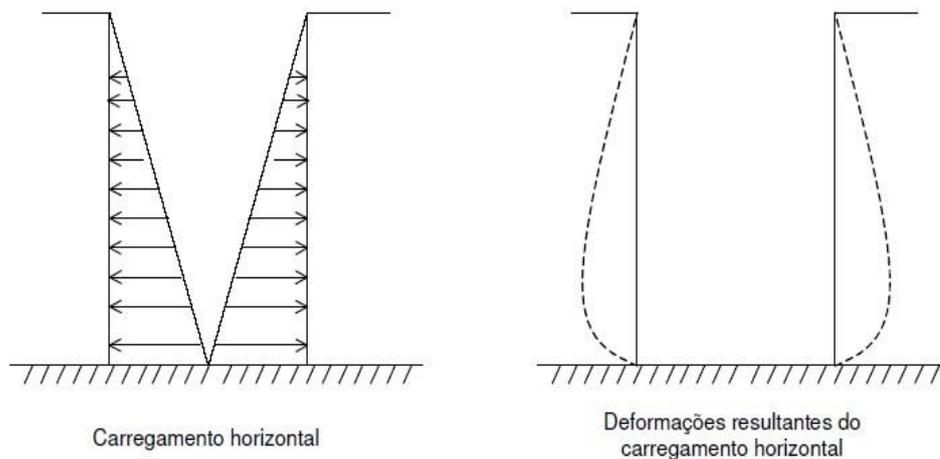
Figura 2 - Carga vertical e horizontal em fôrmas de viga



Fonte: Araújo e Freire (2004, p. 9).

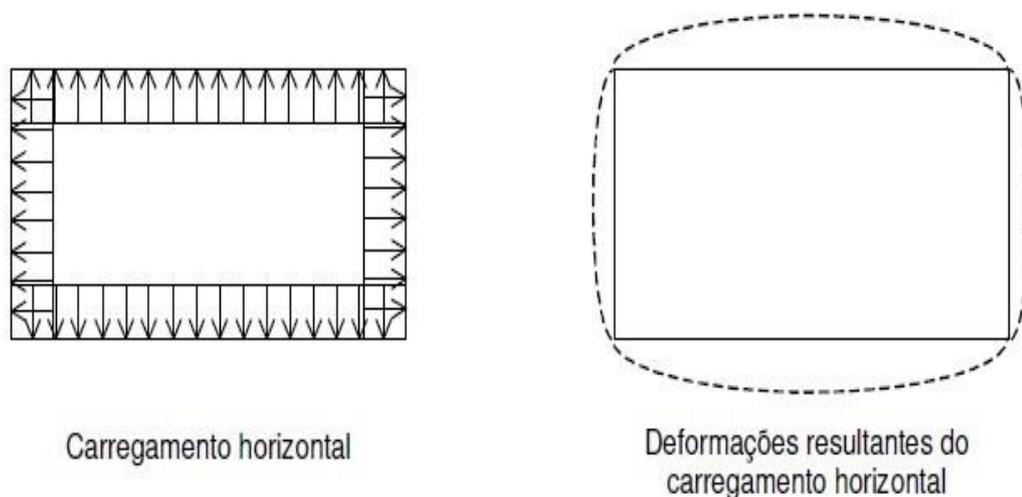
As fôrmas dos pilares são essencialmente solicitadas pelos carregamentos horizontais, provenientes das pressões laterais do concreto, mostrados nas Figuras 3 e 4.

Figura 3 - Carga horizontal em fôrmas de pilares



Fonte: Araújo e Freire (2004, p. 10).

Figura 4 - Corte esquemático da pressão horizontal em fôrmas de pilares



Fonte: Araújo e Freire (2004, p. 11).

2.3 Fôrmas de madeira

Para Moliterno apud Salvador (2013, p. 24), a produção de fôrmas para estruturas de concreto, têm a madeira como o material mais utilizado no Brasil. Em decorrência da necessidade de se reduzir custos e prazos, o processo de fabricação do modo quase artesanal caminha para a industrialização e especialização, completa o autor.

A madeira apresenta um ponto essencialmente importante, que é a facilidade que este material apresenta em se ajustar às mais variadas formas. Além disto, a madeira possui resistência significativa, segundo Rezende (2010, p. 24), o que torna o material altamente indicado para utilização em fôrmas.

2.3.1 Fisiologia da madeira

Nazar (2007, p. 46), destaca que a estrutura da árvore é basicamente constituída de uma medula central envolvida por anéis de crescimento e recoberta por um tecido especial chamado casca. Entre a casca e o conjunto de anéis de

crescimento, chamado lenho, existe uma camada delgada fluida denominada de câmbio, que é considerada a parte viva da árvore.

De acordo com Costa Junior e Filho (2008, p. 2), a madeira é um material que apresenta uma ótima relação resistência/peso, que pode explicar a utilização em grande escala na execução das fôrmas. Ainda segundo os autores, as madeiras possuem características técnicas e estéticas raramente encontradas em outros materiais. Comparada ao concreto, a madeira tem uma resistência mecânica superior e com a vantagem de ter o peso próprio reduzido.

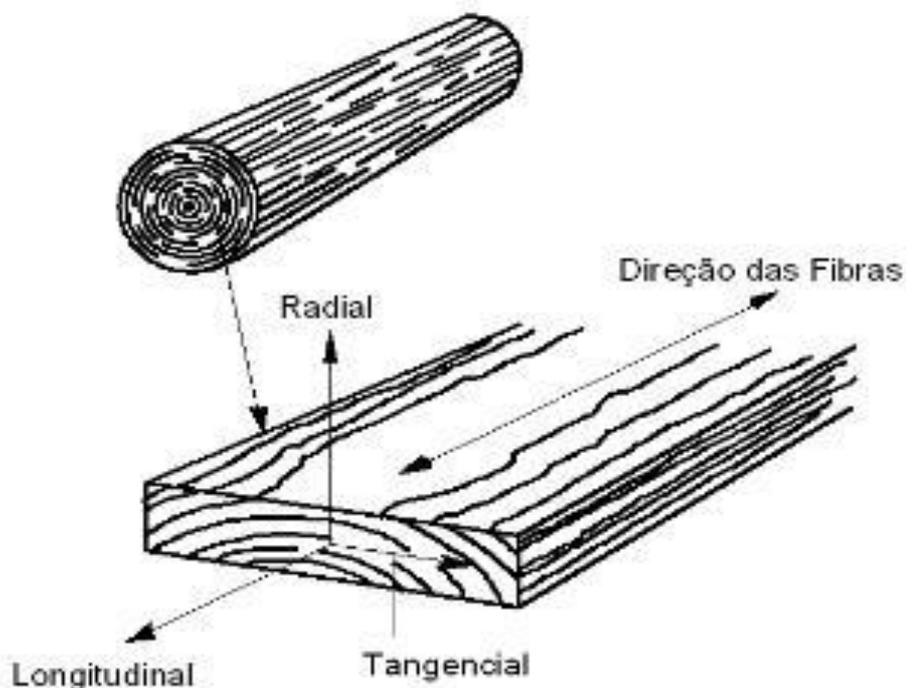
2.3.2 Propriedades físicas e mecânicas da madeira

As principais características físicas da madeira, importantes para o correto dimensionamento, para o controle de qualidade das fôrmas e para a utilização nas construções em geral são de acordo com Nazar (2007, p. 51):

- Teor de umidade;
- Densidade;
- Retratilidade;
- Resistência ao fogo;
- Durabilidade natural;
- Resistência química;

Seguindo os conceitos do autor, trata-se de um material ortotrópico, ou seja, que tem um comportamento diferente em relação à direção das fibras. Além disso, ele destaca que a madeira possui três eixos perpendiculares entre si, sendo eles o longitudinal, radial e o tangencial, considerando a posição das camadas de crescimento dentro da peça, conforme ilustrado na Figura 5.

Figura 5 - Eixos principais em relação à direção das fibras



Fonte: Calil Junior apud Nazar (2007, p. 52).

2.3.2.1 Teor de umidade

A madeira, segundo Correia (2009, p. 15) é um material higroscópico, ou seja, tem a característica de absorver umidade até alcançar o equilíbrio com o ambiente em que se encontra. Esta variação de umidade interna da madeira firma-se como um dos principais fatores no seu comportamento, provocando alterações nas suas propriedades físicas e mecânicas.

Para uma melhor compreensão da influência da umidade na madeira, a água neste material é composta basicamente em água livre e água de impregnação. De acordo com Martins (2010, p. 22), suas definições sobre os estados de umidade são:

- Água de impregnação é a que aparece entre as fibras e as células lenhosas, fazendo com que a madeira inche, alterando seu comportamento mecânico. Quando esta água impregna toda a madeira atinge-se o teor de umidade de saturação do ar.

- Água livre é apenas a que preenche os vasos capilares e é fruto de qualquer incremento de água depois de ser atingido o teor de umidade de saturação do ar.

Segundo Nazar (2007, p. 54) o teor de umidade correspondente ao mínimo de água livre e ao máximo de água de impregnação é denominado ponto de saturação das fibras. O percentual de saturação para as madeiras Brasileiras fica em torno de 25%, na qual até este percentual pouco dano ocorre ao material. O autor enfatiza ainda que, após este ponto a perda de umidade é seguida de retração com respectivas reduções de dimensões e aumento de resistência. Para cálculos estruturais a NBR 7190 (ABNT, 1997), especifica a umidade de 12% como referência para ensaios e valores de resistência.

2.3.2.2 Densidade

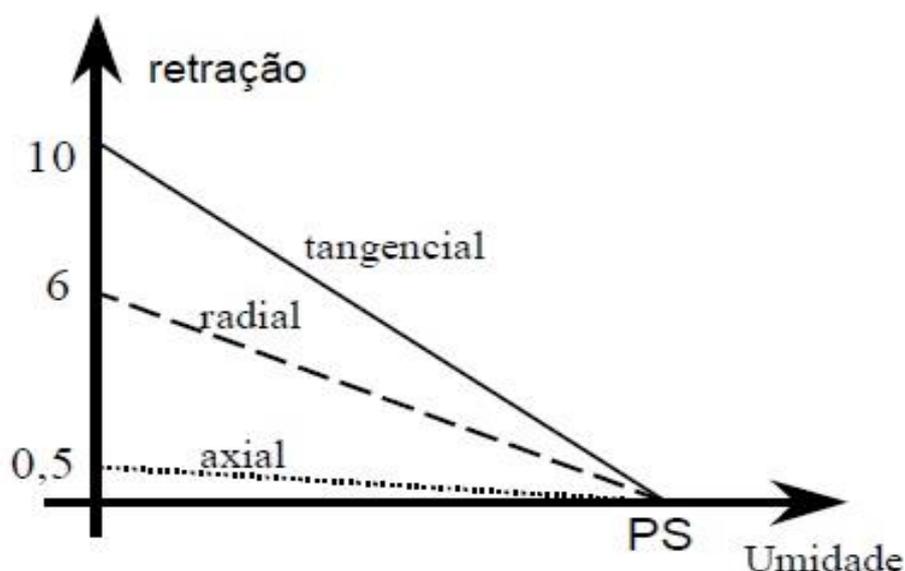
Para Correia (2009, p. 17) e Calil Junior et al. (2003, p. 27), o valor da densidade da madeira é fortemente influenciado pelo seu teor de água, sendo que, a densidade, também conhecida como massa volumétrica, é uma medida do peso da madeira por unidade de volume. Além disso, ela é uma das principais características físicas da madeira, porque condiciona a maioria das propriedades mecânicas. Conforme Calil Junior, Lahr e Dias (2003, p. 28), há uma relação muito consistente entre a densidade e a resistência mecânica, de modo que as madeiras mais pesadas são em geral mais resistentes. Além disso, os autores concluem afirmando que este é um parâmetro que varia em função do teor de água da madeira, o qual influencia não só o peso, mas também o seu volume.

2.3.2.3 Retratilidade

A madeira tem comportamento anisotrópico, ou seja, as propriedades físicas e mecânicas dependem da direção em que são medidas. Esse comportamento tem variação de retração nas três direções. Segundo Gesualdo (2003, p. 11) a madeira

tem maior retratibilidade na direção tangencial, seguida pela radial e longitudinal (axial), conforme a Figura 6, abaixo.

Figura 6 - Comparação de retratibilidades



Fonte: Gesualdo (2003, p. 11).

2.3.2.4 Resistência à compressão

Como a madeira é um material fibroso, sua resistência depende da direção da carga aplicada. Por isso, segundo Martins (2010, p. 29) é importante distinguir entre compressão axial ou transversal, ora a carga seja paralela ou transversalmente ao fibra. Ele afirma que a madeira se destaca de outros materiais por estar relacionada com o fato de ela apresentar uma resistência à compressão.

A madeira quando tem carga de compressão aplicada na direção das fibras, segundo Correia (2009, p. 22), apresenta valores de resistência que variam entre 16 a 34Mpa, sendo que esta é cerca de 40% do valor de resistência à tração paralela as fibras. O autor completa que a solicitação à compressão no sentido axial provoca separação das fibras longitudinais, diminuindo a coesão do elemento estrutural, ou

seja, sua resistência global. Além disso, o estudioso contempla que o aumento da resistência à compressão está diretamente ligado à umidade e à massa volumétrica, sendo que a resistência de compressão será a mínima quando atinge-se o valor de umidade de 25% (ponto de saturação).

No sentido perpendicular às fibras, a madeira, segundo Correia (2009, p. 23) e Martins (2010, p. 30), pode ter mudança de forma da sua seção transversal e redução das cavidades celulares, e dependendo da distribuição da carga no elemento, pode até gerar esmagamento. Os autores salientam que a resistência à compressão no sentido perpendicular às fibras é bastante inferior se comparado ao sentido paralelo às fibras, chegando em valores 20% à 25% menores.

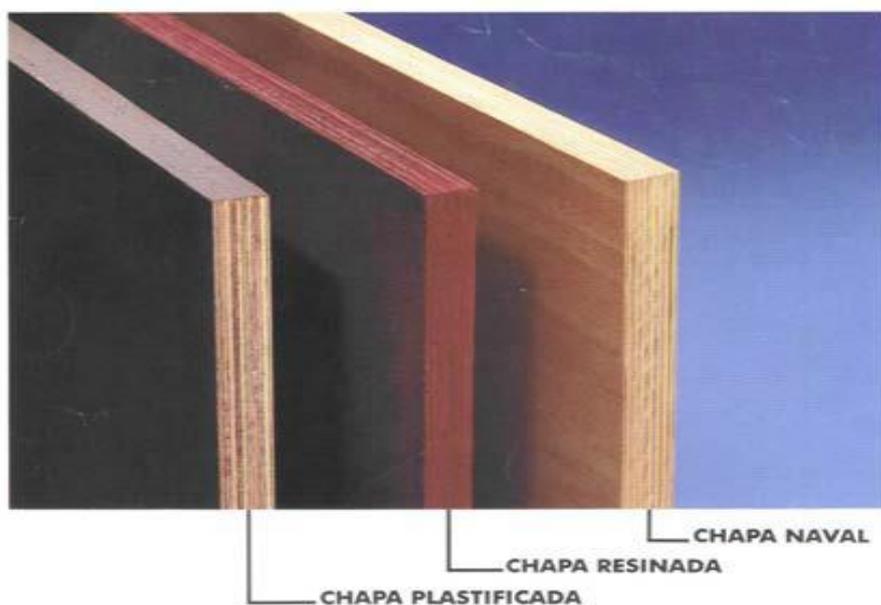
2.3.2.5 Resistência à tração

“A resistência à tração na direção perpendicular às fibras é muito reduzida, 25 a 50 vezes menor que na direção paralela. O valor característico da resistência à tração perpendicular das fibras é de 0,3 a 0,9 MPa” (CORREIA, 2009, p. 23). Ele destaca que esta baixa resistência justifica-se pelo escasso número de fibras que a madeira possui na direção perpendicular ao eixo das árvores, conseqüentemente, não há travamentos transversais das fibras longitudinais.

2.3.3 Painéis derivados de madeira

Os painéis derivados de madeira, ou mais conhecidos como chapas compensadas, conforme Figura 7, são utilizados hoje em substituição às tábuas nos painéis das fôrmas. No mercado, as peças mais largas que se encontram facilmente são as tábuas de 30cm de largura, mas, esta dimensão impõe uma restrição quanto a montagem de painéis de fôrmas. Segundo Calil Junior apud Morikawa (2003, p. 17) a industrialização da madeira compensada iniciou nos Estados Unidos e Alemanha, utilizando algumas espécies de madeira de baixa densidade, e atualmente está difundida pelos países do mundo com um processo de fabricação que utiliza a maioria das espécies de madeira.

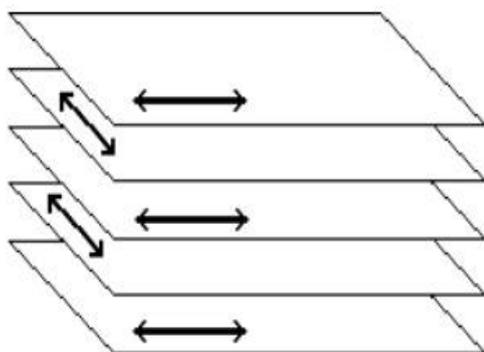
Figura 7 - Amostragem de chapas de madeira compensada



Fonte: Morikawa (2003, p. 17).

Os compensados de madeira recebem este nome por apresentar, em função da distribuição das lâminas que os compõem, uma compensação na distribuição de tensões, quando solicitado. De acordo com Nazar (2007, p. 55), normalmente as lâminas são assentadas uma sobre as outras em direções perpendiculares entre si, como mostrado na Figura 8, proporcionando ao painel de compensado uma excelente resistência mecânica, tornando-o à prova de movimentações de contração e expansão.

Figura 8 - Posicionamento das lâminas no compensado

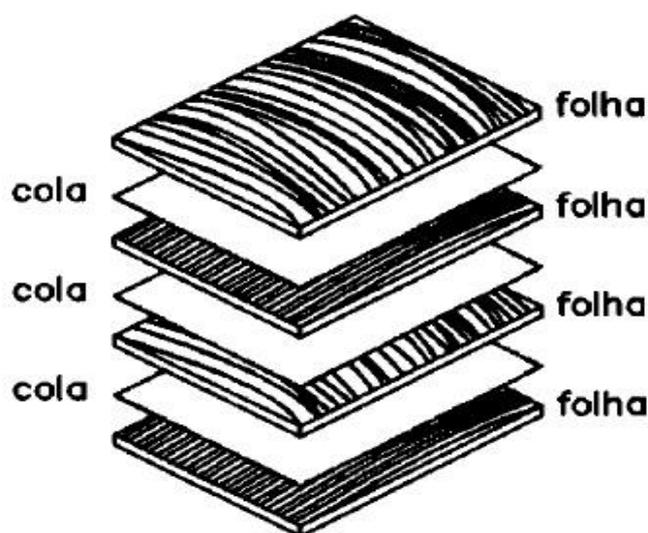


Fonte: Stamato (2002, p. 7).

A madeira compensada é colada e composta por lâminas que podem variar de 1,5 a 5cm de espessura. O adesivo de colagem dessas lâminas segundo Morikawa (2003, p. 19) é de origem sintética (fenolformaldeído, resorcinol-formaldeído) e tem função de ligar as camadas, conforme a Figura 9. O volume de adesivo não deve ultrapassar 1% do volume total do composto. O estudioso enfatiza que é de suma importância a qualidade do adesivo, sendo fundamental para as características de resistência e elasticidade da chapa.

Estes painéis têm variações nas faces externas do seu acabamento na superfície. Há chapas com as faces externas lixadas e com um tratamento superficial, e outras possuem uma película plástica nas lâminas externas.

Figura 9 - Arranjo das lâminas e adesivo de ligação



Fonte: Calil Junior (2000).

Segundo Maranhão (2000, p. 20) os compensados resinados recebem em sua superfície a aplicação de uma resina fenólica líquida, que é estendida sobre a mesma. As faces laterais também recebem esta aplicação. O autor destaca ainda que este processo é mais simplificado e mais barato. Este tipo de revestimento não sofre um processo de polimerização eficiente, e a proteção que oferece à chapa é bastante precária, já que a resina, aos poucos, durante os processos de

concretagem, vai sendo retirada da sua superfície. Sendo assim, o número de reaproveitamentos de uma mesma chapa fica limitado, geralmente de 4 a 5 utilizações.

A chapa de compensado plastificado, segundo Costa Junior e Filho (2008, p. 4) possui suas faces revestidas com filme fenólico, sob forma de filme. As laterais também são totalmente seladas com resina do tipo epóxi ou similar, a prova d'água. Dessa forma, segundo Maranhão (2000, p. 20) obtém-se do compensado plastificado uma vida útil muito elevada, comparado ao painel resinado, sendo seu reaproveitamento em média de 15 utilizações por face de cada chapa.

Atualmente no mercado, são comercializados dois tamanhos padrões, que são as chapas de 1,10m x 2,20m e 1,22m x 2,44m. O que varia é a espessura da chapa e o número de lâminas, o que, conseqüentemente muda o índice de reaproveitamento dos painéis, conforme mostra a Tabela 2.

Tabela 2 - Dimensões de comercialização das chapas de compensado

Espessura (mm)	Comprimento x largura (m)	N° de lâminas	N° de reutilizações	
6	2,20x1,10	3	10 a 12	
	2,44x1,22			
8	2,20x1,10	5		
	2,44x1,22			
10	2,20x1,10	5		
	2,44x1,22			
12	2,20x1,10	5		
	2,44x1,22			
14	2,20x1,10	5		10 a 12
		7		12 a 14
15	2,44x1,22	7		12 a 14
17	2,20x1,10			
18	2,44x1,22	7	12 a 14	
		9	14 a 16	
		11	16 a 18	
		13	18 a 21	
20	2,20x1,10	11	18 a 21	
21	2,44x1,22			
25	2,20x1,10	13		
	2,44x1,22			

Fonte: Adaptado pelo autor com base em Globalwood (2015).

As propriedades de resistência e rigidez da madeira compensada podem ser influenciadas por alguns fatores, tais como:

- Fatores geométricos (quantidade e espessura das lâminas)
- Tipo de material (espécie da madeira; teor de umidade)
- Fatores de carga (tipo de carregamento; direção das tensões em relação as fibras das lâminas de face do compensado e o tempo de duração dessa carga)

Segundo Stamato (2002, p. 14) e Maranhão (2000, p. 22), a resistência ao cisalhamento no plano da chapa de compensado é superior à resistência ao cisalhamento da madeira maciça, devido à laminação cruzada. Para Olin apud Stamato (2002, p. 14), as múltiplas camadas finas de lâminas de madeira, posicionadas ortogonalmente resultam em grande resistência ao fendilhamento, o que permite menores espaçamentos no caso de ligações por pinos. De natureza igual à madeira maciça, o compensado também está sujeito a variações dimensionais devido à variação do teor de umidade, da temperatura e de outros elementos. Em relação à expansão e contração conjunta, no compensado, a expansão na direção perpendicular é minimizada pelo cruzamento das lâminas que formam o painel.

Outro fator destacado por Stamato (2002, p. 15), é que o compensado permite cortes em qualquer dimensão, o que facilita a execução de elementos fletidos, formando curvas com raios bem definidos. Além do mais, o compensado é facilmente conectado pelos meios mecânicos usuais (pregos, parafusos, grampos) e por cola. Novamente enfatizado que pela distribuição das lâminas no painel em si, permitem a colocação de pregos e parafusos mais próximos às bordas e extremidades em relação à madeira maciça.

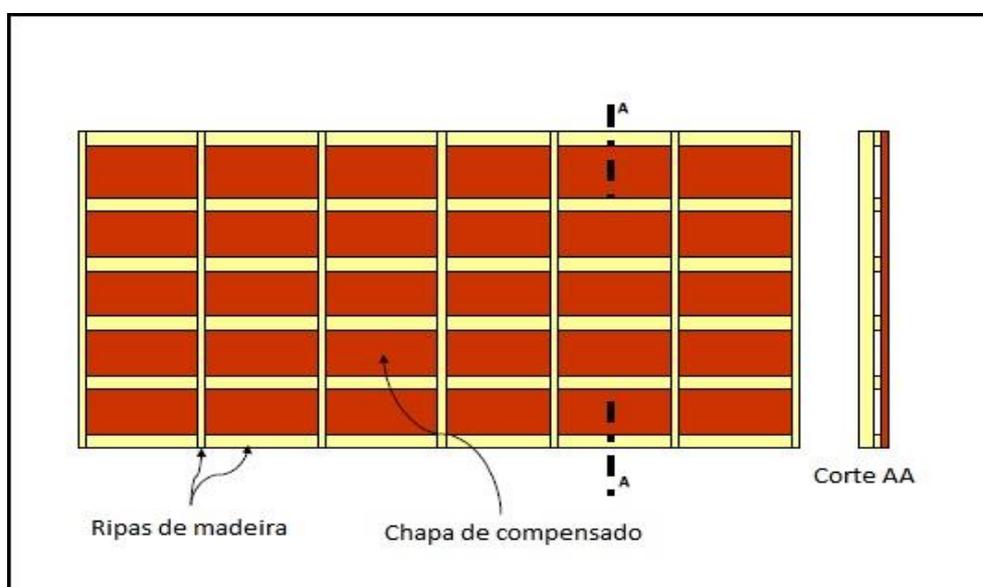
Com estas ênfases, destaca-se que o compensado é um ótimo material para utilização em fôrmas para concreto armado, e a chapa plastificada tem como seu melhor parâmetro o índice de reaproveitamento elevado.

2.3.4 Solidarização e reforço dos painéis

Ao utilizar painéis de chapas de compensado para fôrmas de vigas, pilares, paredes e lajes, é adequado reforçar as chapas a fim de obter um melhor rendimento pelo aumento da rigidez delas. Além do mais, como visto anteriormente é de suma importância que o concreto fresco (mole) permaneça com as dimensões projetadas e executadas até o seu estado final (endurecido).

Assim que lançado o concreto à fôrma, a mesma é submetida à pressões devidos as cargas atuantes, as quais estão descritas no item 2.2 (cargas atuantes nas fôrmas). Basicamente o reforço dos painéis pode ser feito através de madeira (tábuas, ripas, pontaletes), peças metálicas ou sistemas mistos de peças de madeira e metálicas, conforme apresenta a Figura 10.

Figura 10 - Exemplo de reforço em painel



Fonte: Adaptado pelo autor com base em Hollerschmid (2015, p. 18).

2.3.5 Pregos

As ligações com pregos são as mais utilizadas no mercado, sendo rara a utilização de outros tipos de conectores. Segundo Pfeil e Pfeil (2003, p. 59) os

pregos são fabricados com arame de aço-doce, em grande variedade de tamanhos. A variedade de tamanhos de pregos, quanto ao comprimento e a bitola é muito vasta, conforme a Tabela 3, porém cabe ao projetista uniformizar ao máximo a utilização desses pregos na execução e montagem das fôrmas.

Os autores destacam que com a penetração do prego na madeira, as fibras se afastam, podendo ocorrer fendilhamento na madeira, ou seja, rachadura. Para evitar isto, os estudiosos abordam que as normas de projeto prescrevem regras construtivas envolvendo dimensões e espaçamentos entre os pregos. Geralmente o diâmetro do prego é 1/8 a 1/10 da menor espessura da madeira atravessada. De acordo com a NBR 7190 (ABNT, 1997), o diâmetro do prego não deve exceder 1/5 da menor espessura atravessada.

Tabela 3- Dimensões de pregos

Nomenclatura comercial	Bitola (mm)	Comprimento (mm)
13 x 18	2,00	41,00
14 x 18	2,20	41,00
14 x 21	2,20	43,00
14 x 27	2,20	62,00
15 x 18	2,40	41,00
15 x 21	2,40	48,00
15 x 27	2,40	62,00
16 x 21	2,70	48,00
16 x 24	2,70	55,00
16 x 27	2,70	62,00
17 x 24	3,00	55,00
17 x 27	3,00	62,00
17 x 30	3,00	69,00
18 x 24	3,40	55,00
18 x 27	3,40	62,00
18 x 30	3,40	69,00
18 x 33	3,40	76,00
18 x 36	3,40	83,00
19 x 27	3,90	62,00
19 x 30	3,90	69,00
19 x 33	3,90	76,00
19 x 36	3,90	83,00
19 x 39	3,90	90,00

Fonte: Adaptado pelo autor com base em Maranhão (2000, p. 87).

Para a confecção das fôrmas, utilizam-se pregos para solidificar a estrutura. Dessa forma, as peças que são pregadas, estão sujeitas a uma força de arrancamento, sendo que a NBR 7190 (ABNT, 1997), preconiza considerar uma força admissível, pela equação 1 abaixo:

$$F = k \cdot \delta^3 \quad (1)$$

Sendo:

F = Força admissível do prego ao arrancamento (kg)

δ = Diâmetro do prego (mm)

k = Constante, alternando em 4,5 para madeiras com densidade menor que 600kg/m³ e 7,5 para madeiras com densidade maior que 600kg/m³.

3 DIMENSIONAMENTO DE FÔRMAS

A fôrma é uma estrutura, mesmo que provisória, e, portanto deve ser dimensionada.

Segundo Assahi (2005, p. 106), o completo dimensionamento exige dois estudos distintos, sendo primeiro o da fôrma e o segundo de cimbramento. Estes, são para proporcionar a rigidez e resistência necessária a cada um dos componentes do sistema. O modelo matemático que envolve o dimensionamento das fôrmas é grande. Deve ser considerado todo o conjunto de ações que atuam sobre as fôrmas, destacados no item 2.2 (cargas atuantes nas fôrmas).

3.1 Definições e critérios

Os critérios para o dimensionamento utilizam os coeficientes da Norma brasileira. A seguir, são definidos conceitos básicos para o entendimento de algumas deduções, segundo Nazar (2007, p. 98 e 99).

- **Estados limites:** São os estados assumidos pela estrutura, a partir dos quais apresenta desempenhos inadequados às finalidades da construção;
- **Estados limites últimos:** São os que por sua simples ocorrência determinam a paralisação, no todo ou em parte, do uso da construção;

- **Estados limites de utilização:** São os que, por sua ocorrência, repetição ou duração, causam efeitos estruturais que não respeitam as condições especificadas para o uso normal da construção, ou que são indícios de comprometimento da durabilidade da estrutura;
- **Ações permanentes:** São as que apresentam pequena variação durante praticamente toda a vida da construção;
- **Ações variáveis:** Ao contrário das ações permanentes, apresentam variação significativa durante a vida da construção;
- **Ações excepcionais:** São as que apresentam duração extremamente curta e com baixa probabilidade de ocorrência durante a vida da construção;

Quanto as ações permanentes, deve-se ter conhecimento de sua definição, porém não existe no dimensionamento de fôrmas e cimbramento.

De acordo com a NBR 7190 (ABNT, 1997), a Tabela 4, indica o coeficiente de majoração e a Tabela 5 aponta os fatores de minoração, que são utilizados nos cálculos para o dimensionamento de fôrmas.

Tabela 4 – Coeficientes de majoração

Combinações	Ações variáveis em geral, incluídas as cargas acidentais móveis	Efeitos da temperatura
Normais	$\gamma_Q = 1,4$	$\gamma_\varepsilon = 1,2$
Especiais ou de construção	$\gamma_Q = 1,2$	$\gamma_\varepsilon = 1,0$
Excepcionais	$\gamma_Q = 1,0$	$\gamma_\varepsilon = 0$

Fonte: NBR 7190 (ABNT, 1997, p. 13).

Tabela 5 - Fatores de minoração

Cargas acidentais dos edifícios	Ψ_0	Ψ_1	Ψ_2
Locais em que não há predominância de pesos de equipamentos fixos, nem de elevadas concentrações de pessoas	0,4	0,3	0,2
Locas onde há predominância de pesos de equipamentos fixos, ou de elevadas concentrações de pessoas	0,7	0,6	0,4
Bibliotecas, arquivos, oficinas e garagens	0,8	0,7	0,6

Fonte: NBR 7190 (ABNT, 1997, p. 09).

Sendo:

Ψ_0 – Ações variáveis secundárias para o estado limite último.

Ψ_1 – Ações variáveis de média duração para o estado limite de utilização.

Ψ_2 – Ações variáveis de longa duração para o estado limite de utilização.

A NBR 7190 (ABNT, 1997) destaca ainda, os coeficientes de modificação k_{mod} afetam os valores de cálculo das propriedades da madeira em função da classe de carregamento da estrutura, da classe de umidade admitida e do eventual emprego da madeira de segunda categoria.

O Coeficiente de modificação k_{mod} é formado pela equação 2:

$$k_{mod} = k_{mod,1} \cdot k_{mod,2} \cdot k_{mod,3} \quad (2)$$

A Tabela 6 apresenta o coeficiente $k_{mod,1}$, que leva em conta a classe de carregamento e o tipo de material empregado.

Tabela 6 - Valores de $k_{mod,1}$

Classes de carregamento	Tipos de madeira	
	Madeira serrada, madeira laminada colada, madeira compensada	Madeira recomposta
Permanente	0,60	0,30
Longa duração	0,70	0,45
Média duração	0,80	0,65
Curta duração	0,90	0,90
Instantânea	1,10	1,10

Fonte: NBR 7190 (ABNT, 1997, p. 18).

O coeficiente parcial de modificação $k_{mod,2}$ leva em conta a classe de umidade e o tipo de material empregado, indicado na Tabela 7.

Tabela 7 - Valor de $k_{mod,2}$

Classes de umidade	Madeira serrada, madeira laminada colada, madeira compensada	Madeira recomposta
(1) e (2)	1,00	1,00
(3) e (4)	0,80	0,90

Fonte: NBR 7190 (ABNT, 1997, p. 18).

De acordo com Nazar (2007, p. 100), os valores de $k_{mod,2}$ são referenciados conforme as Tabelas 7 e 8. No caso de fôrmas, esse coeficiente é sempre 0,8, devido as condições de uso (umidade acima de 85%).

Tabela 8 - Classes de umidade

Classe de umidade	Umidade relativa do ambiente (Ua)	Umidade de equilíbrio da madeira (Ue)
1	$\leq 65\%$	12%
2	$65\% \leq Ua \leq 75\%$	15%
3	$75\% \leq Ua \leq 85\%$	18%
4	Ua $\geq 85\%$ durante longos períodos	$\geq 25\%$

Fonte: NBR 7190 (ABNT, 1997, p. 13).

A ABNT (1997) especifica valores de ponderação da resistência em função das fibras da madeira que são:

- Coeficiente de ponderação para os estados limites últimos decorrentes de tensões de compressão paralela às fibras tem o valor básico de:

$$\gamma_{wc}=1,4$$

- Coeficiente de ponderação para os estados limites últimos decorrentes de tensões de tração paralela às fibras tem o valor básico de:

$$\gamma_{wt}=1,8$$

- Coeficiente de ponderação para os estados limites últimos decorrentes de tensões de cisalhamento paralelo às fibras tem o valor básico de:

$$\gamma_{wv}=1,8$$

- Coeficiente de ponderação os para estados limites últimos de utilização tem o valor básico de

$$\gamma_w=1,0$$

Nazar (2007, p. 102) salienta ainda os parâmetros para caracterização de madeira compensada, utilizadas no dimensionamento de fôrmas, segundo as pressões de trabalho e deformação máxima (flecha). Na Tabela 9 estão indicadas as características físicas e geométricas para compensados.

Tabela 9 - Características físicas e geométricas de compensados

Compensado (mm)	Dimensões		Nº de laminas	Módulo de elasticidade (E) (kgf/cm ²)	Momento de inércia (J) (cm ⁴)	Módulo de resistência (W) (cm ³)	Tensão admissível (kgf/cm ²)
	a	b					
18	110	220	9	70949	53,46	59,40	102,00
18	110	220	7	63383	53,46	59,40	102,00
15	110	220	7	69130	30,94	41,25	85,00
15	110	220	5	69331	30,94	41,25	85,00
12	110	220	5	68990	15,84	26,40	68,00

Fonte: Adaptado pelo autor com base em Nazar (2007, p. 102).

3.2 Estimativa das resistências características

O Valor característico da resistência a ser utilizado nos cálculos deve ser estimado pela equação 3, conforme a NBR 7190 (ABNT, 1997). Este é calculado para uma amostra com pelo menos seis exemplares, retirados de modo distribuído de um lote com volume máximo de 12m³.

$$f_{wk} = \left(2 \frac{f_1 + f_2 + \dots + f_{\frac{n}{2}-1}}{\frac{n}{2}-1} - f_{\frac{n}{2}} \right) \times 1,1 \quad (3)$$

Nesta expressão de acordo com a NBR 7190 ABNT apud Maranhão (2007, p. 70), os resultados devem ser colocados em ordem crescente ($f_1 \leq f_2 \leq \dots \leq f_n$) desprezando o valor mais alto se o número de amostras for ímpar, não se tomando para f_{wk} valor inferior a f_1 , nem a 0,70 do valor médio.

Além disto, a NBR 7190 (ABNT, 1997), indica que para as espécies de madeira já investigadas em laboratórios idôneos, que apresentam valores médios de resistência, correspondente a diferentes teores de umidade, há uma fórmula, representada na equação 4, para ter-se um valor de resistência médio no teor de umidade padrão de 12%.

$$f_{12} = f_{U\%} \left[1 + \frac{3(U\% - 12)}{100} \right] \quad (4)$$

3.3 Valores de cálculo das resistências

Os valores de cálculo de acordo com a NBR 7190 (ABNT, 1997), são determinadas em função das resistências de cálculo dos materiais, expressas pela equação 5:

$$f_{wd} = k_{mod} \frac{f_{wk}}{\gamma_w} \quad (5)$$

Sendo, f_{wk} a resistência característica do material, representado no item 3.2, γ_w representa o coeficiente de ponderação do material, e k_{mod} é o coeficiente de modificação resultante, ambos representados no item 3.1.

3.4 Deformações máximas (flechas)

É importante destacar e especificar um limite para as deformações máximas das fôrmas, pois este limite previne que as estruturas de concreto percam sua geometria projetada e criem ondulações na superfície do concreto. Este cálculo, de acordo com Maranhão (2000, p. 76) e Nazar (2007, p. 102) é expresso pela equação 6, abaixo:

$$\frac{L}{350} \quad (6)$$

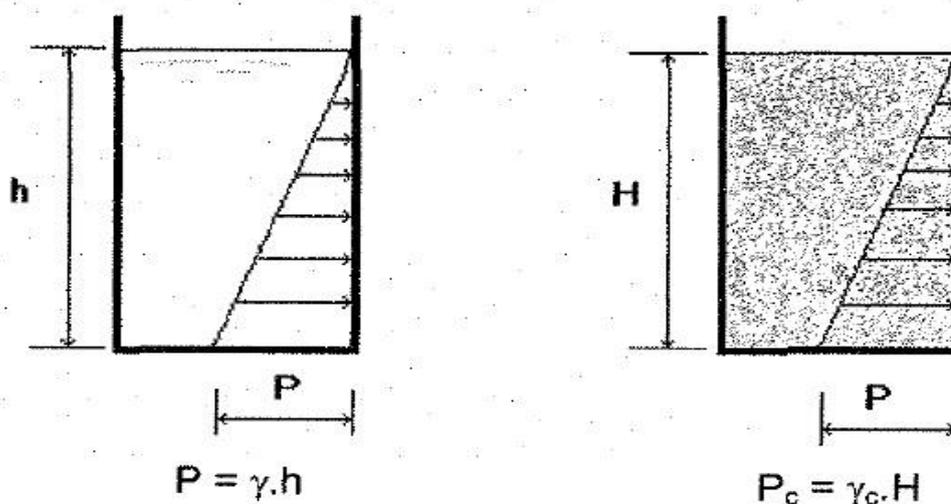
Sendo L, a distância entre os centros de suporte.

3.5 Pressão lateral do concreto

Quando o concreto é lançado numa fôrma ele é contido pelas laterais da fôrma. Segundo Da Cruz (1997, p. 23), a fôrma precisa responder à pressão causada pela massa, que tende a posição de equilíbrio. No entanto, ao se realizar o adensamento, esse repouso é perturbado por uma fluidificação da mistura que passará a se comportar de modo semelhante a um líquido. A autora complementa ainda que, quando este líquido é mantido num reservatório, exerce pressão sobre as

paredes laterais, cujo valor dependerá de sua massa volumétrica e da altura final em relação ao fundo do recipiente. Desta maneira o concreto se comportará de modo similar, conforme ilustrado na Figura 11.

Figura 11 - Diagrama da pressão lateral



Fonte: da Cruz (1997, p. 24).

Como para o dimensionamento das fôrmas é fundamental o conhecimento da pressão que o concreto exerce sobre as paredes do molde, o autor Nazar (2007, p.113) destaca da seguinte forma:

Os carregamentos impostos pelo concreto fresco nas paredes de vigas ou de colunas são sensivelmente diferentes dos carregamentos em lajes horizontais. O concreto comporta-se como um fluido produzindo pressões hidrostáticas que atuam lateralmente nas fôrmas verticais. A pressão lateral efetiva é influenciada pelo peso, velocidade de concretagem, temperatura da mistura do concreto, uso de retardadores e pelo efeito da vibração ou métodos de adensamento.

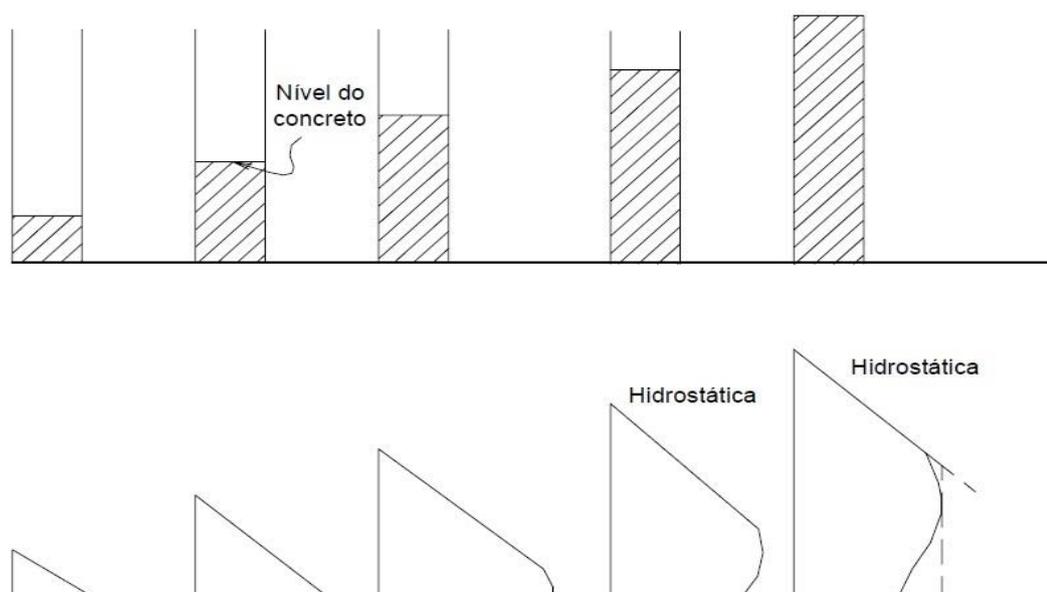
O Autor realça estes fatores individualmente:

- **Peso do concreto:** tem influência direta na pressão hidrostática. A pressão é a mesma em todas as direções e pode-se considerar a densidade em 2.400kg/m^3 .
- **Velocidade de concretagem:** A velocidade de concretagem tem efeito primário na pressão lateral das fôrmas e essa pressão é proporcional até o limite da pressão total.

- **Temperatura:** A temperatura do concreto na hora do lançamento tem importante influência na pressão, pois afeta o tempo para o início de endurecimento.
- **Vibração:** A vibração interna tende a consolidar o concreto e aumenta de 10% a 20% a pressão lateral, quando comparada com o concreto lançado sem vibração.

Se a velocidade de concretagem é grande, a pressão sobre a fôrma será máxima e se for baixa, as primeiras porções de concreto lançado poderão desenvolver uma resistência cisalhante, isto é, poderão estar com a pega iniciada, dentro de um certo tempo, o que reduz o valor da pressão do concreto, ilustrado na Figura 12, abaixo.

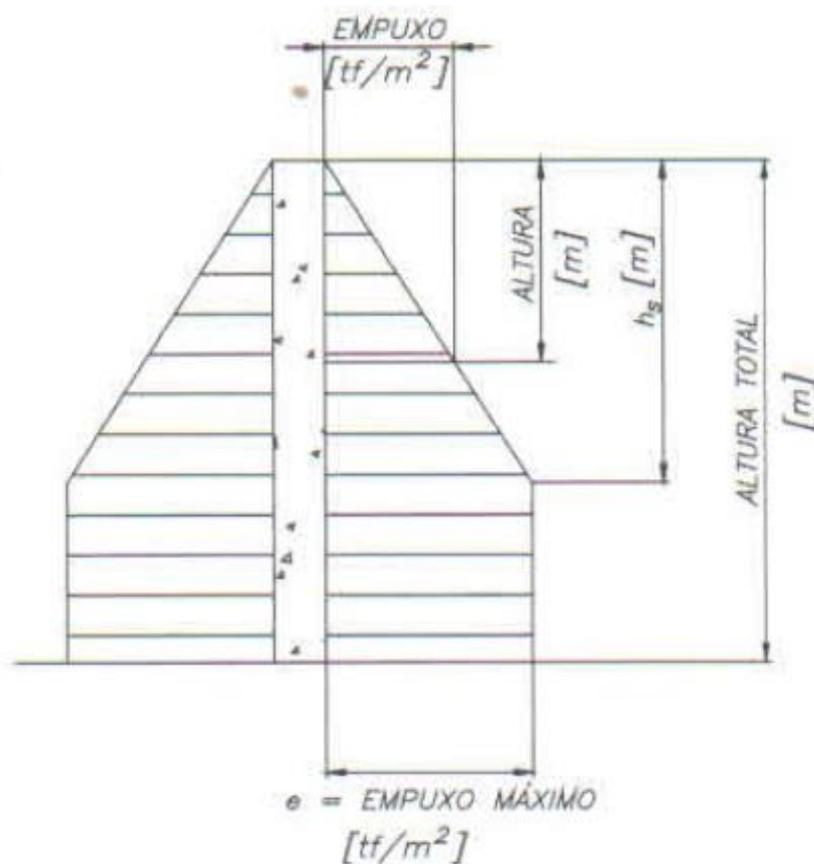
Figura 12 - Desenvolvimento da envoltória da pressão lateral do concreto



Fonte: Gardner apud Maranhão (2000, p. 41).

Nota-se que a pressão lateral é hidrostática a partir da superfície livre, de acordo com Maranhão (2000, p. 42), alcança o máximo e então decresce, devido ao desenvolvimento de resistências cisalhantes, reduzindo a carga efetiva e diminuindo a pressão lateral, assinalado na Figura 13. Porém é desconsiderado a resistência cisalhante do concreto no dimensionamento, para que se utilize o valor máximo do empuxo (pressão) que o concreto exerce sobre as fôrmas.

Figura 13 - Diagrama do empuxo do concreto e altura hidrostática



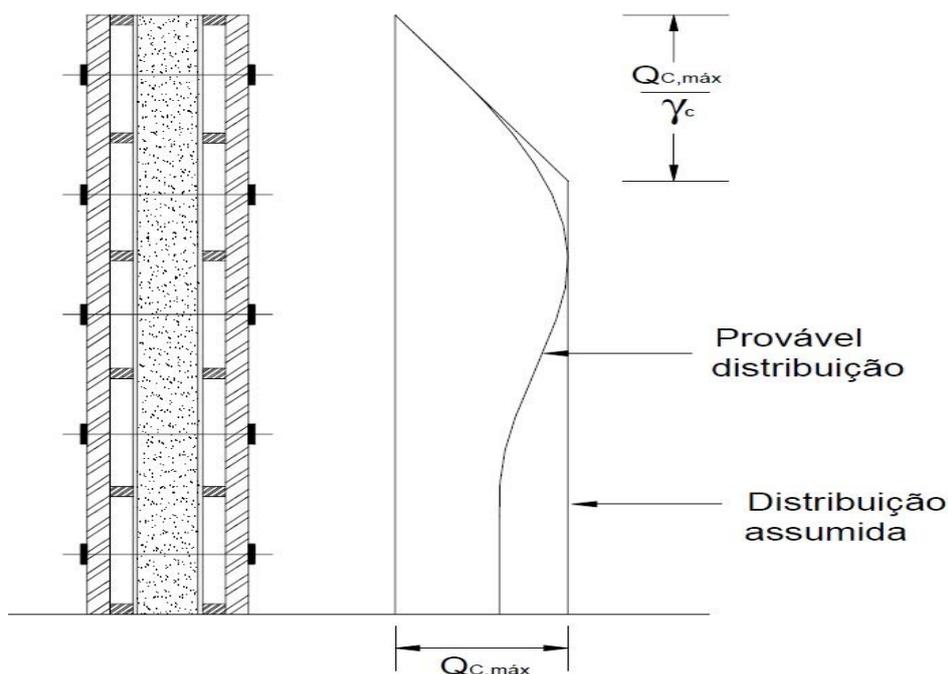
Fonte: SH Fôrmas (2008, p. 80).

3.5.1 Pressão lateral em fôrmas para pilares e vigas

O cálculo da pressão lateral que o concreto exerce nas faces laterais das fôrmas envolve muitas variáveis complexas. A obtenção dos valores foram levantados em pesquisas experimentais, sendo que cada pesquisa realizada por diferentes autores, obtiveram resultados distintos. Os métodos escolhidos, por serem mais conservadores e mais usuais na literatura Brasileira, é o American Concrete Institute (ACI) 347R/88 e o Deutsches Institut Für Normung (DIN) 18218/80.

Conforme pode ser visto na Figura 14, $Q_{C,máx}$ também retrata pressão, da mesma forma que P_C .

Figura 14 - Diagrama de pressão do concreto nas faces laterais da fôrma



Fonte: Maranhão (2000, p. 41).

Nazar (2007, p. 116) destaca que na maioria das construções, as fôrmas dos pilares são pequenas e o concreto lançado as preenche em um tempo relativamente rápido. A vibração colabora para que a pressão nas fôrmas seja maior nos pilares do que em paredes de concreto.

Segundo ACI (1988) apud Maranhão (2000, p. 44) propôs através da literatura então existente que, para o projeto de fôrmas com a profundidade de imersão do vibrador menor do que 1,25m e o concreto com abatimento menor que 100mm, a envoltória da pressão deve ser hidrostática a partir da superfície livre do concreto na fôrma até um limite dado pela equação 6 a seguir e então constante no valor limite.

- Para pilares e vigas

$$P_C = 7,2 + \frac{785.R}{T+17,8} \quad (\text{KN/m}^2) \quad (7)$$

Sendo:

R = Velocidade de enchimento (m/h)

T = Temperatura do concreto (°C)

Tendo como máximo de 144KN/m², um mínimo de 28,7KN/m², mas não deve ultrapassar $P_C = 24 \cdot H$ (pressão hidrostática – KN/m²), sendo H a altura da peça a ser concretada em (m).

Já o método de cálculo DIN 18218/80, é em função da consistência do concreto e da velocidade de enchimento, de acordo com as equações 8, 9, 10 e 11 e também pode ser determinado através da Figura 15:

- Concreto com consistência densa

$$P_C = 5 \cdot R + 21 \quad (\text{KN/m}^2) \quad (8)$$

- Concreto com consistência leve

$$P_C = 10 \cdot R + 19 \quad (\text{KN/m}^2) \quad (9)$$

- Concreto com consistência fluída

$$P_C = 14 \cdot R + 18 \quad (\text{KN/m}^2) \quad (10)$$

- Concreto com consistência muito fluída

$$P_C = 17 \cdot R + 17 \quad (\text{KN/m}^2) \quad (11)$$

Sendo:

R = Velocidade de enchimento (m/h)

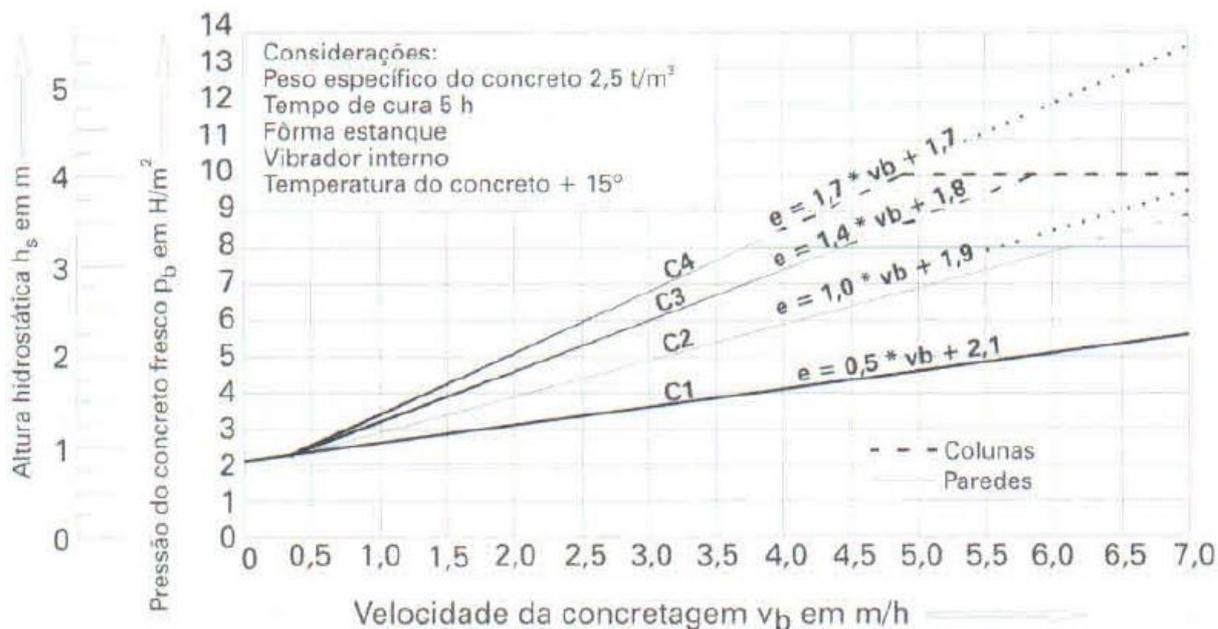
A consistência do concreto é dada pela Tabela 10, abaixo.

Tabela 10 - Classificação da consistência do concreto de acordo com o abatimento

Consistência do Concreto	Abatimento do Concreto (mm)
Mistura densa	0 a 25
Mistura leve	25 a 75
Mistura fluída	75 a 125
Mistura muito fluída	Maior que 125

Fonte: Maranhão (2000, p. 45).

Figura 15 - Diagrama para determinação da pressão do concreto



Fonte: SH Fôrmas (2008, p. 23).

A pressão calculada por este método, não pode ser maior que a pressão hidrostática $P_c = 24 \cdot H$ (KN/m²), sendo H altura máxima da peça a ser concretada, em metros.

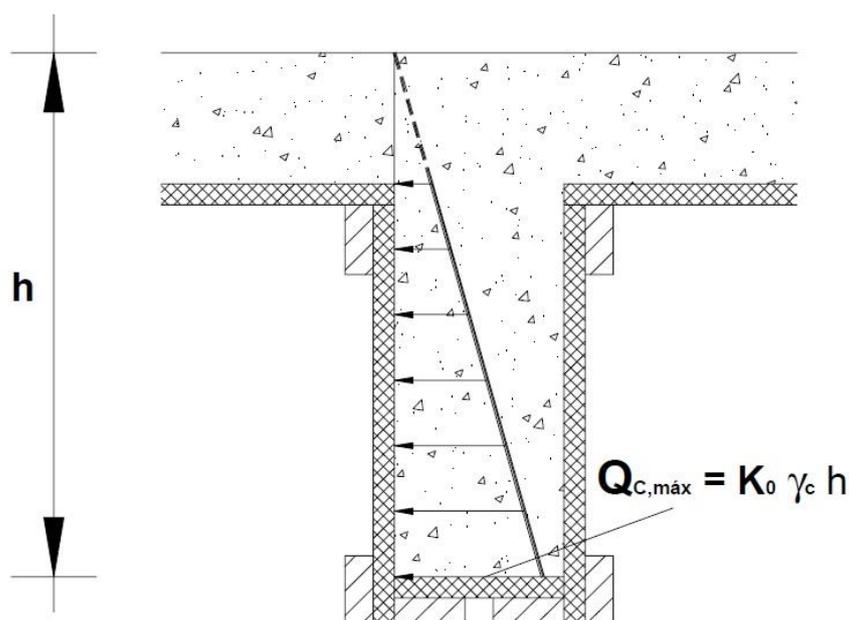
Da mesma maneira que nos pilares, a pressão lateral que o concreto exerce nas faces das fôrmas das vigas não varia linearmente com a altura, ilustrado na Figura 16. Há o acréscimo de um coeficiente K_0 , este é um fator que depende do abatimento do concreto (consistência) e de sua temperatura, como indicado na Tabela 11.

Tabela 11 - Valores do fator K_0

Abatimento (mm)	Temperatura do concreto (°C)					
	5	10	15	20	25	30
25	1,45	1,10	0,80	0,60	0,45	0,35
50	1,90	1,45	1,10	0,80	0,60	0,45
75	2,35	1,80	1,35	1,00	0,75	0,55
100	2,75	2,10	1,60	1,15	0,90	0,65

Fonte: Maranhão (2000, p. 43).

Figura 16 - Diagrama de pressões nas fôrmas para vigas



Fonte: Maranhão (2000, p. 47).

3.6 Dimensionamento de fôrmas para pilares

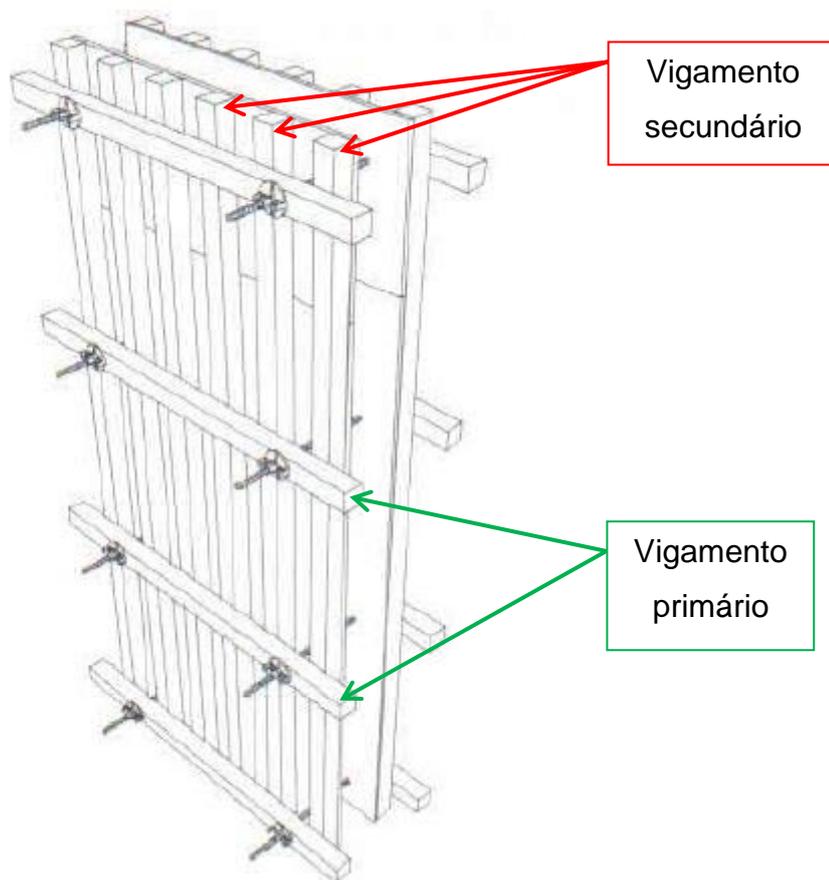
Para o dimensionamento das fôrmas de pilares, o principal fator é em função da altura de concretagem. De acordo com Silva (1998, p. 67), as fôrmas dos pilares compreendem desde sua base até o fundo da viga por ele suportada. Nas estruturas prediais, é adotado a concretagem, por via de regra, uma única vez, deste modo, as fôrmas devem prever estas alturas de concretagem. O autor destaca que cuidados são de especial atenção para as fôrmas verticais (pilares), que são, prumo, esquadro, verificação dos tensores, travamento dos cantos e verificação dos espaçadores.

O travamento de cantos, em peças prismáticas, como no caso de fôrmas quadradas e retangulares, a pressão gerada em ambos os lados da fôrma, gera uma força resultante nos cantos, com tendência de abertura e conseqüentemente uma torção da estrutura. O combate a estes esforços é efetuado por travamentos das fôrmas e nos vigamentos principais, com uso de tirantes.

Roteiro de cálculo para fôrma de pilares conforme Silva (1998) e SH Fôrmas (2008):

- 1- Conhecido as dimensões do pilar, calcula-se o empuxo do concreto fresco de acordo com o item 3.5.1. Dentre os cálculos do item citado, pode haver diferenças nos valores encontrados nos dois métodos e com isso adota-se o maior, a favor da segurança;
- 2- Escolha da espessura do compensado;
- 3- Cálculo da flecha máxima (EQUAÇÃO 12) e momento de flexão (EQUAÇÕES 13 e 14), que verificam o espaçamento máximo do vigamento secundário (sarrafo posicionado no sentido vertical), conforme Figura 17 e limitam este vão máximo;

Figura 17 - Vigamento primário e secundário das fôrmas de pilares



Fonte: SH Fôrmas (2008, p. 115).

- Flecha máxima:

$$L_{m\acute{a}x} = \sqrt[3]{\frac{0,256 * E * J}{Q}} \quad (12)$$

Sendo,

$L_{m\acute{a}x}$ = Flecha máxima (m)

E = Módulo de elasticidade, apresentado na Tabela 9

J = Momento de inércia, apresentado na Tabela 9

Q = Pressão calculada

- Momento de flexão máximo:

$$L_{m\acute{a}x} = \sqrt{\frac{8 * M}{q}} \quad (13)$$

Sendo,

$L_{m\acute{a}x}$ = Momento de flexão máximo (m)

M = Momento admissível

$$M = \sigma_{adm} * W \quad (14)$$

O momento admissível é calculado através da tensão admissível do compensado e do módulo de resistência. Estes parâmetros estão descritos na Tabela 9.

Após calculada a flecha máxima e o momento de flexão máximo, pertencentes ao passo 3, adota-se o menor valor entre eles para a utilização na montagem do sistema de fôrmas.

- 4- Cálculo vigamento primário da fôrma (sarrafo posicionado no sentido horizontal). Este também é calculado pela flecha máxima (EQUAÇÃO 12) e pelo momento de flexão máximo (EQUAÇÃO 13);

- Flecha máxima:

Momento de inércia do compensado (largura total da chapa):

$$J_{comp} = \frac{b \cdot h^3}{12} \quad (15)$$

Momento de inércia do sarrafo de estruturação:

$$J_{estr} = n * \frac{b \cdot h^3}{12} \quad (16)$$

Sendo,

n = número de sarrafos de estruturação.

Momento de inércia do compensado estruturado:

$$J_{max} = J_{comp} + J_{estr} \quad (17)$$

Carga distribuída em função da largura do pilar:

$$q = Q * l_{faixa} \quad (18)$$

Com estes dados, calcula-se a flecha máxima, com a utilização da equação 12. O momento de inércia conforme as equações 15, 16 e 17, deverá ser calculado em função da largura total do compensado e do sarrafo.

- Momento de flexão máximo:

O momento admissível do compensado é calculado através da equação 13, porém o módulo de resistência é dado pela equação 19, que é em função da largura total do compensado.

$$W = \frac{b \cdot h^2}{6} \quad (19)$$

Momento admissível do compensado:

$$M_{comp} = \sigma_{adm} * W \quad (20)$$

Sendo a tensão admissível (σ_{adm}) em função da Tabela 9 e o módulo de resistência (W) calculado pela equação 19.

Momento admissível da madeira (sarrafo):

$$M_{estr} = n * W \quad (21)$$

Sendo que o módulo de resistência (W) para a equação 21 é dado pelo Anexo A e (n) é o número de sarrafos necessários que é calculado no passo 3, através do espaçamento mínimo em função do tamanho do pilar.

Após encontrado os valores dos momentos admissíveis do compensado e da madeira, calcula-se o conjunto, somando-os, conforme equação 22.

Momento admissível do conjunto:

$$M = M_{comp} + M_{estr} \quad (22)$$

Desta maneira, encontrado o valor do momento admissível do conjunto, calcula-se o momento de flexão máximo, conforme a equação 13. Após calculada a flecha máxima e o momento de flexão máximo, mostradas no item 4, adota-se o menor valor entre eles para a utilização na montagem do sistema de fôrmas.

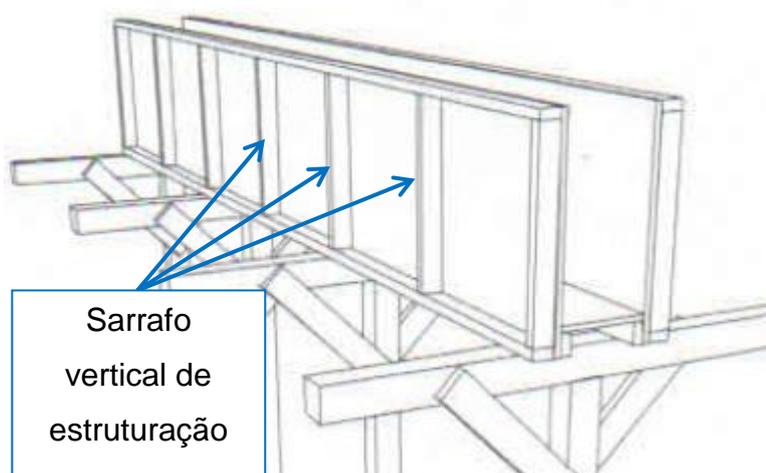
3.7 Dimensionamento de fôrmas para vigas

Para o dimensionamento do sistema de fôrmas para vigas, de acordo com Maranhão (2000, p. 92) devem suportar o empuxo do concreto fresco, calculado conforme apresentado no item 3.5.1. O dimensionamento de fôrmas para vigas é dividido em duas etapas, uma delas é calculado o espaçamento do sarrafo para a face lateral do sistema e a outra calcula-se o espaçamento do sarrafo no fundo da fôrma

Roteiro de cálculo para face lateral da viga conforme Silva (1998) e SH Fôrmas (2008):

- 1- Conhecidas as dimensões da viga, calcula-se o empuxo do concreto fresco de acordo com o item 3.5.1. Dentre os cálculos do item citado, pode haver diferenças nos valores encontrados nos dois métodos e com isso adota-se o maior, a favor da segurança;
- 2- Escolha da espessura do compensado;
- 3- Cálculo da flecha máxima (equação 12) e do momento de flexão máximo (EQUAÇÃO 13), que determinam o espaçamento máximo do sarrafo para estruturação vertical do compensado;

Figura 18 - Sarrafo de estruturação posicionado na vertical da fôrma



Fonte: SH Fôrmas (2008, p. 159).

- 4- Cálculo do sarrafo de estruturação horizontal. Dependendo da altura da viga, é necessária a utilização de sarrafos de estruturação horizontais a meia altura. Neste item será calculado se há ou não necessidade de estruturar horizontalmente o painel. Os cálculos são em função da flecha máxima (EQUAÇÃO 12) e do momento de flexão máximo (EQUAÇÃO 13). Para os cálculos da flecha máxima, os coeficientes são obtidos através da Tabela 9 e das equações 15, 16, 17 e 18. Já para o momento de flexão máximo, os coeficientes são determinados pelas Equações 19, 20, 21 e 22.

Roteiro de cálculo para o fundo da viga conforme Silva (1998) e SH Fôrmas (2008):

Para o dimensionamento do fundo da viga, é calculado o vão máximo do compensado, onde será determinado o espaçamento dos sarrafos de estruturação do sistema e também delimitar o espaçamento máximo entre apoios (escoramentos).

1- Calcula-se o empuxo do concreto fresco no fundo da fôrma, através da Equação 23, abaixo:

$$P_{C_{\max}} = K_0 * \gamma_c * H \quad (23)$$

Sendo,

$P_{C_{\max}}$ = Empuxo do concreto fresco;

K_0 = Coeficiente do concreto fresco devido a sua temperatura e consistência, conforme Tabela 11;

γ_c = Peso específico do concreto armado; adota-se 25KN/m³

2- Cálculo do espaçamento máximo do sarrafo no compensado pela flecha máxima (equação 12) e pelo momento de flexão máximo (equação 13). Os coeficientes para calcular a flecha máxima são obtidos pelas equações 15 e pela Tabela 9. Já para o dimensionamento do momento de flexão máximo, os coeficientes são obtidos pelas Equações 19 e 20.

3- Cálculo do espaçamento máximo entre apoios em função da flecha máxima (EQUAÇÃO 12) e pelo momento de flexão máximo (EQUAÇÃO 13). Para o dimensionamento da flecha máxima, os coeficientes são determinados pela Tabela 9 e pelas Equações 15, 16 e 17. Já para o momento de flexão máximo, os coeficientes são obtidos pelas equações 19, 20, 21 e 22. Após calculada a flecha máxima e o momento de flexão máximo, adota-se o menor valor encontrado entre eles, a favor da segurança.

O item 3 do dimensionamento do fundo da fôrma da viga, determina o espaçamento máximo que deverá ser utilizado de escoramento.

4 METODOLOGIA

4.1 Levantamento de dados

O levantamento de dados foi feito através de visitas técnicas em cinco obras diferentes na cidade de Lajeado/RS. Foram analisadas as condições das fôrmas, abrangendo as materialidades, dimensões e espaçamentos. A partir das materialidades observadas em cada obra, foram calculados os valores dos espaçamentos primários e secundários máximos, para que posteriormente eles sejam comparados com os espaçamentos vistos em obra. Desta forma, foi possível determinar se os valores utilizados em obra estão de acordo com o dimensionamento apresentado e se o sistema está seguro.

As etapas da metodologia adotadas para o dimensionamento do sistema de fôrmas para pilares e vigas seguiram os roteiros de cálculo estipulados abaixo.

4.2 Método de dimensionamento de fôrmas para pilares

As etapas da metodologia adotadas para o dimensionamento do sistema de fôrmas para pilares e vigas seguiram os roteiros de cálculo estipulados abaixo.

- ✓ Especificação das dimensões do pilar;
- ✓ Cálculo do empuxo (pressão) do concreto exercido sobre a fôrma, com auxílio de planilha eletrônica;

- ✓ Cálculo da altura hidrostática, onde se dá o valor máximo do empuxo do concreto, com auxílio de planilha eletrônica;
- ✓ Escolha da espessura do compensado conforme Tabela 9. Cada espessura possui diferentes propriedades físicas e mecânicas, que interferem diretamente nos resultados;
- ✓ Cálculo do espaçamento máximo do vigamento secundário (sarrafo posicionado no sentido vertical da fôrma), com auxílio de planilha eletrônica;
- ✓ Escolha das dimensões do sarrafo de estruturação (vigamento primário) posicionado no sentido horizontal da fôrma, conforme Anexo A;
- ✓ Cálculo do espaçamento máximo do vigamento primário, com auxílio de planilha eletrônica;
- ✓ Análise dos resultados;

4.3 Método de dimensionamento de fôrmas para vigas

- ✓ Especificações das dimensões das vigas;
- ✓ Cálculo do empuxo (pressão) do concreto exercido sobre a fôrma será feito tanto para a sua lateral, quanto para o fundo, com auxílio de planilha eletrônica;
- ✓ Escolha da espessura do compensado conforme Tabela 9. Cada espessura possui diferentes propriedades físicas e mecânicas, que interferem diretamente nos resultados;
- ✓ Escolha das dimensões do sarrafo de estruturação da face lateral da fôrma, conforme Anexo A;
- ✓ Cálculo do espaçamento máximo da estruturação da lateral da fôrma, com auxílio de planilha eletrônica;
- ✓ Escolha das dimensões do sarrafo de estruturação do fundo da fôrma, conforme Anexo A;
- ✓ Cálculo do espaçamento máximo do fundo da fôrma, com auxílio de planilha eletrônica;
- ✓ Análise dos resultados;

5 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

5.1 Criação de planilha eletrônica para obtenção dos resultados

Para o cálculo dos espaçamentos máximos dos sarrafos de estruturação das fôrmas, desenvolveu-se uma planilha eletrônica capaz de realizar o dimensionamento destes espaçamentos e automatizar o processo. Todas as planilhas eletrônicas executadas são apresentadas abaixo.

5.1.1 Pilares

As primeiras variáveis utilizadas são as dimensões do pilar, que abrangem a altura e as seções do mesmo, de acordo com a Figura 19.

Figura 19 - Dimensões do pilar

DIMENSÕES DO PILAR		
	cm	m
Altura (h)		
Seção maior do pilar (b)		
Seção menor do pilar (a)		

Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

Após as dimensões do pilar, a próxima variável é a pressão do concreto, que depende da consistência dele e da velocidade em que ele é lançado na fôrma, como mostrado na Figura 20. As classes do concreto existentes são quatro e levam em consideração o abatimento obtido pelo ensaio de Slump Test.

Figura 20 - Pressão do concreto

PRESSÃO DO CONCRETO CONFORME DIN 18218/80	
Escolha da classe do concreto	
Velocidade de concretagem (m^3/h)	
Pressão do concreto (KN/m^2)	
Pressão do concreto (tf/m^2)	

CLASSE DO CONCRETO	Consistência do concreto	Abatimento do concreto (mm)
C1	Mistura densa	0 a 25
C2	Mistura leve	25 a 75
C3	Mistura fluida	75 a 125
C4	Mistura muito fluida	maior que 125

Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

Para o cálculo dos espaçamentos máximos, tanto do primário quanto do secundário, as variáveis necessárias são a espessura do compensado juntamente com o número de lâminas, como também as dimensões do sarrafo de estruturação, ilustrado na Figura 21. A partir disso, obtém-se os espaçamentos máximos permitidos da estruturação primária e secundária.

Figura 21 - Espaçamentos máximos

CÁLCULO DO VÃO MÁXIMO DO COMPENSADO DA ESTRUTURAÇÃO VERTICAL E HORIZONTAL PELO MOMENTO DE FLEXÃO			
Escolha da espessura do compensado (mm)			Escolha do sarrafo de estruturação
Número de lâminas do compensado			Largura do sarrafo
Quantidade de espaços			Altura do sarrafo
Quantidade de sarrafos			Espaçamento máximo da estruturação horizontal (cm)
Escolha do sarrafo de estruturação			
Largura do sarrafo			
Altura do sarrafo			
Distância entre sarrafos (cm)			
Espaçamento máximo da estruturação vertical (cm)			

Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

5.1.2 Vigas

As primeiras variáveis utilizadas são as dimensões da viga, que abrangem a altura, largura e comprimento da mesma, além da altura da laje, de acordo com a Figura 22.

Figura 22 - Dimensões da viga

DIMENSÕES DA VIGA		
	cm	m
Altura da viga		
Largura da viga		
Comprimento da viga		
Altura da laje		

Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

Conforme a Figura 23, para o cálculo do espaçamento da estruturação lateral da fôrma, é necessário conhecer a espessura do compensado e também do número de lâminas, bem como, as dimensões do sarrafo de estruturação. A partir destas variáveis é possível obter o espaçamento máximo vertical e a quantidade de sarrafos de estruturação por painel da fôrma.

Figura 23 - Espaçamento lateral

ESPAÇAMENTO MÁXIMO LATERAL DA FÔRMA	
Escolha da espessura do compensado (mm)	
Número de lâminas do compensado	
Espaçamento máximo adotado (cm)	
Escolha do sarrafo de estruturação da lateral da fôrma	
largura do sarrafo	
Altura do sarrafo	
Quantidade de sarrafos de estruturação por painel	
Espaçamento adotado conforme quantia de sarrafos	

Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

Em alguns casos é necessário fazer uma estruturação horizontal central na fôrma, que depende das dimensões do sarrafo de estruturação utilizado na vertical. Este cálculo considera o vão máximo de estruturação pela flecha e também pelo momento, conforme mostra a Figura 24. No exemplo da figura, há as duas situações possíveis, onde através dos cálculos, a tabela apresenta se existe ou não a necessidade dessa estruturação horizontal.

Figura 24 - Estruturação horizontal

CALCULO DA MADEIRA DE ESTRUTURAÇÃO HORIZONTAL		CALCULO DA MADEIRA DE ESTRUTURAÇÃO HORIZONTAL	
Vão máximo de estruturação horizontal pela flecha (cm)		Vão máximo de estruturação horizontal pela flecha (cm)	
Vão máximo de estruturação pelo momento (cm)		Vão máximo de estruturação pelo momento (cm)	
NÃO PRECISA DE ESTRUTURAÇÃO HORIZONTAL		PRECISA DE ESTRUTURAÇÃO HORIZONTAL	

Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

O espaçamento máximo da estruturação do fundo da fôrma e o espaçamento de escoramento do fundo dependem do sarrafo de estruturação utilizado, conforme mostra a Figura 25.

Figura 25 - Espaçamento máximo fundo da fôrma

ESPAÇAMENTO PARA APOIO DE ESCORAMENTO NO FUNDO DA FÔRMA		ESPAÇAMENTO MÁXIMO DO FUNDO DA FÔRMA	
Escolha do sarrafo de estruturação do fundo da fôrma		Carga aplicada no fundo da fôrma (kgf/cm)	
largura do sarrafo		Vão máximo no fundo da fôrma pela flecha (cm)	
Altura do sarrafo		Vão máximo no fundo da fôrma pelo momento (cm)	
Espaçamento do fundo para apoio pela flecha (cm)		Espaçamento adotado do fundo estruturado (cm)	
Espaçamento do fundo para apoio pelo momento (cm)			
Espaçamento do fundo para apoio adotado (cm)			

Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

5.2 Vistorias realizadas

Foram realizadas visitas técnicas em cinco diferentes empresas na cidade de Lajeado/RS, com o objetivo de verificar as condições do sistema de fôrmas empregado para cada obra. Nas tabelas 12 e 13 são apresentados os quadros

resumo das fôrmas, separadas pelas cinco empresas visitadas, contendo os dados da peça estrutural, como dimensões e consistência, bem como o tipo de sarrafo, espessuras do compensado e também os espaçamentos adotados. Além disto as tabelas 12 e 13 informam os valores calculados com auxílio da planilha eletrônica elaborada, descrita no item 5.1.

Tabela 12 - Levantamento de dados para fôrmas de pilares

FÔRMAS DE PILARES	Empresa		A		
	Dimensões do pilar		20x50x240	20x40x240	25x50x240
	Compensado		15mm - 5	15mm - 5	15mm - 5
	Consistência e velocidade de concretagem		C3 - 7	C3 - 7	C3 - 7
	Vigamento secundário		1"x3"	1"x3"	1"x3"
	Espaçamento secundário	Verificado	10cm	10cm	10cm
		Calculado	15cm	15cm	15cm
	Vigamento primário		3"x3"	3"x3"	3"x3"
	Espaçamento primário	Verificado	35cm	40cm	35cm
Calculado		63cm	70cm	63cm	
FÔRMAS DE PILARES	Empresa		B		
	Dimensões do pilar (cm)		30x70x280	25x50x280	20x50x280
	Compensado		15mm - 7	15mm - 7	15mm - 7
	Consistência e velocidade de concretagem		C4 - 7	C4 - 7	C4 - 7
	Vigamento secundário		1"x2"	1"x2"	1"x2"
	Espaçamento secundário	Verificado	10cm	15cm	15cm
		Calculado	14cm	14cm	14cm
	Vigamento primário		2"x2"	2"x2"	2"x2"

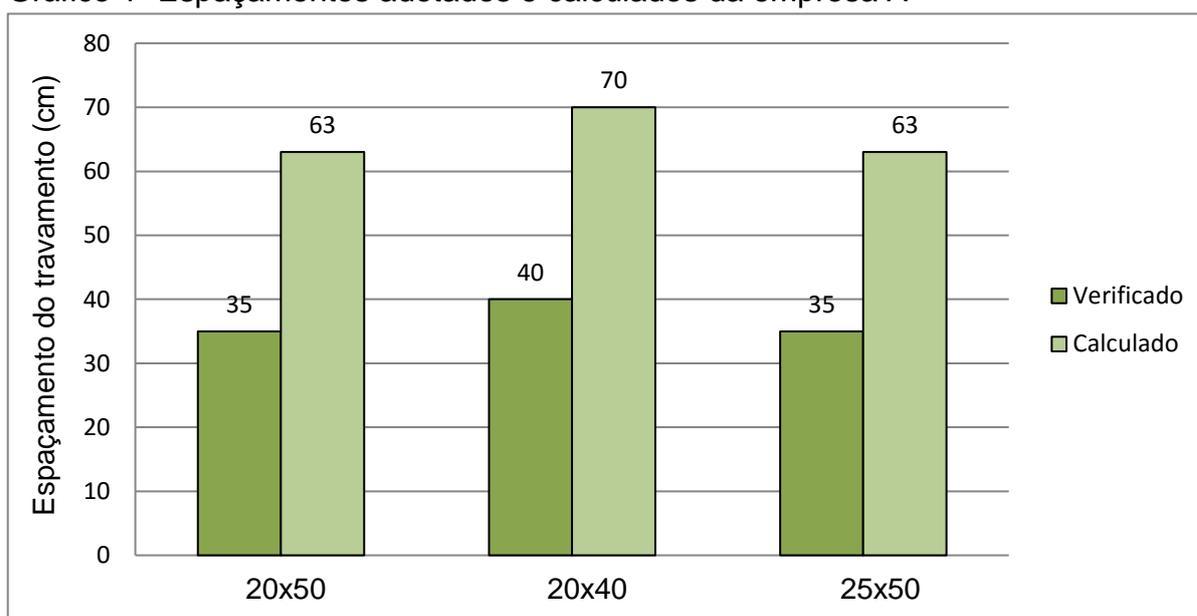
	Espaçamento primário	Verificado	40cm	40cm	40cm
		Calculado	35cm	39cm	39cm
FÔRMAS DE PILARES	Empresa		C		
	Dimensões do pilar (cm)		20x40x250	25x50x250	30x50x250
	Compensado		12mm - 5	12mm - 5	12mm - 5
	Consistência e velocidade de concretagem		C3 - 7	C3 - 7	C3 - 7
	Vigamento secundário		2"x1"	2"x1"	2"x1"
	Espaçamento secundário	Verificado	10cm	10cm	10cm
		Calculado	10cm	10cm	10cm
	Vigamento primário		1"x3"	1"x3"	1"x3"
	Espaçamento primário	Verificado	35cm	35cm	35cm
		Calculado	45cm	44cm	44cm
FÔRMAS DE PILARES	Empresa		D		
	Dimensões do pilar (cm)		20x30x260	20x40x260	25x40x260
	Compensado		12mm - 5	12mm - 5	12mm - 5
	Consistência e velocidade de concretagem		C3 - 7	C3 - 7	C3 - 7
	Vigamento secundário		1"x2"	1"x2"	1"x2"
	Espaçamento secundário	Verificado	10cm	10cm	10cm
		Calculado	11cm	11cm	11cm
	Vigamento primário		1"x3"	1"x3"	1"x3"
	Espaçamento primário	Verificado	40cm	40cm	40cm
		Calculado	48cm	46cm	46cm
FÔRMAS DE PILARES	Empresa		E		
	Dimensões do pilar (cm)		30x60x240	20x40x240	20x50x240
	Compensado		15mm - 5	15mm - 5	15mm - 5

	Consistência e velocidade de concretagem		C3 - 7	C3 - 7	C3 - 7
	Vigamento secundário		1"x2"	1"x2"	1"x2"
	Espaçamento secundário	Verificado	10cm	10cm	10cm
		Calculado	14cm	15cm	15cm
	Vigamento primário		1"x3"	1"x3"	1"x3"
	Espaçamento primário	Verificado	30cm	35cm	35cm
		Calculado	40cm	45cm	40cm

Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

A partir do levantamento de dados apresentados na Tabela 12, foram elaborados gráficos que permitam o comparativo entre os espaçamentos adotados por cada empresa e também o espaçamento calculado pelo estudo. O Gráfico 1, a seguir, demonstra uma análise entre os espaçamentos adotados com o calculado da empresa A. É possível analisar, que além de utilizar um travamento primário robusto, de acordo com os dados listados na Tabela 12, os espaçamentos utilizados pela construtora são em torno de 40% a mais do que o necessário, imposto pelo estudo.

Gráfico 1- Espaçamentos adotados e calculados da empresa A



Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

De acordo com a figura 26, é possível visualizar os travamentos utilizados pela empresa A. Segundo o levantamento de dados e análise feita, pode-se afirmar que os travamentos adotados pela empresa A são robustos e possuem um espaçamento curto, ou seja, podem ser aprimorados de maneira a aumentar estes espaçamentos, sem comprometer o sistema de fôrmas.

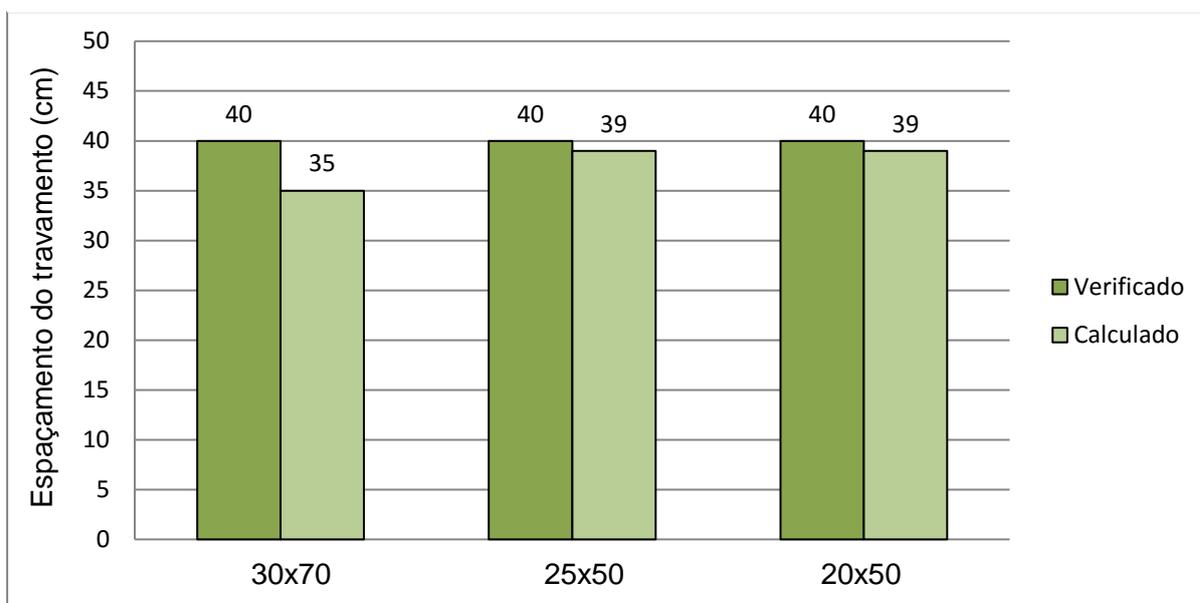
Figura 26 - Travamentos primários da fôrma de pilar



Fonte: Autor (2016).

Para o Gráfico 2 a seguir, que representa a empresa B, são apresentados os comparativos dos espaçamentos adotados e calculados. É possível observar que estes espaçamentos utilizados pela empresa B, são cerca de 5% maiores do que os admitidos pelos estudos.

Gráfico 2 - Espaçamentos adotados e calculados da empresa B



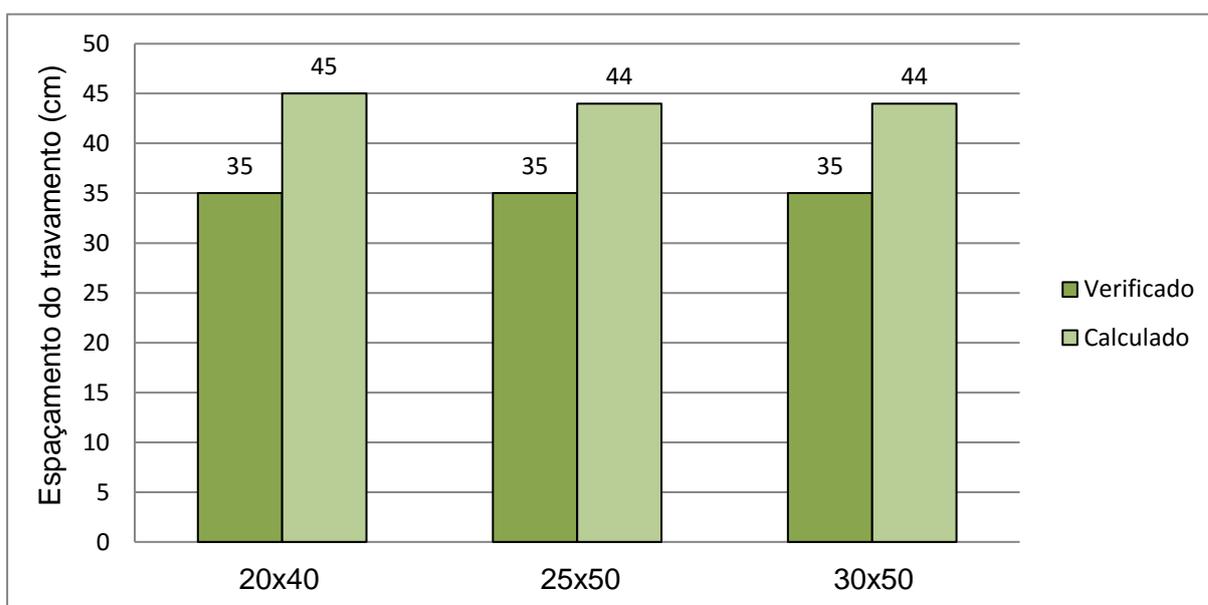
Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

Considerando e analisando os resultados obtidos, conforme o Gráfico 2, pode-se verificar que a empresa B, tem utilizado espaçamentos levemente maiores do que o estudo admite em alguns casos. Embora haja um risco, visto que, desta forma, os travamentos estariam suscetíveis a sofrer deformações, rupturas ou deslocamentos, não se tem nenhum registro de que tenha ocorrido algum problema do gênero. A explicação pode-se basear nos diversos coeficientes de segurança considerados no estudo, demonstrando que o mesmo está a favor da segurança, e, desta forma, é provável que os valores que estão sendo utilizados por outras empresas, conforme o levantamento de dados do estudo, estejam dentro desse limite, e, por isso o sistema não apresentou nenhum tipo de deslocamento, alteração na geometria do elemento ou abertura. Entretanto, deve-se verificar a situação de forma mais aprofundada, visto que caso os espaçamentos ultrapassem muito os admitidos pelo presente trabalho, extrapolando até mesmo os valores majorados

pelos coeficientes de segurança empregados nos cálculos, aí sim, o sistema estaria suscetível a sofrer algum tipo de problema.

De acordo com o Gráfico 3, a empresa C possui um padrão de espaçamentos dos travamentos dos pilares, mesmo que as seções deles não sejam idênticas. Isto pode ser um facilitador para a execução, pois é uma padronização adotada pela empresa. Porém de acordo com o Gráfico 2 analisado anteriormente, os cálculos estão à favor da segurança, e, desta forma, poderia se utilizar maiores vãos para o travamento das fôrmas na empresa C. Portanto, é possível afirmar que os espaçamentos poderiam ser otimizados, a fim de diminuir custos na execução e do material utilizado.

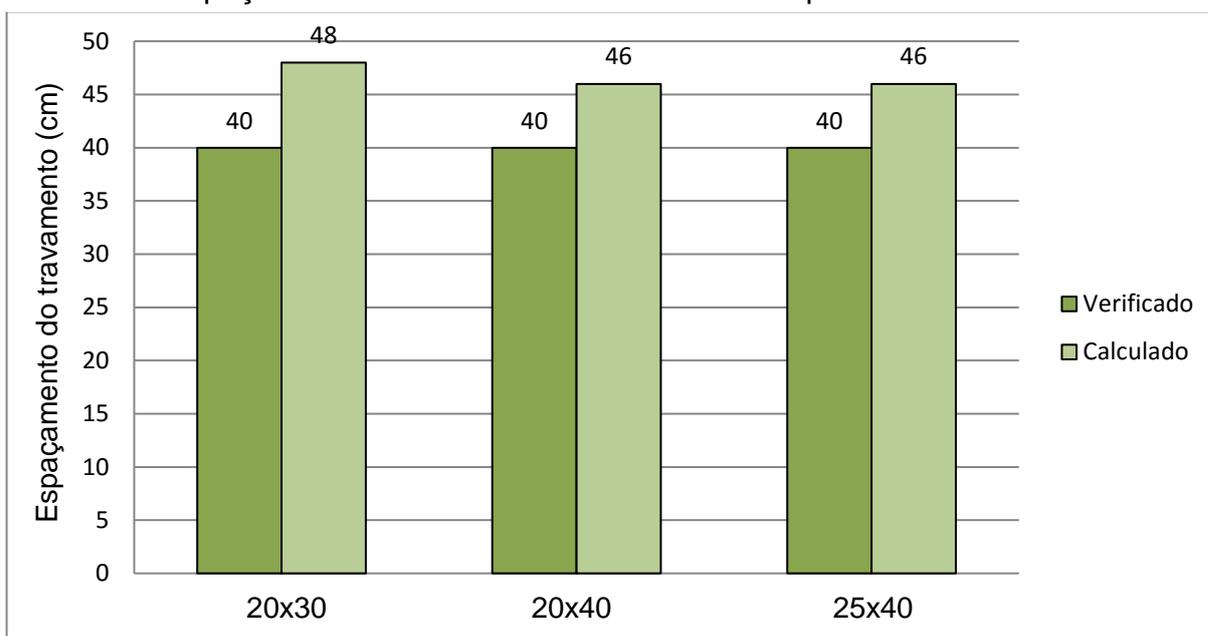
Gráfico 3 – Espaçamentos adotados e calculados da empresa C



Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

É possível afirmar também de acordo com o Gráfico 4, de que a empresa D, também emprega por uma padronização dos espaçamentos no sistema de fôrmas para pilares. Ao contrário da empresa C, analisado no gráfico anterior, os valores calculados são por volta de 10 a 15% maiores do que os utilizados pela construtora. Por questões de padronização o sistema está de acordo com o estudo e à favor da segurança consequentemente.

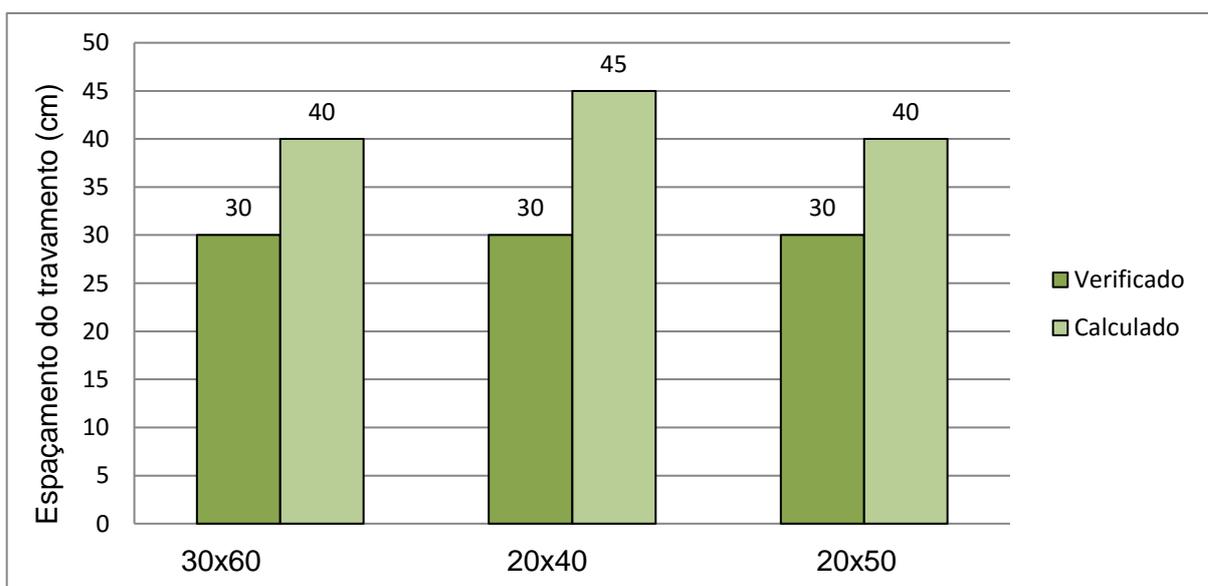
Gráfico 4 - Espaços adotados e calculados da empresa D



Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

Da mesma forma que as duas análises anteriores, a empresa E, segue a mesma linha de padronização do sistema de fôrmas para os espaçamentos dos travamentos primários. O Gráfico 5, retrata que se pode aperfeiçoar o sistema, tendo o ponto de vista das demais análises onde é possível visualizar que o estudo está à favor da segurança necessária para o dimensionamento de fôrmas.

Gráfico 5 - Espaços adotados e calculados da empresa E



Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

Conforme a figura 27 é possível visualizar o tipo do travamento primário utilizado pela empresa E, identificando o espaçamento adotado por eles. Como analisado no Gráfico 5, a empresa impõe uma padronização dos espaçamentos para as fôrmas dos pilares, que é de 30cm.

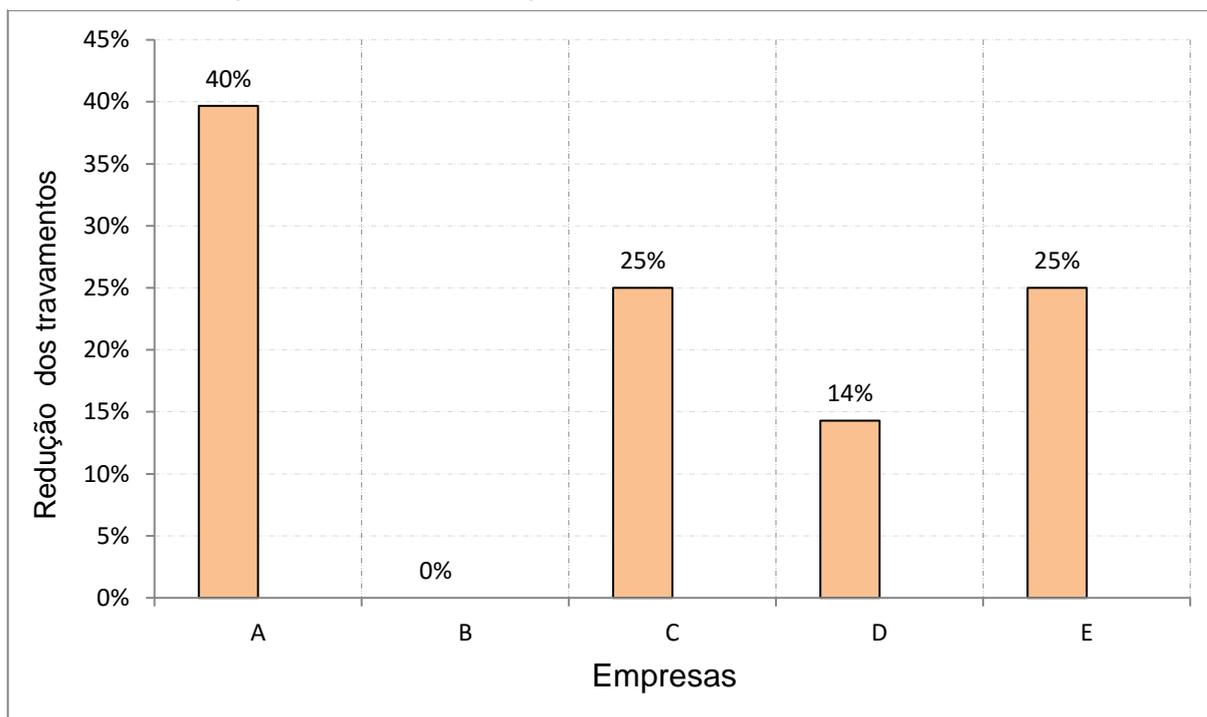
Figura 27 - Travamento primário da fôrma de pilar



Fonte: Autor (2016).

Após feitas as análises de acordo com o levantamento de dados e os gráficos mostrados anteriormente, é possível concluir que em quatro das cinco empresas visitadas, o sistema de fôrmas poderia ser otimizado com a utilização de espaçamentos maiores dos travamentos primários, visto que os espaçamentos verificados nos locais eram inferiores aos valores obtidos pelos cálculos. O Gráfico 6, representa um comparativo entre todas as empresas visitadas, e contém uma média da redução dos travamentos necessários que a fôrma de um pilar precisa ter.

Gráfico 6 - Comparativo entre as empresas



Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

Tabela 13 - Levantamento de dados para fôrmas de vigas

FÔRMAS DE VIGAS	Empresa		A		
	Dimensões da viga (cm)		15x40	20x40	20x50
	Compensado		15mm - 5	15mm - 5	15mm - 5
	Consistência do concreto		C3 - 7	C3 - 7	C3 - 7
	Sarrafo vertical		1"x3"	1"x3"	1"x3"
	Espaçamento vertical	Verificado	35cm	35cm	30cm
		Calculado	38cm	38cm	35cm
	Sarrafo horizontal		Não tem	Não tem	Não tem
	Espaçamento horizontal	Verificado	Não tem	Não tem	Não tem
		Calculado	0	0	0
	Sarrafo do fundo		1"x3"	1"x3"	1"x3"
Espaçamento do escoramento	Verificado	50cm	50cm	50cm	
	Calculado	69cm	67cm	63cm	

FÔRMAS DE VIGAS	Empresa		B		
	Dimensões da viga (cm)		20x55	25x60	20x40
	Compensado		15mm - 7	15mm - 7	15mm - 7
	Consistência do concreto		C4 - 7	C4 - 7	C4 - 7
	Sarrafo vertical		1"x3"	1"x3"	1"x3"
	Espaçamento vertical	Verificado	40cm	40cm	40cm
		Calculado	34cm	33cm	38cm
	Sarrafo horizontal		Não tem	Não tem	Não tem
	Espaçamento horizontal	Verificado	Não tem	Não tem	Não tem
		Calculado	0	0	0
	Sarrafo do fundo		1"x2"	1"x2"	1"x2"
Espaçamento do escoramento	Verificado	30cm	30cm	30cm	
	Calculado	42cm	41cm	45cm	
FÔRMAS DE VIGAS	Empresa		C		
	Dimensões da viga (cm)		15x30	15x40	20x45
	Compensado		12mm - 5	12mm - 5	12mm - 5
	Consistência do concreto		C3 - 7	C3 - 7	C3 - 7
	Sarrafo vertical		1"x2"	1"x2"	1"x2"
	Espaçamento vertical	Verificado	40cm	40cm	40cm
		Calculado	53cm	48cm	48cm
	Sarrafo horizontal		2"x1"	2"x1"	2"x1"
	Espaçamento horizontal	Verificado	10cm	10cm	10cm
		Calculado	Não precisa	Não precisa	Não precisa
	Sarrafo do fundo		1"x2"	1"x2"	1"x2"
Espaçamento do escoramento	Verificado	40cm	40cm	40cm	
	Calculado	53cm	50cm	48cm	
FÔRMAS DE VIGAS	Empresa		D		
	Dimensões da viga (cm)		15x35	15x40	20x40
	Compensado		12mm - 5	12mm - 5	12mm - 5

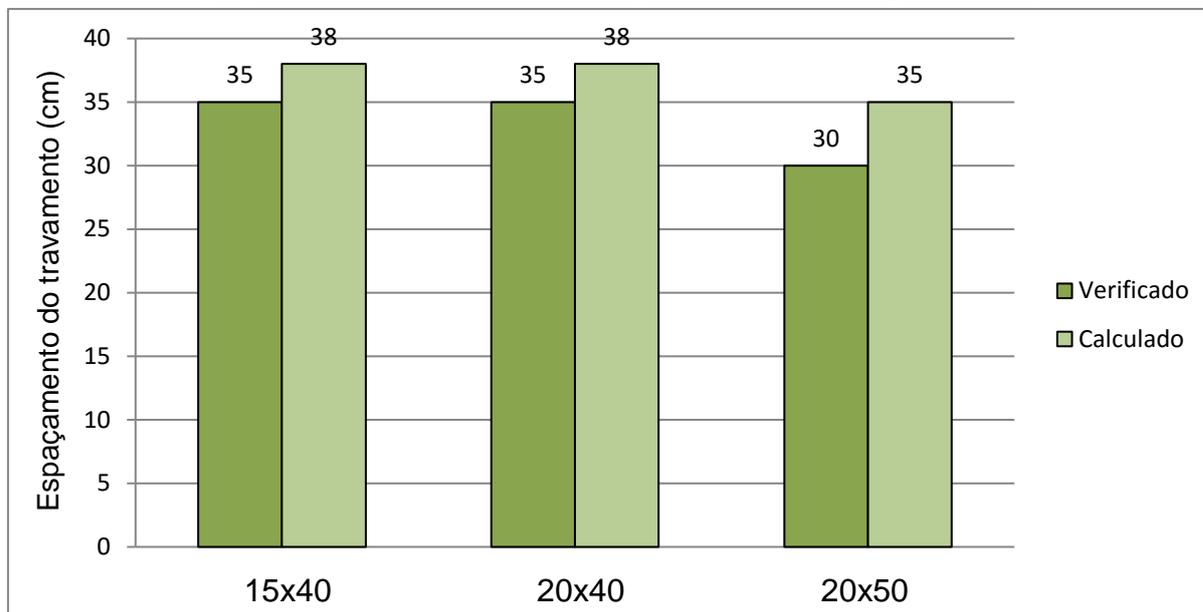
	Consistência do concreto		C3 - 7	C3 - 7	C3 - 7
	Sarrafo vertical		1"x2"	1"x2"	1"x2"
	Espaçamento vertical	Verificado	35cm	35cm	35cm
		Calculado	51cm	48cm	48cm
	Sarrafo horizontal		2"x1"	2"x1"	2"x1"
	Espaçamento horizontal	Verificado	10cm	10cm	10cm
		Calculado	Não precisa	Não precisa	Não precisa
	Sarrafo do fundo		1"x2"	1"x2"	1"x2"
Espaçamento do escoramento	Verificado	35cm	35cm	35cm	
	Calculado	53cm	50cm	51cm	
FÔRMAS DE VIGAS	Empresa		E		
	Dimensões da viga (cm)		15x40	20x40	20x45
	Compensado		15mm - 5	15mm - 5	15mm - 5
	Consistência do concreto		C3 - 7	C3 - 7	C3 - 7
	Sarrafo vertical		1"x2"	1"x2"	1"x2"
	Espaçamento vertical	Verificado	30cm	30cm	30cm
		Calculado	38cm	38cm	36cm
	Sarrafo horizontal		2"x1"	2"x1"	2"x1"
	Espaçamento horizontal	Verificado	15cm	15cm	15cm
		Calculado	Não precisa	Não precisa	Não precisa
	Sarrafo do fundo		1"x3"	1"x3"	1"x3"
Espaçamento do escoramento	Verificado	60cm	60cm	60cm	
	Calculado	74cm	71cm	69cm	

Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

A partir do levantamento de dados apresentados na Tabela 13, foram elaborados gráficos que permitam o comparativo entre os espaçamentos adotados por cada empresa e também o espaçamento calculado pelo estudo. O Gráfico 7, apresenta um comparativo dos travamentos utilizados pela empresa A e calculados de acordo com o presente trabalho. Percebe-se que esta empresa, adota espaçamentos variáveis de acordo com a seção da viga. Além disto, comparando os

dados aplicados na empresa e calculados pelo estudo, pode-se obter resultados na faixa de 10 a 15% de redução dos travamentos.

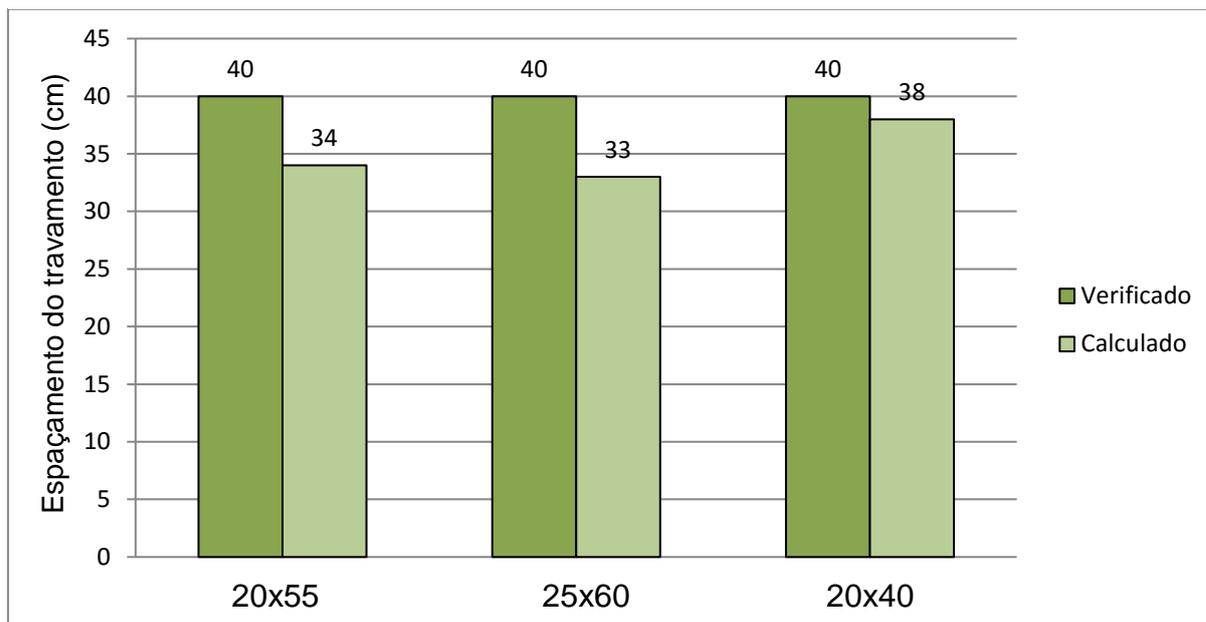
Gráfico 7 - Espaçamentos dos travamentos para fôrmas de vigas da empresa A



Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

A partir do Gráfico 8, pode-se confirmar que a empresa B, possui uma padronização na montagem do seu sistema de fôrmas para vigas. Os painéis não possuem alterações dos espaçamentos dos travamentos, mesmo para as maiores seções das vigas. Um ponto positivo já ocorrido por essa mesma empresa, porém nas fôrmas de pilares, é de que os valores adotados dos espaçamentos são maiores do que os cálculos permitem, isto é, comprova que os cálculos estão à favor da segurança do sistema de fôrmas, visto que nenhum problema foi detectado até então. Da mesma forma, as outras empresas poderiam aprimorar seus sistemas de montagem, adotando valores que estejam dentro dos limites, sem comprometer a segurança e qualidade. Essa simples modificação, de aumentar os vãos dos travamentos, já diminuiria os custos com material e mão de obra na execução das fôrmas de vigas.

Gráfico 8 - Espaçamentos dos travamentos para fôrmas de vigas da empresa B

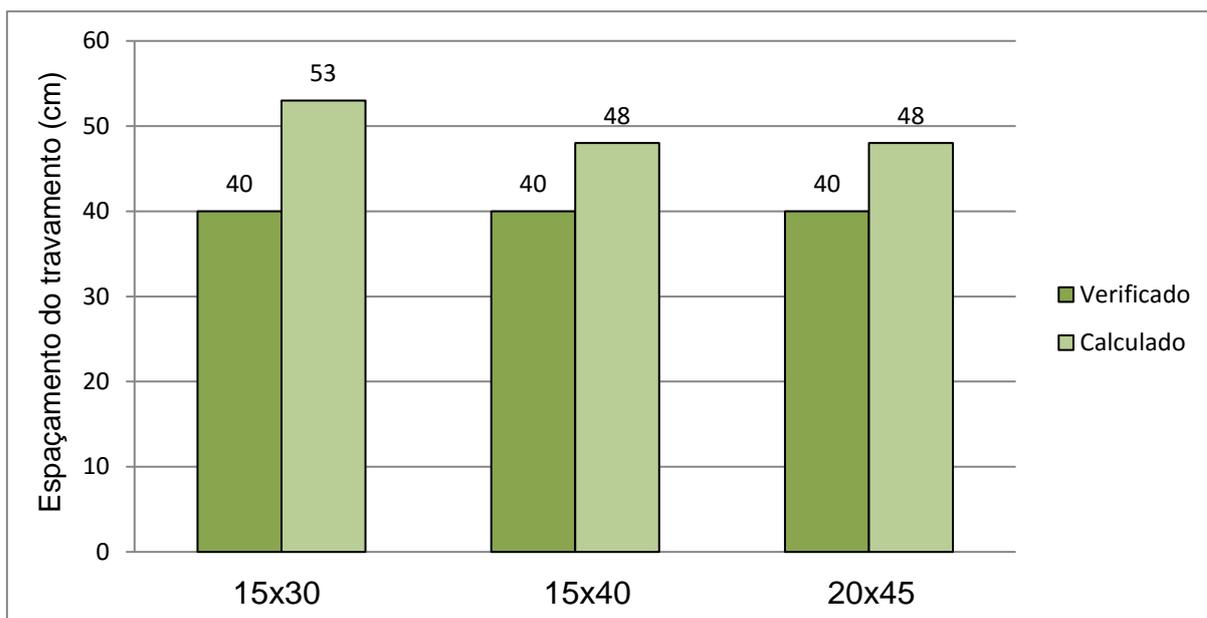


Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

De acordo com os dados dos Gráficos 9, 10 e 11 observa-se que as empresas C, D e E seguem uma padronização para as fôrmas de vigas. Diferente da análise anterior pode-se afirmar que além de utilizarem esse padrão de montagem dos travamentos verticais de estruturação, as empresa citadas incrementam nos seus sistemas o sarrafo horizontal de estruturação. Pelos cálculos do estudo e também pela análise feita no gráfico anterior, esse acréscimo no travamento horizontal é desnecessário, ou seja, aumenta o consumo de madeira para um travamento que precisaria existir.

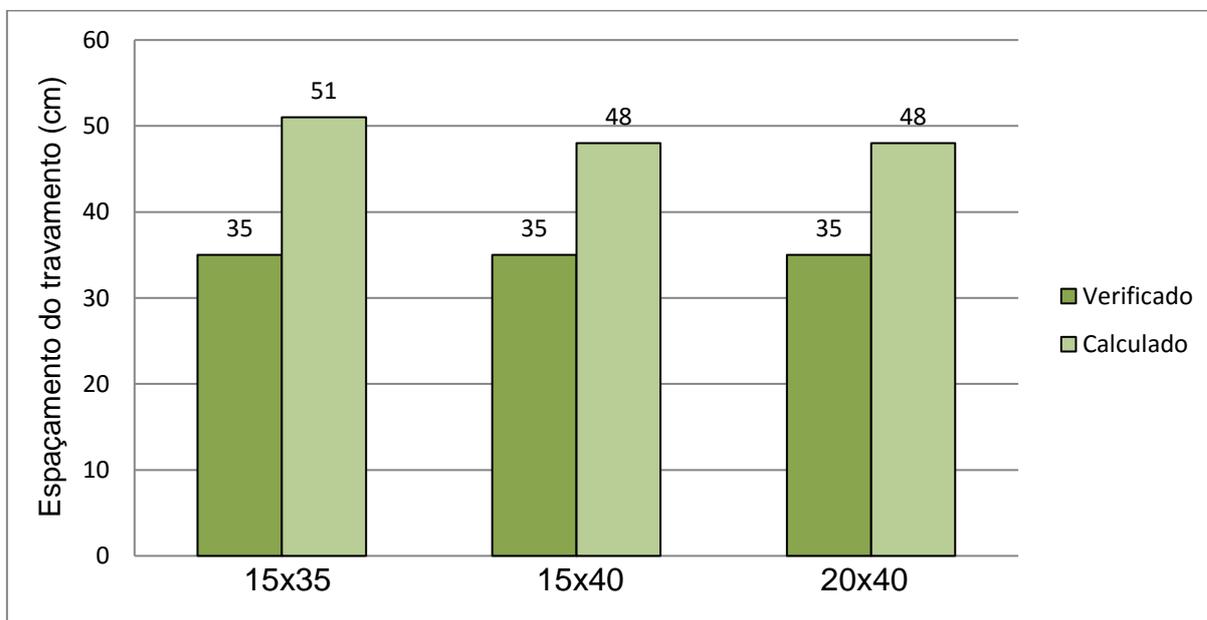
As reduções para este grupo, de acordo com as análises, está na faixa de 30 a 40%, o que pode ser considerado um valor alto para se obter reduções de custos nos materiais e na mão de obra. Entre as empresas citadas e comparadas nos gráficos 9, 10 e 11, a empresa D é a que poderia ter maiores reduções, no caso de até 40% nos seus travamentos das fôrmas para vigas. Possivelmente, adotando essas reduções, seria possível contratar um estudo detalhado para suas estruturas e ter um projeto completo de dimensionamento de fôrmas, o que não é exercido em nenhuma das empresas comparadas.

Gráfico 9 - Espaços dos travamentos para fôrmas de vigas da empresa C



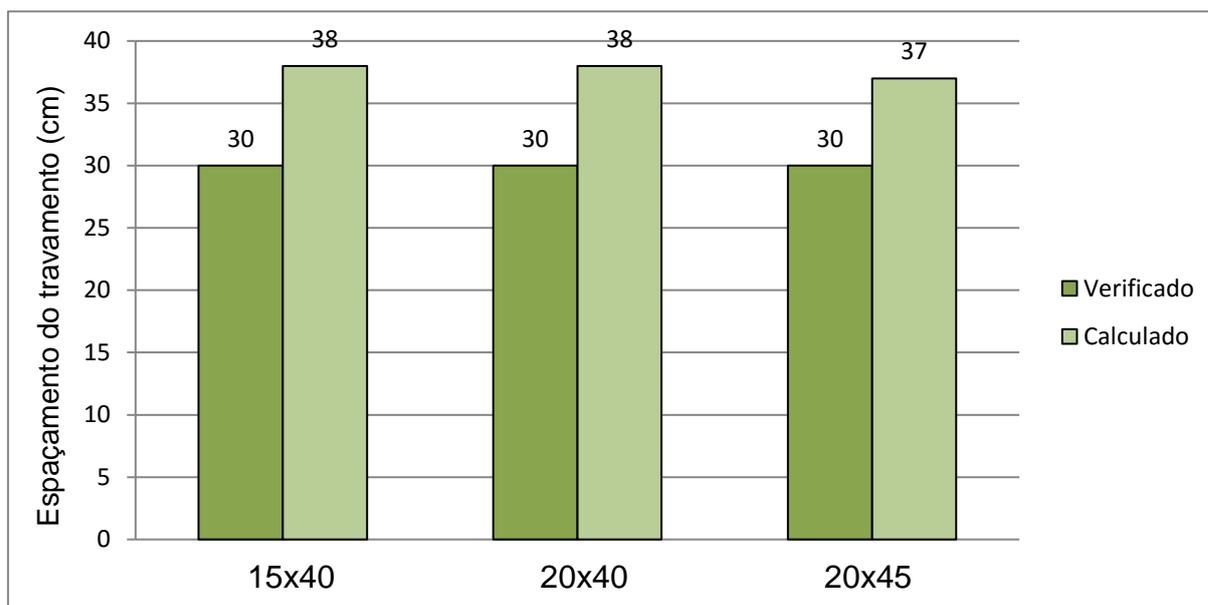
Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

Gráfico 10 - Espaços dos travamentos para fôrmas de vigas da empresa D



Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

Gráfico 11 - Espaços dos travamentos para fôrmas de vigas da empresa E

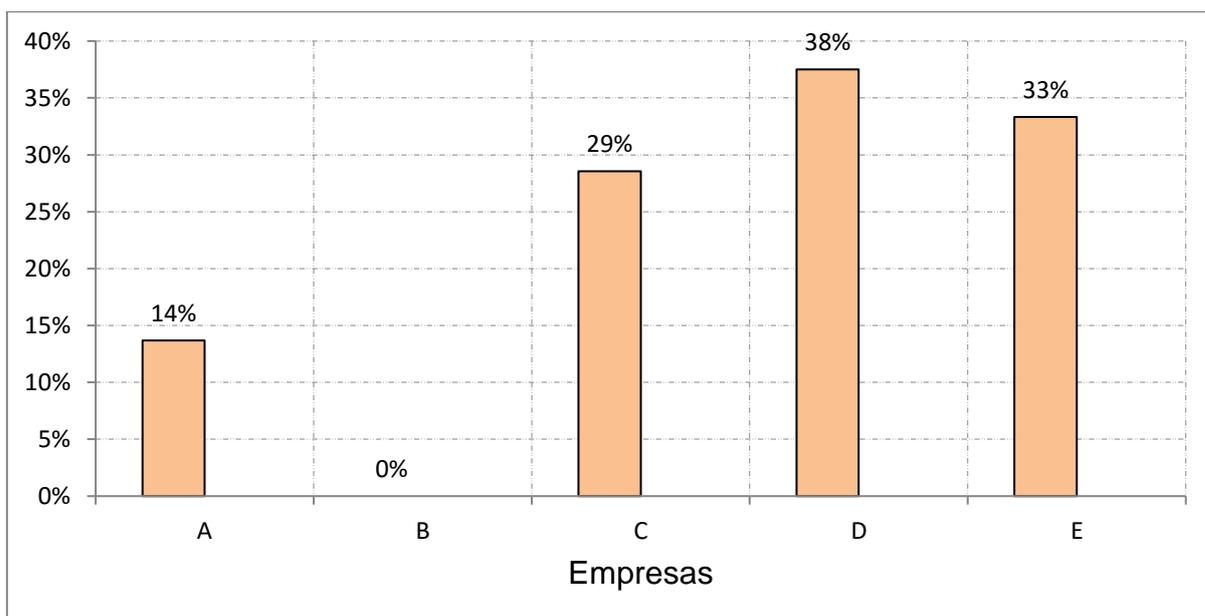


Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

Após feitas as análises conforme o levantamento de dados e os gráficos mostrados anteriormente, pode-se concluir que em quatro das cinco empresas visitadas, o sistema de fôrmas conseguiria ser otimizado com a utilização de espaçamentos maiores dos travamentos verticais de estruturação, visto que os espaçamentos verificados nos locais eram inferiores aos valores obtidos pelos cálculos. O Gráfico 12 caracteriza um comparativo entre todas as empresas visitadas, e contém uma média da redução dos travamentos necessários que a fôrma de uma viga precisa ter. Nota-se que os grupos C, D e E, seriam capazes de ter reduções de 25 a 38% dos seus travamentos, pois visto pelo levantamento de dados, essas empresas adotaram em seus sistemas de fôrmas, travamentos horizontais, que, segundo o dimensionamento realizado pelo estudo e também pela pesquisa feita na empresa B, que não é necessário ter o travamento horizontal. Desta forma, resulta nas reduções de até 38% que poderia se ter.

Através disto, a empresa B, novamente assim como nas análises para fôrmas de pilares, obtiveram os melhores resultados, utilizando espaçamentos na faixa de 5% acima do permitido pelo cálculo, validando que o estudo está de acordo com o esperado e à favor da segurança.

Gráfico 12 - Comparativo entre as empresas



Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em virtude de a construção civil ser um importante setor para o desenvolvimento das cidades, a mesma tem grande influência econômica e social. Posto isso, é de nossa responsabilidade buscar melhorias, adaptações e reduções de custos e prazos de execuções em áreas essenciais a fim de contribuir com o desenvolvimento.

Por meio da análise dos gráficos elaborados nas obras visitadas, pode-se afirmar que o presente estudo é de grande valia, por apresentar possíveis reduções dos espaçamentos dos travamentos das fôrmas de pilares e vigas. A partir dessas informações obtidas nas visitas, conclui-se que as empresas podem aprimorar e otimizar seus sistemas de fôrmas.

Quanto as fôrma de pilares, percebe-se que as empresas A, C e E, poderiam ter reduções de 25 até 40% dos seus travamentos. Conforme destaca Assahi, no item 2.1.3, afirmando que o custo das fôrmas na estrutura pode chegar até 40% do valor total do custo da estrutura de uma obra, pode-se dizer que estas empresas poderiam conseguir reduções de custos significativos. Possivelmente essa economia deve superar o custo da contratação de um estudo detalhado das fôrmas da estrutura, para aprimorar e aperfeiçoar o sistema, trazendo mais vantagens, tais como reduções de custos, melhor reaproveitamento, bem como redução de prazos de execução. Com isto, pode-se afirmar que a empresa B obteve os melhores resultados, pois de acordo com o Gráfico 2 foram adotados espaçamentos levemente maiores do que o estudo admite. Isto se torna um ponto positivo ao

presente trabalho, comprovando que os cálculos são válidos e estão à favor da segurança.

Já para as fôrmas de vigas, nota-se que as empresas C, D e E, seriam capazes de ter reduções de 25 a 38% dos seus travamentos, pois, como foi visto pelo levantamento de dados, essas empresas adotaram em seus sistemas de fôrmas, travamentos horizontais, que, segundo o dimensionamento realizado pelo estudo e também pela pesquisa feita na empresa B, seriam dispensáveis. Desta forma, resulta nas reduções de até 38% que poderia se ter. Destacado por Assahi, no item 2.1.3, afirmando que o custo das fôrmas na estrutura pode chegar até 40% do valor total do custo de uma obra, conforme já comentado anteriormente, pode-se dizer que estas empresas também poderiam conseguir reduções de custos significativos, possivelmente ao ponto de poder contratar um estudo detalhado de suas estruturas para aprimorar e otimizar o sistema de fôrmas, trazendo inúmeras vantagens, tanto quanto em reduções de custos, como também na redução de prazos de execução.

Através disto, a empresa B, novamente assim como nas análises para fôrmas de pilares, obteve os melhores resultados, utilizando espaçamentos na faixa de 5% acima do permitido pelo cálculo, validando que o estudo está de acordo com o esperado e à favor da segurança.

O proposto trabalho, através das pesquisas bibliográficas e visitas realizadas, impõem que o sistema de fôrmas, mesmo que sendo uma estrutura provisória, deve ser dimensionada e planejada de acordo com o projeto. As fôrmas ainda são executadas com métodos primitivos a partir, exclusivamente, da experiência profissional por grande parte dos mestres de obras. O dimensionamento dos elementos que compõem as fôrmas, em prol de alcançar resultados que vão satisfazer o construtor, deve ser mais aprofundado. A escolha do material e do tipo do sistema de fôrma, se bem estudado, pode trazer benefícios, como o não desperdício, perda de tempo e de recursos.

SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- ✓ Levantamento de custos das reduções dos travamentos para fôrmas de pilares e vigas;
- ✓ Implantação de um projeto de fôrmas, com dimensionamentos e detalhamento da montagem do sistema;
- ✓ Teste em escala para determinação do estado limite das fôrmas de pilares e vigas;

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, Luís O. C.; FREIRE, Tomás M. **Tecnologia e gestão de sistemas construtivos de edifícios**. São Carlos: UFSCAR, 2004.

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

ASSAHI, Paulo N. **Sistema de fôrma para estrutura de concreto**. São Paulo: IBRACON, 2005.

AZEVEDO, Gilmar A. T. **Avaliação técnica para definição de fôrmas na construção civil**. São Paulo: Universidade Anhembi Morumbi, 2008.

CALIL JUNIOR, Carlito; LAHR, Francisco A. R.; DIAS, Antônio A. **Dimensionamento de elementos estruturais de madeira**. 1. ed. Barueri: Manole, 2003.

CHEMIN, Beatris F. **Manual da Univates para trabalhos acadêmicos: planejamento, elaboração e apresentação**. 3. ed. Lajeado: Univates, 2015.

CORREIA, Emanuel A. S. **Análise e dimensionamento de estruturas de madeira**. Porto: Universidade do Porto, 2009.

COSTA JUNIOR, Tomaz F.; S. FILHO, Antônio F. **Emprego de fôrmas de madeira em estrutura de concreto**. Salvador: Universidade Católica do Salvador, 2008.

DA CRUZ, Rosana M. **Pressão lateral em fôrmas para concreto**. Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 1997.

GESUALDO, Francisco A. R. **Estruturas de madeira**. Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, 2003.

HOLLERSCHMID, Milton. **Utilização de fôrmas na construção de edifícios**. São Paulo: Universidade Anhembi Morumbi, 2003.

JÚNIOR, Clélio. A importância das fôrmas para a qualidade da obra. **TQS News**, São Carlos, junho de 1997. Disponível em <<http://www.tqs.com.br/tqs-news/consulta/57-entrevistas/149-a-importancia-das-formas-para-a-qualidade-da-obra>>. Acesso em: 08 out. 2015.

MARANHÃO, George M. **Fôrmas para concreto**: subsídios para a otimização do projeto segundo a NBR 7190/97. São Carlos: USP, 2000.

MARTINS, Tomás F. R. M. **Dimensionamento de estruturas em madeira**: coberturas e pavimentos. Lisboa: Universidade Técnica de Lisboa, 2010.

MORIWAKA, Mauro S. **Materiais alternativos utilizados em fôrmas para concreto armado**. Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 2003.

NAZAR, Nilton. **Fôrmas e escoramentos para edifícios**: critérios para dimensionamento e escolha do sistema. 1. ed. São Paulo: Pini, 2007.

PFEIL, Walter; PFEIL, Michèle. **Estruturas de madeira**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008.

REZENDE, Rômulo B. **Uma visão sobre o uso de fôrmas e escoramentos em cidades de grande, médio e pequeno porte do Brasil central e as novas diretrizes normativas**. Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, 2010.

SALGADO, Julio. **Técnicas e práticas construtivas para edificação**. 3. ed. São Paulo: Érica, 2008.

SALVADOR, Paulo F. **Influência dos ciclos de execução nas deformações das estruturas de concreto armado de edifícios de andares múltiplos**. Porto Alegre: UFRGS, 2007.

SALVADOR, Paulo F. **Investigação teórica e experimental da transferência de cargas entre pavimentos de concreto escorados**. Porto Alegre: UFRGS, 2013.

SH FÔRMAS, ESCORAMENTOS E ANDAIMES. **Manual SH de fôrmas para concreto e escoramentos metálicos**. 1. ed. São Paulo: Pini, 2008.

SILVA, Francisco A. F. **Estruturas de concreto**: formas e escoramentos. São Paulo, 1998.

STAMATO, Guilherme C. **Ligações em estruturas de madeira compostas por chapas de madeira compensada**. São Carlos: USP, 2002.

ANEXOS

ANEXO A – Propriedades físicas e mecânicas da madeira

PEÇA (cm)				MEIO DO VÃO										BALANÇO	
b	h	PEÇA (pol)		M. Inércia J (m4)	Mod. Resist. M (m³)	Mom. Resist. M (tm)	E. Cortante V (t)	CARGA UNIF. DISTRIBUIDA		CARGA CONCENTRADA		CARGA UNIF. DISTRIBUIDA			
		b	h					FLECHA (m)	MOMENTO (m)	FLECHA (m)	MOMENTO (m)	FLECHA (m)	MOMENTO (m)		
2,5	7	1	3	9,37E-07	2,46E-05	2,14E-02	1,23E-01	2,16E-01	1,71E-01	1,35E-01	8,55E-02	1,58E-02	4,28E-02		
2,5	10	1	4	2,22E-06	4,37E-05	3,80E-02	1,63E-01	5,13E-01	3,04E-01	3,20E-01	1,52E-01	3,74E-02	7,60E-02		
2,5	15	1	6	7,49E-06	9,83E-05	8,55E-02	2,45E-01	1,73E+00	6,84E-01	1,08E+00	3,42E-01	1,26E-01	1,71E-01		
2,5	23	1	9	2,53E-05	2,21E-04	1,92E-01	3,68E-01	5,84E+00	1,54E+00	3,65E+00	7,70E-01	4,26E-01	3,85E-01		
2,5	30	1	12	5,99E-05	3,93E-04	3,42E-01	4,90E-01	1,38E+01	2,74E+00	8,65E+00	1,37E+00	1,01E+00	6,84E-01		
7	7	3	3	2,81E-06	7,37E-05	6,42E-02	3,68E-01	6,49E-01	5,13E-01	4,05E-01	2,57E-01	4,73E-02	1,28E-01		
7	12	3	4,5	9,48E-06	1,66E-04	1,44E-01	5,52E-01	2,19E+00	1,15E+00	1,37E+00	5,77E-01	1,60E-01	2,89E-01		
7	15	3	6	2,25E-05	2,95E-04	2,57E-01	7,35E-01	5,19E+00	2,05E+00	3,24E+00	1,03E+00	3,78E-01	5,13E-01		
7	30	3	12	1,80E-04	1,18E-03	1,03E+00	1,47E+00	4,15E+01	8,21E+00	2,59E+01	4,11E+00	3,03E+00	2,05E+00		
2,5	2,5	1	1	3,47E-08	2,73E-06	2,38E-03	4,09E-02	8,01E+03	1,90E-02	5,01E-03	9,50E-03	5,84E+00	4,75E-03		
7	2,5	3	1	1,04E-07	8,19E-06	7,13E-03	1,23E-01	2,40E-02	5,70E-02	1,50E-02	2,85E-02	1,75E-03	1,43E-02		
10	2,5	4	1	1,39E-07	1,09E-05	9,50E-03	1,63E-01	3,20E-02	7,60E-02	2,00E-02	3,80E-02	2,34E-03	1,90E-02		
15	2,5	6	1	2,08E-07	1,64E-05	1,43E-02	2,45E-01	4,81E-02	1,14E-01	3,00E-02	5,70E-02	3,50E-03	2,85E-02		
30	2,5	12	1	4,16E-07	3,28E-05	2,85E-02	4,90E-01	9,61E-02	2,28E-01	6,01E-02	1,14E-01	7,01E-03	5,70E-02		
12	7	4,5	3	4,21E-06	1,11E-04	9,62E-02	5,52E-01	9,73E-01	7,70E-01	6,08E-01	3,85E-01	7,10E-02	1,92E-01		
15	7	6	3	5,62E-06	1,47E-04	1,28E-01	7,35E-01	1,30E+00	1,03E+00	8,11E-01	5,13E-01	9,46E-02	2,57E-01		
30	7	12	3	1,12E-05	2,95E-04	2,57E-01	1,47E+00	2,59E+00	2,05E+00	1,62E+00	1,03E+00	1,89E-01	5,13E-01		