

UM ESTUDO COMPARATIVO SOBRE OS SISTEMAS DE FÔRMAS: MESA VOADORA X CONVENCIONAL

Pedro de Oliveira Peres

Projeto de final de curso submetido ao corpo docente da Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau em Engenharia Civil.

Orientador: Eduardo Linhares
Qualharini

Rio de Janeiro
Abril, 2013

UM ESTUDO COMPARATIVO SOBRE OS SISTEMAS DE FÔRMAS: MESA VOADORA X CONVENCIONAL

Pedro de Oliveira Peres

PROJETO SUBMETIDO AO CORPO DOCENTE DA ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE ENGENHEIRO CIVIL.

Examinada por:

Prof. Eduardo Linhares Qualharini
(Orientador)

Prof. Luis Otávio Cocito de Araújo

Prof. Vânia Duçap

Rio de Janeiro,
Abril de 2013

Peres, Pedro de Oliveira

Um Estudo Comparativo sobre os Sistemas de Fôrmas: Mesa Voadora X Convencional / Pedro de Oliveira Peres – Rio de Janeiro: UFRJ / Escola Politécnica, 2013.

x, p. 63: il.; 29,7cm.

Orientador: Eduardo Linhares Qualharini

Projeto de Graduação - UFRJ / Escola Politécnica / Curso de Engenharia Civil, 2013.

Referências Bibliográficas: p. 62-63.

1. Apresentação do Trabalho 2. Sistemas de Fôrmas
3. Estudo de Caso 4. Considerações Finais.

I. Linhares Qualharini, Eduardo; II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica, Curso de Engenharia Civil; III. Um Estudo Comparativo sobre os Sistemas de Fôrmas: Mesa Voadora X Convencional.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar a Deus, que me deu tudo o que eu tenho, além de força para concluir este curso e este trabalho, em especial.

A toda minha família, principalmente meus pais Waldir Ruggieri Peres e Regina de Oliveira Peres, a quem tanto amo, que sempre fizeram tudo por mim, me ensinaram a ser a pessoa que sou e me deram forças para chegar até aqui.

À minha namorada Nathália Regina Guglielmo Mathias, que sempre esteve ao meu lado nos piores e melhores momentos da minha vida e acima de tudo é uma amiga, com um caráter incrível.

A todos os meus amigos, que me ensinaram as lições da escola da vida e as lições acadêmicas. Juntos vivenciamos momentos inesquecíveis ao longo deste curso. Não cito nomes, para não cometer injustiça com ninguém, visto que são muitos, mas os mais especiais sabem a sua importância para mim.

A todos os professores do curso de Engenharia Civil, que me propiciaram o conhecimento e a postura de um engenheiro formado pela Escola Politécnica.

Ao orientador deste trabalho, Eduardo Linhares Qualharini, que sempre me serviu de base para minha evolução profissional e acadêmica.

A todas as pessoas, que de alguma forma, me deram apoio, torceram por mim e me falaram palavras amigas nos momentos em que precisei.

Resumo do projeto de graduação apresentado à Escola Politécnica / UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Engenheiro Civil.

Comparativo entre Sistemas de Fôrmas Racionalizados para Edifícios Multipavimentos

Um Estudo sobre os Sistemas de Fôrmas de Madeira com Escoramento Metálico

Pedro de Oliveira Peres
Abril de 2013

Orientador: Eduardo Linhares Qualharini
Curso: Engenharia Civil

Os serviços de fôrmas impactam diretamente três variáveis bastante importantes que orientam o mercado da construção civil, o custo, o prazo e a qualidade das estruturas de concreto armado.

Tendo em vista a elevada influência das fôrmas nestas variáveis, muitas construtoras vêm se preocupando, cada vez mais, com a o aperfeiçoamento do sistema e do método executivo empregado, com os objetivos de reduzir os recursos empregados, aumentar a produtividade da mão de obra e reduzir as perdas de materiais. Tal aperfeiçoamento pode ser caracterizado como uma racionalização do sistema e dos métodos executivos empregados.

Este trabalho visa dissertar a respeito do sistema de fôrmas, dos requisitos, dos tipos de materiais empregados, dos procedimentos executivos, dos conceitos de racionalização e das condicionantes para escolha do sistema ideal.

Por fim, com o intuito de analisar o impacto da escolha do método executivo de um sistema de fôrma nas variáveis de custo, prazo e produtividade de um empreendimento multipavimentos, é apresentado um estudo de caso que compara a execução de estruturas de concreto armado de edifícios exatamente idênticos por diferentes métodos executivos, porém com o mesmo sistema de fôrmas de madeira com escoramento metálico.

A análise dos dados referente ao estudo de caso aponta uma elevada importância do gerenciamento da qualidade da mão de obra, como fator fundamental na implantação de sistemas e métodos não usuais no mercado construtivo brasileiro.

Abstract of graduation project submitted to Polytechnic / UFRJ as a part of the requirements for the degree of Civil Engineer.

Comparison between Rationalized Formwork Systems for Multiple Floors Buildings

A Study of Formwork Wood Systems with Metal Shoring

Pedro de Oliveira Peres
April 2013

Advisor: Edward Linhares Qualharini
Course: Civil Engineering

The formwork services impact directly three very important variables that guide the construction market, cost, term and quality of structures of reinforced concrete.

Given the high influence of these variables formworks, many builders have been increasingly concerned with the improvement of the system and the executive method employed, aiming to reduce the resources used, increase productivity and reduce losses of material. This improvement can be characterized as a rationalization of the system and the executive methods employed.

This work accomplished, aiming to lecture about the formwork system, the requirements, the material types employed, the executive procedures, concepts of rationalization and conditioners to choose the right system.

Finally, in order to analyze the impact of the choice of the executive method of a formwork system in the variables of cost, time and productivity in an multiple floors buildings, presents a case study that compares the performance of reinforced concrete structures of exactly identical buildings executed by different methods, but with the same formwork wood system with metal shoring.

The data analysis for the case study points out the importance of a high quality management of labor, as a key factor in the deployment of unusual formwork systems and executive methods in the Brazilian constructive market.

SUMÁRIO

1.	APRESENTAÇÃO DO TRABALHO	1
1.1.	INTRODUÇÃO	1
1.2.	OBJETIVO.....	2
1.3.	METODOLOGIA.....	2
1.4.	JUSTIFICATIVA	2
2.	SISTEMAS DE FÔRMAS	3
2.1.	DEFINIÇÃO.....	3
2.2.	REQUISITOS NECESSÁRIOS	4
2.2.1.	ESTANQUEIDADE	5
2.2.2.	RESISTÊNCIA MECÂNICA À RUPTURA	5
2.2.3.	RESISTÊNCIA À DEFORMAÇÃO.....	5
2.2.4.	REGULARIDADE GEOMÉTRICA	5
2.2.5.	BAIXA ADERÊNCIA AO CONCRETO	5
2.2.6.	DURABILIDADE	5
2.2.7.	ESTABILIDADE DIMENSIONAL	6
2.2.8.	POSICIONAMENTO DA ARMADURA	6
2.2.9.	LANÇAMENTO E ADENSAMENTO DO CONCRETO	6
2.2.10.	REATIVIDADE QUÍMICA.....	6
2.3.	TIPOS DE MATERIAIS	7
2.3.1.	MATERIAIS DE MADEIRA	7
2.3.2.	MATERIAIS METÁLICOS.....	11
2.3.3.	MATERIAIS PLÁSTICOS	13
2.3.4.	MATERIAIS DE PAPELÃO.....	14
2.3.5.	MATERIAIS PLÁSTICOS REFORÇADOS COM FIBRA DE VIDRO	15
2.4.	CLASSIFICAÇÃO DOS SISTEMAS:	16
2.4.1.	SISTEMAS DE FÔRMAS DE MADEIRA.....	16
2.4.2.	SISTEMAS DE FÔRMAS METÁLICAS.....	16
2.4.3.	SISTEMAS DE FÔRMAS MISTOS	17
2.4.4.	SISTEMAS DE FÔRMAS HÍBRIDOS.....	17
2.5.	CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA CONVENCIONAL.....	17
2.6.	CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA RACIONALIZADO	21
2.7.	ABORDAGEM DO SISTEMA EM RELAÇÃO A PRAZO, CUSTO E QUALIDADE	24
2.7.1.	QUALIDADE	24
2.7.2.	PRAZO.....	25
2.7.3.	CUSTO.....	25
2.8.	CONDICIONANTES PARA A ESCOLHA DO SISTEMA.....	25
2.8.1.	SISTEMA ESTRUTURAL EMPREGADO.....	25
2.8.2.	CRONOGRAMA DE OBRA	26
2.8.3.	REPETITIVIDADE	26
2.8.4.	DISPONIBILIDADE DE EQUIPAMENTOS PARA TRANSPORTE	26
2.8.5.	ACABAMENTO SUPERFICIAL	26

2.8.6.	DISPONIBILIDADE DE MATERIAL.....	27
2.9.	PROCESSO DE DECISÃO DO SISTEMA	27
3.	ESTUDO DE CASO	27
3.1.	APRESENTAÇÃO DA OBRA	28
3.1.1.	DADOS DOS BLOCOS ÍMPARES	28
3.1.2.	DADOS DOS BLOCOS PARES	29
3.2.	MÉTODO CONVENCIONAL DE EXECUÇÃO DO SISTEMA RACIONALIZADO DE FÔRMAS DE MADEIRA COM ESCORAS METÁLICAS.....	29
3.2.1.	MATERIAIS EMPREGADOS NOS ELEMENTOS CONSTITUINTES	30
3.2.2.	PROCEDIMENTO EXECUTIVO.....	31
3.2.3.	CICLO DE ATIVIDADES.....	40
3.2.4.	PRODUTIVIDADE DO MÉTODO CONVENCIONAL	40
3.2.5.	CUSTO DO MÉTODO CONVENCIONAL	43
3.3.	MÉTODO DAS MESAS VOADORAS DE EXECUÇÃO DO SISTEMA RACIONALIZADO DE FÔRMAS DE MADEIRA COM ESCORAS METÁLICAS.....	45
3.3.1.	MATERIAIS E EQUIPAMENTOS EMPREGADOS	46
3.3.2.	PROCEDIMENTO EXECUTIVO.....	48
3.3.3.	CICLO DAS ATIVIDADES	50
3.3.4.	PRODUTIVIDADE DO SISTEMA	50
3.3.5.	FATORES INTERFERENTES NO PRAZO DE EXECUÇÃO.....	54
3.4.	COMPARATIVO ENTRE OS MÉTODOS EMPREGADOS	55
3.5.	PROJEÇÃO DO CUSTO E DO PRAZO COM A TENDÊNCIA DE PRODUTIVIDADE	58
4.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	59
	ANEXO 1	61
	BIBLIOGRAFIA	62

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Fôrma da laje apoiada nas transversinas e longarinas e sustentada pelas escoras	4
Figura 2 - Madeira Compensada	8
Figura 3 - Orientação da colagem das chapas de compensado	9
Figura 4 - Chapa de compensado resinado	10
Figura 5 - Chapa de compensado plastificado	10
Figura 6 - Chapa de compensado em OSB	11
Figura 7 - Elementos constituintes do sistema <i>Steel Deck</i>	12
Figura 8 - Escoramentos metálicos	13
Figura 9 - Laje nervurada com cubas de plástico antes da concretagem	13
Figura 10 - Laje nervurada após a concretagem	14
Figura 11 - Pilares com seção transversal circular concretados com fôrmas de papelão	15
Figura 12 - Fôrmas de papelão utilizadas para enchimento de laje	15
Figura 13 - Elementos constituintes do subsistema de fôrmas para laje	19
Figura 14 - Elementos do subsistema de fôrmas para vigas	20
Figura 15 - Elementos do subsistema de fôrmas para pilares	21
Figura 16 - Esquema do sistema de fôrmas convencional	31
Figura 17 - Transferência do eixo de referência para o pavimento [N-1] e conferência com o pavimento [N-2]	32
Figura 18 - Transferência de eixo com a utilização do prumo de centro ou nível a laser	32
Figura 19 - Posicionamento da grade no prumo com auxílio das mãos francesas	33
Figura 20 - Nível do topo do painel inferior que será transferido para as grades	34
Figura 21 - Pilar travado com vigas metálicas e barras de ancoragem	35
Figura 22 - Painéis laterais e de fundo das vigas apoiados nos garfos e na boca dos pilares	36
Figura 23 - Vigas inferiores suportadas pelas escoras e travadas pelos forçados	37
Figura 24 - Lançamento dos painéis no vigamento superior de acordo com o projeto	37
Figura 25 - Chapas de compensado pregadas nas suas posições definitivas	38
Figura 26 - Laje pronta com as armaduras e instalações posicionadas de acordo com o projeto	39
Figura 27 - Corte esquemático do sistema viga-laje	39
Figura 28 - Mesa sendo transportada com auxílio do garfo de translação e da grua	45
Figura 29 - Ligação do vigamento superior com o inferior e a escora com a utilização do suporte DF 20/30	47
Figura 30 - Charriot de Translação, equipamento de translação horizontal das mesas voadoras	47
Figura 31 - Base de Montagem da Mesa	48
Figura 32 - Transporte vertical da mesa para o pavimento de montagem com auxílio da grua	50

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Quadro resumo dos componentes, elementos e subsistemas do método convencional	18
Tabela 2 - Quadro resumo das produtividades meta e real, referente ao bloco 3	42
Tabela 3 - Quadro resumo das produtividades meta e real, referente ao bloco 4	42
Tabela 4 - Quadro resumo do cálculo da mão de obra referente ao bloco 3	43

Tabela 5 - Quadro resumo do cálculo da mão de obra referente ao bloco 4	43
Tabela 6 - Custo da locação dos escoramentos metálicos e dos vigamentos do bloco 3	44
Tabela 7 - Custo da locação dos escoramentos metálicos e dos vigamentos do bloco 4	45
Tabela 8 - Quadro resumo das produtividades meta e real, referente ao bloco 1	51
Tabela 9 - Quadro resumo das produtividades meta e real, referente ao bloco 2	52
Tabela 10 - Quadro resumo do cálculo da mão de obra referente ao bloco 1	53
Tabela 11- Quadro resumo do cálculo da mão de obra referente ao bloco 2	53
Tabela 12 - Custo da locação dos escoramentos metálicos e dos vigamentos do bloco 1	54
Tabela 13 - Custo da locação dos escoramentos metálicos e dos vigamentos do bloco 2	54
Tabela 14 - Custo dos equipamentos acessórios	54
Tabela 15 - Quadro comparativo entre os métodos de mesas voadoras e o convencional dos blocos ímpares quanto ao custo total, prazo total e produtividade média	56
Tabela 16 - Quadro comparativo entre os métodos de mesas voadoras e o convencional dos blocos pares quanto ao custo total, prazo total e produtividade média	56
Tabela 17 - Quadro comparativo entre os métodos de mesas voadoras e o convencional dos blocos ímpares considerando uma projeção da produtividade média	59
Tabela 18 - Quadro comparativo entre os métodos de mesas voadoras e o convencional dos blocos pares considerando uma projeção da produtividade média	59

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Curva de aprendizado da mão de obra	57
---	----

ÍNDICE DE EQUAÇÕES

Equação 1 - Área de fôrma por área estruturada	23
Equação 2 - Área de fôrma por volume de concreto	23
Equação 3 - Razão Unitária de Produção (RUP)	40

1. APRESENTAÇÃO DO TRABALHO

1.1. INTRODUÇÃO

A escola brasileira de engenharia é uma das que possuem maior conhecimento em concreto armado no mundo. As peculiaridades de nossa sociedade, economia, recursos naturais e outras influências nos levaram a desenvolver tecnologias variadas para construção de estruturas com esse material. Sua utilização no Brasil iniciou-se no Rio de Janeiro em 1904 e desde então é o material mais empregado na construção civil brasileira (1).

Até a década de 60, as estruturas de concreto armado eram moldadas em sistemas de formas de madeira, baseadas no projeto de formas sem nenhum auxílio de um projeto de produção. As chapas eram recortadas sem um planejamento prévio das peças que vinham semiprontas, produzindo para cada laje uma perda significativa de material, implicando em um alto consumo de recursos e mão de obra (2).

ASSAHI (2), com o intuito de racionalizar o consumo de materiais e aumentar a produtividade da mão de obra, implantou duas ideias inovadoras. A primeira está relacionada à pré-confecção de todas as peças de madeiras em sua dimensão definitiva, mediante um projeto com uma sequência de montagem pré-estabelecida. A segunda trata-se da distribuição estratégica das escoras a fim de permitir a retirada de grande parte da forma, de 80% a 90%, permanecendo apenas as tiras de reescoramento, com as escoras remanescentes sustentando o concreto em sua posição definitiva até atingir sua resistência mínima de projeto.

A implantação desses conceitos foi amplamente aceita pelo mercado e em poucos anos foi possível reduzir o consumo de fôrmas de madeira de três jogos completos para apenas um, além de aumentar significativamente a produtividade pela redução do retrabalho e a precisão geométrica das peças estruturais (2).

Após a implantação desse primeiro sistema de produção de fôrmas ao longo desses anos, a tecnologia foi evoluindo e possibilitou a criação de novos equipamentos e acessórios que contribuem para aperfeiçoar o sistema em relação a prazo, custo e qualidade.

Nesse sentido, o presente trabalho apresenta o conceito e os requisitos básicos do sistema de fôrma, sua importância, os tipos de materiais disponíveis no mercado brasileiro, a classificação dos sistemas e quais aspectos devem ser considerados na escolha de um sistema de fôrmas.

Além disso, o trabalho aborda um estudo comparativo em relação a custo, prazo, produtividade e risco, entre dois métodos executivos para o mesmo sistema de fôrmas de madeira com escoramento metálico , o de mesas voadoras e o sistema convencional, de uma obra multipavimentos composta por oito edifícios, onde dois deles foram executados pelo sistema de mesas voadoras e os outros pelo sistema convencional.

1.2. OBJETIVO

O objetivo desse estudo visa contribuir com informações para auxiliar na escolha do sistema de fôrma de um empreendimento multipavimentos em concreto armado, de acordo com os sistemas disponíveis atualmente no mercado da construção civil brasileira.

1.3. METODOLOGIA

O presente trabalho é uma pesquisa dos sistemas de fôrmas de estruturas de concreto armado, com pesquisa em artigos, livros e teses, sem restrição de período de publicação. O estudo de caso utilizou-se de um método comparativo para confrontar dois métodos executivos diferentes para o mesmo sistema de fôrma de madeira com escoramento metálico, quanto ao custo, prazo e produtividade.

1.4. JUSTIFICATIVA

O mercado imobiliário brasileiro está passando por um excelente momento. Uma comprovação de tal fato é que o setor de construção civil apresentou um recorde em investimentos estrangeiros em 2012. O aumento da renda da população, verificado nos últimos anos, reforçado pelas obras de infraestrutura para a Copa do Mundo de Futebol de 2014 e para as Jogos Olímpicos de 2016, além da elevada margem bruta operacional são os principais motivadores para esse crescimento (3).

Dentro desse contexto, a competição no setor é intensa, promovendo uma a elevada oferta de empreendimentos. As construtoras, portanto, estão numa constante busca pela redução de perdas de materiais, prazos de obras, por um maior controle tecnológico dos materiais e a incorporação do conceito de racionalização para que

apresentem um maior lucro e se mantenham competitivas no mercado. Em decorrência dessa situação, há uma evolução constante da profissionalização da mão de obra e uma oferta crescente de materiais para a construção civil associada a soluções inovadoras de engenharia.

Conseqüentemente, a construção civil passou a identificar no projeto de execução de formas um documento capaz de elevar a produtividade, melhorar o desempenho das construções e reduzir custos. De acordo com ZORZI (4), os custos com fôrmas e escoramento de um edifício multipavimentos representam em média de 16% a 22% do custo total da construção. Além disso, constatou-se que o planejamento inadequado do sistema de fôrmas interfere negativamente na produtividade da mão de obra e pode acarretar problemas diversos à construção.

O presente trabalho, ao basear-se na ideia de que projetar não representa um custo adicional, mas um investimento que assegura economias futuras, visa apontar os diversos elementos necessários para definição do sistema ótimo de fôrmas, que deve ser planejado e definido de acordo com as características do empreendimento em relação ao custo, ao sistema estrutural, ao prazo de execução, ao número de reutilizações e às condições gerais da obra.

2. SISTEMAS DE FÔRMAS

2.1. Definição

As fôrmas são estruturas provisórias destinadas a dar forma e suporte ao lançamento e adensamento do concreto fresco até que esse adquira uma resistência de suporte, garantindo a obtenção das dimensões, posições, níveis, texturas e geometria das peças estruturais, conforme especificados em projeto. Além disso, elas devem garantir o correto posicionamento das instalações e das armaduras, permitindo a colocação de espaçadores para garantir os cobrimentos e servir de suporte para os serviços armação e concretagem, de acordo com CALIL *et al.* (5).

O cimbramento, por sua vez, corresponde ao conjunto de elementos responsáveis por suportar os esforços atuantes nas fôrmas, como o peso próprio da estrutura, cargas de equipamentos, funcionários e materiais, durante a sua execução, até que esta se torne autoportante. De acordo com ARAÚJO (6), o cimbramento é composto basicamente por quatro elementos:

- Escoramentos → peças verticais sujeitas aos esforços de compressão;

- Vigamentos → peças verticais sujeitas aos esforços de flexão;
- Travamentos → peças verticais ou horizontais sujeitas aos esforços de tração e/ou flexão;
- Mãos-francesas → peças inclinadas para a contenção horizontal.

De acordo com ASSAHI (2), o sistema de fôrma é o conjunto dos elementos compostos pelo cimbramento, equipamentos de transporte, de apoio, manutenção e a própria fôrma. A seguir serão elucidados os aspectos mais importantes do sistema de fôrma, como os requisitos mínimos, sua importância, os tipos existentes no mercado e o que deve ser levado em consideração para a escolha do melhor sistema para cada empreendimento.

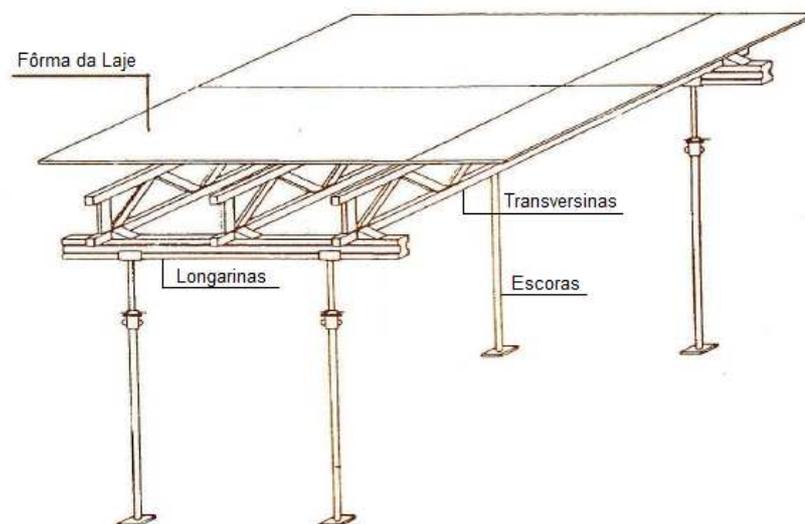


Figura 1 – Fôrma da laje apoiada nas transversinas e longarinas e sustentada pelas escoras (CALIL 2005)

2.2. Requisitos Necessários

A NBR 6118:2007 (7) e a NBR 14931 (8) fixam as condições gerais e os requisitos básicos que devem ser satisfeitos no projeto, na execução e no controle de obras de concreto simples, armado e protendido. As principais diretrizes dessas normas estão relacionadas à qualidade das estruturas que são sustentadas basicamente por três fatores: capacidade resistente, desempenho em serviço e durabilidade.

Para que as estruturas atendam a esses condicionantes e conservem sua segurança, estabilidade e aptidão em serviço durante o período correspondente à sua vida útil, o

sistema de fôrmas e escoramento deve ser projetado e construído de modo que alguns pré-requisitos sejam atendidos. São eles (9):

2.2.1. Estanqueidade

As emendas das peças das fôrmas devem ser suficientemente estanques para evitar a perda da argamassa, dos finos e da nata de cimento, que aumentam a permeabilidade do concreto, facilitando a entrada de agentes externos que causam diversas patologias, como a corrosão das armaduras, do concreto, a perda de resistência, desempenho e durabilidade da peça estrutural.

2.2.2. Resistência Mecânica à Ruptura

Deve-se conferir resistência mecânica adequada às fôrmas para atender a sua função estrutural de suportar as cargas provenientes do peso próprio do concreto e das cargas acidentais, estas são provenientes das ações de fatores ambientais, vibrações decorrentes do adensamento do concreto, peso dos equipamentos, dos materiais e do tráfego de pessoas sobre o assoalho nos serviços que antecedem a concretagem.

2.2.3. Resistência à Deformação

Com o intuito do sistema de fôrmas de manter a posição, o nível e o alinhamento das peças estruturais, é necessário que ele não sofra deformações excessivas sob a ação das cargas atuantes. Para tanto, as fôrmas devem ter a rigidez necessária para resistir às cargas atuantes garantindo a dimensão exata da estrutura.

2.2.4. Regularidade Geométrica

As peças devem apresentar dimensões de acordo com o projeto para que o encaixe entre elas seja perfeito, garantindo a geometria e a estanqueidade do sistema.

2.2.5. Baixa Aderência ao Concreto

A baixa aderência é necessária para que as fôrmas não venham a aderir ao concreto. Isto acarretaria em imperfeições na superfície do concreto, uma diminuição da produtividade do serviço de desenforma e diminuição da durabilidade do conjunto de fôrmas.

2.2.6. Durabilidade

Considerando a elevada participação do sistema de fôrmas e escoramento no orçamento das obras, é necessário que se reaproveite o maior número de vezes os elementos do sistema para desonerar o máximo possível a execução da estrutura e minimizar o espaço destinado ao canteiro de obra.

2.2.7. Estabilidade Dimensional

É necessário que o sistema de formas seja estável para que suas dimensões não sofram alterações durante os serviços de montagem das armaduras e de lançamento e adensamento do concreto ao longo de todo o processo de cura e desforma. Isto permite garantir que as dimensões definidas no projeto estejam compatíveis com as verificadas na obra.

2.2.8. Posicionamento da Armadura

As fôrmas, com auxílio de espaçadores, servem de suporte para o posicionamento da armadura. Para desempenhar essa função de maneira adequada, elas devem estar posicionadas de modo correto, conforme o projeto de fôrmas, para que o cobrimento da armadura seja garantido por toda a extensão das peças estruturais evitando que ocorram patologias futuras nas armaduras, tais como corrosão e ataque ácido, que comprometem diretamente a durabilidade da estrutura.

2.2.9. Lançamento e Adensamento do Concreto

O lançamento e adensamento do concreto de uma estrutura devem ser realizados de acordo com um plano de concretagem previamente estabelecido, que assegure o fornecimento da quantidade de concreto segundo as características do projeto. Para tanto, as formas não devem ser impeditivos para o lançamento e adensamento do concreto, com obstáculos que impeçam a sua passagem e a correta utilização do vibrador.

2.2.10. Reatividade Química

Os materiais utilizados para a fabricação das fôrmas e dos desmoldantes devem ser inertes em relação ao concreto e ainda não devem apresentar absorção d'água capaz de comprometer a hidratação do cimento. Caso contrário, podem ocorrer reações que irão alterar as suas características, comprometendo o seu desempenho, resistência e durabilidade.

2.3. Tipos de Materiais

A utilização de fôrmas é inerente à execução de estruturas de concreto armado. Desde o início de sua utilização no Brasil, a madeira é o principal material empregado para sua fabricação. Porém, o uso da madeira demanda um alto consumo de mão de obra e gera muito desperdício de material. Neste contexto, com a elevação do custo da mão de obra onera o custo final dos empreendimentos. Ao longo do processo de industrialização e desenvolvimento tecnológico do setor da construção civil, novos materiais para os sistemas de fôrmas foram inseridos no mercado brasileiro.

Hoje em dia há uma variedade de materiais que foram adaptados para a fabricação de fôrmas e novas possibilidades de utilização para os materiais tradicionais foram implantadas, tanto em moldes, como escoramentos. Materiais como aço, o alumínio, o plástico, a fibra de vidro, a borracha e o papelão, foram bastante desenvolvidos e hoje são uma realidade no setor.

A seguir, tais materiais serão apresentados buscando um melhor entendimento sobre as suas utilizações, em relação aos moldes e escoramentos, elementos constituintes do sistema de fôrma:

2.3.1. Materiais de Madeira

Como material para a execução dos moldes do sistema de fôrma, o emprego da madeira, na forma de peças serradas ou de chapas de madeira compensada, sempre foi predominante em relação a outros materiais. (10).

As diversas características que a torna muito atraente, são:

- Elevada resistência mecânica;
- Baixo peso específico;
- Baixo consumo de energia (para o seu processamento);
- Facilidade de montagem e desmontagem;
- Baixo custo

Considerando a excelência apresentada pela madeira, torna-se evidente o constante desenvolvimento das suas características em inúmeras pesquisas científicas. Em seguida, serão explicitados os principais processos de fabricação e aperfeiçoamentos das propriedades da madeira serrada que garantem sua larga utilização no Brasil:

2.3.1.1. Madeira Serrada

De acordo com ARAÚJO (6), a utilização da madeira serrada como escoramento é caracterizado pela falta de padronização, excesso de mão de obra e grande volume de entulho gerado. Apesar dessas desvantagens, sua utilização ainda é bastante considerável. Ela pode ser utilizada tanto da forma serrada como em peças roliças.

A utilização da madeira serrada como molde para execução de edifícios em estruturas de concreto armado caiu em desuso, devido ao desempenho inferior em relação aos compensados (11).



Figura 2 - Madeira Compensada (Fonte: Construção e Mercado – Fôrmas, 2004)

2.3.1.2. Madeira Compensada

A madeira compensada é fabricada pela união de três ou mais lâminas, alternando-se as direções das fibras em ângulos retos, sob pressão com auxílio de um adesivo, sempre em painéis com número ímpar de lâminas. O posicionamento cruzado eleva sua resistência mecânica que é diretamente proporcional à espessura (10).

A madeira compensada apresenta vantagens e relação à maciça em estado de tensões biaxiais, que aparecem, por exemplo, nas almas das vigas, nas estruturas de placas dobradas ou nas cascas (10).

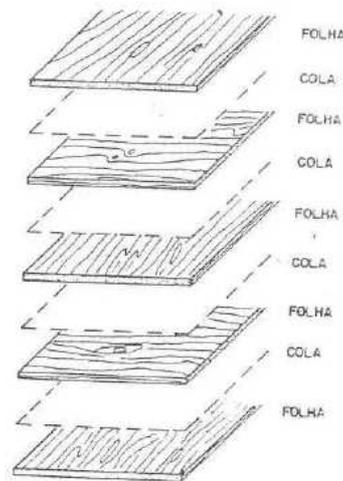


Figura 3 - Orientação da colagem das chapas de compensado (ARAÚJO, 2008)

Os painéis compensados apresentam vantagens em relação à madeira serrada, por terem maior resistência normal às fibras, menor ocorrência de trincas e permitirem sua fabricação com maiores dimensões. Sua única desvantagem é o seu preço elevado.

As chapas de madeira compensada são utilizadas como molde nos sistemas de fôrmas e podem ser divididas em dois tipos: o compensado resinado e o plastificado.

2.3.1.3. Compensado Resinado

O compensado resinado é fabricado com lâminas internas de *pinus* e externas de madeira dura (*hardwood*). As lâminas são sobrepostas em sentidos alternados, em número ímpar, com as capas no mesmo sentido e então coladas entre si com resina fenólica (100% à prova d'água), sob uma pressão de 15 kg/cm² e submetidas a uma temperatura média de 135° C. Posteriormente, as capas e topos são revestidos com a mesma resina. Esse acabamento torna o molde impermeável e apto para uso externo. É muito utilizado para execução de edifícios pequenos que não demandam muitas repetições. De acordo com a FORMAPLAN (12), o compensado resinado resiste até 10 reaproveitamentos com durabilidade e desempenho, desde que observadas as condições de manuseio e utilização indicadas pelo fabricante. É produzido em chapas com espessuras que podem variar de 6 mm a 21 mm, com as respectivas dimensões de comprimento e largura: 2500 mm X 1250 mm e 2440 mm X 1220 mm.



Figura 4 - Chapa de compensado resinado (Fonte: site da Formaplan)

2.3.1.4. Compensado Plastificado

O processo de fabricação do compensado plastificado é semelhante ao do resinado. A diferença é que no final do processo a chapa recebe, na sua capa, contracapa e topos, uma densa camada de película fenólica, proporcionando duas vantagens: maior resistência à abrasão e maior reaproveitamento, cerca de 20 vezes, desde que observadas às recomendações de utilização e manuseio do fabricante (12). A desvantagem desse tipo de material é o custo que é elevado quando comparado a outros tipos de compensado. Também são fabricados em chapas com espessuras que podem variar de 6 mm a 21 mm, com as seguintes dimensões de comprimento e largura : 2500 mm X 1250 mm e 2440 mm X 1220 mm.



Figura 5 – Chapa de compensado plastificado (Fonte: site da Formaplan)

2.3.1.5. Compensado de OSB

É composto por chapas formadas por microlâminas de madeira sobrepostas, cada uma em sentido oblíquo às camadas subseqüentes, o que permite o seu entrelaçamento. A consistência das fibras de madeira e a adição de resinas à prova d'água, conferem ao material, rigidez, resistência interna e resistência à umidade (13).

As chapas de OSB são ecologicamente mais vantajosas. A confecção das chapas é feita com madeira de reflorestamento, com árvores de apenas seis anos de idade e, além disso, mais de 90% da madeira é aproveitada. Por outro lado, o compensado tradicional utiliza árvores com 14 anos de idade e aproveita somente 50% da árvore (14).

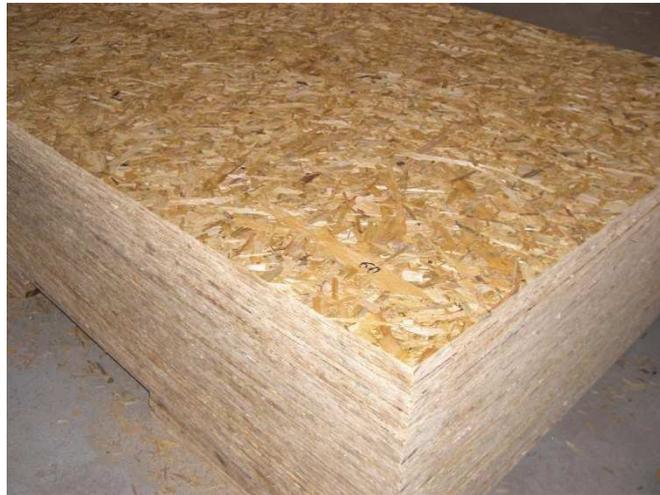


Figura 6 - Chapa de compensado em OSB (Fonte: Techné - Moldes alternativos)

2.3.2. Materiais Metálicos

O metal, assim como a madeira, possui características muito atraentes para aplicá-lo como material para o sistema de fôrma. De acordo com ARAÚJO (6), a utilização do metal como molde, tanto o aço como o alumínio, possuem as seguintes qualidades:

- Elevada capacidade de reutilização;
- Excelente acabamento superficial
- Produtividade elevada
- Facilidade de execução
- Contribuem para limpeza da obra

Além disso, sua utilização contribui para a limpeza da obra por não produzir perdas de material, diminuindo a quantidade de entulho gerado. No entanto, o alto custo do material, aliado a baixa flexibilidade de utilização, por vezes, impedem sua aplicação. No Brasil, sua utilização é verificada, principalmente, em blocos de fundação, pilares, muros, paredes e caixas d'água.

Embora os sistemas metálicos estejam conquistando espaço graças à evolução técnica, o custo em função do prazo de utilização ainda é o maior complicador para a sua utilização. A repetitividade dos elementos é outro fator que deve, obrigatoriamente, ser considerado para a escolha do sistema. Muito duráveis, as fôrmas metálicas suportam entre 40 e 60 reutilizações. Além disso, os moldes metálicos exigem pouca manutenção no uso repetitivo e possibilitam ciclos pequenos de concretagem (15).

Um tipo de sistema bastante utilizado é o *steel deck*, também chamado de laje colaborante, que integra o molde metálico a estrutura de concreto (16).

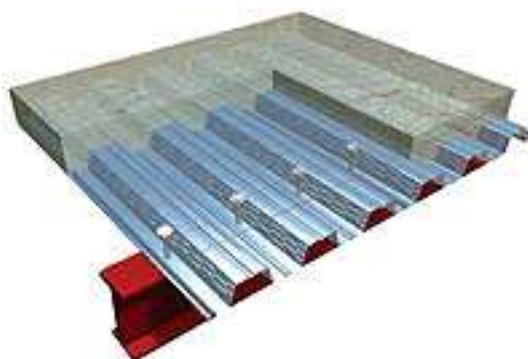


Figura 7 – Molde fixado ao vigamento de um sistema *Steel Deck* (Fonte:Techné – Steel Deck)

O metal também é bastante utilizado nos escoramentos. Podem ser tubulares, fixas, telescópicas e em elementos de torres. Possuem uma elevada capacidade de carga, durabilidade e precisão geométrica, além de possuírem uma facilidade de manuseio e atingir alturas superiores ao escoramento de madeira.

No Brasil, as construtoras tem adotado preferencialmente o escoramento metálico pela praticidade, controle e pela elevada capacidade de carga.



2.3.3. Materiais Plásticos

O plástico é um elemento multifuncional. No setor da construção civil, há uma série de utilidades para esse material, visto que há muitos benefícios no seu uso. Suas principais qualidades são (17):

- Baixo peso específico;
- Elevada durabilidade;
- Facilidade de execução;
- Alta produtividade;
- Facilidade de transporte;
- Elevado número de reutilizações;
- Inertes em relação ao concreto;

Sua utilização como molde, surgiu na Europa há mais de 40 anos com a utilização de cubetas que proporcionou as estruturas de concreto armado vencerem grandes vãos e a reduzir o consumo de concreto e aço. Fabricadas em polipropileno, essas fôrmas começaram a ser produzidas no Brasil há pouco mais de 10 anos, em substituição às fôrmas perdidas de madeira, ao concreto celular, aos blocos de concreto e ao poliestireno expandido, usados para preencher o vazio nas lajes. Todas essas soluções, no entanto, têm a desvantagem de incorporar peso à estrutura. Além disso, esse sistema foi produzido para proporcionar rápida montagem e desmontagem, dispensando a utilização de pregos e com reduzido número de componentes.



Figura 9 - Laje nervurada com cubas de plástico antes da concretagem (Fonte: Techné – Moldura Leve)



Figura 10 - Laje nervurada após a concretagem (Fonte: Techné - Moldura Leve)

Usualmente ha dois métodos de instalação das cubas. No primeiro, elas são distribuídas sobre um tablado de madeira apoiado em um cimbramento metálico ou de madeira. No segundo as cubetas se apoiam em vigas apoiadas em cabeçotes deslizantes, que permitem a desforma sem que o escoramento seja retirado (17).

De acordo com ASSAHI (17), a utilização da fôrma de plástico no Brasil ainda está restrita à moldagem da laje nervurada, utilizada como complemento do sistema de madeira ou metálico, não como sistema de fôrma de plástico propriamente dito.

2.3.4. Materiais de Papelão

As fôrmas de papelão não são uma novidade no Brasil. Sua fabricação foi iniciada na década de 1970 em formatos tubulares com papel *Kraft*¹ de diversas espessuras, enrolados helicoidalmente e tratadas com colas e resinas que lhe atribuem resistência e rigidez. Esse tratamento impermeabiliza as peças e impede a absorção d'água de hidratação da matriz cimentícia. Por fim, na sua superfície é aplicada uma camada de papel não aderente ao concreto (13).

Atualmente há diversos formatos para a seção dos pilares, mais de 40 tipos. Alguns fornecedores possibilitam formatos de acordo com a necessidade do consumidor, desde que compatíveis com o diâmetro máximo de 1200 mm. Sua altura máxima é de 7000 mm.

As principais características da aplicação do papelão como molde estão associadas a facilidade de manuseio e transporte, a estanqueidade e ao fato de ser descartável.

¹ - fabricado a partir de uma mistura de fibras de celulose de polpas de madeira macia, que garantem uma resistência mecânica satisfatória.



Figura 11 - Pilares com seção transversal circular concretados com fôrmas de papelão (Fonte: site da Dimbu)



Figura 12 - Fôrmas de papelão utilizadas para enchimento de laje (Imagem retirada do site da fabricante Dimbu)

2.3.5. Materiais Plásticos Reforçados com Fibra de Vidro

A fôrma de fibra de vidro é produzida a partir da associação do poliéster à fibra de vidro que são aplicados em um molde por sucessivas camadas alternadas de resina e fibra de vidro até que se alcance a espessura desejada (18).

Segue abaixo algumas características desse tipo de material:

- Baixo peso específico;
- Resistência adequada;
- Versatilidade;
- Bom acabamento superficial;
- Elevado número de reutilizações

Quanto maiores forem as solicitações de carga, os componentes serão fabricados com espessuras de parede mais espessa. Para elevado número de componentes, o processo exige fabricação industrial com moldes metálicos e moldagem a quente.

2.4. **Classificação dos Sistemas:**

Os componentes dos sistemas de fôrmas utilizados nas construções de estruturas de concreto podem ser fabricados em diversos tipos de material, como já apresentado anteriormente. De acordo com FAJERSTAJN (19), a classificação do sistema se dá de acordo com o material dos elementos empregados no sistema.

2.4.1. Sistemas de Fôrmas de Madeira

São sistemas nos quais todos os componentes são de madeira. Podem ser sistemas de fôrmas de madeira convencional ou racionalizados. Os diferentes subsistemas são fabricados com moldes em tábuas ou chapas de madeira compensada, estrutura do molde e escoramento em madeira serrada. Mais adiante, no item 2.5 será abordada a caracterização do sistema convencional de maneira mais profunda.

2.4.2. Sistemas de Fôrmas Metálicas

São sistemas nos quais todos os componentes são de metal. Podem ser de aço ou de alumínio. São empregados em lajes, pilares, vigas e cortinas. A adoção do sistema está vinculada diretamente a algumas condicionantes para que o sistema seja viável como, a padronização da estrutura, prazo de execução arrojado e elevado número de reutilizações. Podemos citar algumas vantagens do sistema, dentre elas se destacam:

- Precisão geométrica;
- Elevado número de reutilizações;
- Industrialização;
- Redução da mão de obra;
- Não gera resíduo;

Em contrapartida, deve-se atentar para a pouca flexibilidade do sistema, a necessidade de um projeto mais detalhado e exigem mais cuidados no manuseio dos elementos.

Segundo NAZAR (14), esse sistema tem um excelente funcionamento em pilares, e excepcionalmente, quando as lajes são planas. Para as vigas, vale o mesmo

raciocínio dos pilares. As dimensões das diversas peças dos módulos metálicos devem ser múltiplas para evitar arremates em madeira. Por fim, para as lajes, há diversos métodos executivos, onde a execução é realizada de maneira mais mais fácil e com melhores resultados.

2.4.3. Sistemas de Fôrmas Mistos

Os sistemas de fôrmas mistos são caracterizados pelo emprego de peças dos elementos constituintes fabricados com materiais diferentes. Segundo ARAÚJO (20), o sistema misto com molde de madeira e cimbramento em metal e madeira vem sendo largamente utilizado nos edifícios multipavimentos na cidade de São Paulo em função da alta velocidade de execução, aliada ao custo adequado e ao razoável número de reaproveitamentos, cerca de 20 vezes, dos moldes.

Em levantamento realizado pelo engenheiro Antonio Carlos Zorzi, da Cyrela, constatou-se que a empresa tem consumido, em média, 26% do prazo total da obra na execução das fôrmas, com uma produtividade de 0,45 a 0,47 Hh/m², número invejável até mesmo para os sistemas mais avançados do mercado, principalmente se for levado em conta que a construtora adota moldes de madeira, fabricados, na maioria das vezes, no canteiro de obras (21).

No estudo de caso do presente trabalho serão comparados dois sistemas mistos, o de mesas voadoras e o sistema com molde de madeira e cimbramento em metal e madeira. Mais adiante esse tema será abordado com mais detalhes.

2.4.4. Sistemas de Fôrmas Híbridos

São os sistemas compostos por subsistemas de materiais diferentes. Podem ser de madeira, metálicos, mistos ou soluções específicas com a utilização de papelão, fibra de vidro, borracha, plástico ou outros. Os sistemas híbridos são uma combinação qualquer dos diferentes subsistemas. Alguns exemplos desse sistema são as fôrmas deslizantes e trepantes para pilar e a adoção de blocos cerâmicos para lajes nervuradas.

2.5. Caracterização do Sistema Convencional

Segundo FAJERSZTAJN (19), pode-se analisar o sistema de fôrma convencional, dividindo-o em subsistemas, que pode ser entendido como o conjunto de fôrmas

destinado a moldar determinadas partes ou tipos de peças da estrutura de concreto armado do edifício. Assim têm-se subsistemas de fôrmas para lajes, vigas e pilares.

Esta divisão é feita de acordo com a função que desempenham as peças na estrutura. As características e os esforços que cada uma das peças dos subsistemas é submetida, são afetadas pela finalidade de cada subsistema.

Os Elementos são conjuntos de peças que exercem função determinada dentro do subsistema de fôrmas. São classificadas de acordo com a finalidade em molde, estrutura do molde, escoramento e acessórios.

O molde é o elemento que entra em contato direto com o concreto, definindo a textura e o formato desejados. A estrutura do molde destina-se a enrijecer o molde, garantindo que ele não se deforme quando submetido aos esforços. O escoramento tem como função transmitir os esforços da estrutura do molde para algum ponto de suporte do solo ou na própria estrutura. Os acessórios formam o conjunto de peças complementares destinadas a apoiar, articular e fixar os demais elementos na confecção das fôrmas (22). A tabela abaixo descreve de maneira sucinta os componentes e elementos de cada subsistema:

Sistema de Fôrmas		
Subsistema	Elementos	Componentes
Lajes	Molde	painéis
	Estrutura do molde	transversinas e longarinas
	Escoramento	pontaletes de madeira, escoras metálicas, travamentos, torres, contraventamentos, etc.
	Acessórios	para estruturação e nivelamento
Vigas	Molde	painéis de faces e fundo
	Estrutura do molde	sarrafos
	Escoramento	garfos, pontaletes de madeira, escora metálica, torres, etc.
	Acessórios	para estruturação e nivelamento
Pilares	Molde	painéis laterais
	Estrutura do molde	guias de amarração e gravatas
	Escoramento	aprumadores, mão francesa e niveladores
	Acessórios	para estruturação e nivelamento

Tabela 1 - Quadro resumo dos componentes, elementos e subsistemas do método convencional (MAGALHÃES, 2000)

O subsistema de fôrmas para lajes é composto por painéis de laje que são constituídos de chapas de compensado, apoiados sobre as transversinas, que são vigas compostas de madeira maciça ou sobre vigas treliçadas de madeira. As transversinas, por sua vez, se apoiam nas longarinas, que são compostas pelo mesmo material das transversinas e transferem os esforços para o escoramento (22).

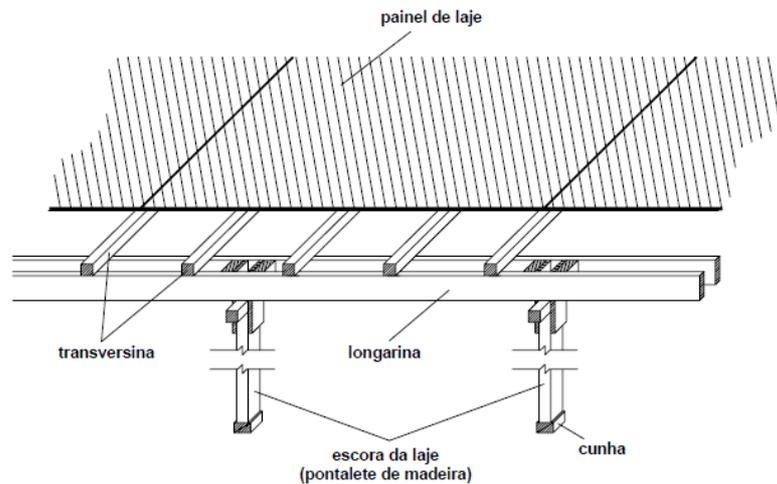


Figura 13 - Elementos constituintes do subsistema de fôrmas para laje (MAGALHÃES, 2000)

As formas para o molde das vigas do sistema tradicional são confeccionadas com chapas de madeira compensada, tanto para os painéis laterais quanto para os fundos.

Os painéis laterais são reforçados na parte superior por sarrafos fixado no fundo ao longo da borda superior. Os painéis laterais são apoiados, por meio deste sarrafo, nos garfos, que fazem a contenção lateral dos painéis impedindo que ocorram deformações excessivas no molde em função dos esforços horizontais. Os painéis de fundo são escorados pelos garfos. A função dos garfos é transmitir os esforços verticais da estrutura do molde para algum ponto de suporte na estrutura. O nivelamento dos painéis é realizado por meio de cunhas de madeira colocadas entre a travessa inferior do garfo e a estrutura.

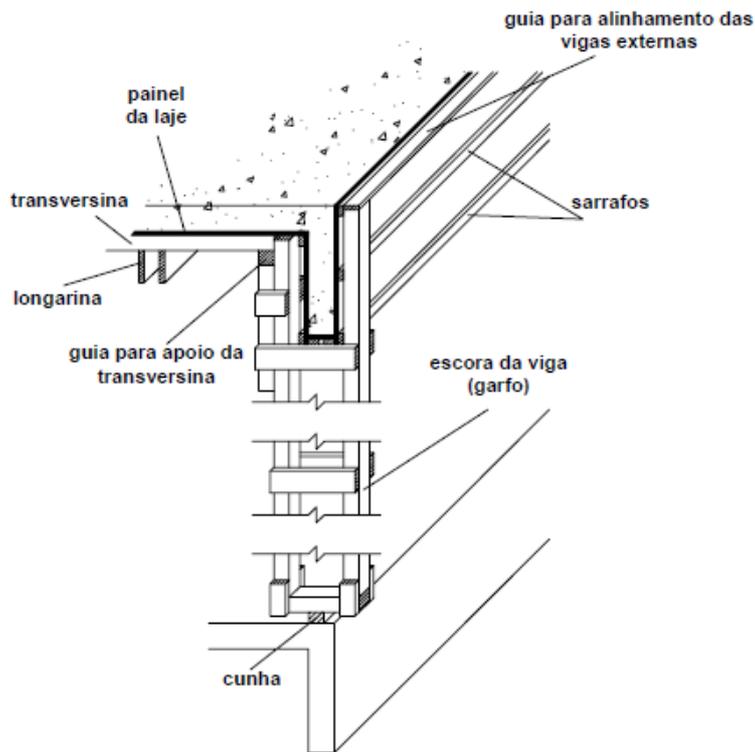


Figura 14 - Elementos do subsistema de fôrmas para vigas (MAGALHÃES, 2000)

O molde é formado por painéis laterais e de fundo, de forma que os laterais são maiores e travam os painéis de fundo.

Gravata é a denominação dada a um tipo de travamento, onde as peças que o constituem estão associadas a todos os painéis. Os ganchos têm como função localizar os pilares e conter o empuxo do concreto na parte inferior da forma, o que é traduzido como travamento.

Os tensores ou barras de ancoragem, também chamados de tirantes, são classificados como travamento e resistem à tração proveniente do empuxo do concreto. Podem ser divididos em três tipos: barras de ancoragem com porcas, formados por barras roscadas; tensores, formados por fios de aço ($\phi = 5$ ou $6,3$ mm), presos com cunhas metálicas; ou fios de aço CA-25, mais maleáveis, amarrados em vigas de travamento.

As grades também são uma classificação de travamento, as quais são formadas por sarrafos e/ou pontaletes associados na posição vertical e horizontal.

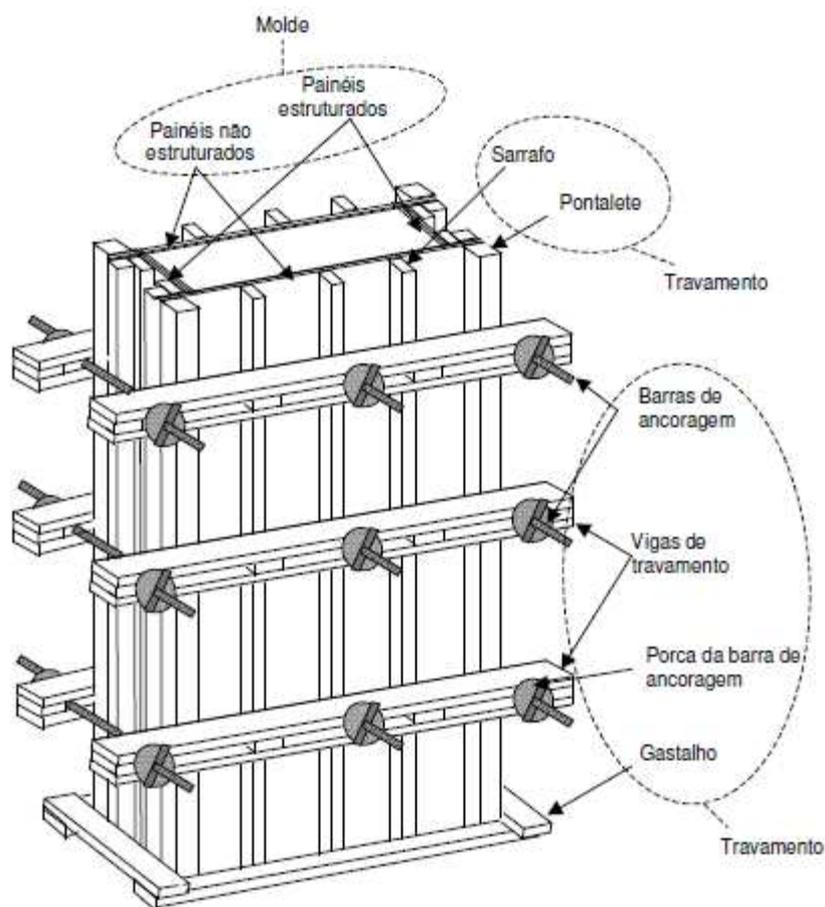


Figura 15 – Elementos do subsistema de fôrmas para pilares (MAGALHÃES, 2000)

2.6. Caracterização do Sistema Racionalizado

A racionalização é a busca pelo aperfeiçoamento de um sistema, com o objetivo de reduzir os recursos empregados. Para que se estabeleça uma racionalização do sistema convencional é importante observar o processo de uma maneira sistêmica, analisando o impacto de cada atividade no resultado final. Dessa maneira, a racionalização deve estar presente em todas as etapas do desenvolvimento de um empreendimento.

Segundo, OBATA (23), ASSAHI (2) e ARAÚJO (20) para que se racionalize o sistema de fôrmas, é necessário o desenvolvimento de alguns itens, descritos abaixo:

2.6.1. Coordenação do Projeto de Fôrmas

O projeto de fôrmas deve ser entendido e elaborado como parte de um processo que interage com as demais atividades de projeto e da construção. O projeto de fôrmas não deve ser encarado como um simples dimensionamento de componentes e, portanto, deve contemplar os itens abaixo:

- Especificação dos materiais a serem empregados;
- Especificação para montagem e desmontagem do sistema;
- Definição do ciclo de trabalho;
- Dimensionamento dos componentes;
- Desenhos e tabela de quantitativos;

Logo, pode-se dizer que a qualidade das fôrmas nasce com o projeto e as especificações, seguida de uma rígida normalização de utilização dos componentes do sistema e da aplicação profunda dos conceitos de racionalização e construtibilidade.

2.6.2. Planejamento do Projeto de Fôrmas:

O planejamento do método construtivo refere-se a uma atividade na qual são analisados os fluxos de atividades, processos a serem desenvolvidos, o tipo de mão de obra e os procedimentos de execução das fôrmas por um grupo que domine as técnicas e tenha o conhecimento do processo como um todo. Alguns exemplos dos principais procedimentos a serem adotados no planejamento do projeto do sistema de fôrmas podem ser citados abaixo:

- Conhecer previamente as características construtivas básicas da obra;
- Realizar o lançamento estrutural depois de definido o processo construtivo;
- Definir o prazo disponível para execução da estrutura;
- Padronização da estrutura, com pavimentos tipos iguais;
- Padronização das dimensões dos pilares, com seção constante e armadura variável a cada pavimento;
- Padronização das dimensões das vigas entre pavimentos consecutivos;
- Padronização, para um mesmo alinhamento, é desejável que a largura do pilar seja igual à largura da viga;
- Evitar ao máximo as transições e os rebaixos na estrutura;

- Considerar no lançamento estrutural dos pavimentos pré-tipo o lançamento do tipo;
- Estabelecer projeto de montagem para cada elemento do sistema;
- Calcular os itens de taxa de fôrma por área estruturada e taxa da fôrma por volume de concreto, explicitados abaixo. Quanto menores forem estes índices, melhores tendem a serem as características de construtibilidade e produtividade da mão de obra:

$$I_1 = \frac{\textit{Área de contato de fôrma do pavimento}}{\textit{Área de projeção do pavimento}}$$

Equação 1 - Área de fôrma por área estruturada

$$I_2 = \frac{\textit{Área de contato de fôrma do pavimento}}{\textit{Volume de concreto do pavimento}}$$

Equação 2 - Área de fôrma por volume de concreto

A adoção destas medidas no projeto de fôrmas contribui para a eficiência da construção do edifício, uma vez que o método construtivo a ser empregado e os condicionantes práticos que atuam neste processo ajudam a explicar o aumento da produtividade que será obtido na execução de uma determinada obra.

2.6.3. Planejamento da Execução das Fôrmas:

Além dos serviços de fôrma, nesta fase deve-se levar em conta a interação desse serviço com as demais atividades da construção. O planejamento dos serviços da fôrma deve ser coerente com as outras etapas da execução da estrutura. Em função da velocidade que se consegue imprimir aos diferentes atividades dos serviços de fôrmas é que se deve dimensionar e programar os serviços de armação. Por outro lado, não se deve programar a preparação de grandes áreas de fôrmas se não se dispuser de equipamentos para a produção, transporte e lançamento do concreto capaz de atender tal área. Ainda há interfaces com outras atividades tais como as instalações elétricas e hidráulicas.

No planejamento das fôrmas um dos objetivos principais para se atender o requisito de economia é maximizar o reaproveitamento. Dentro das restrições de prazo do cronograma de obras e possibilidades de juntas de concretagem na construção deve se dividir os serviços de modo a executar a estrutura por parte e conseguir mais áreas de fôrma com menor consumo de materiais. É fácil constatar que projetos de estruturas repetitivas ou moduladas favorecem este objetivo.

2.7. Abordagem do Sistema em Relação a Prazo, Custo e Qualidade

Uma obra é realizada por um conjunto de serviços e atividades que estão todos interligados entre si. Existe uma sequência lógica entre essas atividades e requisitos básicos para o início de cada atividade. As atividades relativas ao sistema de fôrma são as primeiras dessa sequência, implicando numa dependência de todas as atividades subsequentes por ela. Portanto, uma fôrma mal executada pode resultar em desperdícios de mão de obra, material, podem gerar patologias na estrutura e afetar o prazo de execução da obra. De maneira geral, o desempenho do sistema de fôrma exerce forte influência na qualidade, prazo e custo das obras (2).

2.7.1. Qualidade

As atividades relativas à montagem do sistema de fôrma influenciam diretamente a qualidade da obra. Todos os requisitos citados no item 2 devem ser atendidos para que não ocorra nenhuma patologia nas edificações. Para cada um desses requisitos há uma ou mais patologias que podem ocorrer, relacionadas à má utilização do sistema de fôrma.

Por exemplo, a falta de estanqueidade pode acarretar na ruptura por escoamento do aço, causado pela falta de estanqueidade na forma que possibilitou a fuga da nata de cimento, e, conseqüentemente, tornou o concreto mais permeável e então, suscetível a ataques de agentes externos a armadura.

Outra questão é a resistência à deformação, que quando não atendida, pode emperrar portas em janelas quando as vigas flambam mais que o permitido, em função de uma retirada prematura do escoramento ou de espaçamento excessivo das escoras.

Uma patologia muito comum, a trinca, pode ser gerada pelo excesso de carga produzido pela argamassa usada em enchimentos para a adequação da geometria da estrutura que foi afetada pela falta de estabilidade dimensional do sistema.

De maneira geral, pode-se dizer que qualidade de todos os subsistemas de uma obra está diretamente relacionada ao desempenho do sistema de fôrma.

2.7.2. Prazo

A execução das estruturas de concreto armado está intimamente ligada ao uso de fôrmas. De acordo com ASSAHI (2), o prazo de execução da estrutura corresponde a, aproximadamente, 50% do prazo total do empreendimento. Além disso, a fôrma é um pré-requisito para o início das outras atividades do cronograma. Portanto, as fôrmas exercem um papel muito importante no prazo de execução de todos os serviços. Um atraso no início do serviço de montagem das fôrmas ou a adoção de um sistema que não seja o ideal, pode afetar o prazo total da obra.

2.7.3. Custo

As fôrmas representam, em média, 40% do custo total da estrutura de edifícios multipavimentos (24). Esse número varia de acordo com o tipo de material, o prazo de execução, os equipamentos utilizados e a produtividade da mão de obra. Faz se necessário, portanto, um planejamento prévio para a escolha do tipo de sistema de fôrma. ARAÚJO (20), recomenda que a definição do sistema a ser utilizado seja anterior ao lançamento estrutural, para que o projeto de fôrmas estabeleça medidas que facilitem a execução da obra. Ao considerar esse aspecto, o custo total desse sistema tende a ser minimizado.

Outro item que pode implicar em custos excessivos ao sistema é a qualidade dos serviços de fôrma. A execução desse serviço deve ser muito bem controlado e fiscalizado. Pequenos erros nas atividades podem comprometer o custo da estrutura, como por exemplo, a transferência de eixo e a locação dos gualhos, atividades críticas, que, se mal executadas geram imperfeições geométricas que demandarão um alto custo para solucioná-los.

2.7.4. Condicionantes para a Escolha do Sistema

O processo de escolha do sistema de fôrmas é influenciado, principalmente, pelo prazo de execução e os custos inerentes à execução da estrutura, segundo NAZAR (14). Por sua vez, ARAÚJO (20) menciona que a escolha do sistema está diretamente relacionada à estratégia construtiva a ser adotada, e vinculada a outros fatores, como:

2.7.5. Sistema Estrutural Empregado

O sistema estrutural afeta diretamente a escolha do sistema. Uma estrutura padronizada com formatos regulares e repetitivos, como um edifício multipavimentos construído em lajes planas, por exemplo, podem ser executadas com quaisquer dos sistemas listados acima no item 2.4. Por sua vez, estruturas com formatos irregulares, sem uma padronização efetiva das peças estruturais, com pequena possibilidade de reaproveitamento de fôrmas pode inviabilizar a adoção de alguns sistemas, como o metálico, por exemplo (19).

2.7.6. Cronograma de Obra

De acordo com FAJERSZTAJN (19), o prazo de execução da estrutura é um fator determinante na escolha do sistema. Prazos muito curtos, onde o projeto permita uma repetitividade do sistema de fôrmas, necessita de uma grande quantidade de recursos de fôrmas. Por outro lado, quando o prazo é suficientemente longo, estuda-se a necessidade de comprar e/ou locar uma quantidade menor de recursos. Segundo ARAÚJO (20), quando o cronograma de um edifício demanda a execução de um pavimento por semana deve-se considerar a utilização de sistemas mistos com a locação de um cimbramento com elevada produtividade, como o metálico, por exemplo. Por outro lado, para lajes com prazos mais amplos, possivelmente a locação se tornará inviável.

2.7.7. Repetitividade

O número de utilizações previstas para o sistema a ser empregado implica diretamente na escolha do material a ser empregado, considerando sua durabilidade em relação às repetidas atividades de montagem e desmontagem das fôrmas. Além disso, pode-se dizer que a repetitividade é diretamente proporcional ao porte do empreendimento. FAJERSZTAJN (19) afirma que empreendimentos de maior porte podem amortizar sistemas de fôrmas mais sofisticados.

2.7.8. Disponibilidade de Equipamentos para Transporte

A disponibilidade de transporte vertical é um fator limitante para a adoção de certos sistemas. Por exemplo, o emprego de sistemas metálicos necessita de guias ou guindastes para sua movimentação, em função do elevado peso.

2.7.9. Acabamento Superficial

A qualidade do acabamento superficial do concreto definido em projeto orienta quanto à definição do tipo de material do molde a ser utilizado. Como citado no item 2.4, cada tipo de material do molde confere texturas e qualidades singulares. Desta forma, o emprego de moldes de madeira serrada para concreto acabado torna-se, praticamente, inviável.

2.7.10. Disponibilidade de material

A disponibilidade de material na região do empreendimento é um fator condicionante para a definição do sistema. Por vezes, em regiões mais afastadas, a oferta de produtos disponíveis é restrita, e o frete dos equipamentos é muito elevado, implicando numa escolha dos equipamentos disponíveis no mercado regional.

2.8. Processo de Decisão do Sistema

A análise e a combinação dos itens abordados acima no item 2.7 definem tanto o tipo de material a ser empregado nos elementos constituintes, quanto o sistema de fôrma a ser empregado na execução da estrutura de um empreendimento. O processo de decisão inicial é excludente, de forma que se avalia para cada item quais sistemas são capazes de se obter o desempenho esperado, de acordo com os requisitos do projeto, para determinação de um sistema básico. Nesta fase o custo inerente ao processo aparece como um potencial fator de triagem.

Definido o sistema básico, inicia-se um aprofundamento maior do estudo considerando os impactos nos subsistemas e as soluções para a execução do projeto estrutural. Com isso, se avalia a necessidade de inter-relação entre os subsistemas e uma eventual combinação de soluções.

Por fim, são realizadas estimativas de custo das soluções que atenderam todos os requisitos de maneira satisfatória e eventualmente ajustadas pela combinação de alternativas estudadas para definir e justificar o sistema de fôrmas a ser utilizado.

3. Estudo de Caso

O presente estudo de caso tem por objetivo realizar uma comparação entre dois métodos executivos de um sistema racionalizado de fôrmas de madeira com escoramento metálico em relação a custo, prazo e produtividade. Os métodos

analisados são o das mesas voadoras e o convencional, de uma obra multipavimentos da construtora **XXXXXX**. O empreendimento é composto por oito edifícios, onde dois deles foram executados pelo primeiro sistema, outros dois pelo segundo sistema e os outros ainda estão em execução, na presente data.

A pesquisa é fruto da observação do autor que atuou como assistente técnico na execução dos quatro edifícios do empreendimento residencial, realizando a conferência dos serviços de montagem e desmontagem das fôrmas de acordo com os procedimentos executivos e no acompanhamento da produtividade da mão de obra de ambos os métodos, o que permitiu uma observação das dificuldades intrínsecas a cada processo.

3.1. Apresentação da Obra

O empreendimento estudado é composto por oito edifícios em concreto armado com sistema estrutural reticulado, que apresenta vigas apenas na periferia dos edifícios, nos poços dos elevadores, na escada e numa pequena parte do miolo central. Cada prédio conta com 22 pavimentos, sendo um subsolo, térreo, pavimento de uso comum, quatorze pavimentos tipo I, três pavimentos tipo II, cobertura e telhado. Os pavimentos tipo I se diferem do tipo II apenas pela varanda, que no tipo II tem suas dimensões aumentadas.

Os edifícios são padronizados e possuem apenas duas tipologias: os blocos ímpares, que são idênticos entre si e os blocos pares que também são idênticos entre si. Os blocos 1 e 2 foram executados pelo método das mesas voadoras por um sistema de fôrmas de madeira com escoramento metálico e cada bloco contava com uma grua, um requisito para o funcionamento do sistema. Já nos blocos 3 e 4 foi empregado o método convencional do mesmo sistema e utilizou-se apenas uma grua que atendia aos dois blocos para as atividades de armação. Os pavimentos pré-tipo, subsolo, térreo e PUC, dos quatro blocos não são padronizados e foram todos executados pelo método convencional, e, portanto, não serão considerados no presente estudo. Além disso, o comparativo será realizado apenas entre os pavimentos do tipo I, do teto do 1º pavimento ao teto do 13º pavimento, para efeito de simplificação de cálculo.

A seguir serão apresentados os dados de projeto de ambos os blocos, utilizados no presente estudo:

3.1.1. Dados dos Blocos Ímpares

- Área estruturada = 738,00 m²
- Pé direito estrutural = 2,88 m
- Área de fôrmas das vigas = 179,20 m²
- Área de fôrma dos pilares = 401,93 m²
- Área de fôrma das lajes = 677,33 m²
- Área total de fôrma = 1258,46 m²
- Laje média = 22,80 cm
- Taxa de fôrma = 1,70 m²/m²
- Índice de pilares = 1 pilar/23 m²
- Quantidade de pilares = 32 unid.

3.1.2. Dados dos Blocos Pares

- Área estruturada = 643,00 m²
- Pé direito estrutural = 2,88 m
- Área de fôrmas das vigas = 120,48 m²
- Área de fôrma dos pilares = 379,58 m²
- Área de fôrma das lajes = 590,98 m²
- Área total de fôrma = 1090,97 m²
- Laje média = 23,20 cm
- Taxa de fôrma = 1,70 m²/m²
- Índice de pilares = 1 pilar/21,4 m²
- Quantidade de pilares = 30 unid.

3.2. Método Convencional de Execução do Sistema Racionalizado de Fôrmas de Madeira com Escoras Metálicas

Segundo ZORZI (11), a utilização do método convencional de execução do sistema de fôrma de madeira racionalizado com escoras metálicas vem sendo utilizado em larga escala pelos edifícios verticais da Cyrela no Brasil, sempre que os fatores

condicionantes permitem, principalmente o prazo de execução e o lançamento estrutural. As causas dessa elevada demanda pelo sistema estão relacionadas à sua alta velocidade de execução, aliada ao custo adequado e ao número de reaproveitamentos dos moldes, cerca de 20 vezes.

Para a execução dos serviços de fôrma a empresa conta com mão de obra própria, e com projetos de fôrmas, de escoramentos e de montagem das fôrmas realizados por especialistas, para auxiliar a equipe de produção e contribuir para a racionalização do sistema.

3.2.1. Materiais Empregados nos Elementos Constituintes

A execução do serviço de fôrmas com o sistema serviu-se dos seguintes materiais para compor os elementos constituintes:

- Molde das fôrmas em chapas de madeira compensada plastificada
- Estrutura do molde em madeira serrada
- Vigamento de madeira industrializada
- Escoramento metálico
- Travamento em perfis metálicos
- Mãos francesas metálicas

Os moldes, as estruturas do molde, os travamentos e as mãos francesas foram comprados, enquanto que os vigamentos de madeira industrializada e os escoramentos metálicos foram alugados por todo o tempo de execução da estrutura. Portanto, o desvio do cronograma impacta diretamente o custo com o aluguel desses equipamentos.

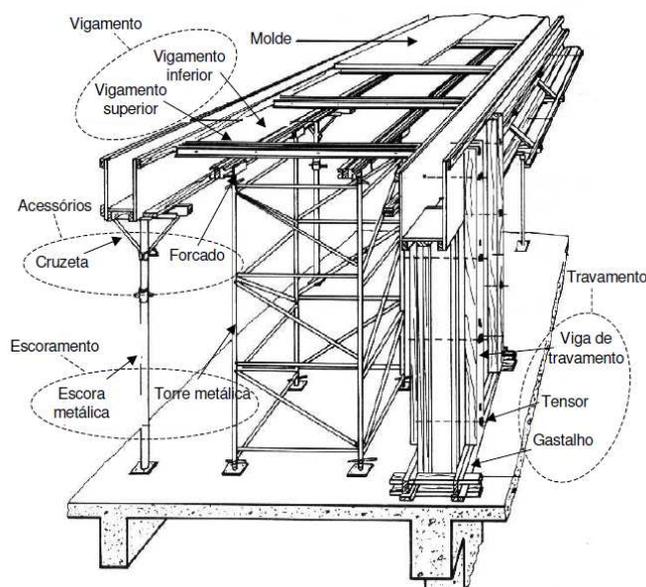


Figura 16 - Esquema do sistema de fôrmas convencional (CALIL, 2005)

3.2.2. Procedimento Executivo

Os elementos constituintes do sistema de formas devem chegar à obra identificados, pintados, na quantidade e dimensões previstas em projeto. Com exceção dos moldes da laje, todos os elementos chegam com suas dimensões definitivas. As chapas devem ser recortadas numa central de carpintaria de acordo com o projeto de montagem das fôrmas.

3.2.2.1. Transferência dos Eixos

A primeira atividade é a transferência de eixos, que são as referências de localização das peças estruturais de acordo com o projeto. Os eixos cartesianos devem ser transferidos dos pavimentos inferiores para os superiores. Para o primeiro pavimento a topografia fornece os pontos com o auxílio de equipamentos como o teodolito ou a estação total. Os eixos são transportados com o uso de prumos de centro e marcados, através de ranhuras, em ganchos de aço que concretados na laje. Toma-se como base os pontos do pavimento imediatamente inferior e, para não haver erro, é realizada a conferência com o eixo do pavimento (N-2), como pode ser visto na figura a seguir:

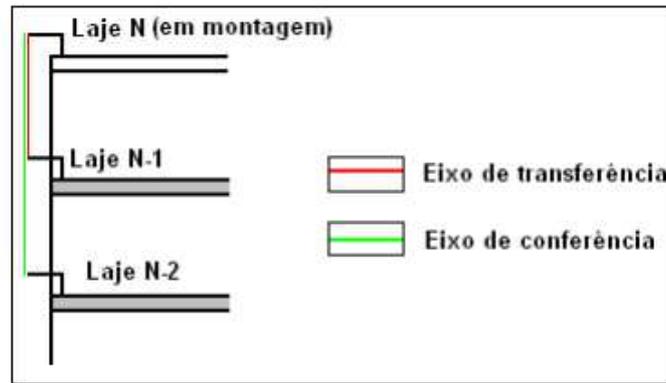


Figura 17 - Transferência do eixo de referência para o pavimento [N-1] e conferência com o pavimento [N-2] (Fonte: Procedimento Executivo RJZ Cyrela)

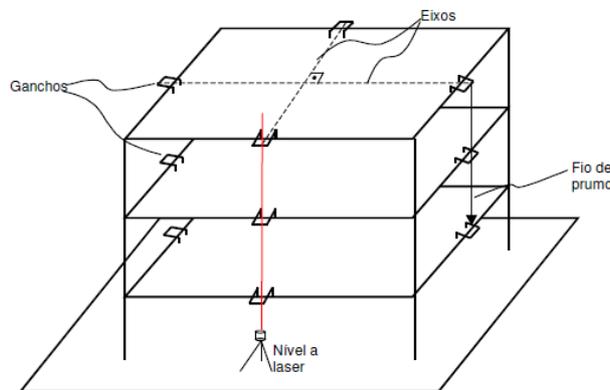


Figura 18 - Transferência de eixo com a utilização do prumo de centro ou nível a laser (OTÁVIO, 2008)

Após a transferência dos eixos, esses devem ser materializados com linhas de nylon e seus esquadros conferidos com uma triangulação.

Essa atividade é muito crítica para a execução da estrutura, pois qualquer erro impactará diretamente no seu desempenho, além de aumentar a sobrecarga da estrutura e os custos da obra decorrentes da regularização da geometria do edifício através do enchimento com argamassa.

3.2.2.2. Locação e Fixação dos Gastalhos

A partir dos eixos de referência, deve-se locar os gastalhos conforme o projeto de locação, fixando-os com pregos. Eles tem a função de delimitar o encontro dos pilares com a laje, servir de base para os painéis da laje e auxiliar na contenção das cargas horizontais no pé do pilar.

Para os pilares da periferia, deverão ser posicionados apoios para os gastalhos, garantindo que eles permaneçam fixos e indeformáveis, ao receber o peso próprio dos painéis, bem como estanques, para impedir a fuga de concreto durante a

concretagem. Durante o serviço de locação e fixação dos ganchos é realizada a retirada das fôrmas dos pilares do pavimento inferior.

3.2.2.3. Montagem das Fôrmas do Pilar

A montagem das armaduras dos pilares é realizada no pavimento térreo e após a conclusão da fixação dos ganchos, são transportados para a sua posição definitiva com auxílio da grua. Após a amarração dos pilares, os componentes dos pilares são transportados para o pavimento de montagem manualmente. Posiciona-se a grade do primeiro painel lateral sobre o gancho, fixando-a no prumo temporariamente com auxílio de mãos francesas.

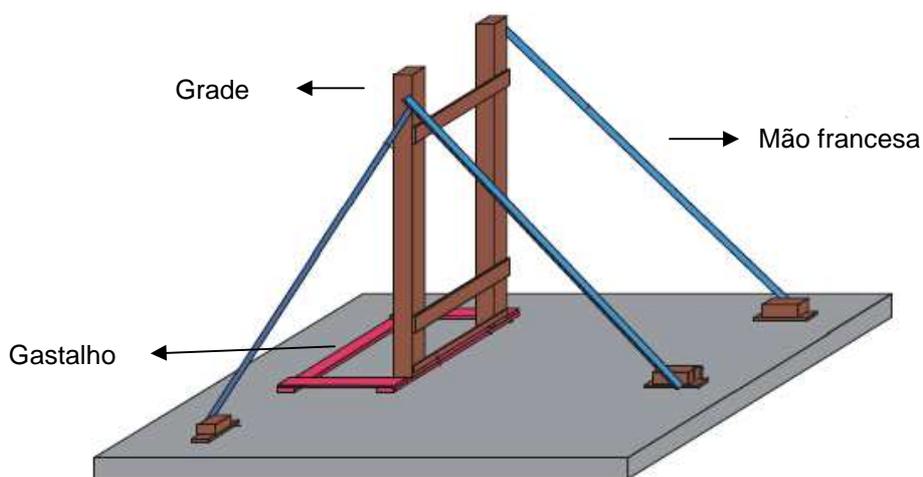


Figura 19 - Posicionamento da grade no prumo com auxílio das mãos francesas (ZORZI, 2006)

A partir do ponto de referência de nível do pavimento, transfere-se o nível do topo da chapa inferior para todas as grades dos pilares, com auxílio do nível a laser. Nos casos em que o nível do concreto estiver acima do esperado, deve-se cortar o concreto excedente para permitir a montagem do painel lateral. No caso do nível estar abaixo, deve-se calçar com uma cunha de madeira a base dos painéis do pilar, para que o nível correto seja atingido.

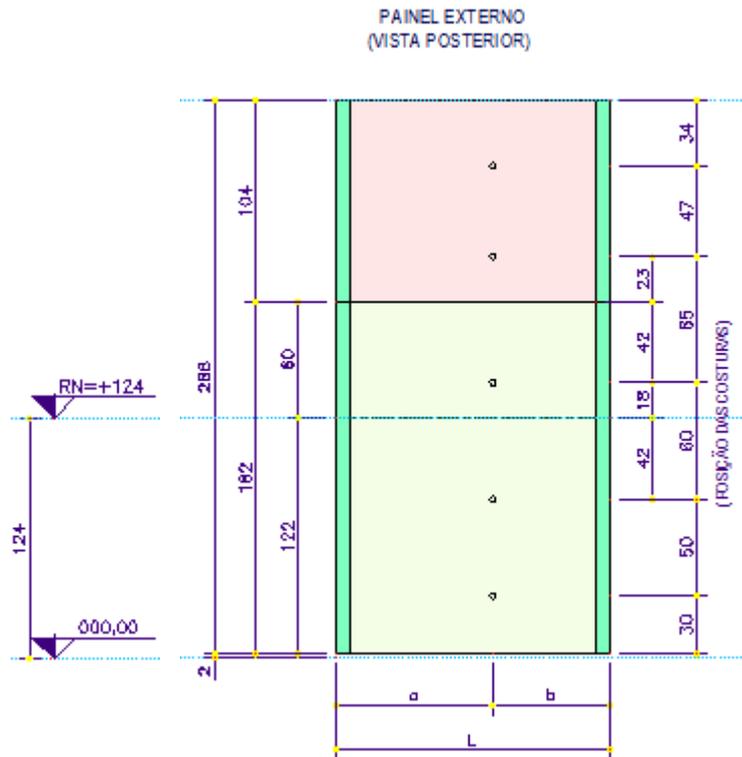


Figura 20 - Nível do topo do painel inferior que será transferido para as grades (Fonte: projeto de fôrmas desenvolvido por Paulo Assahi)

Antes do início da montagem das fôrmas, aplica-se o desmoldante nas chapas, utilizando um pulverizador para evitar que o concreto cole nas chapas. As chapas de compensado são fixadas nas grades, iniciando-se pela inferior, que deve ser nivelada de acordo com o nível marcado na grade. Em seguida o mesmo processo é realizado para as outras faces do pilar.

Após o fechamento do pilar, com todas as chapas fixadas nas grades, o travamento é realizado com vigas em perfis metálicos e barras de ancoragem nas linhas de amarração previstas em projeto. O conjunto é, então, levado ao prumo com auxílio de um prumo de face e das mãos francesas.

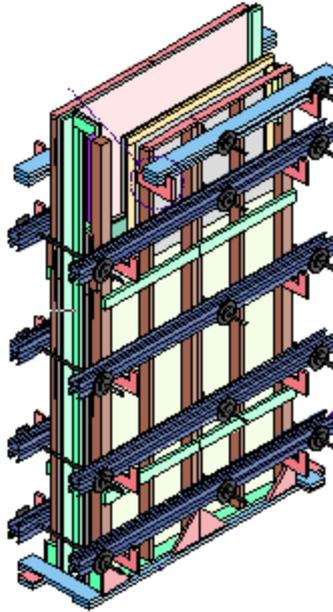


Figura 21 - Pilar travado com vigas metálicas e barras de ancoragem (Fonte: projeto de fôrmas desenvolvido por Paulo Assahi)

3.2.2.4. Montagem das fôrmas das vigas

A montagem dos painéis das vigas só se inicia após os pilares que interagem com ela estiverem amarrados, travados e apurados. Após o fechamento dos pilares, os elementos de escoramento e painéis de viga são transportados manualmente para o pavimento de montagem. Os elementos de escoramento (garfos, escoras e torres) são posicionados no prumo e alinhados, conforme o projeto de escoramento.

Posicionam-se os garfos de madeira, fazendo-se uso de sarrafos para travá-los provisoriamente, no alinhamento onde serão colocados os painéis de fundo das vigas. Aplica-se o desmoldante nos painéis laterais e de fundo, apoiando-os nos painéis dos pilares e nos garfos, respeitando as marcações de posicionamento dos escoramentos indicadas nos painéis de fundo das vigas. Os garfos são alinhados, apurados e pré-nivelados com auxílio de cunhas de madeira.



Figura 22 - Painéis laterais e de fundo das vigas apoiados nos garfos e na boca dos pilares (ZORZI, 2004)

3.2.2.5. Montagem das Fôrmas da Laje

Posicionam-se as escoras metálicas, observando-se o alinhamento e prumo, que apoiarão as extremidades das vigas inferiores, de acordo com o projeto de escoramento. Na parte superior dessas escoras são colocados forçados que irão apoiar o vigamento. Para equilibrar as escoras, durante a montagem, são utilizados tripés. Posicionam-se as vigas inferiores, apoiando-as nos forçados das escoras, e as vigas superiores ortogonalmente às inferiores, espaçadas de acordo com o projeto.



Figura 23 – Vigas inferiores suportadas pelas escoras e travadas pelos forçados (ZORZI, 2004)

Quando a laje estiver com o vigamento concluído, transportam-se os painéis da laje para iniciar o assoalamento. Os painéis são posicionados de acordo com a paginação do projeto, de modo que sejam sempre colocados na mesma posição nas lajes ao longo da execução da estrutura, evitando-se emendas ou cortes para encaixarem entre as vigas.



Figura 24 - Lançamento dos painéis no vigamento superior de acordo com o projeto (Fonte: foto tirada pelo autor)

Paralelamente ao assoalhamento, são posicionadas as escoras que constituirão os apoios intermediários do vigamento inferior, ou seja, aquelas que ficam entre as extremidades das vigas. Essas escoras não necessitam de forçados, podendo encostar diretamente na parte inferior das vigas.

Transporta-se o eixo de referência do testemunho de eixo do pavimento inferior para o nível do assoalho, utilizando prumo de centro. Linhas de nylon são esticadas para materializar o eixo e possibilitar o posicionamento das chapas de acordo com o projeto de paginação. As chapas de compensado são pregadas no vigamento superior e nos sarrafos dos painéis laterais das vigas e dos pilares.



Figura 25 - Chapas de compensado pregadas nas suas posições definitivas (ZORZI, 2004)

As atividades de armação das vigas e lajes, assim como a das instalações elétricas, hidráulicas e de gás são iniciadas após o término do posicionamento definitivo das chapas de compensado. Primeiro é realizado a marcação das caixas de elétrica (pontos de luz) e hidráulica (prumadas), com relação ao eixo de referência. Em seguida é lançada a armadura das vigas e depois a armadura positiva das lajes. Os eletrodutos são conectados aos pontos de luz em paralelo com a distribuição horizontal das tubulações de gás. A armadura negativa só é distribuída após o término dessas atividades.



Figura 26 - Laje pronta com as armaduras e instalações posicionadas de acordo com o projeto (ZORZI, 2004)

Em seguida, é realizado o nivelamento da laje e das vigas, utilizando um nível a laser, por baixo do assoalho. Um nível fixo é estabelecido e mede-se a distância para a parte inferior das chapas de compensado. Os ajustes de nível são feitos girando-se os copos das roscas das escoras.

Após o nivelamento da laje e das vigas, conferem-se os alinhamentos de vigas. Para essa conferência, esticam-se linhas de nylon, entre pontos fixos, paralelamente às vigas. Com uma escala fixa, medem-se as distâncias, em diversos pontos, do painel lateral à linha, verificando o seu alinhamento e posicionamento. Os ajustes são feitos pela movimentação lateral dos garfos.

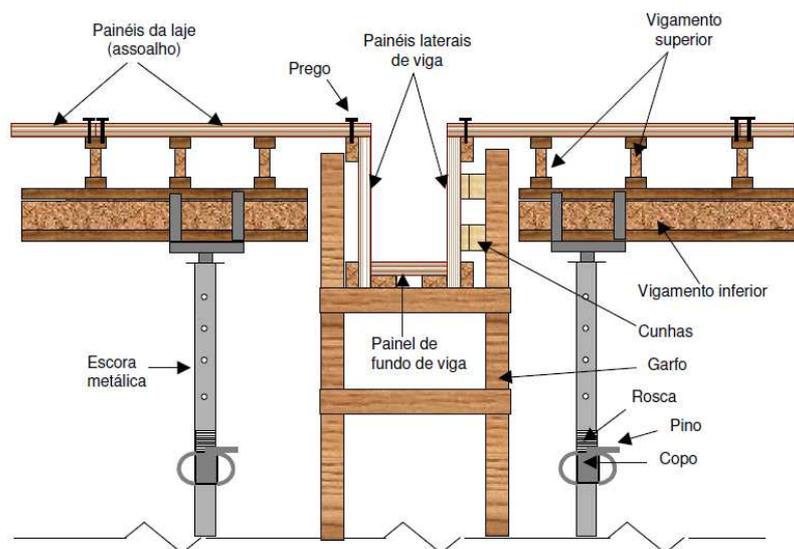


Figura 27 - Corte esquemático do sistema viga-laje (ARAÚJO, 2008)

3.2.3. Ciclo de Atividades

O ciclo de montagem e desmontagem é realizado em quatro dias de trabalho. No quinto dia é realizada a concretagem de todas as peças estruturais, pilares, vigas e laje com os próprios funcionários que fazem a montagem das fôrmas. A distribuição das atividades ao longo dos dias é distribuída sequencialmente da seguinte maneira:

1º dia – transferência dos eixos, locação e fixação dos ganchos, montagem da fôrma dos pilares; posicionamento dos garfos de periferia;

2º dia – montagem da fôrma das vigas; posicionamento das escoras, vigas inferiores e superiores;

3º dia – lançamento e fixação do assoalho; locação dos pontos de elétrica e hidráulica e lançamento das armaduras positivas;

4º dia – montagem da instalação de gás, lançamento da armadura negativa, nivelamento e alinhamento das fôrmas;

5º dia – concretagem dos pilares, vigas e lajes.

3.2.4. Produtividade do Método Convencional

A equipe de fôrma dos blocos ímpares era composta por 16 carpinteiros e 3 serventes, enquanto a equipe dos blocos pares era composta por 14 carpinteiros e 3 serventes. Como mencionado no item 3.3.1, a concretagem foi realizada pela equipe de funcionários da fôrma, com auxílio de 2 pedreiros.

Segundo ARAÚJO (25), o cálculo da produtividade da equipe pode ser realizado pela Razão Unitária de Produção (RUP), onde a entrada são os recursos empregados e a quantidade de serviço realizada. Para o cálculo da produtividade semanal do serviço de montagem e desmontagem das fôrmas, se multiplica a quantidade de funcionários (H), carpinteiros e serventes, pelo número de horas trabalhadas (h) durante o ciclo e divide-se o total pela quantidade de serviço (Qs) executada, que nesse caso é a área total de fôrmas de um pavimento.

$$RUP = \frac{h \cdot H}{Qs}$$

Equação 3 - Razão Unitária de Produção (RUP)

Desta maneira, podem-se calcular dois índices. O primeiro seria a produtividade meta, que representa a produtividade esperada da equipe em um cenário ideal. Seu cálculo considera o número de funcionários contratados e o prazo do ciclo do serviço conforme o cronograma da obra. Entretanto, os imprevistos tais como, possíveis faltas de funcionários, chuvas, alta incidência de raios e acidentes ocasionais, que diminuem a produção dos carpinteiros, não estão considerados no cálculo.

Assim sendo, a obra adotou uma ferramenta de controle de produtividade dos serviços de fôrma, para gerar o segundo índice de produtividade, relativos à realidade de execução. Com isso, é possível verificar possíveis gargalos de produção, para que seja possível elaborar planos de ação, a fim de garantir índices próximos da meta estipulada.

Para tanto, foi realizado um apontamento diário, para cada bloco, considerando a presença dos funcionários, horas trabalhadas e condições climáticas que permitiu a criação de um resumo de produtividade. As tabelas que contemplam esse resumo, dos blocos 3 e 4, que foram executados pelo método convencional do sistema racionalizado de fôrmas de madeira com escoramento metálico, são encontradas abaixo, respectivamente.

CONTROLE DE PRODUTIVIDADE - BLOCO 3							
Mês	Data do Concreto	Pavimento	Ciclo [dias]	Recursos [H.h]	Área de Fôrma Estruturada [m²]	Produtividade Forma	
						Meta [H.h]	Real [H.h]
jul-12	13/07/2012	Teto 1º pav	7	1.091,92	1.240,82	0,54	0,88
jul-12	20/07/2012	Teto 2º pav	4	675,00	1.240,82	0,54	0,54
jul-12	27/07/2012	Teto 3º pav	4	639,00	1.240,82	0,54	0,51
ago-12	06/08/2012	Teto 4º pav	4	639,00	1.240,82	0,54	0,51
ago-12	13/08/2012	Teto 5º pav	4	639,00	1.240,82	0,54	0,51
ago-12	20/08/2012	Teto 6º pav	4	647,00	1.240,82	0,54	0,52
ago-12	27/08/2012	Teto 7º pav	4	630,00	1.240,82	0,54	0,51
set-12	03/09/2012	Teto 8º pav	4	640,00	1.240,82	0,54	0,52
set-12	11/09/2012	Teto 9º pav	4	639,00	1.240,82	0,54	0,51
set-12	18/09/2012	Teto 10º pav	4	638,00	1.240,82	0,54	0,51
set-12	26/09/2012	Teto 11º pav	5	783,00	1.240,82	0,54	0,63
out-12	03/10/2012	Teto 12º pav	4	621,00	1.240,82	0,54	0,50
out-12	11/10/2012	Teto 13º pav	5	756,00	1.240,82	0,54	0,61
TOTAL						MÉDIA	
Resumo		13 pavimentos	57	9.037,92	16.130,66	0,54	0,56

Tabela 2 - Quadro resumo das produtividades meta e real, referente ao bloco 3 (Fonte: Elaborada pelo próprio autor)

CONTROLE DE PRODUTIVIDADE - BLOCO 4							
Mês	Data do Concreto	Pavimento	Ciclo [dias]	Recursos [H.h]	Área de Fôrma Estruturada [m²]	Produtividade Forma	
						Meta [H.h]	Real [H.h]
jul-12	23/07/2012	Teto 1º pav	8	1.206,00	1.090,97	0,56	1,11
jul-12	30/07/2012	Teto 2º pav	4	622,00	1.090,97	0,56	0,57
ago-12	07/08/2012	Teto 3º pav	4	595,00	1.090,97	0,56	0,55
ago-12	14/08/2012	Teto 4º pav	4	569,00	1.090,97	0,56	0,52
ago-12	21/08/2012	Teto 5º pav	4	577,00	1.090,97	0,56	0,53
ago-12	28/08/2012	Teto 6º pav	4	577,00	1.090,97	0,56	0,53
set-12	04/09/2012	Teto 7º pav	4	568,00	1.090,97	0,56	0,52
set-12	12/09/2012	Teto 8º pav	4	594,00	1.090,97	0,56	0,54
set-12	19/09/2012	Teto 9º pav	4	569,00	1.090,97	0,56	0,52
set-12	27/09/2012	Teto 10º pav	5	704,00	1.090,97	0,56	0,65
out-12	05/10/2012	Teto 11º pav	5	473,00	1.090,97	0,56	0,43
out-12	17/10/2012	Teto 12º pav	5	630,00	1.090,97	0,56	0,58
out-12	25/10/2012	Teto 13º pav	5	590,00	1.090,97	0,56	0,54
TOTAL						MÉDIA	
Resumo	13 pavimentos	60	8.274,00	14.182,61	0,56	0,58	

Tabela 3- Quadro resumo das produtividades meta e real, referente ao bloco 4 (Fonte: Elaborada pelo próprio autor)

Abaixo segue o cálculo da produtividade meta referente ao bloco três, em condições ideais, com todos os 16 carpinteiros e os 3 serventes, trabalhando em uma jornada de 9 horas para os 4 dias de ciclo da fôrma:

$$RUP = \frac{(16 + 3)H \cdot (4 \times 9)h}{1258,46 m^2} = 0,54 Hh/m^2$$

No caso do bloco quatro, em condições ideais, a produtividade meta foi calculada com todos os 14 carpinteiros e os 3 serventes, trabalhando em uma jornada de 9 horas para os quatro dias de ciclo da fôrma:

$$RUP = \frac{(14 + 3)H. (4 \times 9)h}{1090,97 m^2} = 0,56 Hh/m^2$$

3.2.5. Custo do Método Convencional

Para o cálculo do custo do sistema racionalizado de fôrmas com escoramento metálico, serão consideradas as despesas com a mão de obra da equipe de fôrma e os custos com a compra e o aluguel dos materiais especificados no item 3.3.1.

3.2.5.1. Custo da Mão de Obra

O pagamento da equipe de produção era composto por um salário fixo e uma gratificação de 200 horas por produção mensal, como forma de incentivo. O custo da mão de obra é diretamente proporcional ao prazo de execução da estrutura. Nas tabelas dos abaixo, são apresentados os custos de mão de obra referentes aos blocos 3 e 4, que foram executados pelo método convencional do sistema racionalizado de fôrmas de madeira com escoramento metálico, considerando encargos de 107,70% e o Imposto Sobre Serviço (ISS) de 3%, no custo total mensal:

Função	Salário [R\$]	Horas Prêmio [H]	Horas Prêmio [R\$]	Custo Base [R\$]	Total Mensal [R\$]	Quant. [Unid.]	Dias Corridos	Total [R\$]
Carpinteiro	1.293,60	200	1.176,00	2.769,90	3.945,90	16	98	206.239,27
Servente	952,60	200	866,00	2.039,74	2.905,74	3	98	28.476,28
Total Bloco 3								234.715,54

Tabela 4 – Quadro resumo do cálculo da mão de obra referente ao bloco 3 (Fonte: Elaborada pelo próprio autor)

Função	Salário [R\$]	Horas Prêmio [H]	Horas Prêmio [R\$]	Custo Base [R\$]	Total Mensal [R\$]	Quant. [Unid.]	Dias Corridos	Total [R\$]
Carpinteiro	1.293,60	200	1.176,00	2.769,90	3.945,90	14	103	189.666,47
Servente	952,60	200	866,00	2.039,74	2.905,74	3	103	29.929,15
Total Bloco 4								219.595,62

Tabela 5– Quadro resumo do cálculo da mão de obra referente ao bloco 4 (Fonte: Elaborada pelo próprio autor)

3.2.5.2. Custo da Fôrma

O custo do material de madeira dos moldes e da estrutura dos moldes foi orçado em R\$ 61,78 por metro quadrado. Esse valor contempla todos os moldes e estruturas do molde de um pavimento e três jogos de fundos de viga e faixas de reescoramento. Assim, os valores referentes aos blocos 3 e 4 foram calculados pela área total de fôrmas, da seguinte maneira:

- Bloco 3: $R\$ 61,48/m^2 \times 1241 m^2 = R\$ 76.657,86$
- Bloco 4: $R\$ 61,48/m^2 \times 1091 m^2 = R\$ 67.400,13$

Esses custos serão considerados os mesmos para ambos os sistemas, uma vez que não há alterações significativas na quantidade de material de um método executivo para o outro. Os edifícios são iguais e o preço não é vinculado ao prazo de execução da obra.

3.2.5.3. Custo de Locação do Cimbramento

A locação das escoras metálicas e das vigas de madeira industrializadas, partes integrantes do cimbramento da estrutura, também foi orçada em função da área total de fôrmas. O valor total é calculado pelo prazo de execução em dias corridos. Assim, nas tabelas abaixo, obtém-se o incorrido para os blocos 3 e 4:

Bloco 3 - Teto 1º ao 13º Pavimento (Teto Tipo I)					
Quant.	Unid.	Item	Área de Projeção [m²]	Valor Unitário [R\$]	Preço Total [R\$]
98	dia	Escoramento Lajes e Vigas	620,47	0,28	17.025,70
98	dia	Reescoramento Lajes e Vigas	620,47	0,16	9.728,97

Tabela 6 - Custo da locação dos escoramentos metálicos e dos vigamentos do bloco 3 (Fonte: Elaborada pelo próprio autor)

Bloco 4 - Teto 1º ao 13º Pavimento (Teto Tipo I)					
Quant.	Unid.	Item	Área de Projeção [m ²]	Valor Unitário [R\$]	Preço Total [R\$]
103	dia	Escoramento Lajes e Vigas	620,47	R\$ 0,28	R\$ 17.894,35
103	dia	Reescoramento Lajes e Vigas	620,47 m ²	R\$ 0,16	R\$ 10.225,35

Tabela 7 - Custo da locação dos escoramentos metálicos e dos vigamentos do bloco 4 (Fonte: Elaborada pelo próprio autor)

3.3. Método das Mesas Voadoras de Execução do Sistema Racionalizado de Fôrmas de Madeira com Escoras Metálicas

O sistema racionalizado de fôrmas com escoramento metálico executado pelo método das mesas voadoras é caracterizado pelo transporte vertical das estruturas monolíticas, denominadas mesas, formadas pela ligação dos elementos constituintes do escoramento, do vigamento e do molde das lajes em conjuntos, que permitem a desforma e o deslocamento dessa estrutura, com auxílio da grua, para a próxima laje a ser concretada (26).



Figura 28 - Mesa sendo transportada com auxílio do garfo de translação e da grua (Fonte: Manual do fabricante - Doka)

Sua utilização é indicada para obras com cronograma curto ou cuja concepção estrutural permita elevadas repetições, verticais ou horizontais, como grandes lajes planas, que podem ser maciças, nervuradas ou, preferencialmente, protendidas.

A implantação do método implica na análise de fatores importantes como as possíveis interferências de vigas internas e vigas de borda, que podem dificultar sua movimentação e retirada do pavimento. Além disso, deve-se prever uma repetitividade mínima, de dez usos para cada mesa e ainda a disponibilidade de uma grua, com uma capacidade de carga adequada, para o deslocamento vertical das mesas (27).

O método das mesas voadoras apresenta vantagens como, elevada produtividade, por não demandar mão de obra para montagem e desmontagem do escoramento a cada ciclo, agilidade nas atividades de fôrma e desforma e conseqüentemente, redução dos recursos empregados com mão de obra. Essas vantagens podem implicar numa redução do prazo executivo da obra, com uma menor equipe de mão de obra.

Entretanto, o método apresenta dois pontos críticos, a desqualificação da mão de obra e a elevada interferência causada pelos fenômenos naturais. As chuvas e os ventos influenciam diretamente no funcionamento da grua, requisito básico para a movimentação das mesas. Em situações de intempérie como essas, é proibida a movimentação de cargas pesadas com auxílio de guindastes, conforme a NR18 (28). Ventos superiores a 42 km/h prejudicam a operação, uma vez que a carga pode oscilar e se chocar com a estrutura, comprometendo seu desempenho e a segurança dos trabalhadores. Quanto à mão de obra, há poucos carpinteiros profissionais no mercado que saibam operar o sistema, demandando um treinamento prévio da equipe de produção, quando não especializada.

3.3.1. Materiais e Equipamentos Empregados

Os materiais empregados nos elementos constituintes das mesas voadoras podem variar, de acordo com o empreendimento. Na obra analisada no presente estudo de caso, os elementos eram compostos pelos mesmos materiais do sistema racionalizado de fôrmas com escoramento metálico, explicitado no item 3.3.1.

No entanto, utilizou-se um sistema de ligação aparafusado, para unir o molde ao vigamento, enquanto que no sistema racionalizado essa ligação é pregada. Além disso, fez-se necessário a utilização de suportes de ligação, que são responsáveis pela ligação entre o vigamento superior, o inferior e as escoras. O suporte,

denominado de DF20/30, ainda confere prumo às escoras, como pode ser verificado na figura abaixo:

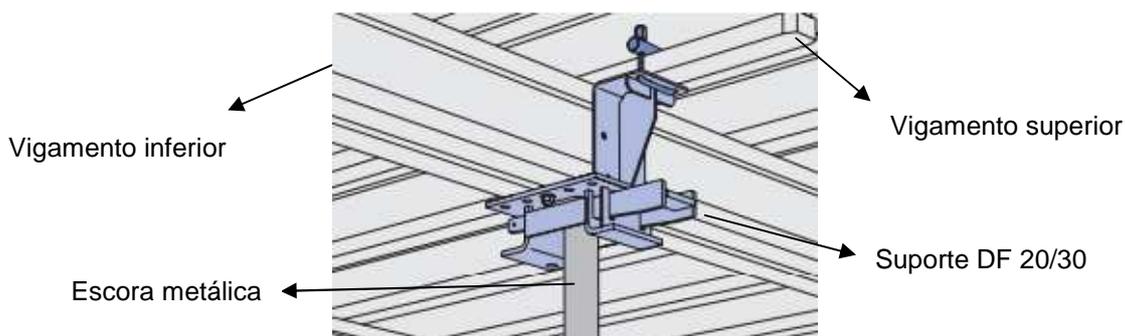


Figura 29 - Ligação do vigamento superior com o inferior e a escora com a utilização do suporte DF 20/30
(Fonte: Manual do fabricante – Doka)

O elevado peso da mesa requer o emprego de equipamentos especiais para o seu transporte. O deslocamento vertical é realizado com auxílio de um garfo de translação, preso ao cabo da grua, que se encaixa no vigamento inferior e permite o transporte das mesas do pavimento de desforma para o pavimento de montagem. Entretanto, a grua só consegue alcançar as mesas que estão na periferia do edifício, devido à laje recém concretada. Para esse transporte horizontal das mesas no pavimento, do miolo para a periferia do edifício, faz-se necessário o emprego do *charriot* de translação, um equipamento hidráulico com rodízios, que além de movimentar as mesas horizontalmente, permite pequenos movimentos na vertical.

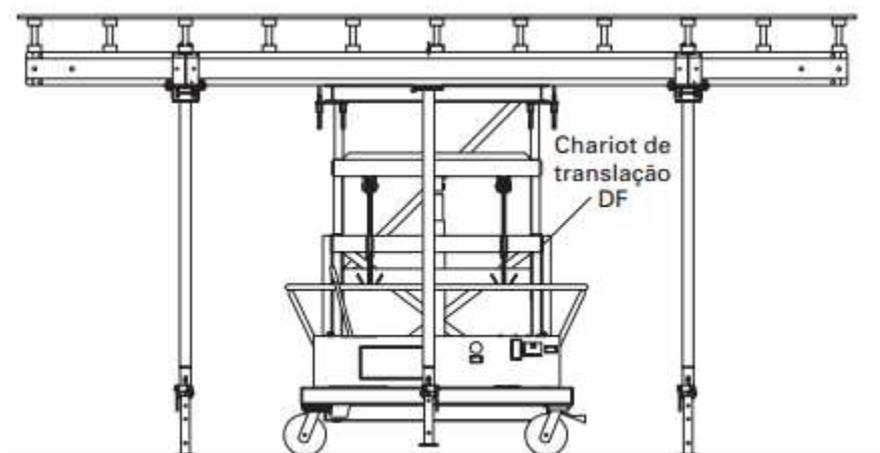


Figura 30 - Chariot de Translação, equipamento de translação horizontal das mesas voadoras (Fonte: Manual do fabricante – Doka)

3.3.2. Procedimento Executivo

Assim como mencionado no item 3.3.2, os elementos constituintes do sistema de fôrmas devem chegar à obra com identificação, com a quantidade e dimensões previstas em projeto. Os moldes da laje são exceções, pois todas as chapas de compensado chegam com suas dimensões padrão de mercado.

3.3.2.1. Montagem das Mesas

Após a chegada dos materiais dos elementos constituintes do sistema de mesas voadoras na obra, realiza-se a montagem das mesas para a sua primeira utilização. A montagem é realizada de acordo com o projeto de montagem vide para cada tipo de mesa, com auxílio de gabaritos feitos com chapas de compensado para permitir a precisão das dimensões. Devem-se tomar os devidos cuidados na montagem, quanto ao esquadro, nível e prumo dos conjuntos, pois servirão para execução de toda a obra.

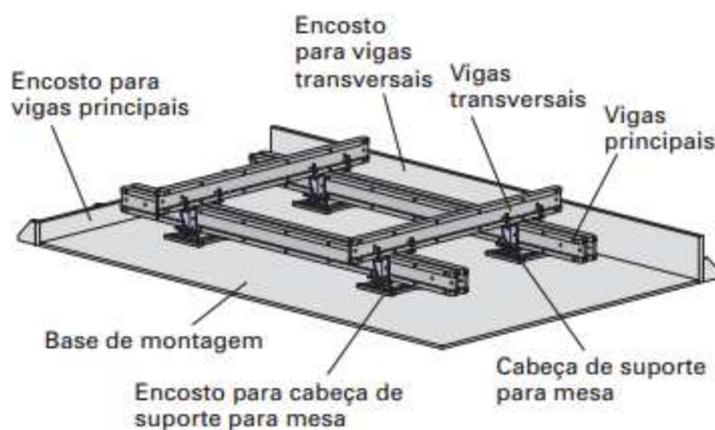


Figura 31 - Base de Montagem da Mesa

O planejamento de movimentação das mesas, com a sequência de retirada, transporte vertical e reposicionamento nos andares posteriores, deve ser estudado previamente, de tal forma que na hora da operação todos os funcionários participantes saibam o que deve ser feito.

3.3.2.2. Transferência dos Eixos

Execução conforme item 3.3.2.1.

3.3.2.3. Locação e Fixação dos Gastalhos

Execução conforme item 3.3.2.2.

3.3.2.4. Montagem das Fôrmas do Pilar

Execução conforme o item 3.3.2.3.

3.3.2.5. Montagem das Fôrmas das Vigas

Execução conforme o item 3.3.2.4.

3.3.2.6. Montagem das Fôrmas da Laje

A desforma das mesas voadoras é realizada de acordo com o plano de movimentação que determina uma sequência de execução para orientar o transporte vertical com a grua. A movimentação é iniciada pelas mesas periféricas, do pavimento de desfôrma para o pavimento de montagem e posteriormente movimentam-se as mesas localizadas no interior da lâmina, com auxílio do *charriot*.

Depois de movimentadas todas as mesas, deve-se executar o arremate do assoalho, nos locais em que não há mesas, conforme o projeto de posicionamento das mesas.

Em seguida, transporta-se o eixo de referência do testemunho de eixo do pavimento inferior para o nível do assoalho, utilizando prumo de centro. Linhas de nylon são esticadas para materializar o eixo e possibilitar o posicionamento preciso das mesas voadoras, de acordo com o projeto de posicionamento das mesas.

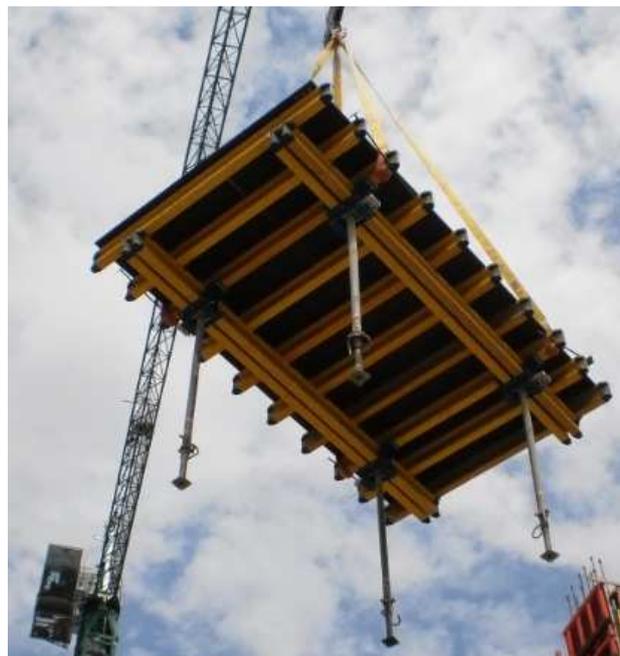


Figura 32- Transporte vertical da mesa para o pavimento de montagem com auxílio da grua (Fonte: foto tirada pelo próprio autor)

A sequência das atividades, composta pela armação das vigas e lajes, instalações elétricas, hidráulicas e de gás, assim como o nivelamento e alinhamento das vigas e lajes, é realizada após o posicionamento definitivo das mesas e deve ser executada conforme o item 3.3.2.5.

3.3.3. Ciclo das atividades

O ciclo de montagem e desmontagem é realizado em cinco dias de trabalho. No sexto dia é realizada a concretagem de todas as peças estruturais, pilares, vigas e laje com os próprios funcionários da equipe de fôrmas. A distribuição das atividades ao longo dos dias é distribuída sequencialmente da seguinte maneira:

1º dia – transferência dos eixos, locação e fixação dos ganchos, montagem da fôrma dos pilares;

2º dia – posicionamento dos garfos de periferia; montagem da fôrma das vigas;

3º dia – movimentação das mesas para o pavimento de montagem;

4º dia – arremates do assoalho; locação dos pontos de elétrica e hidráulica;

5º dia – montagem da instalação de gás, lançamento das armaduras positivas e negativas, nivelamento e alinhamento das fôrmas;

6º dia - concretagem dos pilares, vigas e lajes;

3.3.4. Produtividade do Sistema

A equipe de fôrma dos blocos ímpares era composta por 14 carpinteiros e 3 serventes, enquanto a equipe dos blocos pares era composta por 12 carpinteiros e 3 serventes. Como mencionado no item 3.3.1, a concretagem foi realizada pela equipe de funcionários da fôrma, com auxílio de 2 pedreiros.

Para os blocos um, o cálculo da produtividade, em condições ideais, com todos os 14 carpinteiros e os 3 serventes, trabalhando em uma jornada de nove horas para os cinco dias de ciclo da fôrma é a seguinte:

$$RUP = \frac{(14 + 3)H \cdot (5 \times 9)h}{1258,46 m^2} = 0,61 Hh/m^2$$

No caso do bloco 2, em condições ideais, com todos os 12 carpinteiros e os 3 serventes, trabalhando em uma jornada de nove horas para os cinco dias de ciclo da fôrma é a seguinte:

$$RUP = \frac{(12 + 3)H. (5 \times 9)h}{1090,97 m^2} = 0,62 Hh/m^2$$

Como mencionado em 3.3.4, a obra adotou uma ferramenta de controle de produtividade dos serviços de fôrma, para gerar o segundo índice de produtividade, relativos à realidade de execução. Com isso, é possível verificar possíveis gargalos de produção, para que seja possível elaborar um plano de ação a fim de garantir índices próximos da meta estipulada, como pode ser verificado nas tabelas abaixo:

CONTROLE DE PRODUTIVIDADE - BLOCO 1							
Mês	Data do Concreto	Pavimento	Ciclo [dias]	Recursos [H.h]	Área de Fôrma Estruturada [m²]	Produtividade Forma	
						Meta [H.h]	Real [H.h]
fev-12	03/02/2012	Teto 1º pav	11	1.782,00	1.240,82	0,61	1,44
fev-12	14/02/2012	Teto 2º pav	6	964,00	1.240,82	0,61	0,78
mar-12	01/03/2012	Teto 3º pav	8	978,00	1.240,82	0,61	0,79
mar-12	12/03/2012	Teto 4º pav	6	759,00	1.240,82	0,61	0,61
mar-12	22/03/2012	Teto 5º pav	6	848,00	1.240,82	0,61	0,68
mar-12	30/03/2012	Teto 6º pav	5	785,00	1.240,82	0,61	0,63
abr-12	12/04/2012	Teto 7º pav	7	1.035,00	1.240,82	0,61	0,83
abr-12	20/04/2012	Teto 8º pav	5	712,00	1.240,82	0,61	0,57
abr-12	30/04/2012	Teto 9º pav	5	814,00	1.240,82	0,61	0,66
mai-12	15/05/2012	Teto 10º pav	6	767,00	1.240,82	0,61	0,62
mai-12	23/05/2012	Teto 11º pav	5	626,00	1.240,82	0,61	0,50
jun-12	04/06/2012	Teto 12º pav	5	656,00	1.240,82	0,61	0,53
jun-12	15/06/2012	Teto 13º pav	6	662,00	1.240,82	0,61	0,53
TOTAL						MÉDIA	
Resumo	13 pavimentos	81	11.388,00	16.130,66	0,61	0,71	

Tabela 8 - Quadro resumo das produtividades meta e real, referente ao bloco 1 (Fonte: Elaborada pelo próprio autor)

CONTROLE DE PRODUTIVIDADE - BLOCO 2							
Mês	Data do Concreto	Pavimento	Ciclo [dias]	Recursos [H.h]	Área de Fôrma Estruturada [m²]	Produtividade Forma	
						Meta [H.h]	Real [H.h]
mar-12	09/03/2012	Teto 1º pav	9	1.592,00	1.090,97	0,62	1,46
mar-12	09/03/2012	Teto 2º pav	9	1.592,00	1.090,97	0,62	1,46
mar-12	20/03/2012	Teto 3º pav	6	724,00	1.090,97	0,62	0,66
mar-12	30/03/2012	Teto 4º pav	6	770,00	1.090,97	0,62	0,71
abr-12	10/04/2012	Teto 5º pav	5	675,00	1.090,97	0,62	0,62
abr-12	26/04/2012	Teto 6º pav	9	724,00	1.090,97	0,62	0,66
mai-12	08/05/2012	Teto 7º pav	6	728,00	1.090,97	0,62	0,67
mai-12	16/05/2012	Teto 8º pav	5	659,00	1.090,97	0,62	0,60
mai-12	25/05/2012	Teto 9º pav	6	654,00	1.090,97	0,62	0,60
jun-12	04/06/2012	Teto 10º pav	5	602,00	1.090,97	0,62	0,55
jun-12	14/06/2012	Teto 11º pav	6	566,00	1.090,97	0,62	0,52
jun-12	25/06/2012	Teto 12º pav	6	580,00	1.090,97	0,62	0,53
jul-12	04/07/2012	Teto 13º pav	6	591,00	1.090,97	0,62	0,54
TOTAL						MÉDIA	
Resumo	13 pavimentos	84	10.457,00	14.182,61	0,62	0,74	

Tabela 9 - Quadro resumo das produtividades meta e real, referente ao bloco 2 (Fonte: Elaborada pelo próprio autor)

3.3.5. Custo do Sistema

Para o cálculo do custo do sistema de mesas voadoras, serão consideradas despesas com a mão de obra da equipe de fôrma, os custos com a compra e o aluguel dos materiais especificados no item 3.4.1.

3.3.5.1. Custo da Mão de Obra

Assim como no sistema racionalizado de fôrmas de madeira com escoramento metálico, o pagamento da equipe de produção era composto por um salário fixo e uma gratificação de 200 horas por produção mensal, como forma de incentivo. Nas tabelas abaixo, são apresentados os custos da mão de obra da equipe de produção, dos blocos 1 e 2, com a utilização do método das mesas voadoras com sistema de fôrmas de madeira com escoramento metálico. Os valores do custo total consideram encargos de 107,70% e o Imposto Sobre Serviço (ISS) de 3%:

Função	Salário [R\$]	Horas Prêmio [H]	Horas Prêmio [R\$]	Custo Base [R\$]	Total Mensal [R\$]	Quant. [Unid.]	Dias Corridos	Total [R\$]
Carpinteiro	1.293,60	200	1.176,00	2.769,90	3.945,90	16	145	305.149,93
Servente	952,60	200	866,00	2.039,74	2.905,74	3	145	42.133,27
Total Bloco 1								347.283,20

Tabela 10 - Quadro resumo do cálculo da mão de obra referente ao bloco 1 (Fonte: Elaborada pelo próprio autor)

Função	Salário [R\$]	Horas Prêmio [H]	Horas Prêmio [R\$]	Custo Base [R\$]	Total Mensal [R\$]	Quant. [Unid.]	Dias Corridos	Total [R\$]
Carpinteiro	1.293,60	200	1.176,00	2.769,90	3.945,90	14	127	233.860,60
Servente	952,60	200	866,00	2.039,74	2.905,74	3	127	36.902,93
Total Bloco 2								270.763,53

Tabela 11 - Quadro resumo do cálculo da mão de obra referente ao bloco 2 (Fonte: Elaborada pelo próprio autor)

3.3.5.2. Custo das Fôrmas

O custo dos materiais de madeira dos moldes e da estrutura dos moldes foi o mesmo praticado nos blocos 3 e 4, conforme explicitado em 3.3.5.2:

- Bloco 1: $R\$ 61,48/m^2 \times 1241 m^2 = R\$ 76.657,86$
- Bloco 2: $R\$ 61,48/m^2 \times 1091 m^2 = R\$ 67.400,13$

3.3.5.3. Custo da Locação do Cimbramento

A locação das escoras metálicas e das vigas de madeira industrializadas, partes integrantes do cimbramento da estrutura, também foi orçada em função da área total de fôrmas. O valor total é calculado pelo prazo de execução em dias corridos. Assim, nas tabelas abaixo, obtém-se o incorrido para os blocos 1 e 2:

Bloco 1 - Teto 1º ao 13º Pavimento (Teto Tipo I)					
Quant. (dias)	Unid.	Item	Área de Projeção [m²]	Valor Unitário [R\$]	Preço Total [R\$]
145	dia	Escoramento Lajes e Vigas	620,47	0,28	25.191,08
145	dia	Reescoramento Lajes e Vigas	620,47	0,16	14.394,90

Tabela 12 - Custo da locação dos escoramentos metálicos e dos vigamentos do bloco 1 (Fonte: Elaborada pelo próprio autor)

Bloco 2 - Teto 1º ao 13º Pavimento (Teto Tipo I)					
Quant. (dias)	Unid.	Item	Área de Projeção [m²]	Valor Unitário [R\$]	Preço Total [R\$]
127	dia	Escoramento Lajes e Vigas	620,47	0,28	22.063,91
127	dia	Reescoramento Lajes e Vigas	620,47	0,16	12.607,95

Tabela 13 - Custo da locação dos escoramentos metálicos e dos vigamentos do bloco 2 (Fonte: Elaborada pelo próprio autor)

Como mencionado no item 4.4.1, o sistema de mesas voadoras ainda conta com a utilização de três equipamentos acessórios para a sua aplicação, a grua, o garfo de translação e o *charriot* de translação. Os três equipamentos foram alugados pelo tempo de execução das estruturas, como pode ser verificado na tabela abaixo:

Blocos 1 e 2					
Item	Bloco	Quantidade [Unid.]	Valor Unitário [R\$/dia]	Tempo de Locação [dia]	Preço Total [R\$]
Grua	1 e 2	1	934,17	145,00	135.454,17
Garfo	1	1	9,34	145,00	1.354,54
Garfo	2	1	9,34	127,00	1.186,39
Charriot	1	1	23,35	145,00	3.386,35
Charriot	2	1	23,35	127,00	2.965,98
TOTAL [R\$]					144.347,43

Tabela 14 - Custo dos equipamentos acessórios (Fonte: Elaborada pelo próprio autor)

3.3.6. Fatores Interferentes no Prazo de Execução

Durante a execução da estrutura ocorreram incidentes que dificultaram e até mesmo interromperam as atividades do serviço de fôrma e desforma. Como mencionado em 3.4, às condições climáticas afetam a operação de cargas com a grua. Em diversos momentos foi necessário interromper a movimentação das mesas, em função de chuvas ou ventos fortes.

Além das intempéries, a desqualificação da mão de obra foi outro fator que interferiu no prazo de execução da estrutura. A equipe de produção foi contratada de uma grande empresa de fôrmas do Brasil. Os funcionários possuíam experiência no método tradicional de execução dos sistemas de fôrmas de madeira, porém nunca haviam trabalhado com o método das mesas voadoras. Foi necessário treiná-los para transmitir as informações básicas, procedimento executivo e riscos inerentes ao processo. A adaptação dos funcionários não ocorreu de imediato, mas ao longo do processo ocorreu uma significativa evolução da produtividade, dos trabalhadores de ambos os blocos, como pode ser verificado nas tabelas 8 e 9.

3.4. **Comparativo Entre os Métodos Empregados**

De acordo com LAKATOS e MARCONI (29), o método comparativo permite verificar semelhanças e explicar possíveis divergências entre fenômenos observados. Nesse sentido, este estudo de caso pretende comparar, de maneira empírica, as variáveis de custo, prazo e produtividade dos métodos executivos do sistema de fôrma racionalizado já apresentados, o de mesas voadoras e o convencional, uma vez que são fundamentais para a determinação do sucesso ou fracasso de um empreendimento, do ponto de vista da sua rentabilidade.

O método comparativo se mostra adequado na análise dos dados, uma vez que serão comparados dois prédios idênticos em função dos diferentes métodos de execução do sistema de fôrmas. A análise consistirá basicamente na comparação entre o custo total, o prazo total e a produtividade média relacionados à execução dos blocos ímpares (1 e 3), idênticos entre si, e à dos blocos pares (2 e 4) que também são idênticos entre si. Deve-se ressaltar, no entanto, que, enquanto os blocos 1 e 2 foram executados pelo método de mesas voadoras, para os blocos 3 e 4 foi adotado o método convencional.

As tabelas a seguir apresentam os custos totais dos sistemas de fôrmas, em função do método empregado, de acordo com as considerações explicitadas nos itens 3.3.5 e 3.4.5:

Itens	Mesas Voadoras	Convencional
	Bloco 1	Bloco 3
Custo - Mão de Obra [R\$]	347.283,20	234.715,54
Custo - Materiais Empregados [R\$]	76.657,86	76.657,86
Custo - Locação de Equipamentos [R\$]	112.053,97	26.754,67
Custo Total [R\$]	535.995,03	338.128,07
Prazo Total [dias trabalhados]	81	57
Produtividade Média [Hh/m²]	0,71	0,56

Tabela 15 - Quadro comparativo entre os métodos de mesas voadoras e o convencional dos blocos ímpares quanto ao custo total, prazo total e produtividade média (Fonte: Elaborada pelo próprio autor)

Itens	Mesas Voadoras	Convencional
	Bloco 2	Bloco 4
Custo - Mão de Obra [R\$]	270.763,53	219.595,62
Custo - Materiais Empregados [R\$]	67.400,13	67.400,13
Custo - Locação de Equipamentos [R\$]	106.551,32	28.119,70
Custo Total [R\$]	444.714,97	315.115,45
Prazo Total [dias trabalhados]	84	60
Produtividade Média [H.h/m²]	0,74	0,58

Tabela 16 - Quadro comparativo entre os métodos de mesas voadoras e o convencional dos blocos pares quanto ao custo total, prazo total e produtividade média (Fonte: Elaborada pelo próprio autor)

A análise das tabelas permite apontar que o método das mesas voadoras obteve um custo maior que o convencional em ambos os casos, sendo 59% maior no comparativo entre os blocos ímpares e 41% maior nos blocos pares. Em relação ao prazo total de execução da estrutura, o método das mesas voadoras também se mostrou maior, com prazo 48% maior nos blocos ímpares e 23% nos blocos pares. Por sua vez a produtividade média do método de mesas voadoras foi 26% menor que o método convencional, em ambos os blocos.

Outro tipo de análise que pode ser realizada é a evolução da qualidade da mão de obra ao longo do tempo, denominada curva de aprendizado. Segundo SCHERER (30), os trabalhadores adquirem mais proficiência nas suas tarefas com o acúmulo de experiência, aumentando sua produtividade e diminuindo os erros cometidos. Ou seja, a repetição das tarefas aumenta a eficiência da mão de obra.

Neste sentido, o gráfico abaixo permite observar que a mão de obra empregada no método das mesas voadoras não tinha experiência no processo. Além disso, verifica-

se uma taxa de evolução bastante elevada da produtividade da mão de obra do método de mesas voadoras ao longo do tempo de execução da estrutura.

Nos últimos ciclos de concretagem, a produtividade da mão de obra alcançou índices similares aos do método convencional. O método das mesas voadoras apresentou uma tendência de evolução da produtividade da mão de obra para índices entre 0,45 Hh/m² e 0,48 Hh/m², enquanto que o método convencional apresentou índices entre 0,48 Hh/m² e 0,52 Hh/m². Além disso, alcançou índices próximos aos sugeridos pela Associação Brasileira das Empresas de Sistemas de Fôrmas e Escoramentos para o emprego do método das mesas voadoras, que estão entre 0,15 Hh/m² e 0,35 Hh/m² (26).

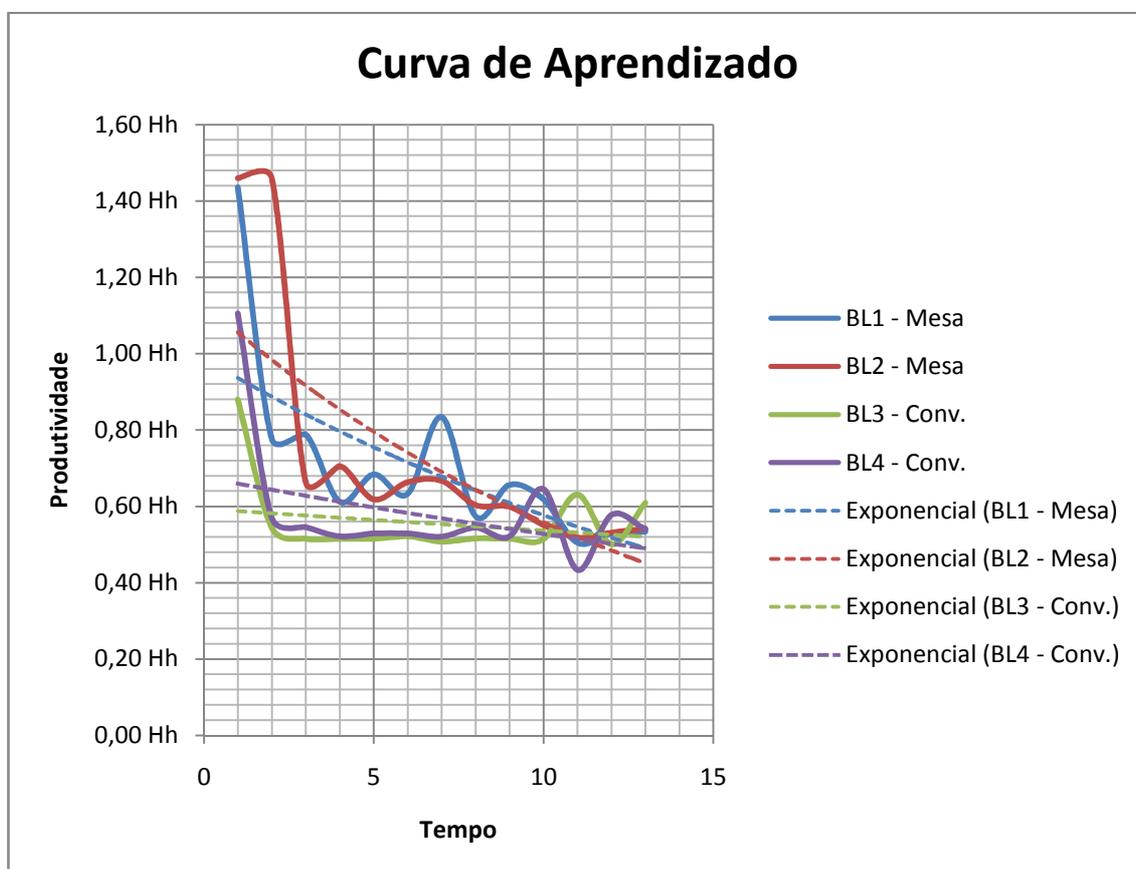


Gráfico 1 - Curva de aprendizado da mão de obra (Fonte: Elaborado pelo próprio autor)

Portanto, do ponto de vista da lucratividade da empresa, pode-se concluir que o método das mesas voadoras se mostrou desfavorável em relação ao método convencional em todos os aspectos analisados de custo, prazo e produtividade. Porém, verificou-se que, inicialmente, a mão de obra empregada no método das

mesas voadoras não possuía a qualificação necessária e contribuiu diretamente com maiores custos, prazos e menor produtividade em relação ao convencional.

3.5. **Projeção do Custo e do Prazo com a Tendência de Produtividade**

De acordo com a tendência de evolução dos índices de produtividade do método das mesas voadoras encontrados, entre 0,45 Hh/m² e 0,48 Hh/m², decidiu-se por verificar qual seriam os custos e prazos totais do sistema de fôrmas ao adotar o método das mesas voadoras com uma produtividade média de 0,48 Hh/m² e com o ciclo das atividades de fôrma de quatro dias trabalhados, para poder compará-los com os dados do método convencional.

Primeiramente, verificou-se a quantidade de recursos necessários para corresponder aos dois requisitos. Para tanto, foi necessário realizar o cálculo da quantidade de mão de obra de acordo com a equação 1. Abaixo seguem os cálculos para os blocos 1 e 2:

$$H = \frac{RUP \cdot Qs}{h}$$

$$H_{BL1} = \frac{0,48 \text{ Hh/m}^2 \cdot 1240,82 \text{ m}^2}{36 \text{ h}} = 16,54 \text{ H}$$

$$H_{BL2} = \frac{0,48 \text{ Hh/m}^2 \cdot 1090,97 \text{ m}^2}{36 \text{ h}} = 14,55 \text{ H}$$

Como pode ser verificada acima, a quantidade de funcionários, tanto de carpinteiros como de serventes, necessária para o bloco um é de 17 homens, enquanto que no bloco dois é de 15 homens, sendo que em ambos os casos, três funcionários são serventes e os outros carpinteiros.

Com a quantidade de recursos a ser definida, é possível projetar qual seria o prazo total, o custo da mão de obra e custo com a locação dos equipamentos e materiais, e então, calcular o custo total do sistema de fôrmas de madeira e escoramento metálico através do método das mesas voadoras. A seguir é apresentada uma tabela resumo com os dados projetados. O memorial de cálculo desta tabela encontra-se no ANEXO 1:

<u>Itens</u>	Mesas Voadoras	Convencional
	<u>Bloco 1</u>	<u>Bloco 3</u>
Custo - Mão de Obra [R\$]	185.065,19	234.715,54
Custo - Materiais Empregados [R\$]	76.657,86	76.657,86
Custo - Locação de Equipamentos [R\$]	68.777,95	26.754,67
Custo Total [R\$]	330.501,01	338.128,07
Prazo Total [dias trabalhados]	52	57
Produtividade Média [H.h/m²]	0,48	0,56

Tabela 17 - Quadro comparativo entre os métodos de mesas voadoras e o convencional dos blocos ímpares considerando uma projeção da produtividade média (Fonte: Elaborada pelo próprio autor)

<u>Itens</u>	Mesas Voadoras	Convencional
	<u>Bloco 2</u>	<u>Bloco 4</u>
Custo - Mão de Obra [R\$]	161.652,83	219.595,62
Custo - Materiais Empregados [R\$]	67.400,13	67.400,13
Custo - Locação de Equipamentos [R\$]	68.777,95	28.119,70
Custo Total [R\$]	297.830,91	315.115,45
Prazo Total [dias trabalhados]	52	60
Produtividade Média [H.h/m²]	0,48	0,58

Tabela 18 - Quadro comparativo entre os métodos de mesas voadoras e o convencional dos blocos pares considerando uma projeção da produtividade média (Fonte: Elaborada pelo próprio autor)

Os dados acima demonstram uma vantagem quanto ao custo total e quanto ao prazo total do método das mesas voadoras em relação ao convencional, se considerarmos a mão de obra com uma elevada proficiência nas atividades do método das mesas voadoras.

4. Considerações Finais

Este trabalho dissertou sobre os principais sistemas de fôrmas disponíveis no mercado brasileiro e trouxe para o debate o conceito, requisitos básicos, tipos de materiais empregados e a classificação destes sistemas. Neste contexto, foram apontados os fatores a serem considerados na definição de um sistema de fôrma adequado, tecendo considerações a respeito do impacto que o sistema de fôrmas apresenta diante da execução de uma estrutura de concreto armado quanto ao custo, prazo e qualidade.

O estudo de caso apresentado aprofundou-se em dois métodos executivos diferentes para o mesmo sistema racionalizado de fôrmas de madeira com escoramento metálico. Os diferentes procedimentos executivos foram apresentados, além dos custos, dos prazos e das produtividades dos dois métodos que foram empregados na construção de edifícios idênticos, permitindo uma comparação precisa entre eles.

Após a análise dos dados, do presente estudo de caso, foi possível aferir que a qualidade da mão de obra possui uma elevada importância na implantação de sistemas de fôrmas e métodos executivos não usuais no mercado construtivo brasileiro.

Além disso, destaca-se o fato do lançamento estrutural ter sido realizado antes da definição do método executivo a ser empregado, que interfere negativamente na racionalização do sistema. A utilização de mesas voadoras não é recomendada em edifícios com sistema reticulado. As vigas de periferia dificultaram consideravelmente o transporte das mesas, contribuindo negativamente na produtividade da mão de obra.

O presente trabalho atenta para a questão da qualidade da mão de obra como fator primordial para o sucesso da aplicação de novos materiais, equipamentos e ferramentas que buscam uma implantação do conceito de racionalização nos diversos processos construtivos. Destaca-se, também, o emprego de lajes planas para a utilização das mesas voadoras, que contribuem com um elevado potencial de produtividade dos serviços de montagem e desmontagem de fôrmas.

Por fim, recomenda-se que as empresas de engenharia, escolas técnicas, empresários e pesquisadores tenham como foco da sua atuação a qualificação da mão de obra e na racionalização dos diversos subsistemas das construções visto que estes impactam diretamente no custo, no prazo e na qualidade das construções.

ANEXO 1

Função	Salário [R\$]	Horas Prêmio [H]	Horas Prêmio [R\$]	Custo Base [R\$]	Total Mensal [R\$]	Quant. [Unid.]	Dias Corridos	Total [R\$]
Carpinteiro	1.293,60	200	1.176,00	2.769,90	3.945,90	14	89	159.204,09
Servente	952,60	200	866,00	2.039,74	2.905,74	3	89	25.861,11
Total Bloco 1								185.065,19

Função	Salário [R\$]	Horas Prêmio [H]	Horas Prêmio [R\$]	Custo Base [R\$]	Total Mensal [R\$]	Quant. [Unid.]	Dias Corridos	Total [R\$]
Carpinteiro	1.293,60	200	1.176,00	2.769,90	3.945,90	12	89	135.791,72
Servente	952,60	200	866,00	2.039,74	2.905,74	3	89	25.861,11
Total Bloco 2								161.652,83

Bloco 1 - Teto 1º ao 13º Pavimento (Teto Tipo I)					
Quant.	Unid.	Item	Área de Projeção [m²]	Valor Unitário [R\$]	Preço Total [R\$]
89	dia	Escoramento Lajes e Vigas	620,47	0,28	15.462,11
89	dia	Reescoramento Lajes e Vigas	620,47	0,16	8.835,49

Bloco 2 - Teto 1º ao 13º Pavimento (Teto Tipo I)					
Quant.	Unid.	Item	Área de Projeção [m²]	Valor Unitário [R\$]	Preço Total [R\$]
89	dia	Escoramento Lajes e Vigas	620,47	0,28	15.462,11
89	dia	Reescoramento Lajes e Vigas	620,47	0,16	8.835,49

Blocos 1 e 2					
Item	Bloco	Quantidade [Unid.]	Valor Unitário [R\$/dia]	Tempo de Locação [dia]	Preço Total [R\$]
Grua	1 e 2	1	934,17	89	83.140,83
Garfo	1	1	9,34	89	831,41
Garfo	2	1	9,34	89	831,41
Charriot	1	1	23,35	89	2.078,52
Charriot	2	1	23,35	89	2.078,52
TOTAL [R\$]					88.960,69

Bibliografia

1. *Sinônimo de Construção*. **Techné**. 137, São Paulo : PINI, 2008.
2. **Assahi, Paulo Nobuyoshi**. Sistema de Fôrma para Estruturas de Concreto. *Boletim Técnico*. São Paulo : s.n.
3. *Mercado imobiliário do Brasil tem Recorde de Investimentos Estrangeiros*. **Construção e Mercado**. 89, São Paulo : PINI, 2012.
4. **Zorzi, Antônio Carlos**. Seminário: Projetos e Estruturas de Concreto Armado. *Site da Pini*. [Online] 18 de 03 de 2010. [Citado em: 11 de 02 de 2012.] <http://www.youtube.com/watch?v=lLArW0BOZn0>.
5. **Carlito Calil Junior, Fernando Okimoto, Guilherme Corrêa Stamato, Giani Pfister**. *Fôrmas de Madeira para Concreto Armado*. São Carlos : Universidade Federal de São Carlos, 1998.
6. **Araújo, Luis Otávio Cocito de**. Tecnologia e Gestão de Sistemas Construtivos de Edifícios. *Apostila da Disciplina de Tecnologia de Produção de Edificações em Concreto Armado*. São Carlos : Universidade Federal de São Carlos, 2004.
7. **NBR6118:2007**. Projeto de Estruturas de Concreto Armado - Procedimento. *Norma Brasileira*. s.l. : ABNT, 2007.
8. **NBR14931:2004**. Execução de Estruturas de Concreto Armado. *Norma Brasileira*. s.l. : ABNT, 2004.
9. **Barros, Mercia Maria S. Bottura de e Melhado, Sílvio Burratino**. Recomendação para a Produção de Estruturas de Concreto Armado em Edifícios. *Apostila da Matéria de Construção Civil*. São Paulo : Universidade de São Paulo, 2006.
10. **Pfeil, Walter e Pfeil, Michele**. *Estruturas de Madeira*. Rio de Janeiro : LTC, 1985.
11. *Fôrmas*. **Construção Mercado**. 37, s.l. : PINI, 2004.
12. **Formaplan**. Manual de Utilização de Chapas de Compensado. São Paulo : s.n.
13. *Molde Alternativos*. **Techné**. 118, São Paulo : PINI, 2007.
14. **Nazar, Nilton**. *Fôrmas e escoramentos para edifícios*. São Paulo : Pini, 2007.
15. *Industrialização Máxima*. **Techné**. 118, São Paulo : PINI, 2007.
16. *Steel Deck*. **Techné**. 131, São Paulo : PINI, 2008.
17. *Moldura Leve*. **Techné**. 118, São Paulo : PINI, 2007.
18. **Morikawa, Mauro Satoshi**. Materiais Alternativos Utilizados em Fôrmas para Concreto Armado. *Dissertação de Mestrado*. Campinas : Universidade Estadual de Campinas, 2003.
19. **Fajersztajn, Hermes e Landi, Francisco Romeu**. *Fôrmas para Concreto Armado - Aplicação para o Caso do Edifício*. São Paulo : Escola Politécnica da USP.
20. **Araújo, Luis Otávio Cocito de**. Execução de Estruturas de Concreto Armado. *Apostila de Apoio as Aulas de Construção Civil I*. Rio de Janeiro : s.n., 2008.
21. *Molde exato*. **Techné**. 100, São Paulo : PINI, 2005.
22. **Maranhão, George Magalhães**. Formas para Concreto: Subsídios para a Otimização do Projeto Segundo a NBR7190/97. *Dissertação de Mestrado*. São Carlos : Universidade de São Paulo, 2000.
23. **Obata, Sasquia H**. Trabalho de Racionalização dos Serviços de Fôrmas na construção Civil. *Apostila da Disciplina da Racionalização da Construção Civil*. São Paulo : Universidade de São Paulo, 1996.
24. **PINI**. *Tabela de Composições de Preço para Orçamentos*. São Paulo : PINI, 2010.
25. **Araújo, Luis Otávio Cocito de**. Produtividade da Mão de Obra na Execução de Alvenaria: Detecção e Quantificação de Fatores Influenciadores. *Boletim Técnico*. São Paulo : EDUSP, 2001.

26. **Shinyashiki, Robert.** Seminário Racionalização de Estruturas de Concreto Moldadas no Local com Engenharia de Fôrmas e Escoramentos. *Seimnário*. s.l. : Associação Brasileira das Empresas de Sistemas de Fôrmas e Escoramentos.
27. *Dois em Um. Techné.* 176, s.l. : PINI, 2011.
28. NR 18 - Condições e Meio Ambiente de Trabalho na Indústria da Construção. *Norma Regulamentadora.* 2011.
29. **Lakatos, Eva Maria e Marconi, Maria de Andrade.** *Metodologia do Trabalho Científico: Metodologia do trabalho científico: Procedimentos Básicos, Pesquisa Bibliográfica, Projeto e Relatório, Publicações e Trabalhos Científicos.* São Paulo : Atlas, 2001.
30. **Scherer, Frederic Michael.** *Industrial Market Structure and Economic Performance.* EUA : Houghton Mifflin, 1980.
31. **PINI.** *Tabela de Composições de Preço para Orçamentos .* São Paulo : PINI, 2010. 13.
32. **Araújo, Luis Otávio Cocito de.** *Tecnologia e Gestão de Sistemas Construtivos de Edifícios.* São Carlos : Universidade Federal de São Carlos, 2004.
33. **Assahi, Paulo Nobuyoshi.** *Sistema de Fôrma para estrutura de concreto.*
34. **NBR14931:2004.** *Execução de Estruturas de Concreto Armado.* s.l. : ABNT, 2004.
35. **Barros, Mercia Maria S. Bottura de e Melhado, Sílvio Burratino.** *Recomendação para a Produção de Estruturas de Concreto Armado em Edifícios.* São Paulo : USP, 2006.
36. **Pfeil, Walter e Pfeil, Michele.** *Estruturas de Madeira.* Riode Janeiro : LTC, 1985.
37. **Techné.** *Sinônimo de Construção.* s.l. : PINI.
38. *Mercado imobiliário do Brasil tem Recorde de Investimentos Estrangeiros.* **Techné.** s.l. : PINI.
39. **NBR6118:2007.** *Projeto de Estruturas de Concreto Armado - Procedimento.* s.l. : ABNT, 2007.
40. *Formaplan.* [Online] Formaplan. [Citado em: 19 de 03 de 2013.] http://www.formaplan.com.br/produtos_det.php?cod_prod=2&lang=.
41. **Techné.** *Steel Deck.* [http://www.revistatechne.com.br/engenharia-civil/147/artigo142408-1.asp] São Paulo : PINI.
42. —. *Moldura Leve.* [Online] [Citado em: 27 de 03 de 2013.] <http://www.revistatechne.com.br/engenharia-civil/118/artigo40304-1.asp>.
43. —. *Industrialização Máxima.* [Online] <http://www.revistatechne.com.br/engenharia-civil/118/artigo40297-2.asp>.
44. —. *Molde Alternativos.* [Online] [Citado em: 21 de 03 de 2013.] <http://www.revistatechne.com.br/engenharia-civil/118/artigo40296-1.asp>.
45. **Morikawa, Mauro Satoshi.** *Materiais Alternativos Utilizados em Fôrmas para Concreto Armado.* Campinas : Universidade Estadual de Campinas, 2003.
46. **Maranhão, George Magalhães.** *Formas para Concreto: Subsídios para a Otimização do Projeto Segundo a NBR7190/97.* São Carlos : Universidade de São Paulo, 2000.
47. **Obata, Sasquia H.** *Trabalho de Racionalização dos Serviços de Fôrmas na construção Civil. Disciplina da Racionalização da Construção Civil.* 1996.
48. *Fôrmas. Construção Mercado.* Nº 37, s.l. : PINI, 2004.
49. NR 18 - Condições e Meio Ambiente de Trabalho na Indústria da Construção. 2011.
50. **Shinyashiki, Robert.** Seminário Racionalização de Estruturas de Concreto Moldadas no Local com Engenharia de Fôrmas e Escoramentos. s.l. : Associação Brasileira das Empresas de Sistemas de Fôrmas e Escoramentos.

