

Nilton Nazar

**CRITÉRIOS PARA ESCOLHA E DIMENSIONAMENTO DE
FÔRMAS PARA CONSTRUÇÃO DE EDIFÍCIOS HABITACIONAIS**

Dissertação apresentada ao Instituto de Pesquisas
Tecnológicas do Estado de São Paulo-IPT, para
obtenção do título de Mestre em Habitação,
Planejamento e Tecnologia.

Área de concentração: Tecnologia em Construção
de Edifícios

Orientador: Prof. Dr. Nilson Franco

São Paulo

Junho / 2006

Coordenação Manuais Técnicos: Josiani Souza
Projeto gráfico: Lucas Aires
Capa: Lucas Aires
Revisão: xxxxxxxxx xxxxxxxxxxxxx

Editora PINI Ltda.
Rua Anhaia, 964 - CEP 01130-900 - São Paulo - SP - Brasil
Fone: (11) 2173-2300 - Fax (11) 2173-2446
www.piniweb.com - manuais@pini.com.br

1ª edição
1ª tiragem, fevereiro/07, 2.000 exemplares



RESUMO

Neste trabalho foi efetuada uma análise técnica comparativa para os principais elementos de uma edificação, vigas, pilares e lajes, no tocante a projetos de fôrmas usadas para a execução dos mesmos, e também demonstrada a importância econômica das fôrmas em relação ao custo da estrutura de concreto. Foi também apresentado um detalhamento do custo de fabricação de fôrmas, incluindo mão-de-obra e as partes componentes.

O custo de uma fôrma é composto por seus insumos principais como compensados e madeiras, a utilização ou não de equipamentos metálicos para cimbramentos, mão-de-obra para montagem, conforme o prazo de execução de uma obra.

Uma pesquisa bibliográfica dos tipos de madeira em uso no Brasil, a sua fisiologia, o consumo industrial com reflorestamento e florestas plantadas, as suas propriedades físicas e mecânicas também foram enfocados.

Também foi objeto de pesquisa o painel de madeira compensada, o seu processo de fabricação com recomendações para a utilização de adesivos para cada uso específico, bem como os processos de preparação para colagem e prensagem.

Um estudo específico foi feito com placas de OSB, o seu processo de fabricação e produção no mundo.

Ligações pregadas, as mais utilizadas em fôrmas, também foram abordadas.

Os sistemas de fôrmas mais utilizados no mercado nacional para edifícios, como os de madeira, de metal, de plástico, de polipropileno e de papelão foram objeto de análise.

Um critério de escolha do sistema de fôrmas, do ponto de vista econômico, foi feito em cada um dos casos analisados, como as vigas, os pilares e as lajes com várias combinações possíveis em um caso real com 180 utilizações, em que opções de cimbramentos metálicos e de madeira foram analisados.

Foi feita uma avaliação teórica sobre os esforços solicitantes em fôrmas, onde se puderam comparar os diversos critérios de pressão exercida sobre elas, e uma sugestão para utilização dos coeficientes de majoração e de minoração da norma brasileira NBR 7190/97, para comparação com normas estrangeiras.

Ensaio mecânicos em compensados e em placas OSB, além de experiências em obras em que foram usadas estas últimas, completaram a parte experimental.

Os estudos de caso foram todos reais e o seus resultados aplicados nos empreendimentos foram escolhidos com base em uma análise holística da estrutura, e não somente em função das fôrmas e de seu dimensionamento propriamente ditos.

Finalmente, “Diagramas de Orientação” sugerem alguns passos a serem tomados inicialmente para escolha do sistema e subsistemas de fôrmas, antes de uma análise mais aprofundada que deverá confirmá-la.

Palavra-chave: Fôrmas para concreto, madeira, critérios de dimensionamento, sistema de fôrmas, compensado.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	30
1.2	OBJETIVO	32
2	AS FÔRMAS NO PROCESSO CONTRUTIVO -COMPARATIVO ESTRUTURAL	36
2.1	PAVIMENTO ATÍPICO	36
2.2	EQUIPAMENTO METÁLICO	40
2.2.1	Índice de equipamento metálico	40
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	44
3.1	MADEIRA	44
3.1.1	As madeiras do mercado brasileiro	44
3.1.1.1	Estruturas da madeira	45
3.1.1.2	Fisiologia e crescimento das árvores	46
3.1.2.	O pinus na silvicultura brasileira	47
3.1.2.1	Evolução do consumo geral de madeira industrial no Brasil	50
3.1.2.2	Evolução do consumo geral de madeira de reflorestamento e florestas plantadas no Brasil	51
3.1.3	Propriedades físicas e mecânicas da madeira	51
3.1.3.1	Propriedades físicas	51
3.1.3.2	Densidade da madeira	53
3.1.3.3	Umidade da madeira	53
3.1.3.4	A retratibilidade	54
3.1.4	Painéis derivados de madeira	55
3.1.4.1	Compensados	55
3.1.4.2	Processo de fabricação	55
3.1.4.3	Rolos	56
3.1.4.4	Preparação para colagem	57
3.1.5	OSB (Oriented Strand Board)	58
3.1.5.1	Processo de fabricação	60
3.1.6	Adesivos	60
3.1.6.1	Classificação dos adesivos	61



3.1.6.2	Principais adesivos para fabricação de chapas de madeira para fôrmas de concreto	62
3.1.6.3	Preparação da superfície – efeito da umidade da madeira sobre a adesão	63
3.1.6.4	Requisitos de umidade recomendadas para vários tipos de adesivos	63
3.1.6.5	Para colagem	64
3.1.7	Conectores	65
3.1.7.1	Ligações com pregos	65
3.1.7.2	Dimensionamento dos pregos	66
3.1.8	Revestimentos	66
3.2	SISTEMAS DE FÔRMAS	67
3.2.1	Integralmente de madeira	67
3.2.2	Misto madeira x metálico	68
3.2.3	Integralmente metálico	69
3.2.4	Polipropileno	70
3.2.5	Plásticas	71
3.2.6	Papelão	72
4	ANÁLISE ECONÔMICA PARA ESCOLHA DO SISTEMA DE FÔRMAS	76
4.1	ESTUDO DE PILARES	77
4.1.1	Combinações consideradas (Hipóteses de cálculo)	78
4.2	ESTUDOS DAS FÔRMAS PARA LAJES	86
4.2.1	Cimbramento principal	86
4.2.2	Transversinas (Anexos A, B, C, D, E e F)	89
4.2.3	Análise comparativa do custo de fôrmas para lajes	90
4.3	ESTUDO DOS ESCORAMENTOS DE FÔRMAS PARA VIGAS (Anexos G, H e I)	91
4.4	ESCOLHA DE FÔRMAS PARA ESTRUTURAS ESPECIAIS	93
5	CRITÉRIOS PARA O DIMENSIONAMENTO	98
5.1	CRITÉRIO PARA O DIMENSIONAMENTO UTILIZANDO OS COEFICIENTES DA NORMA BRASILEIRA NBR 7190/97	98
5.1.1	Definições importantes	98
5.1.2	Parâmetros para caracterização de madeira compensada conforme a ABIMCI	102
5.2	DIMENSIONAMENTO DE FÔRMAS PARA LAJES, UTILIZANDO OS PARÂMETROS DA NBR 7190/97	105

5.2.1	Combinações de ações	105
5.2.1.1	Dimensionamento da fôrma	106
5.2.1.2	Verificação da tensão de cálculo	107
5.3	DIMENSIONAMENTO DE FÔRMAS PARA VIGAS, UTILIZANDO OS PARÂMETROS DA NBR 7190/97	107
5.4	DIMENSIONAMENTO DE FÔRMAS PARA PILARES, UTILIZANDO OS PARÂMETROS DA NBR 7190/97	109
5.5	O CRITÉRIO DO <i>AMERICAN CONCRETE INSTITUTE</i> – A. C. I.	112
5.5.1	Elementos para o dimensionamento de fôrmas segundo A. C. I.	112
5.5.2	As pressões laterais na fôrma devido à ação do concreto fresco	113
5.5.3	O peso do concreto	113
5.5.4	A velocidade de concretagem ou de enchimento	113
5.5.5	A vibração	114
5.5.6	Temperatura	114
5.5.7	Sobrecarga nas lajes e vigas	114
5.5.8	Outras variáveis (segundo A. C. I.)	114
5.6	PRESSÃO NAS FÔRMAS DOS PILARES	116
5.6.1	Esforço horizontal em fôrmas para lajes segundo A. C. I.	119
5.7	AS PRESSÕES NAS FÔRMAS DE CONCRETO SEGUNDO NORMA DIN	121
5.7.1	Esforços horizontais segundo a DIN 18 218	124
5.8	AS PRESSÕES DO CONCRETO EM FÔRMAS DE PILARES SEGUNDO O CEB	125
5.8.1	Comparação entre métodos para a avaliação de fôrmas em um pilar de 0,20 x 0,70 com 2,90m de altura, T=15°C e v=5m/h	127
5.8.2	Avaliação experimental em chapas para fôrmas	128
5.8.3	Gráficos comparativos dos resultados disponíveis para chapas de OSB e de compensados de pinus (dados da ABIMCI)	131
5.8.3.1	A chapa de OSB e seu comportamento em obras	133
6	ESTUDO DE CASO	140
6.1	CASO 1	141
6.1.1	Análise do consumo dos materiais para laje nervurada	142
6.1.2	Análise econômica das fôrmas para a laje nervurada	143
6.1.3	Análise econômica do aço e concreto para a laje nervurada	144



6.1.4	Análise econômica das fôrmas para a laje nervurada	144
6.1.5	Análise econômica do aço e do concreto da laje maciça	146
6.1.6	Conclusão do caso 1	146
6.2	CASO 2	146
6.2.1	Conclusão do caso 2	147
6.3	CASO 3 – LAJE MACIÇA X LAJE TRELIÇADA	148
6.3.1	Cálculo do custo das fôrmas para as lajes maciça e treliçada	149
6.3.2	Conclusão do caso 3	151
6.4	CASO 4	151
6.4.1	Conclusão do caso 4	153
7	COMENTÁRIOS GERAIS SOBRE O TRABALHO	168
	RECOMENDAÇÃO FINAL	169
9	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	172

INTRODUÇÃO



1. INTRODUÇÃO

A importância das fôrmas de concreto na concepção, na execução e nos custos da estrutura de um edifício justifica plenamente um estudo detalhado do seu dimensionamento e a melhor escolha dos materiais, o que acabará refletindo na mão-de-obra e nos demais itens, mesmo aqueles não diretamente ligados à estrutura de concreto armado.

Nos edifícios habitacionais e comerciais com múltiplos andares, o custo das fôrmas pode variar de 25% até 30% do total da obra e o prazo da sua execução não raras vezes atinge entre 50 % e 60%, o que por si só aponta para a cautela e para as repercussões que tais eventos podem acarretar no preço de venda do produto a ser comercializado.

Mais do que isso, porém, são as seqüelas que o seu mau dimensionamento podem apresentar ao longo do período de execução, ou mesmo após a entrega do empreendimento, com o surgimento de fissuras decorrentes de uma deformação lenta ocasionada por um projeto de fôrma mal dimensionado.

Com relação a esta última advertência, os planos de escoramento e reescoramento poderiam ser objetos de um outro trabalho, cuja relevância é igual ou superior à do projeto de fôrmas propriamente dito. Os carregamentos decorrentes do peso próprio da estrutura de concreto em muitos casos podem ser maiores do que as sobrecargas previstas no projeto estrutural, e, dependendo do prazo programado para a desforma, o módulo de deformação, ou módulo de elasticidade, previsto no projeto estrutural de concreto ainda pode não ter seu o valor esperado atingido.

Tal é a importância da interação entre as partes intervenientes, quais sejam, a arquitetura na definição dos espaços e a engenharia estrutural no projeto das fôrmas, que projetos inteiros já foram alterados mesmo depois de concluídos, por se mostrarem pouco viáveis economicamente.

Neste trabalho serão abordados aspectos construtivos, qualidade dos materiais, análise de custos, e apresentados alguns exemplos reais, nos quais tais fatos ocorreram e mudanças radicais de solução estrutural foram introduzidas a partir das sugestões ocorridas durante as análises dos projetos de fôrma.

Nos grandes centros consumidores, principalmente em São Paulo, estão disponíveis diversos tipos de fôrmas, para os quais é possível locar, montar na obra ou comprar, dependendo das condições impostas pelas obras. Para as várias opções possíveis, a decisão da solução mais adequada é o que está apresentado no decorrer deste trabalho.

Tradicionalmente, as fôrmas de madeira assim chamadas, são as mais utilizadas na construção de edifícios. As fôrmas metálicas ou somente a estruturação metálica são usadas em locais específicos como caixas-d'água, muros de arrimo, fundações e mais esporadicamente em pilares, lajes e vigas.

A opção por uma ou outra solução está atrelada principalmente aos prazos de execução das obras, ao número de utilizações, ao nível de solicitação das peças ou aos três fatores simultaneamente. Pode-se considerar, ainda, a disponibilidade de espaço no canteiro-de-obras e a localização da obra em relação às facilidades de transporte e mão-de-obra local para execução.

A dificuldade do conhecimento dos critérios para o dimensionamento de fôrmas para servir de molde ao concreto armado tem o seu início no precário ensino deste tema em universidades brasileiras, onde, com raríssimas e honrosas exceções, são ministradas aulas com algumas noções.

O fato de as fôrmas serem estruturas provisórias não deve servir de justificativa para tal postura, pois durante a execução de uma estrutura as sobrecargas são na maioria das vezes acima daquelas previstas no projeto definitivo de concreto armado e requerem, portanto, rigoroso dimensionamento para a sua execução.

É desnecessário frisar os aspectos da segurança envolvidos no período construtivo de uma obra que por si só já justificariam o seu detalhamento rígido, mas o que mais impressiona é o seu reflexo no custo final da estrutura, onde a participação das fôrmas é maior que os componentes como o aço e o concreto massa.

A deficiência de informação sobre este tema na formação de engenheiros civis é o passo inicial para explicar a falta de interesse em um item tão importante em todo o processo construtivo de um edifício.

Em média, a participação das fôrmas de concreto em estruturas de edifícios habitacionais, conforme dados compilados em obras executadas pelo autor, pode ser mostrada na figura 1, a seguir:

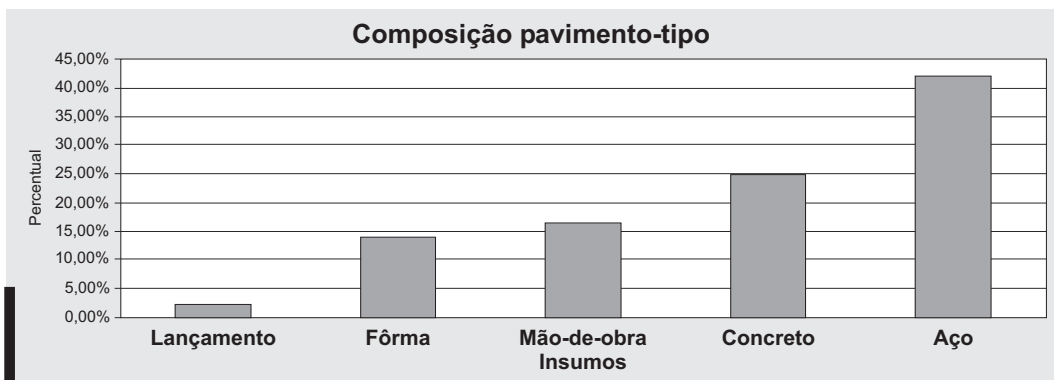


Figura 1 – *Composição de custo de uma estrutura - pavimento-tipo*

Fonte: elaborada pelo autor



Como se pode notar, o significado econômico das fôrmas é expressivo e de uma importância incontestável para ser analisado e dimensionado de forma criteriosa.

É importante destacar que se deve dimensionar uma estrutura, não somente com o consumo de aço e espessura média do concreto a ser consumido. Aspectos referentes à vida útil já estão sendo abrangidos na norma NBR 7190/97. Como se pode notar na figura 1, o custo das fôrmas (10%) é muito significativo e deve merecer tratamento semelhante por parte de todos os projetistas envolvidos no processo construtivo.

Deve-se destacar que há pouca bibliografia nacional sobre o assunto, daí a necessidade do comparativo com estudos e normas técnicas estrangeiras a fim de que com isso se possam chegar a conclusões que ajudem a enriquecer o conhecimento sobre o tema.

1.2 OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é apresentar os critérios técnicos e econômicos para o dimensionamento das fôrmas de concreto para edifícios e considerações sobre os custos dos materiais e a incidência no custo das estruturas.

Com relação ao critério técnico, dividiu-se em duas partes principais, uma primeira pesquisa de critérios de dimensionamento estático das fôrmas, onde foi possível comparar o método adotado pela **ACI (American Concret Institute)** com os adotados pelas normas **DIN (Deutsches Institut Für Normung)** e **CEB (Comitê Euro-International du Beton)** e aquele da Norma Brasileira **NBR 7190/1997**, com estudos nos estados-limites e com os das tensões admissíveis.

Pela pouca bibliografia existente sobre o assunto e ainda pelo empirismo que é ainda habitual no setor, aumenta a importância desta pesquisa.

Ainda dentro deste item para se avaliar o comportamento dos materiais, particularmente o **OSB (Oriented Strand Board)** foi o foco de uma pesquisa em laboratório na qual foram testadas diversas espessuras de chapas a fim de verificar sua possibilidade de utilização nas obras de edifícios do Estado de São Paulo, embora com significado restrito, uma vez que o reduzido número de amostras não tem resultado estatístico conclusivo, mas serviu para confirmar que o seu uso em fôrmas de concreto é absolutamente possível.

Com relação aos aspectos econômicos, embora estes não possam estar desvinculados dos técnicos, influem decisivamente nos parâmetros a serem adotados no projeto. Ainda com relação a estes, fatores como prazo de execução e número de utilizações assumem papel decisivo no critério a ser escolhido para a execução do mesmo.

Os estudos técnicos e econômicos têm a finalidade de criar ferramentas que poderão servir a todos os profissionais que atuam na área e a todos os interessados no aprimoramento e desenvolvimento da engenharia nacional e repassar um pouco da

experiência profissional do autor, há mais de 25 anos atuando neste setor.

Evidentemente, como em qualquer assunto de pesquisa técnica, não há a menor pretensão de esgotá-lo. Se conseguir ao menos provocar a curiosidade, ou mesmo alguma discórdia da qual a discussão construtiva levar ao engrandecimento da engenharia nacional, já terá valido a pena.

**AS FÔRMAS NO PROCESSO
CONSTRUTIVO -
COMPARATIVO ESTRUTURAL**

2. AS FÔRMAS NO PROCESSO CONSTRUTIVO - COMPARATIVO ESTRUTURAL

Conforme exposto, pela importância das fôrmas na estrutura e sua participação financeira, um estudo comparativo dos custos dos diversos componentes de uma estrutura - o aço, o concreto, as fôrmas e a mão-de-obra de lançamento - traduz a importância econômica das fôrmas no custo geral de uma estrutura e a sua incidência, já diminuída (ou diluída) quando o número de repetições é aumentado.

Para tanto, escolheu-se um pavimento com 300 m² de área de projeção, o qual possui aproximadamente 630 m² (2,10 x área de projeção) de área desenvolvida de fôrmas. Para exemplificar, no pavimento atípico, descrito no item a seguir, o consumo de aço estimado em 100kg/m³ de concreto e o consumo de concreto 0,20m³/m² (de área de projeção), que são índices usuais em edifícios. O mesmo ocorre com a mão-de-obra de carpinteiro, para montagem e desmontagem de fôrmas, sendo 1,5 h/m² de fôrma. Para o lançamento de concreto, estima-se o consumo de 2,0h de carpinteiro/m³ concreto. Estes valores são somente orientativos, mas as empresas mais organizadas já possuem os seus índices, obtidos em diversas obras executadas.

2.1 PAVIMENTO ATÍPICO

A tabela 1 resume os custos médios dos insumos, adotados para execução de prédios (pavimento atípico).

Tabela 1 - Custo dos insumos para execução de prédios (pavimento atípico).

INSUMO	CUSTO	ÍNDICE DE CONSUMO
Concreto montagem / desmontagem(1)	R\$160,00m ³ (*)	1m ³ /m ³
Aço	R\$2,70/kg (inclusive mão-de-obra) (**)	100kg/m ³
Fôrmas Resinadas	R\$45,00/m ² (***) (inclusive sarrafos)	1m ² /1m ²
Mão-de-obra de montagem/desmontagem(1)	R\$7,14/h ⁽²⁾ (carpinteiro inclusive os encargos)	1,5h /m ²
Lançamento	R\$3,19(****) x 2,24(****) = 7,14/h	2,0h/m ³

Obs.: (1) Não foi considerada a mão-de-obra de serventes, pois se trata de andar baixo. Foi considerada somente a mão-de-obra de carpinteiros.

(2) Custo unitário do carpinteiro, com encargos sociais de 124%.

Fonte: Elaborada pelo autor

(*) O custo unitário do concreto fck 25 MPa.

(**) O custo unitário médio do aço pronto, cortado e dobrado.

(***) O custo do m² da fôrma pronta (resinada), inclusive com o sarrafeamento e os cimbramentos.

(****) O custo unitário do carpinteiro, sem encargos sociais.

(*****) O custo dos encargos sociais foi estimado em 124%.

Composição de custo do pavimento atípico

>> Concreto R\$160,00 x (300x0,20)m ³ = R\$9.600,00 -	15,60%
>> Aço R\$2,70 x100kg/m ³ x 60m ³ = R\$16.200,00 -	26,2%
>> Forma (resinada) R\$45,00 x 630m ² - R\$28.350,00 -	45,9%
>> Mão-de-obra de montagem R\$3,19 x630m ² x1, 5hx2, 24 = R\$6.715,62 -	10,9%
>> Lançamento R\$3,19 x 60m ³ x 2,24 x 2h = R\$857,47 -	1,4%
>> TOTAL	R\$61.723,09
>> CUSTO POR m ³	R\$1.028,72/m³
>> CUSTO POR m ²	R\$97,97/m²

A figura 2 mostra o gráfico (porcentual) da composição do custo de um pavimento atípico.

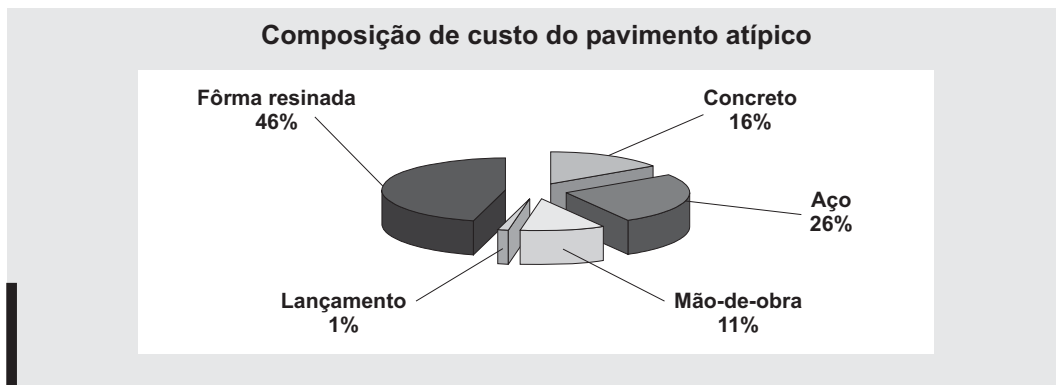


Figura 2 – *Composição do custo do pavimento atípico*

Fonte: Elaborada pelo autor