



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ESTRUTURAL E CONSTRUÇÃO CIVIL
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

JOHN FELIPE CASTRO SEVERINO

**ANÁLISE DA UTILIZAÇÃO DE FÔRMAS DESLIZANTES EM UM EDIFÍCIO
RESIDENCIAL MULTIFAMILIAR E COMPARAÇÃO COM O MÉTODO
CONVENCIONAL**

FORTALEZA

2020

JOHN FELIPE CASTRO SEVERINO

ANÁLISE DA UTILIZAÇÃO DE FÔRMAS DESLIZANTES EM UM EDIFÍCIO
RESIDENCIAL MULTIFAMILIAR E COMPARAÇÃO COM O MÉTODO
CONVENCIONAL

Monografia submetida à Coordenação do curso
de Engenharia Civil da Universidade Federal
do Ceará, como requisito parcial para obtenção
do Título de Engenheiro Civil.

Orientador: Prof. JOAQUIM EDUARDO
MOTA

FORTALEZA

2020

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

S525a Severino, John Felipe Castro.
Análise da utilização de fôrmas deslizantes em um edifício residencial multifamiliar e comparação com o método convencional / John Felipe Castro Severino. – 2020.
57 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia Civil, Fortaleza, 2020.
Orientação: Prof. Dr. Joaquim Eduardo Mota.

1. Formas deslizantes. 2. Técnica de construção. 3. Concreto armado. I. Título.

CDD 620

JOHN FELIPE CASTRO SEVERINO

ANÁLISE DA UTILIZAÇÃO DE FÔRMAS DESLIZANTES EM UM EDIFÍCIO
RESIDENCIAL MULTIFAMILIAR E COMPARAÇÃO COM O MÉTODO
CONVENCIONAL

Monografia submetida à Coordenação do curso
de Engenharia Civil da Universidade Federal
do Ceará, como requisito parcial para obtenção
do Título de Engenheiro Civil.

Aprovada em: 04/11/2020.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Joaquim Eduardo Mota (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Magnólia Maria Campêlo Mota
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Engenheiro Francisco José Celestino de Melo
Portofino Imóveis

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	– Elementos de uma estrutura de concreto armado	14
Figura 2	– Diagrama do empuxo do concreto e altura hidrostática	18
Figura 3	– Exemplo de fôrma mal dimensionada	19
Figura 4	– Forma de pilar com compensados estruturados	23
Figura 5	– Identificação das peças da fôrma deslizante	25
Figura 6	– Peças das fôrmas desmontadas	26
Figura 7	– Identificação de elementos de travamento	27
Figura 8	– Macaco hidráulico	28
Figura 9	– Central hidráulica	29
Figura 10	– Identificação do barrão e tubo camisa	30
Figura 11	– Identificação das plataformas de serviço	32
Figura 12	– Identificação da guia metálica de recobrimento	32
Figura 13	– Rastreabilidade do concreto utilizando a fôrma deslizante	34
Figura 14	– Ferreiros posicionando a armadura transversal	35
Figura 15	– Prumos posicionados para a conferência	36
Figura 16	– Fôrmas deslizantes posicionadas um dia após a concretagem da laje anterior	39
Figura 17	– Estribo de pilar convencional e com a adoção de fôrmas deslizantes respectivamente	40
Figura 18	– Formas da escada antes e depois da alteração no projeto, respectivamente...	41
Figura 19	– Qualidade da desforma com o método convencional e com a adoção de fôrmas deslizantes, respectivamente	42
Figura 20	– Ninho de pedra em pilar alto executado pelo método convencional	43
Figura 21	– Base de pilar executado com forma deslizante	43
Figura 22	– Concreto iniciando pega na bomba com duas horas após misturado	50
Figura 23	– Plataformas de Serviço sem conexões	51

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	– Resumo do ciclo do pavimento tipo utilizando fôrmas deslizantes.....	44
Tabela 2	– Resumo do ciclo do pavimento tipo utilizando fôrmas convencionais.....	45
Tabela 3	– Tabela de Custos para execução de fôrmas convencionais.....	47
Tabela 4	– Tabela de área de forma convencional.....	48

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1	População residente por situação domiciliar (urbana/rural) no Ceará (Unidade: pessoas)	12
Gráfico 2	– Comparativo de tempo de execução entre a utilização de fôrmas deslizantes e fôrma convencional	46
Gráfico 3	– Comparativo de custo entre a utilização de fôrmas deslizantes e fôrma convencional	49

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo analisar a utilização da fôrma deslizante em um edifício multipavimentos e posteriormente compará-lo com o método convencional nos quesitos: qualidade, tempo de execução e custo. Foram apresentados os materiais e procedimento de execução dos dois métodos em comparação e analisado seu funcionamento em uma obra de um edifício residencial. Como a construção com fôrmas deslizantes se trata de uma técnica desenvolvida para estruturas em concreto armado sem lajes, foram verificadas as adaptações a serem feitas para que ela possa ser utilizada, os problemas encontrados na utilização da técnica e as possíveis soluções para utilizações futuras. A partir do estudo de caso, foi possível observar que a utilização das formas deslizantes, apesar de não manterem a mesma produtividade de uma estrutura verticalizada sem lajes, é viável para agilizar o andamento de uma obra de edifício residencial com qualidade superior ao método convencional, tomados os devidos cuidados.

Palavras-chave: Fôrmas deslizantes. Técnica de construção. Concreto armado.

ABSTRACT

This work aims to analyze the use of the slipform technique in a multi-floor building and to compare it with the conventional method in quality, execution time and cost. The materials and procedure for implementing the two methods in comparison were presented. In addition, the operation of the technique studied in the execution of a residential building was analyzed and, since it is a technique developed for reinforced concrete structures without slabs, the adaptations to be made so that it can be used, the problems found in the use of the technique and possible solutions for future uses. From the case study, it was possible to observe that the use of the slipform technique, in spite of not maintaining the same productivity of a vertical structure without slabs, is feasible to speed up the progress of a residential building construction with better quality in comparison to the conventional method, given due care.

Keywords: Slipform. Construction techniques. Reinforced concrete.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
2	JUSTIFICATIVA.....	11
3	OBJETIVO.....	11
3.1	OBJETIVO GERAL	11
3.2	OBJETIVO ESPECÍFICO	11
4	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	12
4.1	Verticalização de Fortaleza.....	12
4.2	Estrutura de concreto armado	13
4.3	Aditivos.....	15
4.4	Fôrmas	16
4.4.1	Materiais	19
4.5	Armadura de pilares.....	21
4.6	Método Convencional.....	22
4.6.1	Formas no método convencional.....	22
4.7	Formas Deslizantes	24
4.7.1	História	24
4.7.2	Fôrmas	25
4.7.3	Travamento.....	26
4.7.4	Equipamento de elevação	27
4.7.5	Processo de içamento.....	30
4.7.6	Plataformas de serviços	31
4.7.7	Lançamento e adensamento do concreto	33
4.7.8	Posicionamento da armadura.....	34
4.7.9	Nivelamento da forma e controle de prumo	35
5	METODOLOGIA	37
6	ESTUDO DE CASO	38
6.1	Empreendimento	38
6.2	Fatores específicos da utilização em um edifício residencial	39
6.2.1	Adaptações necessárias.....	40

7	RESULTADOS.....	42
7.1	Qualidade.....	42
7.2	Cronograma.....	44
7.3	Custo.....	47
7.4	Dificuldades Encontradas.....	50
7.4.1	Soluções para utilizações futuras.....	51
8	CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	53
	REFERÊNCIAS.....	55
	ANEXO A – COMPARAÇÃO DE CRONOGRAMAS ENTRE FÔRMAS DESLIZANTES E O MÉTODO CONVENCIONAL.....	56

1 INTRODUÇÃO

Com a evolução da engenharia sempre surgem novas técnicas de construção. Para se justificar a escolha de uma técnica nova no lugar de uma convencional ela deve se sobressair em alguns critérios. Segundo Thomaz (2001), “a produção de obras e serviços, em maior ou menor escala, sempre visou o equilíbrio do trinômio PREÇO, PRAZO e QUALIDADE”. Assim, esses sempre serão os principais critérios para a escolha de um método construtivo. Entretanto, como a qualidade não pode ser medida, muitas vezes, na escolha do método construtivo, ela não é tratada com a devida importância. Desse modo, a intenção com o uso das fôrmas deslizantes é trazer mais qualidade e agilidade, facilitando o seguimento do cronograma no canteiro de obras.

A utilização das fôrmas deslizantes já é bastante comum em obras industriais e na construção de silos. De acordo com Nakamura (2011), esse tipo de fôrma é muito utilizado quando o cronograma da obra requer execução mais ágil e, por ser um sistema que permite concretagens contínuas é indicado para a execução de estruturas de concreto armado de grande dimensão vertical com seção contínua ou variável. Essas estruturas verticalizadas, devido à altura, não poderiam ser concretadas de uma só vez pelo método convencional, o que prolongaria a concretagem por vários dias, causando pausas na concretagem e gerando juntas frias, fragilizando a estrutura. Mesmo que esse sistema seja mais difundido em construções industriais, é possível utilizá-lo em edifícios residenciais, feitas as devidas adaptações.

Vale salientar que nem toda ideia inovadora pode ser considerada como uso efetivo da tecnologia na construção civil. Uma boa ideia só se torna realmente uma tecnologia funcional quando construtoras, engenheiros e usuários da obra validam que ela é interessante socioeconomicamente (BELGO BEKAERT, 2018). Por esse motivo, o método em questão tem que ser testado várias vezes e se provar como um recurso capaz de trazer mudanças socioeconômicas e se consolidar como uma tecnologia na construção civil.

2 JUSTIFICATIVA

Muito já se sabe sobre a eficiência na utilização de fôrmas deslizantes em silos e estruturas vertical sem lajes, porém o método para ser utilizado em edifícios multipavimentos exige que sejam feitas algumas adaptações de projeto e na própria logística da concretagem.

Como o método construtivo foi poucas vezes utilizado na estrutura de edifícios residenciais no Brasil, faltam estudos que mostrem características mais detalhadas sobre o uso do método nesse tipo de estrutura. Por se tratar de uma técnica capaz de acelerar a construção de edifícios de grande porte, uma tendência em Fortaleza, é válido que se avalie a utilização do mesmo.

3 OBJETIVO

3.1 OBJETIVO GERAL

Acompanhar e analisar a utilização de fôrmas deslizantes em uma estrutura de concreto armado em Fortaleza – CE.

3.2 OBJETIVO ESPECÍFICO

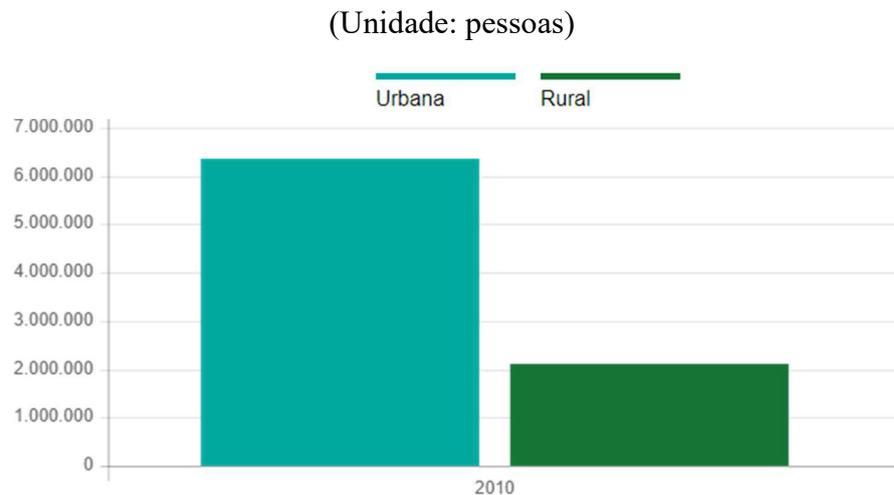
- a) Identificar os componentes que constituem a fôrma deslizante;
- b) Apontar as adaptações que devem ser feitas para que o método construtivo funcione em estruturas multipavimentos;
- c) Comparar o método de fôrmas deslizantes com o método convencional nos quesitos: qualidade, tempo de execução e custo.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 Verticalização de Fortaleza

Hoje, é possível notar o crescente aumento populacional urbano no Estado do Ceará. De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), o Ceará em 2010 já possuía uma população de 8.452.381 pessoas das quais 6.346.557 moravam em zona urbana. Hoje, estima-se que o estado possua mais de 9 milhões de habitantes. Apenas em sua capital existe uma população estimada em 2.686.612 habitantes em sua área de 312,353 quilômetros quadrados, resultado em uma densidade demográfica de 8.601,20 habitantes por quilômetro quadrado.

Gráfico 1 - População residente por situação domiciliar (urbana/rural) no Ceará



Fonte: IBGE(2010)

Surge assim um problema de acomodação dessa crescente população. Com a população espalhada e morando distante do centro, o poder público tem custos elevados para garantir a infraestrutura adequada a todos. O capital investido em urbanização tende a ser maior quanto mais longe as pessoas vivem, pois quanto mais distantes do centro forem as moradias, maior o custo para implantar redes de energia elétrica e abastecimento de água, coleta de lixo e esgoto, telefonia e outros serviços. Quem mora em bairros periféricos também precisa de

segurança, infraestrutura urbana de transporte e estabelecimentos que garantam sua saúde e educação. Sendo assim, quanto maior for o crescimento horizontal da cidade, maior a necessidade de investir nestes serviços, o que acaba fragmentando os recursos governamentais.

Desse modo, a solução mais comum para esse problema é a verticalização dos centros urbanos. A verticalização é um processo urbanístico de aproveitamento avançado do uso do solo, onde se procura abrigar grandes quantidades de moradias no menor espaço possível, resultando na densificação populacional. Ou seja, a cidade muda seu cenário composto normalmente por casas e estruturas horizontais e dá lugar a grandes edifícios. Esse processo é mais comumente visto nas áreas mais valorizadas das cidades, onde se há melhor mobilidade, segurança e a infraestrutura urbana.

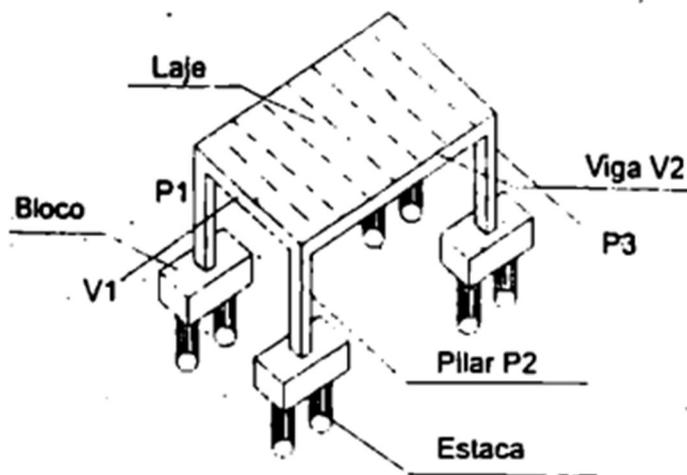
De acordo com Thomaz (2001), essa intensiva urbanização pôde ser verificada a partir da metade do século XX, estimulando cada vez mais a arquitetura dos edifícios altos, cada vez mais esbeltos, com implantações cada vez mais concentradas. Já é possível notar essa tendência em Fortaleza. Também segundo o IBGE, em Fortaleza e municípios da região metropolitana, 18,4% da população mora em edifícios, índice maior que a média nacional. Muitas vezes, essa mudança de arquitetura da cidade não é acompanhada por desenvolvimento técnicas que se adaptem a esse tipo de construção. Sendo assim, é comum que inicialmente técnicas tradicionais, já consolidadas em obras de pequeno porte, sejam apenas adaptadas para obras de grande porte. Com o passar dos anos, a engenharia evolui e novas técnicas vão sendo incorporadas a esse tipo de construção. Por se tratar de uma técnica indicada principalmente para obras verticalizadas, a utilização das fôrmas deslizantes pode auxiliar bastante na evolução de construções de estruturas para edifícios elevados.

4.2 Estrutura de concreto armado

A estrutura é a parte da construção que suportará os esforços e cargas. Ela pode ser dividida em três elementos, sendo esses: lajes, vigas e pilares. As lajes possuem duas dimensões maiores na horizontal, enquanto as vigas possuem apenas uma dimensão maior na horizontal e os pilares na vertical. Destes três elementos, os pilares são os únicos que possuem

sua principal dimensão na vertical e são neles que a aplicação das fôrmas deslizantes se fará útil.

Figura 1 – Elementos de uma estrutura de concreto armado



Fonte: Carvalho (2014, p. 24)

Os pilares são as estruturas responsáveis por transmitir as cargas verticais das lajes e vigas para as fundações, que transmitirão essa carga para o solo. Além disso, estes elementos verticalizados são responsáveis, também, pela estabilidade horizontal da estrutura seja isoladamente ou participando de pórticos de contraventamento.

Uma estrutura pode ser feita de diversos tipos de materiais, como aço, madeira, blocos de alvenaria e concreto armado, e conforme o tipo de estrutura que se deseja construir, deve ser avaliado qual o melhor material e sistema. Dos materiais citados, o único que necessita de fôrma é o concreto armado.

O concreto é uma mistura entre cimento, água e materiais inertes, também chamados de agregados, sendo estes normalmente areia e brita. Segundo Carvalho (2014), os agregados servem apenas para reduzir o custo do concreto sem que se perda muita qualidade, tornando-o mais acessível, visto que o cimento é um material de preço elevado. A mistura inicialmente se apresenta em estado plástico e deve ser jogada sobre as fôrmas nesse estado, onde a hidratação do cimento com o passar do tempo a tornará cada vez mais resistente até que possam ser removidas as fôrmas.

Ainda de acordo com Carvalho (2014), estruturalmente, não é interessante se utilizar apenas o concreto, pois apesar de possuir boa resistência a compressão, ele não resiste bem a tração. Isso somado a sua pouca deformabilidade, acaba por gerar fissuras na estrutura. Desse modo, é importante que o concreto seja associado a um material com boa resistência a tração e que seja mais deformável. No caso do concreto armado, esse material é o aço.

A determinação da resistência do concreto comprimido é a principal característica do material para o dimensionamento da estrutura. Para que o concreto possa ser utilizado na estrutura, a resistência do concreto à compressão é determinada experimentalmente por meio do ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos com 15 centímetros de diâmetro e 30 centímetros de altura. Complementando o controle tecnológico do concreto, deve ser feita a aferição da trabalhabilidade do mesmo. Além disso, deve ser feita a rastreabilidade de onde este concreto foi utilizado para que, caso não se atinja a resistência a compressão exigida em projeto, seja avaliada a necessidade de reforços na estrutura.

Concreto armado trata-se do uso conjunto de concreto e aço, que se complementam afim de suportar as cargas impostas à estrutura. Segundo TÉCHNE a escolha desses materiais se deu devido a algumas compatibilidades entre eles.

- a) Química: O concreto possui um ambiente alcalino que não corrói o aço;
- b) Física: As deformações por variação térmica do aço e do concreto são muito semelhantes;
- c) Mecânica: O concreto resiste bem esforços de compressão e o aço de tração.

Além disso, esses materiais conseguem trabalhar solidariamente devido às forças de aderência entre o concreto e a superfície do aço, que é moldado com enrugamentos.

4.3 Aditivos

Para potencializar algumas características do concreto, existem os aditivos, que são materiais adicionados ao concreto fresco ou ainda na fase de mistura. Hoje são comercializados vários tipos de aditivos cada um com uma função diferente, que podem ser utilizados de acordo com a necessidade específica de cada obra. De acordo com a NBR 11768,

que diz respeito aos aditivos químicos para concreto de cimento Portland, os aditivos são divididos em cinco tipos:

- a) Plastificantes, Redutores de Água ou Superplastificantes Tipo I ou II: utilizado quando se deseja aumentar a fluidez do concreto e reduzir a relação água/cimento;
- b) Aceleradores: utilizados quando se deseja acelerar a o tempo de pega e o aumento da resistência nos primeiros dias;
- c) Retardadores: utilizados quando se deseja aumentar o tempo entre a mistura e o início de pega do concreto;
- d) Incorporadores de ar: utilizados quando se deseja aumentar a durabilidade do concreto em ambiente de gelo-degelo, anticongelantes, sulfatos, álcalis-reativo e é útil também para melhorar a trabalhabilidade;
- e) Aceleradores de resistência: utilizados para potencializar o ganho de resistência nos primeiros momentos sem que se influencie o tempo de início de pega;

No caso da fôrma deslizante, o aditivo empregado mais comumente é o superplastificante, pois nesse método se necessita de um concreto que comece a apresentar rigidez em no máximo três horas após a mistura, mas que tenha uma boa trabalhabilidade até esse início de pega.

4.4 Fôrmas

As fôrmas são as estruturas provisórias responsáveis por modelar e dar forma ao concreto fresco em qualquer peça. Sendo assim, o seu dimensionamento deve ser feito de modo que suporte as pressões laterais exercidas pelo concreto, conhecida como empuxo. O empuxo é obtido de acordo com a consistência do concreto e a velocidade de despejo deste na fôrma. Segundo o manual da SH Formas baseado na norma alemã DIN (Instituto Alemão para Normatização) 18218 o cálculo do empuxo do concreto é dividido em 4 grupos:

- Concreto líquido (projetado):

$$e = 1,7v + 1,7; v = 0,6 e - 1 \quad (1)$$

- Concreto quase líquido (bombeado):

$$e = 1,4v + 1,8; v = 0,7e - 1,3 \quad (2)$$

- Concreto plástico (caçamba):

$$e = v + 1,9 ; v = e - 1,9 \quad (3)$$

- Concreto quase duro (rolado):

$$e = 0,5v + 2,1 ; v = 2e - 4,2 \quad (4)$$

Onde:

$v(\text{m/h})$ = velocidade de despejo do concreto

$e(\text{tf/m}^2)$ = empuxo máximo

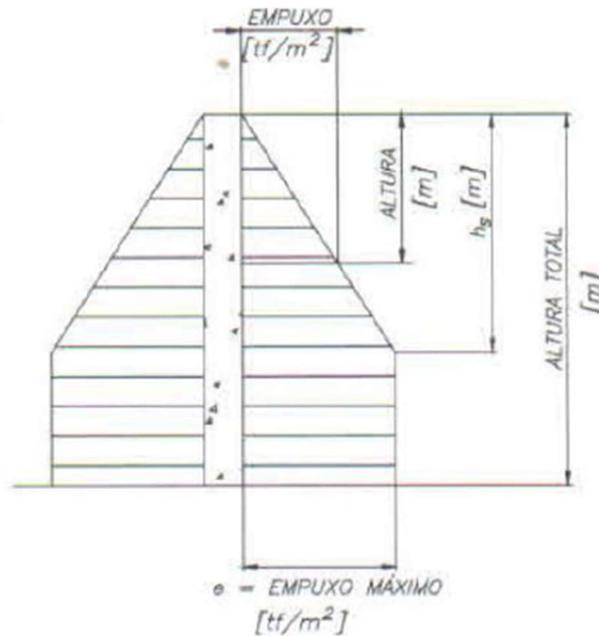
Já a altura hidrostática do concreto é obtida através da fórmula:

$$\text{Altura hidrostática} = h_s(\text{m}) = 0,4e \quad (5)$$

Sendo assim, onde a altura de concretagem for maior que a altura hidrostática, dá-se ao empuxo o valor de “e” calculado anteriormente por uma das fórmulas de 1 a 4 de acordo com a consistência do material. Já na região onde a altura de concretagem for menor que a altura hidrostática, é dado ao empuxo o valor de:

$$\text{Empuxo} = e \times \text{altura} / h_s \quad (6)$$

Figura 2 - Diagrama do empuxo do concreto e altura hidrostática



Fonte: SH Fôrmas (2008, p. 80).

Observa-se, então, que as cargas laterais às quais as fôrmas são dimensionadas para resistir são influenciadas principalmente pela altura da peça e pela velocidade de despejo e não apenas pelo seu volume. Sendo assim, como os painéis no método de fôrmas deslizante são baixos, com cerca de 1,10 metro de altura, eles sofrem pouco com o empuxo do concreto.

Além disso, a fôrma deve garantir a estanqueidade do material até o seu enrijecimento e deve ser mantida até que ele possua resistência suficiente para aguentar o próprio peso, o protegendo das intempéries do meio, e limitando a fuga de água no processo de hidratação.

Muitas vezes não se dá a devida atenção as fôrmas por se tratar de um elemento provisório, porém, mesmo não sendo incorporado ao produto final, é notada a grande importância que ela exerce no sistema. Caso a fôrma não seja dimensionada corretamente, podem ocorrer vazamentos e até ruptura total dessa estrutura provisória, resultando em atrasos e aumentando o risco de acidentes.

Figura 3 – Exemplo de fôrma mal dimensionada



Fonte: Santos e Dias (Apresentação)

4.4.1 Materiais

Atualmente, são utilizadas em pilares, fôrmas de diversos tipos que podem ser identificadas conforme o material de que são compostas, sendo mais comum o emprego da madeira ou do aço. Segundo Nazar (2007), o critério para a escolha do material é feito conforme o tipo de peça a ser concretada, o prazo, a repetitividade e a disposição econômica da empresa que executará o serviço.

Definido o material a ser utilizado, é determinado o ponto mais solicitado e, de acordo com as propriedades do material adotado, se obtém uma secção que seja capaz de resistir a estes esforços. Caso seja economicamente viável, esta mesma secção é adotada em toda a peça. (SH Fôrmas, 2008).

4.4.1.1 Madeira

As madeiras adotadas na construção de fôrmas e escoramentos são divididas em madeira industrializada, fabricadas com espécies de madeira de propriedades físicas e mecânicas conhecidas e controle de qualidade de material, e madeira em bruto, que, por não possuir o mesmo controle, tem seu uso mais restrito (SH Fôrmas, 2008). Além disso, a fôrma como a madeira industrializada pode ser utilizada no canteiro se divide em outros dois tipos: madeira tipo compensado e madeira serrada.

A madeira do tipo compensado destaca-se pela qualidade e economia e por isso é um dos materiais mais utilizados para fabricação das fôrmas possibilitando várias utilizações sem danos significativos à chapa. Esse material é constituído por lâminas de madeira, de espessuras entre 1 mm a 4 mm, dispostas com direção de fibras perpendiculares entre si, constituídas por lâminas ligadas, umas às outras, através de cola a base de resina fenólica, resistentes a água. Quanto maior o número de lâminas, maior espessura do compensado e, conseqüentemente, maior o número de repetições que o material resiste.

A madeira serrada, antes do surgimento das chapas compensadas era utilizada nas fôrmas em contato direto com o concreto, porém, devido a sua textura e seu baixo reaproveitamento, atualmente teve seu uso bastante reduzido nessa função. Entretanto, devido ao seu fácil corte e baixo custo, este tipo de madeira ainda é utilizado para fabricação de elementos curvos, utilizando chapas metálicas na face em contato com o concreto fresco de forma a garantir o acabamento do elemento de concreto. Devido a chapa de madeira compensada apresentar baixa tensão admissível a flexão, em torno de 68kgf/cm², a madeira serrada é amplamente empregada também na estruturação dessas chapas. (SH Fôrmas, 2008)

Atualmente, é possível notar uma grande variedade de materiais que podem ser utilizados em fôrmas, porém a mais convencional hoje é a madeira compensada estruturada por tábuas de madeira. Isso se dá por se tratar de um material mais barato e principalmente pelo fato de a mão de obra ser facilmente encontrada em qualquer região do país.

4.4.1.2 Aço

O aço na construção de fôrmas tem seu uso associado a elementos com grande número de repetições devido ao seu alto índice de reaproveitamento e à sua maior resistência ao ambiente da obra. Porém, sua fabricação é mais cara e, portanto, o custo da adoção de fôrmas metálicas é maior do que o da utilização de fôrmas de madeira. Sendo assim, esse tipo de forma é normalmente fornecido por empresas de locação.

O uso deste material pode ser feito tanto nos perfis de travamento da forma, onde é mais convencional, quanto na face de contato com o concreto, onde permite um acabamento plano e homogêneo no concreto. Além disso, o aço possui maior tensão admissível a flexão que a chapa de madeira compensada, com seu valor em torno de 1.400kgf/cm^2 . (SH Fôrmas, 2008)

4.5 Armadura de pilares

A armadura em pilares de concreto armado é composta pela armadura vertical, também conhecida como armadura longitudinal, e pela armadura transversal, formada pelos estribos. A armadura longitudinal é distribuída na seção do elemento para resistir aos esforços de compressão e de flexão, calculados por análise global e local, que garantem a resistência às cargas de vento, ao desaprumo e efeitos de segunda ordem. Já a armadura horizontal tem como finalidade o travamento das barras verticais e suportar o efeito da flambagem, fenômeno que ocorre quando a armadura do pilar sofre flexão transversalmente devido a compressão axial. Esse fenômeno é maior em peças com alta esbeltez, ou seja, quando a área da seção transversal do elemento é pequena em relação a sua altura.

Em estruturas de pequeno porte com uma concepção estrutural bem feita, não se necessita de grandes áreas nas seções de aço dos pilares, pois estes elementos sofrem mais esforços de compressão que de tração. Além disso, a flexão que sofrem procura ser anulada posicionando este elemento entre dois vãos de dimensões semelhantes. Já em obras de grande porte, é necessário que as armaduras possuam uma área transversal maior a fim de suportar as cargas de vento.

4.6 Método Convencional

É chamado de sistema construtivo convencional a execução de edificações com estrutura em concreto armado e com a utilização de formas de compensados de madeira plastificada estruturados e com travamento metálico. Neste sistema as fôrmas dos pilares são montadas entre última laje concretada e o fundo das vigas do pavimento subsequente. Este método é dito convencional por ser tradicionalmente o método mais empregado na construção civil brasileira.

Analisando economicamente uma obra, o sistema é caracterizado pelo baixo custo, pois se trata de um material barato, a mão de obra é pouco especializada e os equipamentos empregados são de simples manuseio. No entanto, a reutilização desse tipo de forma é considerada baixa, principalmente em edifícios de grande porte onde a execução da forma de um pilar pode ser repetida dezenas de vezes.

4.6.1 Formas no método convencional

A aplicação do método convencional em pilares consiste na utilização dos compensados de madeira de aproximadamente 2 milímetros de espessura para dar a forma do elemento. Por se tratar de uma chapa com baixa resistência a flexão, os compensados têm de ser estruturados longitudinalmente com sarrafos de madeira, como visto na Figura 4. Esses compensados são vendidos em pedaços de 1,22 metro por 2,44 metros. Logo, em pilares com faces de dimensões maiores que uma chapa, são somadas frações da mesma de modo que se consiga concretar o elemento todo de uma vez. Desse modo, no momento da concretagem, o concreto fresco entra no espaço entre as chapas, e quando endurecido acaba por gerar rebarbas na face da peça, prejudicando o acabamento.

Figura 4 – Forma de pilar com compensados estruturados



Fonte: O autor

Além da estruturação longitudinal, os compensados devem possuir travamento horizontal. Este travamento pode ser feito com sarrafos de madeira, ou, em caso de pilares maiores, este travamento pode ser feito com sarrafos metálicos, para garantir um maior número de reutilizações, e a ancoragem destes com parafusos também metálicos. Em pilares de espessura maior que 30 centímetros, é comum que este travamento seja feito nos dois sentidos. (SH Fôrmas, 2008)

Vale ressaltar que, atualmente, é bastante comum a existência de pilares compridos em obras residenciais. Isso se dá pela necessidade estética de esconder os elementos verticais dentro das paredes, resultando um espaço interno visualmente mais bonito pela ausência dos chamados “dentes” e também otimizando e facilitando a utilização dos cômodos. Porém, a necessidade de ancoragem adicional acaba por gerar um serviço a mais para a empresa responsável pela execução da estrutura. Para que os parafusos não fiquem presos no concreto após o seu endurecimento, são utilizados tubos de plástico atravessando a forma no intuito de isolar estes dois materiais e garantir a reutilização dos parafusos. Porém, com isso, é necessário que posteriormente esses tubos sejam removidos e estas passagens sejam preenchidas com argamassa.

Para garantir a verticalidade da peça concretada, é necessária a utilização de escoras. Este componente apoia as faces do pilar se posicionando diagonalmente na laje sob a peça a ser concretada, e para garantir o apoio deste no solo, é necessário a distribuição de “moscas” sobre a laje. Mosca é o nome dado a pedaços de tábuas de madeira colocados nas bases dos pilares para servir de apoio às escoras. As escoras são reguladas para forçar a fôrma no sentido correto dependendo das medidas obtidas com o auxílio dos prumos de face. Assim, para cada pilar é estimado o uso de, no mínimo, quatro escoras e dois prumos.

No momento da concretagem dos pilares, anteriormente ao despejo do concreto, devem ser tomadas algumas medidas para garantir a qualidade dos elementos. A forma de madeira deve ser molhada a fim de que ela não absorva a água do concreto que será despejado nela, o que poderia causar fissuras de retração. Após o despejo, o prumo da peça deve ser verificado novamente para garantir que a mesma não foi deslocada com o peso do concreto ou com a movimentação dos trabalhadores.

4.7 Formas Deslizantes

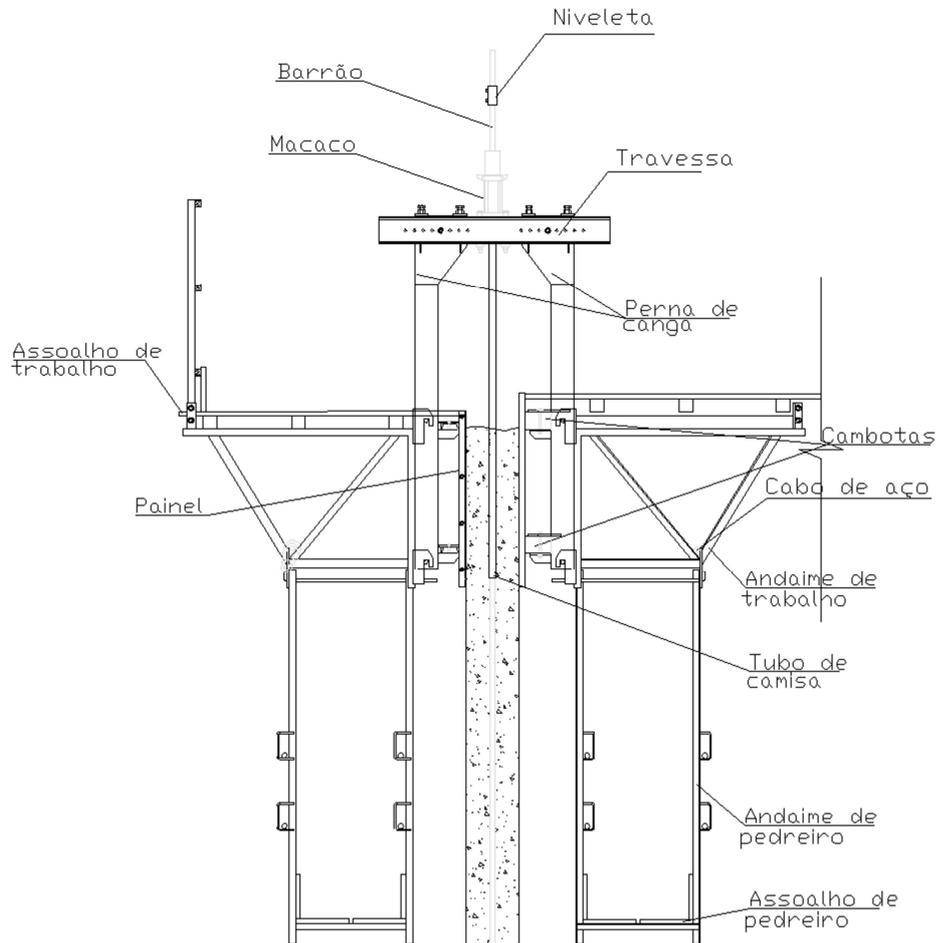
4.7.1 História

A utilização de formas deslizantes se iniciou em construções industriais com seus diferentes tipos de obras elevadas. No entanto, não se trata de um método novo. Os primeiros testes em campo do seu uso foram em 1903 nos Estados Unidos na construção de silos, porém não foi um método que mostrou seu valor imediatamente e começou a ser utilizado aos poucos. Só em 1924 se tem registros de sua utilização em países como Alemanha e a antiga União Soviética e ainda nesta primeira metade do século XX o método foi ganhando novos usos como caixas d’água, chaminés, faróis, entre outros. (Dinescu, 1984)

Segundo Dinescu, foi notado o aumento no uso do método das formas deslizantes com a mecanização do sistema de elevação com as instalações elétricas hidráulicas introduzidas. A partir desse ponto, o método foi difundido como redutor de custos e duração de execução em estruturas, e importante economia da mão de obra e materiais. No início do

sistema, ele era utilizado apenas para obras industriais, portanto, ele pode ser adaptado à construção de edifícios familiares, para que se permita reduzir os tempos de execução.

Figura 5 – Identificação das peças da fôrma deslizante



Fonte: Adaptado do projeto de formas deslizantes(Fordenge, 2010)

4.7.2 Fôrmas

O processo da utilização de formas deslizantes em edifícios multipavimentos, consiste em utilizar formas curtas de madeira com uma chapa metálica interna ou totalmente metálica, com cerca de 1,10m de altura, em pilares de seção constante, onde cada concretagem dos pilares se dará do topo de uma laje ao fundo da viga subsequente. Esse sistema construtivo,

permite uma rápida execução, pois a desforma é contínua, não havendo necessidade de remoção das formas a cada pavimento executado, e nem sendo necessários andaimes ou escoramento nos pilares. Vale ressaltar, que nesse processo construtivo, as formas são produzidas fora da obra em um depósito, onde são dimensionadas e testadas, contudo, elas chegam no canteiro desmontadas.

Figura 6 – Peças das fôrmas desmontadas



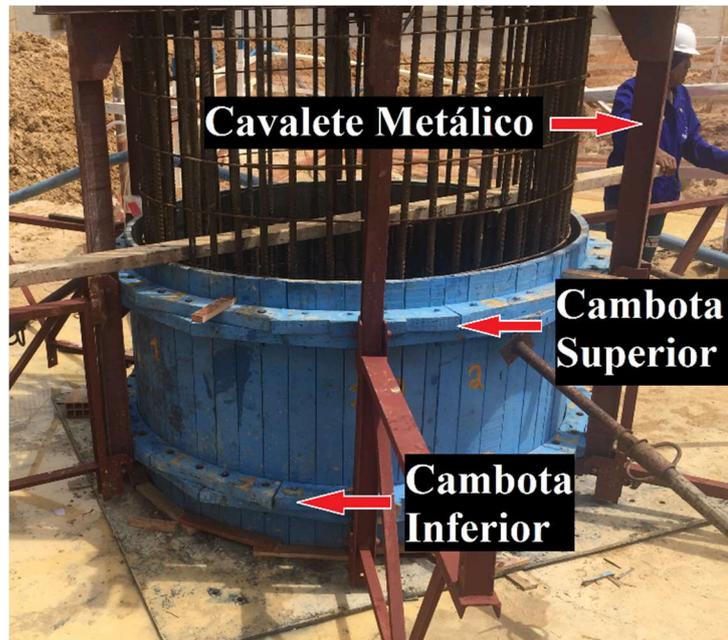
Fonte: O autor

4.7.3 Travamento

O travamento das formas é garantido pelas cambotas que, além auxiliar para que o empuxo do concreto não abra a forma, são responsáveis pela ligação entre a fôrma e os cavaletes. Os cavaletes, por sua vez, são pórticos metálicos que ligam os dois lados dos pilares e conservam estes nivelados durante todo o processo de execução. Estes pórticos podem ainda ser subdivididos em perna canga, na vertical, e travessas, na horizontal. O conjunto entre os cavaletes e cambotas são parafusados de maneira que não permitam qualquer movimento indesejado da forma, tanto horizontal quanto vertical. Vale ressaltar que, cada fôrma de pilar

será composta por quantas estruturas de pórticos forem necessárias para evitar que a mesma abra.

Figura 7 – Identificação de Elementos de Travamento



Fonte: O autor

4.7.4 Equipamento de elevação

4.7.4.1 Macaco hidráulico

A elevação da forma é feita pelos macacos hidráulicos, com capacidade de 3 toneladas, presentes no topo de cada cavalete metálico. Esse equipamento hidráulico é responsável por tracionar o conjunto contra os barrões, travados na fundação da estrutura, fazendo com que a forma suba. Os macacos hidráulicos determinam o ritmo de deslizamento que, segundo Nakamura(2011) varia entre de 10 e 40 centímetros por hora.

Figura 8 – Macaco hidráulico



Fonte: O autor

4.7.4.2 Central hidráulica

Todos os macacos de cada pilar ou conjunto, são interligados entre si a uma central hidráulica por meio de mangueiras de alta pressão que canalizam o fluxo e o retorno do óleo.

A central hidráulica está constituída de um reservatório de óleo, um motor elétrico e uma bomba hidráulica. Nela existe um manômetro que permite medir a pressão de serviços e a pressão máxima do circuito. Uma válvula de alívio, regulável possibilita a graduação da pressão máxima suficiente para garantir o funcionamento de todos os macacos do circuito.

No caso de interrupção de energia, a bomba hidráulica, possui uma bomba manual que garante a elevação da fôrma até que ela não faça mais contato com o concreto, evitando, assim, que esta fique presa.

Figura 9 – Central hidráulica



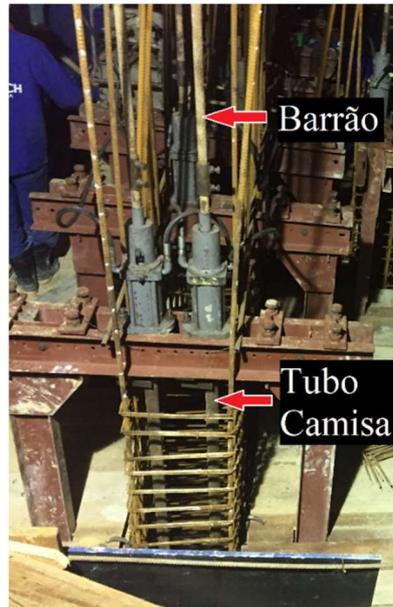
Fonte: O autor

4.7.4.3 *Barrões e Tubos camisa*

Os barrões são peças cilíndricas que atravessam os macacos hidráulicos e sua altura varia entre 2,5 e 6 metros. A função dessas peças é suportar todo o peso da forma e transferir essa carga diretamente para a fundação da estrutura. Ao se chegar com o macaco hidráulico próximo ao topo do barrão, é rosqueada uma nova peça na ponta da anterior para dar seguimento a elevação da estrutura. Esta peça tem impedida sua flambagem pelos próprios pilares deslizados.

Para garantir a reutilização dos barrões em estruturas posteriores, eles ficam dentro dos tubos camisa que os envolve no primeiro metro do pilar, onde o concreto ainda está fresco e desliza pendurado ao macaco. Estes tubos além de permitirem a recuperação dos barrões, uma vez terminado o deslizamento, impede sua flambagem no trecho do pilar em que o concreto não tem resistência suficiente para impedir o deslocamento horizontal e seu conseqüente colapso. Caso seja danificado um barrão durante a execução da estrutura, o pagamento de sua reposição fica por conta da empresa que contratou a locação do equipamento.

Figura 10 – Identificação do barrão e tubo camisa



Fonte: O autor

4.7.5 *Processo de içamento*

Os macacos hidráulicos soldados à forma deslizante transmitem seu esforço aos barrões que se apoiam na fundação do pilar. Os barrões que atravessam os macacos hidráulicos são presos por duas mordças de esferas cuja a função é elevar a estrutura da forma quando a central hidráulica for acionada e manter a forma no mesmo nível quando efetuado o retorno do óleo dos macacos. (Fordenge, 2010)

Com o acionamento da bomba hidráulica, a pressão do óleo que chega a todos os macacos faz deslizar o embolo e este deslizamento aciona a mordça que imediatamente fica presa no barrão. Sendo assim, o aumento de pressão eleva o macaco e todo conjunto da forma deslizante, dado que o embolo fica preso ao barrão e este apoiado na base de concreto.

Ao fim do ciclo de pressão, após a elevação de todos os macacos, se inicia o ciclo retorno.

Com a diminuição da pressão no embolo do macaco inicia-se um deslocamento deste para baixo, acionando agora a mordça inferior que fica presa ao corpo do macaco. Esta

mordalha mantém o macaco e o conjunto da forma deslizante estacionada até o início de um novo ciclo.

4.7.6 Plataformas de serviços

Para facilitar a realização da concretagem, o sistema de formas deslizantes conta com duas plataformas acopladas ao conjunto da forma. No nível da boca existe a plataforma superior, composta por um assoalho de madeira e guarda-corpo. Nela são executados os serviços de amarração de estribos, feito pelos ferreiros, despejo e adensamento do concreto, feito pelos serventes, e a operação dos equipamentos hidráulicos feita pelo encarregado. Sendo assim, existe um fluxo relativamente grande de pessoas sobre esta estrutura, que deve estar bem travada ao restante do conjunto, garantindo a segurança dos operários.

Para garantir a qualidade visual do elemento concretado, cerca de 2,50 metros abaixo da plataforma superior, é montada a plataforma de acabamento. Esta dá suporte aos pedreiros, que, com uma esponja úmida, alisam o concreto, dando acabamento e realizando uma cura superficial ao material que acaba de ser desformado.

Em estruturas verticalizadas sem presença de lajes, para a manutenção do posicionamento das armaduras verticais, existe um gabarito montado a 2,5 metros de altura, que serve ainda de suporte das instalações elétrica e de iluminação. Porém, como na estrutura de uma obra com pavimentos as armaduras longitudinais são colocadas apenas a cada início de concretagem, não se faz necessário esta plataforma.

Como é possível identificar na Figura 11, no perímetro das plataformas de serviço são colocados guarda-corpos, fechados com compensados de madeira de 1,20 metro de altura para proteção tornando a área de trabalho confinada ao redor da estrutura de concreto evitando acidentes e quedas de material.

Estas plataformas com suas devidas proteções e guarda-corpo, permitem a livre circulação nas áreas de serviço. Uma rede de iluminação garante o prosseguimento dos serviços durante o período noturno, em casos em que se planeja realizar a concretagem de peças muito altas sem paralizações.

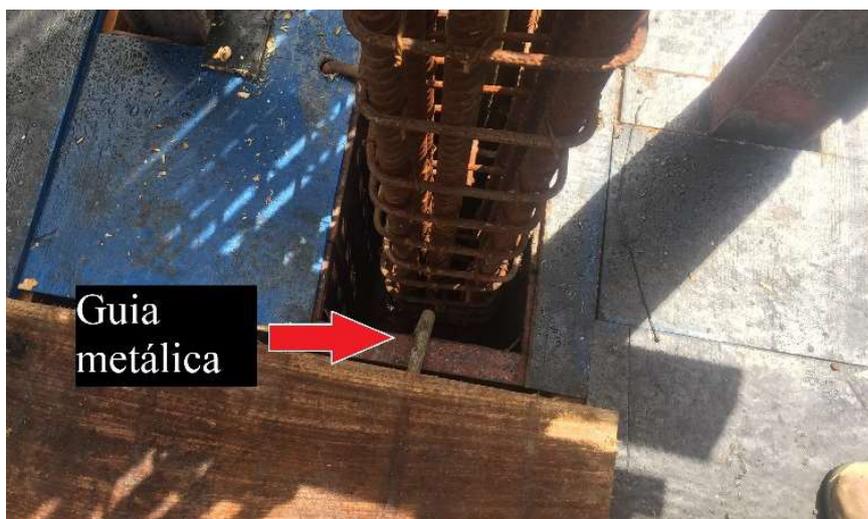
Figura 11 – Identificação das plataformas de serviço



Fonte: O autor

Além disso, uma guia metálica inferior no nível da boca da fôrma garante o recobrimento das armaduras. Vale ressaltar que o concreto deve ser lançado na fôrma de modo que seu nível fique sempre abaixo da guia metálica, pois caso o material endureça em contato com esse elemento, no momento de elevação da forma, se criarão rasgos na peça.

Figura 12 – Identificação da guia metálica de recobrimento



Fonte: O autor

4.7.7 Lançamento e adensamento do concreto

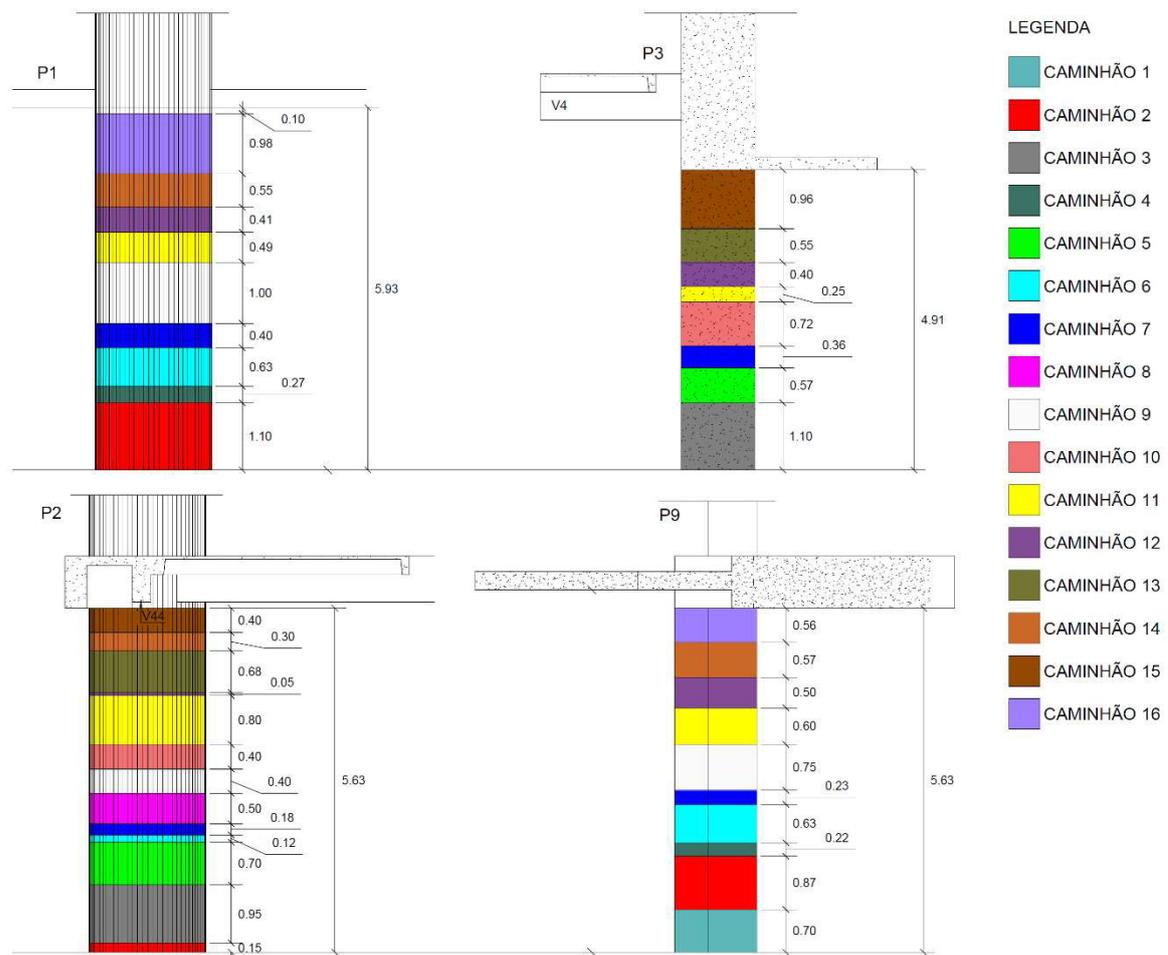
O concreto utilizado pode ser usinado ou feito no canteiro em uma betoneira auto carregável dependendo do consumo e é o mesmo utilizado em formas comuns.

De acordo com as peças que serão concretadas no dia, o concreto pode ser lançado com auxílio de bomba, bombeando o concreto por uma tubulação que sobe pela estrutura e é jogado diretamente na forma, ou com baldes metálicos, que, com o auxílio da grua, carregam o concreto até o ponto de despejo. Sendo assim, a bomba é mais indicada quando for concretado um pilar de grandes dimensões, onde cada camada leva grande quantidade de concreto, enquanto o balde se faz mais útil quando se deseja concretar um grande número de peças e se necessita de mais versatilidade.

No início do lançamento, enquanto a fôrma está estacionada sobre a laje, o concreto apresenta seu maior consumo, pois nesse momento painéis ainda vazios precisam ser cheios até 1 metro de altura. Assim, devem ser despejadas cinco camadas de concreto de aproximadamente 20cm de espessura, corretamente vibradas com o auxílio de vibradores elétricos de imersão. Quando se inicia a pega da primeira camada, é dado início ao levantamento da forma, liberando espaço para lançamento de camadas sucessivas de 20cm de espessura. Caso se opte pelo concreto usinado, é feito o cálculo para que os primeiros caminhões preencham as fôrmas de todos os pilares a serem executados no dia e os caminhões posteriores são pedidos com o mínimo de concreto para que se complete as formas a cada 20 centímetros, evitando que os caminhões fiquem ociosos no canteiro e minimizando o risco de que o concreto inicie a pega dentro dos caminhões.

Ao se atingir a cota final de deslizamento, o concreto é nivelado, utilizando a marcação deixada na armadura longitudinal. Desse modo, temos a rastreabilidade de um dia de concretagem como na Figura 13.

Figura 13 – Rastreabilidade do concreto utilizando a fôrma deslizante



Fonte: O autor

4.7.8 Posicionamento da armadura

A armadura de espera dos pilares fica conectada no bloco de fundação devendo respeitar as dimensões exigidas para garantir o recobrimento especificado.

No caso de estruturas muito altas como silos, a armadura longitudinal é colocada durante o deslizamento ficando posicionadas através do gabarito superior e a amarração na barra que está sendo emendada. Porém, em obras de vários pavimentos, a armadura longitudinal de um pavimento para outro é colocada inteira antes do início da concretagem.

Para a amarração da armadura transversal, os cavaletes deixam uma altura livre de 80 centímetros da boca da forma até a travessa superior do cavalete metálico. Neste espaço, são posicionados os estribos da armadura horizontal, acompanhando a velocidade da concretagem e deslizamento. Desse modo, deve ser previsto ao menos dois ferreiros em cada estação de trabalho para realizar o serviço.

Figura 14 – Ferreiros posicionando a armadura transversal



Fonte: O autor

4.7.9 Nivelamento da forma e controle de prumo

Para conservar a verticalidade dos pilares, a forma deslizante é nivelada durante todo o deslizamento. Porém, fatores externos como o fluxo de concreto e o peso desequilibrado sobre a plataforma de serviço, pode ocasionar desvios de prumo ou torção de pilares concretados.

Com a intenção de prevenir estes desvios são colocados quatro prumos de gravidade nos quatro cantos da forma, e efetuadas as leituras a cada 20 centímetros, anotando-se o desnivelamento parcial ou total da forma deslizante.

Figura 15 – Prumos posicionados para a conferência



Fonte: O autor

5 METODOLOGIA

Para alcançar os objetivos citados anteriormente, foi utilizada a seguinte metodologia de trabalho:

- a) Revisão bibliográfica: Foi feito levantamento de material teórico a respeito do tema, que serviu como base para o desenvolvimento desse estudo;
- b) Levantamento de informações e dados foram feitos em campo, observando-se a utilização das formas deslizantes na execução de um edifício residencial multifamiliar. Observou-se as adaptações a serem feitas no projeto e no método para garantir a produtividade;
- c) Realizou-se uma análise da utilização das formas deslizantes em comparação com o método convencional levando em consideração a qualidade, produtividade e custo. Na comparação da qualidade foi observado visualmente o acabamento pós concretagem e desforma dos elementos após a utilização dos dois métodos. Para verificar a produtividade se acompanhou a montagem e o ciclo de concretagem entre um pavimento e outro com a utilização dos dois métodos e posteriormente se fez uma comparação de cronograma com o auxílio do MS Project. Com o cronograma dos dois métodos em mãos, se calculou o custo com o aluguel dos equipamentos da forma deslizante e do custo com a mão de obra na utilização do método e utilizando valores de custo e produção obtidos com a SEINFRA(Secretaria da Infraestrutura) se calculou o custo do uso de formas convencionais;
- d) Foi feito um breve levantamento de dificuldades encontradas para a implementação do método e das possíveis soluções, para utilizações futuras.

6 ESTUDO DE CASO

6.1 Empreendimento

A obra em estudo está localizada em Fortaleza, Ceará, na Avenida Monsenhor Tabosa. O empreendimento fica em frente ao aterro da Praia de Iracema e se trata de um edifício residencial de 30 andares com um apartamento por andar e 840 m² por pavimento. Isso somado a dois subsolos para garagem, um andar térreo, um mezanino, uma cobertura, a casa de máquinas, o fundo da caixa d'água e um heliporto totaliza 38 pavimentos feitos em concreto armado. Porém, pela complexidade de formas apresentadas no projeto arquitetônico, alguns elementos serão feitos em aço estrutural, o que caracteriza a estrutura como mista.

O empreendimento conta com 128,54 metros de altura a partir do térreo e o projeto estrutural exigiu que fosse utilizado um traço para concreto com 45Mpa de resistência a compressão.

O edifício conta com mais de 100 pilares, porém há apenas 19 pilares principais que se repetem ao longo de toda a torre. Logo, por se tratar de um sistema mais indicado para estruturas verticalizadas, apenas nestes pilares se optou por utilizar as formas deslizantes.

A distância entre os pisos de dois pavimentos consecutivos do edifício é de 3,60m. Segundo as orientações da NBR 14931, que trata do procedimento de execução de estruturas de concreto, o concreto deve ser lançado com técnica que elimine ou reduza significativamente a segregação entre seus componentes, necessitando maiores cuidados quanto maior for a altura de lançamento e a densidade de armadura. Estes cuidados devem ser ainda maiores quando a altura de queda livre do concreto ultrapassar 2 metros, no caso de peças estreitas e altas, de modo a evitar a segregação e falta de argamassa. Sendo assim, com a utilização do método convencional seria aconselhável que a concretagem de cada pilar fosse feita em duas etapas. Com a utilização das formas deslizantes, isso não foi um problema, pois nesse método construtivo, o concreto é lançado a uma altura de no máximo 1,10 metro.

6.2 Fatores específicos da utilização em um edifício residencial

Em um edifício multipavimentos, o deslizamento não pode ser contínuo e deve parar a cada pavimento devido a concretagem das lajes e vigas. Sendo assim, mesmo o concreto atingindo o fundo da viga, deve ser deixada uma equipe no canteiro para que se continue o deslizamento da forma até que não haja mais contato com o concreto, garantindo que a forma não fique presa. Ainda assim, a forma deve ser levantada pelo menos acima do nível da laje seguinte, para que no dia seguinte possa ser iniciada a montagem das formas da mesma. Finalizado o processo de concretagem da laje, as formas dos pilares já estão posicionadas para que um novo ciclo de concretagem se inicie.

Figura 16 – Fôrmas deslizantes posicionadas um dia após a concretagem da laje anterior



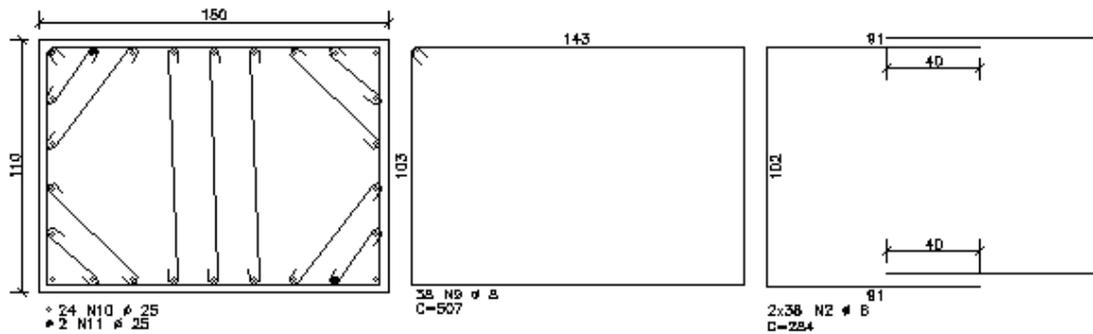
Fonte: O autor

Sempre que possível, plataforma de serviço deve ser compartilhado por conjuntos de dois ou mais pilares, facilitando o deslocamento de funcionários entre as formas de cada pilar. Desse modo, na logística da concretagem isso deve ser levado em conta, enchendo em etapas cada pilar do conjunto para que seu concreto inicie a pega junto e se possa subir toda a estação. Desta forma, deve ser utilizado o concreto de um mesmo caminhão em todos os pilares do conjunto, deixando-os aproximadamente na mesma altura. Caso dois pilares de um conjunto forem cheios com concreto de caminhões diferentes, eles podem iniciar a pega em momentos diferentes, atrapalhando o içamento da fôrma.

6.2.1 Adaptações necessárias

No âmbito de projeto, como o método construtivo só foi escolhido próximo a execução da estrutura, o projeto estrutural já estava finalizado e alguns ajustes foram feitos para que o mesmo se adaptasse a utilização das formas deslizantes. Como foi dito anteriormente, as formas são travadas por pórticos metálicos que passam sobre as mesmas e, assim, os estribos da armadura dos pilares só podem ser colocados depois que este pórtico metálico seja elevado acima do seu nível. Desse modo, cada pilar teve seus estribos modificados para que fosse possível sua colocação de maneira mais fácil e rápida enquanto a estrutura da forma sobe. Essa modificação consiste em dividir estes estribos em dois de forma que cada estribo tenha dois transpasses como ilustrado na Figura 17 a seguir.

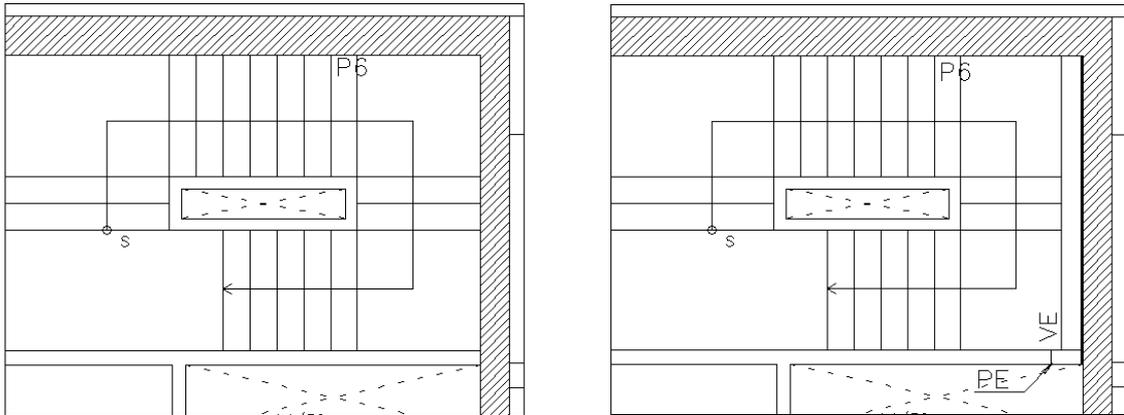
Figura 17 – Estribo de pilar convencional e com a adoção de fôrmas deslizantes respectivamente



Fonte: Adaptado do projeto estrutural

Outra adaptação necessária foi feita na região da escada. Na primeira revisão do projeto estrutural, o patamar intermediário da escada deveria ter sua armadura negativa entrando no Pilar 6, no entanto, isso geraria um atraso no processo, pois em cada pavimento esse pilar deveria ser executado até o fundo do patamar da escada e ser finalizado apenas após a concretagem do mesmo. A solução criada pelo calculista foi adicionar ao projeto um pilar e uma viga afastados 2 centímetros do Pilar 6 que serviriam de suporte para a escada. Essa estrutura extra seria concretada com chapas compensadas de madeira pelo método convencional posteriormente a execução do pavimento superior.

Figura 18 – Formas da escada antes e depois da alteração no projeto, respectivamente



Fonte: Adaptado do projeto estrutural

Além disso, nos pavimentos intermediários, que servem como um patamar da escada e também para proteger a passagem do elevador em pavimentos com pé direito duplo, se optou por seguir com a concretagem dos pilares e posteriormente seria feito o chumbamento da armadura das lajes e vigas com adesivo estrutural epóxi para garantir a ligação entre os elementos.

O emprego dessa técnica exige que o concreto comece a dar pega no máximo de três horas após ser misturado. Notou-se que traço de concreto testado para 45 Mpa iniciava seu processo de pega mais rápido que o habitual e, portanto, foi necessário adicionar aditivo superplastificante a mistura, garantindo sua trabalhabilidade. Sendo assim, os traços foram testados dias antes da primeira concretagem com utilização do método e foram cronometrados os tempos para início de pega. Somente com a aprovação do encarregado das formas deslizantes, o traço foi liberado para ser usado nos pilares.

7 RESULTADOS

7.1 Qualidade

Segundo o que se observou em campo, o método das formas deslizantes permite um acabamento sem rebarbas e, como uma das premissas do uso do método é fazer o acabamento dos elementos enquanto a forma sobe, se obtém resultados melhores com o mínimo de serviço posterior. Na Figura 19 podemos ver a diferença no acabamento do concreto após a desforma com a utilização do método convencional e com utilização das formas deslizantes respectivamente.

Figura 19 – Qualidade da desforma com o método convencional e com a adoção de fôrmas deslizantes, respectivamente



Fonte: O autor

Outro fator que contribui para a qualidade é a baixa altura de lançamento do concreto que evita que o mesmo desagregue e permite com que ele seja vibrado de com maior qualidade.

Figura 20 – Ninho de pedra em pilar alto executado pelo método convencional



Fonte: O autor

Figura 21 – Base de pilar executado com forma deslizante



Fonte: O autor

7.2 Cronograma

Ao se observar o ciclo de concretagem de um pavimento tipo de uma laje executada com as formas deslizantes, listou-se a seguinte sequencia executiva:

- 1º dia: Armação dos pilares, locação dos ganchos dos pilares.
- 2º dia: Concretagem dos pilares, montagem do cimbramento da lajes e vigas.
- 3º dia: Montagem do cimbramento e assoalho das lajes e vigas.
- 4º dia: Finalização do assoalho, início da armação de lajes e vigas posicionamento dos cabos de protensão.
- 5º dia: Abrocho de vigas, painéis das vigas de borda, posicionamento dos cabos de protensão.
- 6º dia: Finalização dos painéis das vigas de borda, nivelamento e alinhamento, limpeza e posicionamento dos espaçadores.
- 7º dia: Concretagem de lajes e vigas.

Tabela 1 – Resumo do ciclo do pavimento tipo utilizando fôrmas deslizantes

CICLO DE CONCRETAGEM DO PAVIMENTO TIPO								
Nome da tarefa	Duração (Dias)	Dias						
		1º	2º	3º	4º	5º	6º	7º
Armação de pilares	1	■						
Concretagem dos pilares	1		■					
Desforma, forma e armação de lajes e vigas	4			■	■	■	■	
Concretagem de lajes e vigas	1							■

Fonte: O autor

Após a descontinuidade do uso da forma deslizante pode ser observado o ciclo do método convencional sendo:

- 1º dia: Armação dos pilares, locação dos ganchos dos pilares e desforma de pilares.
- 2º dia: Montagem de formas de pilares.
- 3º dia: Montagem de formas de pilares, montagem do cimbramento da lajes e vigas.

- 4º dia: Concretagem dos pilares, montagem do cimbramento da lajes e vigas.
- 5º dia: Montagem do cimbramento e assoalho das lajes e vigas.
- 6º dia: Finalização do assoalho, início da armação de lajes e vigas posicionamento dos cabos de protensão.
- 7º dia: Abrocho de vigas, painéis das vigas de borda, posicionamento dos cabos de protensão.
- 8º dia: Finalização dos painéis das vigas de borda, nivelamento e alinhamento, limpeza e posicionamento dos espaçadores.
- 9º dia: Concretagem de lajes e vigas.

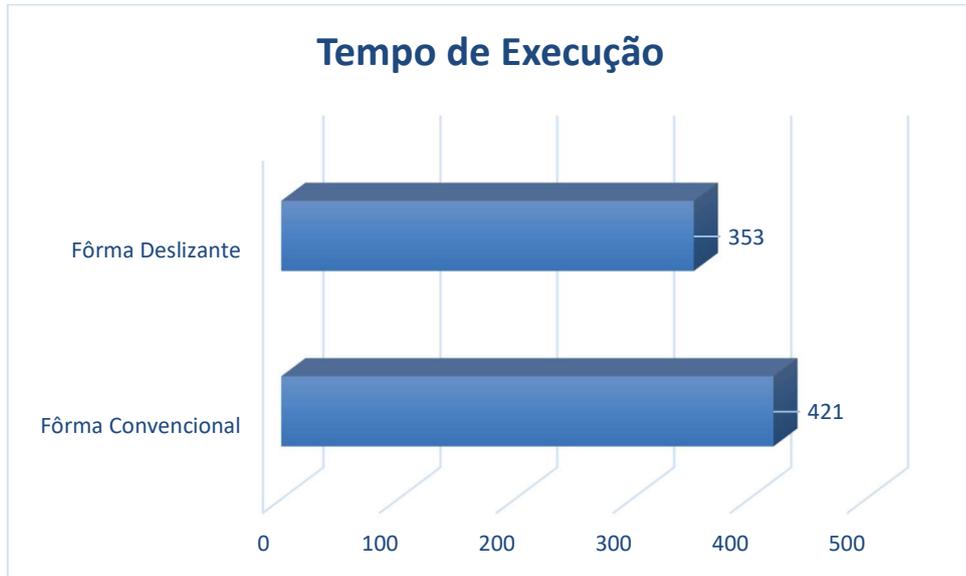
Tabela 2 – Resumo do ciclo do pavimento tipo utilizando fôrmas convencionais

CICLO DE CONCRETAGEM DO PAVIMENTO TIPO										
Nome da tarefa	Duração (Dias)	Dias								
		1º	2º	3º	4º	5º	6º	7º	8º	9º
Armação e desforma de pilares	1	■								
Desforma e forma de pilares	2		■	■						
Concretagem dos pilares	1				■					
Desforma, forma e armação de lajes e vigas	4					■	■	■	■	
Concretagem de lajes e vigas	1									■

Fonte: O autor

Considerando que se levou 30 dias de trabalho para montar as formas deslizantes e finalizar o primeiro ciclo e que o primeiro ciclo com formas convencionais levou 14 dias, foi feito um cronograma baseado no tempo dos ciclos com a utilização de ambos do início ao fim da obra utilizando o software MS Project. Esse cronograma foi feito para avaliar o potencial de termino da estrutura com uma execução sem imprevistos e corresponde ao Anexo A. Através dele podemos perceber que enquanto com a utilização do método convencional a execução da estrutura duraria 14 meses e 1 dia, com a utilização das formas deslizantes se chega no fim da mesma com 11 meses e 23 dias, gerando uma redução de 16,15% no tempo de execução.

Gráfico 2 – Comparativo de tempo de execução entre a utilização de fôrmas deslizantes e fôrma convencional



Fonte: O autor

7.3 Custo

Para calcular a diferença de custo com materiais para a contratante, foi utilizado a tabela obtida na SEINFRA/CE do custo do método convencional em um metro quadrado com 5 reutilizações.

Tabela 3 – Tabela de Custos para execução de fôrmas convencionais

Tabela de Custos - Versão 026 - ENC. SOCIAIS 114,23%						
C1399 - FORMA PLANA CHAPA COMPENSADA PLASTIFICADA, ESP.= 12mm UTIL. 5X						
Preço Adotado: 93,8800						Unid: M2
Código	Descrição	Unidade	Coefficiente	Preço	Total	
MATERIAIS						
I1846	SARRAFO DE 1"X4"	M	1,5300	4,7400	7,2522	
I1691	PONTALETE / BARROTE DE 3"x3"	M	1,2000	16,4400	19,7280	
I1728	PREGO 18X27 (2 1/2 X 10)	KG	0,2500	11,2600	2,8150	
I0526	CHAPA COMPENSADO PLASTIFICADO 12MM (1.22 X 2.44M)	M2	0,2600	21,2600	5,5276	
I1916	TABUA DE 1" DE 3A. - L = 30cm	M	1,1700	8,0700	9,4419	
TOTAL MATERIAIS					44,7647	
MAO DE OBRA						
I0041	AJUDANTE DE CARPINTEIRO	H	1,3500	16,2800	21,9780	
I0498	CARPINTEIRO	H	1,3500	20,1000	27,1350	
TOTAL MAO DE OBRA					49,1130	
Total Simples					93,88	
Encargos					INCLUSOS	
BDI					0,00	
TOTAL GERAL					93,88	

Fonte: SEINFRA/CE(2020)

A partir do projeto estrutural do empreendimento, foi calculado a área total da fôrma dos pilares em 5 pavimentos, conforme a tabela 4.

Tabela 4 – Tabela de área de forma convencional

FORMA CONVENCIONAL			
Pilar	Somatório das Faces (m)	Altura (m)	Área (m ²)
1	5,03	2,90	14,59
2	5,03	2,90	14,59
3	4,70	2,90	13,63
4	6,30	2,90	18,27
5	4,50	2,90	13,05
6	51,82	2,90	150,28
7	5,70	2,90	16,53
8	6,50	2,90	18,85
9	6,90	2,90	20,01
10	15,67	2,90	45,44
11	15,74	2,90	45,65
12	6,40	2,90	18,56
13	6,10	2,90	17,69
14	8,70	2,90	25,23
15	6,10	2,90	17,69
16	3,10	2,90	8,99
17	4,20	2,90	12,18
18	4,70	2,90	13,63
19	4,00	2,90	11,60
Área de 1 pavimento			496,45m ²
Área de 5 pavimentos			2482,25m ²

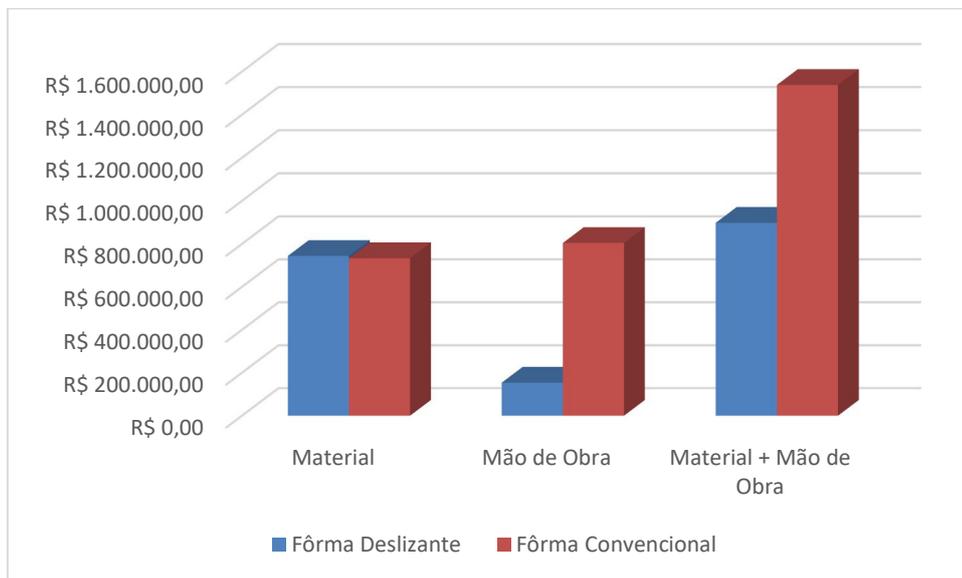
Fonte: O autor

Utilizando o valor de R\$44,7647 por metro quadrado, chegamos ao custo de R\$111.117,40 a cada 5 pavimentos e, considerando a execução de 33 pavimentos, chegamos ao custo total de R\$733.374,84. Já na forma deslizante o custo do aluguel de um mês de forma e equipamentos de içamento foi de R\$62.000,00. Com a duração de aproximadamente 12 meses obtida no cronograma gerado, determina-se que o custo para a contratante é de R\$744.000,00.

Apesar do aumento de R\$10.625,16 nos gastos com materiais da fôrma, vale ressaltar com a utilização das fôrmas deslizantes foi dimensionada pela contratada uma equipe de apenas 2 encarregados de fôrmas, 2 carpinteiros para a montagem inicial e desmonte da

forma e 4 serventes durante os serviços de concretagem. O salário dos encarregados é estimado em R\$4.000,00. Considerando os encargos sociais de 114,23%, o custo de um encarregado por mês é de R\$8.569,20. O custo da hora do carpinteiro e serventes, também de acordo com a SEINFRA, é de R\$20,10 e R\$14,76, respectivamente. Essa equipe reduzida e especializada permite um custo de R\$154.075,44 com mão de obra para montagem da forma, içamento e acabamento e desmonte, enquanto para o método convencional o custo estimado em mão de obra para montagem, forma e desforma é de R\$804.612,53.

Gráfico 3 – Comparativo de custo entre a utilização de fôrmas deslizantes e fôrma convencional



Fonte: O autor

Como pode ser observado no Gráfico 3, o custo total da forma deslizante com material e mão de obra é de R\$ 898.075,44, enquanto o custo total da fôrma convencional é de R\$1.537.987,38. Essa diferença representa uma economia de 41,61% no custo do material da fôrma dos pilares e mão de obra.

7.4 Dificuldades Encontradas

A utilização das fôrmas deslizantes não obteve os resultados almejados devido a algumas dificuldades de execução do método. A principal dificuldade foi a falta de consistência da empresa responsável pelo fornecimento do concreto no traço do mesmo. Como foi dito anteriormente, na utilização desse tipo de forma, é necessária precisão na mistura do concreto, bem como na dosagem do aditivo. Caso o tempo para início de pega seja muito longo, o tempo de subida da forma será prejudicado. Entretanto, se o concreto iniciar a pega em menos de duas horas, existe o risco de o mesmo grudar na forma e prejudicar o acabamento do elemento. Além disso, no caso do despejo com auxílio da bomba, é exigido precisão também na hora de chegada dos caminhões betoneira, pois o atraso na chegada compromete o concreto no interior da tubulação do equipamento de bombeamento, fazendo com que o mesmo tenha que ser descartado e o equipamento limpo.

Figura 22 – Concreto iniciando pega na bomba com duas horas após misturado



Fonte: O autor

Além disso, como as plataformas de trabalho foram divididas entre os pilares, foi notada a necessidade constante dos encarregados passarem de uma plataforma para outra, para que se pudesse acompanhar a consistência do concreto e averiguar a necessidade de subir as formas. Sendo assim, é de primordial importância que se possua mais de um encarregado de forma deslizante e que os mesmos estejam atentos nos tempos de pega do concreto despejado

em cada elemento. Caso contrário, o concreto pode iniciar sua pega e grudar na forma, prejudicando a qualidade do acabamento.

Figura 23 - Plataformas de Serviço sem conexões



Fonte: O autor

Outro problema encontrado foi o clima. Em dias de chuva, é necessária uma cobertura de lona na estrutura da forma deslizante para proteger o concreto a ser despejado. Porém, em dias de chuva excessiva, não é possível proteger o concreto da umidade, fazendo com que o mesmo demore mais a dar pega. Como o teste da utilização do método se foi feito em um período de muita chuva na cidade, os resultados do teste foram prejudicados.

7.4.1 Soluções para utilizações futuras

É usual na construção civil que, com a intensão de reduzir o orçamento da obra ao máximo, se opte sempre pelo fornecedor de menor custo. Na obra em questão não foi diferente. Na contratação da empresa que forneceria o concreto, se optou pela que se mostrava com menor preço. Porém, a falta de consistência na mistura do traço, comprometeu a utilização do método escolhido. Sendo assim, se mostra necessário testar o traço de outras fornecedoras de modo que se possa escolher a empresa com a mistura mais consistente, a fim de minimizar

os problemas de traço. Além disso, sempre que o projeto permitir deve ser avaliado a mistura de concreto na própria obra, o que gera mais controle do traço e do tempo de pega do concreto.

No período de utilização do método em questão, foi executada a concretagem da estrutura sob o comando de dois encarregados, para que a responsabilidade no controle do içamento das formas fosse dividida entre os dois no dia da concretagem. Porém, a estrutura de 19 pilares possuía 15 plataformas de serviço separadas, o que dificultava muito o controle da subida dos elementos. Para reduzir a necessidade de locomoção entre plataformas, seria necessário que o número de plataformas fosse reduzido conectando um maior número de pilares por plataforma sem prejudicar a mobilidade sobre a laje que ainda será concretada. A tendência com essa medida é que se eleve os gastos com material de suporte das plataformas de trabalho, por outro lado se garante a que os encarregados tenham um melhor gerenciamento na elevação das estruturas e se reduz o custo com aluguel das escadas metálicas. Outra solução para esta situação seria denominar apenas o pilar de maior área lateral para utilização da técnica, sendo este, normalmente o da caixa da escada. Com isso, o mesmo subiria na frente com um processo sem interrupções e a armadura das lajes e vigas seria ancorada posteriormente com adesivo epóxi.

Sendo o clima um fator que não se pode alterar, é importante que se acompanhe as tendências de precipitação na região, a fim de que se possa evitar que as concretagens dos pilares sejam marcadas em dias com chance de precipitação elevada, o que pode comprometer a produção da peça.

8 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

O desenvolvimento do presente estudo possibilitou uma análise de como a utilização de formas deslizantes pode agilizar o processo de construção de um edifício residencial. Além disso, também permitiu que fosse feita uma comparação utilizando dados obtidos em campo para a obtenção dos resultados entre o método estudado e o método convencional de formas de madeira plastificada.

Ao se observar a utilização de ambos os métodos em uma mesma obra, verificou-se que quanto à qualidade, o acabamento dos elementos estruturais verticais foi superior, evitando as rebarbas superficiais geradas pela junção entre chapas de folhas de madeira compensada e furos para travamento, e evitando também o retrabalho que se teria para fazer o acabamento dessas peças.

Quanto ao cronograma, apesar da demora maior no primeiro ciclo de laje, foi possível notar que, como não há necessidade de desforma de reforma, a partir do segundo ciclo os operários conseguem realizar seu serviço de forma mais rápida e em comparação com o método convencional se reduz o tempo quanto mais alta for a estrutura. Na obra observada, a comparação dos cronogramas simulados mostra que, a partir do 11º ciclo, o método das formas deslizantes já teria sua utilização justificada para agilização na execução da estrutura.

Se observou também, que por ser desenvolvido para a utilização em estruturas sem a existência de lajes, as adaptações para sua utilização em edifícios residenciais reduzem a eficiência do método, devido as paralizações em cada pavimento.

No âmbito de custo, o aluguel das formas com o equipamento deslizantes se mostrou mais caro que o material das fôrmas tradicionais com o agravante que, no caso de imprevistos que possam gerar atrasos, seu custo sobe. Porém, a possibilidade de uma equipe reduzida, torna o método mais barato para a contratante. Vale ressaltar que os profissionais contratados para a coordenar a execução sejam extremamente especializados.

Desse modo, é possível determinar o modo como uma viável alternativa para a execução de estruturas multipavimentos em casos de cronograma apertado e com qualidade

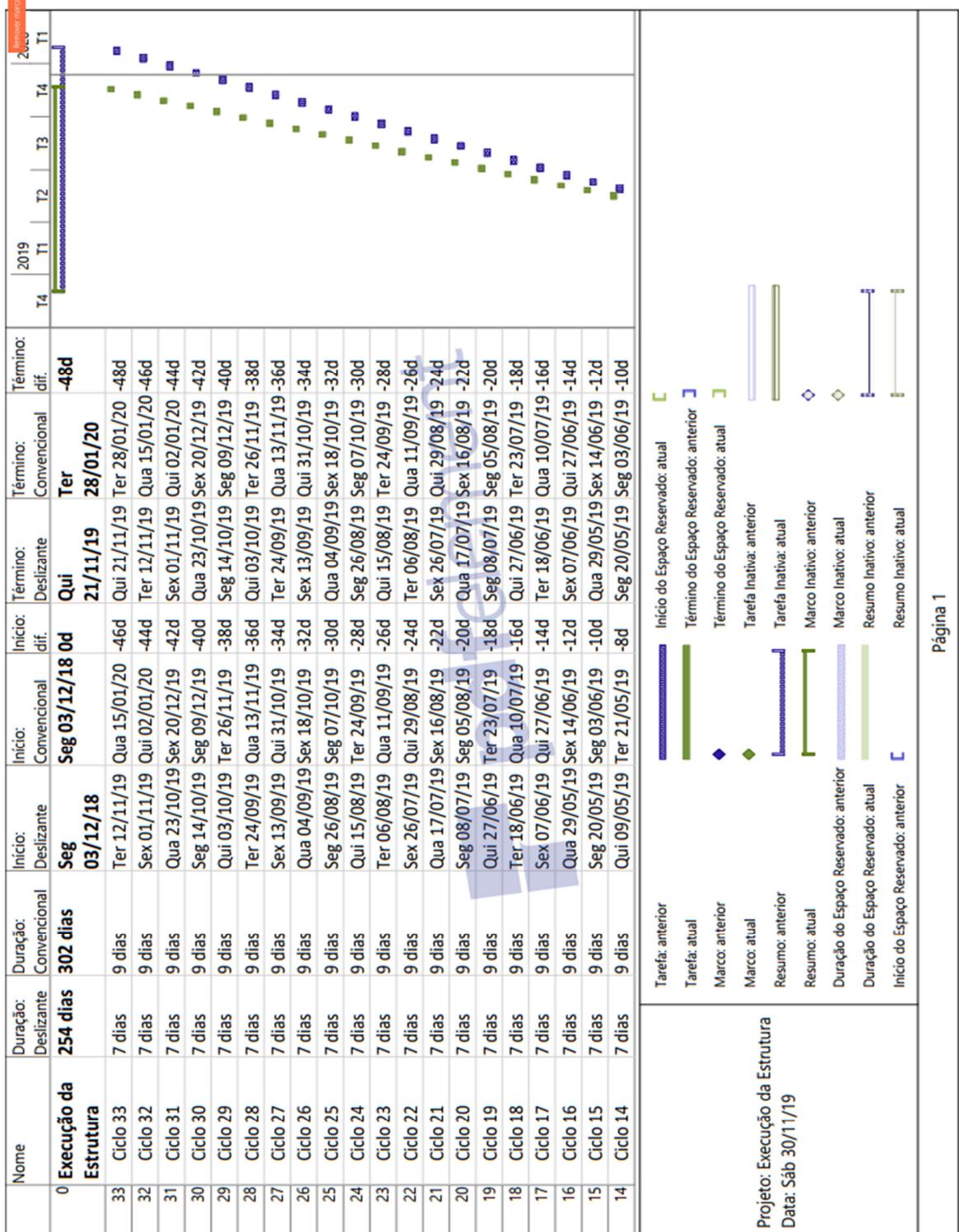
superior ao método convencional, porém devem ser tomados os devidos cuidados com a coordenação das concretagens.

Vale ressaltar que, no presente estudo foram verificados dados de apenas uma obra. Portanto, é válido que sejam feitos estudos em outras estruturas utilizando o método a fim de qualifica-lo como impactante na execução de uma estrutura de concreto armado.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 11768**: Aditivos químicos para concreto de cimento Portland – Requisitos. Rio de Janeiro, 2011.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 14931**: Execução de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro, 2004.
- BELGO BEKAERT. **A tecnologia na construção civil e seus desdobramentos**. Disponível em: <https://blog.belgobekaert.com.br/construcao-civil/a-tecnologia-na-construcao-civil-e-seus-desdobramentos>. Acesso em: 26 de outubro de 2019.
- CARVALHO, Roberto Chust; FIGUEIREDO, Jasson Rodrigues de. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado segundo a NBR 6118:2014**. São Carlos, SP: 2014.
- DINESCU, Tudor; RĂDULESCO, Constantin. **Slip Form Technique**. Tunbridge Wells: Abacus Press, 1984.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo 2010**. Rio de Janeiro, 2011.
- MANUAL FORDENGE: Fôrmas Deslizantes. Recife, 2010.
- MANUAL SH: de fôrmas para concreto e escoramentos metálicos. São Paulo: Pini, 2008
- NAKAMURA, Juliana. **Fôrmas Deslizantes**. Revista Infraestrutura Urbana, São Paulo. Disponível em: <http://www.infraestruturaurbana.com.br/solucoes-tecnicas/8/formas-deslizantes-muito-utilizada-quando-o-cronograma-da-obra>. Acesso em: 20 de outubro de 2019.
- NAZAR, Nilton. **Fôrmas e escoramentos para edifícios**: critérios para dimensionamento e escolha do sistema. 1ª ed. São Paulo: Pini, 2007.
- TANGO, Carlos Eduardo de Siqueira; ALVIM, James Campanhã. **Estruturas de concreto**. Revista Técnica. São Paulo: Pini, 2009.
- THOMAZ, ERCIO. **Tecnologia, gerenciamento e qualidade na construção**. São Paulo: Pini, 2001.

ANEXO A – COMPARAÇÃO DE CRONOGRAMAS ENTRE FÔRMAS DESLIZANTES E O MÉTODO CONVENCIONAL



Nome	Duração: Deslizante	Duração: Convencional	Início: Deslizante	Início: Convencional	Início: dif.	Término: Deslizante	Término: Convencional	Término: dif.	2019	T4	T1	T2	T3	T4	T1
13	Ciclo 13 7 dias	9 dias	Ter 30/04/19	Qua 08/05/19	-6d	Qui 09/05/19	Ter 21/05/19	-8d							
12	Ciclo 12 7 dias	9 dias	Sex 19/04/19	Qui 25/04/19	-4d	Ter 30/04/19	Qua 08/05/19	-6d							
11	Ciclo 11 7 dias	9 dias	Qua 10/04/19	Sex 12/04/19	-2d	Sex 19/04/19	Qui 25/04/19	-4d							
10	Ciclo 10 7 dias	9 dias	Seg 01/04/19	Seg 01/04/19	0d	Qua 10/04/19	Sex 12/04/19	-2d							
9	Ciclo 9 7 dias	9 dias	Qui 21/03/19	Ter 19/03/19	2d	Seg 01/04/19	Seg 01/04/19	0d							
8	Ciclo 8 7 dias	9 dias	Ter 12/03/19	Qua 06/03/19	4d	Qui 21/03/19	Ter 19/03/19	2d							
7	Ciclo 7 7 dias	9 dias	Sex 01/03/19	Qui 21/02/19	6d	Ter 12/03/19	Qua 06/03/19	4d							
6	Ciclo 6 7 dias	9 dias	Qua 20/02/19	Sex 08/02/19	8d	Sex 01/03/19	Qui 21/02/19	6d							
5	Ciclo 5 7 dias	9 dias	Seg 11/02/19	Seg 28/01/19	10d	Qua 20/02/19	Sex 08/02/19	8d							
4	Ciclo 4 7 dias	9 dias	Qui 31/01/19	Ter 15/01/19	12d	Seg 11/02/19	Seg 28/01/19	10d							
3	Ciclo 3 7 dias	9 dias	Ter 22/01/19	Qua 02/01/19	14d	Qui 31/01/19	Ter 15/01/19	12d							
2	Ciclo 2 7 dias	9 dias	Sex 11/01/19	Qui 20/12/18	16d	Ter 22/01/19	Qua 02/01/19	14d							
1	Montagem da Forma+Ciclo 1	30 dias	Seg 03/12/18	Seg 03/12/18	0d	Sex 11/01/19	Qui 20/12/18	16d							

pdfelement

Projeto: Execução da Estrutura
Data: Sáb 30/11/19