

***DÉBORA DE GOIS SANTOS***

**ANÁLISE CONSTRUTIVA DOS TIPOS DE LAJES UTILIZADAS NOS  
SISTEMAS ESTRUTURAIS DAS EDIFICAÇÕES DE FLORIANÓPOLIS**

**Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação  
em Engenharia Civil da Universidade Federal de  
Santa Catarina, como parte dos requisitos para  
a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.**

**Florianópolis, Abril de 2000.**

**ANÁLISE CONSTRUTIVA DOS TIPOS DE LAJES UTILIZADAS NOS  
SISTEMAS ESTRUTURAIS DAS EDIFICAÇÕES DE FLORIANÓPOLIS**

***DÉBORA DE GOIS SANTOS***

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

**Área de Concentração: Construção Civil**

**Orientador: Prof. Humberto Ramos Roman, Ph. D.**

**Florianópolis, Abril de 2000.**

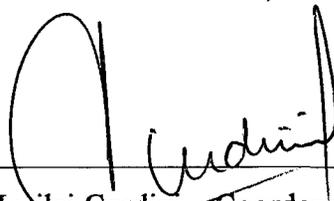
**ANÁLISE CONSTRUTIVA DOS TIPOS DE LAJES UTILIZADAS NOS  
SISTEMAS ESTRUTURAIS DAS EDIFICAÇÕES DE FLORIANÓPOLIS**

**DÉBORA DE GOIS SANTOS**

Dissertação defendida e aprovada em 17/04/2000, pela comissão examinadora



Prof. Humberto Ramos Roman, Ph. D. – Orientador

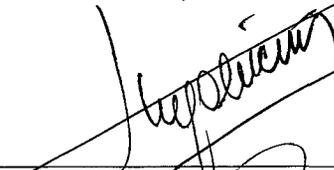


Prof. Dr. Jucilei Cordini – Coordenador do PPGEC

**COMISSÃO EXAMINADORA:**



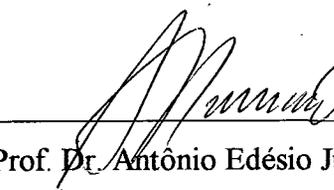
Prof. Humberto Ramos Roman, Ph. D. – Orientador - Moderador



Prof. Dr. Hugo Camilo Lucini



Prof. Luiz Fernando M. Heineck, Ph. D.



Prof. Dr. Antônio Edésio Jungles

**Dedicado aos meus pais e às minhas irmãs.**

**“Nunca se deve ter medo de ir longe demais,  
pois a verdade está mais além”**

**Marcel Proust**

## **AGRADECIMENTOS**

À Deus.

A minha família pelo carinho, apoio e incentivo durante todas as etapas da minha vida.

A CNPq pela oportunidade do desenvolvimento deste trabalho.

Ao Prof. Humberto Roman pela orientação e por ter acreditado em minha capacidade.

Ao Prof. Luiz Fernando M. Heineck pela colaboração na realização desta pesquisa.

Aos amigos de pós-graduação e de graduação pelo incentivo e auxílio na elaboração da pesquisa - vou me reservar ao direito de não citá-los, para não cometer o erro de esquecer nomes, pois são muitos graças a Deus.

Aos professores e funcionários da pós-graduação em engenharia civil e em engenharia de produção pela transmissão de conhecimentos.

Às empresas da indústria da construção civil pela colaboração com a pesquisa, quer sobre a forma de material cedido ou de abertura de seus canteiros de obra para a realização da pesquisa de campo, sejam elas escritórios, fabricantes de elementos para a construção civil ou construtoras.

Quero agradecer em particular as seguintes empresas:

Bautec Construções e Incorporações Ltda. - Florianópolis/Santa Catarina

CCS Constr. Civil Sul Ltda. - Florianópolis/Santa Catarina

CASSOL S. A. Indústria Comércio - São José/Santa Catarina

Empreendimentos Imobiliários Zita Ltda. - São José/Santa Catarina

KOERICH Construção e Participação Ltda. - Florianópolis/Santa Catarina

MIMA Engenharia e Construções - Florianópolis/Santa Catarina

P. A. Pereira Eng. de Estrutura Ltda. - Florianópolis/Santa Catarina

Pinheiro e Pavei Ltda. - Florianópolis/Santa Catarina

Planel Engenharia e Construções Ltda. - Florianópolis/Santa Catarina

RKS Engenharia de Estruturas Ltda. - Florianópolis/Santa Catarina

Stabile - Assessora, Consultoria e Projeto de Estruturas Ltda. - Florianópolis/Santa Catarina

Toniolo Pré-moldados Ltda. - Palhoça/Santa Catarina

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	iii
<b>LISTA DE QUADROS</b> .....	v
<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	vi
<b>RESUMO</b> .....	vii
<b>ABSTRACT</b> .....	viii
<b>CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
1.1. JUSTIFICATIVA.....	1
1.2. OBJETIVOS .....	2
1.2.1. Objetivos Gerais.....	2
1.2.2. Objetivos Específicos.....	2
1.3. HIPÓTESES.....	3
1.3.1. Hipótese Geral.....	3
1.3.2. Hipóteses Específicas.....	3
1.4. DELIMITAÇÕES DO TRABALHO DE PESQUISA.....	3
1.5. ESTRUTURA DO TRABALHO .....	4
<b>CAPÍTULO 2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>5</b>
2.1. INTRODUÇÃO.....	5
2.1.1. Histórico da construção.....	5
2.1.2. Construção enxuta.....	7
2.1.3. Construtibilidade e produtividade.....	9
2.2. PROJETO.....	15
2.3. LAJES .....	18
2.3.1. Materiais .....	21
2.3.2. Normas existentes para as lajes.....	28
<b>CAPÍTULO 3 – METODOLOGIA</b> .....	<b>28</b>
3.1. PESQUISA DE CAMPO.....	28
3.1.1. Introdução.....	28
3.1.2. Visitas iniciais às obras.....	30
3.1.3. Procedimentos adotados.....	30
3.1.3.1. Análise dos projetos .....	30
3.1.3.2. Visitas definitivas às obras.....	32
3.1.3.3. Medições.....	33
3.2. FATORES CONDICIONANTES DA PESQUISA .....	38
<b>CAPÍTULO 4 - DESCRIÇÃO DOS RESULTADOS</b> .....	<b>39</b>
4.1. GENERALIDADES .....	39
4.2. OBSERVAÇÕES COLHIDAS EM OBRA.....	42

4.2.1. Laje maciça.....	42
4.2.2. Laje nervurada.....	46
4.2.3. Laje protendida moldada no local .....	50
4.2.4. Laje com vigotas pré-moldadas.....	53
4.2.5. Laje com vigotas treliçadas.....	57
4.2.6. Laje com painel treliçado.....	61
4.2.7. Pré-laje.....	65
4.2.8. Laje protendida pré-moldada .....	68
4.3. CONSTRUTIBILIDADE .....	69
4.3.1. Aspectos que favorecem a construtibilidade.....	69
4.3.2. Aspectos que prejudicam a construtibilidade.....	71
4.4. PROJETO DE LAJE.....	73
4.5. PRODUTIVIDADE.....	75
4.6. SITUAÇÃO DAS CONSTRUÇÕES EM RELAÇÃO A NORMALIZAÇÃO.....	84
<b>CAPÍTULO 5 - CONCLUSÃO.....</b>	<b>86</b>
5.1. CONCLUSÕES .....	86
5.1.1. Projeto.....	86
5.1.2. Processo produtivo.....	87
5.1.3. Construtibilidade.....	88
5.2. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	88
<b>CAPÍTULO 6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>91</b>
<b>CAPÍTULO 7 - OBRAS CONSULTADAS.....</b>	<b>96</b>
<b>ANEXOS</b>	
ANEXO 01 - Registro fotográfico	
ANEXO 02 - Questionário sobre os projetos das lajes pesquisadas	
ANEXO 03 - Questionário para a gerência da obra	
ANEXO 04 - Questionário para os escritórios de cálculo	
ANEXO 05 - Planilha de acompanhamento do processo executivo	
ANEXO 06 - Questionário das observações feitas em obra	

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1: Contexto da classificação dos melhoramentos de construtibilidade.....	13
Figura 2.2: Esboço de lajes armadas em uma e duas direções.....	19
Figura 2.3: Deformações na laje proveniente da força do vento.....	19
Figura 2.4: Laje pré-moldada, com paredes grauteadas e vinculadas por barras de aço.....	25
Figura 2.5: Pré-lajes ligadas por chapas soldadas.....	25
Figura 2.6: Pré-laje barras de aço como conectores.....	26
Figura 2.7: Painéis pré-tensionados vinculado por barras de aço.....	26
Figura 3.1: Fluxograma da metodologia aplicada.....	35
Figura 3.2: Fluxograma das atividades paralelas e seqüenciais para a montagem das lajes moldadas no local.....	36
Figura 3.3: Fluxograma das atividades paralelas e seqüenciais para a montagem das lajes pré-moldadas.....	37
Figura 4.1: <i>Layout</i> do canteiro de obra das lajes maciça 1 e 2 respectivamente.....	42
Figura 4.2: Escoramento com fôrma em madeira e escoras metálicas.....	44
Figura 4.3: Fluxograma das atividades paralelas e seqüenciais para a montagem da laje maciça.....	45
Figura 4.4 : Corte do engastamento da laje nervurada, com fôrma de madeira e escoramento metálico.....	46
Figura 4.5: <i>Layout</i> do canteiro de obra das lajes nervuradas 1 e 2 respectivamente.....	46
Figura 4.6: Fluxograma das atividades paralelas e seqüenciais para a montagem da laje nervurada.....	47
Figura 4.7: <i>Layout</i> do canteiro de obra da laje protendida moldada no local.....	50
Figura 4.8: Fluxograma das atividades paralelas e seqüenciais para a montagem da laje protendida moldada no local.....	52
Figura 4.9: <i>Layout</i> do canteiro de obra das lajes com vigotas pré-moldadas 1 e 2 respectivamente.....	53
Figura 4.10: Escoramento e engastamento da vigota na viga.....	54

Figura 4.11: Detalhe de viga chata na laje com vigota pré-moldada.....	54
Figura 4.12: Fluxograma das atividades paralelas e seqüenciais para a montagem das lajes com vigotas pré-moldadas.....	55
Figura 4.13: Detalhe do rebaixo na laje com vigota pré-moldada.....	57
Figura 4.14: Corte mostrando as vigotas treliçadas e os blocos.....	57
Figura 4.15: <i>Layout</i> do canteiro de obras da laje com vigotas treliçada 1 e 2 respectivamente.....	58
Figura 4.16: Laje com vigota treliçada armada nas duas direções.....	58
Figura 4.17: Laje com vigota treliçada apoiada na viga.....	58
Figura 4.18: Fluxograma das atividades paralelas e seqüenciais para a montagem das lajes com vigotas treliçadas.....	59
Figura 4.19: <i>Layout</i> do canteiro da laje com painel treliçado.....	62
Figura 4.20: Vigota treliçada.....	62
Figura 4.21: Fluxograma das atividades paralelas e seqüenciais para a montagem das lajes com painéis treliçados.....	64
Figura 2.22: Colocação da pré-laje pela grua.....	65
Figura 4.23: <i>Layout</i> do canteiro da pré-laje.....	65
Figura 4.24: Fluxograma das atividades paralelas e seqüenciais para a montagem das pré-lajes.....	67
Figura 4.25: Corte do painel alveolar para embutimento de instalações.....	68
Figura 4.26: Distribuição dos operários pelas lajes pesquisadas.....	78
Figura 4.27: Distribuição das horas totais utilizadas por metro quadrado de laje.....	79

## LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1: Conceituação sobre construtibilidade.....	10
Quadro 2.2: Causa dos problemas, dificuldades e defeitos na construção e fatores influentes.....	12
Quadro 2.3: Materiais de enchimento.....	21
Quadro 2.4: Tipo de fôrma segundo os materiais.....	23
Quadro 2.5: Tipo de fôrma segundo o modo de deslocamento entre pavimento.....	23
Quadro 2.6: Características gerais dos sistemas de fôrma.....	23
Quadro 3.1: Grupo de atividades para as lajes.....	35
Quadro 4.1: Respostas dos questionários.....	40
Quadro 4.2: Produtos auxiliares com aplicação específica na laje.....	42
Quadro 4.3: Seqüência de atividades da laje maciça.....	43
Quadro 4.4: Aspectos positivos e negativos para a laje maciça.....	44
Quadro 4.5: Seqüência de atividades da laje nervurada.....	48
Quadro 4.6: Aspectos positivos e negativos para a laje nervurada.....	49
Quadro 4.7: Seqüência de atividades da laje protendida.....	50
Quadro 4.8: Aspectos positivos e negativos para a laje protendida.....	53
Quadro 4.9: Seqüência de atividades da laje com vigota pré-moldada.....	56
Quadro 4.10: Aspectos positivos e negativos para a laje com vigota pré-moldada.....	57
Quadro 4.11: Seqüência de atividade da laje com vigota treliçada.....	60
Quadro 4.12: Aspectos positivos e negativos para a laje com vigota treliçada.....	61
Quadro 4.13: Seqüência de atividades da laje em painel treliçado.....	62
Quadro 4.14: Aspectos positivos e negativos da laje com painel treliçado.....	63
Quadro 4.15: Seqüência de atividades da pré-laje.....	66
Quadro 4.16: Aspectos positivos e negativos da pré-laje.....	68
Quadro 4.17: Análise do projeto das lajes pesquisadas.....	73

## LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1: Características das lajes observadas.....	39
Tabela 4.2: Localização das lajes.....	39
Tabela 4.3: Horas gastas na execução de cada tarefa observada.....	76
Tabela 4.4: Número de operários obra utilizados na execução de cada tarefa observada.....	77
Tabela 4.5: Tempos reais gastos na produção total de cada laje.....	79
Tabela 4.6: Produtividade da montagem da fôrma.....	80
Tabela 4.7: Produtividade da montagem da laje.....	81
Tabela 4.8: Produtividade da preparação para concretagem.....	81
Tabela 4.9: Produtividade da concretagem.....	82
Tabela 4.10: Produtividade da regularização das superfícies.....	82
Tabela 4.11: Produtividade dos serviços finais.....	83
Tabela 4.12: Valores totais de produtividade para os grupos de atividades.....	83

## RESUMO

O trabalho analisa os tipos de lajes existentes no mercado e suas adequações para uso em edificações de estrutura reticulada e/ou em alvenaria estrutural por meio dos requisitos da construção enxuta e da construtibilidade. Analisa ainda as precedências para montagem das lajes e a inserção destas nos processos da construção.

Com estas informações busca-se determinar os detalhamentos necessários a produção em canteiro e identificar as razões que dificultam a implementação destes detalhamentos projetados.

Dessa forma objetiva-se conhecer as tipologias existentes e seus desempenhos, considera-se para tanto aspectos como a construtibilidade, o detalhamento da interface laje/superfície de apoio (vigas, pilares e paredes estruturais), a técnica utilizada, a velocidade de execução, e ainda como estudo complementar, as influências sofridas pelas lajes devido as novas abordagens do setor da construção e ao surgimento de novas tecnologias.

## **ABSTRACT**

The work deals with the different types of slabs used by the construction industry of Santa Catarina and their use on different types of structures, i. e., framed structures or structural masonry. The aim is to describe the existing types of slabs and their performance, considering for that buildability, lean construction concepts, the detailing of the interface slab/support surface (beams, columns and structural walls), the technique and the speed of construction, among other factors. Factors related to materials used are also described. The phases of the slabs casting and molding are investigated. Problems based on poor slab design detailing were analysed. Problems of buildability were detected and are described.

# CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

## 1.1. JUSTIFICATIVA

Desde os primórdios o homem busca um local mais confortável para viver. Primeiro habitou em cavernas, depois em casas, que foram incorporando mais de um pavimento com o uso de madeira (tábuas) ou pedras (em forma de arcos). Mas esta solução só era adequada para pequenos vãos, quer para proporcionar o equilíbrio requerido pelas pedras, quer por fatores limitantes do comprimento (toras de madeira). A primeira laje de concreto se originou a partir da necessidade de maiores vãos e teve seu nascimento a partir do surgimento do concreto armado.

Em 1849 na França o concreto armado foi primeiramente utilizado para a fabricação de vasos e posteriormente na construção. Em seguida, a técnica vem sendo aprimorada até a atualidade, em que vários tipos de lajes são aplicadas às mais diversas formas de estruturas, quer sejam reticuladas, quer sejam em alvenaria estrutural.

O estudo das lajes é relevante por estas serem peça importante na execução da estrutura dos edifícios, estas possibilitam a diminuição dos custos com moradia o que permite que as áreas sejam ocupadas por mais pessoas. Além disso, a laje é a grande responsável pelo ritmo da estrutura da obra. Por isso, de acordo com os objetivos, recursos e técnicas disponíveis, a empresa opta por determinado tipo de laje.

Hoje existem muitos tipos de lajes em uso, contudo não se observam projetos específicos para cada um destes. Geralmente é feito o projeto sem pensar no tipo de estrutura e de laje que serão adotados para a construção. Soma-se a isto, a diversidade de procedimentos de execução, ou seja, as empresas utilizam seus próprios procedimentos, que muitas vezes não está relacionado com as técnicas exigidas pelo método em uso. Desta maneira, não há um procedimento padrão a ser seguido.

Nesta pesquisa procedeu-se a análise em campo das tipologias de laje utilizadas em edificações, com o objetivo de explorar informações a respeito do processo construtivo destas.

## 1.2. OBJETIVOS

### 1.2.1. Objetivos Gerais

- Levantar os tipos de lajes existentes no mercado, para descrever e avaliar os seus respectivos processos construtivos, buscando determinar se a tipologia é favorável a construtibilidade e emprega os conceitos da construção enxuta;
- Avaliar os materiais necessários para a produção e uso de cada tipo de laje quanto a mão-de-obra adotada, materiais auxiliares, interligações com as outras peças estruturais e aplicação de novos conceitos.

### 1.2.2. Objetivos Específicos

- Sistematizar os processos por meio da divisão dos mesmos em partes, onde descreve-se cada uma destas de forma a melhor entender o tipo de laje em questão e suas características;
- Avaliar os tipos de laje em Florianópolis, determinando quais são as mais freqüentemente utilizadas.

Em vista disto, procurou-se fazer a avaliação dos procedimentos para a execução das lajes, dos diversos tipos analisados. Pretendeu-se assim, formar especificações padrões de modo a contribuir seqüencialmente e de acordo com o projeto para a execução da estrutura.

Abordou-se ainda lajes não referenciadas na literatura, como as treliçadas e a pré-laje, além de descrever suas etapas construtivas, necessidades e materiais construtivos, que possibilitam auxiliar no planejamento e execução do processo produtivo.

É importante também a amarração das diversas peças estruturais para a transmissão dos esforços solicitantes. Para isto, foram levantadas as questões relativas aos materiais utilizados para este fim e porque da necessidade de vincular as partes. Relacionou-se as conseqüências trazidas para a empresa pela não execução desta atividade.

Para o setor acadêmico pretendeu-se criar material bibliográfico a respeito da importância da laje no processo construtivo e descrever este processo para cada tipo de laje pesquisada, o que irá auxiliar no conhecimento de seus materiais componentes, das conexões utilizadas e da sistematização do processo. Já para o setor produtivo, a

descrição das etapas executivas poderá auxiliar no conhecimento dos materiais, equipamentos e processos construtivos utilizados, e conseqüentemente, na escolha do tipo de laje que seja mais adequada para a realidade da obra a ser desenvolvida.

A seção seguinte aborda as hipóteses assumidas para a realização desta pesquisa.

### 1.3. HIPÓTESES

#### 1.3.1. Hipótese Geral

- Há insuficiência de informações nos processos construtivos e na normalização que está relacionada com desempenho, uso e projeto das lajes.

#### 1.3.2. Hipóteses Específicas

- Há insuficiência de detalhes construtivos;
- Há inexistência de norma de execução;
- Há inadequação ou inexistência de norma de cálculo estrutural para as lajes pré-moldadas.

### 1.4. DELIMITAÇÕES DO TRABALHO DE PESQUISA

Na pesquisa pretendeu-se analisar os tipos de lajes, em edificações, segundo seus aspectos construtivos. Deste modo, formulou-se delimitações para o trabalho que são descritas a seguir.

As obras observadas têm porte médio de 2 a 14 pavimentos.

Não foram consideradas questões relacionadas com custos, por estas envolverem muitas variáveis que não foram objetivos do trabalho. Tratou-se basicamente dos aspectos relacionados com a construtibilidade das lajes, considerou sob estes aspectos a competitividade de cada tipo de laje em termos de velocidade de execução, materiais constituintes e auxiliares utilizados, equipe e produtividade para as etapas executivas.

Observou-se construções de estruturas reticuladas e em alvenaria estrutural, devido ao fato de que quase todos os tipos de lajes são utilizados em ambos os casos.

## 1.5. ESTRUTURA DO TRABALHO

No primeiro capítulo apresenta-se as justificativas do trabalho, com um breve histórico sobre o surgimento das lajes, juntamente com os objetivos, hipóteses e delimitações da pesquisa.

O segundo capítulo contém a revisão de literatura que versa sobre o surgimento da laje, sua presença nas construções difundidas pelo mundo e seu desenvolvimento aqui no Brasil. Trata também do aperfeiçoamento de técnicas em direção a industrialização dos métodos, o que torna as obras mais competitivas no mercado da construção civil.

Descrevem-se os conceitos de construção enxuta e os requisitos que permitem a construtibilidade das lajes.

Ainda são incluídos os procedimentos para a execução dos tipos de lajes pesquisadas, baseados em padronização e recomendações para normas futuras. Este último caso dirige-se as lajes com processo construtivo não normalizado no país.

No terceiro capítulo descrevem-se os procedimentos de levantamento dos dados junto às empresas da construção civil, e também a incorporação de informações adicionais obtidas nas centrais de fabricação de materiais e escritórios de cálculo estrutural.

No quarto capítulo são apresentados os resultados das informações obtidas durante o período de observação do processo construtivo de diferentes tipos de estruturas de laje, realizados em obras dos municípios de Florianópolis e São José/Santa Catarina, em edifícios de estrutura reticulada e em alvenaria estrutural.

O quinto capítulo apresenta as conclusões e sugestões para trabalhos futuros.

## **CAPÍTULO 2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1. INTRODUÇÃO**

Existem diversos tipos de lajes sendo utilizados nas construções reticuladas, ou em alvenaria estrutural ou ainda em painéis de concreto. Não se conhece qual seria a eficiência de cada tipologia e quais seriam os critérios da escolha por um determinado tipo de laje.

Sabe-se que grande parte dos recursos empregados numa construção são destinados à execução da estrutura, seja no caso da estrutura em concreto armado (pilar, laje e viga) ou em alvenaria estrutural (alvenaria, laje e viga). O gasto não é apenas com o concreto em si, mas também com a sua estrutura de apoio (escoramento). Neste caso a alvenaria estrutural apresenta vantagem por utilizar escoras somente nas lajes e vigas.

Aspectos como o critério de escolha e a forma de execução da laje são importantes para possibilitar maior velocidade de produção da edificação. Por esta razão, é necessário determinar qual é o tipo a ser usado, para analisar o processo que a empresa adota, o domínio da técnica e os recursos para usufruir de suas características, permitindo a obtenção da eficiência construtiva.

Pretende-se aqui concentrar o conhecimento existente sobre laje para facilitar a escolha da tipologia na hora de se projetar a edificação, pois a racionalização tem início já no projeto estrutural, ou ainda arquitetônico, em que são definidas as técnicas usadas e são minimizados os erros e reduzidos os desperdícios dos recursos utilizados.

#### **2.1.1. Histórico da construção**

De acordo com DI PIETRO (1993) a história das construções na civilização ocidental, vista sob o interesse das lajes, mostra que o homem precisou de milhões de anos para ocupar espaços em pisos acima do solo. Primeiramente usava somente os materiais que a natureza lhe oferecia, como a madeira e a pedra nos tetos ou pisos e como suporte de suas construções. As pedras somente conseguiam vencer vãos da ordem de 5 metros, como na Ilha de Creta em 1250 a. C. Com a descoberta do cimento por volta de 1845 a idéia de associar este novo material ao ferro, para torná-lo mais resistente a esforços de tração foi feita pelo engenheiro francês Joseph Louis Lambot

(1814-1887), o qual denominou de cimento armado. A partir de 1920, passou a chamar-se de concreto armado, aplicado em habitações na forma de lajes com perfis metálicos em forma de “T”.

De acordo com DI PIETRO (1993) em 1861 François Coignet (1812-1895) publicou na França um trabalho sobre cimento armado, em que foram destacadas as lajes construídas por nervuras e armadas exclusivamente com barras de aço redondo, criando, em suas hipóteses de cálculo as primeiras vigas “T”, precursoras dos métodos de cálculo das atuais lajes pré-moldadas.

A produção convencional foi estabelecida no século XIX, onde a construção era considerada um processo de conversão. A medida que a produção tornava-se mais complexa as deficiências do modo de construir tradicional foram se fazendo evidentes, deste modo, a produção enxuta aplicada à construção surgiu para tornar os processos produtivos mais transparentes por meio de um processo de conversão e fluxo (KOSKELA, 1992).

Apesar da evolução desde o desenvolvimento da primeira residência pelo homem, hoje ainda utilizam-se processos de construção tradicionais e convencionais, sem o uso de equipamentos mecânicos.

No que diz respeito à confecção de lajes, presume-se que os primeiros indícios de sua utilização aconteceu no Brasil, ao final da década de 20, quando os pavimentos superiores começavam a apresentar lajes maciças de concreto, em substituição aos assoalhos de madeira. Nos edifícios de médio porte e nas edificações com mais de cinco pavimentos, eram predominantes as estruturas de aço, que iam cedendo lugar às de concreto armado, com lajes de mesmo material (VASCONCELOS, 1985 *apud* NAPPI, 1993).

No Brasil o processo de industrialização iniciou-se a partir da década de 60. Nas grandes obras os equipamentos são introduzidos sob a forma de inovações tecnológicas, quer sejam materiais ou processos construtivos. No caso das lajes, cresce o número de unidades produzidas de forma industrializada montadas no canteiro. Isso vem a aumentar a produtividade e a minimizar os desperdícios na construção civil, pois as etapas tornam-se mais transparentes para todo o pessoal envolvido.

“Por volta de 1935 já são também utilizadas as primeiras lajes mistas constituídas por vigotas de concreto sobre os quais se apoiam blocos cerâmicos, seguidos de capeamento de concreto com armação. Atualmente, as lajes podem ser calculadas e executadas de várias formas e com diferentes materiais. Esta variabilidade

de materiais permite alternativas de construção, com resultados tanto estruturais quanto econômicos” (NAPPI, 1993).

O objetivo final na elaboração do produto é o de atender as necessidades do usuário, seja ele temporário ou final, e para isto, no caso da construção civil este produto deve ter uma construção transparente, buscando agilizar sua execução com garantia da qualidade final.

### 2.1.2. Construção Enxuta

A filosofia tradicional analisa a construção como um processo de conversão, como um conjunto de atividades interdependentes em que descartam-se os fluxos. A nova filosofia de produção faz esta análise como um processo de conversão e fluxo, obtém-se assim ganhos na otimização dos últimos e das atividades por ter uma visão mais abrangente do processo (KOSKELA, 1992).

Dos onze princípios da construção enxuta descritos por KOSKELA (1993) são explorados os seguintes para as lajes:

- reduzir o volume das atividades que não acrescentam valor;
- reduzir o tempo dos ciclos de produção;
- simplificar ao mínimo o número de passos, partes e uniões;
- incrementar a transparência do processo;
- focalizar o controle na totalidade do processo;
- realizar melhorias contínuas no processo;

Para gerenciar a organização do trabalho no setor da construção é necessário a sua compreensão. Isto pode ser conseguido por meio de conceitos e princípios provenientes do sistema de produção originado na empresa japonesa *Toyota Motor Company*, que foi adaptado para a construção civil.

De acordo com KOSKELA (1992) a duração, o custo e o valor podem ser caracterizados como processos de fluxo.

Segundo ALARCÓN *et al.* (1998) o valor refere-se a satisfação dos requerimentos do cliente. Somente as atividades podem ser convertidas na forma de valor ao cliente, com a adição de valor ao produto, porque o cliente paga somente pelo que é processado.

O conjunto de atividades forma as operações. Segundo KRAJEWSKI, RITZMAN (1992) *apud* SAN MARTIN (1999) o termo administração de operações

refere-se à sistemática direção e controle das operações que transformam recursos em bens ou serviços.

As operações são melhor visualizadas por meio de fluxogramas. Estas desmembram a cadeia de produção em partes e engloba os fluxos, processos, serviços e atividades.

Com a consideração do contexto da produção enxuta pode-se definir fluxo como uma seqüência de atividades desenvolvidas, ao longo do processo produtivo, que envolve mudanças espaciais, temporais ou de procedimentos.

SHINGO (1989) define processo como “a transformação da matéria prima em componente semi-acabado e daí a produto acabado”. Esse conceito de processo, por sua vez, está associado à definição de operação a ser utilizada na gestão de processos, que pode ser entendida, segundo o mesmo autor, como “a interação do fluxo de equipamentos e operadores no tempo e no espaço”.

De acordo com SAN MARTIN (1999), o conceito de fluxo está ligado às definições anteriormente apresentadas da seguinte forma:

- “processo é o fluxo definido pelos materiais, constituído por uma seqüência de eventos, em que esses são transformados no produto final. Esses eventos podem ser caracterizados como conversão ou processamento, inspeção, espera ou transporte.

- operação é o fluxo definido pelas pessoas ou máquinas, constituído pela seqüência de ações (ou trabalhos) executadas sobre os materiais. Essas ações também podem ser caracterizadas como conversão ou processamento, inspeção ou transporte/deslocamento e ainda outras que não coincidem com as atividades dos fluxos de processos”.

Segundo HEINECK (1983), as atividades são definidas como “um módulo de trabalho elementar, como por exemplo a colocação de um tijolo na parede, transporte de um material ou espera por uma informação”, e os serviços como “um conjunto de atividades relacionadas a um determinado elemento geométrico”. Um exemplo é a execução de paredes, que envolve a conclusão total desse subproduto.

As atividades de fluxo, de acordo com a construção enxuta, são “todas as atividades que compõem os movimentos de produção, mas que não agregam valor ao produto ou subproduto” (KOSKELA, 1992).

Para resumir “toda atividade constitui o encontro físico, na produção, dos fluxos de processos e de operações, sendo os processos a maneira como os materiais são arranjados para a realização de um determinado serviço, e as operações os movimentos

realizados pelos operários e equipamentos para possibilitar tal realização” (SAN MARTIN, 1999).

As atividades de fluxo envolvem os movimentos em canteiro de obra, este é um ambiente de produção precário, em decorrência de sua improvisação, em que os mínimos conceitos de *layout* ou arranjo físico não são observados. Com relação aos materiais, há pouca utilização de equipamentos de transporte, as vias de transporte interno são desniveladas e não pavimentadas, há duplo manuseio destes e pouco controle de informações da estocagem (CRUZ *et al.*, 1998).

A construção é um conjunto de processos construtivos. Para uma melhor compreensão necessita ter o conhecimento a respeito de como se passa da técnica ao sistema construtivo.

Segundo SABBATINI (1989), técnica construtiva é um “conjunto de operações empregadas por um particular ofício para produzir parte de uma construção”, enquanto método construtivo é “um conjunto de técnicas construtivas interdependentes e adequadamente organizadas, empregado na construção de uma parte, subsistema ou elemento, de uma edificação”.

SABBATINI (1989), afirma que, “processo construtivo é um modo específico de produzir um edifício e que se fundamenta em métodos construtivos tradicionalmente empregados em uma certa região”. Afirma ainda que, sistema construtivo “é um processo construtivo de elevado nível de industrialização e de organização, constituído por um conjunto de elementos e componentes inter-relacionados e completamente integrados pelo processo”.

O gerenciamento segundo esta nova filosofia conduz à soluções de construção otimizadas e a boa construtibilidade.

### **2.1.3. Construtibilidade e produtividade**

A construtibilidade, assim como a construção enxuta, quando aplicada à construção busca elevar os padrões de qualidade do produto final, por meio de melhoramentos nos processos de produção e gerenciamento das partes da edificação. No quadro 2.1 apresentam-se algumas definições sobre construtibilidade:

Quadro 2.1: Conceituação sobre construtibilidade.

Instituição	Definições
CONSTRUCTION INDUSTRY INSTITUTE (CII) – Universidade do Texas nos Estados Unidos	“é o uso otimizado da experiência e do conhecimento sobre planejamento, projeto, contratação e operação em campo para alcançar os objetivos gerais do empreendimento” (GRIFFITH <i>et al.</i> , 1995)
CONSTRUCTION INDUSTRY RESEARCH AND INFORMATION ASSOCIATION (CIRIA) – Inglaterra	“é o campo de ações a partir do qual a concepção do edifício simplifica e facilita as atividades de execução, sujeitando-se a todos os requisitos do edifício acabado”
AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS (ASCE)	“o construtor deve contribuir durante as diversas fases do projeto e fazer uma revisão completa antes do detalhamento e especificação finais”
CONCEITO GERAL	<p>“é facilitar a construção, otimizando todas as fases do empreendimento, considerando os seguintes princípios fundamentais: reorganizar um sistema do empreendimento; criar estratégias construtivas; segmentar o projeto em pacotes construtivos; estudar seqüências de construção; promover segurança e operacionalidade” (CONSTRUCTION MANAGEMENT COMMITTEE – ASCE, 1991)</p> <p>“é o uso ótimo do conhecimento de construção por meio de planejamento, projeto, procedimentos e operações de campo na fase de projeto” (ELDIN, 1999)</p> <p>“é o uso de métodos de construção inovativos como forma de aperfeiçoar as operações na obra” (O’CONNOR e DAVIS, 1988)</p>

Fonte: Institutos Internacionais de Pesquisa.

Ainda segundo O’CONNOR *et al.* (1986) construtibilidade é “a habilidade das condições de projeto para permitir a utilização ótima dos recursos da construção”.

A construtibilidade é um mecanismo para melhorar a gestão da construção tanto na administração geral e produtividade, como nos processos construtivos e na tecnologia de projeto (CASTILLO, 1997).

A construtibilidade está ligada as decisões tomadas inicialmente nos projetos para evitar problemas em obra, com o envolvimento de todas as pessoas, do proprietário aos encarregados (O’CONNOR *et al.*, 1987a).

O conceito de construtibilidade originou-se no Reino Unido e Estados Unidos no início da década de 80. No Reino Unido foi definido como *Buildability*, enquanto nos Estados Unidos como *Constructability*. A primeira está voltada à construção civil e a segunda a área industrial.

Segundo GRIFFITH *et al.* (1995), “a boa construtibilidade é obtida por meio do projeto de edificação, da estrutura ou de outro tipo de projeto de construção em que considera-se a fase de produção, com ênfase no método de construção, na seqüência de trabalho, nas atividades totais, nas inter-relações e no caminho em que estas são

incorporadas ao conceito de projeto total. Inversamente, a má construtibilidade significa discordância entre o projeto e o processo de construção”.

Quando a boa construtibilidade é praticada, tanto os clientes quanto projetistas e contratantes são beneficiados.

Os projetos são rotineiramente inspecionados para possibilitar a construtibilidade para minimizar os custos na fase de construção (DUNSTON e WILLIAMSON, 1999).

Já no que se refere aos objetivos do projeto para o aperfeiçoamento da construtibilidade são a segurança, a operacionalidade, a manutenção e a estética. Contudo, os *layouts* de projeto e os detalhes podem ser modificados para permitir a construtibilidade sem sacrificar estes objetivos (O’CONNOR *et al.*, 1987b).

Ainda com relação aos projetos, pode-se observar que a atual metodologia aponta para gargalos tecnológicos “que evidenciam a falta de normalização adequada, a falta de incorporação das exigências do usuário e o desconhecimento das características de desempenho dos materiais, componentes e da edificação como um todo” IPT (1988). Apresentam ainda detalhamento insuficiente do processo executivo por falta de coordenação entre projetos arquitetônicos e complementares e destes com a produção (ROSSI, 1995).

Em decorrência da busca do setor de construção civil por qualidade e produtividade, pesquisas foram desenvolvidas para identificar os gargalos e estabelecer as diretrizes que permitam a formulação de estratégias que levem à solução dos problemas construtivos decorrentes em sua maioria de um projeto mal elaborado.

Nos últimos anos tem crescido o interesse em construtibilidade no Brasil, onde pode-se contar com trabalhos sobre o assunto no meio acadêmico. SABATTINI (1989) empregou o conceito em sua tese de doutorado, como um dos itens a se considerar na sua metodologia para Desenvolvimento de Métodos, Processos e Sistemas Construtivos.

PAIVA (1989) e DIAS (1992) estudaram o conceito, enfocando principalmente o projeto e sua influência no processo construtivo OLIVEIRA (1994).

A avaliação do projeto visa estabelecer a relação de determinados conceitos e princípios da construtibilidade em paralelo aos da nova filosofia de produção, associados à interface projeto-produção (NASCIMENTO e FORMOSO, 1998).

É durante as fases de projeto que as decisões estratégicas são tomadas e as mudanças são implementadas com um mínimo de dificuldade. Desta forma, a construtibilidade aplicada aos projetos minimiza o número e a grandeza das mudanças,

discussões, custos excedentes e aperfeiçoa os detalhes durante a construção (ANDERSON *et al.*, 1999).

O *Construction Industry Research and Information Association* (CIRIA) identificou sete categorias dos princípios construtibilidade: “interação entre o controle em obra e o projeto; planejamento para as necessidades da produção de locais essenciais; planejamento da seqüência prática de operações; planejamento para simplificação de partes e seqüência lógica de funções; detalhamento da máxima repetição e padronização; detalhamento das tolerâncias alcançáveis; especificações e materiais convenientes” (GRIFFITH *et al.*, 1995).

Os problemas de projeto (quadros 2.2) são identificados por meio do acompanhamento do fluxo do processo, onde busca-se soluções antecipadamente para evitar que sejam decididas em obra.

Quadro 2.2: Causa dos problemas, dificuldades e defeitos na construção e fatores influentes.

Problemas	
Processo e projeto	Conclusão dos detalhes de projeto; consideração da coordenação modular. Dificuldade que os projetistas apresentam em formular os elementos de projeto que consideram as operações requeridas para a construção.
Materiais e componentes	Padronização de materiais e componentes; produtividade (alto nível de desperdício na manufatura); proteção durante a construção na obra; coordenação modular.
Construção (produção)	Controle no recebimento de material na obra; conhecimento dos desempenhos das características dos materiais e componentes (especificações); informação para o uso de novos materiais (inovação).
Fatores que influenciam a construtibilidade	
Projeto	Análise do conceito de projeto e as necessidades; especificação de materiais e componentes; simplificação de detalhes construtivos; estimativa da dependência de tarefas; incorporação de padronização; especificação de tolerâncias realísticas; coordenação dimensional dos elementos; comunicação efetiva das intenções de projeto para o local de trabalho.
Métodos de produção	Conhecimento da construção e técnica; método de construção; seqüência de reunião de operações.

Fonte: GRIFFITH *et al.* (1995) e GRIFFITH (1987).

A experiência do pessoal em campo e de projeto é muito importante para solucionar problemas já nas primeiras etapas de concepção do produto (SCOTT, 1997).

O projetista tem que ter experiência de campo para prevenir erros e auxiliar na programação da obra de forma a resolvê-los antes de construir (TATUM, 1986).

O aperfeiçoamento da construtibilidade requer o conhecimento de construção efetivo e com entradas de insumos adequadas durante as fases de planejamento e projeto (GAMBATESE e McMANUS, 1999).

Segundo o *Construction Management Committee - ASCE* (1991), os fatores considerados na construtibilidade são os seguintes: “gerência de projeto; sistema de distribuição de projeto; análise do pacote de trabalho; plano de trabalho; layout de canteiro; acesso para instalação e locação de equipamentos mais largos dentro da estrutura; seqüência de construção; pré-fabricação; pré-moldagem; modulação; gerenciamento da qualidade e dos materiais; estrutura do canteiro (escritórios, água, luz, instalações e depósitos); segurança e manutenção.”

As principais melhorias da construtibilidade encontram-se na figura 2.1.

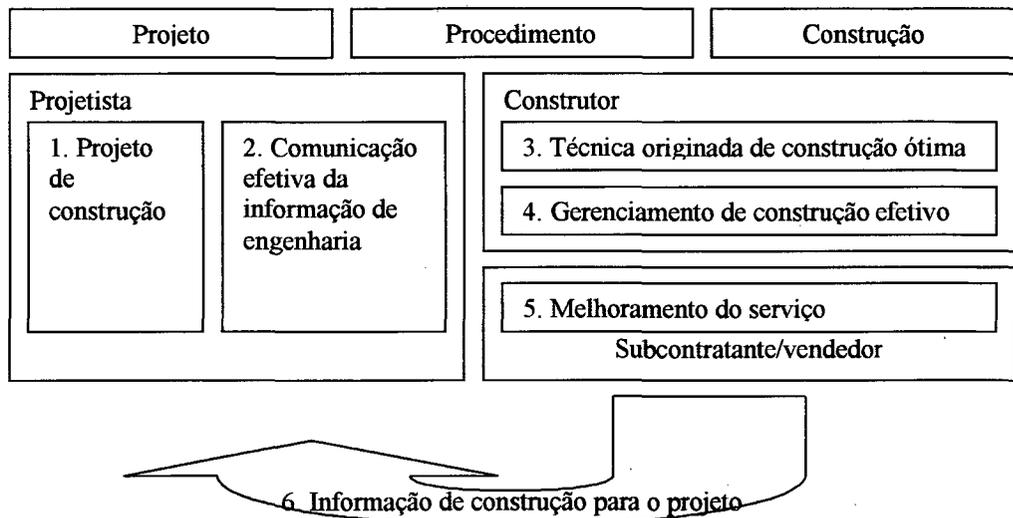


Figura 2.1: Contexto da classificação dos melhoramentos de construtibilidade (O’CONNOR *et al.*, 1986).

Segundo HALON e SANVIDO (1995) estes autores os conceitos de construtibilidade podem ser caracterizados pelos processos (métodos e seqüências) e produtos (sistemas e componentes) afetados na construção. Deste modo, o uso de produtos mais industrializados - como concreto pré-fabricado, fôrmas deslizantes ou partes modulares – melhoram o fluxo na execução da obra por eliminar atividades que demandariam mais tempo e pela simplificação da montagem da construção.

A introdução dos conhecimentos de construção nas atividades precedentes resultará em eficiência das operações de campo (O’CONNOR *et al.*, 1987b).

De acordo com OLIVEIRA (1994), a construtibilidade está ligada aos fatores:

- **“Simplificação do projeto:** pela utilização de um número mínimo de componentes, elementos ou peças; concentração do trabalho em um só tipo de material ou profissão; utilização de materiais facilmente disponíveis no mercado, com tamanhos e especificações usuais; incorporação de vários componentes ou

funções em um só elemento construtivo; uso de componentes que cubram grandes áreas, volumes ou metragens lineares; respeito a prumo, nível e esquadro (evitar ângulos, inclinações e superfícies curvas); uso de materiais fáceis de serem instalados, não dependentes de mão-de-obra especializada e com poucos cuidados em relação a armazenagem e transporte; atenção e detalhamento de juntas e interfaces entre componentes;

- **Padronização e repetição de projetos:** de componentes, de detalhes de execução, de dimensões; flexibilidade ligada à tipificação, padronização, coordenação dimensional e modular;
- **Seqüência de execução e interdependência entre atividades:** por meio da segmentação do projeto em pacotes construtivos; seqüências que minimizam congestionamentos no transporte e armazenagem temporária de materiais; eliminação de atividades desnecessárias, combinação de operações ou elementos, mudança na seqüência e simplificação nos trabalhos necessários; redução de precedências; possibilidade de qualquer ordem de execução; definição de seqüência que levem em conta os diversos equipamentos usados na obra (elevadores, andaimés, guinchos) e sua utilização nos diversos serviços;
- **Comunicação projetos/obra:** organização dos projetos e detalhes construtivos em locais acessíveis e com referências claras para uso; utilização de desenhos em papel A4, que podem ser utilizados pelos operários no local de trabalho e facilmente consultados a qualquer momento; comunicação rápida aos projetistas de alterações realizadas durante a execução da obra e de projetistas a obra sobre mudanças realizadas nos projetos; revisão detalhada das especificações e detalhes, antes do início de cada serviço, realizada por todos os envolvidos no processo (cliente, projetista, construtor)”.

Uma edificação com boa construtibilidade permite que os processos construtivos tenham a produtividade elevada devido a otimização dos processos de produção.

Segundo OLIVEIRA (1997) a produtividade é a relação entre os produtos produzidos, que podem ser os bens ou serviços, e o fator de produção.

Assim ela é baixa quando há desperdício de material e ineficiência de mão-de-obra e equipamentos. Logo se o processo produtivo for claro, com o devido

planejamento e otimização, a produtividade do serviço como um todo só tenderá a aumentar, pois se estará fornecendo meios para que determinada atividade ou produto atinja toda a sua capacidade de produção. Na construção civil os fatores de aumento da produtividade são o planejamento e as atividades repetitivas, estes elevam o aprendizado e reduzem os desperdícios.

Na construção civil a produtividade pode ser medida pela relação homens-hora gastos na execução de um serviço ou produto como um todo por m<sup>2</sup> de obra (OLIVEIRA, 1997).

A produtividade vem combater o desperdício e a ineficiência em obra, pois o desperdício, de materiais e a ineficiência da mão-de-obra e dos equipamentos decorrem da falta de clareza das operações que compõem o processo produtivo e do seu planejamento e programação. A ineficiência destes fatores impede a otimização do processo repetitivo e contínuo da produção” (PRODUÇÃO, 199\_, p. 4).

## 2.2. PROJETO

O projeto é a representação em planta do que foi idealizado, ou seja, é a atividade de construir. Dentre os vários conceitos existentes sobre projeto. Apresenta-se a seguir o conceito exposto por RODRIGUEZ (1992) *apud* MELHADO e AGOPYAN (1995), que consideram que um projeto é “um processo para a realização de idéias que deverá passar pelas etapas de idealização, simulação (análise) e implantação (protótipo e escala de produção)”.

“Como serviço e como produto, o projeto deve estar sujeito a mecanismos de garantia da qualidade, mas deve-se distinguir entre o controle da qualidade do 'produto projeto' e os mecanismos que garantem a qualidade do projeto como serviço. O primeiro pode ter verificada a sua conformidade com padrões formais estabelecidos, mas o segundo será consequência da eficácia operacional do próprio sistema da qualidade da empresa, e de suas relações com as empresas externas a este sistema” (MELHADO e AGOPYAN, 1995, p. 15).

“As melhorias relativas ao detalhamento e apresentação de projetos referem-se ao surgimento de uma série de projetos que normalmente não eram utilizados pelas empresas. Estes projetos têm como objetivo compatibilizar o projeto com a execução, através da antecipação de muitas soluções que tradicionalmente eram deixadas para a etapa de produção. Também visam melhorar a forma de expressão e comunicação das

soluções e especificações, aperfeiçoando sua objetividade, clareza e interpretação, facilitando sua utilização correta na etapa construção” (SCARDOELLI, 1995, p. 60).

O desempenho do projeto durante a fase de execução dos serviços está associado à forma como este é interpretado pela produção e ao nível de comunicação do mesmo. De nada adianta o projeto utilizar de boas técnicas construtivas se estas não forem comunicadas de forma correta (NASCIMENTO e FORMOSO, 1998).

Para que um prédio seja executado com qualidade é necessário que todos os projetistas envolvidos na elaboração do projeto trabalhem unidos para minimizar as perdas durante a construção, promovendo a redução dos custos e construindo em tempo hábil. Ou seja, a adoção de um projeto integrado procura racionalizar as diversas partes do projeto de forma a que este tenha a clareza necessária para a transparência do processo construtivo.

Para SOUZA *et al.* (1994) a qualidade do projeto é obtida quando as soluções adotadas na etapa de projeto têm amplas repercussões em todo o processo da construção e na qualidade do produto final a ser entregue ao cliente. É nesta etapa que acontecem a concepção e o desenvolvimento do produto, que devem ser baseados na identificação das necessidades dos clientes em termos de desempenho e custos e das condições de exposição a que será submetido o edifício. A qualidade da solução de projeto determinará a qualidade do produto e, conseqüentemente, condicionará o nível de satisfação dos usuários finais.

“A laje é muito importante no projeto estrutural, pois é através dela que o esforço do vento é transmitido proporcionalmente para as vigas e pilares ou para as paredes de contraventamento. Qualquer tipo de laje pode ser utilizado sem inconvenientes estruturais, desde que seja assegurada a transmissão dos esforços de uma laje a outra de forma a que o conjunto trabalhe como um diafragma rígido” (MELHADO e AGOPYAN, 1995, p. 19).

São usados vários tipos de lajes: maciça moldada no local, maciça pré-moldada, com vigotas pré-moldadas, maciça protendida, painel pré-moldado protendido alveolado, pré-lajes, em vigotas treliçadas, em painéis treliçados e lajes mistas. As lajes são ligadas a outras e a estrutura de apoio por meio de vínculos (barras de aço, chapas, entre outros materiais).

Com relação aos vínculos das estruturas, as lajes quase sempre são ligadas monoliticamente às vigas que as suportam. A vinculação é feita por meio de

engastamento (como no caso das lajes com as vigas) ou de articulações, que permitem a rotação das partes interligadas (FUSCO, 1997).

Durante a elaboração do projeto estrutural deve-se tomar cuidado com dois pontos. São eles, a ruptura dos materiais e o colapso das estruturas. A ruptura é o fenômeno de desagregação da matéria sólida sob a ação de solicitações mecânicas. O colapso ocorre quando a peça da estrutura deixa de atuar. Geralmente o fenômeno é provocado por choques que destroem parte da estrutura, e se a mesma não for calculada para resistir a esse tipo de sobrecarga (já que o carregamento será redistribuído) levará a obra a ruína.

BARROS e MELHADO (1993) destacam que quanto à concepção estrutural, ou seja, quanto à forma de transmissão dos esforços as estruturas podem ser classificadas em estruturas reticuladas, que são aquelas em que a transmissão dos esforços ocorre por meio de elementos isolados tais como lajes, pilares e vigas ou pórticos; estruturas planas, em que esta transmissão se processa por intermédio do plano de carregamentos, como é o caso dos edifícios construídos por paredes maciças de concreto armado ou de alvenaria estrutural; e outras estruturas como cascas, espaciais, pneumáticas e boxes.

Nas estruturas reticuladas os esforços são provenientes da ocupação das lajes e do peso próprio. Onde o carregamento é transmitido aos demais elementos estruturais em direção às fundações. Desta forma, garante-se o monolitismo do conjunto com os esforços passando de um elemento a outro por meio de engastamentos, executados durante a concretagem do conjunto – por intermédio da armadura de distribuição ou quando usa peças pré-moldadas por meio de vínculos ou conexões especiais.

A alvenaria estrutural é composta de paredes de contraventamento que suportam cargas verticais e horizontais, estas últimas provocadas pela ação dos ventos, paredes estruturais e de vedação. Na maioria dos casos não apresenta pilares e vigas, as cargas são suportadas pelas paredes portantes.

“Ela resiste a grandes tensões de compressão e pequenas tensões de tração” (ROMAN *et al.*, 1999, p.17). As cargas verticais são aplicadas às paredes através das lajes e pisos, que amarram a estrutura e distribuem as cargas horizontais. “A rigidez lateral é fornecida também pelas escadas, poços de elevadores e de condução de dutos” (ROMAN *et al.*, 1999, p.19).

As lajes e escadas para alvenaria podem ser feitas no local, como no sistema tradicional, deve-se deixar os vazios necessários para a passagem de dutos. Podem

também ser pré-moldadas, pois o sistema garante a precisão das medidas, assim permite-se a moldagem no chão ou em fábricas e são instaladas na construção.

### 2.3. LAJES

“As lajes são caracterizadas como estruturas laminares, normalmente planas e horizontais, solicitadas predominantemente por cargas normais ao seu plano médio. O seu formato é variável, desenvolve-se sobre elas (exceto em coberturas) as atividades normais do edifício” (NAPPI, 1993, p. 13).

Um dos problemas na escolha do tipo de laje está na estrutura do edifício, onde o projetista ou proprietário, por desconhecimento de informações mais precisas, escolhe um determinado tipo de laje para a sua construção que talvez não seja a mais indicada para as reais necessidades. Em muitos casos a escolha é baseada na técnica disponível ou mesmo por intermédio de informações obtidas por meio de fabricantes ou até mesmo de profissionais do setor, que muitas vezes não utilizam parâmetros adequados para esta indicação. Somente conhecendo-se cada tipo de laje é que pode-se promover a escolha adequada à necessidade do usuário.

A escolha do tipo de laje, resulta da tipologia da edificação em suas características particulares como o vínculo entre o dimensionamento espacial e a estrutura resistente, que termina na limitação dos vãos de laje, deste modo, pode-se determinar o tipo de laje a utilizar segundo a necessidade de vencer maiores vãos ou não.

Tal decisão relaciona-se também com a função à que a edificação se destina, como é o caso da comercial, residencial, de serviço ou estacionamento.

Na alvenaria estrutural a laje é adotada baseada no *layout* das paredes, pois são estas que recebem os esforços e os retransmitem até a fundação garantindo assim a estabilidade do conjunto.

Este *layout* é determinado pela função a qual estas destinam-se. Pode ser composto por sistema simples - onde as lajes apoiam-se nas paredes transversais, neste caso as lajes são armadas numa só direção; sistema celular - onde as lajes se apoiam em todos os bordos, logo são armadas nas duas direções; ou ainda o sistema complexo que é a combinação dos sistemas anteriores, com lajes armadas numa só direção e outras armadas nas duas direções (figura 2.2).

O arranjo das paredes e das lajes deve sempre que possível ser simétrico para evitar o efeito de torção devido às cargas laterais, o que leva a distribuição de tensões

indesejáveis. Neste tipo de estrutura as lajes transmitem também os esforços horizontais provenientes da ação do vento nas paredes externas, logo este critério deve ser avaliado no cálculo da mesma (figura 2.3).

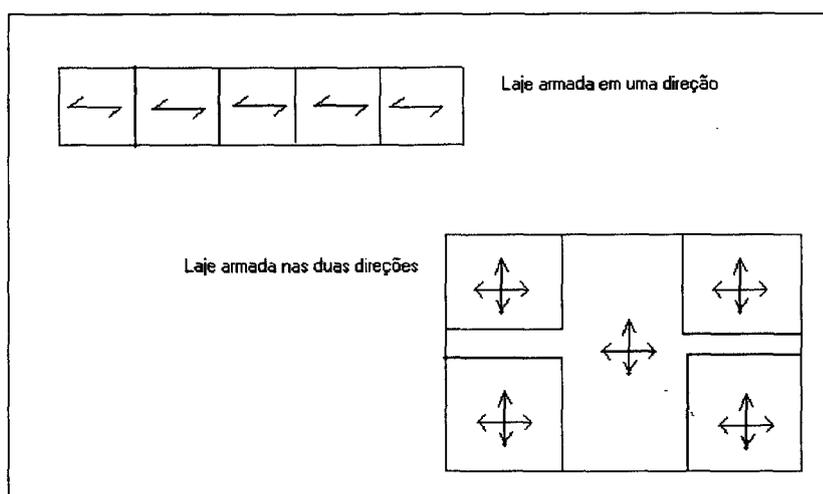


Figura 2.2: Esboço de lajes armadas em uma e duas direções.

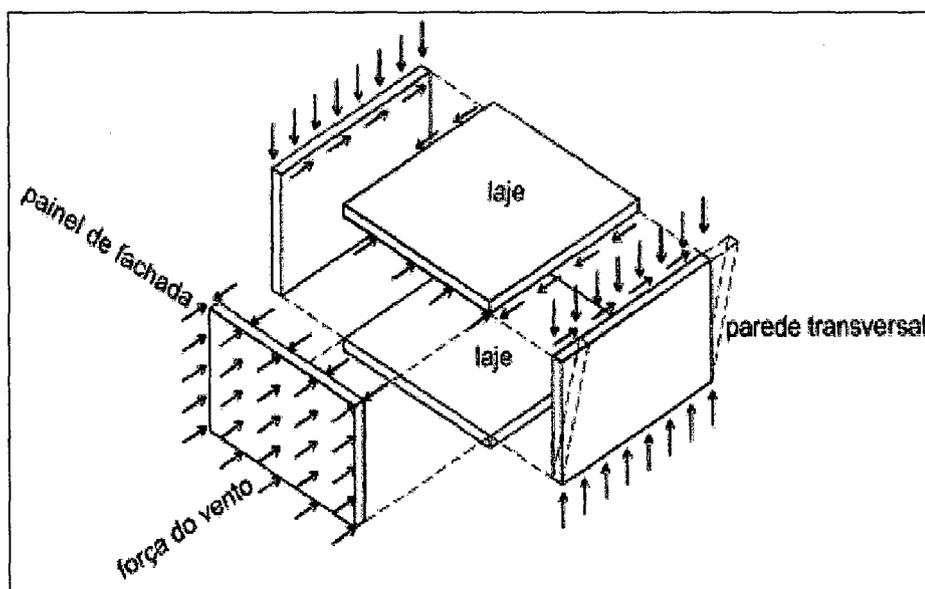


Figura 2.3: Deformações na laje proveniente da força do vento (SINHA, p. 2).

Os pavimentos em concreto moldado no local irão resistir melhor aos esforços nas duas direções, no caso da alvenaria estrutural, do que as lajes pré-moldadas, pelo fato destas últimas necessitarem em maior grau do uso de conexões para unir as partes e garantir o monolitismo da estrutura (HENDRY *et al.*, 1997).

Desta forma, as lajes são escolhidas após o lançamento das paredes estruturais e de acordo com as condições de carregamento e o vão a ser vencido.

Segundo a sua forma de construção, as lajes são divididas em moldadas no local e pré-moldadas. No primeiro grupo aparecem as lajes maciças, protendidas e nervuradas (com enchimento de bloco cerâmico, blocos de concreto, blocos de concreto celular ou mesmo de isopor – EPS, ou sem qualquer enchimento - utilizando para isto fôrmas apropriadas). Os tipos de lajes pré-moldadas sofrem alterações segundo o fabricante. Enquanto as lajes pré-moldadas podem ser as com vigotas de concreto armado (com blocos cerâmicos ou de concreto); pré-laje; laje protendida alveolar; pranchas de concreto pré-tensionadas; vigas com barras de aço ou cobertura de madeira; lajes autoclavadas (aerada ou com agregado leve); lajes treliçadas; painéis mistos.

A maioria dessas lajes pré-moldadas recebem acabamento de concreto na obra para assegurar que funcionem como diafragma rígido.

As lajes mistas podem ser moldadas inteiramente no local ou pré-moldadas. São chamadas assim porque recebem além do concreto armado outros materiais que lhes servem de enchimento - cerâmicos ou sílicos-calcáreos, que segundo a NBR 6119 (1980), são solidários com as nervuras e capazes de resistir aos esforços de compressão oriundos da flexão, sendo aplicáveis a pisos sujeitos a até 5 kN/m<sup>2</sup>.

As lajes pré-moldadas são produzidas nas obras ou em centrais. “Considera-se essas centrais uma das mais importantes fontes de transformação da organização do trabalho nas últimas décadas. As condições de trabalho nas centrais se assemelham as condições oferecidas pela indústria em geral, bastante superiores as condições dos canteiros de obra” (SCARDOELLI, 1995, p.108).

As lajes podem ser classificadas também segundo o cálculo estrutural, em lajes armadas nas duas direções, lajes armadas em uma direção, lajes em balanço e lajes nervuradas.

Uma outra classificação é em função da sua capacidade de resistência durante a sua execução. São denominadas resistentes, semi-resistentes e não resistentes. As resistentes são aquelas capazes de suportar por si só as cargas a que estão submetidas. As semi-resistentes necessitam de complementação de concreto, a fim de poderem resistir aos esforços de compressão existentes em sua superfície superior. Enquanto, as não resistentes necessitam do auxílio de materiais temporários, para a execução.

Para facilitar o bom desempenho das operações de execução de alvenarias e lajes, é conveniente que a espessura destas seja uniforme, num mesmo pavimento, e que se evite a execução de rebaixos nos trechos.

Com relação aos equipamentos para o transporte vertical das lajes, pode-se salientar que as pré-moldadas maciças, os painéis protendidos e as pré-lajes necessitam, para o seu transporte vertical e colocação, de guindaste fixo ou sobre rodas, dependendo da altura da obra. Já os outros tipos de lajes podem prescindir desse tipo de equipamento, pois todos os seus componentes podem ser transportados manualmente.

Também deve-se levar em consideração as dimensões das lajes que podem ser reduzidas com junta de dilatação. Esses cuidados estão relacionados com o clima de cada região, dependendo da maior ou menor ocorrência de variação térmica.

A classificação adotada é com relação a sua moldagem se moldadas no local ou pré-moldadas. Ambas recebem uma determinada quantidade de concreto em obra, quer seja para a concretagem total ou para o acabamento das lajes. Os acabamentos de piso das lajes moldadas no local, bem como dos capeamentos das pré-lajes e das lajes mistas, podem ser executados já prontos para receber o revestimento de piso, sem nenhuma regularização posterior durante a própria concretagem.

### 2.3.1. Materiais

Nos pisos das lajes mistas são usados materiais de enchimento (quadro 2.3), que funcionam como material inerte dentro da laje para reduzir o peso final da estrutura e os custos com material.

Quadro 2.3: Materiais de enchimento.

	EPS (isopor)	Bloco de concreto celular	Bloco cerâmico
Origem	- poliestireno expandido. - formado de polímeros comprimidos por gás que se expande quando aquecido.	- reação química entre a cal, cimento, areia e pó de alumínio, dando origem a um silicato de cálcio curado a vapor com alta pressão e temperatura.	- material cerâmico cozido até vitrificação na forma de tabelas ou blocos.
Fabricação	- industrializada.	- industrializada.	- industrializada ou artesanal.
Características	- é um material leve e com elevada trabalhabilidade, por facilidade de manuseio e corte. - os blocos podem ter recortes para encaixe. - reduz custo final da obra pela redução do concreto armado e do escoramento. - não propaga chamas.	- recortados com serrote. - resistência para o deslocamento de pessoas e carrinhos na laje quando da montagem. - reduz o número de fôrmas. - recebe diretamente o revestimento de teto.	- sua largura é o inter-eixo entre as nervuras. - as lajes mistas são formadas de painéis pré-moldados com bloco cerâmico. - as tabelas e os blocos são de cerâmica, concreto ou outro material (NBR 5762, 1982).
Uso	- em lajes nervuradas, com vigotas treliçadas uni ou bidirecionais e lajes mistas.	- em lajes nervuradas.	- enchimento para lajes nervuradas, com vigotas pré-moldadas e lajes mistas.
Normalizado	- NBR 11752 (1993)		NBR 5762 (1982).

As lajes mistas são divididas em nervuradas, treliçadas com vigotas e vigota pré-moldada de concreto armado.

O concreto, totalmente moldado no local, é o material que irá dar forma para a estrutura, para isto ele precisa estar confinado em uma fôrma até endurecer e assumir a forma geométrica para a qual foi moldado.

Os tipos de concreto na realidade resumem-se às formas que o concreto apresenta-se ao final de sua execução, sendo assim, ele é classificado em concreto armado, protendido e pré-moldado.

A função da protensão é esticar os cabos de aço para que comprimam o concreto, que evita o surgimento de fissuras por tensão de tração na peça estrutural quando submetida aos esforços solicitantes.

Segundo PEREIRA (1997, p. 3), “quando o material de enchimento apresenta também função estrutural a laje é denominada de laje mista”.

A fôrma é uma estrutura auxiliar, é uma instalação provisória que consome grandes recursos da atividade estrutura. Geralmente é a responsável por grande parte do desperdício da construção, pois quando mal feita causa imperfeições na estrutura. Deve ter dimensionamento minucioso de todas as suas peças, porque um sistema de fôrma mal calculado pode levar a estrutura como um todo a ruína, por não atender as exigências de resistência e estabilidade.

Esta resistência deve ser suficiente para suportar esforços provenientes do peso próprio, empuxo lateral do concreto, adensamento, trânsito de pessoas e equipamentos (FAJERSZTAJN e LANDI, 1992).

A fôrma deve ser estanque para evitar perda de água e finos durante a concretagem. Possibilita o posicionamento da armadura, furos ou outros elementos, para o lançamento e adensamento do concreto e para garantir a segurança dos trabalhadores.

Com relação ao acabamento, as fôrmas devem ter texturas conforme as exigências de cada projeto, especialmente nas estruturas de concreto aparente, observando-se sempre que a aderência da fôrma/concreto deve ser a menor possível para facilitar a desforma.

Há vários tipos de fôrmas. Pode-se dividi-las em dois grupos o de material - madeira, metálica ou outros (quadro 2.4) e o de modo de deslocamento entre pavimentos (quadro 2.5).

Quadro 2.4: Tipo de fôrma segundo os materiais.

Tipos	Material	Forma	Uso
Madeira comum ou plastificada	Compensado, derivado de madeira de reflorestamento.	Laminados de madeira associados, colados por pregos ou parafusos.	Edifícios civis.
Metálica	Chapas (para lajes) e escoras metálicas.	Torres tubulares, escoras e vigas metálicas, e treliças extensíveis.	Edifícios civis.
Fibra de vidro	Fibra de vidro	Em forma de domos.	Edifícios civis.
Novos materiais	Resina plástica, cartões, fôrmas cilíndricas, fibra de madeira, neoprene (fôrmas infláveis), gesso.	Fôrmas perdidas.	Edifícios civis.
Alumínio	Chapas de alumínio, chapas em <i>madeirit</i> plastificado.	Painéis mistos com chapas de <i>madeirit</i> plastificado e escoras metálicas	Edifícios civis.

Quadro 2.5: Tipo de fôrma segundo o modo de deslocamento entre pavimento.

Tipos	Material	Forma	Uso	Fabricantes
Deslizante	Chapas metálicas	Painéis na vertical.	Execução de paredes maciças e contínuas: caixa d'água e poços de elevador.	
Voadora	Chapas e escoras metálicas	Mesas voadoras, com escoramento e fôrmas montadas de uma só vez, transportando por grua.	Fôrmas para laje.	Mão-de-obra reduzida, não há desmontagem.

Um sistema de fôrmas “é constituído pelo molde, estrutura do molde, escoramento (cimbramento) e peças acessórias” (BARROS e MELHADO, 1993, p. 6).

Estas partes podem ser constituídas de peças em madeira, metálicas, de alumínio ou de forma mista, dependendo da necessidade e disponibilidade de recursos da obra.

As características gerais dos sistemas de fôrmas encontram-se no quadro 2.6.

Quadro 2.6: Características gerais dos sistemas de fôrma.

Sistema	Responsável	Investimento	Segurança	Qualidade da estrutura	Emprego
Convencional	Mestre-de-obra	Baixo, escassez de matéria prima	Empírica; obtida por meio de superdimensionamento	Imprevisível	Desaconselhável sob o ponto de vista técnico
Fôrma racionalizada	Engenheiro/arquiteto projetista e/ou firma especializada	Previsível desde a elaboração do orçamento	Conforme ABNT	A prevista no projeto arquitetônico /estrutural	Atende qualquer estrutura
Fôrma metálica	Firma especializada	Compra (alto investimento inicial); Locação	Normalmente pautada em normas internacionais	A prevista no projeto arquitetônico /estrutural	Necessidade de projeto estrutural com características específicas para o emprego deste sistema

Quadro 2.6: Características gerais dos sistemas de fôrma - continuação

Sistema	Responsável	Investimento	Segurança	Qualidade da estrutura	Emprego
Fôrma mista	Engenheiro/arquiteto projetista e/ou firma especializada	Compra (alto investimento inicial); Locação	Conforme ABNT	A prevista no projeto arquitetônico /estrutural	Atende qualquer estrutura
Fôrma híbrida	Engenheiro/arquiteto projetista e/ou firma especializada	Previsto quando da definição do projeto	Conforme ABNT	A prevista no projeto arquitetônico /estrutural	Projeto estrutural com características específicas

De acordo com CALIL JÚNIOR (1997), os sistemas de fôrmas existentes são: o Sistema Tradicional (ABCP) que foi criado em 1943 pela Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), em que estabeleceu-se procedimentos básicos para a aplicação de fôrmas de madeira serrada em construções de estruturas de concreto.

Depois deste sistema surgiram outros, citados em ordem cronológica:

- Toshio Ueno utilizou chapas de madeira compensada seguindo os critérios da ABCP, dividido em painéis de laje, viga (fundo e face) e pilar;
- Formapré surgiu em 1980 adaptado à obras com pouco espaço em canteiro trabalhando apenas com um jogo de fôrma, com peças confeccionadas fora do canteiro;
- Formapronta, utilizando mão-de-obra especializada e precisão na confecção das partes constituintes, cuja divisão é idêntica a dos demais sistemas;
- Prátika, este baseado no Toshio Ueno e Formapré, utilizando apenas um jogo de fôrma que é pré-fabricado com numeração própria;
- Gethal-Steidle, utilizando chapas de madeira compensada e escoramento metálico indicados em projeto estrutural.

Dentre os sistemas apresentados o Formapronta é o mais adotado para edificações. Esses sistemas consistem no aperfeiçoamento do uso das fôrmas e das escoras de madeira e metálicas.

O escoramento pode ser todo em madeira, metálico ou misto, de acordo com a especificação do projetista, que une a necessidade da estrutura ao custo do material.

Quando metálico requer cuidado com o manuseio, transporte e armazenamento, bem como desenho de cada peça a ser utilizada. Para isto, exige-se pessoal treinado para evitar que as peças sejam danificadas (BATISTA, 1998).

Utiliza para unir a estrutura de apoio com o tipo de laje adotada, seja esta estrutura reticulada ou em alvenaria estrutural. Geralmente está ligada com paredes

portantes ou com vigas isoladas. A reticulada desde a sua construção funciona como monolito. Há porém as estruturas de concreto armado com vigas e lajes pré-moldadas, neste caso as peças têm que ser ligadas por conexões.

Quando usadas para unir elementos pré-moldados entre si, o que fornece continuidade à estrutura de grandes segmentos, estes são presos por protensão, solda, dispositivos metálicos ou mesmo concretagem local.

Os tipos de conexões variam de acordo com a laje adotada e com a preferência individual do calculista ou fabricante.

Nas lajes pré-moldadas são usadas conexões com as paredes, como pode-se verificar na figura 2.4. O vínculo é obtido usando uma ferragem de cisalhamento entre a laje e a parede, fazendo curvaturas para cima e para baixo.

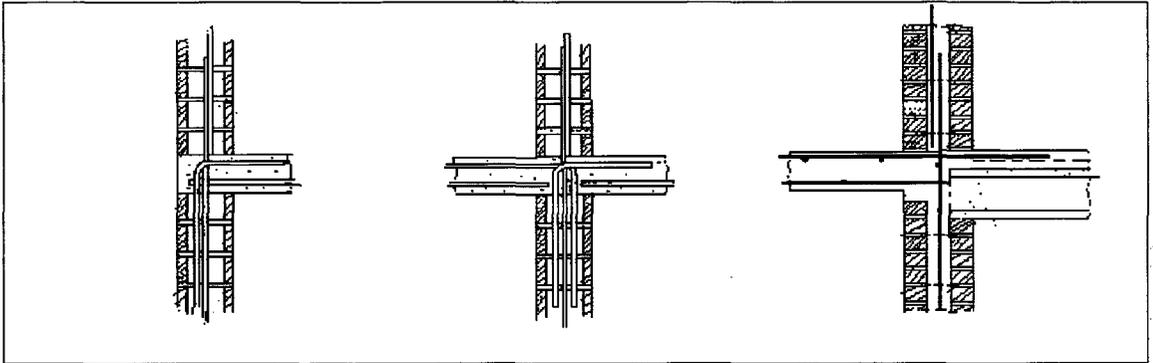


Figura 2.4: Laje pré-moldada, com paredes grauteadas e vinculadas por barras de aço (PARK, 1980, p. 497).

Para as pré-lajes (figuras 2.5 e 2.6) as conexões podem ser na forma de chapas soldadas dentro da laje e/ou graute unindo lajes ou estas com a parede.

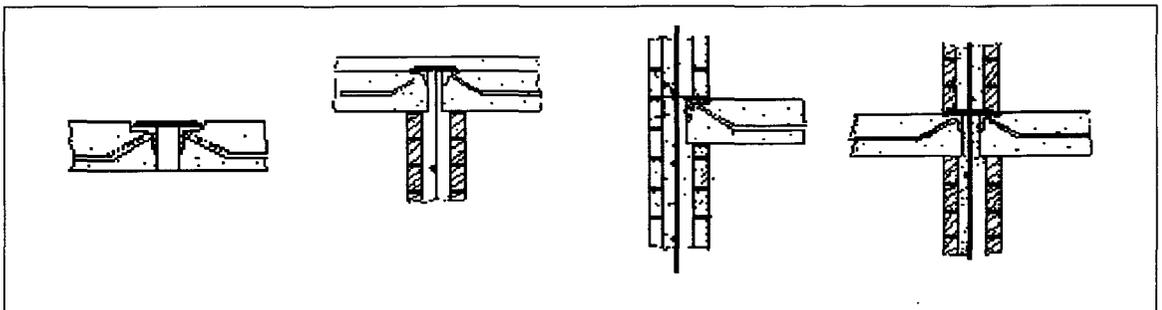


Figura 2.5: Pré-lajes ligadas por chapas soldadas (PARK, 1980, p. 498).

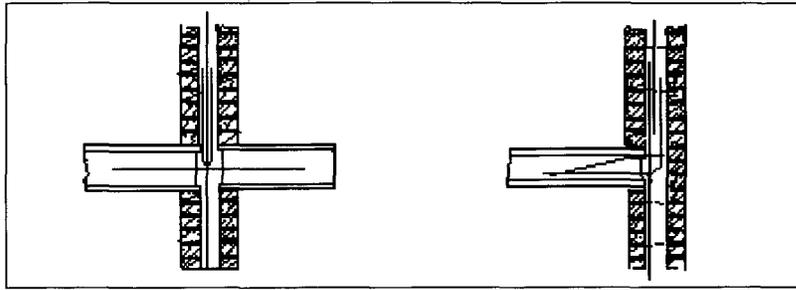


Figura 2.6: Pré-laje usando barras de aço como conectores (PARK, 1980, p. 499).

Os painéis protendidos recebem barras que são colocadas em cima deles, onde receberão concreto de capeamento para formar um diafragma (figura 2.7).

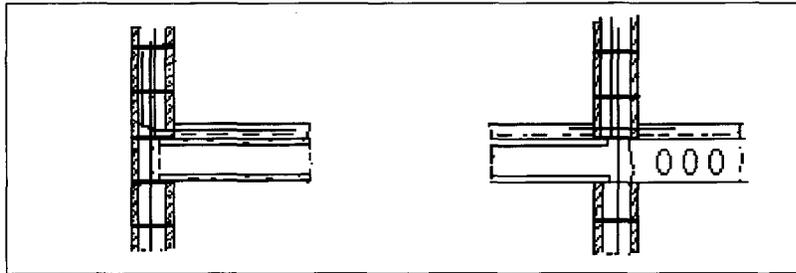


Figura 2.7: Painéis pré-tensionados vinculado por barras de aço (PARK, 1980, p. 497).

Os vínculos da laje com os outros elementos estruturais podem ser:

- de apoio simples, onde as lajes são apoiadas diretamente sobre vigas ou paredes;
- com engastes parciais dos bordos periféricos de uma laje de piso, onde, sobre eles, são levantadas paredes para execução do piso superior;
- engastes perfeitos admitidos, no caso das lajes pré-moldadas, pela sua continuidade, isto é, duas lajes contíguas no mesmo nível.

Quando a parede apoia-se diretamente sobre a laje é necessário colocar vigotas extras (lado a lado) ou executar uma viga com a mesma espessura da laje (viga chata), sendo as vigotas dimensionadas para absorver estes esforços não deformando com a introdução de armadura auxiliar de compressão no capeamento.

Pode-se ter também a parede perpendicular às vigotas. Neste caso a carga da parede fica distribuída sobre a laje. Leva-se em consideração no dimensionamento das vigotas a carga adicional, com a deformação compatível ao normalizado.

A escolha do tipo de conexão a utilizar depende dos seguintes fatores: “do material a unir e da função estrutural - transferência de cisalhamento, desenvolvimento de momento, combinação de ambas” (SCHNEIDER e DICKEY, 1994, p. 495).

### 2.3.2. Normas existentes para as lajes

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) têm normas relacionadas à laje e ao concreto, seu principal material constituinte.

A NBR 6118 (1982) trata do concreto em si. Diz respeito as obras de concreto armado, como proceder no seu projeto, execução e controle. Não trata das obras em concreto leve e especial. No caso do concreto protendido usado em lajes protendidas a norma específica é a NBR 7197 (1982).

Como há vários tipos de lajes existem conseqüentemente normas específicas que atendem determinados tipos. Existem ainda aquelas cujo projeto, execução e controle ainda não foram normalizados pela ABNT. Dentre as lajes que apresentam normas próprias pode-se citar a laje maciça, as mistas com nervuras – NBR 6119 (1980) e a laje pré-moldada - NBR 9062 (1985). Esta última se refere especificamente às estruturas pré-moldadas de concreto armado ou protendido. Logo, os vários tipos de lajes pré-moldadas sofrem adaptações pois não possuem normalização própria.

Ainda pode-se ressaltar a NBR 12655 (1992), que trata do preparo, controle e recebimento de concreto para que a execução das peças tenham qualidade.

Outras normas, referentes ao processo executivo, podem ser verificadas de acordo com a necessidade, como por exemplo as referentes as barras de aço utilizadas ou telas eletrosoldadas, de resistência dos materiais ao fogo, de agregados, cimentos entre outros materiais constituintes do produto estrutura de concreto.

Neste caso, segundo DI PIETRO (1995), o uso efetua-se por verificação experimental. Este autor faz uma proposta de normalização em que as vigotas e blocos utilizados tenham dimensões padronizadas, incluindo a espessura mínima que seria de 4 cm para o capeamento de concreto moldado no local, absorvendo assim esforços de compressão devido a flexão.

Esta proposta de norma sugere o uso de “armadura complementar de distribuição de tensões e travamento das vigotas na direção perpendicular às nervuras, posicionada na mesa de compressão, sobre as vigotas, com área da seção transversal igual ou superior a  $0,6 \text{ cm}^2$  por metro de laje e ser composta de pelo menos três barras (item 4.1.3.2 da NB 4/80)” (DI PIETRO, 1995, p.478).

## **CAPÍTULO 3 - METODOLOGIA**

### **3.1. PESQUISA DE CAMPO**

#### **3.1.1. Introdução**

Após o levantamento bibliográfico relativo a construtibilidade procedeu-se a implantação da pesquisa de campo, verificando o método construtivo para as tipologias de lajes aplicadas em edificações em Florianópolis/SC.

As tipologias podem ser verificadas nos registros fotográficos apresentados no anexo 01.

Foram aplicados questionários e realizadas entrevistas semi estruturadas com o corpo técnico envolvido na produção dos pisos de edificações (Anexo 02 e 03). Em tais entrevistas buscou-se determinar se os tipos de lajes permitem a construtibilidade.

Aplicou-se questionários (Anexo 03 e 04) para os projetistas de estrutura, fornecedores (de pré-moldado e protensão) e entrevistou-se os engenheiros de campo e mestres-de-obra em busca do envolvimento destes no processo e o porquê de se utilizar um determinado processo construtivo. No anexo 04 o questionário aplicado serviu de base para realizar entrevista não estruturada com os projetistas de estruturas.

As questões foram divididas nos grupos projeto de laje, escritórios de cálculo, gerência da obra e observações feitas em obra.

Para isto, foram realizadas visitas preliminares à obra e contou-se com informações de memorial de acompanhamento de execução de uma laje maciça em Aracaju/Sergipe.

Pesquisou-se as tipologias de laje: maciça, nervurada, protendida moldada no local, vigotas pré-moldadas, vigotas treliçadas, painel treliçado e pré-laje, esta última verificada somente nas visitas preliminares.

Na pesquisa de campo, buscou-se também identificar as conexões utilizadas nos elementos estruturais.

O acompanhamento do processo executivo permitiu auxiliar na descrição de cada etapa construtiva, possibilitando a segmentação das operações da laje em diversas atividades necessárias a conclusão do ciclo. As atividades foram agrupadas por

precedência, cujo nível de produção foi um pavimento de piso em uma visão micro da laje.

A pesquisa foi realizada acompanhando a montagem de cada tipo de laje pesquisada. Para algumas tipologias foram observadas duas obras e para outros apenas uma, sendo uma laje observada por edificação.

Observou-se a execução de cada etapa construtiva, com a verificação dos materiais utilizados, tempos gastos, observação dos projetos, equipes utilizadas e contratempos que ocorreram devido a atrasos de entrega de materiais ou má interpretação das plantas.

Nas pesquisas de campo, realizou-se entrevistas com operários, técnicos e fabricantes - para os elementos pré-moldados - buscou-se esclarecer dados de projetos e de construção, obtendo assim informações a respeito do processo construtivo, que não foram esclarecidas durante a etapa de acompanhamento da produção.

Os conceitos de construtibilidade foram introduzidos nas entrevistas de forma clara e de fácil compreensão.

Preencheu-se planilhas com o acompanhamento do processo (Anexo 05) onde registrou-se dados referentes aos tempos gastos, operários utilizados, e respectivas áreas.

As questões direcionadas à construtibilidade buscaram identificar se os entrevistados tinham o conhecimento de tarefas que poderiam ser melhoradas a partir da maior integração entre os projetistas e os executores e se estes trocavam informações a respeito do objeto a construir.

Verificou-se ainda os projetos, materiais, técnicas, equipamentos e produtos utilizados nas diversas etapas dos tipos de lajes pesquisadas. Tais constatações podem ser acessadas nos anexos 02 e 06.

Observou-se a aplicação dos conceitos de construtibilidade para as tipologias de laje na simplificação das partes, seqüência construtiva, uso de novas ferramentas, assimilação dos conceitos pelo pessoal envolvido, acessibilidade aos projetos e locais de trabalho.

Em todas as lajes verificou-se se as atividades de produção favoreciam ou dificultavam a construtibilidade do produto.

### **3.1.2. Visitas iniciais às obras**

Realizaram-se durante a etapa de concretagem. Serviram para a realização de contatos e obtenção de informações a respeito da tipologia de lajes em execução existentes em Florianópolis e no caso das lajes pré-moldadas, onde eram produzidos os seus elementos estruturais.

Realizou-se visitas iniciais na etapa de concretagem, pois esta permite a visão geral do tipo de laje adotado, dos materiais constituintes, equipamentos e mão-de-obra utilizados.

A etapa serviu também para que fossem feitas entrevistas informais com os engenheiros, com o objetivo de detectar o método de construção utilizado pelas empresas na execução das lajes e de acompanhar todas as tipologias em implantação na cidade.

As visitas foram subdivididas segundo o tipo de estrutura adotada na construção, que podia ser em alvenaria estrutural e em estrutura convencional.

Nestas visitas observou-se a pré-laje realizada em Aracaju. Em Florianópolis verificou-se laje nervurada em estrutura com vigas e pilares, com vigas deitadas incorporadas à laje, ambas com blocos cerâmico como material inerte; laje com vigota pré-moldada e tavela cerâmica e laje maciça.

### **3.1.3. Procedimentos adotados**

#### **3.1.3.1. Análise dos projetos**

Mediante informações obtidas nas visitas preliminares às obras e nos requisitos de simplificação do projeto, para que a construtibilidade seja permitida, procurou-se avaliar os projetos necessários à execução dos tipos de lajes pesquisadas.

Foram verificados os projetos arquitetônico, estrutural, de instalações elétrica, hidro-sanitária, de detalhamentos, colocação de peças pré-moldadas, cortes e posicionamento das armaduras.

Nestes foram observados os seguintes aspectos:

- existência do projeto de laje;
- nível de detalhamento, principalmente no que se refere à vinculação entre as peças;
- soluções de fôrmas, hidráulicas e elétricas, de *shafts* e rebaixos;

- soluções de armadura utilizada, se em barras de aço ou tela eletrosoldada;
- existência de interferência entre estes projetos;
- simplificação na combinação dos elementos;
- adaptação do projeto a qualquer técnica de construção;
- clareza de informação (comunicação do projeto).

Quanto aos procedimentos de obra observou-se:

- compatibilidade entre projeto e execução;
- número de operários envolvidos;
- tempo de produção das atividades;
- produtividade das equipes nas atividades;
- materiais, equipamentos e máquinas necessários à realização das atividades;
- colocação dos vínculos entre os elementos estruturais, sejam eles por meio de armadura negativa ou positiva, ou ainda de distribuição, por trespasse entre as partes, observando se seguem o especificado em projeto e se são colocados reforços;
- acesso livre aos projetos;
- padronização dos elementos;
- flexibilidade dos produtos quanto a capacidade de ajuste em campo;
- uso de técnica que permita alteração na seqüência de construção, pré-fabricação;
- desenvolvimento de novas ferramentas para obter a qualidade e elevar a produtividade do processo;
- soluções para obtenção de aderência entre as camadas de concreto, para as lajes pré-moldadas;
- cuidados observados com material de enchimento, para que este não seja deslocado ou danificado durante a movimentação da mão-de-obra, o que levará ao estrangulamento das nervuras;
- adensamento do concreto em pontos críticos que podem ser locais rasos ou em nervuras de grande profundidade.

Neste item foram verificados como são feitos os detalhamentos dos projetos para facilitar a produção.

Foi observada a existência ou não dos seguintes projetos de detalhamento:

- projeto de interface entre a laje e a viga (ou parede);
- de montagem dos elementos pré-moldados;
- detalhe do elemento de ligação entre as lajes;

- detalhamento da posição das instalações que irão furar a laje para que estas não coincidam com as peças pré-moldadas;
- detalhamento dos pontos de protensão;
- detalhamento das áreas de concentração de descidas em lajes pré-moldadas;
- detalhamento da localização do escoramento e do procedimento de desmontagem do mesmo.

Além destes tipos de detalhamentos procedeu-se à observação de outros que possam estar presentes nas obras, devido à necessidades particulares.

As entrevistas com os projetistas estruturais serviram para o esclarecimento de detalhes e incompatibilidades entre projetos e porque estas soluções não foram tomadas nas fases de elaboração inicial.

Optou-se pelos calculistas e não pelos arquitetos porque os demais projetos são concebidos a partir da planta de fôrma. Também porque nas obras em alvenaria estrutural o projeto estrutural e arquitetônico estão unidos para segurança da edificação, sendo de responsabilidade do primeiro.

Então como forma de padronizar a pesquisa verificou-se o projeto estrutural e sua interação com os outros projetos.

### **3.1.3.2. Visitas definitivas as obras**

Iniciou-se a análise dos procedimentos quando a superfície de apoio estava pronta. Entende-se por pronta a elevação das paredes, para alvenaria estrutural, ou das vigas (fôrmas) e pilares para a estrutura convencional.

As vigas tiveram seu acompanhamento durante a produção da estrutura, por ser concomitante a montagem das lajes, embora não entrem na análise final.

A laje protendida foi observada em uma empresa que estava utilizando-a pela primeira vez, necessitando portanto de inspeção técnica da empresa aplicadora da protensão.

A pesquisa foi aplicada com o acompanhamento da produção de cada tipologia abordada, fazendo-se as verificações propostas.

### 3.1.3.3. Medições

Para o acompanhamento da montagem dos tipos de lajes, o processo construtivo foi separado em etapas. Iniciando-se com o projeto e as escolhas a serem feitas para se determinar o tipo de laje adotado.

Procurou-se englobar todas divisões do processo de colocação da laje até o seu acabamento final<sup>1</sup>, considerando que a estrutura de sustentação estivesse pronta, seja ela viga ou parede estrutural.

O processo construtivo das lajes seguiu as especificações abaixo:

1. tipos de projetos utilizados com seus respectivos detalhamentos;
2. tipo de estrutura adotada;
3. tipo de laje utilizada para atender a esta estrutura;
4. o piso vem semi-pronto ou é totalmente executado na obra? Se é semi-pronto descrever sua execução na fábrica ou central (fôrmas utilizadas, montagem, armazenagem);
5. quais os materiais utilizados e micro etapas necessários a execução da laje;
6. como se dá o transporte de material até o pavimento;
7. tipo de mão-de-obra necessária;
8. forro e escoramentos utilizados;
9. recebimento do sistema de fôrmas e materiais – controle;
10. armazenagem e transporte dos forros;
11. montagem do escoramento – com a superfície de apoio já concluída (pilares, vigas e paredes);
12. montagem da laje;
13. detalhe da interface da laje com a superfície de apoio – *shafts*, desníveis;
14. prosseguimento da montagem – colocação dos painéis prontos, ou preparação para a concretagem (limpeza, colocação da armação e dos eletrodutos e limpeza final);
15. controle geométrico;
16. nivelamento geométrico;
17. concretagem local ou final da peça – qual o tipo adotado, material auxiliar, equipe, acompanhamento do ciclo de atividades para a conclusão desta operação, colocação de peças para receber paredes e pilares, cura do concreto;

---

<sup>1</sup> Acabamento final é a peça desformada pronta para receber o reboco e a pintura.

18. peça pronta, devidamente concretada e curada;
19. desforma da laje;
20. acabamento final da peça;
21. características (vantagens e desvantagens);
22. dados técnicos;
23. conexões.

As atividades seguem o fluxograma apresentado na figura 3.1. Este gerou as etapas construtivas divididas em redes operacionais (figuras 3.2 e 3.3), em que as atividades com retângulos em negrito correspondem às existentes somente para o tipo citado (quadro 3.1). Os grupos apresentados neste quadro são as fases do processo de fabricação ou operações (conjunto de atividades). Neste apresenta-se ainda a legenda adotada para a composição do fluxograma das lajes.

Quadro 3.1: Grupos de atividades para as lajes.

Operações	Cor	Atividades
Preparação da pré-laje		Colocação da fôrma metálica, aplicação de desmoldante, montagem da armadura positiva, colocação dos espaçadores, superfície rugosa, sulcos para a passagem dos eletrodutos, cura e armazenagem
Montagem da fôrma		Transporte do escoramento, transporte da fôrma, montagem do escoramento, montagem da fôrma, ajuste das medidas, nivelamentos, desmoldagem
Montagem da laje		Colocação da armadura principal, amarração da armadura principal, colocação do material inerte, colocação dos eletrodutos, descidas hidráulicas, colocação da armadura auxiliar
Preparação para a concretagem		Verificação dos materiais, colocação dos espaçadores, colocação das mestras, verificação do nível
Concretagem		Lançamento, adensamento e espalhamento do concreto
Regularização das superfícies		Sarrafeamento do concreto, rebaixos, retirada das mestras
Serviços finais		Espera dos pilares, cura do concreto, limpeza da fôrma
Protensão		Preparação para a protensão, protensão, corte dos cabos, injeção de nata de cimento

Estas redes são utilizáveis no controle de qualidade ou do processo aliado a filosofias de gerenciamento. Por meio dos atributos que devem ser controlados e pela desagregação dos serviços (SANTANA e OLIVEIRA, 1993).

CONTADOR (1997) sugere a decomposição das atividades do processo, sejam estes em quantos níveis forem necessários para representar as operações elementares.

Para o cálculo do tempo de execução de cada atividade foram observados os tempos gastos pelo operário (ou grupo de operários) dentro de sua jornada de trabalho. Duas empresas trabalharam horas extras inclusive nos finais de semana.

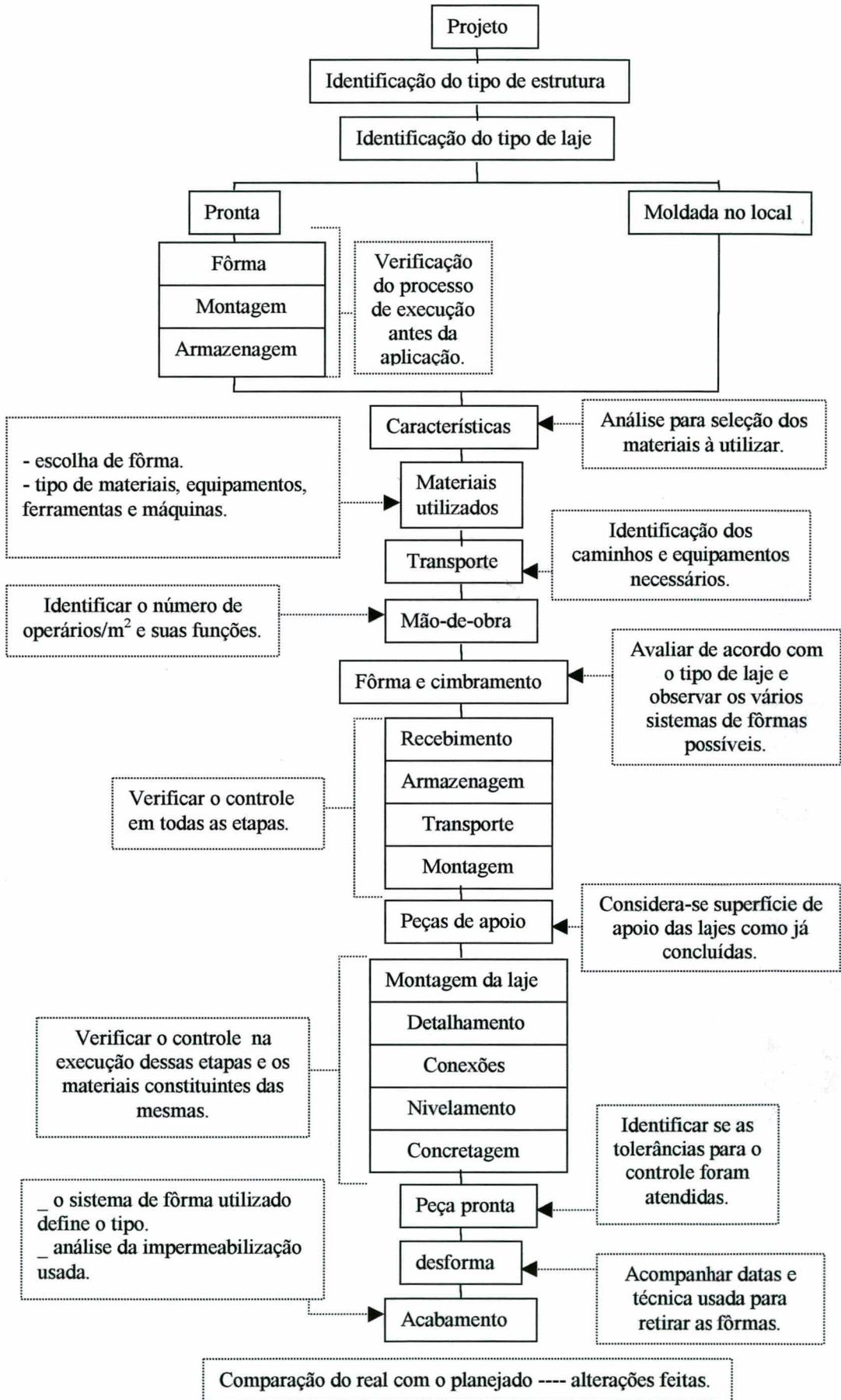


Figura 3.1: Fluxograma da metodologia aplicada.

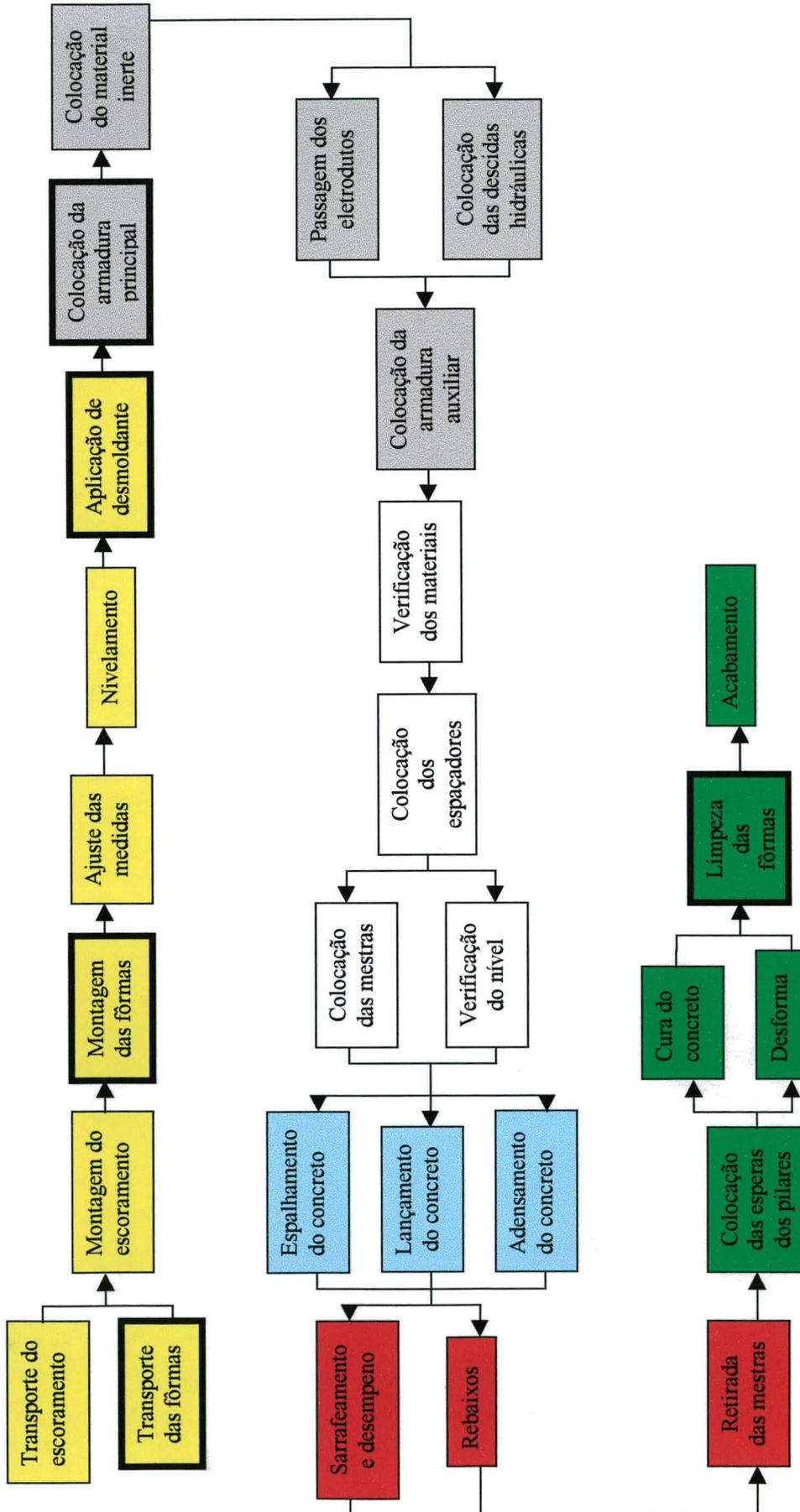


Figura 3.2: Fluxograma das atividades paralelas e sequenciais para a montagem das lajes moldadas no local.

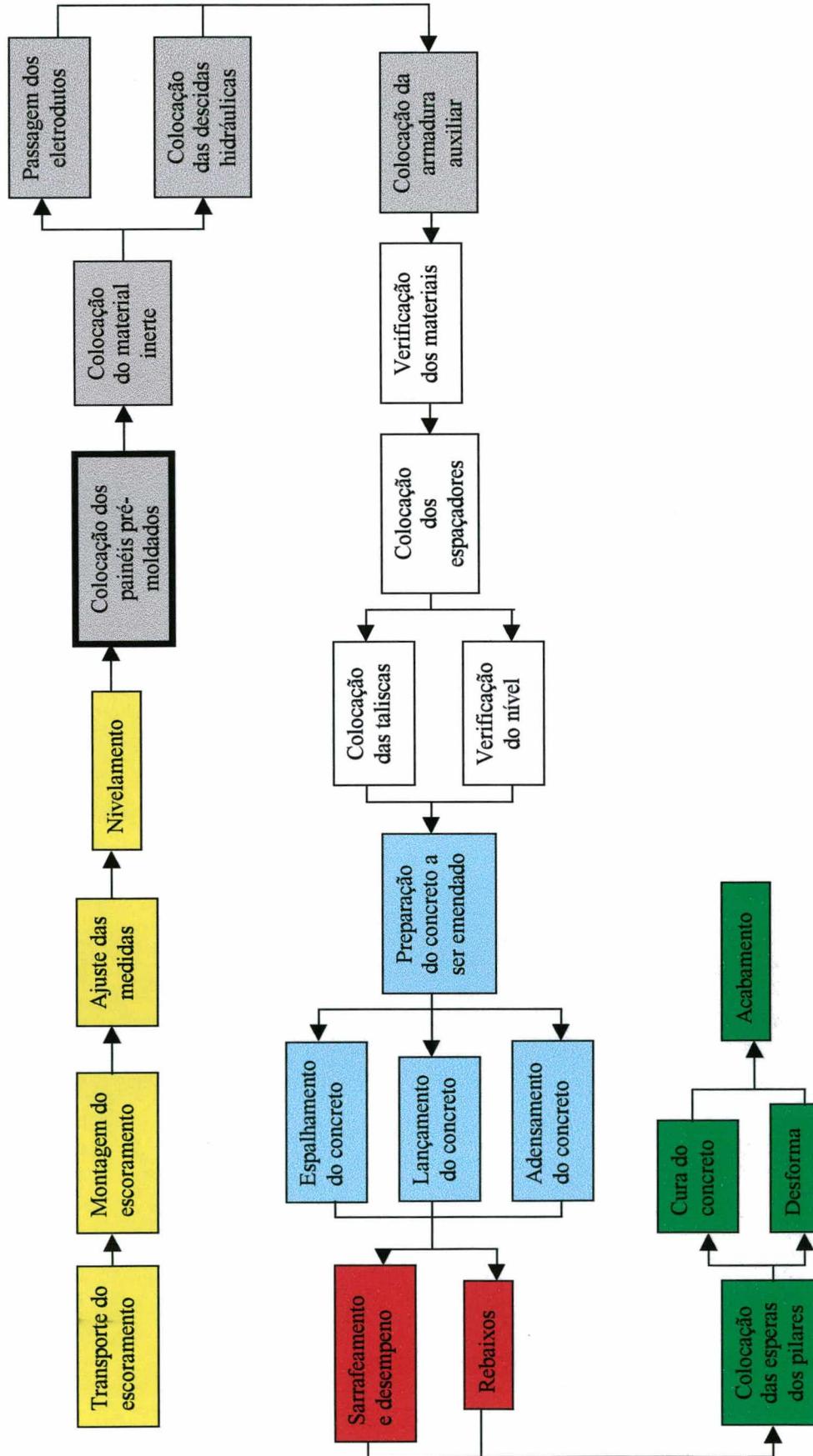


Figura 3.3: Fluxograma das atividades paralelas e sequenciais para a montagem das lajes pré-moldadas.

Durante o acompanhamento do processo construtivo verificou-se o tempo de montagem, as quantidades de mão-de-obra utilizada para a realização da tarefa e o acesso desta à projetos e a interpretação do mesmo.

A produtividade foi calculada utilizando a seguinte expressão  $H h/m^2$

Onde:  $H$  corresponde ao operário ou a equipe;

$h$  são as horas consumidas para a realização da atividade;

$m^2$  é a superfície em que a atividade foi executada.

### 3.2. FATORES CONDICIONANTES DA PESQUISA

Se as obras utilizassem equipamentos de movimentação horizontal e vertical, como a grua, para os seus deslocamentos poderiam ser utilizadas lajes protendidas pré-moldadas e pré-lajes, pois estas são compostas de painéis de grandes dimensões que necessitam de espaço para a sua movimentação. Como em Florianópolis não adota-se tal equipamento estas lajes não foram pesquisadas.

Outros tipos de pisos têm seu uso relacionados a necessidade de vãos maiores, como a laje nervurada por exemplo, que é geralmente utilizada para edifícios residenciais de grande porte, onde a mobilidade das paredes internas é requerida. Um outro exemplo, são as lajes com vigota pré-moldadas que formam grande parte dos prédios de porte médio, por cobrir áreas menores adequadas a este tipo de material.

O tipo de prédio pode ser fator condicionante da tipologia da laje, assim prédios grandes e que necessitem de superfícies planas trabalham melhor, com lajes nervuradas ou protendidas, o que reduz a quantidade de material consumido se comparada com a laje maciça e possibilita a mudança na localização das paredes internas.

## CAPÍTULO 4 - DESCRIÇÃO DOS RESULTADOS

### 4.1. GENERALIDADES

Durante o trabalho de campo foram visitadas 10 construções que utilizavam seis tipos diferentes de lajes. A coleta de dados foi realizada de junho a dezembro de 1999. As empresas já aplicavam estes tipos de lajes, com exceção da laje protendida moldada no local. A tabela 4.1 mostra as informações gerais sobre os tipos de lajes pesquisadas.

Tabela 4.1: Características das lajes observadas.

Estrutura	Tipo de laje	Obra	Área do pavimento tipo(m <sup>2</sup> )	Espessura (cm)		Número de operários na laje	f <sub>ck</sub> (MPa)	Concreto por laje (m <sup>3</sup> )
				Total da laje	Concreto			
Alvenaria estrutural	Maciça	1	331,40	15	15	24	25	54,0
		2	300,00	10	10	12	18	28,0
Reticulada	Protendida	1	1027,18	19	19	15	30	195,5
Reticulada	Vigota pré-moldada	1	215,26	10	04	07	15	29,0
		2	467,28	12	04	18	18	33,0
Alvenaria estrutural	Vigota treliçada	1	123,28	30	04	08	20	22,5
Reticulada		2	375,00	16	06	06	21	23,0
Alvenaria estrutural	Painel treliçado	1	250,52	08	05	09	20	21,5
Reticulada	Nervurada	1	436,06	28	04	08	25	24,0
		2	707,70	24	04	14	21	36,0

Para cada laje pesquisada haviam duas executadas na obra (tabela 4.2).

Tabela 4.2: Localização das lajes.

Tipo de laje	Obra	Número de pavimentos	Ordem da laje executada na obra
Maciça	1	03	Segundo piso, com dois blocos já concluídos.
	2	10	Quinta laje.
Protendida	1	03	Último piso.
Vigota pré-moldada	1	12	Décima primeiro laje.
	2	10	Conclusão da sétima laje, dividida em duas partes.
Vigota treliçada	1	02	Segunda laje de três.
	2	02	Idem, o prédio tem subsolo.
Painel treliçado	1	02	Quarta laje, ou seja, a segunda do bloco três.
Nervurada	1	12	Quinta laje do primeiro bloco.
	2	14	Última laje da segunda torre.

Foram observados os projetos arquitetônicos, estruturais, de instalações, cortes e de detalhamentos. Também foram observadas as conexões utilizadas para vincular os elementos estruturais. Verificou-se o acompanhamento do cronograma executivo dos



Quadro 4.1: Respostas dos questionários – continuação.

Questionário	Questões	M		N		P		VP		VT		PT
		1	2	1	2	1	1	2	1	2	1	
Gerência de obra	1. A laje foi escolhida pelo calculista Foi escolhida pela empresa											
	2. Esta laje já foi utilizada antes pela empresa											
	3. A empresa não participou da elaboração do projeto Elaborou os projetos complementares											
	4. A laje ofereceu isolamento acústico para o teto											
	8. A laje tinha projeto de detalhamento											
	3. Ela funcionou como diafragma											
	6. A obra acompanhou a tecnologia utilizada											
	7. A laje acompanhou a velocidade da estrutura											
	10. Foi usado nível de mangueira apenas											
	11. Teve transparência do processo											
	13. A comunicação foi do tipo falada											
	17. Teve planejamento do <i>layout</i> do canteiro											
	25. O projeto estrutural foi esclarecedor											
	26. O projeto estava ao alcance de todos											
33. A laje pré-moldada teve produção industrializada	--	--	--	--	--							

Legenda:

M – laje maciça      P – protendida moldada no local      VT – vigota treliçada  
 N – nervurada      VP – vigota pré-moldada      PT – painel treliçado

O símbolo “—” significa que a questão não se aplica ao tipo de laje observado.

Nas visitas aos escritórios de cálculo verificou-se que estes estão envolvidos apenas com a parte estrutural do produto, o que delimitou o foco de pesquisa, acarretando em respostas sobre construtibilidade consideradas limitadas (ou não confiáveis) pela pesquisadora.

Os itens com “--” indicam a não existência da função para a laje pesquisada.

#### 4.2. OBSERVAÇÕES COLHIDAS EM OBRA

Abaixo no quadro 4.2 apresentam-se os materiais usados na produção das lajes.

Quadro 4.2: Produtos auxiliares com aplicação específica na laje.

Produtos	Observações
Fita adesiva	Observada apenas na laje maciça para alvenaria estrutural
Espaçador plástico	Presente em todas as lajes moldadas no local
Mestra de madeira	Usada nas lajes maciças e protendidas
Mestras metálicas e tripé plástico	Utilizadas na laje maciça para alvenaria estrutural
Serra elétrica e furadeira	Usada nas lajes nervuradas 1 e 2, treliçada 2 e maciça 1
Macaco hidráulico para pré-compressão	Laje protendida
Escoras metálicas	Aplicada em todas as lajes com exceção das lajes treliçadas
Escoras de madeira	Utilizadas nas lajes treliçadas e em conjunto com as metálicas em uma laje maciça
Elevador de obra	Não foi utilizada nas obras de 2 pavimentos

#### 4.2.1. Laje maciça

Os *layout* dos canteiros de obra pesquisados encontram-se na figura 4.1, estes mostram a localização das lajes pesquisadas com relação ao terreno da obra.

No caso de figura hachurada, esta serve para destacar a edificação da laje observada das demais localizadas no mesmo canteiro.

A obra da laje maciça 1 teve cinco blocos. Foi acompanhada a montagem da metade da laje do 1º pavimento tipo do bloco intermediário, entre os blocos A e B.

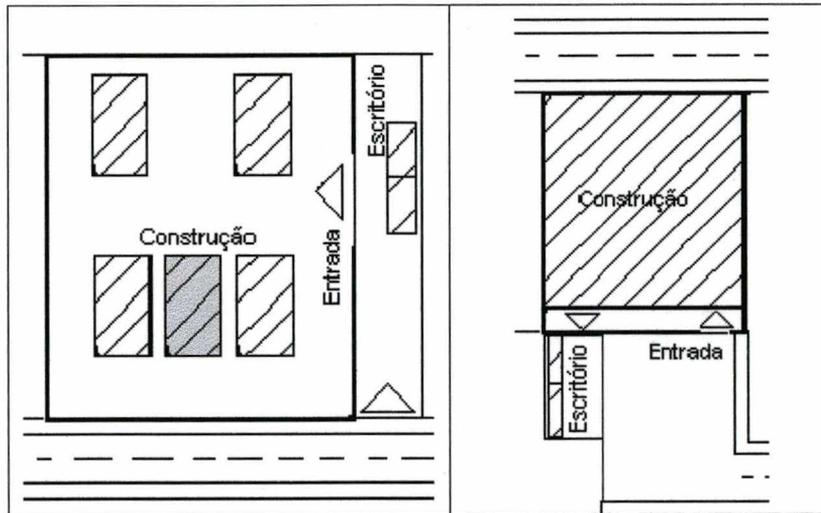


Figura 4.1: *Layout* do canteiro de obra das lajes maciça 1 e 2 respectivamente.

A laje foi armada nas duas direções com espessura de 15 cm. A obra ficava abaixo do nível do mar, possuindo bomba para a retirada da água, que trabalhava sob pressão negativa. Possuía também central de carpintaria e de armação para preparar as peças a serem aplicadas na obra.

Foram 3 pavimentos em alvenaria estrutural com 8 apartamentos cada e mais três pavimentos de área comum em estrutura tradicional.

Pelo fato da jornada de trabalho ser com horas extras foram instalados suportes elétricos para auxiliar o trabalho noturno.

A laje maciça 2, foi em prédio construído em alvenaria estrutural não armada grauteada nos cantos e em locais chaves como próximo ao poço de elevador e escada. Foi utilizado bloco tipo canaleta (“J”) na última fiada, onde foi colocada ferragem para promover a amarração entre a laje e a estrutura. Os pisos tinham 8 cm de espessura, com exceção da laje da varanda que tinham 10 cm, com desnível de 8cm.

A visita iniciou-se quando estavam colocando as fôrmas das lajes. O prédio tinha 10 pavimentos com 2 apartamentos por pavimento mais um subsolo. Depois de

concretada, o topógrafo marcava o eixo das paredes com o gabarito de madeira, fixo por meio de pregos. Neste gabarito foram marcadas as medidas de eixo, conferidas as distâncias com trena de plástico e, a partir disto, o pedreiro assentava a primeira fiada de todas as paredes, no dia seguinte à concretagem.

Ainda no decorrer da pesquisa estava sendo executada a terceira laje. A obra apresentava como aberturas o vão da escada, ventilação próxima a este vão e dois poços de elevador, que davam maior rigidez ao conjunto. Apresentava também vigas invertidas. O canteiro era pequeno, com os materiais armazenados na garagem.

### Seqüência de atividades

O quadro 4.3 apresenta o fluxograma da metodologia aplicada, mostrando a seqüência em que as atividades foram desenvolvidas.

Quadro 4.3: Seqüência de atividades da laje maciça.

Atividades	Laje maciça
Tipo de estrutura	Alvenaria estrutural.
Transporte	Os materiais foram transportados de forma manual por rampas quando concretava-se o segundo pavimento (laje maciça 1), ou por elevador de material para a laje maciça 2.
Fôrma e cimbramento	Fôrma plastificada, cimbramento em madeira e escoramento metálico. A montagem iniciou-se fixando longarinas 12cm abaixo da medida para colocar a fôrma (figura 4.2). Então colocava-se os barrotes e as fôrmas presas a estes por meio de pregos. Em seguida passou-se fita adesiva entre os painéis e entre estes e as canaletas ou vigas para evitar que o concreto escape.
Nivelamento	Depois de montado o forro da laje, foi feito o nivelamento estendendo linhas na laje e verificando a altura com o nível de mangueira
Limpeza e aplicação de desmoldante	Para a montagem dos demais elementos constituintes da laje realizou-se a limpeza do assoalho e foi passado o desmoldante.
Pontos elétricos	As caixas (plásticas) foram colocadas após sua demarcação com giz.
Armadura principal	Depois de colocadas a ferragem das vigas (ou das canaletas) começou-se a montar as da laje com a marcação com giz no assoalho.
Passagem dos eletrodutos	As descidas elétricas foram feitas com furos na fôrma da viga por meio de trado manual ou furadeira elétrica. Os eletrodutos foram rígidos, com as descidas feitas por curvas e as subidas com material flexíveis e fechados por plástico.
Descidas hidráulicas	Eram em madeira, tampadas e colocados na fôrma.
Colocação da armadura auxiliar e negativa	Nos pontos que não necessitavam de armadura negativa foram colocadas barras de distribuição para garantir a transferência das cargas entre as peças.
Espaçadores	De forma plástica ou de argamassa.
Verificação dos materiais	Conferidos os eletrodutos fechava-se a caixa elétrica com serragem molhada.
Mestras	De madeira ou metálicas (apoiadas sobre tripés plásticos).
Verificação do nivelamento	Conferia-se a altura das mestras.
Preparação para a concretagem	Para a limpeza antes da concretagem passava-se imã pela fôrma para a retirada de pregos e arames soltos, molhando em seguida com mangueira.

Quadro 4.3: Seqüência de atividades da laje maciça – continuação.

Atividades	Laje maciça
Lançamento do concreto	Com bomba projetada.
Adensamento	Vibrador de imersão para expulsar as bolhas de ar do concreto.
Espalhamento	Pás, enxadas, e rodos de madeira para o espalhamento do concreto
Sarrafeamento	Réguas em madeira para sarrafear o concreto.
	Despenhadeiras de madeira para dar acabamento mais uniforme.
Retirada das mestras	Após a concretagem foram retiradas as mestras.
Cura	Iniciada no dia após a concretagem com a molhagem da laje.
Desforma	Retiradas as fôrmas da laje no dia após a concretagem.
Acabamento	Após a desforma a laje está pronta para receber o acabamento.

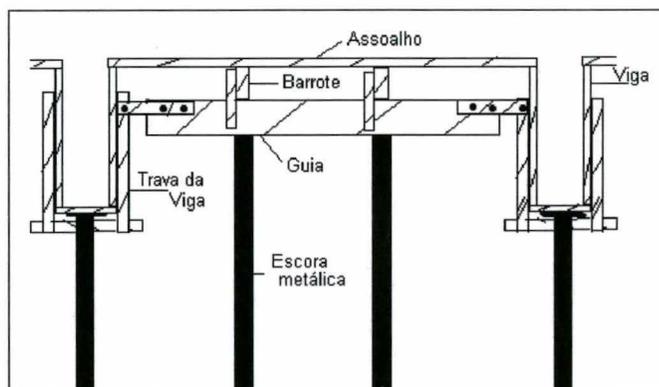


Figura 4.2: Escoramento com fôrma em madeira e escoras metálicas.

Os aspectos positivos e negativos das lajes maciças pesquisadas encontram-se descritos no quadro 4.4 a seguir.

Quadro 4.4: Aspectos positivos e negativos na laje maciça.

POSITIVOS
Quando usa faixa de reescoramento permite utilizar o jogo de fôrmas rapidamente, ficando as faixas no centro do escoramento do vão.
É o tipo de laje que mais garante a rigidez estrutural.
NEGATIVOS
Taxa de armadura elevada (16% da espessura da laje), leva a erros na locação por ter espaço limitado entre as barras o que dificulta a amarração e a colocação dos espaçadores.
Não uso de pranchas de madeira (NBR 61118, 1982) para o deslocamento durante a montagem da laje.
Recorte de fôrmas, desperdício de material para encaixe com vigas e pilares
Amarração da ferragem da laje não permite o trabalho dos operários em boas condições posturais, por trabalharem curvados.
A não verificação do nível, antes da concretagem, leva a defeitos na geometria da estrutura, o que pode causar acidentes durante o lançamento do concreto.
As escoras de madeira e os pedaços de madeira espalhados dificultam o deslocamento embaixo da laje.

A rede de precedência para esta tipologia de laje encontra-se na figura 4.3. A legenda encontra-se na metodologia no quadro 3.1.

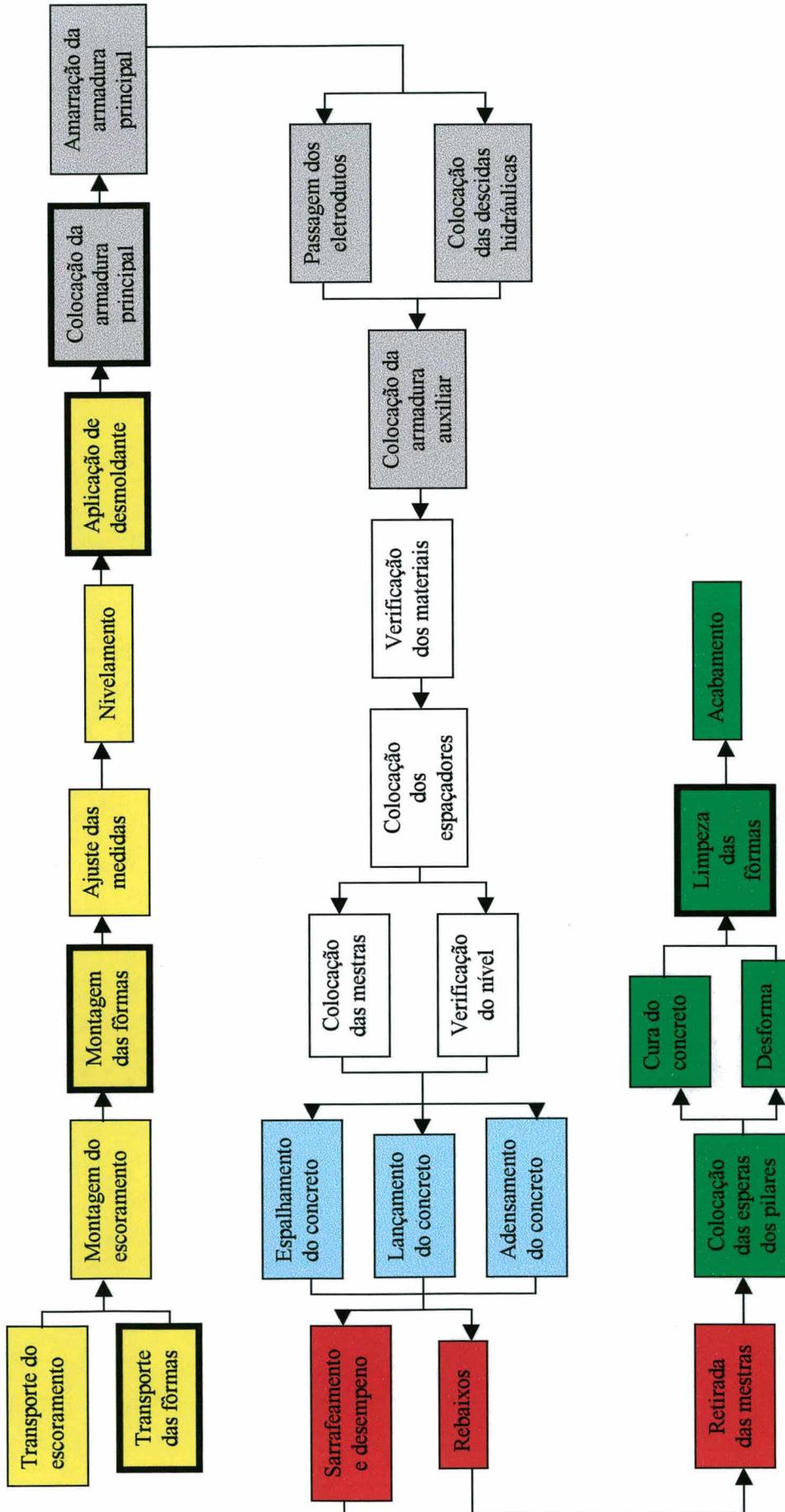


Figura 4.3: Fluxograma das atividades paralelas e sequenciais para a montagem da laje maciça.

Na laje maciça 2, os pontos de luz foram colocados após a armadura principal, invertendo a seqüência construtiva no deslocamento das armaduras para a sua fixação.

#### 4.2.2. Laje nervurada

A laje nervurada 1 era mista, nervurada com algumas vigas chatas (ou deitada) inseridas na mesma. As nervuras foram preenchidas com blocos cerâmicos, dois a dois. As sacadas tinham 19 cm de altura (blocos de 19x19x38cm) e as demais lajes 24 cm (blocos de 11,5x19x20cm), todas nervuradas (figura 4.4). A estrutura era reticulada.

A disposição do canteiro de obra das lajes nervuradas 1 e 2 pode ser observada na figura 4.5.

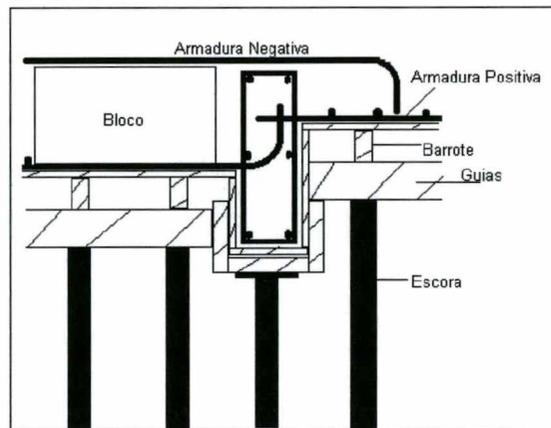


Figura 4.4 : Corte do engastamento da laje nervurada, com fôrma de madeira e escoramento metálico.

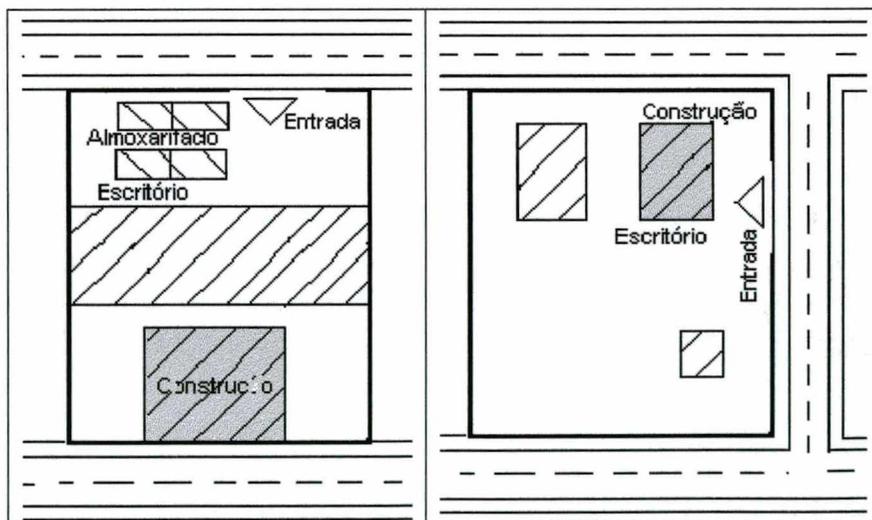


Figura 4.5: *Layout* do canteiro de obra das lajes nervuradas 1 e 2 respectivamente.

A rede de precedência para esta tipologia encontra-se na figura 4.6 com legenda no quadro 3.1.

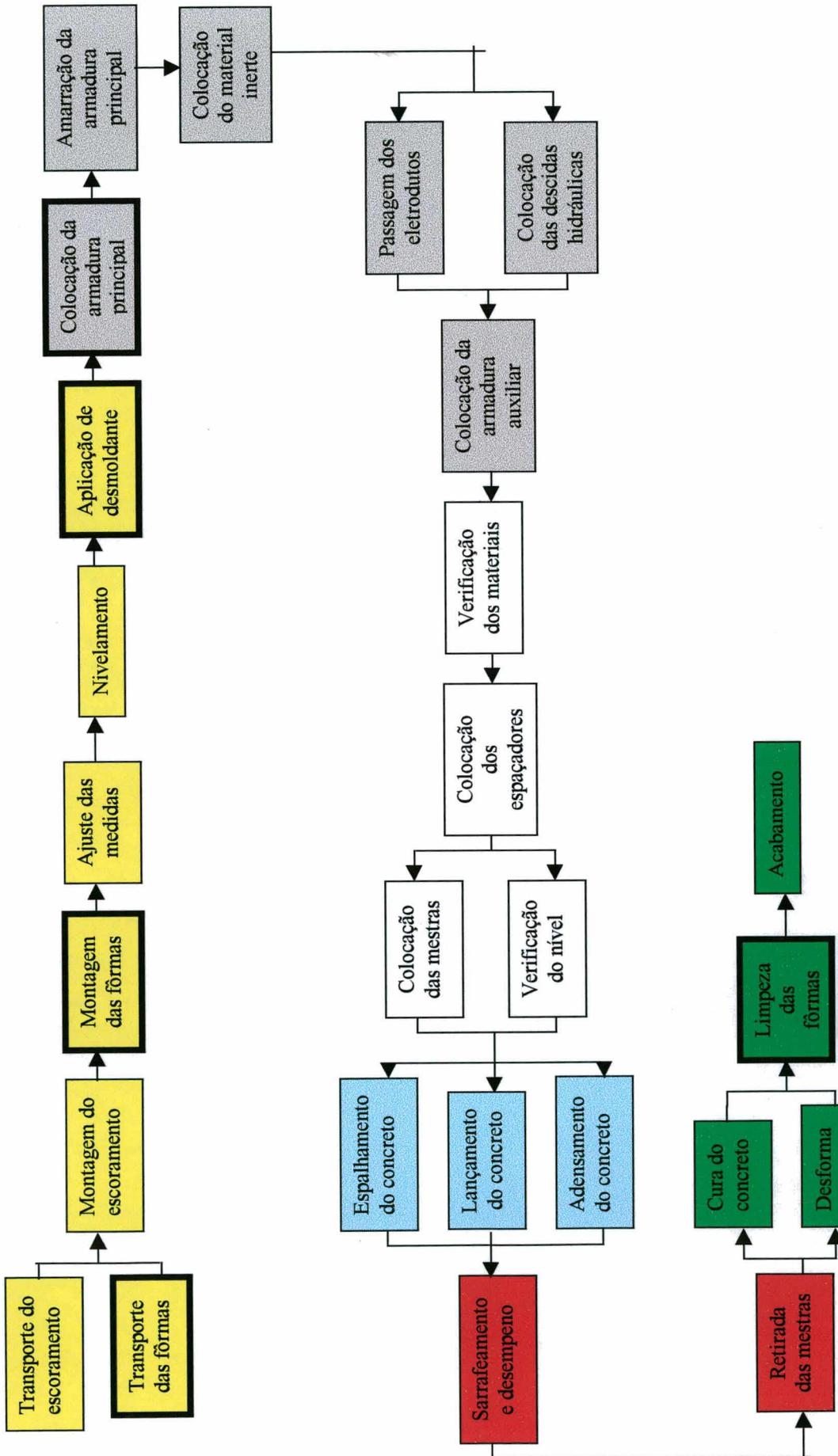


Figura 4.6: Fluxograma das atividades paralelas e sequenciais para a montagem da laje nervurada.

A opção pelo tipo nervurado nas varandas foi resolução de projeto, assim como a opção pelas lajes maciças no *hall* (concentração de eletrodutos) e nos banheiros (local para colocar banheira e descidas sanitárias). Estes locais foram posteriormente preenchidos com cascalho para a regularização dos pisos.

Esta obra era formada de duas torres com 12 pavimentos cada, foi acompanhada em duas épocas diferentes. Primeiramente nas visitas iniciais e após para levantamento final dos dados, quando se verificou a execução da quarta laje do bloco A.

Na obra haviam duas caixas para a passagem dos elevadores, com paredes maciças de concreto armado em fôrma de tábuas de madeira.

A laje nervurada 2 era mista com blocos cerâmicos e nervura. A estrutura do prédio era também reticulada. As nervuras foram formadas por dois blocos cerâmicos de 19,5x20x29 cm cada um. As lajes maciças tinham altura de 12cm e as nervuradas 24cm.

A visita iniciou-se na décima quarta laje, que servia de teto para o ático da cobertura. Estas estavam divididas em 11 pavimentos tipos e 3 de garagem, sendo 4 apartamentos por pavimento. A obra era formada de duas torres estando a torre B com a estrutura já executada. Observou-se a execução da estrutura da torre A.

Esta obra apresentava dois poços de elevadores e vários de ventilação espalhados pela laje. A obra possuía projeto elétrico particular por pavimento, porque os apartamentos tinham este projeto personalizado.

### Seqüência de atividades

O quadro 4.5 apresenta o fluxograma da metodologia, mostra a seqüência na qual as atividades foram desenvolvidas.

Quadro 4.5: Seqüência de atividades da laje nervurada.

Atividades	Laje nervurada
Tipo de estrutura	Reticulada.
Transporte	Manual.
Fôrma e cimbramento	Fôrma em <i>madeirit</i> plastificado, escoramento misto de metal (especificado em projeto) e madeira e cimbramento em barrotes de madeira. Na laje nervurada 1 fez-se experiência com fôrmas de alumínio.
Nivelamento	Nível de mangueira.
Limpeza e aplicação de desmoldante	Após isto inicia-se a marcação das armaduras positivas.
Pontos elétricos	Foram marcados com giz após a marcação da área e ocupando os blocos neste locais.

Quadro 4.5: Sequência de atividades da laje nervurada – continuação.

Atividades	Laje nervurada
Armadura principal	Presença de vigas chatas, para vencer maiores vãos, montadas após a colocação das vigas de bordo.
	Para a laje nervurada 1 utilizou-se uma barra por nervura, e para a nervurada 2 duas barras.
Material inerte	Deve-se observar quando a laje é contínua para não colocar blocos na zona de continuidade das lajes (ruptura da laje).
	Os blocos cerâmicos foram colocados dois a dois com plástico fechando os furos (as duas fiadas superiores) para impedir a entrada de concreto durante a concretagem.
Passagem dos eletrodutos	Corriam entre as nervuras ou sobre os blocos.
	Rígidos, foram amarrados na ferragem das nervuras por meio de arame recozido.
	Nos eletrodutos que subiam pelas paredes as extremidades foram dobradas e amarradas com arame recozido.
Descidas hidráulicas	Os <i>shafts</i> foram feitos com fôrma de madeira e delimitados, quando grandes, por vigas invertidas, pela consideração de projeto.
Colocação da armadura auxiliar e negativa	As armaduras de distribuição colocadas sobre os blocos formando uma malha. A mesma avança para dentro das vigas.
	A ferragem negativa foi montada segundo especificação de projeto
Espaçadores	Do tipo plástico na laje nervurada 2.
Verificação dos materiais	As caixas elétricas foram plásticas e recebiam serragem embebida em água depois de montada e conferida a instalação dos eletrodutos.
Mestras	Foram colocadas sobre os blocos, amarradas à ferragem da nervura.
Preparação para a concretagem	Molhagem da fôrma, para evitar absorção da água do concreto.
Lançamento do concreto	Bomba estacionária.
Adensamento	Vibrador de imersão.
Espalhamento	Com pás e rodos de madeira.
Sarrafeamento	Com régua de madeira e desempenadeira.
Retirada das mestras	Após sarrafeamento do concreto.
Cura	Molhagem da laje.
Desforma	Quando da execução do próximo pavimento.
Limpeza das fôrmas	Após a desforma.

As etapas construtivas foram unidas segundo grupos de montagem para as diversas atividades de execução da laje.

As lajes nervradas pesquisadas apresentaram aspectos positivos e negativos que encontram-se descritos no quadro 4.6 apresentado a seguir.

Quadro 4.6: Aspectos positivos e negativos na laje nervurada.

POSITIVOS
Vence grandes vãos pelo uso das nervuras.
Flexibilidade de <i>layout</i> , pelas vigas chatas que dá mais mobilidade à estrutura como um todo.
Sarrafos colocados em cima dos blocos servindo de mestras para formar a referência de nível horizontal.
NEGATIVOS
Blocos soltos na laje, podem causar acidentes durante o deslocamento do pessoal pela laje, e também quando da concretagem leva ao estrangulamento de nervuras ou armaduras expostas.
Eletroduto por cima dos blocos que leva a redução do capeamento de concreto, comprometendo-o.
Presença de dois tipos de blocos, que dificulta a distribuição dos mesmos, tendo que ser separados por local de aplicação (laje nervurada 1).
A superfície curva da varanda da laje 2 tornou difícil a conferência de prumo, nível e esquadro desta.

### 4.2.3. Laje protendida moldada no local

Foi em estrutura de concreto armado, com lajes e vigas protendidas, tendo espessura de 19cm. A apresentação do *layout* de seu canteiro encontra-se na figura 4.7.

A protensão utilizada era do tipo aderente com bainhas e cordoalhas de aço e posterior injeção de nata de cimento na bainha (100kg de cimento/40 litros de água/400g de aditivo). Essa injeção era feita após a concretagem e protensão da laje por máquina apropriada.

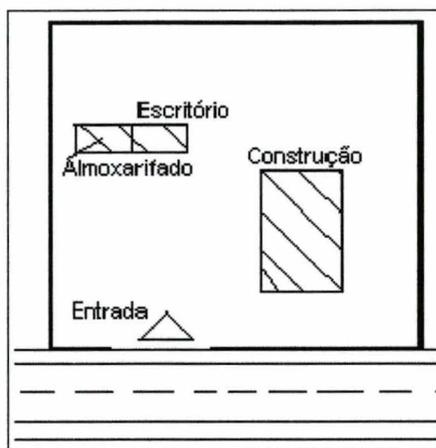


Figura 4.7: *Layout* do canteiro de obra da laje protendida moldada no local.

A protensão era terceirizada, sendo coordenada por um mestre de obra da empresa contratada para a realização do serviço.

A laje era armada nas duas direções, logo as cordoalhas foram distribuídas também nas duas direções. Como esta era do tipo cogumelo, essa distribuição se deu mais fortemente junto aos pilares para reforçar os capitéis que apoiavam as mesmas. Neste caso a laje foi calculada como contínua com vigas apenas nos bordos.

Uma empresa especializada executou a protensão, com projeto estrutural específico para este fim. No caso pesquisado as vigas também foram protendidas.

### Seqüência de atividades

O quadro 4.7 mostra a seqüência em que as atividades foram desenvolvidas por meio do fluxograma presente na metodologia.

Quadro 4.7: Seqüência de atividades da laje protendida.

Atividades	Laje protendida moldada no local
Tipo de estrutura	Reticulada.
Transporte	As cordoalhas foram colocadas nas bainhas ainda no solo e levadas já montadas para a laje, sendo separadas por sarrafos de madeira.

Quadro 4.7: Sequência de atividades da laje protendida - continuação.

Atividades	Laje protendida moldada no local
Fôrma e cimbramento	Fôrmas de alumínio com recheio em <i>maderit</i> plastificado, com cimbramento e escoramento em estrutura metálica.
Pontos elétricos	Foram deixadas na laje apenas as caixas de passagem, pois as instalações seriam embutidas no forro.
Armadura principal	A armadura convencional foi amarrada entre si e as cordoalhas amarradas a estas com arame recozido.
	No projeto estrutural constavam as medidas entre as cordoalhas e suas diversas elevações (vertical e horizontal), que não tinham simetria.
	As bainhas tinham forma circular, mas foram achatadas ficando com 2cm de altura.
Descidas Hidráulicas	Foram colocadas após sua marcação com giz.
Colocação da armadura negativa	Colocadas nos locais especificados em projeto.
Espaçadores	Foram utilizados espaçadores plásticos para a armadura positiva.
Mestras	Foram de madeira.
Preparação para a concretagem	Antes de iniciar a concretagem molhou-se a fôrma abundantemente.
Lançamento do concreto	A concretagem foi feita com concreto bombeado.
Adensamento	Com vibrador de imersão.
Espalhamento	Com pás e enxadas.
Sarrafeamento	Com régua metálica e desempenadeira de madeira.
Retirada das mestras	Após a concretagem.
Cura	Durante a cura o concreto foi molhado abundantemente.
Preparação para a protensão	Os cabos foram ancorados em suporte por meio de clavetes de cravação (que dá a tensão a cada 100 kg). Foi utilizado macaco de protensão hidráulica para puxar os cabos.
	Antes de protender a saída do cabo foi preenchida com isopor, depois retirou-o e foi colocada uma cunha e o equipamento de protensão, que já vinham com furo para a mangueira de injeção.
Preparação da mangueira	A mangueira para a injeção da nata de cimento foi inicialmente preenchida com água para fazer a limpeza
Protensão	Realizada junto às vigas. A primeira protensão (50%) deu-se cerca de 4 dias após a concretagem, os restantes 50% foram realizados 8 dias após a concretagem.
	A pressão manométrica foi calculada. A execução na obra foi acompanhada por encarregado da empresa que aplica a protensão.
	Nas lajes foram utilizadas bainhas para 4 cabos - cuja protensão foi fio a fio, e nas vigas bainhas com 10 cabos que teve a protensão em conjunto, com todos os cabos sendo tracionados juntos.
	Após a protensão cortou-se o excesso dos cabos.
	A nata deve preencher toda a bainha.

A rede de precedência para esta tipologia encontra-se na figura 4.8.

Os aspectos positivos e negativos para a laje pesquisada estão demonstrados no quadro 4.8 com legenda no quadro 3.1.

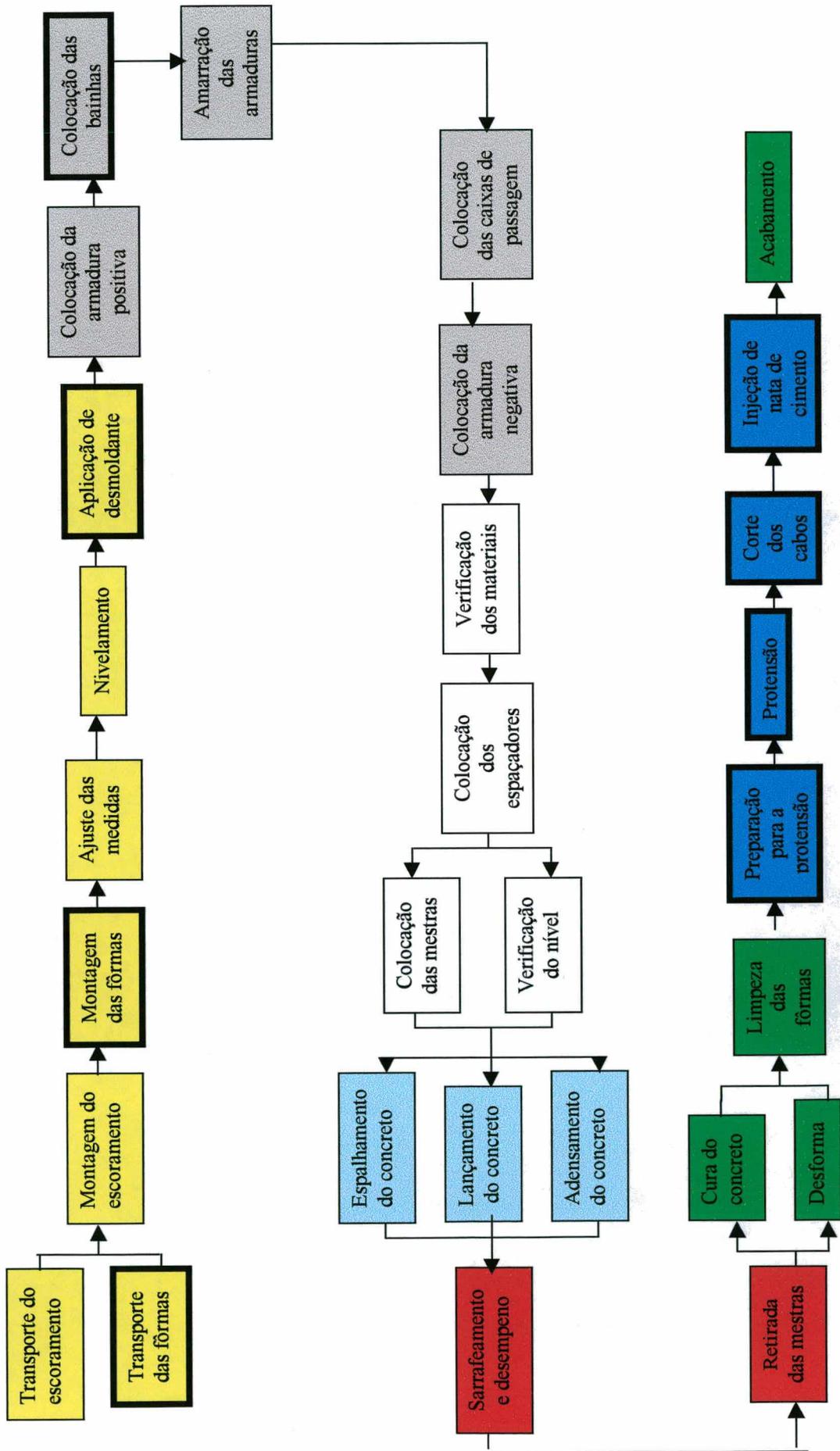


Figura 4.8: Fluxograma das atividades paralelas e sequenciais para a montagem da laje protendida moldada no local.

Quadro 4.8: Aspectos positivos e negativos na laje protendida.

POSITIVOS
Vence grandes vãos.
Suporta cargas elevadas.
Após a protensão podem ser feitas aberturas na laje.
Uso de fôrmas de alumínio que permite montagem rápida e com bom acabamento.
NEGATIVOS
Necessidade de equipamentos específico para aplicar a protensão das peças, como: macaco hidráulico, cunhas de travamento dos cabos, serra diamantada para corte, mistura mecânica da nata de cimento e máquina para injeção da nata nas cordoalhas (foram locados).
Atenção nas cotas pela não existência de simetria das cordoalhas devido ao projeto estrutural.
Canteiro amplo.
Pouco detalhamento, o que dificultou a interpretação das cotas.
O acabamento externo da estrutura só pode ser executado após a protensão total.

#### 4.2.4. Laje com vigotas pré-moldadas

O *layout* do canteiro das lajes com vigotas pré-moldadas pesquisadas pode ser observado na figura 4.9.

A com vigota pré-moldada 1 teve as peças produzidas fora da obra. A laje que liga o poço do elevador à escada foi de estrutura maciça, como também a das sacadas do prédio. A estrutura foi do tipo reticulada.

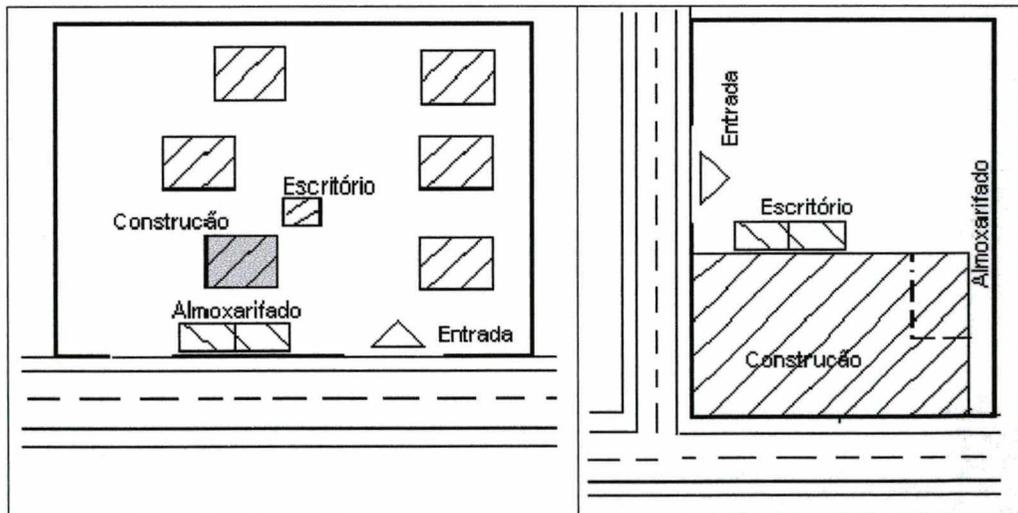


Figura 4.9: *Layout* do canteiro de obra das lajes com vigotas pré-moldadas 1 e 2 respectivamente.

A laje maciça tinha 12cm de espessura e as com vigotas 10cm. A espessura média da capa foi de 5cm. Eram 5 apartamentos por pavimento. O trabalho observado corresponde a sexta laje, ou seja, o teto do quinto pavimento.

A obra era composta de 6 blocos, no momento estavam executando o bloco B. A alvenaria de blocos cerâmicos era elevada junto com a estrutura (figura 4.10), estando os operários divididos entre estes dois serviços. As vigas e os pilares tinham a mesma largura das paredes.

O edifício da laje com vigota pré-moldada 2 é um residencial em concreto armado, sendo as paredes elevadas junto com a estrutura. Concretou-a em duas etapas, neste caso uma parte em 8 dias e a outra com 6 dias. A laje tinha 12cm de espessura.

Durante a concretagem ocorreram quebras de blocos devido à locomoção das pessoas pela laje, mas estes foram imediatamente substituídos, ficando um operário encarregado desta atividade.

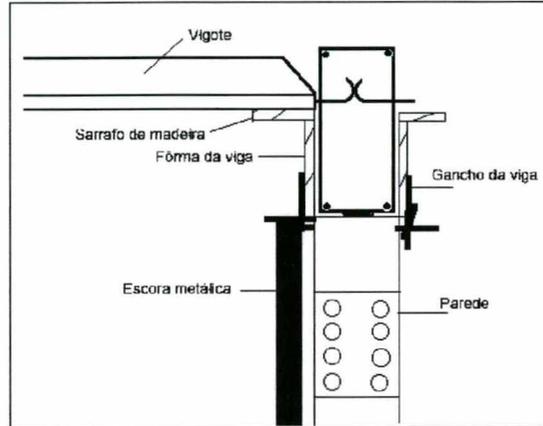


Figura 4.10: Escoramento e engastamento da vigota na viga.

A laje pesquisada 2 apresentou uma viga chata, segundo recomendações de cálculo. Neste caso, a vigota foi fabricada no tamanho total do vão, incluindo a viga, e no local onde suas barras coincidiram com a referida o concreto desta região foi retirado para que a armadura ficasse englobada na viga. Esta região encontrava-se apoiada por fôrma de madeira apropriada (figura 4.11).

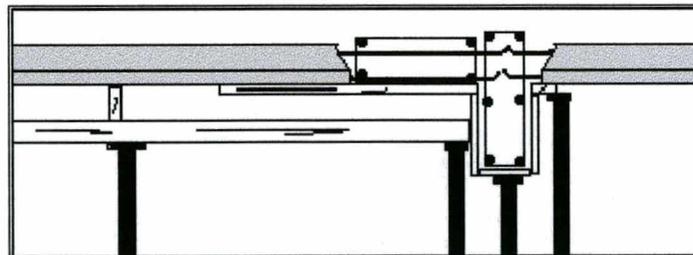


Figura 4.11: Detalhe de viga chata na laje com vigota pré-moldada.

### Seqüência de atividades

No quadro 4.9 encontra-se a seqüência na qual as atividades foram desenvolvidas para a execução das lajes com vigotas pré-moldadas, seguindo fluxograma presente na metodologia.

A rede de precedência para esta tipologia de laje encontra-se na figura 4.12 com legenda no quadro 3.1.

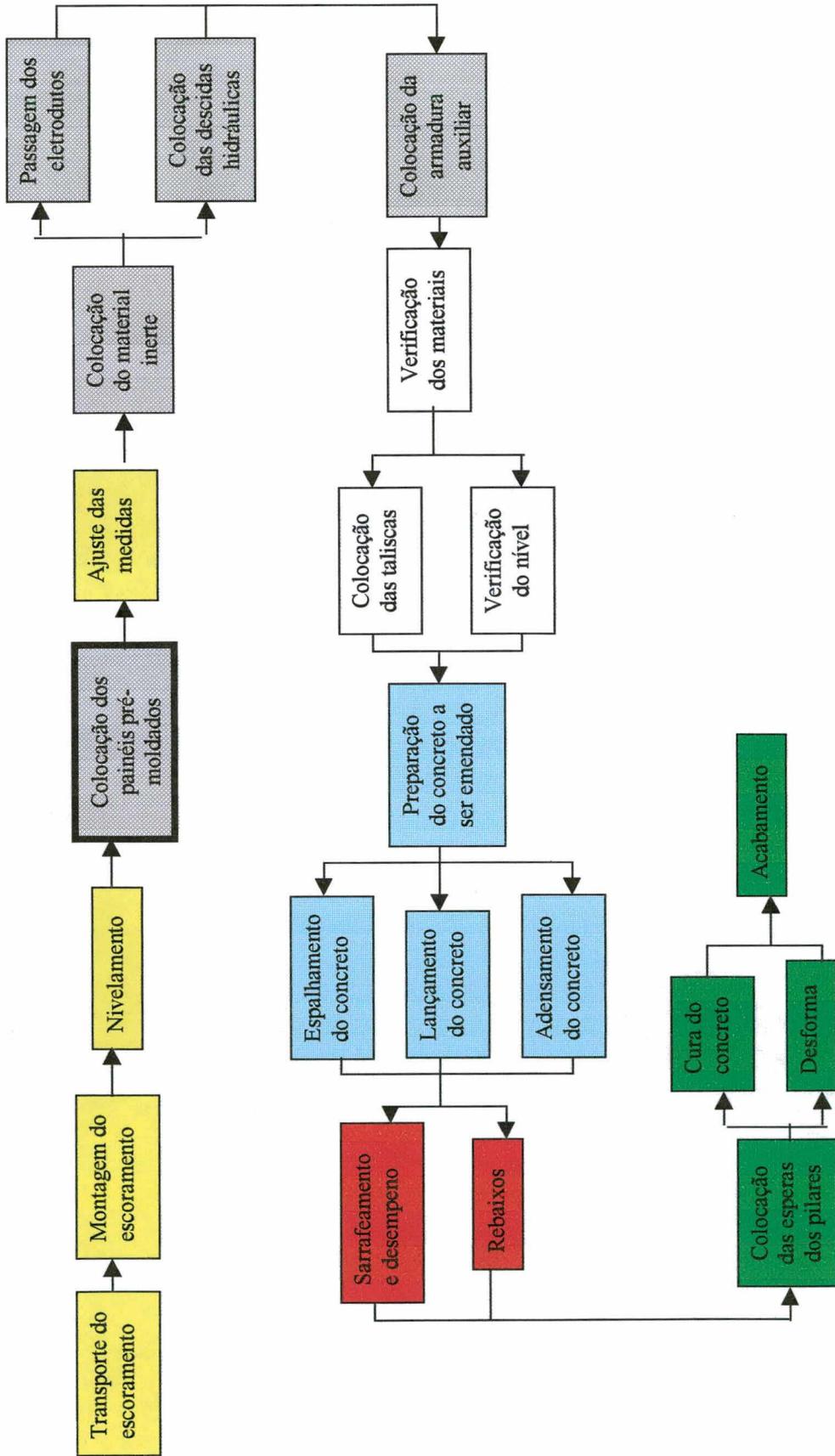


Figura 4.12: Fluxograma das atividades paralelas e sequenciais para a montagem das lajes com vigotas pré-moldadas.

Quadro 4.9: Sequência de atividades da laje com vigota pré-moldada.

Atividades	Laje com vigotas pré-moldadas
Tipo de estrutura	Reticulada.
Transporte	As vigotas foram transportadas manualmente
Fôrma e cimbramento	Este tipo de laje não necessita de fôrma, sendo colocadas sobre barrotes dispostos de forma perpendicular a estas.
Nivelamento	Foi usado nível de mangueira.
Colocação dos painéis pré-moldados	No final das peças, nas duas extremidades, as barras recebiam uma pequena curvatura para cima.
	As vigotas foram apoiadas em tábua de madeira em cima da fôrma da viga, com a ferragem avançando em direção a mesma.
	A ferragem avança das vigotas em direção a viga.
	As vigotas estavam sempre dispostas na menor medida do vão.
Pontos elétricos	As fôrmas de madeira com os pontos elétricos fixos à elas substituíam um bloco, sendo o restante do espaço preenchido com concreto.
	Eram de caixas plásticas preenchidas com serragem úmida.
Material inerte	As tabelas determinavam a distância entre as vigotas, sendo inicialmente colocadas nas extremidades da laje.
	A junção da parede com a laje pode ser feita com uma fileira de blocos ou uma vigota, dependendo do especificado no projeto.
Passagem dos eletrodutos	Os eletrodutos saíam das caixas elétricas e seguiam em direção à parede, sendo presos à ferragem por meio de arame recozido.
	Quando havia muita concentração de eletrodutos em uma laje esta foi executada de forma maciça para assegurar a espessura mínima de concreto exigida em projeto.
Descidas hidráulicas	Em fôrmas de madeira do tamanho da abertura.
	Como os <i>shafts</i> localizavam-se geralmente nos cantos da laje e em lajes maciças, estes eram constituídos de peças em <i>madeirit</i> .
Colocação da armadura auxiliar e negativa	Em cima das vigotas colocou-se a armadura auxiliar, quando não havia armadura negativa, que passava por todas as lajes para dar maior rigidez ao conjunto.
Taliscas	A espessura do capeamento foi determinada por taliscas, com pedaços de cerâmica assentados sobre camada de argamassa.
Verificação do nivelamento	A contra-flecha foi feita no centro do vão.
Preparação do concreto a ser emendado	Na lajes com vigotas pré-moldadas a concretagem da laje foi realizada em duas etapas. A união entre os dois concretos recebeu uma pincelada de adesivo colante a base de epóxi.
Preparação para a concretagem	A fôrma foi molhada antes da concretagem, evitando a absorção desnecessária de água do concreto.
	Foram feitas as seguintes verificações no recebimento do concreto: número do lacre, horário de saída, $f_{ck}$ , volume e o <i>slump</i> .
Lançamento do concreto	A concretagem foi feita por meio de concreto bombeado.
Adensamento	Com vibrador de imersão.
Espalhamento	Com pás e enxadas.
Sarrafeamento	Com desempenadeira de madeira.
Rebaixos	Nos banheiros onde havia desnível para a execução do <i>box</i> , a viga foi rebaixada e foram colocadas duas vigotas juntas, cada qual em um nível diferente, sendo a espessura do concreto determinada por gabarito de madeira (figura 4.13).
Colocação das esperas dos pilares	Depois do desempenho foram colocadas as esperas dos pilares.
Cura	Frequência de 2 vezes ao dia.
Desforma	Durante o reescoramento ficaram apenas as escoras, sendo retirado o cimbramento.

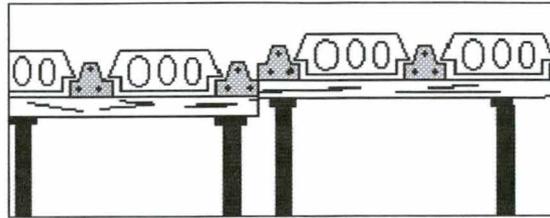


Figura 4.13: Detalhe do rebaixo na laje com vigota pré-moldada.

No quadro 4.10 são apresentados os aspectos positivos e negativos observados nas lajes com vigotas pré-moldadas.

Quadro 4.10: Aspectos positivos e negativos na laje com vigota pré-moldada.

POSITIVOS
Facilidade de montagem.
Bloco com caixa elétrica embutida, de material plástico, substituindo uma tavela.
NEGATIVOS
Poucos pavimentos, por não haver recomendações de normas técnicas.
As referências de nível não foram executadas.
Quebra de blocos podendo provocar acidentes, e interrupção do fluxo de trabalho para substituição deste.
Concentração de eletrodutos em determinada região levando a redução da área de concreto.
Duas vigotas colocadas lado a lado (laje com vigota 2) porque não veio especificada a quantidade a usar.
Projeto sem tolerância dimensional dos elementos pré-moldados.

#### 4.2.5. Laje com vigotas treliçadas

A obra pesquisada 1 tinha apenas duas lajes com vigota treliçada (figura 4.14), apresentando em sua maioria painéis treliçados. Foi utilizada por exigência do calculista na cobertura do auditório para apoiar as paredes colocadas sobre estas, pois em baixo não tinha vigas, somente as de bordo. Foram dois blocos de 2 pavimentos cada.

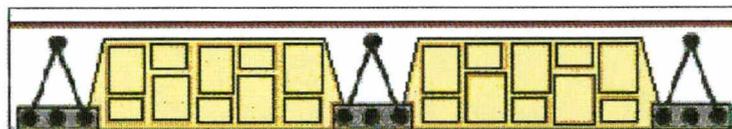


Figura 4.14: Corte das vigotas treliçadas e os blocos.

Cada bloco por ser muito grande foi concretado em três etapas, com junta de dilatação entre elas preenchida por isopor.

A obra foi em alvenaria estrutural, com o *layout* observa-se na figura 4.15.

Os blocos de isopor utilizados na laje foram de 30x30cm que formavam uma canaleta em um dos lados para acomodar a barra de aço como armadura positiva. A canaleta tinha 20cm de altura. A peça recebeu mais 10cm de capeamento de concreto, com espessura final de 30cm (figura 4.16).

A laje com vigotas treliçadas 2 foi utilizada na execução de um templo, cujas paredes foram de blocos de concreto. Toda a estrutura foi em concreto armado.

Acompanhou-se a execução da segunda laje armada em uma só direção. A mesma teve preenchimento de blocos de isopor e espessura final de 16cm.

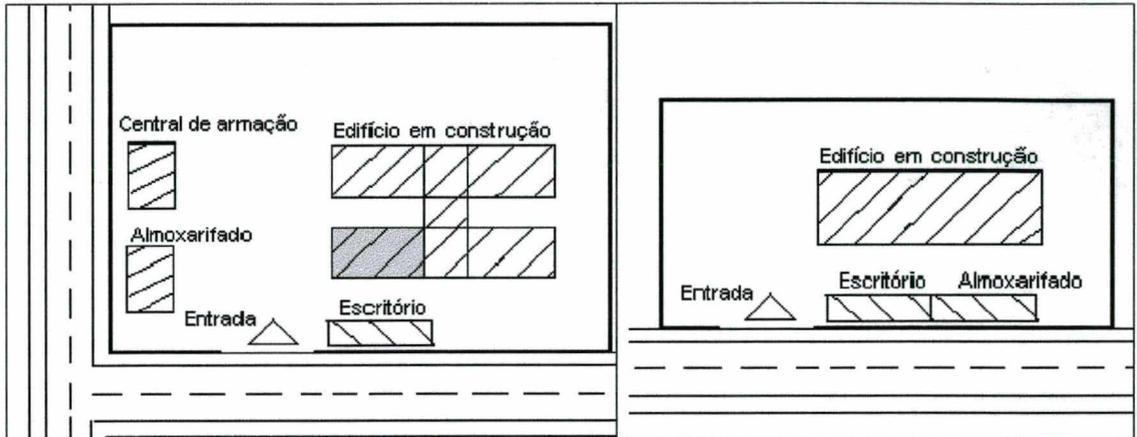


Figura 4.15: Layout do canteiro de obras da laje com vigotas treliçada 1 e 2 respectivamente.

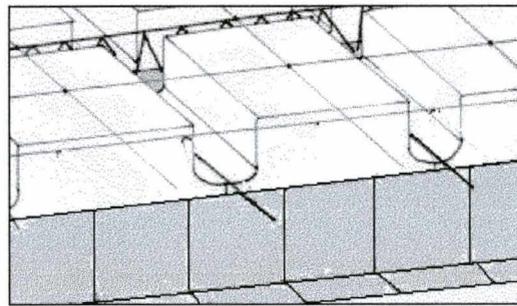


Figura 4.16: Laje com vigota treliçada armada nas duas direções.

Neste caso os materiais de enchimento tinham de 12x40x125cm com 12cm de altura. A capa foi de 4cm de concreto.

No decorrer da montagem das vigotas, os estribos das vigas foram deslocados de suas posições para possibilitar a sua acomodação e depois retornados a posição indicada em projeto (figura 4.17). Também as cunhas das escoras foram retiradas para os devidos ajustes e posteriormente recolocadas e aplicada a contra-flecha no centro do vão, que teve seu valor numérico especificado em projeto estrutural.

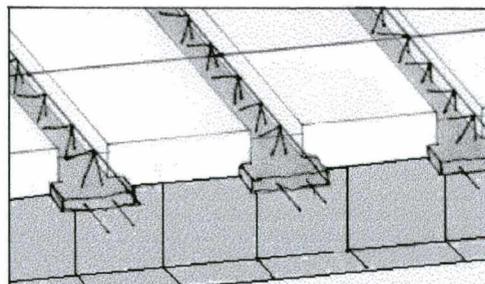


Figura 4.17: Laje com vigota treliçada apoiada na viga.

A rede de precedência para esta tipologia de laje encontra-se na figura 4.18 com legenda no quadro 3.1.

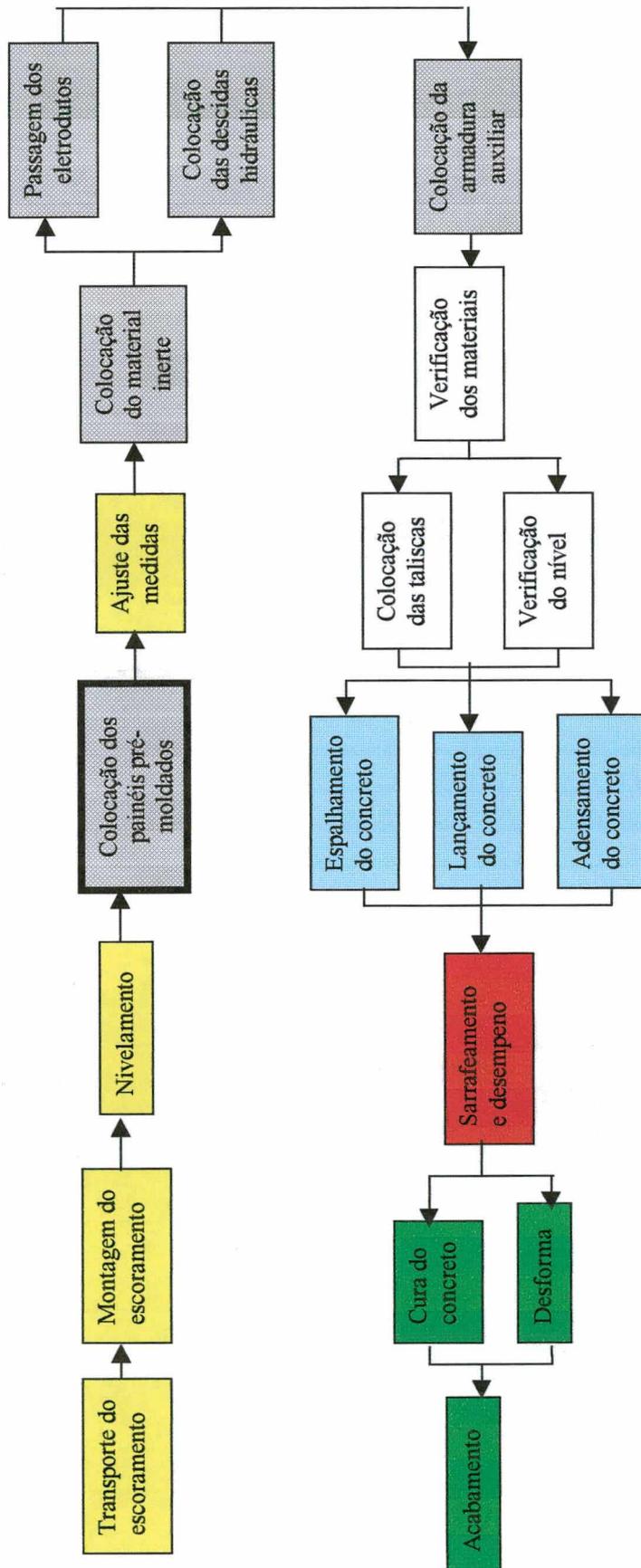


Figura 4.18: Fluxograma das atividades paralelas e sequenciais para a montagem das lajes com vigotas treliçadas.

### Seqüência de atividades

No quadro 4.11 encontra-se a seqüência em que as atividades foram desenvolvidas para a execução das lajes com vigotas treliçadas, esta seqüência segue o fluxograma apresentado na metodologia (figura 3.1).

Quadro 4.11: Seqüência de atividade da laje com vigota treliçada.

Atividades	Laje com vigotas treliçadas
Tipo de estrutura	Alvenaria estrutural.
Transporte	Manual.
Fôrma e cimbramento	Escoras e cimbramento de madeira, não utilizando fôrmas. Para a laje armada numa só direção, quando o vão tinha comprimento superior a 6m esta recebia em sua longarina central uma nervura de travamento, deixando-se espaço de 10cm para a colocação das armaduras de travamento e o concreto necessário para unir as partes.
Nivelamento	Uso de nível de mangueira e linha da <i>nylon</i> .
Colocação dos painéis pré-moldados	Depois de montado o escoramento foram colocadas as ferragens das vigas para em seguida começar a montar as vigotas. As vigotas foram colocadas com a ferragem da extremidade penetrando na viga e apoiavam-se diretamente em cima destas. O deslocamento em cima da laje, para a montagem das demais partes, foi feito sobre tábuas ou pisando-se nas nervuras das vigotas. Quando necessário as vigotas foram passadas por dentro das vigas, sendo retirado o concreto que envolvia sua base.
Colocação da armadura principal	As barras de travamento foram apoiadas na fôrma e na armadura auxiliar.
Material inerte	Os espaçamentos foram delimitados pelos blocos de isopor. Para ajustar o comprimento do bloco (12x40x125cm) na laje armada numa só direção utilizou o serrote. Estes blocos tinham rebaixos (recortes) para encaixar nas vigotas treliçadas. Nas lajes bidirecionais a vigota é colocada em uma direção e os blocos desta espaçados para a colocação das armaduras no outro sentido.
Descidas Hidráulicas	Foram feitas pelos blocos na laje unidirecional. Na laje bidirecional ficou imersa ao concreto.
Colocação da armadura auxiliar e negativa	As vigotas e a armadura de distribuição avançavam em direção as vigas ou canaletas. As armaduras auxiliares foram amarradas à laje por arame recozido nas treliças de forma diagonal.
Pontos elétricos	Foram colocados depois de montada a armadura auxiliar Para se colocar as caixas de passagem primeiro foram feitos furos circulares nos blocos de isopor pré-determinados, com a ajuda de faca ou serra. As caixas plásticas, foram primeiramente presas em pedaços de madeira de cerca de 30cm de comprimento com pregos. Pelo fato dos blocos terem altura elevada, foram unidas duas caixas unidas para obter a altura requerida (cada caixa tem 5cm de altura).
Passagem dos eletrodutos	Foram colocados depois de montada a armadura auxiliar Para que os eletrodutos chegassem as caixas elétricas quando a profundidade dos blocos foi elevada foi necessário utilizar curvas. Utilizou-se eletrodutos flexíveis para passarem por dentro das vigotas treliçadas ou sobre os blocos de isopor e também eletrodutos rígidos que seguiam junto das treliças ou por cima dos blocos. Os furos nas vigas para a passagem dos eletrodutos foram feitos com furadeira elétrica ou trado manual. Foram tampados para evitar a entrada de material estranho.
Verificação dos materiais	Depois de colocada toda a instalação foram verificadas as cunhas das escoras e foi reforçado o travamento das mesmas.

Quadro 4.11: Sequência de atividade da laje com vigota treliçada – continuação.

Atividades	Laje com vigotas treliçadas
Taliscas	Foram utilizadas taliscas para determinação do nível do capeamento na laje unidirecional. Estas foram feitas com pedaços de cerâmica assentadas sobre argamassa e espaçadas cerca de 2 metros entre si.
Preparação para a concretagem	As vigotas foram devidamente molhadas antes da concretagem.
Lançamento do concreto	O lançamento do concreto foi com bomba projetada.
Adensamento	Vibrador de imersão durante a concretagem.
Espalhamento	Com pás e enxadas.
Sarrafeamento	Com régua de madeira e desempenadeira.
Cura	Após o concreto adquirir resistência suficiente para ser molhado.

No quadro 4.12 têm-se os aspectos positivos e negativos observados para as lajes com vigotas treliçadas.

Quadro 4.12: Aspectos positivos e negativos na laje com vigota treliçada.

POSITIVOS
Vence grandes vãos.
Suporta cargas elevadas e pontuais.
Uso de material inerte que diminui o consumo de concreto e torna a estrutura mais leve.
Montagem rápida das vigotas.
Permite a integração entre as partes envolvidas por a treliça encontrar-se exposta quando da concretagem final.
Rigor no controle de qualidade das peças.
Detalhamento com clareza de projeto, especificação das peças à utilizar e medidas cotadas.
NEGATIVOS
Referências de nível não foram seguidas para a laje bidirecional.
Risco de acidente ao se pisar na laje, devido à quebra de blocos durante a concretagem.
Inversão da sequência de montagem, com a colocação da instalação elétrica e caixas de descida após ter sido colocada a armadura auxiliar, tendo que deslocar a mesma, dificultando a execução das atividades.

#### 4.2.6. Laje com painel treliçado

A obra visitada na qual foi utilizada laje com painel treliçado é composta de dois blocos de 2 pavimentos cada, conforme o *layout* de canteiro apresentado na figura 4.19. O processo construtivo utilizado foi em alvenaria estrutural. A laje tinha espessura de 8cm, sendo 3cm de painel e 5cm de capeamento, armada numa só direção (figura 4.20).

Para a produção dos painéis foram utilizados os mesmos procedimentos que as vigotas treliçadas, apresentando pequeno comprimento devido a problemas com deslocamentos da central até as obras, uma vez que, para o transporte pelas estradas do Estado a largura máxima permitida é de 3,40m (segundo o fabricante do material). Além disto, a cidade de Florianópolis e regiões próximas não têm histórico de uso de guias para o transporte de peças grandes em canteiro.

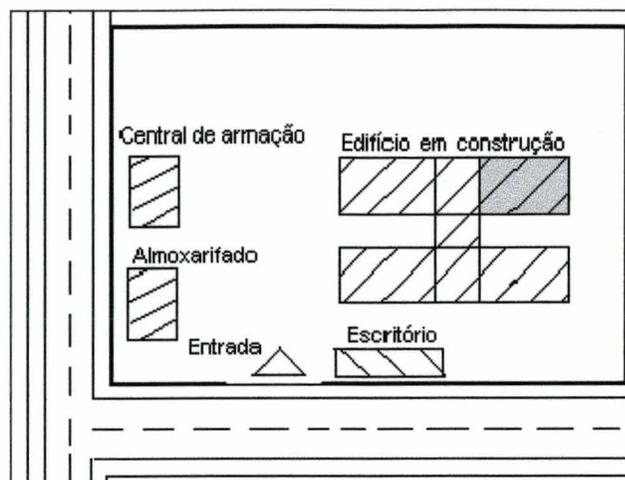


Figura 4.19: *Layout* do canteiro da laje com painel treliçado.

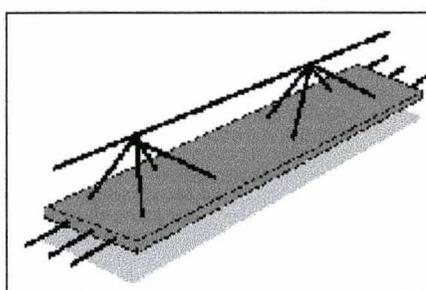


Figura 4.20: Vigota treliçada.

### Seqüência de atividades

Com o fluxograma apresentado na metodologia formulou-se a seqüência das atividades desenvolvidas para a execução das lajes com painel treliçado (quadro 4.13).

Quadro 4.13: Seqüência de atividades da laje em painel treliçado.

Atividades	Laje com painel treliçado
Tipo de estrutura	Alvenaria estrutural.
Transporte	Manual.
Fôrma e cimbramento	Cimbramento e escoramento de madeira.
Nivelamento	Foi usado o nível de mangueira para a locação das medidas.
Colocação dos painéis pré-moldados	A armadura dos painéis avançava em direção as vigas ou canaletas. Painéis tinham larguras de 25,00cm ou 12,50cm.
Pontos elétricos	Como tinha pontos de tomada no piso, as caixas de passagem utilizadas para este fim foram abertas e colocadas em cima da laje. Estas recebiam pedaços de isopor para não serem preenchidas com concreto durante a concretagem. As caixas elétricas foram plásticas e colocadas do seguinte modo: quebrava-se a laje - base da treliça - no ponto demarcado e com a caixa já fixa em tábua de madeira esta foi presa à laje com uma barra de aço e arame recozido amarrado à treliça. Em alguns pontos a caixa não apresentou altura suficiente para a região utilizada, optando-se pela colocação da caixa sobre a laje sem quebras, com seu local demarcado na face inferior da laje e após a concretagem foi quebrado o ponto. Foram preenchidas com serragem embebida em água.

Quadro 4.13: Seqüência de atividades da laje em painel treliçado – continuação.

Atividades	Laje com painel treliçado
Colocação da armadura principal	Nos locais onde o número de barras excedia a capacidade do painel estas foram colocadas em cima da base deste. Esta etapa exigiu tempo, pois as barras foram introduzidas nas treliças depois de colocadas, ficando soltas sobre elas.
Passagem dos eletrodutos	Os eletrodutos utilizados para passar a fiação pelas paredes foram agrupados e tampados para evitar a entrada de material estranho.
Descidas Hidráulicas	As caixas foram de madeira e colocadas como a caixa elétrica.
Colocação da armadura auxiliar e negativa	Quando o painel era paralelo a viga a ligação dava-se por meio da armadura de distribuição. Depois de colocada toda a armadura de distribuição, iniciou-se a colocação da ferragem negativa nos locais estipulados em projeto.
Taliscas	Para o nivelamento horizontal foram colocadas mestras de madeira, amarradas às treliças com arame recozido, pois não podem ser presas com prego por não haver assoalho de madeira.
Preparação para a concretagem	A laje foi molhada para a concretagem.
Lançamento do concreto	A concretagem foi iniciada pelas canaletas.
Adensamento	O concreto foi adensado com vibrador de imersão.
Espalhamento	O concreto foi espalhado na laje por pás e rodos (de madeira).
Sarrafeamento	O concreto foi sarrafeado e desempenado para dar melhor acabamento.
Cura	A cura do concreto teve início após o concreto estar solidificado.
Desforma	A desforma iniciou com a retirada do cimbramento e o reescoramento do vão.

No quadro 4.14 têm-se os aspectos positivos e negativos observados para as lajes com painel treliçado.

Quadro 4.14: Aspectos positivos e negativos da laje com painel treliçado.

POSITIVOS
Na execução da laje há segurança, por não existir riscos de queda de material durante a montagem.
Montagem rápida dos painéis.
Detalhamento do projeto.
Colocação de caixa elétrica sem quebras, pois as caixas ficavam muito baixas, após a concretagem quebrava-se embaixo da laje.
NEGATIVOS
A passagem da armadura positiva complementar foi dificultada pelo espaço limitado, prejudicando também os eletrodutos quando estes necessitavam passar por baixo das treliças.
Os pontos onde foram feitas as quebras para as caixas de ponto elétrico e de descidas sanitárias fragilizaram a laje.

A rede de precedência para esta tipologia de laje encontra-se na figura 4.21 com legenda no quadro 3.1.

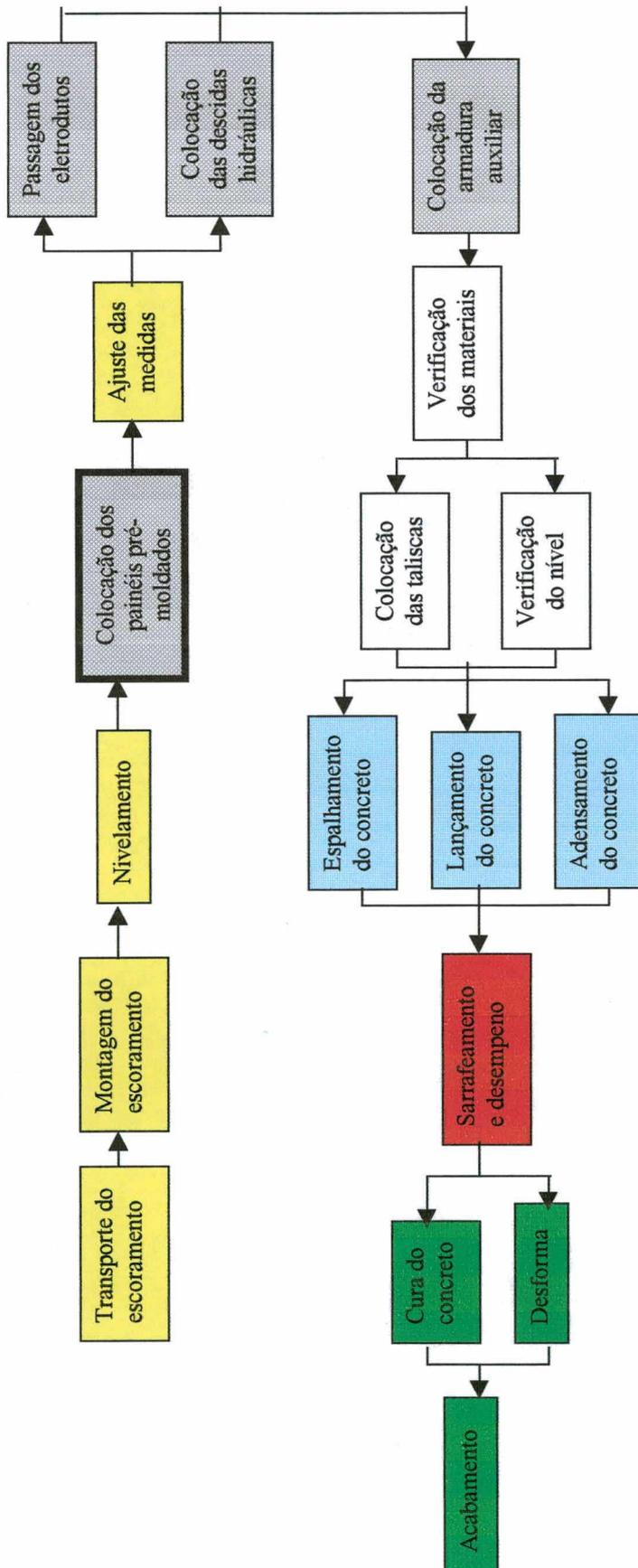


Figura 4.21: Fluxograma das atividades paralelas e sequenciais para a montagem das lajes com painéis treliçados.

#### 4.2.7. Pré-laje

a execução da pré-laje foi acompanhada em obra com os elementos pré-moldados produzidos em central de fabricação localizada no próprio canteiro, como mostra a figura 4.22. Este acompanhamento realizou-se durante as visitas iniciais à obra, localizada em Aracaju/Sergipe, com informações obtidas junto ao engenheiro de campo.

A obra era composta de blocos de cinco pavimentos com quatro apartamentos cada em alvenaria estrutural, observou-se o primeiro deles, cujo *layout* de canteiro é demonstrado na figura 4.23.

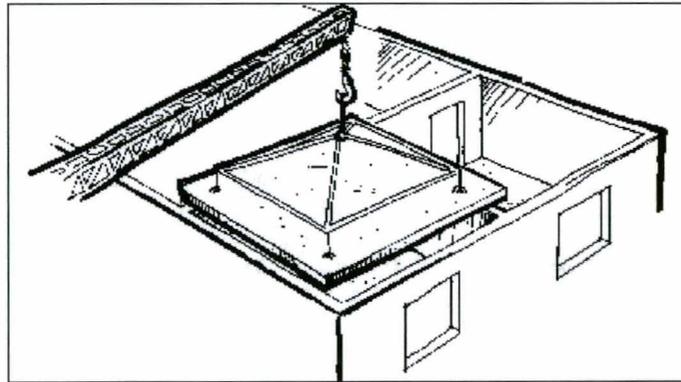


Figura 2.22: Colocação da pré-laje pela grua (guia da Blocaus).

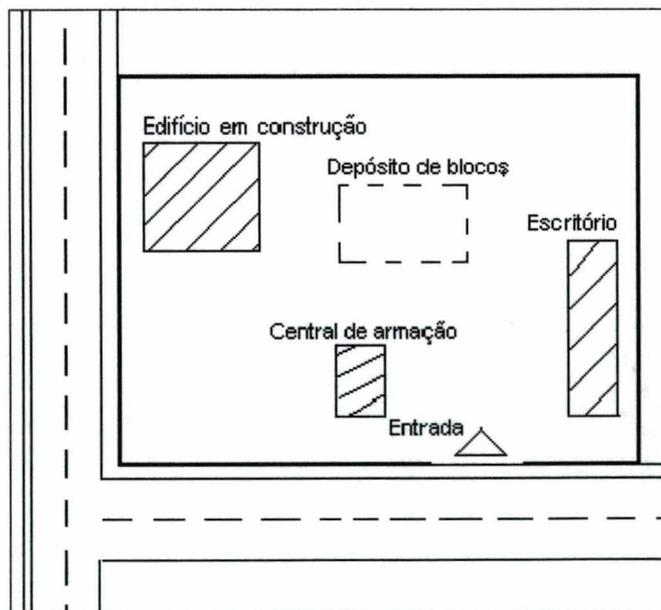


Figura 4.23: *Layout* do canteiro da pré-laje.

A obra apresentava grua para o transporte de todos os materiais. A pré-laje tinha 4cm de espessura e a camada de concreto final com 4cm. Este tipo de laje não foi encontrado em execução na cidade de Florianópolis.

A pré-laje pode ser aplicada a qualquer tipo de estrutura, porém quando mal planejada poderá provocar atrasos.

Esta tem que ser bem planejada para evitar paradas por falta de peças lajes. Isto ocorre quando as pré-lajes são danificadas (quebra ou empena). Por isto a necessidade de estocar de um conjunto completo de peças para forrar um pavimento.

### Seqüência de atividades

Seguindo o fluxograma da metodologia formulou-se a seqüência das atividades desenvolvidas para a execução da pré-laje, observada no quadro 4.15.

Quadro 4.15: Seqüência de atividades da pré-laje.

Atividades	Laje com painel treliçado
Tipo de estrutura	Alvenaria estrutural.
Transporte	Por grua.
Preparação da pré-laje: fôrma, montagem e armazenamento	A superfície para a produção dos elementos foi plana para acomodar as fôrmas que eram metálicas, com ganchos para a sua elevação até a mesa vibratória.
	A armação foi feita em separado e posteriormente levada à fôrma já com os espaçadores de argamassa.
	Foi passada uma máquina dentada (rolo pé de carneiro – figura do anexo 01), para tornar a superfície rugosa, após a vibração inicial do concreto. Neste momento a laje tem resistência suficiente para suportar o peso de um operário
	Foram feitos sulcos para a localização futura dos eletrodutos. A fôrma apresentava caixas nos locais dos pontos elétricos e descidas sanitárias.
	Depois de curada a laje foi estocada em superfície plana e levada até o local de aplicação. Foi locada no pavimento com o auxílio de grua.
Cimbramento	O cimbramento é em madeira e escoras metálicas.
Nivelamento	Utilizou-se o nível laser.
Colocação das pré-lajes	Transporte por grua, com peças apoiadas nas paredes e no cimbramento.
Pontos elétricos	Foram embutidos nas pré-lajes.
Passagem dos eletrodutos	Foram montados seguindo caminho determinado pelos sulcos na pré-laje.
Descidas Hidráulicas	Foram embutidas nas pré-lajes.
Colocação da aradura auxiliar e negativa	A armação das lajes avançava sobre as canaletas, assim como a armadura de distribuição.
	A armadura negativa foi colocada nos pontos determinados em projeto.
Mestras	Usou-se mestras metálicas.
Preparação para a concretagem	A molhagem da pré-laje foi realizada com mangueira.
Lançamento do concreto	Foi com concreto bombeado para o capeamento final.
Adensamento	O concreto foi adensado com vibrador de imersão.
Espalhamento	O concreto foi espalhado com pás.
Sarrafeamento	Usou-se sarrafos e desempenadeira.
Retirada das mestras	Foram retiradas após sarrafeamento do concreto.
Cura	O processo de cura iniciou-se quando concluída a concretagem.

A rede de precedência para esta tipologia de laje encontra-se na figura 4.24 com legenda no quadro 3.1.

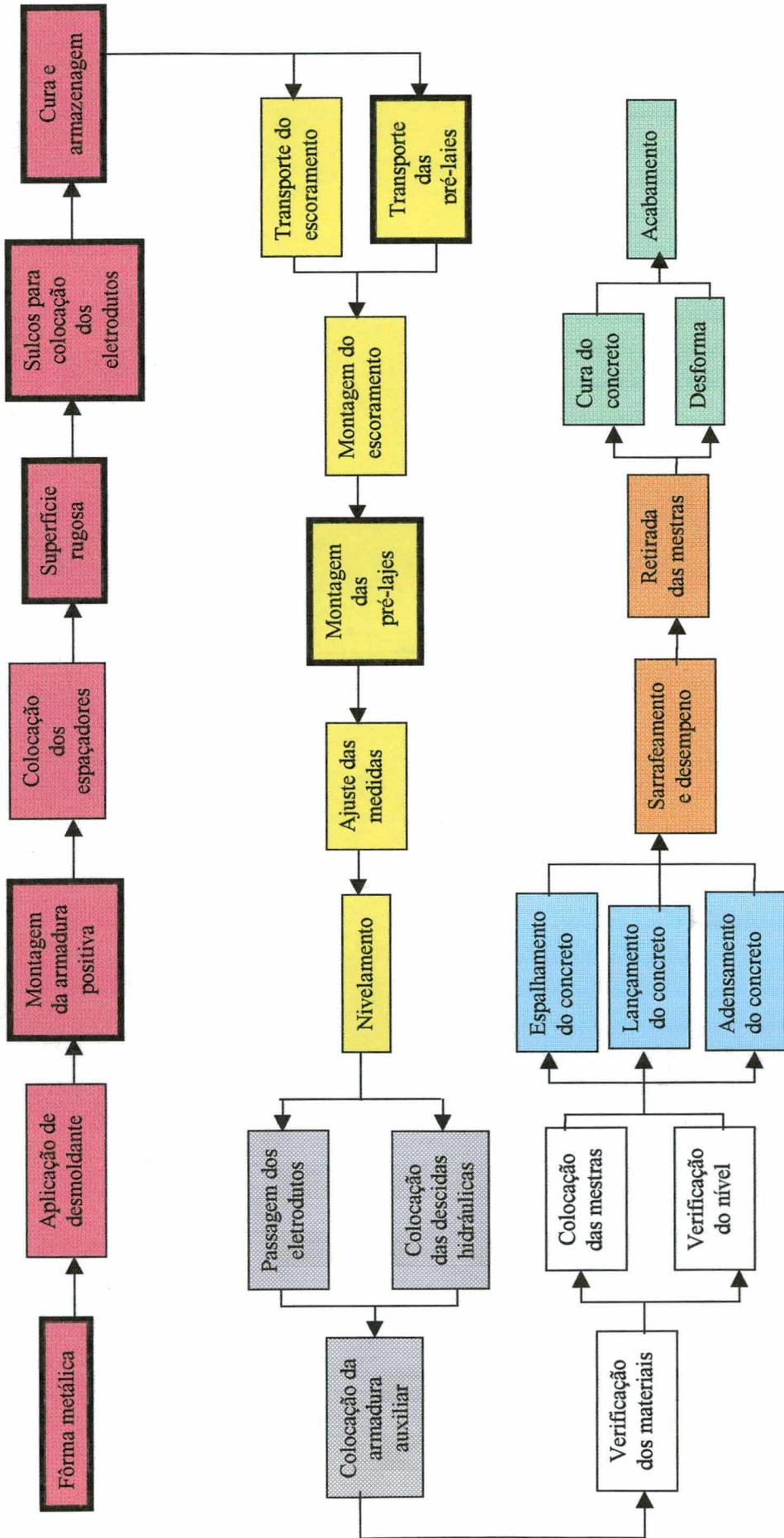


Figura 4.24: Fluxograma das atividades paralelas e sequenciais para a montagem das pré-lajes.

No quadro 4.16 têm-se os aspectos positivos e negativos observados.

Quadro 4.16: Aspectos positivos e negativos da pré-laje.

POSITIVOS
A montagem foi rápida com a eliminação do uso de fôrmas.
O detalhamento com a integração entre os projetos envolvidos foi realizados por um único escritório.
NEGATIVOS
Os painéis foram armazenados em terreno compactado para não deformar as peças.
Estoque de um pavimento para promover a substituição de peças quando empenarem ou quebrarem.
Necessitou de grua para o deslocamento das peças, necessitando também de espaço em canteiro para o deslocamento deste equipamento.

#### 4.2.8. Laje protendida pré-moldada

Seu acompanhamento foi realizado apenas na central de produção, com informações sobre sua montagem obtidas junto ao fabricante do material, pois não foi localizada obra que estivesse utilizando esse processo construtivo na cidade de Florianópolis durante a realização da coleta de dados. Os painéis produzidos (figura 4.25) são enviados para obras nos estados do Rio Grande do Sul e do Paraná.

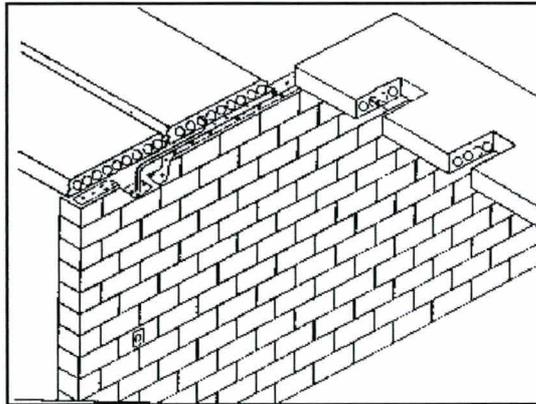


Figura 4.25: Corte do painel alveolar para embutimento de instalações.

A produção ocorria em centrais, formando painéis ou vigotas. Cada concretagem era acompanhada da moldagem de corpos de prova que foram examinados em laboratório local.

Os painéis protendidas foram numerados e armazenados, de maneira que fossem transportados na seqüência de montagem de aplicação dos painéis.

O setor de produção tinha ponte rolante que levava o concreto até as fôrmas.

A concretagem da laje foi feita por extrusão na máquina que ia compactando e empurrando o concreto ao mesmo tempo. Durante esta etapa, foi colocada na fôrma uma camada de água misturada com desmoldante líquido. A medida que a concretagem

avançava esta camada ia se deslocando para a frente e servia para garantir o acabamento liso da base do painel, só necessitando de pintura como acabamento final.

A protensão, de forma aderente, foi feita prendendo as cordoalhas com porta cunha e três cunhas internas, que foram esticadas por macacos de protensão hidráulica sobre mesa com fôrma metálica. Os fios foram então esticados e o concreto produzido com fator água/cimento baixo e transportado até as mesas por meio de tratores, o concreto foi colocado na máquina que o direcionava até a pista de concretagem.

Após seis dias de cura e adquirida a resistência mínima, os macacos foram liberados para aliviar as cordoalhas, então a peça podia ser cortada por serra diamantada na medida especificada em projeto.

As pistas em número de dez eram totalmente horizontais e com 15m de comprimento, para a produção de painéis com tamanhos variados e em maior quantidade.

A empresa pesquisada utiliza tecnologia Finlandesa e padrões da norma unificada européia. Os painéis foram calculados como sendo bi-apoiados nas vigas, podendo ser utilizados em laje cogumelo.

As instalações seguiam por cima da laje e eram revestidas com capeamento.

Os alvéolos depois de montados recebem capa plástica para evitar a entrada de material durante a concretagem de capeamento.

Na montagem, após colocar-se um painel ao lado do outro, injetou-se concreto entre os vincos existentes. Por conseguinte, após a união dos painéis realizou-se o capeamento.

Necessitou-se de guias para a movimentação vertical até o local de aplicação.

#### 4.3. CONSTRUTIBILIDADE

Conforme os requisitos que permitem a construtibilidade descritos anteriormente no capítulo 2, pôde-se analisar as tipologias de laje pesquisadas.

##### 4.3.1. Aspectos que favorecem a construtibilidade

Desta forma os pontos observados a favor da construção das lajes foram:

Seqüência de construção

- o uso de concreto pré-moldado elimina atividades que demandariam mais tempo para serem executadas;

- a laje protendida elimina a etapa de montagem dos eletrodutos, pois foram deixadas as caixas de passagem na laje, transferindo estas atividades para outra etapa da obra;
- as lajes pré-moldadas combinam as etapas de montagem da fôrma e colocação da armadura positiva numa única atividade que é a colocação dos painéis.

#### Simplificação do projeto

- as lajes treliçadas apresentaram detalhamento do projeto e controle geométrico de seus elementos pré-moldadas, dispensando o uso de fôrma;
- o uso de concreto bombeado eliminou o transporte por carrinho de mão do caminhão betoneira até o local de aplicação do material;
- as obras em alvenaria estrutural, por não conterem pilares, não tem recortes nas fôrmas, além disto, o uso de armadura da canaleta pronta eliminou a produção em obra;
- a laje maciça em Aracaju, verificada nas visitas preliminares, por terem sido utilizadas fôrmas com faixa de reescoramento permitiu, a repetição maior do uso das mesmas. Foi agilizada também a montagem destas por estarem numeradas;
- as lajes que utilizaram escoras metálicas tiveram redução na quantidade de peças para escoramento, estas forneceram maior mobilidade na parte inferior do piso para a execução de outros serviços.

#### Padronização

- as lajes treliçadas já vem com armadura positiva o que elimina a necessidade de colocação destas na obra;
- a fôrma de alumínio usada na laje protendida, por ser formada de módulos e encaixes, diminui os cortes na obra;
- as escoras metálicas eliminam o encunhamento e as emendas, além de fornecerem maior precisão dimensional às peças;
- os espaçadores plásticos eliminaram a execução dos tabletes de argamassa;
- as taliscas de argamassa não necessitaram ser retiradas das mestras após a concretagem;

- as mestras metálicas eliminaram a confecção das em madeira e forneceram maior controle geométrico à construção;
- o uso dos blocos de poliestireno expandido (isopor) eliminou as quebras das tabelas e facilitou o corte por necessitar apenas de serrote.

#### Acessibilidade

- nas obras das lajes nervuradas 1 e 2, protendida moldada no local, maciças 1 e 2, vigotas pré-moldadas 1 e 2 os operários tiveram acesso aos projetos o que forneceu maior segurança no trabalho que estavam executando e produção mais precisa por conferência das medidas.

#### Novas ferramentas

- o rolo pé de carneiro da pré-laje foi criado especialmente para dar rugosidade a superfície.

### **4.3.2. Aspectos que prejudicaram a construtibilidade**

A seguir representam-se os pontos que prejudicaram a construtibilidade nas lajes pesquisadas:

#### Seqüência de construção

- na laje com vigota treliçada 2, houve inversão na colocação das instalações elétricas, após a montagem da armadura de distribuição, dificultando a primeira;
- o acréscimo de barras positivas na laje com painel treliçado, após a montagem das treliças criou mais uma atividade de execução, o que dificultou a passagem das barras entre a base da mesma e sua armadura negativa (5cm ao longo de 4m);
- as caixas de descida hidráulica colocadas após a montagem da armadura positiva sempre deslocavam estas, o que pode trazer prejuízos estruturais;
- as vigas chatas colocadas antes das caixas elétricas e de descida hidráulica causaram o deslocamento dos estribos. Como consequência, este local tornou-se inacessível para manutenção;
- nas lajes nervurada 1 e maciça 1 a concretagem dos pilares aconteceu junto com a do pavimento. Isto dificultou a execução do serviço por consumir muito concreto e atrasar o andamento da operação;

- a laje maciça 1, foi concretada em duas etapas para a colocação da junta de dilatação.

#### Simplificação do projeto

- os projetos das lajes moldadas no local não foram compatibilizados com os projetos de instalações. Nestas lajes não houve controle no recebimento dos materiais em obra;
- as cordoalhas vêm apenas de um fornecedor, criando dependência no fornecimento deste material;
- as lajes nervurada 1 e a maciça 2, foram usadas em varandas curvas o que dificultou o prumo, nível e esquadro;
- as cordoalhas não tinham simetria dimensional, nem na direção vertical nem na horizontal, o que necessitou de encarregado especializado para orientar a execução;
- o uso de laje mista e maciça no mesmo pavimento exigiu maior cuidado no nivelamento inferior da peça;
- a passagem dos eletrodutos pela capa das lajes, nervuradas e com vigotas, reduziu a seção de concreto;
- as que não tiveram mestras ou taliscas para a referência de nível horizontal ficaram sem planicidade, acarretando em prejuízos futuros quando da execução do contrapiso; no caso da alvenaria estrutural a colocação da primeira fiada ficou comprometida.

#### Padronização

- o uso do nível de mangueira com as cotas transferidas do ponto mais próximo levaram a propagação do erro nas medidas;
- as bainhas na laje protendida pesquisada tiveram que ser achatadas na obra (de 4cm para 2cm) e levadas até o pavimento com manuseio manual (40m de comprimento);
- nas lajes pré-moldadas mistas, foi criada uma atividade extra na colocação dos pontos elétricos e caixas de descidas devido ao fato de ter que substituir o bloco com uma pequena fôrma e escorar estes pontos especificamente;
- o uso de dois tipos de blocos na laje nervurada 1 criou uma atividade extra, que foi a de separar os blocos por local de aplicação.

### Acessibilidade

- quando as treliças apresentaram pequena altura (8cm), dificultam a passagem dos eletrodutos em seu interior por dar ao operário pouco espaço para a manipulação dos equipamentos.

As informações coletadas possibilitaram a retroalimentação do processo, com esclarecimentos em projetos futuros, para diminuir o número de decisões tomadas no canteiro, pois demandam tempo e nem sempre são as mais acertadas por serem alternativas rápidas onde não se tem tempo de avaliar o impacto desta decisão em toda a cadeia produtiva.

#### 4.4. PROJETO DE LAJE

Foram observados os projetos das lajes pesquisadas e se as obras seguiam o que estava especificado.

Os equipamentos utilizados, de forma geral, não foram especificados, sendo determinado pela empresa construtora. Somente a laje pretendida tinham esta especificação, pois requeria equipamento apropriado para a protensão das cordoalhas.

Observou-se que o projeto disponível para consulta de todos em obra minimiza os erros de locação cometidos pelos operários, pois as dúvidas podiam ser esclarecidas imediatamente consultando-se a planta, enquanto que, quando esta não se encontrava disponível tinha que esperar o encarregado para poder continuar a atividade de forma correta.

As verificações obtidas por meio dos projetos pesquisados são apresentadas no quadro 4.17 com legenda no final do quadro.

Quadro 4.17: Análise do projeto das lajes pesquisadas.

Lajes	Projeto na laje	Projeto de fôrma e escoramento	Aberturas	Detalhes	Crterios de escolha
M. 1	Não	- Rebaixos, disposição das guias, longarinas e barrotes, locação das vigas e assoalhos de laje		- Juntas de dilatação - Ligação das paredes e vigas com as lajes	Calculista
M. 2	Sim	- Não definição das peças de <i>madeirit</i> - Idem M. 1	Falsas paredes para a passagem dos tubos	- Vigas invertidas - Juntas de dilatação - Ligação das paredes e vigas com as lajes	

Quadro 4.17: Análise do projeto das lajes pesquisadas - continuação.

Lajes	Projeto na laje	Projeto de fôrma e escoramento	Aberturas	Detalhes	Critérios de escolha
N. 1	Sim	NBR 6118 (1982), retirada das escoras, cuidados pós-concretagem	- Poços de elevador delimitados por paredes maciças - Caixas de descidas e as elétricas colocadas no lugar de blocos	- Posição dos blocos - Juntas de dilatação - Ligação das paredes e vigas com as lajes	Empresa executora
N. 2	Sim	Não definição das peças de <i>madeirit</i>		- Juntas de dilatação - Ligação das paredes e vigas com as lajes	
P. 1	Não	São definidas as escoras e fôrmas de madeira	<i>Shafts</i> para embutimento de instalações no forro	- Posicionamento e elevação das cordoalhas - Juntas de dilatação - Ligação das paredes e vigas com as lajes	Calculista
V. P. 1	Sim	- Nervura de travamento, ponto de início e sentido de montagem das vigotas, comprimento das vigotas - Indicação de contra-flecha, das lajes e quantidade de vigotas, altura da tavela e da capa - Espaçamento do escoramento, descrição da armadura auxiliar e planta de fôrmas - Para a V. P. 2 não foi definido o número de vigotas	- Juntas de dilatação - Ligação das paredes e vigas com as lajes	Especificação das quantidades de vigotas à utilizar e sentido de montagem das mesmas na laje	Empresa executora
V. P. 2	Não		- Juntas de dilatação - Ligação das paredes e vigas com as lajes	Não foi especificado o número de vigotas	
V. T. 1	Não		As caixas de descidas e as elétricas foram colocadas no lugar de blocos	- Posição das escoras, distâncias entre painéis, ferragem negativa e positiva, início da montagem e encontro com vigas - Juntas de dilatação - Ligação das paredes e vigas com as lajes	Calculista
V. T. 2	Não			Idem N. 2.	
P. T. 1	Não			Idem V.T. 1 e N. 2.	

Onde: M - a laje maciça

N - nervurada

P - protendida moldada no local

V. P. - laje com vigota pré-moldada

V. T - laje com vigota treliçada

P. T. - laje em painel treliçado.

Para as obras em alvenaria estrutural, verificou-se a adoção de laje maciça, vigotas treliçadas e em painel treliçado. Neste tipo de estrutura considerou-se o efeito do vento nos pórticos e paredes. Um dos escritórios pesquisados utilizava a norma brasileira para projeto de lajes, complementando-o com os procedimentos da norma britânica BS 5628 (1992), que prevê a necessidade de armaduras especiais para evitar o colapso do prédio em caso de danos por acidente. Usava para isto, as canaletas da última fiada de respaldo da parede preenchidas com concreto armado para dar mais robustez às peças.

Nas lajes nervuradas utilizou-se vigas chatas que a tornava plana. Estas apresentaram problema quanto à distribuição dos blocos, pois segundo a norma, este tipo de laje tem sempre que terminar em uma nervura, que pode ser a própria viga chata. Inicialmente, distribui-se os blocos com as espessuras das nervuras. A medida que sobra – ou seja, que seria preenchida apenas com concreto – fica englobada à viga chata com o devido redimensionamento das armaduras buscando reduzir esta e ocupar o espaço vazio. Com isso, nos projetos havia o desenho da partida dos blocos junto às vigas chatas no caso de lajes sem continuidade.

Somente a laje nervurada 2 foi calculada como contínua e seguiu a recomendação descrita acima. Outra solução seria aumentar as dimensões das vigas, para que toda a área sujeita ao momento negativo estivesse protegida, pois se tiver blocos à compressão haverá o esmagamento dos mesmos e conseqüentes acidentes na estrutura.

A escolha do tipo de laje adotada para cada prédio foi geralmente feita pelo calculista, ou por exigência particular do cliente como foi o caso das lajes nervuradas, que atendem grandes vãos, além de proporcionar forma plana.

Na laje maciça 1 ocorreram problemas com as instalações elétrica ou sanitária, por se localizarem na direção das armaduras, forçando um pequeno deslocamento da mesma. Esta não é a solução mais indicada, pois a armadura é retirada do local para o qual foi designada.

Usualmente não é permitido a presença de caixas de descidas ou pontos elétricos dentro das vigas, sendo seu uso de responsabilidade do engenheiro construtor. Esta situação porém ocorreu na laje nervurada 1 com pontos dentro das vigas chatas.

Quando a empresa opta por uma laje plana, seja ela nervurada, pretendida moldada no local ou com vigotas treliçadas, esta busca o melhor aproveitamento do espaço construído na movimentação de materiais, uso de novas tecnologias e liberdade na locação das paredes internas.

#### 4.5. PRODUTIVIDADE

No cálculo da produtividade considerou-se o *lead time* como tempo total, pois este foi o tempo de processamento para a montagem do produto e incluiu os tempos de produção e tempo ocioso.

Foi investigada a produtividade para cada tarefa da produção das lajes com o objetivo de verificar a eficiência construtiva de cada etapa pesquisada para as mesmas. Observou-se as diferenças em termos de processos e quantidade de mão-de-obra.

O fator produtividade leva em consideração a carga horária despendida na realização da tarefa, a mão-de-obra empregada e a área (ou volume) de trabalho.

Com relação a mão-de-obra que trabalhou na execução da laje, foi observado o número de operários por metro quadrado ou metro cúbico (concretagem). O tipo de mão-de-obra utilizada também é importante pois está relacionado ao tipo de laje.

Na concretagem foram utilizados ajudantes de diversos serviços das obras e não apenas os que trabalham na estrutura.

Os tempos de execução encontram-se expostos na tabela 4.3. Esta tabela apresenta totais de produção das lajes, desconsiderando as dimensões das mesmas. Os itens destacados são de tempos consumidos com o transporte interno e com as inspeções. Estes foram gastos pelos operários da equipe para a totalização de cada etapa construtiva.

Tabela 4.3: Horas gastas na execução de cada tarefa observada.

Etapas	Maciça		Vigota Pré-moldada		Vigota Treliçada		Painel Treliçado	Nervurada	
	1	2	1	2	1	2	1	1	2
Obra	1	2	1	2	1	2	1	1	2
Transporte do escoramento	12	18	09	08	18	18	18	18	09
Transporte das fôrmas	12	18	09	--	--	--	--	18	09
Montagem do escoramento	20	36	09	08	09	18	18	99	26
Montagem das fôrmas	24	36	13	--	--	--	--	99	31
Ajuste das medidas	34	36	09	09	07	09	36	99	35
Nivelamentos	18	36	09	17	09	09	18	09	35
Aplicação de desmoldante	02	14	04	--	--	--	--	09	04
Colocação da armadura principal	13	18	--	--	--	--	18	09	04
Amarração da armadura principal	12	18	--	--	--	--	--	09	04
Colocação painéis pré-moldados	--	--	09	14	09	27	09	--	--
Colocação do material inerte	--	--	09	14	09	45	--	18	09
Passagem dos eletrodutos	12	09	09	08	11	13	09	09	13
Colocação descidas hidráulicas	01	14	05	05	09	09	05	15	04
Colocação da armadura auxiliar	04	09	05	05	18	23	09	18	09
Verificação dos materiais	06	19	04	04	03	09	01	09	05
Colocação dos espaçadores	02	09	04	--	--	--	--	09	09
Colocação das mestras	02	09	04	05	04	04	03	09	09
Verificação do nivelamento	01	04	01	02	02	09	03	01	01
Preparação do concreto emenda	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Lançamento do concreto	05	04	2.5	03	03	08	01	08	03
Adensamento do concreto	05	04	2.5	03	03	08	01	08	03
Espalhamento do concreto	05	04	2.5	03	03	08	01	08	03
Sarrafeamento	05	04	2.5	03	03	08	01	08	01
Rebaixes	--	--	2.5	--	--	08	--	08	--
Retirada das mestras	05	04	--	--	--	--	--	08	--
Colocação das esperas dos pilares	05	--	2.5	--	--	08	--	08	03

Tabela 4.3: Horas gastas na execução de cada tarefa observada – continuação.

Etapas	Maciça		Vigota Pré-moldada		Vigota Treliçada		Painel Treliçado	Nervurada	
	01	01	01	01	01	01	01	01	01
Cura do concreto	01	01	01	01	01	01	01	01	01
Desforma	06	09	04	05	04	05	04	09	09
Acabamento	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Limpeza das fôrmas	07	07	03	05	02	04	03	09	09
Total	219	340	135	122	127	251	159	532	248

A tabela 4.4 apresenta o número de operários utilizados para cada etapa pesquisada. Associando-os às horas gastas na execução das tarefas e a área de cada laje, pôde-se calcular a produtividade para cada micro etapa.

Tabela 4.4: Número de operários obra utilizados na execução de cada tarefa observada.

Etapas	Função do operário	Maciça		Vigota Pré-moldada		Vigota Treliçada		Painel Treliçado	Nervurada	
		1	2	1	2	1	2	1	1	2
Obra		1	2	1	2	1	2	1	1	2
Transporte do escoramento	Aj	04	01	04	04	02	04	02	02	04
Transporte das fôrmas	Aj	04	02	04	--	--	--	--	02	04
Montagem do escoramento	Ca	04	02	02	04	02	04	02	02	04
Montagem das fôrmas	Ca	03	02	02	--	--	--	--	02	04
Ajuste das medidas	Ca	04	02	01	04	01	02	02	02	04
Nivelamentos	Ca	04	02	02	04	02	02	02	02	04
Aplicação de desmoldante	Aj	01	02	01	--	--	--	--	01	01
Colocação da armadura principal	Ar	04	02	--	--	--	--	02	02	03
Amarração da armadura principal	Ar/Aj	04	02	--	--	--	--	--	02	03
Colocação dos painéis pré-moldados	Aj	--	--	04	04	04	04	03	--	--
Colocação do material inerte	Aj	--	--	06	04	04	04	--	02	02
Passagem dos eletrodutos	El/Aj	04	02	02	02	02	02	02	01	02
Colocação das descidas hidráulicas	En	01	01	01	01	02	01	01	02	01
Colocação da armadura auxiliar	Ar/Aj	02	02	02	05	07	02	02	02	03
Verificação dos materiais	Eng	02	01	01	01	02	03	01	01	01
Colocação dos espaçadores	Aj	01	01	01	--	--	--	--	01	01
Colocação das mestras	Ca/Aj	04	02	01	01	01	02	02	01	01
Verificação do nivelamento	Eng	01	01	01	02	01	03	02	01	01
Preparação do concreto com emenda	Aj	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Lançamento do concreto	Aj	01	02	04	02	01	02	02	04	04
Adensamento do concreto	Aj	02	02	02	02	02	02	01	02	02
Espalhamento do concreto	Aj	04	03	04	08	02	03	05	01	03
Sarrafeamento	Pe	02	02	01	02	03	02	02	01	01
Rebaixes	Pe	--	--	01	--	--	02	--	02	--
Retirada das mestras	Ca	02	01	--	--	--	--	--	01	--
Colocação das esperas dos pilares	Ca	02	--	01	--	--	01	--	01	01
Cura do concreto	Aj	01	01	01	01	01	01	01	01	01
Desforma	Ca	03	02	02	03	01	02	02	03	05
Acabamento	Pe	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Limpeza das fôrmas	Aj	02	02	01	01	01	01	01	03	03

Legenda:

Aj – ajudante

Ca- carpinteiro

Eng – engenheiro de campo

Ar – armador

En – encanador

El – eletricitista

Pe – pedreiro

Os valores em branco significam que não existe a atividade para aquela laje. Uma observação deve ser feita quanto a obra 1 da laje com vigota pré-moldada, na qual foi utilizada fôrma em algumas partes da mesma. As atividades de aplicação de conexões e impermeabilização foram retiradas da tabela por não terem sido observadas em nenhuma das obras pesquisadas.

Nas obras em alvenaria estrutural observou-se polivalência dos operários. As quantidades dos operários utilizados e as horas totais consumidas para as lajes pesquisadas podem ser verificada nas figuras 4.26 e 4.27.

Mais de 80% do tempo ganho na execução da laje foi gasto em tempos produtivos, outros 15% foram utilizado para os deslocamentos durante o transporte de material.

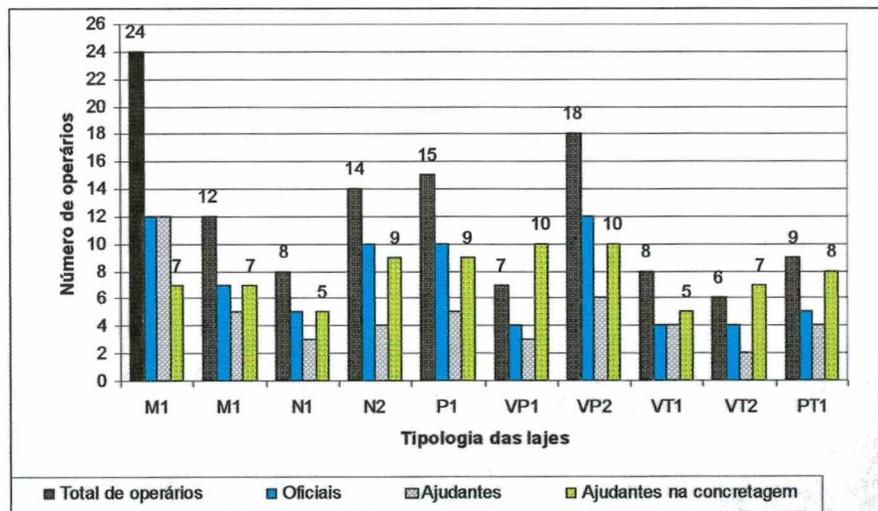


Figura 4.26: Distribuição dos operários pelas lajes pesquisadas.

As lajes nervuradas, vigota treliçada 2 e vigota pré-moldada 2 distribuíram os materiais estocados próximos a laje, diminuindo o tempo de transporte destes até o pavimento.

As lajes maciça 1, vigota treliçada 2 e vigota pré-moldada 2 puderam garantir as medidas das peças constituintes, pois nestas dedicou-se maior tempo na inspeção dos

materiais aplicados, minimizando desta forma o futuro consumo de recursos para a correção geométrica.

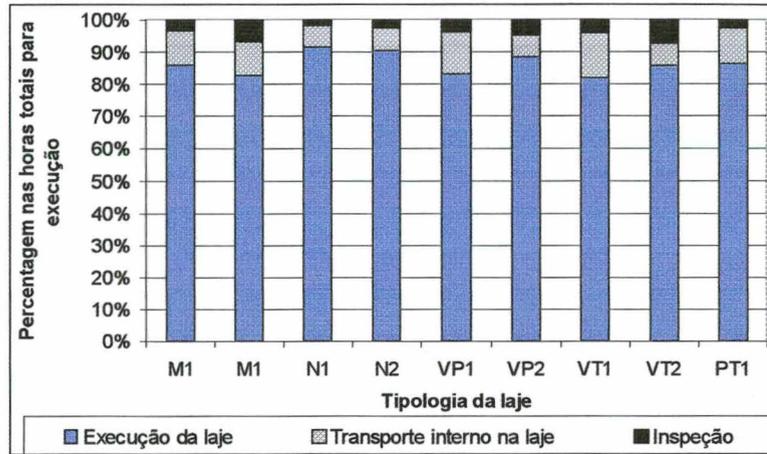


Figura 4.27: Distribuição das horas totais utilizadas por metro quadrado de laje.

Legenda: M – laje maciça  
 N – nervurada  
 P – protendida moldada no local  
 VP – vigota pré-moldada  
 VT – vigota treliçada  
 PT – painel treliçado

A tabela 4.5 contém os tempos reais gastos na produção mediante acompanhamento das redes de precedência mostradas anteriormente. Considerou-se que várias atividades ocorriam paralelamente. Quando isto aconteceu o valor computado foi sempre o da atividade que levou mais tempo para ser executada.

As lajes que apresentaram montagem mais rápida foram a laje com vigota pré-moldada 2 e com vigota treliçada 1. Todas as pré-moldadas não necessitam da atividade de montagem de fôrma.

As lajes que levaram mais tempo para serem montadas foram primeiramente a nervurada 1, por motivos de redução dos recursos financeiros com conseqüente redução no quadro de funcionários, a segunda foi a laje maciça 2.

Tabela 4.5: Tempos reais gastos na produção total de cada laje.

Etapas	Maciça		Vigota Pré-moldada		Vigota Treliçada		Painel Treliçado	Nervurada	
	1	2	1	2	1	2	1	1	2
Tempo gasto (horas)	194	300	112	108	109	213	148	479	227
Área do pavimento tipo (m <sup>2</sup> )	331,40	300,00	215,26	467,28	123,28	375,00	250,52	436,00	707,70

Das tabelas 4.3 e 4.4 foram gerados os valores de produtividade presentes nas tabelas 4.6 a 4.11, onde as atividades foram separadas por conjuntos de operações. A

seqüência de execução destas pode ser verificada em fluxos nas figuras 3.2 e 3.3. Estes são calculados por meio da fórmula citada no capítulo 3:  $Hh/m^2$ .

Estes valores tratam das produtividades individuais para cada micro operação.

Esta refere-se ao número de operários utilizados, associados às horas necessárias para realizar a tarefa. Para a concretagem a unidade usada foi o metro cúbico.

Quanto menor o valor numérico da produtividade melhor será o desempenho dos operários em cada parte da execução e conseqüentemente do tipo de laje pesquisado.

Algumas etapas foram desconsideradas, como por exemplo conexão, emenda de concreto, impermeabilização e limpeza. Por não estarem presentes nas obras pesquisadas e no caso da impermeabilização devido ao fato desta ser uma etapa futura não observada durante a realização da pesquisa.

A avaliação refere-se a qualidade das lajes pesquisadas, sendo portanto, verificada a execução de um pavimento de laje para cada tipo citado. Procurou-se fazer uma comparação entre serviços semelhantes para os tipos pesquisados.

As atividades transporte de fôrma, montagem de fôrma e desmoldagem são, de forma geral, serviços de lajes moldadas no local (tabela 4.6).

Tabela 4.6: Produtividade da montagem da fôrma (homem x hora / m<sup>2</sup>).

Etapas	Maciça		Vigota Pré-moldada		Vigota Trelaçada		Painel Trelaçado	Nervurada	
	1	2	1	2	1	2	1	1	2
Transporte das escoras	0.15	0.06	0.17	0.07	0.29	0.19	0.14	0.08	0.05
Transporte das fôrmas	0.15	0.12	0.17	-----	-----	-----	-----	0.08	0.05
Montagem das escoras	0.24	0.24	0.08	0.07	0.15	0.19	0.14	0.45	0.15
Montagem das fôrmas	0.22	0.24	0.12	-----	-----	-----	-----	0.45	0.18
Ajuste	0.41	0.24	0.04	0.08	0.06	0.05	0.29	0.45	0.20
Nivelamentos	0.22	0.24	0.08	0.15	0.15	0.05	0.14	0.04	0.20
Desmoldante	0.01	0.09	0.19	-----	-----	-----	-----	0.02	-----
Total	1.40	1.23	0.85	0.37	0.65	0.48	0.71	1.57	0.83

Na tabela 4.7 para a montagem da laje a colocação da armadura principal, nas moldadas no local, teve produtividade mais elevada para as lajes nervuradas do que para as maciças, pois as primeiras apresentaram armaduras positivas apenas nas nervuras.

Para as pré-moldadas a colocação dos painéis teve produtividade elevada para a laje com painel trelaçado 1, já que neste caso não se necessita intercalar os painéis com blocos, basta só colocar um ao lado do outro.

As produtividades foram mais baixas para o serviço de montagem dos eletrodutos para as lajes maciça 1 e com vigotas trelaçadas 1. Na primeira devido a malha de ferro ser muito pesada, o que dificultou a realização de serviço de montagem.

Na segunda os blocos tinham 30cm de espessura, sendo necessário colocar curvas para que o eletroduto descesse até o ponto elétrico.

Para as descidas hidráulicas a laje com vigota treliçada 1 foi a que apresentou produtividade mais baixa em comparação com as demais lajes mistas, devido a profundidade dos blocos (30cm). Também para esta, o valor da produtividade para a montagem da armadura auxiliar foi o mais baixo do grupo, pela dificuldade em locomover-se pela laje, pisando apenas nas treliças.

Tabela 4.7: Produtividade da montagem da laje (homem x hora / m<sup>2</sup>).

Etapas	Maciça		Vigota Pré-moldada		Vigota Treliçada		Painel Treliçado	Nervurada	
	Obra	1	2	1	2	1	2	1	2
Armadura Principal	0.16	0.12	-----	-----	-----	-----	-----	0.04	0.02
Amarração	0.15	0.12	-----	-----	-----	-----	-----	0.04	0.02
Painéis	-----	-----	0.17	0.12	0.29	0.29	0.11	-----	-----
Material inerte	-----	-----	0.25	0.12	0.29	0.48	-----	0.08	0.03
Eletrodutos	0.15	0.06	0.08	0.03	0.18	0.07	0.07	0.02	0.04
Descidas hidráulica	0.02	0.05	0.02	0.01	0.15	-----	0.02	0.07	0.01
Armadura Auxiliar	0.02	0.06	0.05	0.05	1.02	0.12	0.07	0.08	0.04
Total	0.50	0.41	0.57	0.33	1.93	0.96	0.27	0.33	0.16

Na preparação para a concretagem (tabela 4.8) os espaçadores foram colocados apenas nas lajes moldadas no local e para estas a laje maciça 2 foi a que apresentou valor mais baixo de produtividade. Na laje nervurada 2 não foi utilizado qualquer material para garantir o recobrimento das armaduras. Isto contribuiu para aumentar a produtividade, porém pode causar retrabalhos ou consumo de mais material quando da realização do contrapiso, em virtude do incorreto nivelamento da laje.

A colocação de referências de nível horizontais teve produtividade mais elevada para as lajes que utilizaram taliscas, como as vigotas pré-moldadas 1 e 2, vigota treliçada 2 e as nervuradas 1 e 2.

Novamente, a verificação do nivelamento teve produtividade baixa para a laje com vigota treliçada 2 em virtude da não frequência de técnico responsável na obra, o que levou a demoras na realização do serviço.

Tabela 4.8: Produtividade da preparação para concretagem (homem x hora / m<sup>2</sup>).

Etapas	Maciça		Vigota Pré-moldada		Vigota Treliçada		Painel Treliçado	Nervurada	
	Obra	1	2	1	2	1	2	1	2
Verificação dos materiais	0.04	0.06	0.02	0.01	0.05	0.07	0.01	0.02	0.01
Colocação dos espaçadores	0.01	0.03	0.02	-----	-----	-----	-----	0.02	-----
Colocação das mestras	0.02	0.06	0.02	0.01	0.03	0.02	0.02	0.02	0.01
Verificação nível	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.07	0.02	0.01	0.00
Total	0.08	0.16	0.07	0.03	0.10	0.16	0.05	0.07	0.02

A laje com vigota treliçada 2 apresentou a produtividade mais baixa para o grupo das atividades de concretagem (tabela 4.9). Já para o espalhamento do concreto a vigota treliçada 2 obteve produtividade baixa, devido a problemas com quebra dos blocos durante a concretagem da laje.

No lançamento do concreto a nervurada 1, apresentou a produtividade mais baixa, pois os pilares eram concretados juntamente com a laje e as vigas.

Tabela 4.9: produtividade da concretagem (homem x hora / m<sup>2</sup>).

Etapas	Maciça		Vigota Pré-moldada		Vigota Treliçada		Painel Treliçado	Nervurada	
	Obra	1	2	1	2	1	2	1	2
Lançamento do concreto	0.07	0.29	0.35	0.92	0.13	0.70	0.09	1.33	0.33
Adensamento do concreto	0.15	0.29	0.17	0.18	0.27	0.70	0.05	0.67	0.17
Espalhamento do concreto	0.29	0.43	0.35	0.73	0.27	1.04	0.23	0.33	0.25
Total	0.51	1.01	0.87	1.83	0.67	2.44	0.37	2.33	0.75

Para a regularização das superfícies (tabela 4.10) o sarrafeamento do concreto teve as produtividades mais baixas para as lajes com vigota treliçada 1 e nervurada 1. Isto foi devido ao fato destas não utilizarem mestras no controle geométrico das peças sendo, portanto, o sarrafeamento orientado pelo mestre de obra que se guiava pelas vigas de bordo.

Neste grupo somente as maciça 1 e nervurada 2 apresentaram o uso de mestras com sua conseqüente retirada após a concretagem, o que necessitou de tempo para a desmontagem deste material.

Tabela 4.10: Produtividade da regularização das superfícies (homem x hora / m<sup>2</sup>).

Etapas	Maciça		Vigota Pré-moldada		Vigota Treliçada		Painel Treliçado	Nervurada	
	Obra	1	2	1	2	1	2	1	2
Sarrafeamento do concreto	0.15	0.29	0.09	0.18	0.40	0.70	0.09	0.33	0.03
Rebaixos	-----	-----	0.01	-----	-----	0.04	-----	0.04	-----
Retirada das mestra	0.03	-----	-----	-----	-----	-----	-----	0.02	-----
Total	0.18	0.29	0.10	0.18	0.40	0.74	0.09	0.39	0.03

No grupo serviços finais (tabela 4.11), a desforma assim como a limpeza teve valores de produtividade mais elevados para as lajes pré-moldadas, já que estas necessitam apenas a retirada do cimbramento e do escoramento.

Tabela 4.11: Produtividade dos serviços finais (homem x hora / m<sup>2</sup>).

Etapas	Maciça		Vigota Pré-moldada		Vigota Treliçada		Painel Treliçado	Nervurada	
	1	2	1	2	1	2	1	1	2
Colocação das esperas dos pilares	0.03	-----	0.01	-----	-----	0.02	-----	0.02	0.01
Cura do concreto	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00
Desforma	0.05	0.01	0.04	0.03	0.03	0.03	0.03	0.06	0.06
Limpeza das fôrmas	0.04	0.05	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.06	0.04
Total	0.13	0.07	0.07	0.05	0.06	0.07	0.05	0.14	0.11

Os valores totais das produtividades dos grupos para os diversos tipos de lajes pesquisadas encontram-se na tabela 4.12.

Nesta tabela a laje com vigota treliçada 1 foi a que apresentou maior dificuldade de execução nas operações montagem da laje, montagem da fôrma e preparação para a concretagem. Isto ocorreu porque esta era armada nas duas direções com blocos tipo canaleta em um dos lados (dificuldade de pisar nos mesmos) e com 30 cm de altura.

As lajes com vigota pré-moldada 1 e vigota treliçada 2 apresentaram dificuldades no grupo concretagem, pois tinha que ter maior atenção para minimizar os riscos devido a quebra de material.

A laje nervurada 2 foi a que apresentou maior facilidade de construção nos grupos. Uma vez que esta tinha velocidade na execução destes serviços.

A produtividade da laje está relacionada ao conjunto de fatores intervenientes que vão desde a quantidade de mão-de-obra até o planejamento do processo construtivo.

Tabela 4.12: Valores totais de produtividade para os grupos de atividades(homem x hora/m<sup>2</sup>).

Etapas	Maciça		Vigota Pré-moldada		Vigota Treliçada		Painel Treliçado	Nervurada	
	1	2	1	2	1	2	1	1	2
Montagem da fôrma	1.40	1.23	0.85	0.37	0.65	0.48	0.71	1.57	0.83
Montagem da laje	0.50	0.41	0.57	0.33	1.93	0.96	0.27	0.33	0.16
Preparação para a concretagem	0.08	0.16	0.07	0.03	0.10	0.16	0.05	0.07	0.02
Concretagem	0.51	1.01	0.87	1.83	0.67	2.44	0.37	2.33	0.75
Regularização das superfícies	0.18	0.29	0.10	0.18	0.40	0.74	0.09	0.39	0.03
Serviços finais	0.13	0.07	0.07	0.05	0.06	0.06	0.05	0.14	0.11
Total	2.80	3.17	2.53	2.79	3.81	4.84	1.54	4.83	1.90

As lajes com vigotas treliçadas e as com vigotas pré-moldadas possuem processo de montagem semelhantes com colocação do escoramento, vigotas e blocos. Porém os blocos de isopor da treliçada têm maior área (12x40x125cm) que as tabelas (7x20x25cm), logo permite maior velocidade de montagem. Os blocos podem ser

serrados enquanto que as tabelas necessitam de quebra quando o espaço é insuficiente. A colocação dos blocos influencia então no resultado da produtividade, de acordo com o aproveitamento que a empresa faz dos recursos e materiais utilizados.

#### 4.6. SITUAÇÃO DAS CONSTRUÇÕES EM RELAÇÃO A NORMALIZAÇÃO

##### a) NORMAS EXISTENTES

Não existem atualmente no Brasil normas para todas as situações de lajes executadas. Segundo os calculistas entrevistados utilizaram para as maciças em alvenaria estrutural a BS 5628 (1992), no que se refere a ligação entre a peça e a estrutura resistente. Para as treliçadas os projetistas usaram a norma européia.

Não existe ainda, para cada tipo de laje pré-moldada, de forma particular normalização própria. Os projetistas e os construtores seguem a NBR 6118 (1982), a NBR 6119 (1980) para o cálculo e execução de lajes mistas, a NBR 7197 (1982) com especificações para cálculo e execução de lajes protendidas e a NBR 9062 (1985) para projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado. Seus usos são restritos a situações que não exijam cargas maiores ou concentradas.

Um exemplo, é o caso da laje em painel treliçado. Esta tipologia seria adotada para um dos prédios pesquisados, mas seu uso foi impedido devido a presença de paredes estruturais que nasciam em cima da mesma sem qualquer apoio. Como solução mudou-se a laje para vigota treliçada armada nas duas direções.

A NBR 5716 (1982) aborda os componentes em blocos cerâmicos, de concreto ou outro material para as lajes mistas.

##### b) CANTEIROS DE OBRA

Somente em uma das obras pesquisadas havia mão-de-obra sub-empregada.

De forma geral, a execução em obra seguiu o especificado nas normas. Pode-se citar porém que a retirada de pregos e arames (NBR 7678, 1983) não foi realizada na maioria das obras pesquisadas, ficando estes materiais incorporados à laje durante a concretagem.

O item referente ao controle das medidas para o nivelamento das peças constituintes da estrutura não foi seguido totalmente, pois não foi feita a conferência das medidas após serem locadas estas peças.

O uso de pranchas de madeira para o deslocamento dos operários pela laje depois da montagem da armadura não foi freqüente, estando presente apenas para as pré-moldadas.

Verificou-se também o supervisionamento da concretagem por pessoa habilitada, nas obras acompanhadas, para evitar deslocamentos da armadura e fôrma e vibrações excessivas.

A NBR 6118 (1982), que trata do projeto e da execução das estruturas de concreto armado, fixa os tempos para a retirada do escoramento e o sentido desta retirada. As empresas seguiram estes tempos, sendo suas escoras desformadas ou na data mínima recomendada ou em data posterior dependendo do andamento da montagem da laje seguinte.

## **CAPÍTULO 5 - CONCLUSÃO**

### **5.1. CONCLUSÕES**

O trabalho procurou avaliar os projetos e etapas de construção das diferentes tipologias de laje em uso na cidade de Florianópolis.

As observações realizadas possibilitaram a elaboração de material didático que detalha as etapas de execução das lajes, objetivando principalmente colaborar com a qualidade final do produto.

#### **5.1.1. Projeto**

Os projetos das lajes estudadas apresentam dificuldade de entendimento. Os projetistas parecem preocupar-se somente com os problemas estruturais, não atentando para aspectos relacionados com a construtibilidade. Por esta razão, por exemplo, ocorre a sobreposição das instalações, resultando em deslocamento das ferragens do seu local de aplicação.

O projeto, ao ser bem detalhado, evita este tipo de problema e eleva a qualidade do produto final. Consequentemente provoca a redução do prazo de entrega da obra, ao minimizar problemas relacionados com as demoras causadas pela má interpretação dos procedimentos.

As empresas dispunham de técnicas e materiais que já faziam parte de sua história. Estes foram, portanto, fatores determinantes na escolha dos tipos de lajes. Porém, a necessidade de piso plano, foi a razão para a escolha das lajes nervuradas e protendida moldada no local.

Uma laje pode ser mais adequada a uma determinada empresa em função das necessidades da obra, das limitações de cálculo, dos recursos disponíveis e da aplicação da construtibilidade por meio de projetos para uma correta execução do planejado em obra.

### 5.1.2. Processo produtivo

Geralmente a montagem das lajes é baseada no conhecimento adquirido ao longo do tempo pelos engenheiros, mestres e operários, não existe a disponibilidade de documentação provida de detalhes para auxiliar na execução das lajes.

Como agravante pôde-se verificar problemas como programação descontínua dos serviços a serem executados e ainda deparou-se com obras que não apresentavam níveis de controle geométrico anterior e posterior à execução do serviço, não apresentando então estas atividades de inspeção.

O uso de inovações tecnológicas e a industrialização dos materiais evitariam atividades desnecessárias combinando operações ou elementos e garantiriam maior precisão dimensional na produção, simplificando o trabalho.

A colocação do cimbramento, a montagem das fôrmas, a marcação dos pontos de luz e a montagem da armadura negativa e de distribuição são pontos estratégicos na montagem das lajes, pois o cimbramento e a colocação das fôrmas permitem que seja formado o plano para se iniciar a montagem desta. Já a marcação dos pontos de luz libera a montagem da armadura positiva e dos eletrodutos.

Para dar maior velocidade de produção à laje, foram introduzidas inovações tecnológicas sugeridas pela própria empresa – tripé plástico para o sarrafeamento do concreto, pelos operários – sarrafos amarrados diretamente na ferragem para auxiliar no sarrafeamento do concreto - ou pelos fornecedores. Na laje com painel treliçado sua tecnologia não pôde ser totalmente explorada por não serem utilizadas medidas de referência de nível precisas, como foi o caso das escoras em toras de madeira e o uso de nível de mangueira para o nivelamento de toda a edificação.

Os fornecedores introduziram nos canteiros soluções construtivas, como o uso da fôrma de alumínio na laje nervurada 1, inicialmente colocada para teste, e posteriormente utilizada em uma outra obra da empresa. Destacam-se características como leveza, pouca deformação quando da desforma e velocidade de montagem.

As lajes mistas apresentaram como desvantagem a necessidade de maiores cuidados no que se refere aos deslocamentos e a ocorrência de quebras durante a concretagem.

Sugerem-se medidas simples para criar soluções que possibilitam melhor transparência do canteiro.

### 5.1.3. Construtibilidade

Por intermédio da explosão do processo de execução da laje pôde-se identificar quais os pontos críticos desta produção, bem como as etapas interdependentes, colaborando assim para a programação adequada da tipologia escolhida.

Por meio da análise dos projetos e da observação dos processos de construção nos canteiros, foi possível elaborar um roteiro seqüencial das operações necessárias à montagem das tipologias observadas, estabelecendo um registro de deficiências de concepção das lajes analisadas.

Ao utilizar essa seqüência de operações pôde-se verificar e relatar o aperfeiçoamento no processo de sua simplificação, combinação com outros elementos, eliminação de etapas, ou mesmo alteração de precedências.

A programação das operações deveria ser feitas de acordo com as redes de precedência para o método de construção adotado, fazendo esta análise no anteprojeto.

Observou-se nas obras pesquisadas que a rapidez na montagem do processo construtivo alterou a seqüência das operações dos materiais da laje, como é o caso das caixas elétricas que normalmente são demarcadas e fixadas antes da colocação da armadura principal. Neste caso ocorreu o deslocamento da armadura para a colocação das caixas.

O tipo de laje define o perfil produtivo da empresa por meio dos requisitos de construtibilidade adotados na produção.

Quanto maior a quantidade de requisitos construtivos atendidos maior serão os ganhos para a empresa no aproveitamento dos recursos utilizados.

De forma geral as lajes nervurada e a painel treliçado foram as que apresentaram facilidade de construção na maioria das atividades desenvolvidas. A laje em vigota treliçada foi a que apresentou maior dificuldade na execução dos serviços de montagem.

Por meio dos itens que permitem a construtibilidade, seqüência construtiva e aspectos positivos e negativos para cada tipo de laje pesquisada, pode-se definir a escolha pelo tipo de laje.

## 5.2. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

O projeto e o processo de montagem de lajes é um ponto importante no processo construtivo de edifícios, e como pôde ser visto, apresenta ainda vários problemas

independente da tipologia utilizada pelas empresas. Para procurar minimizar estes sugere-se o desenvolvimento dos trabalhos abaixo.

Primeiramente, estudos sobre custos dos diversos tipos de laje, em que avalia-se o investimento financeiro e material necessários para a correta execução das tipologias analisadas. Nestes trabalhos devem ser estudados os pesos das despesas na aquisição de material, do pagamento da mão-de-obra necessária e da locação ou aquisição de equipamentos específicos. Estas análises seriam instrumentos de auxílio para as empresas tomarem decisão sobre o tipo de laje a utilizar em determinado investimento.

Num segundo momento elaborar procedimentos de normalização de projeto e execução para as lajes pré-moldadas cujas especificações não se encontram na forma de norma vigente no Brasil. As lajes com vigota treliçada, laje em painel treliçado e a pré-laje não são normalizadas. Por esta razão, para os cálculos das mesmas são utilizadas normas estrangeiras, sendo adaptadas pelos projetistas a nossa realidade. Estas poderiam ser estudadas para auxiliar na elaboração de procedimentos e especificações de projeto.

Sugere-se proceder a quantificação da interferência do nível de detalhamento dos projetos de laje na qualidade do produto final, em termos do consumo de material utilizado além do programado, proveniente de regularização de imperfeições ou retrabalhos, como resultado da interpretação falha dos projetos.

Quantificar também esta interferência no tempo de execução das lajes, uma vez que quando bem detalhada evitará o surgimento de esperas para a interpretação do projeto ou mesmo retrabalhos por má interpretação do mesmo.

O acesso direto dos operários aos detalhes construtivos seria facilitado se os projetos colocados no pavimento fossem disponibilizados em formato A4, que facilitariam sobremaneira o manuseio e a clareza no processo produtivo.

Neste trabalho foi acompanhada a execução da laje pretendida moldada no local de forma aderente. Propõe-se a identificação do processo construtivo da laje pretendida moldada no local de forma não aderente para fazer uma comparação entre ambas, buscando detectar as vantagens, facilidade de construtibilidade e limitações desta última durante a execução do processo construtivo.

Sugere-se o estudo da logística de canteiro para as lajes pré-moldadas, uma vez que estas necessitam de locais adequados para o armazenamento de seus elementos estruturais. Deste modo, deve-se analisar este tipo de laje quanto ao transporte e armazenamento dos materiais componentes de forma a otimizar a execução das mesmas.

Propõe-se o estudo dos comportamentos estruturais de lajes constituídas de outros materiais além do concreto. Refere-se aqui ao uso de blocos (cerâmicos, de concreto, de concreto celular e de poliestireno expandido) e materiais que possam ser agregados à laje para aumentar as suas propriedades de conforto térmico, resistência e redução de recursos financeiros empregados.

## CAPÍTULO 6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALARCÓN, L. F., MARDONEZ, D. A. Improving the design-construction interface In: CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 6, 1998, Guarujá. *Proceedings...* Guarujá, 1998. 12p.
- Alvenaria estrutural: guia prático de execução*. 1ª edição. Florianópolis: BLOCAUS pré-fabricados LTDA, 18p.
- ANDERSON, S. D., FISHER, D. J., RAHMAN, S. P. Constructability issues for highway projects. *Journal of Construction Engineering and Management*, v.15, n.3, May/June, 1999, p.60-68.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT. *Cálculo e execução de lajes mistas: procedimento*. NBR 6119. Rio de Janeiro: Nov., 1980, 4p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT. *Cálculo e execução de obras de concreto protendido*. NBR 7197. Rio de Janeiro: 1982, 22p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT. *Componentes de cerâmica, de concreto ou de outro material utilizado em lajes mistas na construção coordenada modularmente*. NBR 5716. Rio de Janeiro: 1982, 2p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT. *Preparo, controle e recebimento de concreto*. NBR 12655. Rio de Janeiro: Jun., 1992, 7p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT. *Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado: procedimento*. NBR 9062. Rio de Janeiro: Set., 1985, 66p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT. *Projeto e execução de obras de concreto armado: procedimento*. NBR 6118. Rio de Janeiro: 1982, 76p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT. *Segurança na execução de obras e serviços de construção*. NBR 7678. Rio de Janeiro: Nov., 1983, p.92-107 e 64-68.
- BARROS, M. M. S. B., MELHADO, S. B. *Produção de estruturas de concreto armado de edifícios*. São Paulo: EPUSP, 1993. (Série Texto Técnico, TT/PCC/04). 40p.
- BATISTA, A. M. Fôrmas de madeira e cimbramento metálicos: reflexões sobre a sua aplicação. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE MADEIRA E DE ESTRUTURAS

- DE MADEIRA - EBRAMEM, 6., 1998, Florianópolis. *Anais...* Florianópolis, 1998, v.4, p.385-394.
- BRITISH STANDARD. Code of practice for: use of masonry. Part 1. *Structural use of unreinforced masonry*. BS 5628. 1992, 58p.
- BRITISH STANDARD. Code of practice for: use of masonry. Part 3. *Materials and components, design and workmanship*. BS 5628. 1992, 99p.
- CALIL JUNIOR, C. *Fôrmas de madeira para concreto armado: SET 613 complementos de estruturas de madeira*. Nota de aula. Escola de Engenharia de São Carlos. Departamento de Engenharia de Estruturas. Laboratório de Madeira e Estruturas de Madeira, Universidade de São Paulo. São Carlos, 1997, 71p.
- CASTILLO, V. A. G. *Guia para la innovacion tecnologica en la construccion*. Primera edición. Ediciones Universidad Catolica de Chile, 1997, 306p.
- Construction Management Committee of the ASCE Construction Division. Constructability and constructability programs: white paper. *Journal of Construction Engineering and Management*, v. 117, n. 1, Mar., 1991, p. 67-89.
- CONTADOR, J. L. Padrões de produção pela técnica de decomposição de operações. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 17., 1997, Gramado - RS. *Anais...* Gramado, 1997, 10p.
- CRUZ, A. L. G., RODRIGUES, C. T., NOVAES, A. G. Modelo logístico para a construção civil. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO – QUALIDADE NO PROCESSO CONSTRUTIVO, 7., 1998, Florianópolis. *Anais...* Florianópolis, 1998, v. 2, p.81-89.
- DI PIETRO, J. E. *Projeto, execução e produção de lajes com vigotes pré-moldados de concreto*. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Pós-graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 1993, 99p.
- DI PIETRO, J. E. Elementos para discussão de uma norma para lajes pré-moldadas. In: ENCONTRO NACIONAL DO AMBIENTE CONSTRUÍDO – QUALIDADE E TECNOLOGIA NA HABITAÇÃO, 6., 1995, Rio de Janeiro. *Anais...* Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, Nov. 1995, v. 2, p.473-479.
- DUNSTON, P. S., WILLIAMSON, C. E. Incorporating maintainability in constructability review process. *Journal of Construction Engineering and Management*, v. 15, n. 5, September/October, 1999, p.56-60.

- ELDIN, N. N. Impact of employee, management and process issues on constructability implementation. *Construction Management and Economics*, v.17, 1999, p.711-720.
- FAJERSZTAJN, H., LANDI, F. R. *Fôrmas para concreto armado – aplicação para o caso do edifício*. São Paulo: EPUSP, 1992. (Série Boletim Técnico, BT/PCC/60). 11p.
- FUSCO, P. B. *Estruturas de Concreto: Fundamentos do Projeto Estrutural*. 1ª edição. São Paulo: McGrall Hill do Brasil Ltda., 1997, 298 p.
- GAMBATESE, J. A., McMANUS, J. F. The constructibility review process: a constructor's perspective. *Journal of Construction Engineering and Management*, January/February, 1999, p.93-94.
- GRIFFITH, A. An investigation into factors influencing buildability and levels of productivity for application to selecting alternative design solutions – a preliminary report. CIBW65. v. 2, 1987, p. 646-657.
- GRIFFITH, A., SIDWELL, A. C. *Constructability in building and engineering projects*. England: Macmillan press ltd., 1995, 182p.
- HANLON, E. J., SANVIDO, V. E. Constructability information classification scheme. *Journal of Construction Engineering and Management*, v.121, n. 2, Dec., 1995, p.337-345.
- HEINECK, L. F. *On the Analyses of Activity Durations on Three House Buildings Sites*. University of Leeds. Inglaterra, 1983. Tese de Doutorado, 275p.
- HENDRY, A. W., SINHA, B. P., DAVIES, S. R. *Design of masonry structures*, 3ª edição, London: E & FN SPON, 1997.
- KOSKELA, L. Application of the new production philosophy to construction. *TECHNICAL REPORT 72*, 1992, 75p.
- KOSKELA, L. Lean production in construction. In: CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 1., 1993, Espoo. *Proceedings...* Espoo, 1993, p.1-9.
- MELHADO, S. B., AGOPYAN, V. *O conceito de projeto na construção de edifícios: diretrizes para sua elaboração e controle*. São Paulo: EPUSP, 1995. (Série Boletim Técnico, BT/PCC/139). 20p.
- NASCIMENTO, C. E. H., FORMOSO, C. T. Método para avaliar o projeto do ponto de vista da produção. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO – QUALIDADE NO PROCESSO CONSTRUTIVO, 7., 1998, Florianópolis. *Anais...* Florianópolis, 1998, v. 2, p.151-158.

- NAPPI, S. C. B. *Análise comparativa entre lajes maciças, com vigotes pré-moldados e nervuradas*. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Pós-graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 1993, 85p.
- PARK, R. *Reinforced concrete slabs*. 1ª edição. New York: J. Wiley, 1980, 618p.
- PEREIRA, V. F. *Considerações sobre o projeto de lajes nervuradas armadas em duas direções*. Armações Treliçadas PUMA. 1997, 12 p.
- O'CONNOR, J. T., DAVIS, V. S. Constructibility improvement during field operations. *Journal of Construction Engineering and Management*, v.114, n. 4, December, 1988, p.548-564.
- O'CONNOR, J. T., LARIMORE, M. A., TUCKER, R. L. Collecting constructability improvement ideas. *Journal of Construction Engineering and Management*, v.112, n. 25, May, 1987a, p.463-475.
- O'CONNOR, J. T., RUSCH, S. E., SCHULZ, M. J. Constructability concepts for engineering and procurement. *Journal of Construction Engineering and Management*, v.113, n. 2, June, 1987b, p.235-248.
- O'CONNOR, J. T., TUCKER, R. L. Industrial project constructability improvement. *Journal of Construction Engineering and Management*, v.112, n. 1, Mar., 1986, p.69-81.
- OLIVEIRA, R. R. Repetição e produtividade na construção civil: estudo da execução de estruturas de edifícios. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 17, 1997, Gramado - RS. *Anais...* Gramado, 1997, 7p.
- OLIVEIRA, R. R. Sistematização e listagem de fatores que afetam a construtibilidade das alvenarias estruturais. In: INTERNATIONAL SEMINAR ON STRUCTURAL MASONRY FOR DEVELOPING COUNTRIES, 5, 1994, Florianópolis. *Proceedings...* Florianópolis, 1994, p.417-426.
- Produção, avaliação e controle de qualidade para lajes pré-moldadas com vigotes de concreto armado*. 199\_, 18p.
- ROMAN, H. R., MUTTI, C. N., ARAÚJO, H. N. *Construindo em alvenaria estrutural*. 1ª edição. Florianópolis: UFSC, 1999, 83p.
- ROSSI, A. M. G. A importância do projeto na construção de edifícios. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 15., 1995, São Carlos. *Anais...* São Carlos, 1995, v.3, p.1616-1619.

- SABBATINI, F. *Desenvolvimento de métodos, processos e sistemas construtivos: formulação e aplicação de uma metodologia*. São Paulo. Tese de Doutorado - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 1989, 321p.
- SAN MARTIN, A. P. *Método de avaliação de tecnologias de edificação para a habitação de interesse social sob o ponto de vista da gestão dos processos de produção*. Dissertação (Mestrado em engenharia civil) – Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil - CPGEC / UFRGS, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 1999, 150p.
- SANTANA, A. M. S., OLIVEIRA, R. R. Padronização dos serviços através das redes operacionais. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 13., 1993, Florianópolis. *Anais...* Florianópolis, 1993, v.2, p.760-763.
- SCARDOELLI, L. S. *Iniciativas de melhorias voltadas à qualidade e à produtividade desenvolvidas por empresas de construção de edificações*. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 1995, 148p.
- SCHNEIDER, R. R., DICKEY, W. L. *Reinforced Masonry Design*. 3<sup>a</sup> edition. New Jersey: Prentice-Hall International Series in Civil Engineering and Engineering Mechanics, 1994, p. 486-517 e 586-596.
- SCOTT, S. *Making links between design and the construction process*. *Construction Process Re-engineering*. Edited by S. Mohamed, 1997, p. 605-614.
- SHINGO, S. *O Sistema Toyota de Produção do Ponto de Vista da Engenharia de Produção*, Porto Alegre, 1996. Título Original: A Study of the Toyota Production System from an Engineering Viewpoint. Cambridge: Productivity Press, 1989, 257p.
- SINHA, B. P. *Considerações sobre cargas de vento no projeto de estruturas em alvenaria*, 12p.
- SOUZA, R., MEKBEKIAN, G., SILVA, M. A. C., LEITCO, A. C. M. T., SANTOS, M. M. *Sistema de Gestão da Qualidade para Empresas Construtoras*. 1<sup>a</sup> edição. São Paulo: CTE/SEBRAE - SP, SINDUSCON - SP, 1994, 247p.
- TATUM, C. B. Improving constructability during conceptual planning. *Journal of Construction Engineering and Management*, v.113, n. 2, June, 1986, p.191-207.

## CAPÍTULO 7 - OBRAS CONSULTADAS

- ALARCÓN, L. F. Tools for the identification and reduction of waste in construction projects. In: CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 2., 1994, Santiago. *Proceedings...* Santiago. 1994, p. 365-378
- ALBUQUERQUE, A. T., PINHEIRO, L. M. Análise de alternativas estruturais para edifícios. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO., 40, 1998, Rio de Janeiro. *Anais...* Rio de Janeiro, 1998, CD, 27 p.
- ARAÚJO, H. N. *Intervenção em obra para implantação do processo construtivo em alvenaria estrutural: um estudo de caso*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 1995, 117p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT. *Controle tecnológico de materiais componentes do concreto*. NBR 12654. Rio de Janeiro: Jun., 1992, 6p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT. *Execução e controle de obras em alvenaria estrutural de blocos vazados de concreto*: Procedimento. Projeto 02.323. NBR 8798. Rio de Janeiro: Fev., 1985, 29p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT. *Exigências particulares das obras de concreto armado e protendido em relação à resistência ao fogo*. NBR 5627. Rio de Janeiro: 1980, 4p.
- BACCO, V., CIANCABILLA, L. *Il Manuale dei solai in laterizio*. 1ª edizione. Roma: Edizioni LATERCONSULT, Oct., 1994, 330p.
- BATISTA, A. M., MASCIA, N. T., TANAAMI, R. G. Um panorama sobre a evolução das fôrmas e dos sistemas de fôrmas para concreto armado no Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 40., 1998, Rio de Janeiro. *Anais...* Rio de Janeiro, 1998, CD, 19p.
- BAUD, G. *Manual de pequenas construções: alvenaria e concreto armado*. 1.ª edição. São Paulo: Hemus Editora Limitada, 1995, p. 251-271.

- BENNETT, K. The appeal of prestressing. *PCI Journal, Precast/prestressed Concrete Institute*, v.31, n. 5, May, 1997, p. 24-27.
- BOTELHO, M. H. C. *Resistência dos Materiais para entender e gostar: um texto curricular*. 1ª edição. São Paulo: Studio Nobel, 1998, 301p.
- BRANDÃO, D. Q., HEINECK, L. F. M. Variabilidade de “layouts” x construtibilidade: algumas soluções para promoção da versatilidade espacial em apartamentos. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO – QUALIDADE NO PROCESSO CONSTRUTIVO, 7., 1998, Florianópolis. *Anais...* Florianópolis, 1998, v. 2, p.207-213.
- BUSSAF, S., CURY, F. J. Arquitetura. *Manual Técnico de Alvenaria*, p.17-42.
- Colaboração Técnica do IPT. Os leves puxam o mercado - Protensão. *Revista TÉCHNE*. Ano 8, n. 41, Jul./Ago. 1999, p.52-56.
- CORDOVIL, F. A. *Lajes de concreto: armação – punção*. 1ª edição. Florianópolis: Editora da UFSC, 1997, 225p.
- CUNHA, A. J. P., SOUZA, V. C. M., LIMA, N. A. *Acidentes estruturais na construção civil*. 1ª edição. São Paulo: Editora PINI Ltda., 1996, p.31-35.
- CURTIN, W. G., SHAW, G., BECK, J. K. et al. *Structural Masonry Detailing*. 1ª edition. London: Granada Publishing, 1984, 254p.
- EL-SALAKAWY, E. F., POLAK, M. A., SOLIMAN, M.H. Reinforced Concrete Slab-Column Edge Connections with Openings. *ACI Structural Journal*, v. 96, n. 1, Jan./Feb., 1999, p. 79-87.
- Lajes do futuro - esforços institucionais, trabalhos técnicos e competitividade alavancam o uso de sistemas com treliças. *CONSTRUÇÃO*. Ano XXVIII, Região Sul, n. 354, Abr., 1998, p. 20-22.
- LICHTENSTEIN, N. B. *O uso da grua na construção de edifício*. São Paulo: EPUSP, 1987b. (Série Boletim Técnico, BT – 18/87). 14p.
- MARZOUK, H., EMAM, M., HILAL, M. S. Effect of High-Strength Concrete Slab on the Behavior of Slab-Column Connections. *ACI Structural Journal*, v.95, n. 3, May/June, 1998, p. 227-237.
- MELHADO, S. B., VIOLANI, M. A. F. *A qualidade na construção civil e o projeto de edifícios*. São Paulo: EPUSP, 1992. (Série Texto Técnico, TT/PCC/02).
- MPHIL, C. G. *Buildability the construction contribution*. The Chartered Institute of Building, 33p.

- O'CONNOR, J. T., HUGO, F., STAMM, E. M. Improving highway specifications for constructability. *Journal of Construction Engineering and Management*, v.117, n.2, June, 1991, p.242-258.
- PEDRESCHI, R. F. *The potential of post-tensioned masonry in developing countries*. Department of Architecture. University of Edinburgh, 11 p.
- PICCHI, F. A., AGOPYAN, V. *Sistemas de qualidade na construção de edifícios*. São Paulo: EPUSP, 1993. (Série Boletim Técnico, BT/PCC/104). 15p.
- Prefabricacion: teoria y práctica*. Las juntas en la construcción a base de paneles, p.271-321.
- Reinforced and Prestressed Masonry*. University of Edinburgh. August, 1998, 19p.
- REÑA, J. A. Arriba y abajo. Sistema Construtivo. Tradução e adaptação de Marcos de Sousa. *Revista TÉCNICA*. n. 18, Set./Out. 1995, p. 29-31.
- RIPPER, E. *Como evitar erros na construção*. 2.<sup>a</sup> edição, 3.<sup>a</sup> reimpressão. São Paulo: Editora PINI Ltda., 1995, 122 p.
- ROMAN, H. R. *Propriedades da alvenaria estrutural: compressão, cisalhamento e flexão*, 199\_, p. 13-20.
- SAN MARTIN, A. P., FORMOSO, C. T. Evaluating building systems based on production's process management and lean construction's concepts. In: CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 6., 1998a. Guarujá. *Proceedings...* Guarujá, 1998, 8p.
- SAN MARTIN, A. P., FORMOSO, C. T. Método de avaliação de sistemas construtivos para a habitação de interesse social sob o ponto de vista da gestão de processos de produção. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO – QUALIDADE NO PROCESSO CONSTRUTIVO, 7., 1998, Florianópolis. *Anais...* Florianópolis, 1998b,v.2, p.19-26.
- SANTOS, E. G. *Estrutura: desenho de concreto armado*. 7.<sup>a</sup> edição. 2.<sup>a</sup> reimpressão. São Paulo: Livraria Nobel S. A., 1988, v.1, 143p.
- SERPELL, A. *Conceptos de constructibilidad*. Capítulo n.2. In: Administracion de Operaciones de Construcción. 1.<sup>a</sup> Edición. Chile: Ediciones Universidad Católica de Chile, 1993a., p.61-81.
- SERPELL, A. *Seguimiento y control del proceso de construcción*. Capítulo n.6. Administracion de Operaciones de Construcción. 1.<sup>a</sup> Edición. Chile: Ediciones Universidad Católica de Chile, 1993b, p.165-194.

- SOUZA, A. L. R. *O projeto para produção das lajes racionalizadas de concreto*.  
Dissertação de mestrado - EPUSP, Universidade de São Paulo. São Paulo, Ago.,  
1996, p.171-258.
- SOUZA, A. L. R., MELHADO, S. B. A qualidade do processo construtivo e as lajes de  
concreto armado de edifícios. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA  
DO AMBIENTE CONSTRUÍDO – QUALIDADE NO PROCESSO  
CONSTRUTIVO, 7., 1998, Florianópolis. *Anais...* Florianópolis, 1998a, v.2, p.47-  
55.
- SOUZA, A. L. R., MELHADO, S. B. O projeto para produção como ferramenta de  
gestão da qualidade: aplicação às lajes de concreto armado de edifícios. In:  
ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO  
– QUALIDADE NO PROCESSO CONSTRUTIVO, 7., 1998b, Florianópolis.  
*Anais...* Florianópolis, 1998, v.2, p.37-45.
- SOUZA, U. E. L., AGOPYAN, V. *Estudo de produtividade da mão de obra no serviço  
de fôrmas para estruturas de concreto armado*. São Paulo: EPUSP, 1996. (Série  
Boletim Técnico, BT/PCC/165), 15p.

**ANEXOS**

**ANEXO 01**  
**REGISTRO FOTOGRÁFICO**

## LAJE MACIÇA



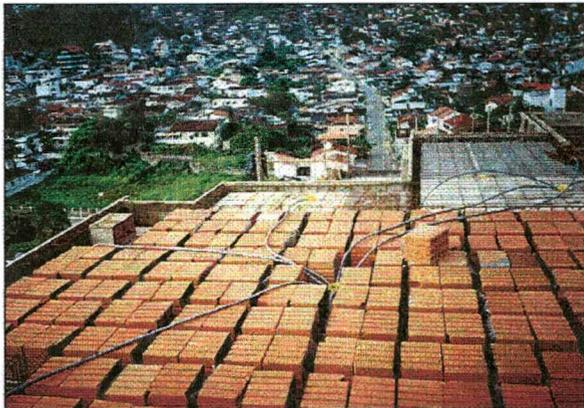
Esta laje maciça é em estrutura convencional com mestras de madeira para a referência de nível.

Os operários estão aguardando a concretagem.

Esta laje faz parte de edificação em alvenaria estrutural. Apresenta mestras metálicas para garantir o nível durante o sarrafeamento do concreto.



## LAJE NERVURADA



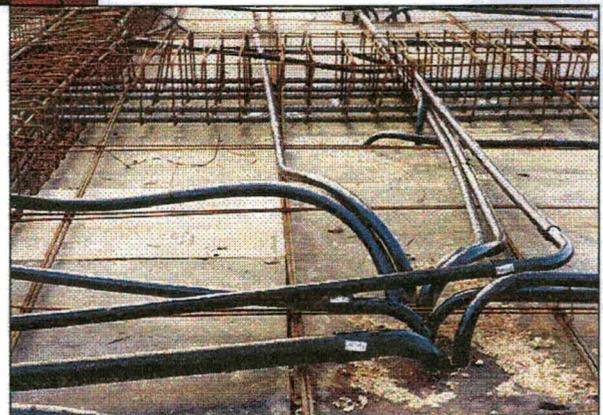
A laje nervurada da foto tem blocos cerâmicos como material de enchimento.

A laje está na fase de colocação dos blocos e participa de estrutura convencional

Esta laje nervurada é de forma plana, pois apresenta vigas deitadas em seu interior.

A laje utiliza blocos cerâmicos como material de enchimento.

Esta faz parte de estrutura convencional.

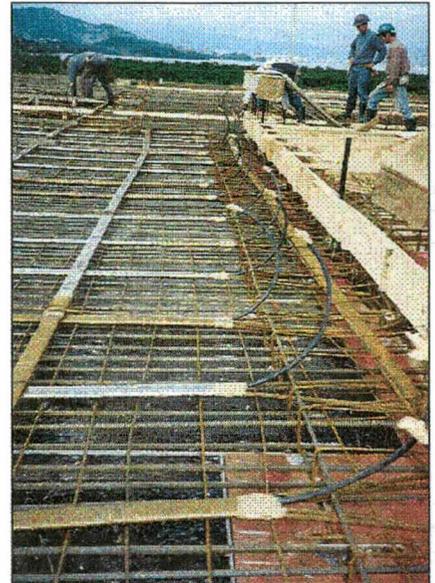


## LAJE PROTENDIDA MOLDADA NO LOCAL DE FORMA ADERENTE



A laje plana protendida das fotos é armada nas duas direções para estrutura convencional.

Na foto a laje está sendo prepara para a concretagem.



## LAJE PROTENDIDA MOLDADA NO LOCAL DE FORMA NÃO ADERENTE



As duas fotos representam a laje em duas etapas, primeiramente as cordoalhas prontas para receberem o concreto.

Na foto abaixo a laje já encontra-se concretada e aplica-se a protensão com macaco hidráulico manual.

A obra apresenta estrutura convencional.



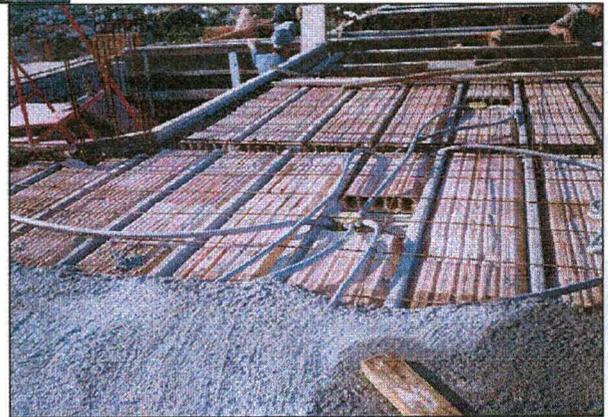
## LAJE COM VIGOTAS PRÉ-MOLDADAS DE CONCRETO ARMADO



A laje, da foto ao lado, está em processo de montagem com a colocação das telhas cerâmicas entre as vigotas.

A estrutura utilizada para as obras das duas fotos foi a convencional.

Esta laje com vigotas pré-moldadas foi concretada em duas etapas. A foto registra a montagem da fôrma das vigas para a conclusão da laje.

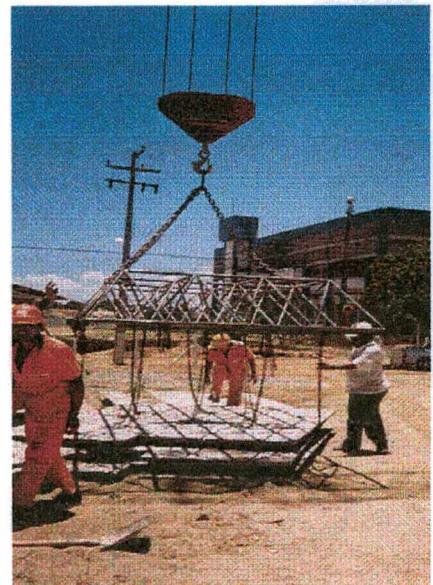


## PRÉ-LAJE



Nesta primeira foto a pré-laje está sendo preparada para compor o pavimento.

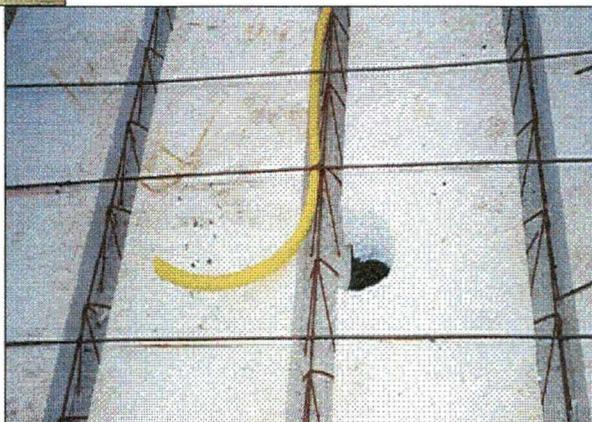
Na foto seguinte a laje já foi preparada e curada, agora procede-se ao seu içamento para a aplicação na edificação.



## LAJE COM VIGOTAS TRELIÇADAS



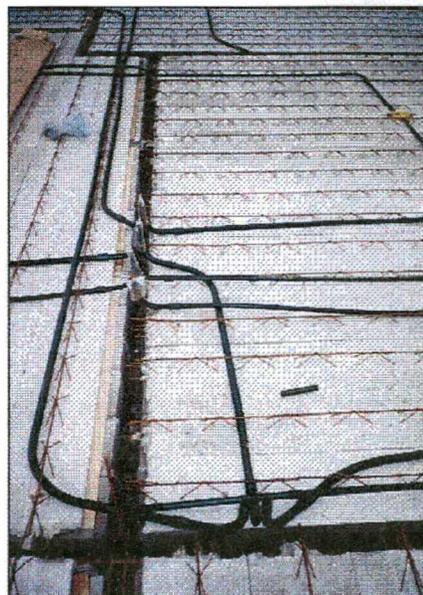
As duas fotos da laje com vigota treliçada mostram este tipo de laje armada numa só direção.



## LAJE COM PAINEL TRELIÇADO



Nas fotos observa-se os painéis treliçados sendo montados e os eletrodutos posicionados.



ANEXO 02

QUESTIONÁRIO SOBRE OS PROJETOS DAS LAJES PESQUISADAS

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO TECNOLÓGICO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

Observador: \_\_\_\_\_  
Data: \_\_\_\_\_ N<sup>o</sup> \_\_\_\_\_  
Empresa: \_\_\_\_\_  
Contato: \_\_\_\_\_  
Calculista: \_\_\_\_\_  
Obra: \_\_\_\_\_  
Endereço: \_\_\_\_\_  
Cidade: \_\_\_\_\_  
Área projetada: \_\_\_\_\_ N<sup>o</sup> pav.: \_\_\_\_\_ N<sup>o</sup> operários: \_\_\_\_\_  
Tipo de mão-de-obra:  Própria  Sub-empregada

**PROJETO DA LAJE**

	Sim	Não
1. É concebido à partir do tipo de estrutura a ser utilizada?		
2. Há projeto que inclua o detalhe da vinculação das peças com a estrutura?		

3. Qual o nível de detalhamento dos projetos? O que é detalhado?

---

---

---

---

4. No projeto da laje escolhido há especificação dos equipamentos a serem utilizados? Por quê?

---

---

---

---

ANEXO 03

QUESTIONÁRIO PARA A GERÊNCIA DA OBRA

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA**  
**CENTRO TECNOLÓGICO**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

Observador: \_\_\_\_\_  
Data: \_\_\_\_\_ N<sup>o</sup> \_\_\_\_\_  
Empresa: \_\_\_\_\_  
Contato: \_\_\_\_\_  
Calculista: \_\_\_\_\_  
Obra: \_\_\_\_\_  
Endereço: \_\_\_\_\_  
Cidade: \_\_\_\_\_  
Área projetada: \_\_\_\_\_ N<sup>o</sup> pav.: \_\_\_\_\_ N<sup>o</sup> operários: \_\_\_\_\_  
Tipo de mão-de-obra:  Própria  Sub-empregada

**GERÊNCIA DA OBRA**

1. O tipo de laje foi escolhido pelo (a)?

própria empresa  calculista  limitação do projeto  
 outro \_\_\_\_\_

2. Este tipo de laje já foi utilizado antes pela empresa?

sim  não

3. A empresa participa da elaboração do projeto do seguinte modo:

não participa  elabora o projeto  
 elabora os projetos complementares  
 elabora documentos técnicos (memoriais, orçamentos, especificações)  
 compatibiliza os projetos elaborados por terceiros  
 outros \_\_\_\_\_

4. O tipo de laje adotado oferece isolamento do tipo:

térmico  acústico  resistência ao fogo  
 não oferece nenhum isolamento  outro \_\_\_\_\_

5. Qual a razão para a escolha deste tipo de laje?

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

**6. Por que a escolha pelo sistema de fôrma adotado?**

---

---

---

---

**7. Qual a quantidade de concreto utilizada na laje? \_\_\_\_\_ m<sup>3</sup>**

**8. Há projeto de detalhamento? [ ] sim, quais? \_\_\_\_\_**

[ ] não

**9. Para a empresa quais as vantagens do sistema utilizado?**

---

---

---

---

---

---

---

ANEXO 04

QUESTIONÁRIO PARA OS ESCRITÓRIOS DE CÁLCULO

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO TECNOLÓGICO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

Observador: \_\_\_\_\_  
Data: \_\_\_\_\_ N<sup>o</sup> \_\_\_\_\_  
Empresa: \_\_\_\_\_  
Contato: \_\_\_\_\_  
Calculista: \_\_\_\_\_  
Obra: \_\_\_\_\_  
Endereço: \_\_\_\_\_  
Cidade: \_\_\_\_\_  
Área projetada: \_\_\_\_\_ N<sup>o</sup> pav.: \_\_\_\_\_ N<sup>o</sup> operários: \_\_\_\_\_  
Tipo de mão-de-obra:  Própria  Sub-empregada

**ESCRITÓRIO DE CÁLCULO**

1. A norma utilizada é a: <input type="checkbox"/> Brasileira <input type="checkbox"/> Britânica <input type="checkbox"/> Outra _____
2. No cálculo da laje são considerados quais fatores: <input type="checkbox"/> $f_{ck}$ de ____ MPa <input type="checkbox"/> sobrecarga <input type="checkbox"/> efeito do vento <input type="checkbox"/> concreto de alta desempenho <input type="checkbox"/> fatores de projeto <input type="checkbox"/> outros _____
3. Em projeto para alvenaria estrutural há cálculo de prevenção de cargas acidentais para evitar que a estrutura colapse? <input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não
4. em caso afirmativo: a) Qual a norma utilizada? _____ b) Como é feito o detalhamento? _____ _____ _____

ANEXO 05

PLANILHA DE ACOMPANHAMENTO DO PROCESSO EXECUTIVO

PLANILHA DE ACOMPANHAMENTO DA EXECUÇÃO DAS LAJES

OBSERVADOR: \_\_\_\_\_  
 DATA DE INÍCIO: \_\_\_\_\_

OBRA: \_\_\_\_\_

ETAPAS	HORAS	DATA	EQUIPE	ÁREA	RECURSOS	Obs.:
transporte do escoramento						
transporte das fôrmas						
montagem do escoramento						
montagem das fôrmas						
ajuste das medidas						
nivelamento						
aplicação de desmoldante						
colocação da armadura principal						
amarração da armadura principal						
colocação dos painéis pré-moldados						
colocação do material inerte						
passagem dos eletrodutos						
colocação das descidas hidráulicas						
colocação da armadura auxiliar						
aplicação das conexões						

ETAPAS	HORAS	DATA	EQUIPE	ÁREA	RECURSOS	Obs.:
verificação dos materiais						
colocação dos espaçadores						
colocação das mestras						
verificação do nivelamento						
preparação do concreto a ser emendado						
lançamento do concreto						
adensamento do concreto						
espalhamento do concreto						
sarrafeamento						
rebaixos						
retirada das mestras						
laje zero						
colocação das esperas dos pilares						
cura do concreto						
desforma						
impermeabilização						
acabamento						
limpeza das fôrmas						

ANEXO 06

QUESTIONÁRIO DAS OBSERVAÇÕES FEITAS EM OBRA

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO TECNOLÓGICO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

Observador: \_\_\_\_\_  
Data: \_\_\_\_\_ N<sup>o</sup> \_\_\_\_\_  
Empresa: \_\_\_\_\_  
Contato: \_\_\_\_\_  
Calculista: \_\_\_\_\_  
Obra: \_\_\_\_\_  
Endereço: \_\_\_\_\_  
Cidade: \_\_\_\_\_  
Área projetada: \_\_\_\_\_ N<sup>o</sup> pav.: \_\_\_\_\_ N<sup>o</sup> operários: \_\_\_\_\_  
Tipo de mão-de-obra:  Própria  Sub-empregada

**OBSERVAÇÕES FEITAS EM OBRA**

1. A estrutura utilizada é: <input type="checkbox"/> reticulada <input type="checkbox"/> alvenaria estrutural <input type="checkbox"/> outra _____
2. A laje adotada é do tipo: <input type="checkbox"/> maciça <input type="checkbox"/> nervurada <input type="checkbox"/> treliçada <input type="checkbox"/> pré-moldada com vigotas <input type="checkbox"/> pré-laje <input type="checkbox"/> protendida <input type="checkbox"/> painéis pré-moldados <input type="checkbox"/> outra _____
3. O tipo de laje escolhido funciona como um diafragma (engastado nas peças que o apoia)? <input type="checkbox"/> sim <input type="checkbox"/> não <input type="checkbox"/> em parte _____
4. Qual o tipo de fôrma utilizada: <input type="checkbox"/> madeirit plastificado <input type="checkbox"/> tábuas de madeira <input type="checkbox"/> metálicas <input type="checkbox"/> fibra de vidro <input type="checkbox"/> alumínio <input type="checkbox"/> outro _____
5. O cimbramento e as escoras são: <input type="checkbox"/> tudo metálico <input type="checkbox"/> tudo em madeira <input type="checkbox"/> misto _____ <input type="checkbox"/> outro _____
6. Obra adaptada a tecnologia utilizada? <input type="checkbox"/> sim <input type="checkbox"/> não <input type="checkbox"/> em parte _____ Por que? _____ _____
7. O tipo de laje adotado acompanha a velocidade de execução da estrutura? <input type="checkbox"/> sim <input type="checkbox"/> não

<p><b>8. A concretagem (ou capeamento das lajes pré-moldadas) é feita com:</b> <input type="checkbox"/> concreto bombeado      <input type="checkbox"/> betoneira e carrinho de mão <input type="checkbox"/> outro _____</p>
<p><b>9. A armação é feita de:</b>      <input type="checkbox"/> barras de aço      <input type="checkbox"/> telas eletrosoldadas    <input type="checkbox"/> cordoalha      <input type="checkbox"/> treliça</p>
<p><b>10. O nivelamento da laje é feito com:</b> <input type="checkbox"/> nível d'água    <input type="checkbox"/> nível laser    <input type="checkbox"/> nível alemão    <input type="checkbox"/> outro _____</p>
<p><b>11. Há transparência dos processos?</b>      <input type="checkbox"/> sim      <input type="checkbox"/> não</p>
<p><b>12. Qual a área da laje?</b> _____</p>
<p><b>13. A execução das lajes é baseada em comunicações de que tipo?</b> <input type="checkbox"/> escrita    <input type="checkbox"/> falada    <input type="checkbox"/> gestos    <input type="checkbox"/> outro _____</p>
<p><b>14. Como se dá a resolução dos espaços vazios para <i>shafts</i> e poços de elevador?</b></p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>_____</p>
<p><b>15. Quais as dificuldades enfrentadas na execução da laje?</b></p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>_____</p>
<p><b>16. Há problemas devido à sobreposição de instalações na laje? Como são resolvidos?</b></p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>_____</p>

17. É feito o planejamento do *layout* do canteiro para facilitar o transporte e armazenamento de materiais?  sim  não

Por que? \_\_\_\_\_

18. A grua está presente na obra para o içamento das fôrmas e peças pré-fabricadas?  sim, peças do tipo \_\_\_\_\_

não  não existem peças pré-fabricadas na obra

### CONEXÃO

19. A conexão é usada para vincular:  painéis de lajes  não é usada

a laje com a parede  a laje com a viga  outra \_\_\_\_\_

20. Esta conexão utilizada é do tipo:

chapa soldada  barra de aço  outro \_\_\_\_\_

21. As conexões têm suas localizações indicadas em projeto?  sim  não

### ALVENARIA ESTRUTURAL

22. Usa-se graute para vincular as paredes às lajes?  sim  não

23. É usado algum mastique entre a laje e as paredes?  sim  não

24. É colocado algum material embaixo da parede para permitir os movimentos da laje?  sim  não

### PROJETO DA LAJE

25. O projeto é claro para quem o manuseia?  sim  não  em parte \_\_\_\_\_

26. O projeto está ao alcance de todos?  sim  não

27. A empresa enfrenta problemas de falta de compatibilidade entre os projetos?

sim \_\_\_\_\_  não

28. Caso haja problemas, estes vêm sendo resolvidos facilmente?  sim  não

às vezes \_\_\_\_\_

**29. Os projetos são racionalizados e adequados ao processo produtivo?**

sim     não

**30. Os projetos são detalhados para permitir a sua perfeita execução?**

sim     não

## **MATERIAIS**

**31. Se a laje necessita de material inerte qual o tipo adotado:**

fôrma em fibra de vidro     bloco cerâmico     bloco de concreto  
 bloco de concreto celular     outro \_\_\_\_\_

**32. O que é utilizado de:**

<b>Materiais</b>	
<b>Ferramentas</b>	
<b>Produtos</b>	
<b>Máquinas</b>	
<b>Equipamentos</b>	

## **LAJES PRÉ-MOLDADAS**

**33. No caso da laje pré-moldada com vigota sua produção é:**

artesanal     tradicional     industrializada

**34. A laje quando pré-moldada tem sua central de fabricação no canteiro:**

sim     não

