

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CONSTRUÇÃO CIVIL**

**CONTRIBUIÇÃO AO PROJETO E EXECUÇÃO DE LAJES LISAS  
NERVURADAS PRÉ-FABRICADAS COM VIGOTAS TRELIÇADAS**

**Eng<sup>o</sup>. JOVAIR AVILLA JUNIOR**

**SÃO CARLOS**

**2009**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CONSTRUÇÃO CIVIL**

**CONTRIBUIÇÃO AO PROJETO E EXECUÇÃO DE LAJES LISAS  
NERVURADAS PRÉ-FABRICADAS COM VIGOTAS TRELIÇADAS**

**Eng.º. JOVAIR AVILLA JUNIOR**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Construção Civil da Universidade Federal de São Carlos, como parte dos requisitos para obtenção do Título de Mestre em Construção Civil.

**Área de Concentração:** Sistemas Construtivos de Edificações

**Orientador:** Prof. Dr. Jasson Rodrigues de Figueiredo Filho

**SÃO CARLOS**

**2009**

**Ficha catalográfica elaborada pelo DePT da  
Biblioteca Comunitária da UFSCar**

A958cp

Avilla Junior, Jovair.

Contribuição ao projeto e execução de lajes lisas nervuradas pré-fabricadas com vigotas treliçadas / Jovair Avilla Junior. -- São Carlos : UFSCar, 2010.  
203 p.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal de São Carlos, 2009.

1. Construção civil. 2. Estruturas de concreto armado. 3. Sistemas construtivos. 4. Execução de estruturas. I. Título.

CDD: 690 (20<sup>a</sup>)



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS**

Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia

Departamento de Engenharia Civil

**Programa de Pós-Graduação em Construção Civil**

Via Washington Luís, Km 235 - CEP: 13.565-905 - São Carlos/SP/Brasil

Fone(16) 3351-8262- Ramal: 232 - Fax (16) 3351-8259

Site:

Email:

**"CONTRIBUIÇÃO AO PROJETO E EXECUÇÃO DE LAJES LISAS NERVURADAS  
PRÉ-FABRICADAS COM VIGOTAS TRELIÇADAS"**

**JOVAIR AVILLA JUNIOR**

Dissertação de Mestrado defendida e aprovada em 18 de fevereiro de 2009

Banca Examinadora constituída pelos membros:

---

**Prof. Dr. Jasson Rodrigues de Figueiredo Filho**  
Departamento de Engenharia Civil/PPGCIV/UFSCar  
Orientador

---

**Prof. Dr. Roberto Chust Carvalho**  
Departamento de Engenharia Civil/PPGCIV/UFSCar  
Examinador Interno

---

**Profª. Drª. Maria Cristina Vidigal de Lima**  
Universidade Federal de Uberlândia – Faculdade de Engenharia Civil  
Examinadora Externa

Dedico este trabalho aos grandes amores de  
minha vida: Flávia, Marcella e Vinícius,  
esposa e filhos.

Ofereço também aos meus pais, aos pais dela e  
a todos os nossos irmãos.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus Senhor da vida, pela oportunidade concedida de continuar vivendo diante dos problemas de saúde que enfrentei, pela coragem, sabedoria, paciência, perseverança e fé no enfrentamento diário dos obstáculos.

A toda a minha Família, em especial, à memória de minha querida avó Irce e meu tio Jorahy, que sempre nos educou com alegria e sabedoria.

Ao amigo e orientador, Prof. Jasson Rodrigues de Figueiredo Filho, pela paciência, competência, confiança e empenho que, mesmo à distância, foram sempre presentes.

Aos Professores e amigos Roberto Chust de Carvalho e Guilherme Aris Parsekian, por me motivarem a cursar o programa de mestrado minha eterna gratidão.

Aos demais professores do Departamento de Engenharia Civil, pela dedicação nos ensinamentos das disciplinas deste programa.

A todos os funcionários do Departamento de Engenharia Civil, pela eficiência, simpatia e cordialidade no atendimento.

Aos Professores que marcaram minha vida, pela dedicação e amor no cumprimento da designação divina de ser professor: Helena Sakakibara, Cordélia Canabrava, Aparecido Rubens Foz, Fernando Antonio Jorge, Rui Carlos Giorgi, Pedro Donizete Zacarin, Helena M. C. Carmo Antunes, João Antunes, Edie Mancini, Libanio Miranda Pinheiro, Mounir K. El Debs, Lauro Modesto dos Santos, Decio Leal De Zagottis, Péricles Brasiliense Fusco, Paulo Roberto Terzian, Ricardo Leopoldo e Silva França, Jasson R. de Figueiredo Filho, Roberto Chust de Carvalho, Guilherme Aris Parsekian e Almir Sales.

Aos Engenheiros Prof. Dr. Ricardo Leopoldo e Silva França e Marcelo Ungaretti, que foram fontes de minha inspiração para a engenharia de estruturas e aos Engenheiros Marcos Alfredo Avilla e Maykon André Sales, irmãos e amigos companheiros de jornada pelo inestimável apoio.

Aos Engenheiros e amigos Alonso Droppa Junior, Ângelo Rubens Migliore, Fabrício Ribeiro, Gisele Sartori Bracale, Hylton Olivieri, Kleiner Reame Junior, Leandro Câmara, Luís Fernando de Arruda Ramos, Marco Antonio Pastore e Ornélio Lopes pelo apoio e confiança.

Aos amigos Anderson M. Moraes, Kleber Ap. Lopes, Sidnei Tamellini, Israel.

A Heloisa Fernandes Conter e Robson Lacotis pela verificação e formatação do texto.

A todos os meus amigos do mestrado, em especial ao Adriano Tancredo de Oliveira e Antonio Carlos Jeremias Junior.

À AVILLA – Engenharia de Lajes, pelo apoio concedido para a concretização dos estudos para o mestrado.

## RESUMO

O grande impulso na utilização dos sistemas de lajes lisas deu-se pela busca de liberdade na definição e organização arquitetônica de espaços internos em edifícios. O projeto e execução de edificações em lajes lisas, permitem grande mobilidade na definição do espaço interno do edifício e na redução da sua altura final. As lajes pré-fabricadas com vigotas treliçadas que utilizam fôrmas perdidas em blocos de Poliestireno Expandido (EPS) ou fôrmas removíveis trouxeram novas perspectivas ao projeto de lajes lisas, permitindo vãos maiores com baixo peso próprio. Os elementos pré-moldados são leves, de fácil manuseio, transporte e montagem, dispensam o uso de fôrmas e equipamentos especiais e requerem pouco escoramento. Programas computacionais surgidos nos últimos anos propiciam cálculos mais refinados que permitem prever o comportamento em serviço da estrutura com maior precisão. Dessa maneira, os projetistas têm maior segurança no projeto de sistemas menos usuais, como lajes lisas nervuradas, sem vigas internas, capitéis e até mesmo vigas de borda. No Brasil, a cultura predominante no projeto e execução de lajes lisas se dá pela opção do sistema moldado no local. Nestes termos, os objetivos do presente trabalho são: buscar respostas para o comportamento cultural predominante; comparar suas vantagens e desvantagens em relação aos sistemas moldados no local; apresentar as regulamentações normativas e o método de cálculo simplificado segundo a ABNT NBR 6118:2003; fornecer subsídios para o projeto e execução das lajes lisas nervuradas pré-fabricadas com vigotas treliçadas; apresentar um método de cálculo para o diafragma infinitamente rígido e apresentar um estudo de caso real como comparativo de custos.

**Palavras chave:** Laje sem vigas, lajes lisas, laje pré-moldada, laje pré-moldada treliçada, concreto armado, lajes nervuradas, estruturas.

## ABSTRACT

The big surge in use of systems for flat slabs gave up the search for freedom in the definition and organization of architectural interior spaces in buildings. The design and construction of buildings on flat slabs, which allow great mobility in defining the internal space of the building and reducing its height. The slabs with prefabricated trussed beams using forms lost in blocks of expanded polystyrene (EPS) or removable forms, brought new perspectives to the design of flat slabs, allowing greater spans with low deadweight. The precast elements are lightweight, easy handling, transport and assembly, and require the use of molds and special equipment and requires little bracing. Computer programs have emerged in recent years provide more refined calculations that predict the behavior of the structure in service with greater precision. This way the designers have increased security in systems design less common as flat slabs ribbed, without internal beams, capitals and even edge beams. In Brazil the predominant culture in the design and implementation of flat slabs is given by the system option molded on site. The objectives of this study are: to seek answers to the prevailing cultural behavior, and to compare their advantages and disadvantages when compared with cast on site, presenting the normative regulations and simplified calculation method according to ABNT NBR 6118:2003, provide subsidies for the project and implementation of flat slabs with ribbed prefabricated trussed beams, provide a calculation method for the infinitely rigid diaphragm; present a real case study as a comparison of costs.

Keywords: slab without beams, flat slabs, precast slabs, pre-cast slab lattice reinforced concrete ribbed slabs, and structures.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.2 1 Patente do barco de Lambot , 1855.....	29
Figura 2.2 2 Barco de Lambot .....	30
Figura 2.2 3 Patente do sistema de lajes nervuradas de Wilkinson .....	31
Figura 2.2 4 Boletins técnicos, revista “Le Béton Arme.....	32
Figura 2.2-5 Patente de lajes contínuas.....	32
Figura 2.2-6 Ábaco vão–sobrecarga–condição de apoio para obtenção do preço por metro quadrado de estruturas .....	33
Figura 2.2-7 Ensaio de vigas realizados por Hyatt.....	35
Figura 2.2-8 Patente de Hyatt de 1878 .....	35
Figura 2.2-9 Casa de máquinas – Ransome, 1901.....	36
Figura 2.2-10 Ingalls Building.....	37
Figura 2.3-1 Modelo de Lajes lisas de Turner e Maillart.....	38
Figura 2.3-2 Prova de carga em protótipo das lajes lisas de Maillart.....	38
Figura 2.3-3 Fábrica da Pirelli, Itália, 1913 .....	38
Figura 2.4–1 Laje pré fabricada convencional (vigotas do tipo trilho em concreto armado) .	39
Figura 2.4-2 Corte longitudinal e transversal do esquema de lajes nervuradas moldadas no local usadas até o final da década de .....	40
Figura 2.4-3 Perspectiva esquemática da armadura treliçada usada em lajes pré-fabricadas e seção transversal após o preenchimento de concreto da laje pré-fabricada com nervura do tipo treliça.....	40
Figura 2.4-4 Laje treliçada com duas direções.....	41
Figura 2.4-5 Diagramas de momentos elástico e com plastificação no apoio central em uma laje contínua.....	44
Figura 2.4-6 Flechas teóricas e experimentais (mm) ao longo do tempo para protótipo C, dos trabalhos de Rogge e Kataoka simplesmente apoiado com 11 cm de altura e 4 m de vão .....	45
Figura 3.1-1 Notre-Dame du Raincy, Perret .....	47
Figura 3.1-2 Notre-Dame du Raincy (vista interior), Perret .....	47
Figura 3.3-1 Casa Cascata.....	48
Figura 3.3-2 Johnson Wax Tower.....	49
Figura 3.3-3 Guggenheim Museum .....	49
Figura 3.3-4 Heilig-Geist Kirche, Wolfsburg, Alemanha, 1959/62; vista exterior do templo.	50
Figura 3.3-5 Heilig-Geist Kirche, Wolfsburg, Alemanha, 1959/62; vista interior.....	50

Figura 3.4-1 Dom-Ino .....	51
Figura 3.4-2 Villa Savoye, Poissy - Le Corbusier, 1929 .....	51
Figura 3.4-3 Crown Hall, Chicago, Illinois, 1950 a 1956.....	52
Figura 3.4-4 Seagram Building, Nova York, 1954 a 1958 .....	53
Figura 4.3.2.2-1 Seção transversal de uma laje nervurada.....	63
Figura 4.3.2.2-2 Seção transversal segundo as dimensões mínimas prevista pela NBR6118/2003.....	63
Figura 4.3.2.2-3 Lajes Lisas .....	63
Figura 4.3.2.2-4 Lajes-Cogumelos .....	63
Figura 4.4.1-1 Sistema de fôrmas lajes moldadas no local .....	65
Figura 4.4.2-1 Lajes lisas nervuradas com uso de cubetas; detalhe do capitel com armadura	66
Figuras 4.4.2-2 Laje lisa nervurada moldada “ <i>in loco</i> ” com fôrmas removíveis .....	66
Figura 4.4.3-1 Lajes Lisas nervuradas unidirecionais com vigas-faixas e vigotas treliçadas..	70
Figura 4.4.3-2 Detalhes das formas e escoramentos das vigas-faixas .....	70
Figuras 4.4.3-3 e 4.4.3-4 Lajes Lisas nervuradas unidirecionais com vigas-faixas e vigotas treliçadas.....	70
Figura 4.4.3-5 Estrutura após a retirada das fôrmas e dos escoramentos .....	70
Figura 4.4.3-6 Racionalização na execução das alvenarias .....	70
Figura 4.4.3-7 Detalhe de apoio das vigotas treliçadas em vigas-faixas pré-fabricadas .....	71
Figura 4.4.3-8 Lajes Lisas Nervuradas Bidirecionais com vigotas treliçadas.....	71
Figura 4.4.3-9 Lajes Lisas Nervuradas Bidirecionais com vigotas pré-fabricadas treliçadas com vigas de borda na espessura da laje .....	71
Figura 4.4.3-10 Detalhe das formas do Ábaco e viga-faixa.....	71
Figura 4.4.3-11 Lajes Lisas Nervuradas Bidirecionais com vigotas pré-fabricadas treliçadas vigas de borda na espessura da laje .....	72
Figuras 4.4.4-1 e 4.4.4-2 Lajes Lisas nervuradas com vigotas pré-fabricadas treliçadas com utilização de formas removíveis .....	73
Figura 4.5-1 Faixas de laje para distribuição dos esforços nos pórticos múltiplos .....	74
Figura 4.5-2 Detalhamento das lajes sem vigas com armaduras passivas calculadas pelo processo aproximado dos pórticos múltiplos .....	75
Figura 4.6.1-1 Patologia por falta de nervura de travamento (Surgimento de fissura no revestimento do teto, na interface da vigota com elemento de enchimento) .....	77
Figura 4.6.2.2-1 Geometria dos ábacos (zonas maciças) e bandas maciças .....	80
Figura 4.6.2.4-1 Junta de dilatação vista em planta.....	82

Figura 4.6.2.4-2 Detalhe em corte da junta de dilatação.....	82
Figura 4.6.2.5-1 Detalhamento laje vão maior que 12m.....	83
Figura 4.6.3-1 Vista em Planta do Ábaco .....	84
Figura 4.6.3-2 Detalhe armadura transversal das nervuras de travamento .....	84
Figura 4.6.3-3 Detalhe de apoio das vigotas em viga plana ou capitel.....	85
Figura 4.6.3-4 Detalhe de ancoragem das vigotas em viga plana ou capitel .....	85
Figura 4.6.3-5 Detalhe de armação típica do ábaco (maciço central).....	86
Figura 4.6.3-6 Detalhe de armação típica do ábaco com pilar de extremidade.....	86
Figura 4.6.3-7 Detalhe de armação típica do ábaco com pilar de canto .....	87
Figura 4.6.3-8 Condição de continuidade ideal.....	87
Figura 4.6.3-9 Condição de continuidade para balanço .....	87
Figura 4.6.3-10 Condição de continuidade para apoios internos .....	88
Figura 4.6.3-11 Condição de continuidade para apoios internos .....	88
Figura 4.6.3-12 Blocos moldados de EPS Bidirecional.....	89
Figura 4.6.3-13 Corte transversal das nervuras com vigotas pré-fabricadas treliçadas.....	89
Figura 4.6.3-14 Instalações hidráulicas e elétricas .....	89
Figura 4.6.3-15 Instalações hidráulicas e elétricas .....	89
Figura 4.6.5-1 Detalhe contraflecha.....	91
Figura 4.6.6-1 Retirada de escoramentos laje entre dois apoios .....	92
Figura 4.6.6-2 Retirada de escoramentos laje em balanço .....	92
Figura 5.2-1 Diversas disposições dos elementos verticais resistentes .....	96
Figura 5.2-2 Efeito de Arco em pavimentos pré-fabricados com lajes alveolares .....	98
Figura 5.2-3 Efeito de Arco ou Bielas e Tirantes .....	98
Figura 5.2-4 Efeito de Treliça .....	99
Figura 5.2-5 Modelo de viga Vierendeel .....	99
Figura 5.3-1 Seção transversal típica lajes pré-fabricadas com vigotas treliçadas.....	100
Figura 5.3.1-1 Dimensionamento do diafragma ao momento fletor com armadura distribuída uniformemente na altura máxima de 40% da largura do diafragma.....	100
Figura 5.3.1-2 Dimensionamento do diafragma com armaduras concentradas junto à borda	102
Figura 6.3-1 - Estrutura com laje lisa nervurada – Pavimento Superior (unidades: cm).....	110
Figura 6.3-2 Detalhe da laje nervurada (unidades: cm).....	111
Figura 6.5-1 Montagem da laje e escoramentos .....	113
Figura 6.5-2 Detalhe das formas região do Ábaco .....	113
Figura 6.5-3 Detalhe da armação da região do Ábaco.....	113

Figura 6.5-4 Detalhe da armação da região do Ábaco.....	113
Figura 6.5-5 Detalhe das armações das nervuras.....	113
Figura 6.5-6 Limpeza da laje antes da concretagem.....	113

## LISTA DE TABELAS

Tabela 4.6.2.1-1 Relações L/H para vão e balanços segundo Tesoro (1991) .....	78
Tabela 4.6.2.1-2 Relações L/H para vão e balanços segundo o autor .....	79
Tabela 4.6.2.1-3 Relações L/H para vão e balanços segundo Schmid (1993) .....	79
Tabela 4.6.2.3-4 Coeficientes de distribuição de forças concentradas em lajes formadas por nervuras .....	81
Tabela 4.6.4-1 Tabela indicativa de vãos livres entre as linhas de escoras para alturas de lajes padronizadas .....	90
Tabela 6.4-1 Alternativa em lajes lisas pré-fabricadas com vigotas treliçadas .....	111
Tabela 6.4-2 Alternativa em lajes lisas moldadas no local .....	112
Tabela 3.4-1 Eventos e seus índices adotados nos gráficos .....	167
Tabela 3.10-1 Eventos e seus respectivos índices .....	178
Tabela 3.11.1-1 Eventos e seus índices .....	181
Tabela 3.15-1 Patologias e seus índices .....	194
Tabela 3.16-1 Eventos e seus índices .....	196

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1.1.4-1 Fatores que induzem o projeto de edifício com lajes moldadas no local a ter maior número de pavimentos .....	129
Gráfico 1.1.7-1 Análise das ferramentas mais utilizadas no Brasil no dimensionamento de lajes treliçadas.....	131
Gráfico 1.1.9-1 Análise da avaliação técnica dos projetistas estruturais comparando projetos com lajes lisas e/ou vigas planas com lajes treliçadas e projetos elaborados com lajes moldadas no local .....	132
Gráfico 1.1.10-1 Análise das dificuldades no emprego de lajes treliçadas.....	132
Gráfico 1.2.1-1 Fabricantes de lajes treliçadas.....	133
Gráfico 1.2.1-2 Usinas fabricantes de armações para lajes treliçadas .....	134
Gráfico 1.2.1-3 Pesquisas realizadas em nível nacional .....	134
Gráfico 1.2.1-4 Pesquisas realizadas em nível internacional .....	134
Gráfico 1.2.2-1 Bibliografia nacional referente à análise estrutural para sistemas com lajes treliçadas.....	135
Gráfico 1.2.2-2 Bibliografia com detalhes de ligações das vigotas treliçadas com capitéis, vigas de borda.....	136
Gráfico 1.2.2-3 Bibliografia com detalhes construtivos e de execução de obra (transporte, fôrmas, escoramentos e montagem).....	136
Gráfico 1.3-1 Análise regional: economia quanto ao emprego de lajes treliçadas.....	138
Gráfico 1.4.1-1 Análise no Brasil: enchimentos de laje treliçada .....	139
Gráfico 1.4.2-1 Análise regional quanto ao uso de fôrmas plásticas removíveis.....	140
Gráfico 1.4.2-2 Análise no Brasil quanto ao uso de fôrmas plásticas removíveis .....	141
Gráfico 1.4.3-1 Análise no Brasil: transporte vertical de vigotas .....	141
Gráfico 1.4.4-1 Análise no Brasil: frequência de patologias .....	142
Gráfico 1.5-1 Pontos do sistema de treliçadas que necessitam de maiores estudos e/ou esclarecimentos, segundo sua importância.....	144
Gráfico 1.6.1-1 Análise no Brasil quanto à frequência do engenheiro em obras.....	145
Gráfico 1.6.2-1 Análise no Brasil quanto à capacitação dos fabricantes de lajes treliçadas..	146
Gráfico 3.1-1 Características do público alvo .....	157
Gráfico 3.1-2 Análise Regional: tempo de atuação como projetista estrutural.....	158
Gráfico 3.1-3 Análise no Brasil: tempo de atuação como projetista estrutural.....	159

Gráfico 3.2-1 Análise regional: Porcentagem de uso de lajes treliçadas .....	160
Gráfico 3.2-2 Análise no Brasil: Porcentagem de uso de lajes treliçadas.....	161
Gráfico 3.3-1 Análise Regional: lajes treliçadas versus nº de pavimentos .....	163
Gráfico 3.3-2 Análise no Brasil: lajes treliçadas versus nº de pavimentos .....	163
Gráfico 3.4-1 Análise Regional: número de pavimento .....	165
Gráfico 3.4-2 Análise no Brasil: número de pavimentos .....	166
Gráfico 3.4-3 Análise no Brasil: atribuição das escalas de importância aos eventos propostos .....	168
Gráfico 3.5-1 Análise Regional: $f_{ck}$ de projeto .....	170
Gráfico 3.5-2 Análise no Brasil: $f_{ck}$ de projeto.....	170
Gráfico 3.6-1 Análise regional: lajes treliçadas versus vão máximo.....	171
Gráfico 3.6-2 Análise no Brasil: lajes treliçadas <i>versus</i> vão máximo .....	172
Gráfico 3.7-1 Análise regional das ferramentas utilizadas no dimensionamento de lajes treliçadas.....	173
Gráfico 3.7-2 Análise no Brasil das ferramentas utilizadas no dimensionamento de lajes treliçadas.....	174
Gráfico 3.8-1 Análise Regional de projetos com uso de lajes treliçadas .....	175
Gráfico 3.8-2 Análise no Brasil de projetos com uso de lajes treliçadas.....	176
Gráfico 3.9-1 Análise Regional: avaliação comparativa quanto ao uso de lajes treliçadas ...	177
Gráfico 3.9-2 Análise no Brasil: avaliação comparativa quanto ao uso de lajes treliçadas ..	177
Gráfico 3.10-1 Decisões quanto à não elaboração de projetos de lajes lisas com uso de lajes treliçadas.....	180
Gráfico 3.11.1-1 Análise no Brasil quanto às informações disponíveis .....	183
Gráfico 3.11.2-1 Análise no Brasil quanto às bibliografias disponíveis.....	185
Gráfico 3.12-1 Análise regional: economia quanto ao emprego de lajes treliçadas.....	187
Gráfico 3.13.1-1 Análise Regional: enchimentos de laje treliçada .....	189
Gráfico 3.13.1-2 Análise no Brasil: enchimentos de laje treliçada .....	189
Gráfico 3.13.2-1 Análise regional quanto ao uso de fôrmas plásticas removíveis.....	190
Gráfico 3.13.2-2 Análise no Brasil quanto ao uso de fôrmas plásticas removíveis .....	191
Gráfico 3.14-1 Análise Regional: transporte vertical de vigotas.....	193
Gráfico 3.14-2 Análise no Brasil: transporte vertical de vigotas .....	193
Gráfico 3.15-1 Análise no Brasil: frequência de patologias .....	195
Gráfico 3.16-1 Análise no Brasil: importância de pontos quanto a seus estudos.....	198
Gráfico 3.17.1-1 Análise regional quanto à frequência do engenheiro em obras .....	201

Gráfico 3.17.1-2 Análise no Brasil quanto à frequência do engenheiro em obras.....	201
Gráfico 3.17.2-1 Análise Regional quanto à capacitação dos fabricantes de lajes treliçadas	203
Gráfico 3.17.2-2 Análise no Brasil quanto à capacitação dos fabricantes de lajes treliçadas	203

# SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	22
1.1 Considerações iniciais .....	22
1.2 Justificativa .....	25
1.3 Objetivos.....	25
1.4 Metodologia .....	26
1.5 Estrutura do trabalho .....	27
2. O CONCRETO ARMADO .....	29
2.1 Introdução.....	29
2.2 Surgimento do concreto armado .....	29
2.3 Pavimentos em lajes lisas - primeiras aplicações .....	37
2.4 Estado da arte das lajes pré-fabricadas no Brasil.....	39
3. EDIFICAÇÕES FLEXÍVEIS .....	46
3.1 Origem.....	46
3.2 Primeira Escola: Bauhaus.....	47
3.3 Organicistas .....	48
3.4 Funcionalistas .....	50
3.5 Arquitetura pós-modernista .....	53
3.6 Espaço flexível.....	54
3.7 Edificação flexível .....	55
4. LAJES LISAS NERVURADAS PRÉ-FABRICADAS COM VIGOTAS TRELIÇADAS	60
4.1 Introdução.....	60
4.2 Definições.....	61
4.3 Classificação e Recomendações Normativas para o projeto de lajes em concreto armado	61
4.3.1 Lajes nervuradas .....	61

4.3.2 Lajes Lisas .....	62
4.3.2.1 Definições .....	62
4.3.2.2 Algumas tipologias possíveis para as lajes lisas nervuradas .....	62
4.3.2.3 Vantagens das lajes lisas.....	63
4.3.2.4 Desvantagens das lajes lisas.....	64
4.3.2.4.a Deslocamentos transversais das lajes .....	64
4.3.2.4.b Instabilidade global do edifício .....	64
4.3.2.4.c Punção das lajes.....	64
4.4 Sistemas de lajes lisas .....	65
4.4.1 Moldadas no local (“in loco”) com utilização de elementos de enchimento inertes .....	65
4.4.1.1 Vantagens.....	65
4.4.1.2 Desvantagens .....	66
4.4.2 Moldadas no local (“in loco”) com utilização fôrmas removíveis reaproveitáveis (cubetas) .....	66
4.4.2.1 Vantagens.....	66
4.4.2.2 Desvantagens .....	67
4.4.3 Pré-fabricadas com vigotas treliçadas e utilização de elementos de enchimento em EPS .....	68
4.4.3.1 Vantagens.....	68
4.4.4 Pré-fabricadas com vigotas treliçadas com utilização de fôrmas removíveis .....	72
4.5 Métodos de cálculo .....	73
4.6 Subsídios para o projeto de lajes lisas nervuradas pré-fabricadas com vigotas treliçadas. 75	
4.6.1 Nervuras transversais em lajes unidirecionais: recomendações .....	76
4.6.2 Pré-dimensionamento .....	78
4.6.2.1 Altura.....	78
4.6.2.2 Geometria dos ábacos (zonas maciças) e bandas maciças.....	80
4.6.2.3 Distribuição de forças concentradas nas lajes formadas por nervuras .....	81
4.6.2.4 Juntas de dilatação no sentido das vigotas treliçadas .....	82
4.6.2.5 Execução de lajes com vãos maiores que 12 metros.....	83
4.6.3 Detalhes executivos.....	84
4.6.4 Escoramentos .....	89
4.6.5 Contraflecha.....	91
4.6.6 Retirada dos escoramentos .....	92
4.6.7 Concretagem .....	93

4.6.8 Cura .....	93
<b>5. DIAFRAGMA INFINITAMENTE RÍGIDO: LAJES NERVURADAS PRÉ-FABRICADAS COM VIGOTAS TRELIÇADAS .....</b>	<b>94</b>
5.1 Introdução.....	94
5.2 Diafragma infinitamente rígido .....	96
5.2.1 Definições .....	96
5.2.2 Modelos de cálculo para o diafragma infinitamente rígido .....	98
5.3 Modelos de cálculo propostos para o diafragma infinitamente rígido de estruturas de edifícios executados com lajes nervuradas pré-fabricadas e com vigotas treliçadas.....	99
5.3.1 Dimensionamento do diafragma utilizando armaduras uniformemente distribuídas em 40% da altura do diafragma .....	100
5.3.2 Verificação das tensões de compressão do concreto.....	101
5.3.3 Dimensionamento do diafragma utilizando armaduras concentradas em cintas junto às bordas do diafragma.....	101
5.3.4 Verificação das tensões de compressão do concreto.....	102
5.4 Verificação das tensões devidas ao esforço transversal $V_h$ .....	102
5.5 Pesquisas.....	102
5.6 Conclusão .....	107
<b>6. ESTUDO DE CASO.....</b>	<b>109</b>
6.1 Introdução.....	109
6.2 Apresentação do edifício objeto do estudo de caso .....	109
6.3 Características da Obra.....	110
6.4 Análise de custos .....	111
6.5 Resultados.....	112
<b>7. CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....</b>	<b>114</b>
7.1 Conclusões.....	114
7.2 Sugestões para trabalhos futuros.....	115

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	116
ANEXO 1 – ANÁLISE DAS RESPOSTAS OBTIDAS NA PESQUISA DE CAMPO .....	128
1. Introdução.....	128
1.1 Análise das respostas obtidas.....	128
1.1.1 Características do público alvo .....	128
1.1.2 Verificação quanto à presença de lajes treliçadas em projetos estruturais .....	129
1.1.3 Emprego de lajes treliçadas em relação ao número de pavimentos .....	129
1.1.4 Lajes in loco versus lajes treliçadas .....	129
1.1.5 Valores de projeto: $f_{ck}$ .....	130
1.1.6 Vão máximo considerado como competitivo para o sistema construtivo com lajes treliçadas.....	130
1.1.7 Ferramentas utilizadas .....	130
1.1.8 Classificação quanto ao emprego de lajes lisas e/ou vigas planas com lajes pré-fabricadas treliçadas nos projetos estruturais .....	131
1.1.9 Avaliação técnica dos projetistas estruturais que elaboraram projetos com lajes lisas e/ou vigas planas com lajes treliçadas, quando comparados aos projetos elaborados com lajes moldadas no local .....	131
1.1.10 Dificuldades no emprego de lajes treliçadas.....	132
1.2 Conhecimento de lajes treliçadas.....	133
1.2.1 Informações disponíveis.....	133
1.2.2 Bibliografia disponível .....	135
1.3 Análise econômica .....	137
1.4 Elemento de enchimento .....	139
1.4.1 Elementos inertes ou caixão perdido.....	139
1.4.2 Elementos de enchimento com fôrmas plásticas removíveis .....	140
1.4.3 Transporte vertical.....	141
1.4.4 Patologias.....	142
1.5 Estudos sobre lajes treliçadas .....	143
1.6 Características das empresas fabricantes de lajes pré-fabricadas .....	144
1.6.1 Quanto à atuação do Engenheiro Responsável .....	145
1.6.2 Quanto à capacitação dos fabricantes para o cálculo estrutural das lajes e orientação técnica .....	145

ANEXO 2 – CARTA E QUESTIONÁRIO ENVIADOS AOS PROJETISTAS ESTRUTURAIS .....	148
ANEXO 3 – PESQUISA DE CAMPO: ANÁLISE DAS RESPOSTAS.....	157
3.1 Características do público alvo .....	157
3.2 Verificação quanto à presença de lajes treliçadas em projetos estruturais.....	159
3.3 Emprego de lajes treliçadas em relação ao número de pavimentos .....	161
3.4 Lajes in loco versus lajes treliçadas .....	164
3.5 Valores de projeto: $f_{ck}$ .....	169
3.6 Vão máximo considerado como competitivo para o sistema construtivo com lajes treliçadas.....	170
3.7 Ferramentas utilizadas .....	172
3.8 Classificação quanto ao emprego de lajes lisas e vigas planas com lajes pré-fabricadas treliçadas nos projetos estruturais .....	174
3.9 Avaliação técnica dos projetistas estruturais que elaboraram projetos com lajes lisas e/ou vigas planas com lajes treliçadas, quando comparados aos projetos elaborados com lajes moldadas no local .....	176
3.10 Dificuldades no emprego de lajes treliçadas .....	178
3.11 Conhecimento de lajes treliçadas .....	180
3.11.1 Informações disponíveis .....	180
3.11.2 Bibliografia disponível .....	183
3.12 Análise econômica .....	185
3.13 Elemento de enchimento .....	187
3.13.1 Elementos inertes ou caixão perdido.....	187
3.13.2 Elementos de enchimento com fôrmas plásticas removíveis.....	190
3.14 Transporte vertical .....	191
3.15 Patologias.....	194
3.16 Estudos sobre lajes treliçadas .....	196
3.17 Características das empresas fabricantes de lajes treliçadas .....	199
3.17.1 Quanto à atuação do Engenheiro Responsável .....	199
3.17.2 Quanto à capacitação dos fabricantes para cálculo estrutural e orientação técnica ....	202

## CAPITULO 1 – INTRODUÇÃO

### 1.1 - Considerações Iniciais

A busca por liberdade e flexibilidade na construção de espaços arquitetônicos representa, atualmente, um tema que merece ser analisado e compreendido, a fim de que possam ser encontradas opções viáveis à demanda. Para tanto, faz-se necessário assimilar a evolução da edificação e entender a cultura predominante no contexto brasileiro.

De acordo com Dorfman (2003), a flexibilidade no contexto da edificação pode ser entendida como a capacidade de adaptação de estruturas construídas, equipamentos, materiais, componentes, elementos e processos construtivos às exigências e/ou circunstâncias de produção e/ou utilização mutáveis, sem que, para isso, haja variações significativas na quantidade de recursos necessários à sua produção e/ou utilização.

A liberdade de acolher, em um espaço construído, diferentes funções, fluxos de pessoas e de objetos, em várias formas de organização, bem como a opção de alterar o *layout*, tanto quantitativa e qualitativamente, ao longo do tempo e segundo estímulos internos ou externos, é inversamente proporcional à densidade de obstáculos físicos irremovíveis que fazem parte deste espaço. Ou seja, considerando-se um edifício como um artefato destinado a abrigar um certo número de pessoas e cumprindo um elenco específico de funções, sua flexibilidade é diretamente proporcional à dimensão dos vãos-livres que seus espaços internos podem oferecer. Essa tendência, considerada uma das mais importantes no desenvolvimento das técnicas construtivas e da arquitetura dos últimos cento e cinquenta anos, teve início juntamente com a Revolução Industrial, por volta da metade do Século XVIII, na Inglaterra.

Graças aos avanços das técnicas construtivas da época, foi possível, progressivamente, converter os edifícios em utensílios flexíveis, uma exigência decorrente da intensificação e da expansão das atividades econômicas típicas daquele período: pessoas, mercadorias e equipamentos deviam ser abrigados e movimentados em escalas e dimensões até então inéditas na evolução da arquitetura e das construções.

Essa ampliação de escala estimulou o desenvolvimento de soluções técnico-construtivas que oferecessem aos edifícios a possibilidade de possuírem grandes vãos-livres, cobertos sem qualquer apoio ou outro tipo de obstáculo físico fixo.

Surgiram, então, as estruturas metálicas, que cumpriam essa exigência com perfeição e, ainda, atendiam às preocupações relativas à segurança dos edifícios e substituíam a madeira, menos resistente ao fogo e escassa na Europa desde o início do século XVIII.

Outro grande salto relativo à flexibilização dos ambientes deu-se anos mais tarde, quando da liberação do conjunto de paredes (internas, externas) da função portante, estratégia fundamental para que zoneamentos, divisões e dimensionamentos dos espaços internos se estabelecessem livres das limitações impostas pela sustentação do edifício.

Já na segunda metade do século XX, as mudanças na economia e nas formas de vida das sociedades urbanas passaram a exigir técnicas de produção de edifícios cada vez mais diferenciadas.

Em função disso, surgiram os sistemas flexíveis, constituídos pelo sistema de divisórias, instalações hidro-sanitárias, iluminação, pisos e fechamentos oriundos de fabricantes diversos, capazes de adaptarem-se a diferentes estruturas portantes.

Dessa forma, a atual visão sistêmica dos edifícios define-os como aglomerados funcionais maiores constituídos de vários subsistemas componíveis de formas diversas, aos quais a indústria da edificação teve que se adaptar.

A partir do ano 2000 nova reviravolta envolveu a indústria da construção civil: o Poliestireno Expandido (EPS), usado até então primordialmente no setor industrial de embalagens, teve seu custo viabilizado como fôrma perdida e passou a compor um sistema construtivo com elementos pré-fabricados<sup>1</sup> que será objeto de análise neste trabalho.

As lajes lisas com nervuras pré-fabricadas em vigotas treliçadas que utilizam fôrmas perdidas em blocos de EPS ainda são consideradas incompletas, por não apresentarem todos os elementos, dispositivos, procedimentos e métodos exigidos na execução.

Ainda assim, o estudo de caso real aqui apresentado mostra que sua utilização reduz custos do elemento estrutural laje em torno de 21,40% em relação ao mesmo sistema projetado com lajes lisas moldadas “*in loco*”, além de simplificar fôrmas, armaduras, concretagem e instalações, conferir maior flexibilidade à edificação, melhorar as condições de

---

<sup>1</sup> Neste trabalho a expressão “pré-fabricado” designará eventuais peças pré-moldadas.

habitabilidade e diminuir o prazo de execução da obra, em função da redução do consumo de materiais e mão-de-obra e redução da altura total do edifício.

Segundo a ABNT NBR 6118:2003, os pavimentos em lajes sem vigas são compostos ou por lajes que se apóiam diretamente sobre pilares, quando não há capitéis, ou por lajes-cogumelo, quando existem capitéis.

Nesses pavimentos, a presença de vigas periféricas é variável e o cálculo dos esforços por métodos aproximados é admitido a partir da regularidade geométrica dos pilares, sendo que as faixas de lajes são tratadas como pórticos contínuos ligados aos apoios extremos.

Para resistência aos esforços horizontais, é comum a utilização de paredes estruturais ou núcleos rígidos. Os apoios da laje em pilares esbeltos resultam em efeito de pórtico fraco, com difícil solução construtiva devido à presença de grandes momentos fletores, principalmente nos apoios extremos.

As lajes lisas devem ser dimensionadas para os esforços obtidos: momentos fletores negativos nos apoios e positivos nos vãos, nas duas direções. Devem, ainda, ser verificadas na região dos apoios e armadas se necessário para combater as tensões oriundas do cisalhamento<sup>2</sup> e a punção.

Nesse trabalho, a distribuição das cargas horizontais entre os painéis de contraventamento será abordada a partir do modelo de funcionamento do diafragma “infinitamente rígido”, concebido para o sistema de com lajes nervuradas pré-fabricadas com vigotas treliçadas, com base no efeito de arco ou bielas e tirantes, adaptado do modelo apresentado por Elliott (2005).

A participação das lajes em conjunto com as estruturas de contraventamento vertical, considerando a rigidez transversal à flexão em seu próprio plano e utilizando técnicas

---

<sup>2</sup> O cisalhamento é um dos temas menos estudados na laje pré-fabricada. Ele pode ser vertical, devido às ações verticais aplicadas, ou horizontal, na interface entre o concreto da vigota pré-moldada e o lançado no local. De uma maneira geral, sabe-se que a armadura treliçada permite uma melhor ligação entre concreto pré-moldado e o lançado no local. Entretanto, não existem, no país, estudos específicos sobre o assunto. As normas brasileiras não indicam como realizar a verificação do cisalhamento entre superfícies pré-moldada e moldada no local. No caso das vigotas de concreto ou protendidas esse é um importante aspecto do dimensionamento (CARVALHO *et al.*, 2005).

discretas como o Método dos Elementos Finitos ou Método dos Elementos de Contorno, será analisada por meio de estudos de vários pesquisadores na área de edifícios altos.

## **1.2 Justificativa**

O presente trabalho justifica-se, considerando-se os seguintes fatores:

- a) as inúmeras vantagens que a aplicação de lajes lisas compostas por nervuradas pré-fabricadas com vigotas treliçadas e elementos de enchimento inertes em “EPS” e/ou formas removíveis nas estruturas de edificações oferece, tais como: redução de custos, diminuição da altura total do edifício, facilidade na realização de instalações e acabamentos, simplificação das armações e racionalização do processo de execução;
- b) a evidente necessidade de se equacionar e racionalizar um modelo estrutural de edifícios executados com a utilização desse sistema;
- c) a oportunidade de se fornecer subsídios quanto à concepção, detalhamento, transporte, montagem e procedimentos para execução das lajes em questão;
- d) a possibilidade de divulgar as vantagens proporcionadas pelo sistema frente aos sistemas moldados no local, visando não só a economia de materiais, como também a racionalização e a diminuição de desperdício bem como as exigências atuais do desenvolvimento sustentável;
- e) o uso racional do concreto, devido à evolução tecnológica do produto estudado, cujas características abrangem maior resistência à compressão e o atendimento à ABNT NBR 6118:2003 quanto aos critérios de durabilidade;
- f) a extrema competitividade desse sistema estrutural.

## **1.3 Objetivos**

São objetivos do trabalho proposto:

- a) buscar respostas, através de pesquisa de campo junto a projetistas estruturais, para o comportamento cultural predominante em projetar lajes lisas nervuradas ou maciças moldadas no local em detrimento à industrialização da construção;

- b) apresentar as regulamentações normativas relativas às lajes lisas nervuradas moldadas no local e pré-fabricadas com vigotas treliçadas e os métodos de cálculo indicados pela ABNT NBR 6118:2003;
- c) comparar suas vantagens e desvantagens em relação ao sistema de lajes lisas nervuradas moldadas no local;
- d) apresentar estudo de caso real comparando os custos em relação ao sistema de lajes lisas nervuradas moldadas no local;
- e) analisar, através de estudos realizados por diversos pesquisadores, o modelo de funcionamento do diafragma “infinitamente rígido”, utilizado para a distribuição das cargas horizontais entre os painéis de contraventamento, e o modelo que considera a rigidez transversal à flexão das lajes em seu próprio plano, utilizando-se técnicas discretas como o Método dos Elementos Finitos ou Método dos Elementos de Contorno;
- f) fornecer subsídios para o projeto e execução do sistema de lajes lisas nervuradas pré-fabricadas com vigotas treliçadas;
- g) analisar as respostas da pesquisa de campo elaborada junto aos projetistas estruturais, visando esclarecer as dúvidas pertinentes ao sistema.

#### **1.4 Metodologia**

Com o intuito de se alcançar, da melhor forma possível, os objetivos descritos anteriormente, a metodologia utilizada será a seguinte:

- a) pesquisa bibliográfica, por meio da qual serão obtidas informações sobre a utilização do sistema aqui descrito. Livros, teses, dissertações, boletins, normas, trabalhos publicados em anais de congressos, revistas e sites de fabricantes servirão de insumo para a elaboração de um painel detalhado sobre o sistema, desde a etapa de projeto até a de execução;
- b) pesquisa de campo, através da qual pretende-se ouvir os engenheiros projetistas estruturais, obter respostas para o comportamento cultural predominante no meio técnico atual brasileiro e estabelecer quais aspectos merecem um estudo aprofundado visando um melhor aproveitamento do sistema. A pesquisa de campo foi colocada anexa em virtude de ser apenas uma consulta, não caracterizando uma pesquisa científica.

c) estudo de caso real, aproveitando-se a experiência do autor como projetista estrutural e fabricante de lajes pré-fabricadas treliçadas, é apresentado no capítulo 6.

### **1.5 Estrutura do trabalho**

Este trabalho estrutura-se em sete capítulos, anexos e referências bibliográficas.

O primeiro capítulo apresenta justificativa para o assunto adotado, os objetivos pretendidos e metodologia utilizada.

No segundo capítulo é apresentado um retrospecto, a partir do surgimento do concreto armado, das primeiras patentes sobre lajes nervuradas, primeiras aplicações dos sistemas de lajes lisas, a introdução das lajes pré-fabricadas no Brasil e o estado da arte do cálculo das Lajes Pré-fabricadas com vigotas de concreto, sugerindo uma reflexão sobre a utilização do sistema de lajes lisas nervuradas pré-fabricadas com vigotas treliçadas.

O terceiro capítulo contextualiza o sistema de lajes lisas sob a ótica da flexibilidade espacial, apresentado uma retrospectiva das mudanças promovidas a partir da Revolução Industrial na composição do grupo familiar e nas relações entre seus membros, novas formulações dos espaços requeridos no ambiente das empresas e a novas tecnologias da Telemática exigem um espaço em permanente transformação, elegendo assim o sistema estrutural em lajes lisas como o de menor obsolescência.

O quarto capítulo se destina à classificação e recomendações normativas para o projeto das lajes lisas e nervuradas em concreto armado, as tipologias possíveis, os vários sistemas com suas vantagens e desvantagens, os métodos de cálculo segundo a ABNT NBR 6118:2003 e subsídios para o projeto e execução de lajes lisas nervuradas pré-fabricadas com vigotas treliçadas.

No quinto capítulo estuda-se o funcionamento do diafragma “infinitamente rígido”, apresentando-se um modelo para esse sistema, baseado no efeito de arco ou bielas e tirantes, adaptado do modelo apresentado por Elliott (2005). Também é feita uma análise dos estudos realizados por diversos pesquisadores, comparando o modelo de funcionamento do diafragma “infinitamente rígido” e o que considera a rigidez transversal à flexão das lajes em seu próprio plano.

No sexto capítulo é apresentado um estudo de caso real entre o sistema de lajes lisas nervuradas moldadas no local e nervuradas pré-fabricadas com vigotas treliçadas, onde são comparados os custos entre os sistemas.

As conclusões, discussões e avaliações são apresentadas no sétimo capítulo.

No Anexo 1 é apresentada a análise sucinta das respostas obtidas na pesquisa de campo elaborada junto aos projetistas estruturais, visando esclarecer as dúvidas pertinentes ao sistema.

No Anexo 2 são apresentados a carta e o questionário disponibilizados aos projetistas estruturais por meio da comunidade TQS.

No Anexo 3 são apresentadas, na íntegra, as respostas tabuladas da pesquisa de campo.

## 2. O CONCRETO ARMADO

### 2.1 Introdução

O concreto armado é um material de alto desenvolvimento tecnológico, sendo o material estrutural mais utilizado em todo o mundo.

Devido à sua importância, torna-se relevante um retrospecto desde seu surgimento até os dias de hoje, destacando-se os avanços tecnológicos pelos quais passou. Além disso, sugere-se uma reflexão sobre a utilização do sistema de pavimentos em lajes lisas do Brasil.

### 2.2 Surgimento do concreto armado

A origem do concreto armado no século XIX na Europa foi alavancada por um grande número de patentes de “sistemas” para a construção de obras com esse material, as quais geralmente levavam o nome de seu “inventor”, conforme Lima *et al*, (2004). As patentes eram tantas que acabaram dificultando, significativamente, a difusão do concreto armado, devido ao sigilo em que eram mantidos os resultados dos ensaios realizados.

A figura 2.2-1 mostra o documento de pedido de patente do projeto do barco de Lambot, construído em 1855 e, além da placa que corresponde à armação do barco, mostra também o desenho de algo parecido com um pilar de seção retangular com quatro barras longitudinais de ferro.

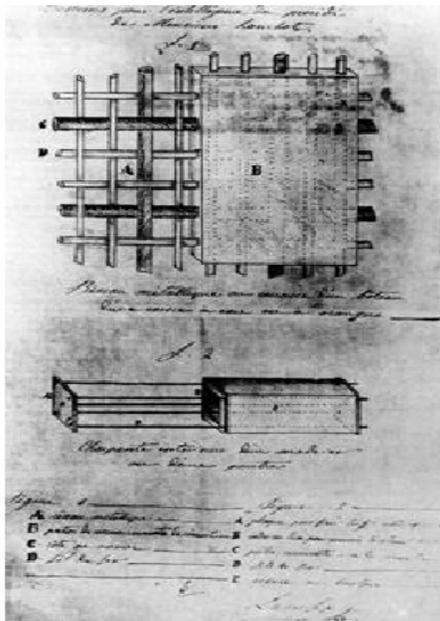


Figura 2.2-1- Patente do barco de Lambot 1855. Fonte: LIMA *et al*. (2004).

De acordo com Kaefer (1998), a primeira publicação sobre Cimento Armado (denominação do concreto armado até por volta de 1920) foi do francês Joseph Louis Lambot. Presume-se que em 1850 Lambot tenha efetuado as primeiras experiências práticas do efeito da introdução de ferragens numa massa de concreto, mas é certo que em 1854 ele já executava construções de "cimento armado" com diversas finalidades.

Imerso em estudos sobre o concreto armado e motivado por problemas com a manutenção de canoas de madeira utilizadas para lazer em um pequeno lago existente em sua propriedade em Miraval, no sul da França, Lambot teve a idéia de construir um barco de concreto, figura 2.2-2, exposto na Exposição Mundial de Paris em 1855.

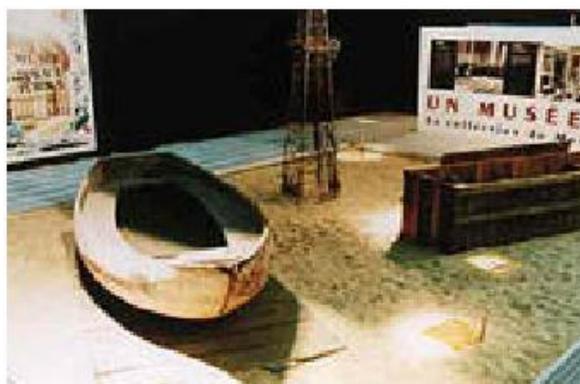


Figura 2.2-2 - Barco de Lambot. Fonte: LIMA *et al.* (2004).

Também em 1854, William Boutland Wilkinson, ex-gesseiro, patenteou na Inglaterra um sistema de lajes nervuradas, conforme figura 2.2-3, que consistia em uma série de blocos de gesso utilizados como fôrmas perdidas e que constituíam uma série de nervuras onde havia concentração da armadura inferior da laje, as quais eram preenchidas com concreto formando uma capa superior.

Ao dispor as armaduras das nervuras e das vigas de sustentação na região tracionada, Wilkinson demonstrava ter domínio dos princípios básicos de funcionamento do concreto armado, visto que o detalhamento das armaduras seguia de forma razoável a trajetória tracionada das peças.

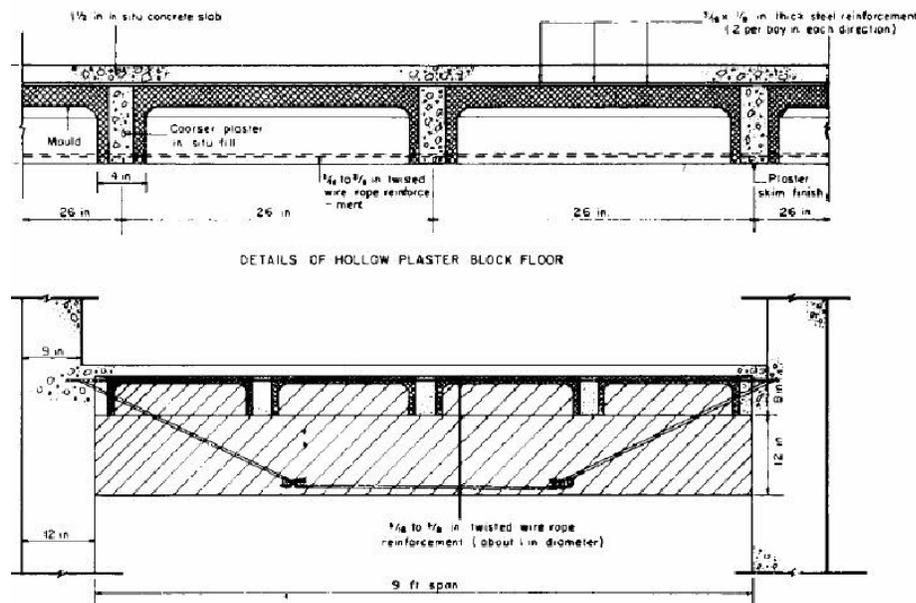


Figura 2.2-3 - Patente do sistema de lajes nervuradas de Wilkinson. Fonte: LIMA *et al.* (2004).

Kaefer (1998) acredita que Lambot, com a armação de sua canoa de concreto, tenha influenciado o jardineiro Joseph Monier na construção de seus vasos de concreto armado, haja vista a similaridade entre os métodos utilizados por ambos. No entanto, há quem discorde. O certo é que, em 1867, Monier havia avançado tanto em seu método de mergulhar uma malha de aço na massa de concreto, que o patenteou e o exibiu na Exposição de Paris daquele ano.

Embora sua patente não tenha tido qualquer embasamento teórico, a primeira extensão de sua patente parece ter servido para a construção de reservatórios de água e Monier passou a ser considerado um dos grandes disseminadores da técnica de construção com concreto armado.

A próxima data significativa na história do concreto armado é 1892, quando François Hennebique finalmente adquiriu as patentes sobre seu sistema, depois de mais de uma década de experiências construindo estruturas de concreto, segundo Kaefer (1998). Além disso, licenciou construtores idôneos a utilizarem seu sistema, passou a atuar como consultor, constituiu uma grande equipe técnica e apontou agentes em diferentes partes do mundo, desenvolvendo, assim, uma organização comercial que, sob um rígido controle da qualidade, permitiu uma rápida expansão das estruturas realizadas com seu sistema.

Grande parte do sucesso de Hennebique deveu-se mais às suas notáveis técnicas de administração e marketing, a exemplo do publicado na revista “Le Béton Armé” (figura 2.2-4), selecionando e compilando boas técnicas já empregadas, do que à sua capacidade de inovação.



Figura 2.2-4 - Boletins técnicos, revista “Le Béton Armé”. Fonte: LIMA *et al.* (2004).

Observa-se em seus trabalhos o emprego de estribos, barras longitudinais e barras dobradas, em um arranjo bastante similar ao utilizado atualmente. A figura 2.2-5 refere-se à sua patente sobre vigas contínuas de concreto armado.

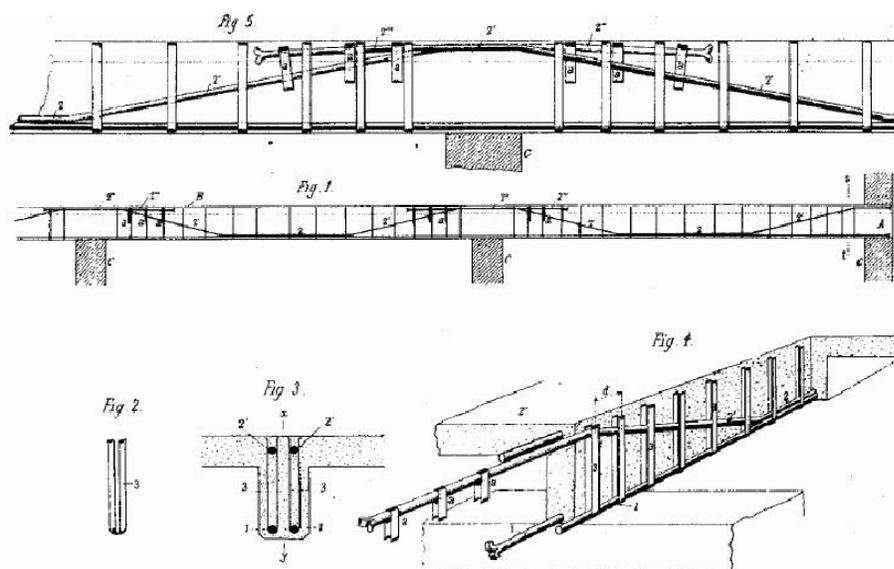


Figura 2.2-5 - Patente de lajes contínuas. Fonte: LIMA *et al.* (2004).

Hennebique soube aproveitar duas grandes virtudes do concreto armado: resistência ao fogo e durabilidade. Ele estudou através de ensaios uma série de elementos típicos, cuja combinação permitia obter estruturas completas. O ábaco, apresentado na figura 2.2-6, permite obter o preço por metro quadrado de uma estrutura de vigotas conhecendo-se somente o vão, a sobrecarga e a condição de apoio.

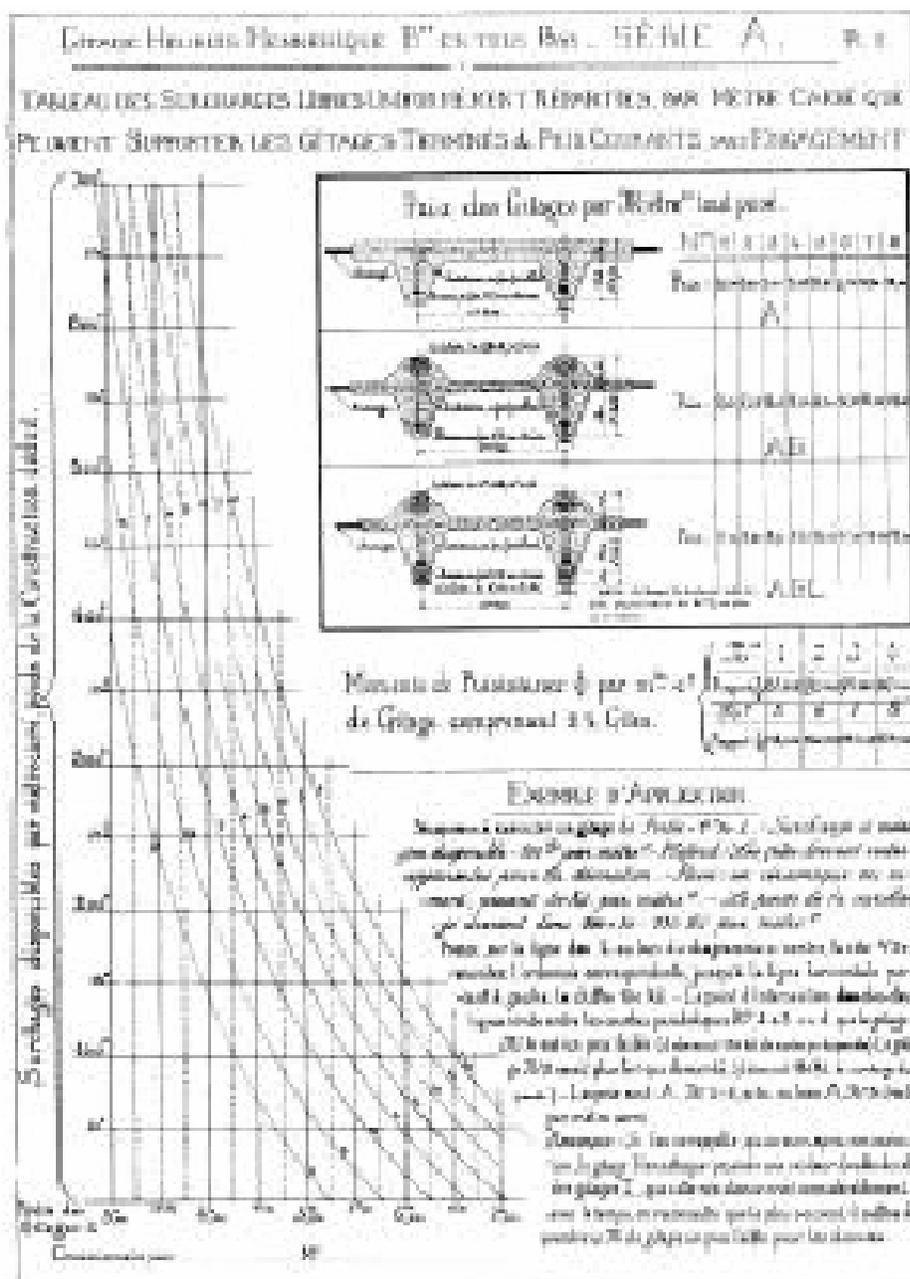


Figura 2.2-6. - Ábaco vão-sobrecarga-condição de apoio para obtenção do preço por metro quadrado de estruturas. Fonte: Lima *et al.* (2004)

Lima *et al.* (2004) relata que a patente de Monier serviu como base para dois outros grandes nomes: Conrad Freytag e G.A. Wayss que, juntos, constituíram a firma *Wayss und Freytag*, a maior executora das construções de concreto armado até a Primeira Guerra Mundial, cujas obras foram de grande importância para o entendimento das resistências ao cisalhamento e à torção.

A diferença entre eles e seu concorrente Hennebique é que este se baseava em sua fama e experiência, enquanto Freytag e Wayss fundamentavam seus projetos em cálculos, muitas vezes de forma obsessiva, o que se mostrou ser uma faca de dois gumes: por um lado fez avançar a ciência (em particular a *Teoria da Elasticidade* e a *Teoria do Concreto Armado*), mas por outro, afastou os projetistas de estruturas que não pudessem ser rigorosamente calculadas.

Um dos engenheiros da empresa *Wayss und Freytag*, Emmil Mörsch, realizou inúmeros ensaios assentando as bases do que hoje se conhece como *Método Elástico* ou *Método Clássico*. Além de ser um teórico do concreto armado, ele foi um famoso projetista de estruturas, cujos arcos triarticulados serviram de modelo durante décadas para muitos outros projetistas. Neles insinua-se uma geometria, desenvolvida posteriormente por Maillart<sup>3</sup>, que aumentou a altura do arco entre as articulações.

Todavia, foi um americano quem ousou experimentar o concreto como nova maneira de construir painéis para calçadas em Londres. Thaddeus Hyatt iniciou sua atuação como construtor na França, e foi responsável, de acordo com Kaefer (1998), por grande parte do conhecimento dos fundamentos estruturais do concreto armado na década de 1870. Seus testes constituíram as primeiras bases para a teorização do concreto armado e entre as conclusões a que Hyatt chegou destaca-se a de que o aço (ou ferro) não resiste tão bem ao fogo quanto o concreto. Entretanto, envolvendo-se aço em camadas espessas de concreto obtém-se um material bastante resistente ao fogo, pois a aderência entre ambos é suficientemente grande para fazer com que a armadura posicionada na parte inferior da viga trabalhe em conjunto com o concreto comprimido da parte superior da viga.

Pode-se dizer que Hyatt foi, efetivamente, o grande precursor do concreto armado e, possivelmente, o primeiro a compreender profundamente a necessidade de uma boa aderência entre concreto e aço e do correto posicionamento (nas áreas tracionadas) das barras

---

<sup>3</sup> Grande criador no âmbito das estruturas de concreto armado, Robert Maillart obteve prestígio com a criação de suas pontes. No entanto, não foi reconhecido por ter sido o introdutor do sistema em lajes lisas na Europa. Em seu apogeu como projetista estrutural ainda não estavam suficientemente difundidos alguns aspectos tecnológicos do concreto que hoje são considerados quase óbvios. Algumas de suas obras apresentaram problemas de manutenção devido a cobrimentos insuficientes e à baixa qualidade do concreto utilizado.

de ferro para que este material possa colaborar eficientemente na resistência do conjunto. Lima *et al.* (2004) apresentam um dos ensaios realizados por ele, conforme ilustra a figura 2.2-7:

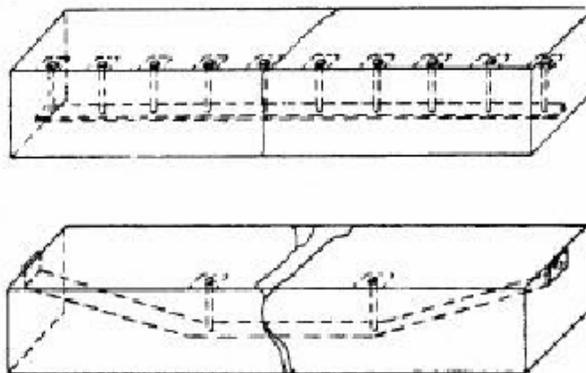


Figura 2.2-7 – Ensaio de vigas realizados por Hyatt. Fonte: LIMA *et al.* (2004)

Em 1878, Hyatt patenteou um sistema de lajes pré-moldadas.

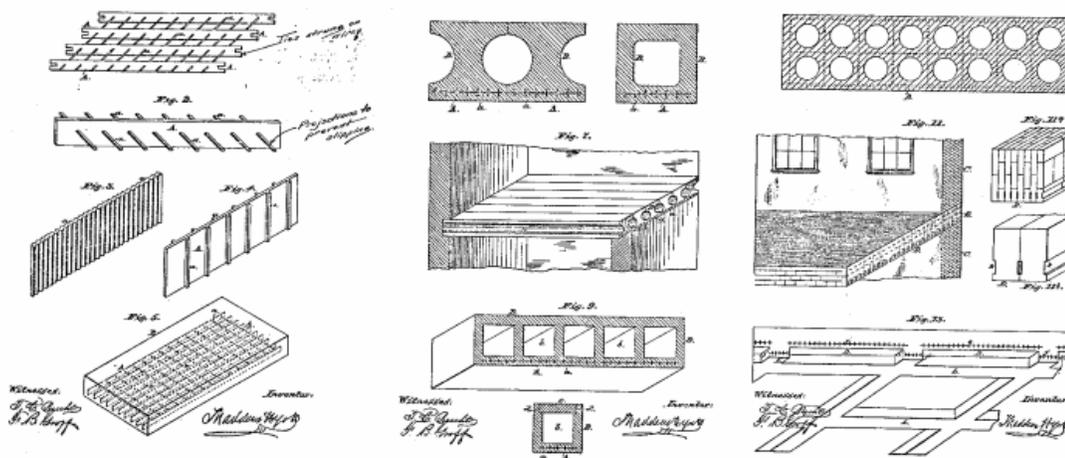


Figura 2.2-8 – Patente de Hyatt de 1878. Fonte: KAEFER (1998).

Conterrâneo de Hyatt, Ernest L. Ransome substituiu, nos Estados Unidos, as vigas I de aço por vigas de concreto com armadura de barras circulares situadas na sua porção inferior. Para contornar o problema da aderência entre a armadura e o concreto de maneira simples e barata, ele utilizou barras de aço retangulares torcidas e, devido aos bons resultados alcançados, patenteou-as, em 1884, como base para seu sistema. Em 1888, no entanto,

surgiram dúvidas quanto à resistência de suas barras torcidas em estruturas de maior responsabilidade.

Para provar a confiabilidade de seu método, Ransome submeteu a segunda laje da California Academy of Sciences a uma prova de carga, a qual atestou a segurança de seu sistema. Ainda em 1888, ele inovou novamente ao substituir as lajes arqueadas por *vigas T* na ampliação de uma fábrica em Alameda, na Califórnia.

Na década de 1890, dedicou-se a promover seu sistema, em grande competição com outros similares. Em 1902, conseguiu a patente do sistema formado por um piso constituído de *vigas T* e combinado com colunas de modo a formar um pórtico de concreto armado, que, anos mais tarde, viria dominar a construção de fábricas e depósitos.

Na figura 2.2-9 vê-se uma casa de máquinas com quatro pavimentos construída em 1901, em Greensburg, Pennsylvania, exemplo da aplicação deste sistema.

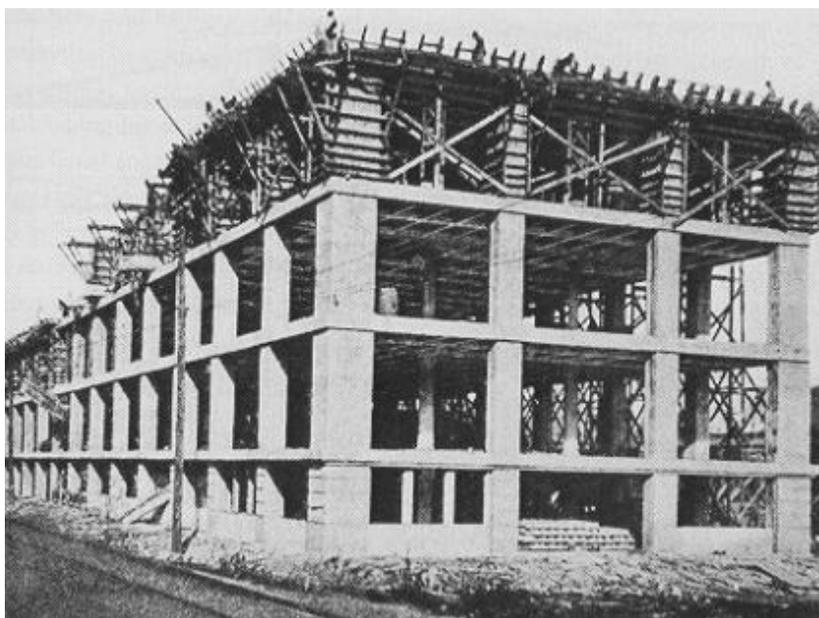


Figura 2.2-9 – Casa de máquinas – Ransome, 1901. Fonte: KAEFER (1998).

Finalmente, em 1903 o edifício de 16 andares Ingalls Building (figura 2.2-10) em Cincinnati, Ohio, nos Estados Unidos, tornou-se o primeiro arranha-céu construído em concreto armado, cuja estrutura foi executada com o sistema de Ransome, utilizando lajes planas.

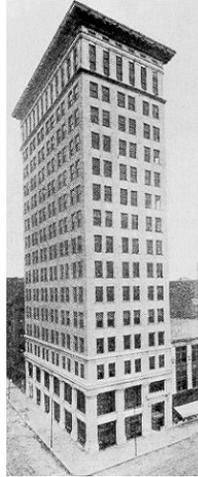


Figura 2.2-10 - Ingalls Building. KAEFER (1998).

Com a enorme expansão do uso do concreto armado proliferaram-se acidentes e falhas, cujas causas mais frequentes eram divididas entre projeto inadequado, emprego de materiais de baixa qualidade e falhas de execução. Tendo em vista esta situação, organizações profissionais e agências governamentais movimentaram-se para trazer ordem à extraordinária variedade de teorias, fórmulas e práticas empregadas, conforme explica Kaefer (1998).

### **2.3 Pavimentos em lajes lisas - primeiras aplicações**

A primeira aplicação prática de pavimentos em lajes lisas foi realizada em 1906, por Claude A. P. Turner nos Estados Unidos, na construção de um edifício de cinco andares, em que foi utilizada essa tipologia estrutural. Sua patente foi obtida em 1908. Este tipo de construção foi considerado experimental nos Estados Unidos e, por isso, necessitou que as provas de carga atingissem a ordem de duas vezes a carga de serviço.

Giovannardi (2007) e Lima *et al.* (2004) concordam com o fato de que Maillart, em 1900, desconhecia os trabalhos de Turner, quando começou a desenvolver a idéia, realizando sua primeira obra em 1908.

Uma diferença interessante entre as lajes lisas de Turner e as de Maillart pode ser verificada na disposição das armaduras. Enquanto Turner utilizava armaduras que se aproximam bastante das direções dos momentos principais (Figura 2.3-1), Maillart adotava uma disposição ortogonal muito similar à que é utilizada atualmente. Um tratamento analítico completo deste tipo de estruturas foi publicado por Westergaard & Slater (1921) apud Lima *et al.* (2004).

Maillart não fez nenhuma consideração teórica a respeito do traçado utilizado em seu detalhamento de armaduras, mas o validou através de ensaios. Trata-se de uma contribuição muito importante no campo das lajes de concreto armado, que abriu caminho para o uso de armaduras ortogonais em uma grande quantidade de lajes, cujas trajetórias dos esforços afastavam-se muito dessa distribuição.

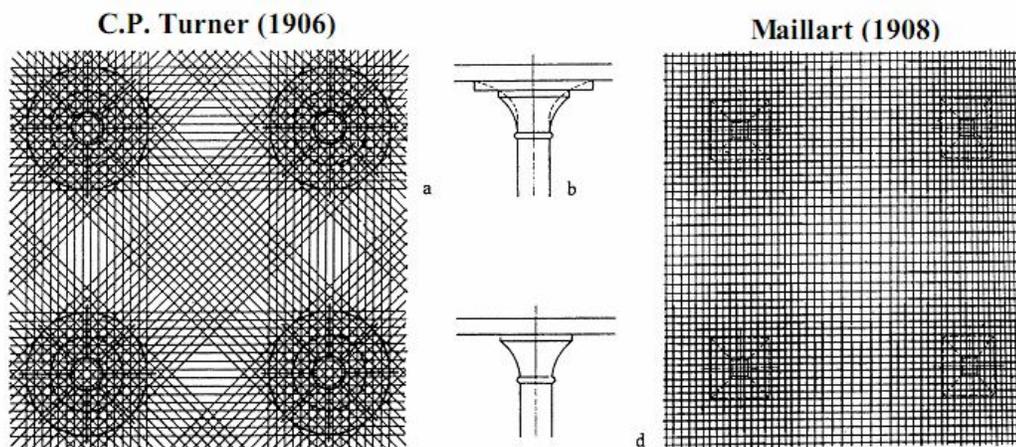


Figura 2.3-1 - Modelo de Lajes lisas de Turner e Maillart. Fonte: LIMA *et al.* (2004).

A figura 2.3-2 mostra uma prova de carga realizada sobre um protótipo. Já a figura 2.3-3 traz a fábrica da Pirelli, na Itália, que é exemplo de uma obra de Maillart executada em lajes lisas.



Figura 2.3-2 – Prova de carga em protótipo das lajes lisas de Maillart. Fonte: GIOVANNARDI (2007).



Figura 2.3-3 - Fábrica da Pirelli, Itália, 1913. Fonte: GIOVANNARDI (2007).

## 2.4 Estado da arte das lajes pré-fabricadas no Brasil

Di Pietro (1993) apud Borges (1997) relata que, segundo a Associação dos Fabricantes de Lajes de São Paulo (AFALA), é possível que os precursores da aplicação das lajes pré-fabricadas convencionais (vigotas de concreto armado) no Brasil tenham sido as indústrias de pré-moldados do Rio de Janeiro na década de 40. Na figura 2.4-1 apresenta-se uma perspectiva esquemática da montagem desse tipo de lajes pré-fabricadas convencionais (vigotas de concreto armado) e seção transversal após o preenchimento de concreto:

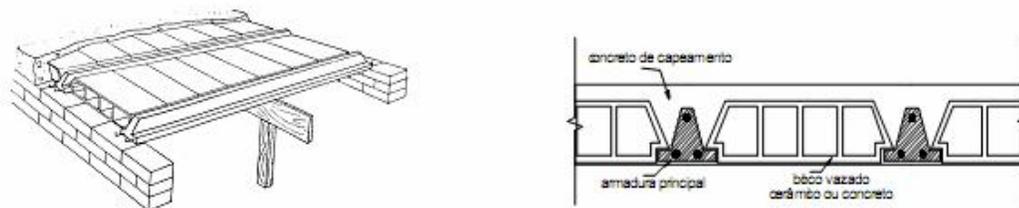


Figura 2.4-1 – Laje pré fabricada convencional (vigotas do tipo trilho em concreto armado).  
Fonte: BORGES (1997).

O trabalho de Carvalho *et al.* (2005) apresenta o estado da arte do cálculo das lajes pré-fabricadas com vigotas de concreto, a importância histórica e o contexto em que se encontra inserido. O trecho transcrito foi adaptado parcialmente para melhor inserção no contexto proposto.

Com relação ao uso de lajes pré-fabricadas no Brasil, Carvalho *et al.* (2005) fazem um retrospecto da sua aplicação na última década, embora até meados dos anos 1990 haja pouquíssima literatura específica sobre esse assunto.

Segundo os autores, “na região do nordeste do Estado de São Paulo, as precursoras das lajes pré-fabricadas foram, até o final da década de 70, as lajes nervuradas moldadas no local com elementos de enchimento compostos de lajotas cerâmicas de pequena altura”. A figura 2.4-2 mostra um esquema deste sistema estrutural:

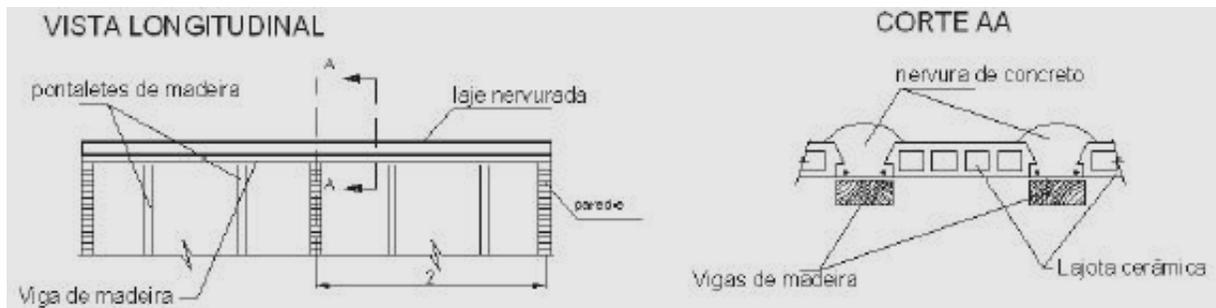


Figura 2.4-2 – Corte longitudinal e transversal do esquema de lajes nervuradas moldadas no local usadas até o final da década de 70. Fonte: CARVALHO *et al.* (2005).

Após a montagem de diversas fábricas de vigotas de concreto do tipo trilho, o sistema moldado no local caiu em desuso. Os construtores logo perceberam ser muito mais prático o uso destes elementos e, uma vez dimensionadas corretamente, as lajes poderiam até receber carga do telhado (telhado apoiado em pontaletes), sendo que a economia de madeira (principalmente a do telhado) com este novo sistema era grande.

Além disso, como os elementos eram feitos com concreto sob condições controladas, houve uma melhora considerável em todo o processo, inclusive graças às recomendações de preenchimento de concreto sobre toda a superfície da lajota e do trilho, a fim de que se formasse a mesa superior.

O próximo evento significativo foi o lançamento, no Brasil, das lajes com armaduras treliçadas<sup>4</sup>, conforme a Figura 2.4-3:

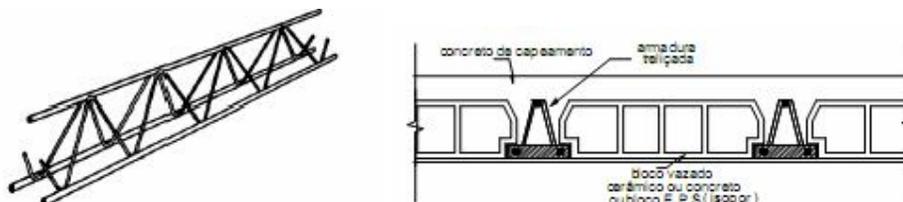


Figura 2.4-3 – Perspectiva esquemática da armadura treliçada usada em lajes pré-fabricadas e seção transversal após o preenchimento de concreto da laje pré-fabricada com nervura do tipo treliça. Fonte: CARVALHO *et al.* (2005).

O fabricante de lajes compra a armadura treliçada pronta e produz o elemento pré-moldado fazendo a concretagem do elemento inferior de concreto (sapata). Desta forma, pode fornecer um produto mais leve, com uma ligação melhor entre o concreto da pré-

<sup>4</sup> A treliça é obtida através da passagem de fios de aço CA60 em uma máquina que dá forma às diagonais e solda por fusão estes elementos aos banzos de forma automática. (CARVALHO *et al.*, 2005)

moldagem e o moldado no local (armadura transversal das diagonais da treliça se incumbem disso). Durante a fase construtiva, a treliça é um elemento estrutural que permite maior espaçamento entre escoras para resistir aos esforços durante a concretagem e cura.

A figura 2.4-4 apresenta a perspectiva esquemática da laje treliçada com duas direções, com elementos de enchimento em cerâmica e EPS (isopor). Atualmente, estas lajes são bastante utilizadas em todo o país, havendo, inclusive, fábricas de máquinas de equipamentos de eletrosoldagem.

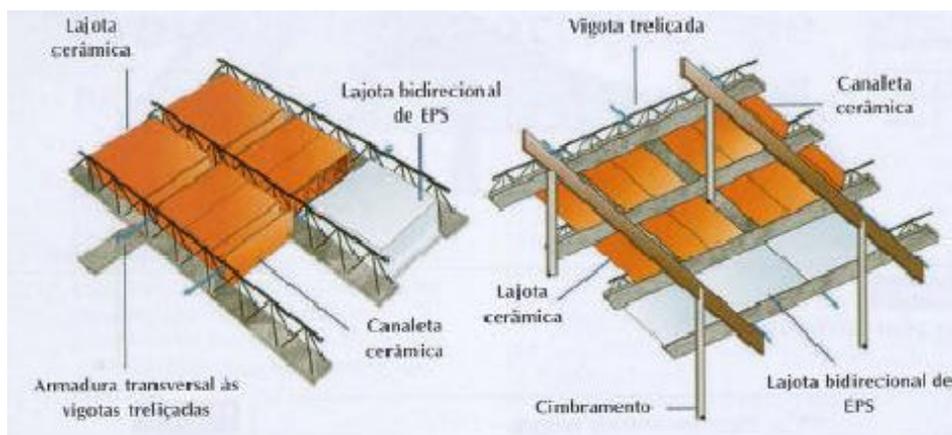


Figura 2.4-4 – Laje treliçada com duas direções. Fonte: CARVALHO *et al.* (2005).

Na opinião de Carvalho *et al.* (2005), “outra vantagem notável das lajes treliçadas é a possibilidade de se criar, sem dificuldade, lajes bidirecionais com o uso de elementos de poliestireno expandido (EPS conhecido pela marca comercial ISOPOR).

Conforme pesquisa feita por Carvalho *et al.* (2005) os primeiros autores a abordarem o tema lajes pré-fabricadas no Brasil foram:

- Di Pietro (1993): abordou a tecnologia de execução de lajes pré-fabricadas com vigotas de concreto analisando custos e fabricação, comentando as questões de qualidade e industrialização, porém sem focar o dimensionamento em seu trabalho;
- Bocchi Júnior (1995): dissertou sobre lajes nervuradas de concreto armado, comparando, através de um exemplo numérico, lajes pré-fabricadas com as moldadas no local. O autor também analisou as principais recomendações da norma de concreto da época ABNT NBR 6118:1980 e apresentou exemplos do detalhamento das armaduras de flexão;

- Gaspar (1997): analisou, de forma experimental e teórica, o aspecto de execução de lajes pré-fabricadas com vigotas treliçadas, enfocando principalmente a questão do escoramento mostrando como pode ser definido o espaçamento entre as escoras<sup>5</sup>. Em um trabalho pioneiro sobre o dimensionamento do escoramento para que suporte as ações durante a concretagem e cura do concreto, Gaspar realizou um estudo teórico-experimental que resultou na indicação de um procedimento de verificação de escoramento de lajes com vigotas treliçadas;
- Caixeta (1998): apresentou resultados de ensaios de quatro nervuras com vigotas treliçadas submetidas à flexão simples tentando caracterizar de forma mais real o comportamento das mesmas e ressaltando a necessidade da introdução de contra-flecha nas nervuras, em virtude da baixa rigidez alcançada pelas mesmas;
- Lima (1999): apresentou um estudo experimental de lajes nervuradas com vigotas treliçadas;
- Terni (1999): realizou experimentos para determinar a resistência das soldas da ligação das sinusoides;
- Droppa Júnior (1999): abordou a análise estrutural dessas lajes considerando a fissuração do concreto. Tal análise foi realizada utilizando o modelo de grelha, considerando a não-linearidade do concreto armado, levando-se em conta a relação momento x curvatura e carregamento incremental.

Já na década seguinte, outros trabalhos foram apresentados pelos seguintes autores:

- Silva *et al.* (2000), Droppa Júnior e El Debs (2000) e Forte *et al.* (2000): desenvolveram experimentos para análise de espaçamento de escoras;
- Magalhães (2001): abordou a continuidade estrutural de lajes pré-fabricadas, estudando o valor dos momentos fletores negativos nos apoios;
- Furlan Júnior *et al.* (2000): desenvolveram um trabalho semelhante ao de Magalhães (2001), considerando a plastificação do concreto nos apoios intermediários e seus efeitos no dimensionamento do pavimento;
- Merlin (2002): abordou de forma teórica os momentos fletores negativos nos apoios de lajes formadas por vigotas de concreto protendido;
- Pereira (2002): descreveu um estudo experimental de emendas em vigotas treliçadas, abordando as práticas de usuários do sistema de lajes pré-fabricadas e trazendo uma série de

---

<sup>5</sup> Este assunto é retomado por El Debs & Droppa Júnior (1999), Silva *et al.* (2000), Forte *et al.* (2000), Terni *et al.* (1999) e por Carvalho *et al.*, (2005).

informações importantes sobre questões de patologia, obtidas através de levantamento junto a fabricantes de lajes;

- Peixoto (2002): mostrou que o uso da técnica de vibração de imersão, em relação ao adensamento da capa, garante uma maior rigidez às nervuras e que a cura controlada garante melhor uniformidade na resistência do concreto, bem como maior rigidez das nervuras;
- Droppa Júnior (2003): descreveu um programa computacional para cálculo de espaçamento de escoras.

Quanto ao dimensionamento à flexão de lajes pré-fabricadas, Carvalho *et al.* (2005) afirmam que:

“Embora em princípio não apresente grandes dificuldades, a sistemática, como é conhecida hoje, só aparece em publicações com Carvalho e Figueiredo Filho (1998) e posteriormente no livro didático de ambos Carvalho e Figueiredo Filho (2001), além de em El Debs (2000). Hoje a NBR 6118:2003 é bem clara, especificando que as lajes unidirecionais devem ser consideradas como vigas isoladas e as bidirecionais, guardadas algumas dimensões máximas, como maciça. Segundo Droppa Jr (1999) e Flório (2003) o ideal para o cálculo de momento fletor é usar o modelo de grelha equivalente. Em relação às lajes unidirecionais, Carvalho *et al.* (1999) indica que é possível, pelo menos de forma teórica, calcular reações de ações de lajes unidirecionais na direção perpendicular às nervuras através da modelagem simplificada da capa. Esse processo de cálculo é apresentado em detalhes em Carvalho e Figueiredo Filho (2004)” (p.6).

Em relação à continuidade, afirmam que “a seção em forma de tê da laje pré-fabricada é mais adequada para resistir a momentos positivos e menos adequada a momentos negativos. Há uma tendência de plastificação da seção no apoio, devido à grande diferença de áreas comprimidas do concreto nas faces inferior e superior (figura 2.4-5)” (p. 6).

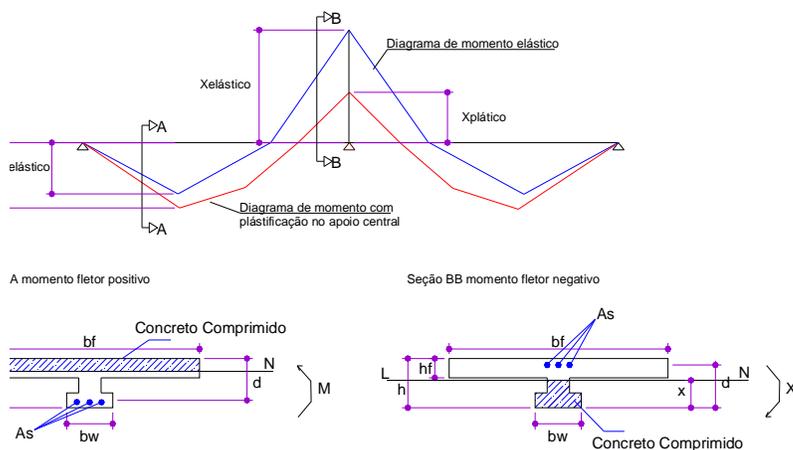


Figura 2.4-5 – Diagramas de momentos elástico e com plastificação no apoio central em uma laje contínua. Fonte: CARVALHO *et al.* (2005).

Carvalho *et al.* (2005) reconhecem que “o estado de deformação excessiva é, pelo menos nas lajes unidirecionais simplesmente apoiadas, a condição determinante de projeto” (p. 8).

A partir da segunda metade da década de 90, alguns pesquisadores brasileiros começaram a usar expressões nos cálculos das flechas que consideram a fissuração:

- Branson (1968), cuja expressão de inércia equivalente foi incorporada à ABNT NBR 6118:2003;
- Carvalho (1994), que usou o procedimento de Branson para fazer cálculo automático não linear, que tem sido paulatinamente empregado por vários pesquisadores e pela maioria dos programas existentes hoje;
- Caixeta (1998), Flório (2001), Flório *et al.* (2003), Pereira (2002), Rogge (2000), Furlan *et al.* (2000), Peixoto (2002), Magalhães (2001) e Assis (2005), que obtiverem em ensaios, seja para lajes isostáticas ou para hiperestáticas, valores de flecha em que fica clara a necessidade da utilização de uma inércia equivalente para a seção transversal levando em conta a fissuração do concreto;
- Kataoka (2004), que considerou, em um cálculo de flecha, os efeitos da largura do apoio das nervuras (paredes ou vigas que servem de apoio), a existência de paredes sobre os apoios que podem evitar o giro desses, a contribuição da armadura do banzo superior combatendo o momento negativo sobre os apoios extremos e, por fim, a existência e funcionamento de contrapiso de regularização como parte da seção transversal trabalhando para resistir a carga acidental.

As conclusões desses trabalhos mostram que a flecha ao longo do tempo, obtida experimentalmente, é muito maior do que a prevista pelo coeficiente  $\alpha f$  da ABNT NBR6118:2003. Tais autores concluem, também, que os processos simplificados não têm boa precisão.

A figura 2.4-6 mostra um gráfico onde são comparados valores de flecha teóricos e experimentais, incluindo as deformações ao longo do tempo.

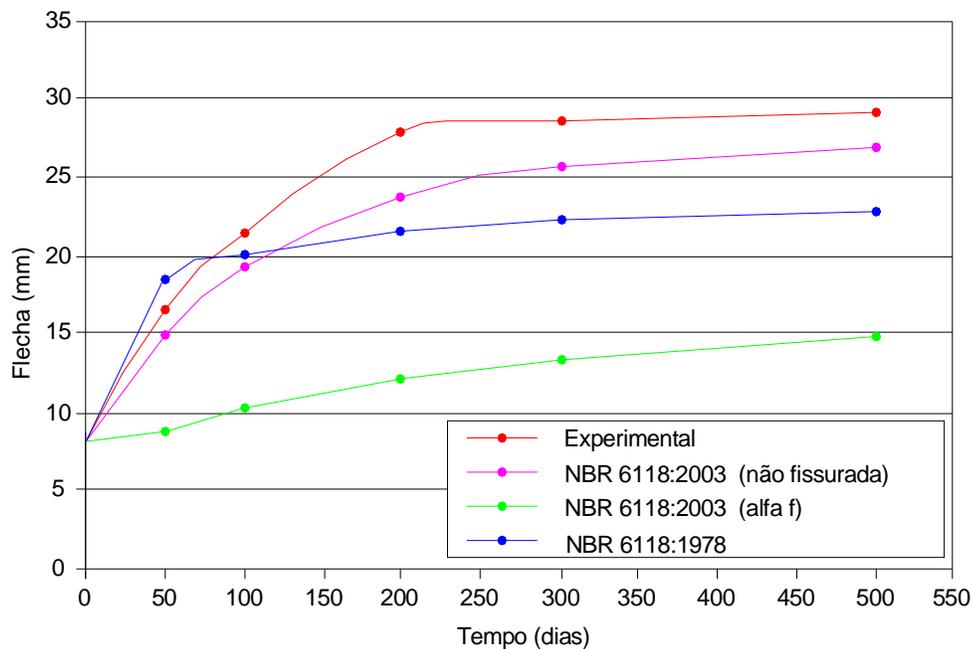


Figura 2.4-6 – Flechas teóricas e experimentais (mm) ao longo do tempo para protótipo C, dos trabalhos de Rogge e Kataoka simplesmente apoiado com 11 cm de altura e 4 m de vão. Fonte: CARVALHO *et al.* (2005).

### 3. EDIFICAÇÕES FLEXÍVEIS

No fim do século XIX, a arquitetura moderna surge como um reflexo das grandes inovações tecnológicas produzidas pela Revolução Industrial, com um estilo completamente diferente de tudo o que se havia visto até então.

Por volta da segunda década do século XX tem início o primeiro ciclo do concreto armado, coincidindo com o movimento modernista, que já se apoiava nas possibilidades estruturais e plásticas desse tipo de concreto, cujas possibilidades foram descobertas antes pelos arquitetos do que pelos engenheiros.

Tendo em vista que os preceitos e objetivos tradicionais da composição arquitetônica haviam perdido a validade, os arquitetos, resistentes às inovações tecnológicas, permaneceram cristalizados na arquitetura artística do período oitocentista e tornaram-se meros expectadores diante da concepção estrutural da engenharia, que era determinada pela matéria e pela finalidade. Isso fez com que os engenheiros fossem os pioneiros na utilização das novas técnicas e materiais aplicados em construções.

Pode-se dizer que o que melhor caracteriza a arquitetura moderna é a utilização de formas simples e geométricas, desprovidas de ornamentação, a valorização e o emprego dos materiais em sua essência, como o concreto aparente, em detrimento do reboco e da pintura.

Entretanto, como o espaço construído está em constante mutação, os edifícios construídos há cinquenta anos apresentam variados níveis de obsolescência. Por isso, faz-se necessária também uma reflexão sobre a utilização do sistema de pavimentos em lajes lisas *versus* demais sistemas estruturais.

#### 3.1 Origem

De acordo com Tostões (2004), a arquitetura moderna surgiu no fim do século XIX, como um reflexo das grandes inovações tecnológicas produzidas pela Revolução Industrial e com um estilo completamente diferente de tudo o que havia sido visto até então.

Segundo Zevi (2002), um dos precursores na exploração das possibilidades estruturais e formais do concreto armado foi Auguste Perret, mestre de Le Corbusier. Constituem bons exemplos de suas obras a igreja de Notre Dame du Raincy (1922-1923), mostrada nas figuras 3.1-1 e 3.1-2, e a reconstrução do porto de Havre após a II Guerra

Mundial. Perret formula a sua doutrina arquitetônica baseado na idéia de que o concreto armado possui uma qualidade estética própria.



Figura 3.1-1 - Notre-Dame du Raincy, Perret. Fonte: ZEVI (2002).

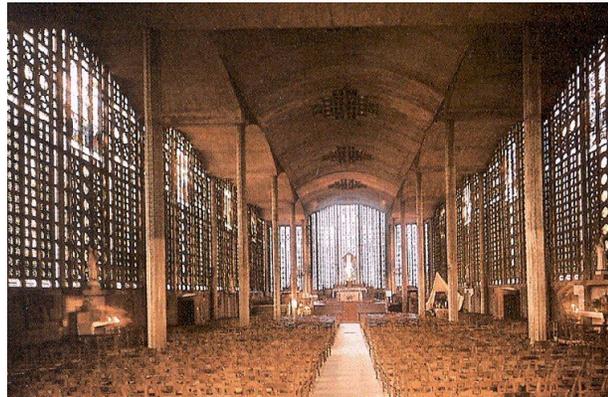


Figura 3.1-2 - Notre-Dame du Raincy (vista interior), Perret. Fonte: ZEVI (2002).

### 3.2 Primeira Escola: Bauhaus

Segundo Tostões (2004), fundada por Walter Gropius (1883-1969), essa escola utilizava técnicas e materiais industriais e, em seu conceito, o artista não era diferente do bom artesão. A partir desse pensamento, surgiu um novo tipo de artista: o desenhista industrial. Os arquitetos, os pintores, os designers e os artesãos que fizeram parte da Bauhaus desenvolveram um interessante trabalho teórico no âmbito das artes visuais na sociedade industrial.

Em 1933, quando o nazismo tomou o poder na Alemanha, a Bauhaus, que era um símbolo da vanguarda alemã, foi fechada. Walter Gropius e Ludwig Mies van der Rohe se exilaram nos Estados Unidos, onde Gropius foi professor até sua aposentadoria, em 1952, no departamento de Arquitetura da Universidade de Harvard, difundindo o conceito de design da Bauhaus.

Ludwig Mies van der Rohe, por sua vez, dirigiu o departamento de Arquitetura no Illinois Institute of Technology, de Chicago, onde procurou definir uma nova tipologia para o arranha-céu.

De forma geral, na época, era possível dividir os arquitetos em dois grupos:

a) os organicistas, encabeçados por Frank L. Wright, que diziam que o edifício, assim como um organismo vivo, precisa crescer a partir de seu meio, subordinando a forma à função;

b) os funcionalistas, pertencentes à escola de Le Corbusier, que subordinavam a função à forma.

Nota-se, entretanto, que nessas duas correntes arquitetônicas a forma está sempre em harmonia com a função.

### 3.3 Organicistas

Frank Lloyd Wright foi o principal expoente da arquitetura orgânica e compreendeu como poucos as possibilidades da moldabilidade e da monoliticidade do concreto, sendo o primeiro a explorar o balanço. Sua obra mais famosa é a Fallingwater House, ou Casa Cascata (figura 3.3-1), ou ainda Casa Kaufmann, de 1936, em Bear Run, na Pensilvânia, formada por grandes balanços.

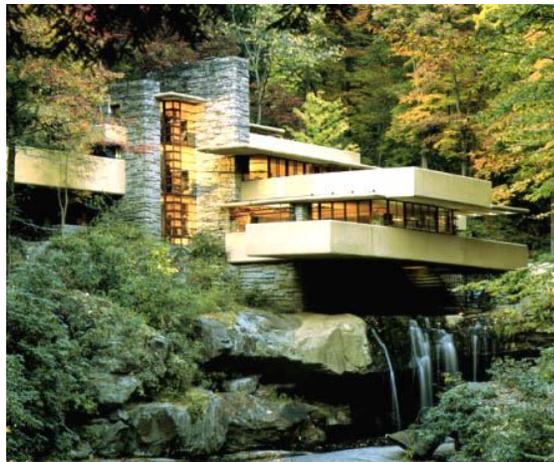


Figura 3.3-1 - Casa Cascata. Fonte: STRÖHER (2006).

Wright foi também o responsável pela aplicação de um sistema proposto por Mies van de Rohe, em 1919, que previa a utilização de um núcleo estrutural para edifícios altos, com as lajes em balanço. Ele utilizou esse sistema estrutural no edifício “Johnson Wax Tower”, em Racine, estado de Wisconsin, em 1947 (figura 3.3-2) e, posteriormente, tal sistema tornou-se muito popular.

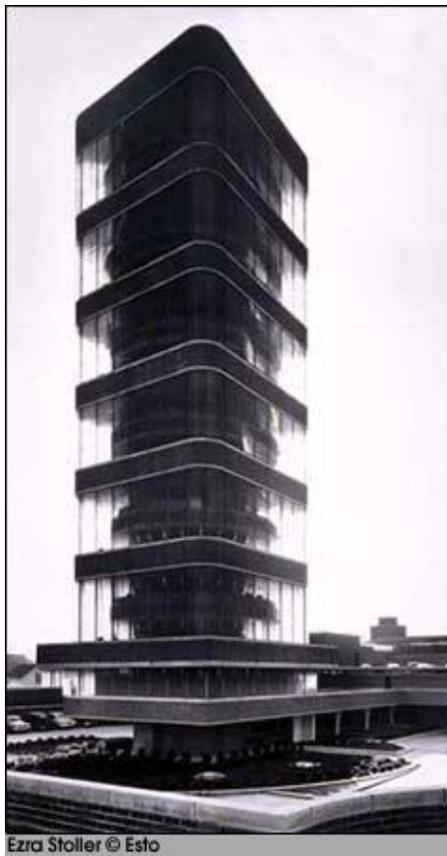


Figura 3.3-2 - Johnson Wax Tower. Fonte: [http://www.peterbeers.net/interests/flw\\_rt/Wisconsin/johnson\\_wax/johnson\\_wax.htm](http://www.peterbeers.net/interests/flw_rt/Wisconsin/johnson_wax/johnson_wax.htm)

Outro marco da produção de Wright é o prédio do Guggenheim Museum, de 1956, em Nova Iorque (figura 3.3-3):



Figura 3.3-3 - Guggenheim Museum Fonte: [http://www.guggenheim.org/the\\_building.html](http://www.guggenheim.org/the_building.html)

Alvar Aalto foi outro grande representante dessa corrente arquitetônica, que considerava a natureza como organismo e o homem como horizonte. Suas obras enfatizavam as qualidades visuais, nas quais o critério arquitetônico adquiria traços poéticos, apreciáveis na liberdade e na complexidade dos interiores, além do interesse pela percepção luminosa dos ambientes e pela importância das áreas de circulação entre os espaços.

De acordo com Muller (2006), o Centro Cívico (1950-1952), na ilha de Sâynätsalo (Finlândia), está organizado com lojas no térreo, sobre as quais são dispostas sóbrias moradias para as autoridades locais.

Já a Igreja de Vuoksenniska, na Finlândia, é uma solução poética decorrente de um complexo programa funcional, em que se combinam um lugar para o culto e um centro social. Obras deste perfil estão a seguir representadas nas figuras 3.3-4 e 3.3-5:



Figura 3.3-4 - Heilig-Geist Kirche, Wolfsburg, Alemanha, 1959/62; vista exterior do templo.

Fonte: MÜLLER (2006).



Figura 3.3-5 - Heilig-Geist Kirche, Wolfsburg, Alemanha, 1959/62; vista interior.

Fonte: MÜLLER (2006).

### 3.4 Funcionalistas

O maior arquiteto da era moderna e principal expoente da arquitetura funcionalista foi Le Corbusier. Considerado a imagem da racionalidade na Arquitetura Modernista Européia “Le Corbusier” era o pseudônimo de Charles-Edouard Jeanneret-Gris, arquiteto, urbanista e pintor de origem suíça.

Ele trabalhou, quando jovem, com Auguste Perret. Seu caráter racionalista de funcionalismo está presente no princípio de que cada elemento arquitetônico de uma

construção deverá assumir a sua função, na geometrização cubista da composição do espaço da construção, na concepção retangular da planta e das fachadas, na integração de outras funções e atividades complementares nos edifícios habitacionais, entre outros.

Autor do Le Modulor (figura 3.4-1), um conjunto de estudos que visa mensurar o homem e suas atividades, criando assim o conceito de ergonomia, propôs, em 1923, a casa como “máquina de morar” (machine à habiter).

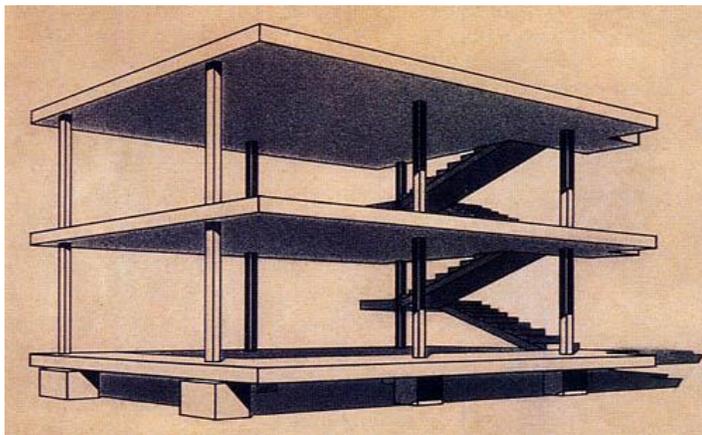


Figura 3.4-1 - Dom-ino. Fonte: <http://www.geocities.com/arquique/lecorbu/lecorbu01.html>

Após a II Guerra Mundial, Le Corbusier criou em suas obras diferentes versões da chamada unidade habitacional, explorando todas as possibilidades do concreto armado como material de construção, a começar pelo edifício de Marselha.

Na figura 3.4-2 é possível visualizar uma das obras de Le Corbusier:



Figura 3.4-2 - Villa Savoye, Poissy - Le Corbusier, 1929. Fonte: STRÖHER (2006).

Em vez de usar os métodos de fechamento habituais nos arranha-céus, que consistiam em leves lâminas montadas sobre estruturas invisíveis, Le Corbusier chamou de novo a atenção para a expressividade dos fechamentos concebendo o edifício como um objeto escultural.

Em suas últimas obras, as produções teóricas e práticas inspiraram vários outros arquitetos, sobretudo ingleses, a trabalharem em um estilo que seria chamado de brutalismo, um termo derivado do francês *béton brut* (concreto bruto ou aparente). A partir daquele momento, as cidades passaram a ser projetadas de forma integral.

Ludwig Mies van der Rohe era um adepto incondicional da industrialização, pois achava ser esta a resposta às necessidades e aspirações da modernidade. Suas principais características de estilo são: edifícios que seguem linhas rígidas padronizadas e depuradas, flexibilidade da planta livre e a importância dada a materiais modernos como o aço, o vidro e o concreto, a exemplo do Crow Hall (figura 3.4-3):



Figura 3.4-3 - Crown Hall, Chicago, Illinois, 1950 a 1956. Fonte: [http://www.greatbuildings.com/buildings/Crown\\_Hall.html](http://www.greatbuildings.com/buildings/Crown_Hall.html)

Van der Rohe procurou definir, com elementos comuns, uma nova tipologia para o arranha-céu, tais como a estrutura de aço e o revestimento de vidro.

A utilização da fachada-cortina propôs novos desafios arquitetônicos para ele e são exemplos de seus esforços o prédio de apartamentos de Lake Shore Drive (1951), em Chicago, e o edifício Seagram, de 1958 (figura 3.4-4), em Nova York, projetado em colaboração com Philip Johnson.



Figura 3.4-4 - Seagram Building, Nova York, 1954 a 1958.  
Fonte: [http://www.greatbuildings.com/buildings/Seagram\\_Building.html](http://www.greatbuildings.com/buildings/Seagram_Building.html)

### 3.5 Arquitetura pós-modernista

Na década de 60, surgiu entre muitos arquitetos um sentimento de rejeição do *International Style*, que havia retrocedido a fórmulas monótonas e estéreis. Uma das correntes arquitetônicas que reagiram contra a ortodoxia do racionalismo foi a chamada *Pós-Modernista*, ligada ao movimento filosófico de mesmo nome, que abrangia as tendências neo-historicistas, os traços extremos do desconstrutivismo e a ironia.

Depois disso, nas últimas décadas do século XX, surgiram algumas tendências divergentes no quadro arquitetônico, como o desconstrutivismo e o *high-tech*. Ao mesmo tempo, iniciou-se uma revisão dos mestres das vanguardas e, portanto, uma recuperação dos postulados do modernismo. Esta tendência se manifestou na obra de numerosos arquitetos, entre eles o holandês Rem Koolhaas, o japonês Tadao Ando, o norte-americano Richard Meier, o espanhol Rafael Moneo e o português Álvaro Siza.

### 3.6 Espaço flexível

Para Tramontano (1998), a concentração da população em pólos industriais a partir da Revolução Industrial vem promovendo profundas mudanças na composição do grupo familiar e nas relações entre seus membros.

Os grupos familiares anteriores à revolução inseriam-se em um modelo econômico que se baseava, sobretudo, na mão-de-obra da família extensa, composta pelos familiares, empregados e aprendizes, sob a tutela de um pai-patrão, proprietário dos meios de produção. Todos moravam em uma mesma casa que, muitas vezes, compreendia um único grande cômodo que servia como habitação, trabalho e espaço de uso público.

Nos séculos XVIII e XIX a casa da sociedade industrial passou por diversas mudanças, deixando de abrigar o espaço de trabalho e tendo entre seus habitantes somente pessoas de laços sangüíneos mais estreitos.

A partir de 1945, com a vitória na Segunda Guerra Mundial, a cultura norte-americana consagrou-se como um referencial de costumes para toda a sociedade mecanizada que almejava ser moderna. Houve, então, a divulgação da maneira de morar americana, que incluía eletrodomésticos, automóveis, o marido no papel do provedor e a esposa como gerenciadora de uma habitação impecavelmente limpa, então elevada à categoria de bem de consumo.

Entre as décadas de 1950 e 1960, a informatização começava a dar sinais de desenvolvimento, capaz de suceder à mecanização. No fim dos anos 80 e começo da década de 90, a *Internet* se viu banalizada e largamente utilizada em empresas, associações e dentro do próprio espaço doméstico, sugerindo traços de reclusão e busca de privacidade no uso dos meios de acesso à rede. Neste espaço, a relação entre os membros do grupo familiar passou a admitir a escolha entre convívio ou isolamento.

A nuclearização da unidade familiar começou a desintegrar-se, rapidamente, na segunda metade do século XX, quando surgiram novos formatos de grupos domésticos: famílias monoparentais, casais DINKs – Double Income No Kids –, uniões livres etc.

Houve então um enfraquecimento da autoridade dos pais em benefício de uma maior autonomia de cada um de seus membros, ou seja, tudo o que levava a um padrão social de “pessoas vivendo sós”. As causas desta evolução são inúmeras e, relativamente, recentes.

Diferentemente da sociedade industrial, na qual a população agrupava-se nos pólos onde estava a informação, na emergente sociedade *pós-industrial*, como tem sido chamada, a informação é levada aos indivíduos, independente do local em que se encontram.

O uso de equipamentos móveis auxiliou a ultrapassagem comunicacional dos limites da moradia. Os equipamentos e técnicas introduzidos no ambiente residencial mudaram radicalmente e a função dos cômodos da casa convencional permanece em constante alteração.

O chamado *modo de vida metropolitano* se difundiu e ainda hoje está sendo propagado através dos meios de comunicação, contribuindo para o decréscimo da densidade populacional nas áreas centrais e o acréscimo da população nas áreas periféricas da cidade. Esta tendência mostra uma alteração no perfil dos habitantes das cidades.

Embora o ritmo das inovações venha atingindo continuamente a população como um todo, gerando transformação, o desenho do espaço doméstico criado para atendê-la não tem conseguido evoluir com a mesma velocidade. Ou seja, os espaços tendem a assemelhar-se a tipologias como a do modelo da habitação burguesa européia do século XIX, caracterizado pela tripartição em áreas social, íntima e de serviços.

Mesmo sendo atualmente habitado por grupos domésticos cujo perfil difere cada vez mais da família nuclear convencional, o desenho dos espaços dessa habitação permanece intocado, sob a alegação de que se chegou a resultados projetuais economicamente viáveis, que atendem às principais necessidades de seus moradores.

As principais tipologias habitacionais, encontradas principalmente nas periferias das grandes cidades do mundo inteiro, permanecem há décadas sem alterações significativas e representam o arquétipo moderno da “habitação-para-todos” mesclado aos princípios da repartição burguesa oitocentista parisiense. Esse modelo vem sendo reproduzido em todo os países de influência ocidental, destinado a abrigar, basicamente, a família nuclear.

Estudiosos de diferentes horizontes apontam para a mesma direção quando o assunto é a metrópole do século XXI. Nela, os habitantes mais comuns parecem indivíduos que: vivem sozinhos; eventualmente se agrupam em formatos familiares diversos; comunicam-se à distância com os grupos aos quais pertencem; trabalham em casa, mas exigem equipamentos públicos para o encontro com o outro e que buscam sua identidade por meio do contato com a informação.

### **3.7 Edificação flexível**

No final do século XX, a busca da total flexibilidade dos edifícios teve uma de suas mais expressivas manifestações: a formulação do conceito de “escritório virtual”.

Nele, a empresa da era da informação tende a prescindir dos escritórios tradicionais, onde cada funcionário tem seu espaço de trabalho fixo, tornando-se necessária apenas uma instalação bem aberta e capaz de permitir a reorganização de seu *layout*, para que salas de reuniões e gabinetes de trabalho possam ser rapidamente modificados, mediante a movimentação de alguns painéis de parede, de algumas portas, de algumas tomadas de força e saídas de ar condicionado.

Além disso, nesse modelo os espaços de trabalho individuais são substituídos por espaços utilizados por vários funcionários em diferentes horas do dia ou dias da semana, com o claro objetivo de maximizar o retorno do investimento feito em infra-estrutura física e equipamentos por uma determinada organização.

Sua premissa é a suposta vocação da era da informação para a impessoalidade do trabalho e para a mobilidade dos trabalhadores do setor terciário (ou, ao menos, de boa parte deles) no desempenho de suas atividades.

Campos (2002) também defende a tese de que uma das mais fortes tendências no desenvolvimento das técnicas construtivas, ao longo do século XX, tem sido a busca contínua pela flexibilidade, tanto dos processos produtivos quanto dos edifícios produzidos.

A crescente industrialização e o desenvolvimento de dispositivos de segurança e conforto (para-raios, instalações sanitárias, iluminação, aquecimento e ventilação, ar condicionado, elevadores e escadas rolantes, proteção contra o fogo, engenharia estrutural, acústica) evoluíram de tal modo que, naquela época, os sistemas de um edifício podiam representar quase a metade do seu custo total, tornando-se assim aparatos não só visíveis, mas também os protagonistas de uma estética moderna.

Castro Neto (1994) *apud* Neves (2002) sugere que a definição de Edifícios Inteligentes(EI) ou Edifícios de Alta Tecnologia(EAT) deve seguir o IBI (Intelligent Buildings Institute) dos Estados Unidos:

“Os EI/EAT são aqueles edifícios que oferecem um ambiente produtivo e econômico através da otimização de quatro elementos básicos, que são a estrutura (componentes estruturais do edifício, elementos de arquitetura, acabamentos de interiores e móveis), os sistemas (controle de ambiente, calefação, ventilação, ar-condicionado, luz, segurança e energia elétrica), os serviços (comunicação de voz, dados, imagens, limpeza) e o gerenciamento (ferramentas para controlar o edifício), bem como as inter-relações entre eles” (p. 02).

Nos dias atuais, observa-se a tendência do mercado imobiliário, principalmente no que diz respeito aos edifícios de escritórios, em produzir edifícios multifuncionais, articulando espaços para as atividades de negócios, habitação, entretenimento e lazer.

A utilização do elevador constituiu como outro fator vital nas mudanças econômicas e sociais que acompanharam o surto de urbanização das cidades. Da mesma forma, as diferenças climáticas foram progressivamente atenuadas porque tanto equipamentos quanto materiais foram desenvolvidos no sentido de moderar o efeito das condições externas no interior dos edifícios.

Assim, no seu desejo de responder aos desafios colocados pela modernidade, a Arquitetura do Movimento Moderno, que teve a sua gênese ao longo dos anos 1920 e que se afirmou depois da II Guerra Mundial, serviu-se dos novos materiais e incorporou os novos sistemas de tal modo que, na atualidade, as edificações são baseadas num leque de desenvolvimentos técnicos.

As transformações na construção do século XX decorreram fundamentalmente da influência dos progressos técnicos, tanto sobre o universo dos materiais de construção, quanto sobre o desenvolvimento e o aperfeiçoamento dos sistemas.

No quadro dessas evoluções, as técnicas construtivas avançaram progressivamente em direção à ampliação dos vãos livres, capazes de responder ao anseio dos usuários por edificações cada vez mais flexíveis e confortáveis, sendo que o impacto das inovações técnicas acabou transformando hábitos e modos de vida de uma multidão de consumidores.

As grandes reduções nos custos dos equipamentos de informática impulsionaram a expansão da automação nas edificações, que atualmente busca meios para maior economia de energia, juntamente com a administração eficaz do seu consumo, além da redução da taxa condominial dos modernos edifícios, em relação ao valor da taxa dos mais antigos, que não dispõem de sistemas avançados de controle.

É possível observar, portanto, grandes mudanças na arquitetura, não só na organização e utilização do espaço, mas também no projeto das instalações e nos ambientes das edificações. Hoje em dia, a crescente necessidade de transmissão de voz, dados, textos e imagens, decorre da generalização e extensão da informática na vida cotidiana, embora ainda haja certo controle sobre o movimento de pessoas e objetos no edifício, imprescindível devido aos problemas de segurança das grandes cidades.

A nova condição imposta aos arquitetos na concepção do projeto é o levantamento das necessidades atuais e futuras dos usuários para a previsão de espaços que

sejam flexíveis a possíveis modificações de *layouts* ou adequação das novas tecnologias da Telemática.

Identificar e caracterizar os equipamentos, revelando sua importância no contexto de uma residência ou edifício, permite conhecer o processo de estruturação dos novos espaços, gerados no âmbito dos chamados edifícios de alta tecnologia.

A análise do desempenho do edifício é cada vez mais indispensável em um projeto. O incremento qualitativo nas condições ambientais pode ser conseguido por meio da distribuição do controle aos próprios usuários. Em outras palavras: se o indivíduo tem autonomia para escolher, no ambiente de trabalho ou doméstico, a temperatura do ambiente ou a quantidade de iluminação, por exemplo, ele certamente as configura da maneira que mais lhe agrada.

O arquiteto do século XXI deve entender a evolução pela qual a vida cotidiana da população urbanizada e seus projetos vêm passando. Ademais, deve contemplar estudos sobre o conforto térmico, luminoso e acústico, não mais considerados como gastos, mas sim pontos-chave para a economia e para as estratégias de vendas, tendo em vista que toda tecnologia disponível proporciona uma redução de custos vantajosa.

As empresas que atuam no mercado imobiliário dos grandes centros urbanos devem estar atentas, portanto, para a redução de custos proporcionada pela tecnologia disponível, levando-se em consideração que os espaços têm de ser flexíveis para possíveis modificações de *layouts* ou adequações das novas tecnologias da Telemática.

Enfim, o projeto deve ser concebido para se adaptar ao desenvolvimento das tecnologias, integrando às instalações tradicionais as novas potencialidades de aplicações, com previsibilidade futura. A automação predial, por exemplo, deve ser realidade em grande parte das edificações dentro de um tempo relativamente curto.

Conclui-se, então, que todas essas transformações – surgimento de novos materiais, modernos sistemas estruturais (de instalações e vedações, por exemplo), a revolução da informática, o controle de redes de utilidades, a ampliação dos serviços (comunicação de voz, dados, imagens, limpeza), aliadas às profundas mudanças sociais, tornaram-se o cérebro das edificações ao inter-relacionar os sistemas e gerenciá-los.

A partir disso, há dois pontos a se considerar:

a) a dinâmica urbana: em menos de duas décadas, regiões residenciais foram transformadas em comerciais, levando à obsolescência edificações projetadas fora dos conceitos de flexibilidade, isto é, que haviam sido projetados para única condição de uso (comercial ou residencial). Como resultado, foram gerados grandes custos com reforço estrutural, a fim de

que tais edifícios fossem adaptados às novas condições de uso. Para tanto, utilizou-se, primordialmente, vigas altas e um grande número de pilares internos;

b) o principal agente dessa obsolescência.

O projeto e a execução de edificações em lajes lisas tornou-se uma resposta aos anseios da sociedade moderna, já que convivem harmonicamente com sistemas flexíveis, constituídos pelo sistema de divisórias, instalações hidro-sanitárias, iluminação, pisos e fechamentos oriundos de fabricantes diversos, capazes de adaptarem-se a diferentes estruturas portantes e permitir modificações de layouts, reposições e melhoramentos sem intervenções profundas nas estruturas dos edifícios que os abrigam.

As lajes lisas com vigotas pré-fabricadas treliçadas que utilizam fôrmas perdidas em blocos de Poliestireno Expandido (EPS) ou fôrmas plásticas removíveis (fabricadas em polipropileno), trouxeram novas perspectivas ao projeto de lajes lisas, permitindo vãos maiores com baixo peso próprio. Os blocos de EPS facilitam a execução de nervuras transversais (presentes também nas fôrmas plásticas removíveis), agregando ao sistema as vantagens proporcionadas pelas lajes bidirecionais.

Os elementos pré-moldados são leves, de fácil manuseio, transporte e montagem, dispensam o uso de fôrmas e equipamentos especiais e requerem pouco escoramento. Além disso, programas computacionais surgidos nos últimos anos propiciam cálculos mais refinados, que permitem prever com maior precisão o comportamento da estrutura em serviço.

Dessa maneira, os projetistas passam a ter maior segurança no projeto de sistemas menos usuais, como lajes lisas nervuradas, sem vigas internas, capitéis e até mesmo vigas de borda.

## 4. LAJES LISAS NERVURADAS PRÉ-FABRICADAS COM VIGOTAS TRELIÇADAS

### 4.1 Introdução

A revolução industrial é o marco de uma nova era para a humanidade, a “era das ciências”, consolidada por meio das aplicações tecnológicas. O aceno histórico, tratado nos capítulos 2 e 3, mostra a dinâmica na qual o setor da construção civil encontra-se inserido, sempre em busca de sistemas construtivos flexíveis que possibilitem maior produtividade e maiores vãos livres entre pilares e tetos lisos, cujo objetivo principal é um *layout* mais flexível. Essa demanda por sistemas facilitadores, iniciada com os edifícios de escritório, vem se tornando uma tendência também nas edificações comerciais e residenciais.

Os sistemas estruturais em concreto armado, desde seu surgimento, vêm sofrendo mudanças na maneira de construir, influenciadas principalmente pela industrialização e racionalização dos processos e meios de produção, cujo aperfeiçoamento visa à diminuição do tempo de execução, a um melhor desempenho, à maior resistência e a menores deformações. Algumas dessas modificações merecem ser destacadas:

- a) as fôrmas e os sistemas de escoramentos e as ferramentas de execução, que passaram por significativas evoluções;
- b) o desenvolvimento de novos materiais, o controle tecnológico do concreto e a melhoria das propriedades mecânicas do concreto e do aço;
- c) o aperfeiçoamento das técnicas construtivas (como no caso da protensão sem aderência);
- d) a industrialização da construção, por meio dos diversos sistemas existentes, que induziu ao aperfeiçoamento das técnicas construtivas no processo de produção das edificações, tais como a alvenaria estrutural, as lajes pré-fabricadas e as vigas e lajes pré-moldadas em canteiro. Inseridas nesse movimento, as indústrias de pré-moldado migraram sua produção, antes baseada em sistemas fechados, para modernos sistemas abertos.

Juntamente a essas mudanças, assistiu-se à potencialização das alternativas estruturais, com a crescente utilização das lajes nervuradas, das lajes lisas e cogumelo, sem e com protensão.

Este capítulo trata especificamente das lajes lisas executadas com vigotas pré-fabricadas de concreto armado com armações treliçadas eletrosoldadas, cuja função primária é reduzir escoramentos e eliminar quase totalmente as fôrmas das lajes. Note-se que as barras diagonais dessas armações podem ser consideradas, no todo ou em parte, como armadura transversal para resistir aos esforços de tração oriundos da força cortante.

## **4.2 Definições**

Uma classificação muito importante das lajes é aquela referente à direção ou direções da armadura principal, havendo dois casos: laje armada em uma direção ou *unidirecional* e laje armada em duas direções ou *bidirecional*.

Nas lajes armadas em uma direção a geometria é essencialmente retangular, com relação entre o lado maior e o lado menor superior a dois. Já nas lajes armadas em duas direções (ou em cruz) os esforços solicitantes são importantes segundo as duas direções principais da laje. A relação entre os lados maior e menor é menor ou igual a dois.

## **4.3 Classificação e Recomendações Normativas para o projeto de lajes em concreto armado**

### **4.3.1 Lajes nervuradas**

As lajes nervuradas são uma evolução das lajes maciças. A região de concreto tracionada, que não colabora na resistência aos esforços principais, mas é de vital importância na garantia da aderência entre concreto e aço, pode ser parcialmente removida permitindo a conformação das nervuras a partir da utilização de elementos inertes mais leves que o concreto (elementos cerâmicos, de concreto celular, EPS, etc.), ou por meio de fôrmas removíveis, diminuindo assim o peso próprio da laje e da estrutura como um todo.

O item 14.7.7 da ABNT NBR 6118:2003 define as lajes nervuradas como “lajes moldadas no local ou com nervuras pré-moldadas, cuja zona de tração para momentos positivos está localizada nas nervuras entre as quais pode ser colocado material inerte”.

O sistema de lajes nervuradas pré-fabricadas representa uma evolução das lajes nervuradas moldada no local, visto que nas pré-fabricadas as nervuras ou vigotas são parcialmente moldadas em fábrica ou no local da obra, sob rigoroso controle de qualidade, transformando o canteiro de obras em uma linha de montagem industrial.

Para o projeto das lajes lisas nervuradas devem ser obedecidas as condições apresentadas na ABNT NBR 6118:2003, além das prescrições adicionais da ABNT NBR 14859-1/2:2002, ambas normas brasileiras específicas para lajes pré-moldadas<sup>6</sup>.

### **4.3.2 Lajes Lisas**

#### **4.3.2.1 Definições**

Schmid (1993), em atenção à bibliografia estrangeira sobre o assunto, situa seu trabalho dentro das seguintes definições:

a) Laje Plana Lisa = "flat plate" (do inglês) = "flachplatte" (do alemão), quando a laje é plana e realmente lisa, não se admitindo capitéis ("column heads"), nem tampouco engrossamentos da laje ("drops at column heads"), figuras 4.3.2.2-1, figura 4.3.2.2-2, figura 4.3.2.2-3;

b) Laje Cogumelo = "flat slab" (do inglês) = "flachdecke" (do alemão), quando a laje é plana, mas não necessariamente lisa, podendo existir vigas, capitéis e nervuras (figura 4.3.2.2-4).

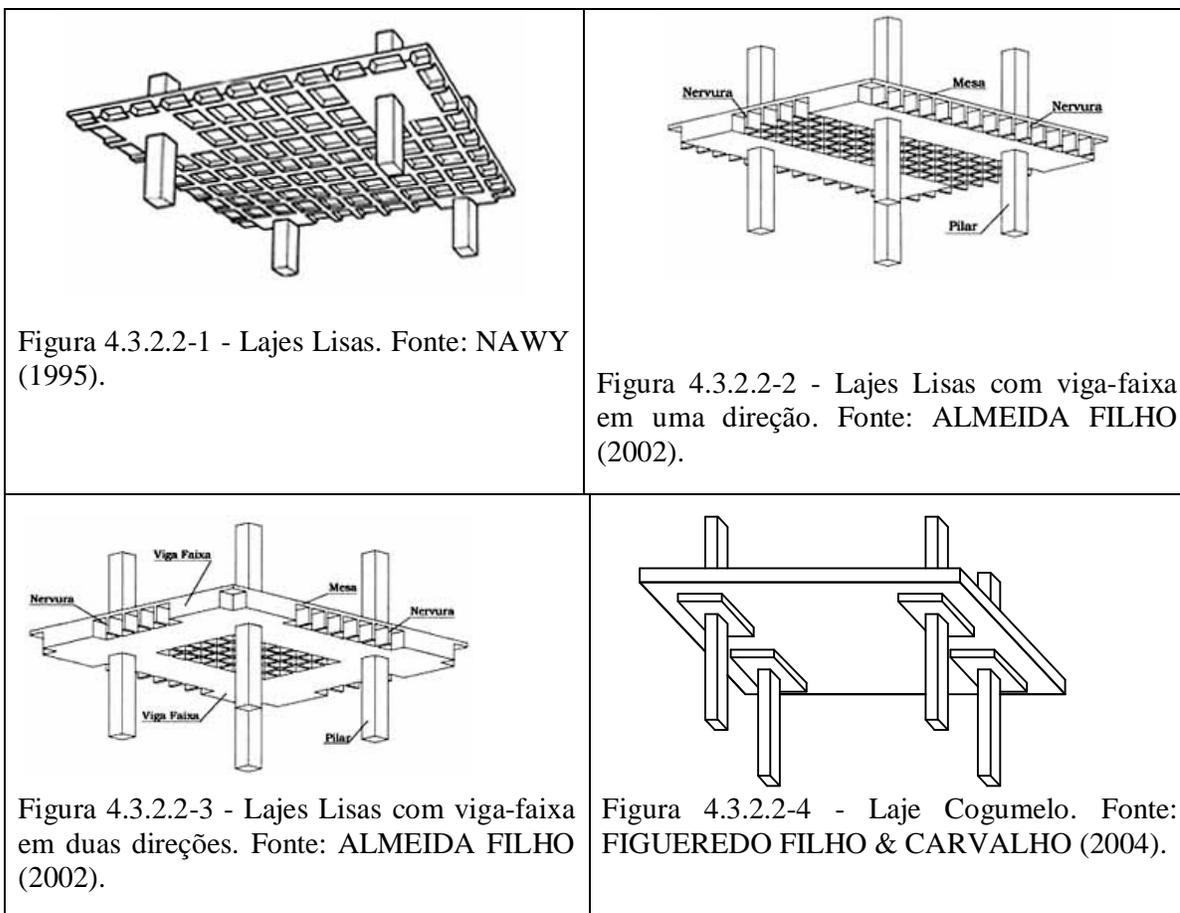
A ABNT NBR 6118:2003, no item 14.7.8 define: "Lajes-cogumelo são lajes apoiadas diretamente em pilares com capitéis, enquanto lajes lisas são as apoiadas nos pilares sem capitéis".

#### **4.3.2.2 Algumas tipologias possíveis para as lajes lisas nervuradas**

A partir das definições apresentadas no item 4.3.2.1, pode-se compor algumas tipologias para os pavimentos em lajes lisas nervuradas, conforme figuras 4.3.2.2-3, 4.3.2.2-4.

---

<sup>6</sup> Outras informações podem ser encontradas em Silva (2005), entre outras fontes.



#### 4.3.2.3 Vantagens das lajes lisas

De acordo com Figueiredo Filho (1989), os sistemas de lajes sem vigas apresentam várias vantagens em relação ao convencional formado por lajes, vigas e pilares. Dentre elas, destacam-se:

- a) adaptabilidade a diversas formas ambientais;
- b) simplificação das fôrmas, armaduras e concretagem;
- c) diminuição de revestimentos;
- d) redução do consumo de materiais e de mão-de-obra;
- e) redução da altura total do edifício;
- f) simplificação das instalações;
- g) melhoria das condições de habitabilidade;

h) redução do tempo de execução da obra.

Ainda pode-se citar a vantagem do ponto de vista arquitetônico, tendo em vista a facilidade de se obter tetos planos.

#### **4.3.2.4 Desvantagens das lajes lisas**

Apesar das inúmeras vantagens do sistema, a eliminação das vigas introduz algumas desvantagens, dentre as quais se destacam:

##### **a) Deslocamentos transversais das lajes**

As flechas apresentadas pelas lajes lisas são, em geral, maiores que as de lajes convencionais para os mesmos vãos, havendo portanto uma interação mais complexa com as vedações em alvenaria e com os caixilhos. Tais problemas podem ser solucionados com o uso de vedações mais compatíveis: divisórias mais resilientes (ex: “drywall”), painéis de fachada, fachada cortina (ex: em vidro) etc. e com uso de caixilhos telescópicos.

##### **b) Instabilidade global do edifício**

A eliminação das vigas em relação ao sistema convencional provoca a diminuição da rigidez do edifício frente à estabilidade global com relação às ações horizontais, tornando-se necessário vincular as lajes em núcleos rígidos ou paredes estruturais<sup>7</sup>.

##### **c) Punção das lajes**

É um dos principais problemas das lajes lisas, mas que pode ser solucionado adequando-se a espessura das lajes e as dimensões dos pilares, usando-se armadura específica ou adotando-se ambas atitudes, conforme preconiza a ABNT NBR 6118:2003.

---

<sup>7</sup> Essa questão será aprofundada no capítulo 5.

## 4.4 Sistemas de lajes lisas

### 4.4.1 Moldadas no local com utilização de elementos de enchimento inertes

As lajes lisas nervuradas moldadas no local que utilizam elementos de enchimento inertes incorporados à laje ou são montadas sobre fôrmas e cimbramentos de forma idêntica ao processo empregado na execução das estruturas em lajes lisas maciças moldadas no local conforme (figura 4.4.1-1).

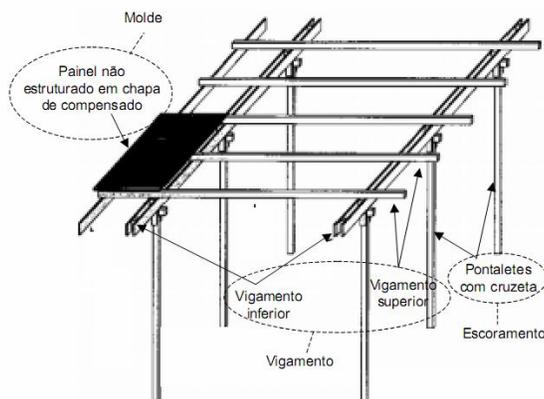


Figura 4.4.1-1 - Sistema de fôrmas lajes moldadas no local. Fonte: FREIRE (2001).

#### 4.4.1.1 Vantagens

- a) a superfície inferior com acabamento plano possibilita a aplicação de revestimentos mais econômicos, como argamassa de gesso;
- b) permite incorporar as utilidades (dutos, eletrodutos etc) no elemento de enchimento sem alteração da espessura da capa da laje (mesa de compressão);
- c) os elementos de enchimento, no caso de EPS (isopor), permitem a otimização do projeto gerando maior economia, pois podem ser produzidos nas dimensões especificadas pelo projeto;
- d) o custo dos elementos de enchimento inertes que ficam incorporados tem, em geral, custo menor que os sistemas de forro utilizados no sistema com fôrmas removíveis reaproveitáveis (cubetas).

#### 4.4.1.2 Desvantagens

Citam-se as seguintes desvantagens quando se empregam lajes de elementos de enchimento inertes:

- a) baixa produtividade com a utilização do sistema de fôrmas convencional idêntico ao das lajes lisas maciças moldadas no local;
- b) dificuldades na fixação e manutenção do posicionamento dos elementos de enchimento durante a concretagem, já que estes são mais leves que o concreto.

#### 4.4.2 Moldadas no local com utilização fôrmas removíveis reaproveitáveis (cubetas)



Figura 4.4.2-1 - Lajes lisas nervuradas com uso de cubetas (detalhe do capitel com armadura de punção). Fonte: <http://www.eit-es.com>

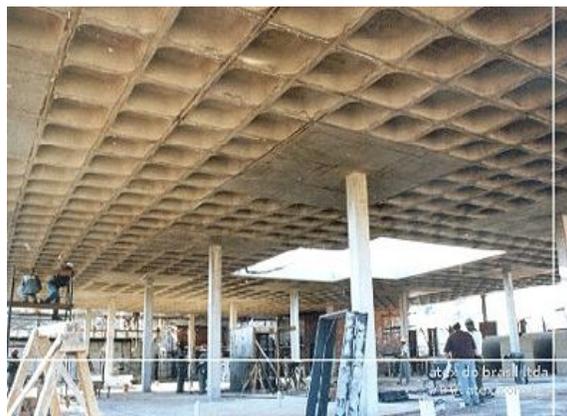


Figura 4.4.2-2 - Laje lisa nervurada moldada “*in loco*” executada com fôrmas removíveis. Fonte: ATEX (2005).

#### 4.4.2.1 Vantagens

- a) menor consumo de madeira com a eliminação do assoalho de laje;
- b) redução de mão-de-obra;
- c) maior velocidade de execução;
- d) reutilização das fôrmas em 3 dias;

- e) facilidade de montagem e de desmontagem, sendo que a desforma é manual, dispensando uso de ar comprimido;
- f) acabamento de excelente qualidade;
- g) redução de cargas na estrutura e economia nas fundações.

#### **4.4.2.2 Desvantagens**

- a) maiores custos com a utilização de forro falso para passagem de eletrodutos e dutos de utilidades que ficarão embutidos no espaço resultante do afastamento entre face inferior da laje e face superior do forro falso, atitude necessária para conferir acabamento plano à laje;
- b) a utilização do forro implica num pé-direito maior, com custos adicionais relativos a maior altura da edificação, que é não levado em conta na análise de custos comparativos;
- c) o sistema não admite furação nas peças para a colocação dos eletrodutos e dutos de utilidades na mesa da laje, exigindo maiores espessuras das mesas quando as utilidades (dutos e eletrodutos) ficam incorporadas. O concreto para o preenchimento da espessura entre o topo do eletroduto e a face do fundo da mesa, situado no topo da cubeta, não pode ser considerado com função estrutural, apenas como enchimento;
- d) as fôrmas removíveis reaproveitáveis (cubetas) possuem dimensões padronizadas obrigando o projeto a adaptar-se às suas modulações e alturas, o que gera arremates junto aos elementos de borda;
- e) a espessura da mesa funciona como elemento de ajuste da altura da laje. As fôrmas removíveis (cubeta) são fornecidas em alturas padronizadas;
- f) os programas computacionais comerciais para o projeto e detalhamento das fôrmas removíveis reaproveitáveis utilizam bibliotecas dos fabricantes dessas fôrmas, o que impossibilita melhor otimização do projeto estrutural.
- g) devido ao seu alto custo, o sistema é disponível para locação, a qual se viabiliza economicamente pela velocidade imposta na concretagem dos pavimentos, responsável pela diluição dos custos de locação mensal;

*h)* as construtoras, em sua maioria, não incluem verbas em seu custo para reposição de peças que compõem o sistema decorrente de perdas e/ou danos ocorridos durante a execução. Os custos que deveriam ser alocados como custos com a manutenção do sistema acabam sendo transformados em “imprevistos”, cujos índices são omitidos pelas construtoras e fornecedores desses sistemas, prejudicando a comparação de custos com os demais sistemas.

#### **4.4.3 Pré-fabricadas com vigotas treliçadas e utilização de elementos de enchimento em EPS**

Conforme Vizotto (2002), a partir da industrialização das armaduras treliçadas, dos blocos de EPS moldado e auto-extinguível e das formas removíveis adaptadas a esse sistema, surgiu a laje nervurada com vigotas pré-fabricadas treliçadas garantindo outras possibilidades de soluções e conservando as características de monoliticidade da estrutura.

Pelas características geométricas das vigotas treliçadas, é possível a execução de nervuras transversais às vigotas, o que permite armar a laje em uma ou em duas direções, conferindo a ela a função de membrana, além da de placa.

A quantidade de fôrmas e cimbramentos foi reduzida em relação aos sistemas anteriores. Assim, o processo de produção dos sistemas de lajes nervuradas, embora conserve as características principais do sistema original, tornou-se mais industrializado. Trata-se da industrialização do sistema de lajes lisas nervuradas moldadas no local com utilização de elementos de enchimento inertes, que elimina quase todas as desvantagens, além de apresentar as seguintes melhorias em relação ao sistema apresentado em 4.4.2.

##### **4.4.3.1 Vantagens**

- a) redução do consumo de fôrmas, que ficam restritas às regiões das vigas-faixas, de borda e capitéis, conforme figuras 4.4.3-2, 4.4.3-4, 4.4.3-9 e 4.4.3-11, sendo que nesta última, ainda se apresenta a vantagem de que as vigotas cumprem a função de escoramentos para as fôrmas dos capitéis;
- b) eliminação total das fôrmas com a utilização de vigas-faixas, de borda e capitéis com elementos pré-fabricados treliçados (figura 4.4.3-7);

c) redução do consumo de escoramentos, já que as vigotas treliçadas funcionam como vigas metálicas, necessitando apenas de linhas de escoras perpendiculares às mesmas, com espaçamentos a partir de 1,50m (para lajes com altura total a partir de 16cm e vigotas treliçadas com 13cm de altura), figuras 4.4.3-2 e 4.4.3-9;

d) alta produtividade, principalmente quando o transporte vertical das vigotas é feito por equipamentos como guindastes ou gruas;

e) precisão no posicionamento e fixação dos elementos de enchimento que ficam prensados entre as vigotas, funcionando como plataforma para o trabalho, não ocorrendo movimentações durante a concretagem;

f) redução de mão-de-obra e velocidade de execução em relação às lajes lisas moldadas no local com e sem protensão não aderente para mesmo tamanho de vãos:

f1) a protensão não aderente deve ser considerada como uma tecnologia que agrega valor ao sistema, permitindo vãos ainda maiores;

f2) os cabos podem ser rigorosamente posicionados e fixados com arame recozido dentro das vigotas, na fábrica ou no canteiro; as vigotas são transportadas e montadas sem necessidade de trabalho no pavimento, eliminando os distanciadores para traçado das cordoalhas.

As lajes lisas pré-fabricadas com vigotas pré-fabricadas treliçadas com utilização de elementos de enchimento inertes permitem a execução de “Lajes Lisas Nervuradas Unidirecionais com vigas-faixa utilizando vigotas pré-fabricadas treliçadas e elementos de enchimento inertes (EPS)”, apresentadas nas figuras 4.4-4 a 4.4-10, e a execução de “Lajes Lisas Nervuradas Bidirecionais utilizando vigotas pré-fabricadas treliçadas e elementos de enchimento inertes (EPS)” apresentada na figura 4.4-11.



Figura 4.4.3-1 - Lajes Lisas nervuradas unidirecionais com vigas-faixas e vigotas treliçadas. Fonte: arquivo do autor.



Figura 4.4.3-2- Detalhes das formas e escoramentos das vigas-faixas. Fonte: arquivo do autor.



Figura 4.4.3-3 - Lajes Lisas nervuradas unidirecionais com vigas-faixas e vigotas treliçadas. Fonte: arquivo do autor.



Figuras 4.4.3-4 - Lajes Lisas nervuradas unidirecionais com vigas-faixas e vigotas treliçadas. Fonte: arquivo do autor.



Figura 4.4.3-5 - Estrutura após a retirada das fôrmas e dos escoramentos. Fonte: arquivo do autor.



Figura 4.4.3-6 – Racionalização na execução das alvenarias. Fonte: arquivo do autor.



Figura 4.4.3-7 – Detalhe de apoio das vigotas treliçadas em vigas-faixas pré-fabricadas. Fonte: <http://www.assobeton.it>



Figura 4.4.3-8 - Lajes Lisas Nervuradas Bidirecionais com vigotas treliçadas. Fonte: arquivo do autor.



Figura 4.4.3-9 - Lajes Lisas Nervuradas Bidirecionais com vigotas pré-fabricadas com vigas de borda na espessura da laje. Fonte: arquivo do autor.



Figura 4.4.3-10 – Detalhe das formas do Ábaco e viga-faixa. Fonte: arquivo do autor.



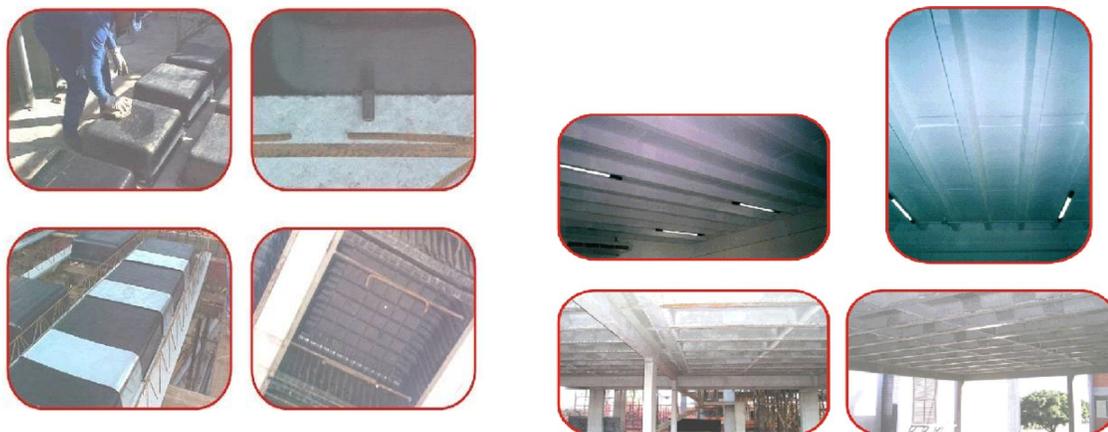
Figura 4.4.3-11 - Lajes Lisas Nervuradas Bidirecionais com vigotas pré-fabricadas treliçadas e vigas de borda na espessura da laje.  
Fonte: arquivo do autor.

#### **4.4.4 Lajes Pré-fabricadas com vigotas treliçadas com utilização de fôrmas removíveis**

Trata-se da industrialização do sistema de lajes lisas moldadas no local com utilização fôrmas removíveis reaproveitáveis (cubetas), sendo que a industrialização não elimina as desvantagens do sistema, mas potencializa algumas vantagens em relação ao moldado no local:

- a) possui um sistema de formas desenvolvido especificamente para a moldagem das lajes pré-fabricadas com vigotas treliçadas que dispensam a utilização de elementos inertes, com a utilização de fôrmas removíveis;
- c) redução de mão-de-obra;
- d) maior velocidade de execução.

A seguir, figuras 4.4.4-1 e 4.4.4-2, tem-se a aplicação do sistema de lajes pré-fabricadas com vigotas treliçadas com utilização de fôrmas removíveis.



Figuras 4.4.4-1 e 4.4.4-2 - Lajes Lisas nervuradas com vigotas pré-fabricadas treliçadas com utilização de formas removíveis. Fonte: <http://www.impacto.com.br>

#### 4.5 Métodos de cálculo

A análise estrutural de lajes lisas e cogumelo deve ser realizada mediante emprego de procedimento numérico adequado, por exemplo: diferenças finitas, elementos finitos, elementos de contorno e analogia de grelha<sup>8</sup> conforme recomenda o item 14.7.8 da ABNT NBR 6118:2003.

A ABNT NBR 6118:2003 permite o cálculo dos esforços pelo processo elástico aproximado, com redistribuição, denominado por método dos pórticos múltiplos, quando os pilares estiverem dispostos em filas ortogonais, de maneira regular e com vãos pouco diferentes. Deve ser considerada a carga total para cada pórtico, com a distribuição dos momentos obtida em cada direção segundo as faixas indicadas na figura 4.5-1, da seguinte forma:

- a) 45% dos momentos positivos para as duas faixas internas;
- b) 27,5% dos momentos positivos para cada uma das faixas externas;
- c) 25% dos momentos negativos para as duas faixas internas;
- d) 37,5% dos momentos negativos para cada uma das faixas externas.

---

<sup>8</sup> Outros detalhes podem ser encontrados nos trabalhos de Silva (2005) e Donin (2007), por exemplo.

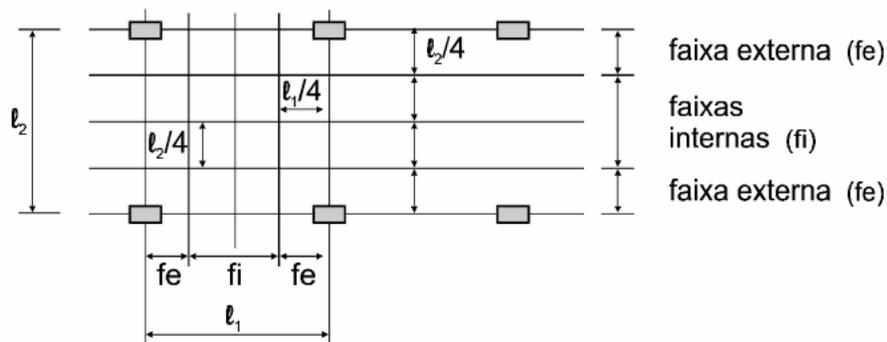


Figura 4.5-1 - Faixas de laje para distribuição dos esforços nos pórticos múltiplos. Fonte: ABNT NBR6118:2003

A ABNT NBR6118:2003 recomenda o estudo cuidadoso das ligações das lajes com os pilares, devendo-se dispensar especial atenção aos casos em que não haja simetria de forma ou de carregamento da laje em relação ao apoio. É obrigatória a consideração dos momentos de ligação entre laje e pilares extremos. Essa mesma norma determina ainda que o dimensionamento das lajes deve ser feito no estado limite último (ELU) e as verificações realizadas no estado limite de serviço (ELS).

No projeto de lajes lisas deve ser verificada a estabilidade global e local, pois as lajes lisas apresentam espessura relativamente pequena em relação às estruturas com vigas altas, tornando vulneráveis as ligações com os pilares. É preciso atentar para a ligação dos pilares considerados contraventados, cuja falta de ligação ou precariedade pode gerar deslocamentos indesejáveis que podem ser percebidos por meio de patologias nos elementos não-estruturais ligados a eles ou até mesmo pela perda da estabilidade local.

A ABNT NBR 6118:2003, no item 20.3.1, concede especial atenção ao detalhamento das armaduras passivas das lajes sem vigas, maciças ou nervuradas, calculadas pelo processo aproximado dos “Pórticos Múltiplos”, em que se devem respeitar as disposições indicadas na figura 4.5-2. Ressalta ainda a quantidade mínima de armadura que deve ser ancorada nos apoios, a decalagem com comprimento mínimo das armaduras e a armadura contra o colapso progressivo.

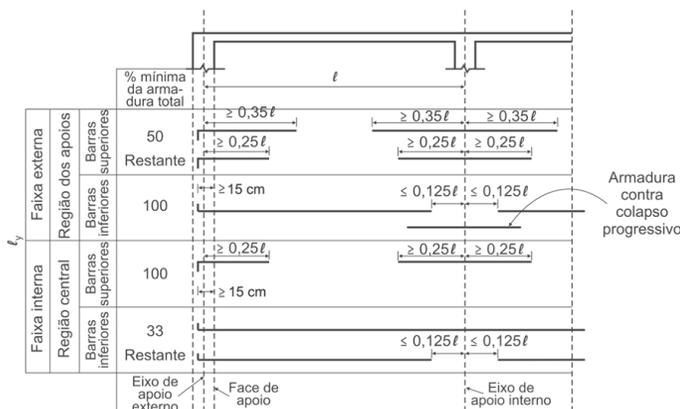


Figura 4.5-2 - Detalhamento das lajes sem vigas com armaduras passivas calculadas pelo processo aproximado dos pórticos múltiplos. Fonte: ABNT NBR 6118:2003

#### 4.6 Subsídios para o projeto de lajes lisas nervuradas pré-fabricadas com vigotas treliçadas

Segundo Figueiredo Filho (1989), uma solução que melhora o comportamento estrutural do sistema de lajes lisas, viabilizando a execução de edifícios altos, é a utilização de vigas periféricas no pavimento, evitando os seguintes problemas:

- como os pilares externos são mais suscetíveis a sofrer punção em razão da menor área de contato com a laje, a colocação das vigas nas bordas evita esse problema, tanto para pilares posicionados nas bordas quanto nos cantos do pavimento;
- as bordas externas dos painéis apresentam grandes deslocamentos transversais e as vigas nas bordas também reduzem este inconveniente;
- as vigas nas bordas do pavimento colaboram com o aumento da rigidez do edifício às ações laterais, o que pode ser particularmente significativo nas situações em que núcleos rígidos são pequenos ou em número insuficiente em relação à área do edifício;
- as vigas de borda (não invertidas) ajudam a evitar a propagação de fogo em caso de incêndios;
- a redistribuição de momentos, em combinação com tensões de membrana, garante uma considerável reserva de capacidade à flexão nas lajes sem vigas em geral, sendo que a capacidade resistente dessas lajes é, geralmente, ditada pelo cisalhamento (punção) e não pela flexão.

#### 4.6.1 Nervuras transversais em lajes unidirecionais: recomendações

No texto da ABNT NBR 6118:2003 não existe menção às *nervuras transversais* ou *nervuras de travamento* utilizadas nas lajes unidirecionais. Já a ABNT NBR 6118:1980 fazia referência às mesmas no item 6.1.1.3.d “..nas lajes armadas em uma só direção, são necessárias nervuras transversais sempre que haja cargas concentradas a distribuir ou quando o vão teórico for superior a 4 m, exigindo-se duas nervuras, no mínimo, se esse vão ultrapassar 6 m”.

O texto de discussão “Projeto de Revisão da ABNT NBR 6118:2000”, no item 14.6.7, ressalta a importância das nervuras transversais nos casos de existência de cargas concentradas, onde exista a necessidade de suavização da variação das flechas ao longo da direção transversal às nervuras principais e de necessidade de minimização dos danos na interface entre elementos de concreto e materiais inertes, decorrentes de variações volumétricas diversas.

A ABNT NBR 14859-1:2002 define no item 3.1 que em lajes pré-fabricadas unidirecionais, como lajes constituídas por nervuras principais longitudinais (NL), dispostas em uma única direção, as quais podem ser empregadas algumas nervuras transversais (NT) perpendiculares às nervuras principais. Ao utilizar o termo “podem ser...”, torna facultativo ao projetista a utilização das nervuras de travamento (NT).

A ABNT NBR 14859-1/2:2002 define como lajes pré-fabricadas, as lajes executadas com vigotas de concreto armado (convencionais ou volterranas) ou protendido, e as vigotas de concreto armado como armações treliçadas. Dentre as contempladas pela ABNT NBR 14859-2/2002 no item 4.1 encontra-se a permissão para a execução de lajes bidirecionais única e exclusivamente com a utilização de vigotas treliçadas por ser a única que permite a execução das nervuras transversais (NT) perpendiculares às vigotas (nervuras principais). Cabe lembrar que o item 4.2.1 já ressalta que a eventual presença de apenas uma ou duas nervuras transversais não a torna bidirecional.

A experiência do autor que atua como consultor, calculista e fabricante de lajes treliçadas, em vistorias realizadas a obras executadas com lajes nervuradas pré-fabricadas unidirecionais sem utilização de nervuras de travamento, como faculta a ABNT NBR 6118:2003, constatou a existência do surgimento de fissuras paralelas às vigotas na mudança

de geometria do painel de laje com variação na geometria (L, T, etc), patologia originada pela falta de nervura transversal para compatibilização dos deslocamentos.

A espessura de capa mínima de 3cm como facultada a ABNT NBR 14859-1/2002 no item 5.3, o posicionamento da armadura de distribuição situada a meia altura da capa ( $hc/2$ ) e a falta de cura adequada comprometem o funcionamento da capa como nervura de travamento, com grande ocorrência em lajes com alturas LT10 (7+3) a LT16 (12+4) utilizadas como forro ou onde haja variação de temperatura de gradiente semelhante. Em todos os casos, recomenda-se utilizar nervuras de travamento espaçadas a cada 2m, bem como nos pontos de variação do painel de laje, como apresentado na figura 4.6.1-1.

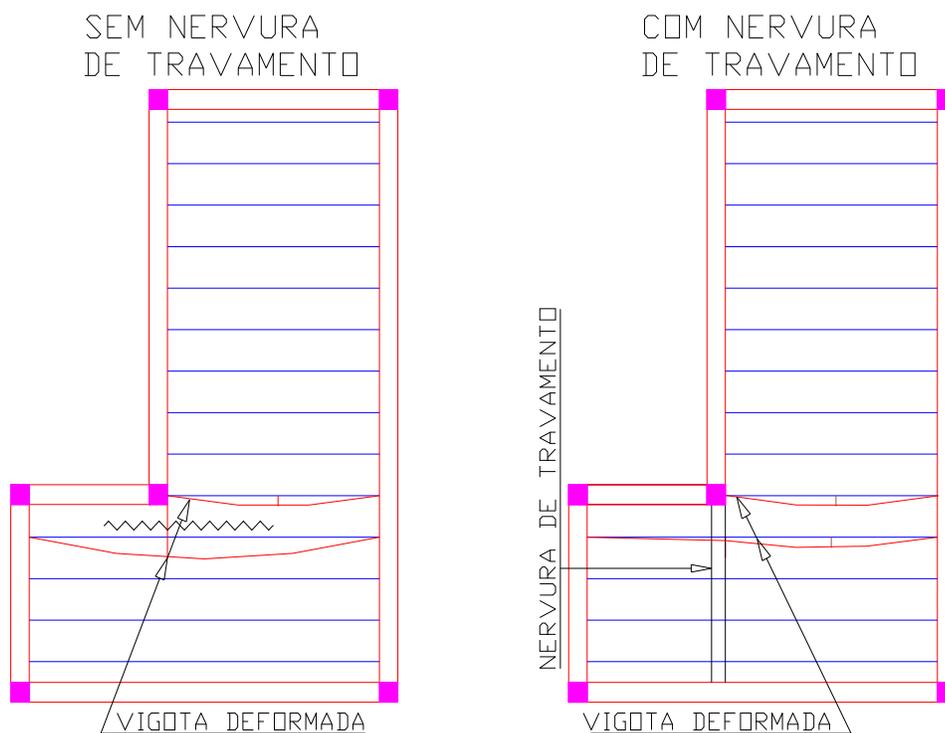


Figura 4.6.1-1 - Patologia por falta de nervura de travamento (Surgimento de fissura no revestimento do teto, na interface da vigota com elemento de enchimento). Fonte: arquivo do autor

## 4.6.2 Pré-dimensionamento

### 4.6.2.1 Altura

Tesoro (1991), baseado em sua experiência com as patologias comuns das lajes lisas nervuradas, propõe as espessuras mínimas indicadas na Tabela 4.6.1 para estruturas submetidas a cargas acidentais e revestimentos inferiores a  $3 \text{ kN/m}^2$ , relações vão/altura (L/H), como critério para pré-dimensionamento.

**Tabela 4.6.2.1-1 - Relações L/H para vão e balanços segundo Tesoro (1991).**

Vão das lajes (m)	Altura total da laje (cm)	Laje em Balanço Vão (m)	Altura total da laje em balanço (cm)
4	20 – 23	1,00	20
5	23 – 25	1,25	20 – 23
6	25 – 27	1,50	23 – 25
7	27 – 30	1,75	25 – 26
8	30 – 35	2,00	25 – 28
		3,00	> 30

Vale a observação que vários gráficos e tabelas apresentadas no trabalho de Tesoro (1991) foram elaborados com  $f_{ck}$  entre 18MPa e 20MPa.

A experiência do autor em projetos permite recomendar para o pré-dimensionamento da espessura as relações vão/altura (L/H) apresentadas na tabela 4.6-2 para lajes lisas nervuradas uni e bidirecionais em concreto armado:

**Tabela 4.6.2.1-2 - Relações L/H para vão e balanços segundo o autor**

Tipo de laje	Altura total da laje (cm)
lajes lisas nervuradas unidirecionais em concreto armado com vigas-faixa, carga acidental + permanente (não incluso o peso próprio) $\leq 5$ kN/m <sup>2</sup> . Condição de apoio: bi-apoiadas	$20 \leq L/H \leq 27$
lajes lisas nervuradas unidirecionais em concreto armado com vigas-faixa, carga acidental + permanente (não incluso o peso próprio) $\leq 2$ kN/m <sup>2</sup> . Condição de apoio: bi-apoiadas	$32 \leq L/H \leq 35$
lajes lisas nervuradas bidirecionais em concreto armado, carga acidental + permanente (não incluso o peso próprio) $\leq 5$ kN/m <sup>2</sup> . Condição de apoio: simplesmente apoiada no contorno, onde L = menor vão da laje.	$30 \leq L/H \leq 35$
lajes lisas nervuradas bidirecionais em concreto armado, carga acidental + permanente (não incluso o peso próprio) $\leq 2$ kN/m <sup>2</sup> . Condição de apoio: simplesmente apoiada no contorno, onde L = menor vão da laje.	$35 \leq L/H \leq 40$

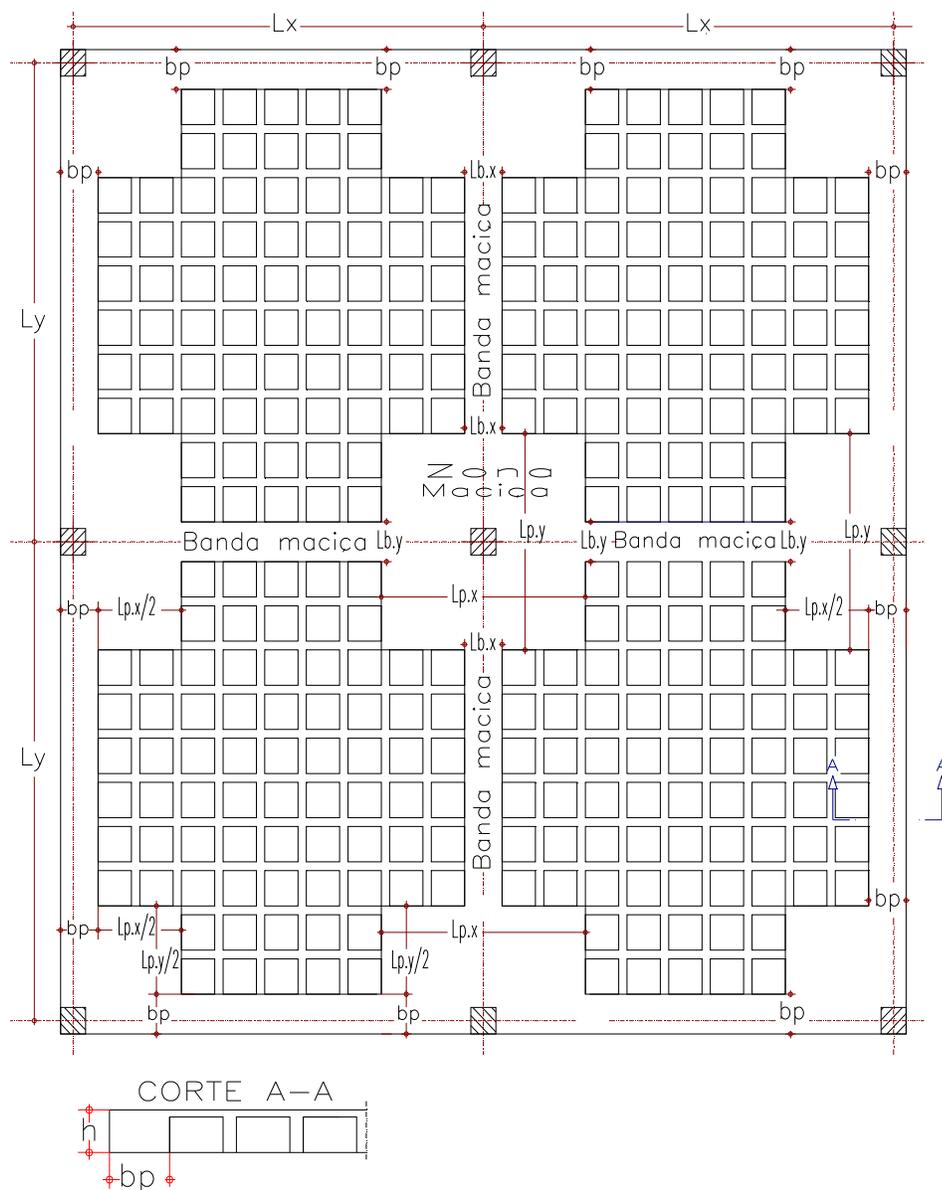
Schmid (1993) apresenta na tabela 4.6-3 os seguintes valores práticos para o pré-dimensionamento da espessura de lajes lisas e cogumelos maciças, em concreto armado ou protendido, para pisos com sobrecarga total menor que 3 kN/m<sup>2</sup>:

**Tabela 4.6.2.1-3 - Relações L/H para vão e balanços segundo Schmid (1993)**

Tipo de laje	Altura total da laje (cm)
Lajes lisas em concreto armado	L/30
Laje-cogumelo em concreto armado	L/45
Lajes lisas em concreto protendido	L/40
Laje-cogumelo em concreto protendido	L/60

#### 4.6.2.2 Geometria dos ábacos (zonas maciças) e bandas maciças

Na figura 4.6.2.2-1 é ilustrado trabalho de Gerra Martins (2003), que pode ser utilizado como ponto de partida para o pré-dimensionamento da geometria dos ábacos (zonas maciças) e bandas maciças.



$$bp \geq h \text{ ou } 25\text{cm}$$

$$\text{Ábacos (zonas maciças): } 0.30 \leq L_p/L \leq 0.50$$

$$\text{Bandas maciças: } 0 < L_b/L \leq 0.25$$

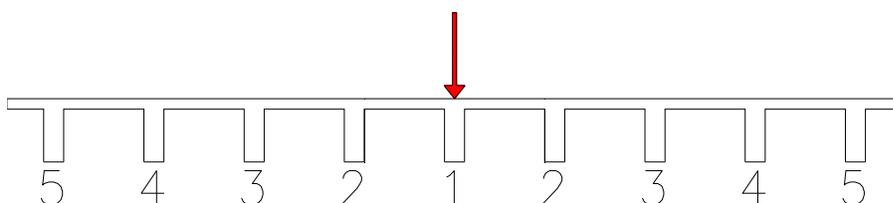
Figura 4.6.2.2-1 - Geometria dos ábacos (zonas maciças) e bandas maciças.  
Fonte: Gerra Martins (2003).

#### 4.6.2.3 Distribuição de forças concentradas nas lajes formadas por nervuras

Quando ocorrem forças concentradas ou distribuídas em linha, como, por exemplo, paredes a avaliação da distribuição transversal dos esforços entre as nervuras pode ser feita, para situações usuais e na falta de outras indicações mais específicas, utilizando-se os valores fornecidos por El Debs (2000) apresentados na tabela 4.6.2.3-1.

**Tabela 4.6.2.3-1 – Coeficientes de distribuição de forças concentradas em lajes formadas por nervuras. Fonte: El Debs (2000).**

##### *Numeração das nervuras em relação à nervura central*



<i>Número de nervuras de cada lado da força</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>
<i>2</i>	<i>0,26</i>	<i>0,22</i>	<i>0,15</i>	<i>0</i>			
<i>3</i>	<i>0,24</i>	<i>0,19</i>	<i>0,13</i>	<i>0,06</i>	<i>0</i>		
<i>4</i>	<i>0,22</i>	<i>0,17</i>	<i>0,12</i>	<i>0,07</i>	<i>0,03</i>	<i>0</i>	
<i>&gt; 5</i>	<i>0,21</i>	<i>0,17</i>	<i>0,12</i>	<i>0,07</i>	<i>0,03</i>	<i>0,01</i>	<i>0</i>

**Observação: a) forças concentradas aplicadas na parte central da laje;**

**b) valores validos para distancia menor que 0,80 m entre nervuras.**

#### 4.6.2.4 Juntas de dilatação no sentido das vigotas treliçadas

Edificações com vigas existentes somente no contorno, com comprimento e/ou necessidade construtiva que justifique a existência de juntas de dilatação no sentido das vigotas treliçadas, conforme exemplificado na figura 4.6.2.4-1:

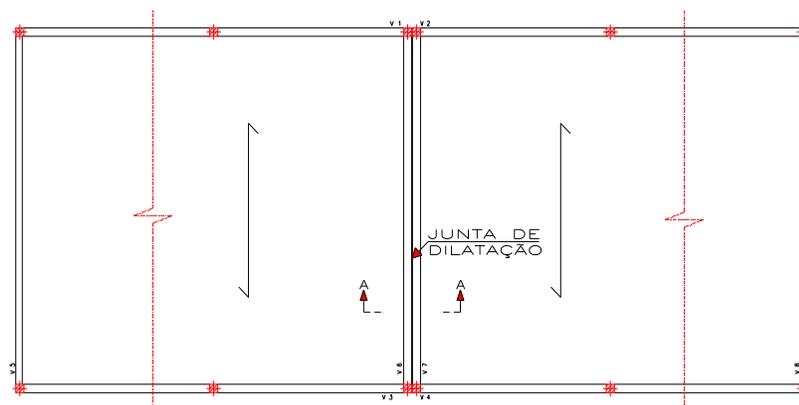


Figura 4.6.2.4-1 – Junta de dilatação vista em planta.

Recomenda-se o detalhe apresentado na figura 4.6.2.4-2, com barras de transferência para compatibilizar deformações entre os painéis de laje. O dimensionamento da barra é feito considerando o Efeito de Pino, conforme item 21.2.4 da ABNT NBR 6118:2003 ou El Debs (2000).

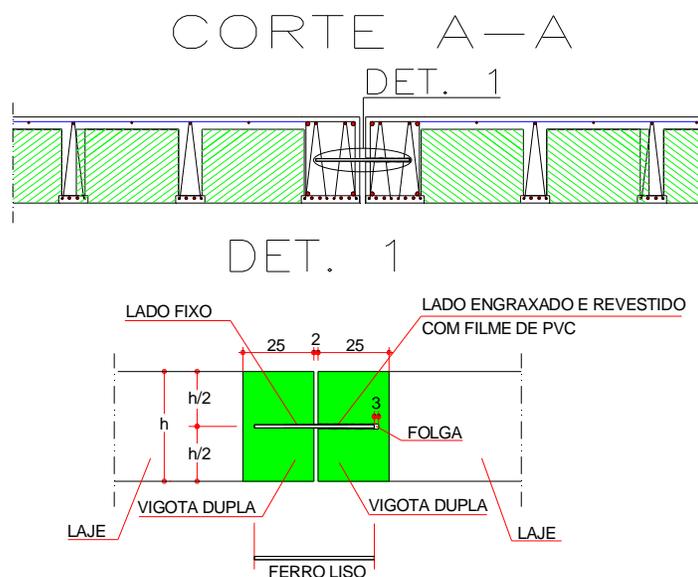


Figura 4.6.2.4-2 – Detalhe em corte da junta de dilatação.

#### 4.6.2.5 Execução de lajes com grandes vãos

A execução de lajes com vãos maiores que 12 m pode tornar-se inviável financeiramente em função da utilização de carretas especiais para transporte das vigotas da fábrica até o local da obra e do uso de guindaste acoplado ao caminhão para movimentação durante as fases de armazenamento e montagem.

Outro ponto negativo de peças com dimensões maiores que 12m é o layout do canteiro de obras, cujas dimensões disponíveis normalmente seguem os padrões dos vergalhões de aço igual a 12 m.

Já o ponto positivo de se trabalhar com dimensões máximas de vigotas iguais a 12 m é manter a característica das lajes de vãos menores: as fases de armazenamento e montagem são feitas manualmente, dispensando equipamentos para movimentação e o transporte é feito por meio de carretas convencionais, não alterando os custos com transporte em carretas especiais.

Os pontos de “emenda” das vigotas (utilizadas somente com a função de fôrma) devem acontecer nos pontos onde ocorram os menores esforços de flexão, com base no diagrama de momentos fletores, como o exemplo da figura 4.6-5. Sob os pontos destinados a emenda das vigotas deve-se prever uma fila de escoramentos e a localização de uma nervura de travamento. No dimensionamento e detalhamento das vigotas à flexão, a favor da segurança, despreza-se a contribuição das armações treliçadas.

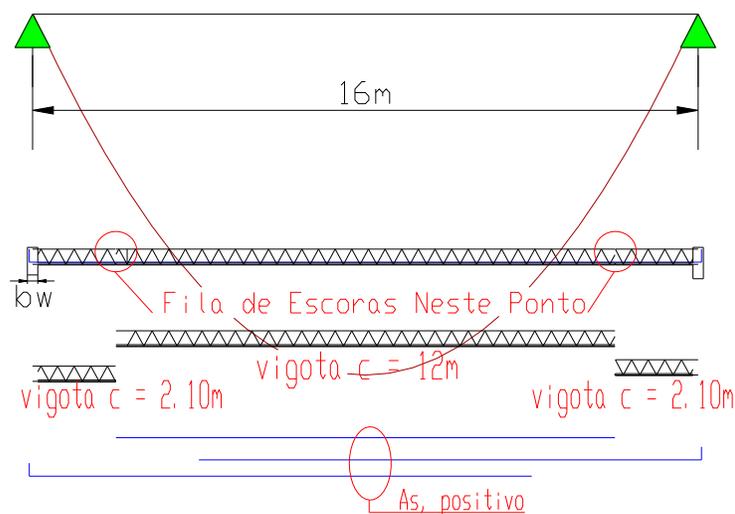


Figura 4.6.2.5-1 – Detalhamento laje vão maior que 12m.

### 4.6.3 Detalhes executivos

São apresentados abaixo detalhes executivos utilizados como solução para situações de projetos de obras executados pelo autor.

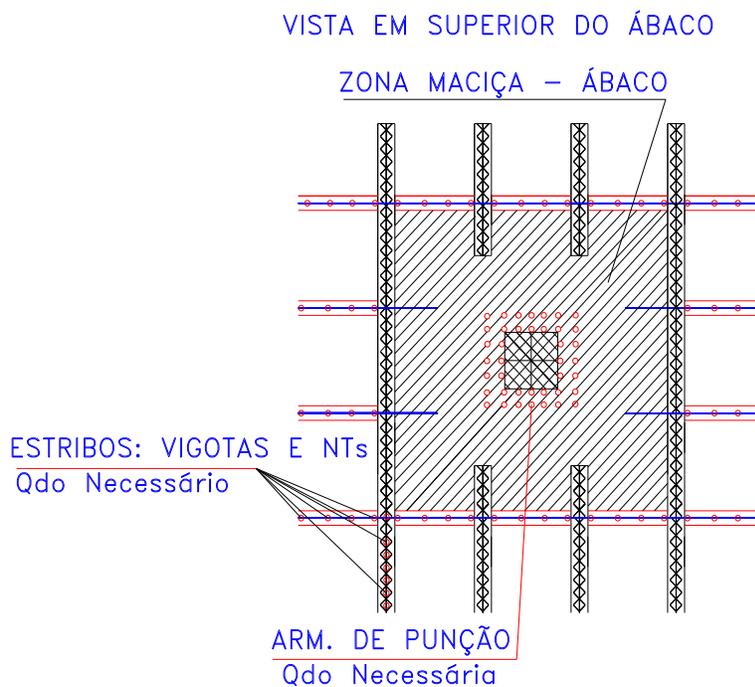


Figura 4.6.3-1 - Vista em Planta do Ábaco. Fonte: arquivo do autor.

### ARMADURA TRANSVERSAL DAS NERVURAS DE TRAVAMENTO

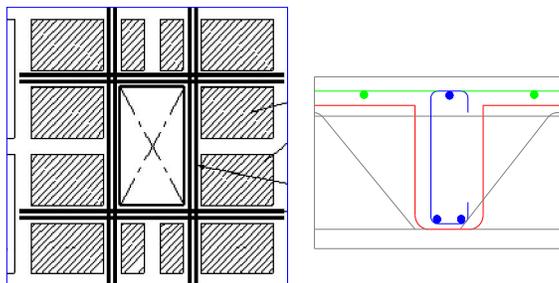


Figura 4.6.3-2 - Detalhe armadura transversal das nervuras de travamento. Fonte: arquivo do autor.

## DETALHE DE APOIO DAS VIGOTAS EM VIGA PLANA OU CAPITEL

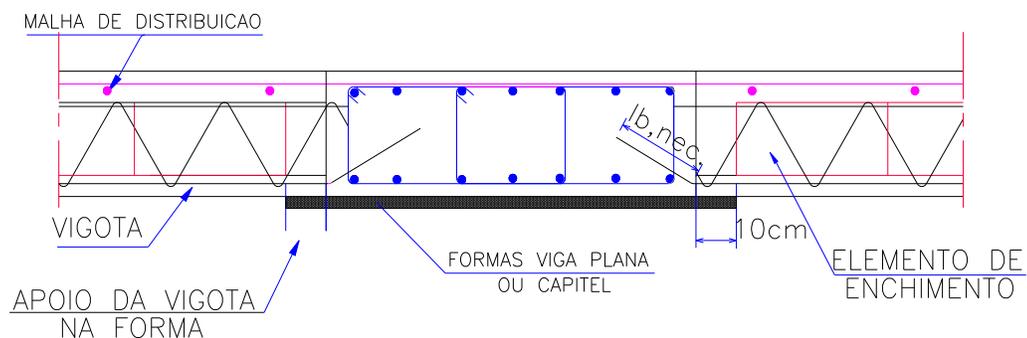


Figura 4.6.3-3 - Detalhe de apoio das vigotas em viga plana ou capitel.  
Fonte: arquivo do autor.

## ANCORAGEM DE ARMADURA NEGATIVA NAS EXTREMIDADES

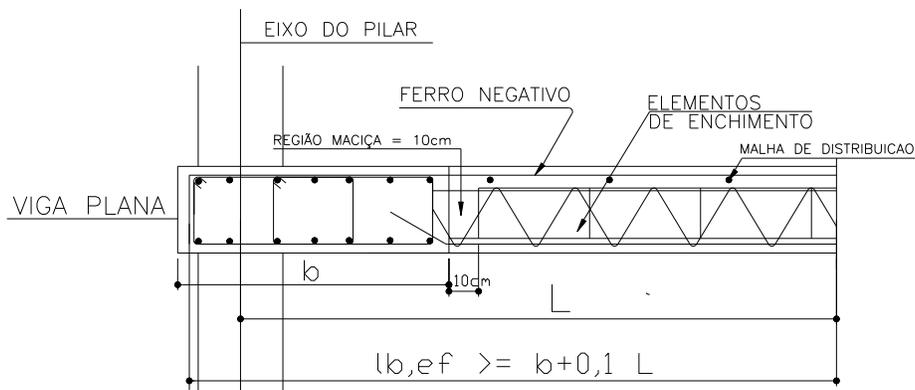


Figura 4.6.3-4 - Detalhe de ancoragem das vigotas em viga plana ou capitel.  
Fonte: EFHE/2002.

## Armação típica do Ábaco (maciço central)

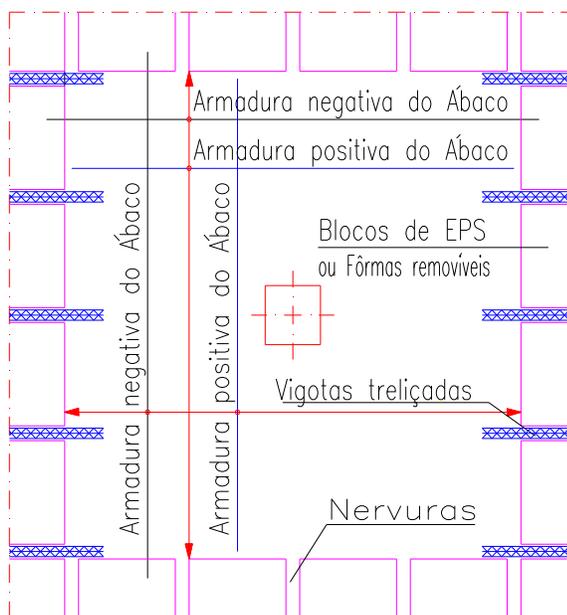
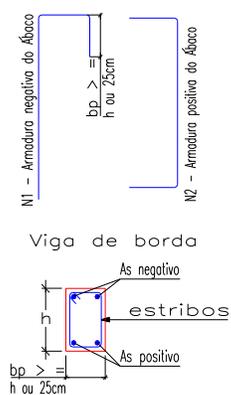
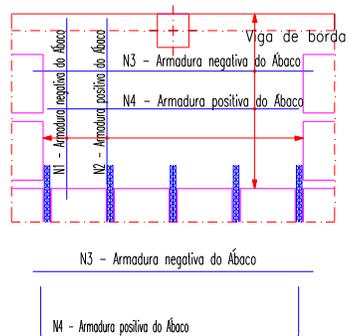


Figura 4.6.3-5 - Detalhe de armação típica do ábaco (maciço central). Fonte: arquivo do autor.

## Armação típica do Ábaco – Pilar extremidade



## Armação ligação Pilar extremidade – Ábaco

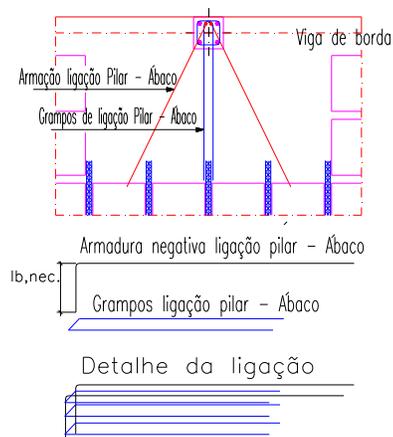
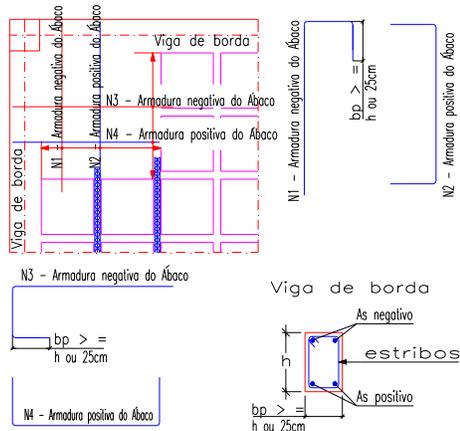


Figura 4.6.3-6 - Detalhe de armação típica do ábaco com pilar de extremidade. Fonte: TESORO (1991).

### Armação típica do Ábaco – Pilar de canto



### Armação ligação Pilar de canto – Ábaco

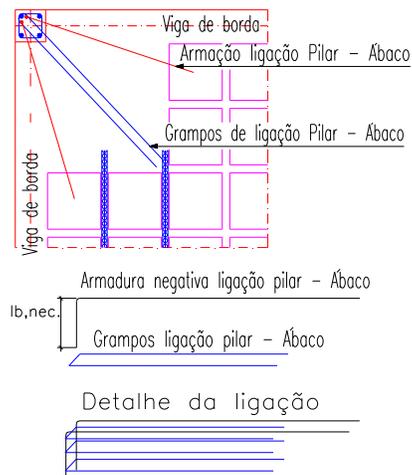
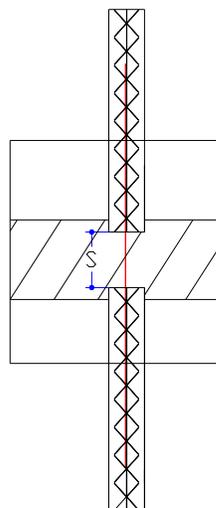


Figura 4.6.3-7 - Detalhe de armação típica do ábaco com pilar de canto. Fonte: TESORO (1991).

### CONDIÇÃO DE CONTINUIDADE IDEAL



### CONDIÇÃO DE CONTINUIDADE PARA BALANÇO

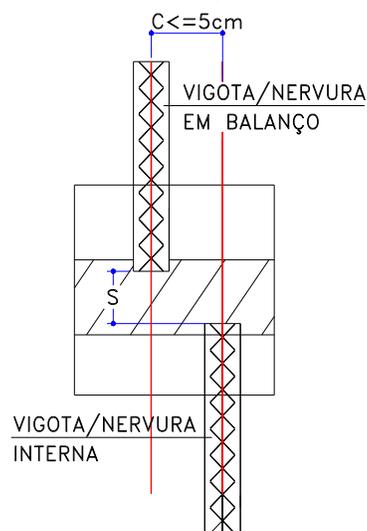


Figura 4.6.3-8 - Condição de continuidade ideal. Fonte: EFHE/2002.

Figura 4.6.3-9 - Condição de continuidade para balanço. Fonte: EFHE/2002.

CONDIÇÃO DE CONTINUIDADE PARA APOIOS INTERNOS

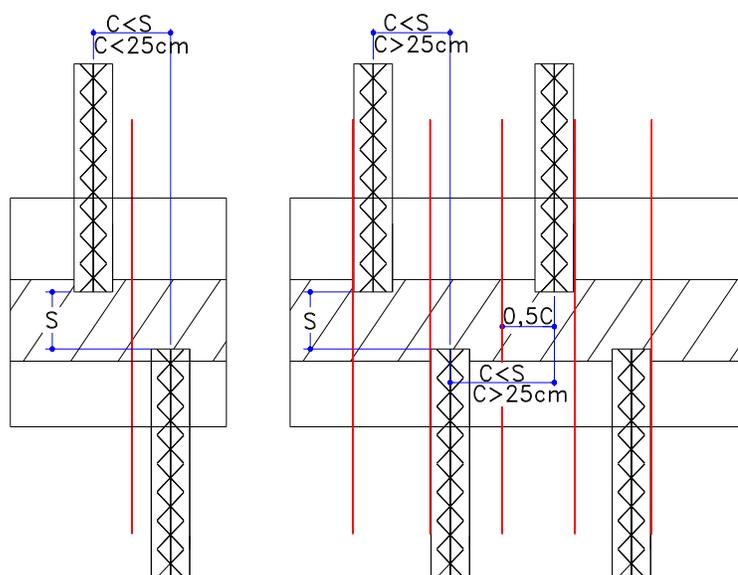


Figura 4.6.3-10 - Condição de continuidade para apoios internos.  
Fonte: EFHE/2002.



Figura 4.6.3-11 - Condição de continuidade para apoios internos. Fonte: arquivo do autor.

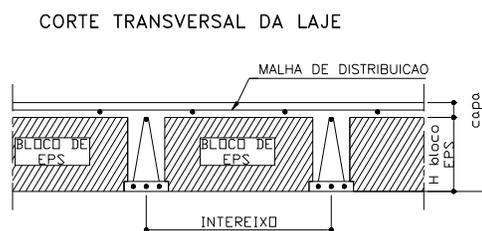
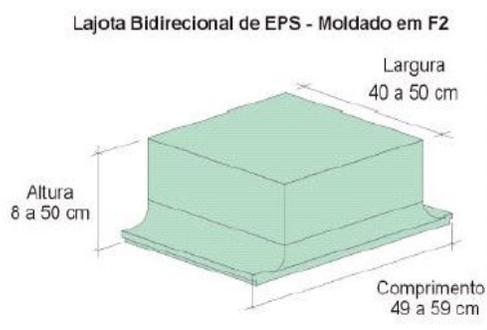


Figura 4.6.3-12 - Blocos moldados de EPS Bidirecional.

Fonte <http://www.maqstyro.com.br>

Figura 4.6.3-13 - Corte transversal das nervuras com vigotas pré-fabricadas treliçadas. Fonte: arquivo do autor.



Figura 4.6.3-14 - Instalações hidráulicas e elétricas. Fonte: Vizotto (2002).



Figura 4.6.3-15 - Instalações hidráulicas e elétricas. Fonte: Vizotto (2002).

#### 4.6.4 Escoramentos

As escoras, também chamadas de pontaletes, devem ser capazes de resistir aos esforços verticais devidos ao peso próprio da laje concretada, além da carga acidental devido às movimentações durante a concretagem. Devem também ser contraventadas nas duas direções, de forma que possam resistir aos esforços horizontais introduzidos durante a concretagem.

Os pontaletes de madeira beneficiada devem ser inteiros, sendo possível fazer emendas, de acordo com os seguintes critérios:

- a) cada pontalete poderá ter somente uma emenda;
- b) a emenda somente poderá ser feita no terço superior ou inferior do pontalete;
- c) o número de pontaletes com emenda deverão ser inferior a 1/3 do total de pontaletes distribuídos.

As escoras metálicas são pontaletes tubulares extensíveis com ajustes a cada 10 cm e com chapas soldadas na base para servir como calço. Podem ter no topo uma chapa soldada ou uma chapa em U para servir de apoio às peças de madeira (travessão ou guia).

As escoras devem ficar apoiadas sobre calços de madeira, assentados sobre terra apiloada ou sobre contrapiso de concreto, ficando uma pequena folga entre a escora e o calço, para a introdução de cunhas de madeira. Também devem ser centradas e ter os pontaletes prumados. Como valores indicativos entre linhas de escoras pode ser admitidos os valores apresentados por Vizotto (2003) apresentados na tabela 4.6.4-1.

**Tabela 4.6.4-1 – Tabela indicativa de vãos livres entre as linhas de escoras para alturas de lajes padronizadas. Fonte: Vizotto (2003)**

Alturas Padronizadas das lajes			10 cm	11 cm	12 cm	13 cm	14 cm	15 cm	16 cm	17 cm	20 cm	21 cm	25 cm	29 cm	30 cm
Armações Treliçadas Padronizadas			Vãos livres padronizados entre linhas de escoramento (m)												
A cm	B cm	C cm													
08	6,0	3,4	1,30	1,20	1,10	1,00									
12	6,0	4,2				1,30	1,30	1,20	1,20	1,20	1,20	1,10	1,10		
16	7,0	4,2								1,60	1,50	1,40	1,30	1,10	1,10
20	7,0	5,0										2,00	1,90	1,80	1,70
25	8,0	5,0												1,30	1,30

Onde:

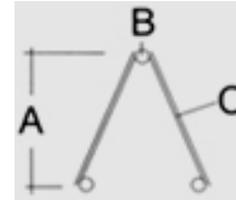
A = Altura da armação treliçada

B = Diâmetro do aço do banzo superior da armação treliçada.

C = Diâmetro do aço da diagonal da armação treliçada.

Esta tabela considera:

- intereixo de 40 a 45 cm para elemento de enchimento em material cerâmico;
- intereixo de 60cm para elemento de enchimento em EPS;



#### 4.6.5 Contraflecha

As contraflechas não modificam o valor final real das flechas, mas possibilitam que a flecha visível seja menor, acarretando menores acertos com enchimentos e menor percepção visual.

A aplicação da contraflecha é feita após o nivelamento dos apoios da laje: por meios de galgas auxiliares, suspende-se a linha que se encontra em nível exatamente na medida determinada do projeto; a seguir, posiciona-se a escora central da laje de forma que a face superior da tábua de espelho toque a linha nivelada acrescida da contraflecha e apóiam-se as vigotas sobre a escora central e os apoios extremos da laje. Depois, são colocadas as demais escoras, ajustadas de forma que toquem as faces inferiores das vigotas, que formarão um arco abatido ilustrado na figura 4.6.5-1.



Figura 4.6.5-1 - Detalhe contraflecha. Fonte: Vizotto (2003).

#### 4.6.6 Retirada dos escoramentos

Os pavimentos, mesmo com reescoramento, são submetidos a mais de 30% do seu peso próprio na idade de quatro a cinco dias, o que constitui um carregamento bastante prematuro. Devido a esses carregamentos, a laje fica sobre-solicitada (para a resistência à tração dessas idades) e fica microfissurada ou fissurada.

Um número maior de pavimentos com reescoras, assim como uso de escoras permanentes e seqüências adequadas de retirada das escoras, diminuem essas cargas. Em lajes com grandes vãos, muitas vezes a fôrma não está bem nivelada, iniciando deformações congênitas.

A retirada dos escoramentos somente poderá ser feita quando o concreto estiver suficientemente endurecido para resistir aos esforços que nele atuarem. A desforma deve ser progressiva, a fim de impedir o aparecimento de fissuras e trincas. Durante a retirada dos escoramentos deve-se impedir todos os meios que produzam vibrações ou choques na estrutura.

A ordem de retirada dos pontaletes será feita a partir do centro do vão em direção aos apoios; no caso de balanços a retirada deve ser feita do extremo do balanço em direção aos apoios, conforme ilustram as figuras 4.6.6-1 e 4.6.6-2.

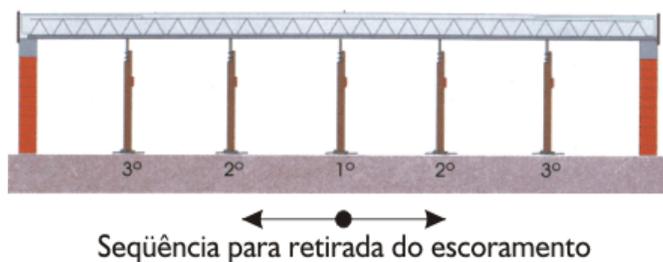


Figura 4.6.6-1 - Retirada de escoramentos laje entre dois apoios. Fonte: VIZOTTO (2003)



Figura 4.6.6-2 - Retirada de escoramentos laje em balanço. Fonte: VIZOTTO (2003)

#### **4.6.7 Concretagem**

Antes da concretagem deve ser feita a limpeza de toda a laje, com remoção todo tipo de material estranho (pedaços de EPS e lajotas, madeira, etc). Imediatamente antes da concretagem, todas as lajes devem ser lavadas para remoção de todo pó e umedecimento de todas as peças, dando-se atenção especial no caso de utilização de material de enchimento cerâmico. Deve-se prever nas fôrmas pontos para escoamento da água utilizada na limpeza, que devem ser obstruídos após a limpeza da mesma.

O agregado graúdo máximo recomendado para o preparo do concreto da capa da laje é brita 1.

O sentido de concretagem deve ser sempre o do sentido das vigotas, evitando-se a criação de juntas frias.

O concreto da capa da laje deve ser lançado sobre todos os demais componentes (vigotas, elementos de enchimentos e armaduras) e adensado imediatamente. É comum despejar o concreto fresco sobre uma chapa de madeira compensada e então distribuí-lo sobre toda a superfície da laje. Devido à aplicação de contraflecha nas lajes, é necessário cuidado especial para que a capa de concreto mantenha a altura mínima especificada no projeto.

#### **4.6.8 Cura**

A cura inadequada leva o concreto a maiores deformações de retração. Em decorrência, surgem tensões de tração maiores que sua resistência à tração e criam-se fissuras. Essas fissuras e microfissuras (não-visíveis) diminuem a rigidez das peças e aumentam as deformações. Uma boa cura diminui também o valor da fluência.

## 5. DIAFRAGMA INFINITAMENTE RÍGIDO: LAJES NERVURADAS PRÉ-FABRICADAS COM VIGOTAS TRELIÇADAS

### 5.1 Introdução

A consideração do pavimento trabalhado como diafragma “infinitamente rígido” em seu plano horizontal é uma aproximação que despreza a rigidez transversal à flexão das lajes, que, por sua vez, é uma análise mais próxima do comportamento real da estrutura, em se tratando de uma análise global. Portanto, supõe-se que, devido ao seu comportamento de placa, essa rigidez à flexão influenciará no comportamento da estrutura como um todo.

A linha de pesquisa em Estruturas de Edifícios Altos desenvolveu-se rapidamente com o advento dos equipamentos computacionais (hardware), permitindo a aplicação de sofisticadas técnicas de análise matemática, com enorme contribuição para o estudo e para o projeto de estruturas com maior precisão e mais próximas de seus comportamentos reais.

Os deslocamentos horizontais, causados pelas ações horizontais dos ventos e dos sismos<sup>9</sup> atuantes sobre a estrutura, produzem esforços adicionais quando são aplicadas simultaneamente às ações de origem gravitacional.

Com a supervalorização do solo urbano, os edifícios projetados têm incorporado dia a dia pavimentos mais altos e esbeltos, com enorme participação da tecnologia de materiais, o que permite tanto a utilização de concretos com maior resistência, quanto o uso de novas tecnologias, tais como a protensão não aderente e os novos sistemas aplicados na produção das estruturas de concreto armado.

O estudo do comportamento das estruturas de edifícios altos executados em lajes nervuradas pré-fabricadas com vigotas treliçadas, sujeitas às ações verticais e horizontais, considerou a hipótese de que as lajes trabalhem como diafragmas rígidos em seu plano horizontal, por não apresentarem praticamente deformações, devido às forças aplicadas em seu plano médio.

Dessa forma, foi capaz de unir todos os elementos, fazendo com que a responsabilidade pela recepção do vento seja dividida proporcionalmente à rigidez de cada um

---

<sup>9</sup> Conforme ABNT NBR 15421:2006 - Projeto de Estrutura Resistente a Sismos – Procedimento.

dos elementos verticais – pilares, pilares-parede, núcleos estruturais ou as associações destes elementos.

Nas edificações com altura elevada, além da conceituação estrutural dos pisos como os responsáveis por coletarem os carregamentos verticais, decorrentes do efeito da gravidade, tem importância também a concepção de conjuntos estruturais que conferem estabilidade às construções.

O subsistema vertical combate a atuação do vento, que solicita a vedação e é transferido aos elementos resistentes, a fim de que não ocorra um deslocamento horizontal demasiado da estrutura que, em edifícios altos flexíveis, pode causar desconforto sensorial aos usuários, como por exemplo deslocamentos e vibrações.

O objetivo específico deste capítulo é alertar para a necessidade de se dar atenção às ligações entre os elementos resistentes (verticais e horizontais) que compõem os diafragmas rígidos, compostos por lajes nervuradas pré-fabricadas com vigotas treliçadas, e fôrmas removíveis ou elementos de enchimento (caixão perdido), constituídos por materiais leves, como as lajotas cerâmicas ou os blocos de Poliestireno Expandido (EPS), para que se possa materializar o modelo idealizado na concepção estrutural para a transmissão de esforços.

A análise dos resultados de alguns estudos comparativos, que consideram a rigidez à flexão da laje em seu próprio plano com as lajes consideradas como diafragmas infinitamente rígidos, tem como objetivo apresentar um modelo de cálculo para a transmissão dos esforços horizontais do diafragma infinitamente rígido.

Tal proposição torna-se justificável tendo em vista a deficiência, no mercado, de programas integrados para a análise estrutural, o detalhamento e o desenho das estruturas de concreto armado, que permitam considerar a rigidez transversal à flexão das lajes na análise global da estrutura.

Inexistem restrições quanto ao número de andares e/ou altura máxima para o projeto e execução de edifícios quando utilizadas lajes nervuradas pré-fabricadas. Entretanto, deve-se atender às recomendações normativas da ABNT NBR 6118:2003 relativos a lajes nervuradas pré-fabricadas e lajes lisas.

Além disso, o engenheiro deve conceber um projeto de forma a dotar a estrutura de elementos de contraventamento que garantam sua estabilidade frente a ações horizontais, especialmente aquelas oriundas do vento, assegurando o projeto quanto às verificações e detalhes para materialização do modelo de diafragma infinitamente rígido



Onde:

Walls	=	Paredes de contraventamento
Structural wall	=	Parede estrutural
Main frame	=	Pórtico de contraventamento
Transverse frames	=	Pórtico na direção transversal a solicitação
Secondary beams	=	Vigas que não participam da estrutura de contraventamento
Direction of earthquake attack	=	Direção de ataque do terremoto
Structural Modeling	=	Modelo estrutural

Descuidos no detalhamento das ligações entre os elementos verticais e horizontais comprometem o funcionamento dessas ligações como diafragma “rígido” e podem surgir patologias na estrutura ou em elementos de vedação e revestimentos, devido ao aumento do deslocamento horizontal ou rotacional dos elementos verticais. Conforme a magnitude dos deslocamentos pode ocorrer desde o desconforto sensorial dos usuários até a perda de desempenho da estrutura por instabilidade local ou global.

O EUROCODE (1992) apresenta diversas disposições regulamentares aplicáveis ao comportamento das lajes como diafragma, estabelecendo, para estruturas com pavimentos pré-fabricados, as seguintes regras de aplicação:

- a) O diafragma deve constituir parte de um modelo estrutural realista, que leve em consideração a compatibilidade de deformações dos elementos de contraventamento;
- b) Os efeitos dos correspondentes deslocamentos horizontais em todos os locais da estrutura devem ser considerados;
- c) O diafragma deve ser adequadamente armado de modo a resistir às tensões de tração que se desenvolvem;
- d) Nos locais de concentração de tensões (aberturas, ligações de elementos de contraventamento, etc.) devem ser previstos detalhes e armações construtivas adequadas.

### 5.2.2 Modelos de cálculo para o diafragma infinitamente rígido

São três os modelos de cálculo do diafragma infinitamente rígido que são mais utilizados para a transmissão das forças horizontais da laje aos elementos resistentes verticais:

- Efeito de Arco ou Bielas e Tirantes (figuras 5.2.2-1 e 5.2.2-2);
- Efeito de Treliça (figura 5.2.2-3);
- Efeito de viga Vierendeel (figura 5.2.2-4).

Entretanto, o modelo geral para a análise e dimensionamento dos diafragmas é o modelo Efeito de Arco, apresentado nas figuras 5.2.2-1 e 5.2.2-2.

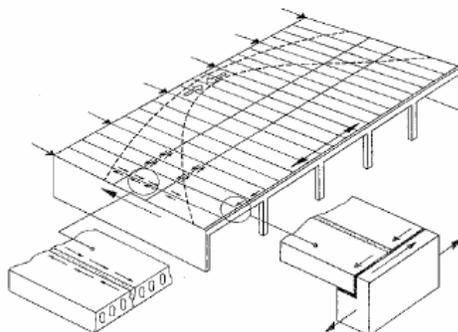


Figura 5.2.2-1 – Efeito de Arco em pavimentos pré-fabricados com lajes alveolares. Fonte: NEVES & PEIXOTO (2004).

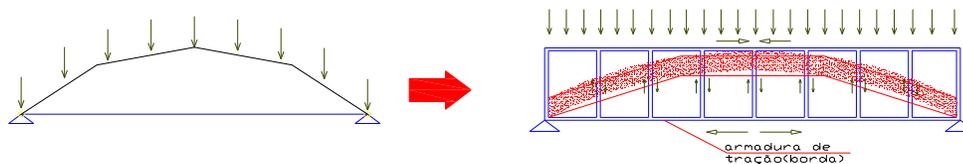


Figura 5.2.2-2 – Efeito de Arco ou Bielas e Tirantes. Fonte: arquivo do autor

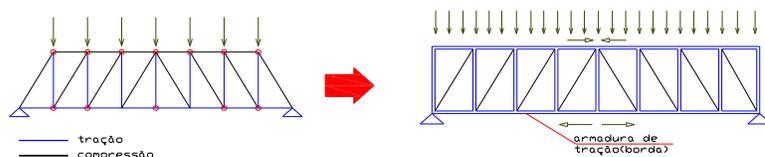


Figura 5.2.2-3 – Efeito de Treliça. Fonte: arquivo do autor

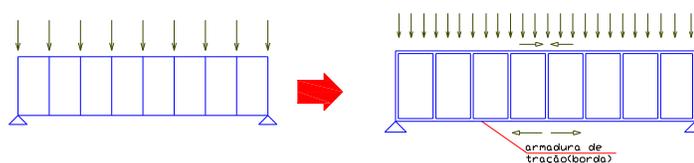


Figura 5.2.2-4 – Modelo de viga Vierendeel. Fonte: arquivo do autor

### 5.3 Modelos de cálculo propostos para o diafragma infinitamente rígido de estruturas de edifícios executados com lajes nervuradas pré-fabricadas e com vigotas treliçadas

O modelo de funcionamento do diafragma concebido para lajes nervuradas pré-fabricadas com vigotas treliçadas aqui apresentado é o de efeito de arco ou bielas e tirantes, adaptado do modelo apresentado por Elliott (2005), de pavimentos pré-fabricados com lajes alveolares.

Tal modelo fundamenta-se no funcionamento do diafragma garantido apenas pela capa de concreto complementar ( $h_c$  – conforme figura 5.3-1) com espessura mínima de 4cm, não sendo necessária a consideração da seção plena da laje (T), embora ela participe na garantia da estabilidade do diafragma quando sujeito a forças horizontais que agem na direção do plano paralelo ao sentido de apoio das vigotas.

Deve-se considerar, porém, que a situação mais desfavorável ocorre com as forças horizontais agindo na direção perpendicular ao sentido de apoio das vigotas em lajes unidirecionais, em que a responsabilidade pelo funcionamento do diafragma fica por conta da capa de concreto complementar ( $h_c$ ).

As armaduras distribuídas na ligação entre a capa de concreto complementar ( $h_c$ ) e as vigotas (VT) devem ser criteriosamente ancoradas nos apoios (elementos de

contraventamento) para garantir a transmissão dos esforços horizontais a eles, uma vez que o funcionamento do diafragma é garantido por essas ligações.

De acordo com Neves & Peixoto (2004), a utilização das armaduras de distribuição na ligação entre capa de concreto complementar ( $h_c$ ) garante o bom comportamento da ação do diafragma frente aos estados limites de utilização.

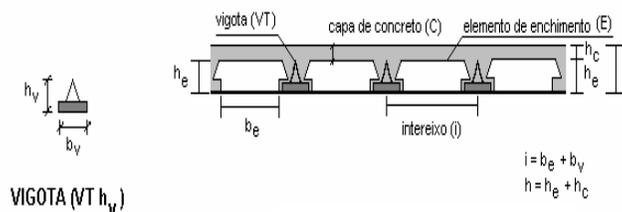


Figura 5.3-1 – Seção transversal típica das laje com vigotas treliçadas. Fonte: ABNT NBR 14859-1:2002.

### 5.3.1 Dimensionamento do diafragma utilizando armaduras uniformemente distribuídas em 40% da altura do diafragma

Para o dimensionamento do momento fletor, o dimensionamento da armadura é efetuado de acordo com a teoria de flexão, utilizando um diagrama retangular de tensões com altura máxima de 40% da altura  $h$  do diafragma, conforme figura 5.3.1-1.

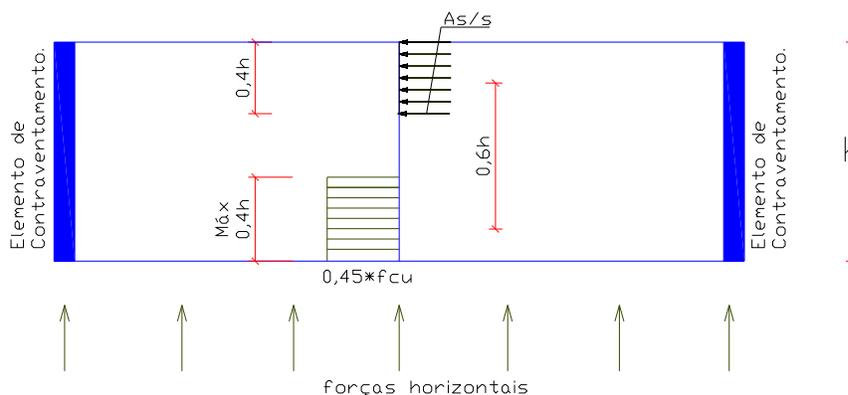


Figura 5.3.1-1 – Dimensionamento do diafragma ao momento fletor com armadura distribuída uniformemente na altura máxima de 40% da largura do diafragma  $h$ . Fonte: arquivo do autor

Considerando-se como  $s$  o afastamento entre as barras que constituem a armadura com área  $A_s$ , obtém-se o momento resistente tal que  $M_{rd} \geq M_{hd}$  e a armadura  $A_s/s$  distribuída na faixa 40% de  $h$ , através da expressão:

$$\frac{A_s}{S} = \frac{M_{hd}}{0,24 \cdot f_{yd} \cdot h^2} \quad (5.1)$$

$$\text{Armadura mínima: } A_{s,\min} = 0,15\% \cdot h_c \cdot h \quad (5.2),$$

em que  $h_c$  é a altura da capa de concreto complementar e  $h$  é a altura do diafragma.

O espaçamento máximo entre as barras das armaduras é de 25cm para as armaduras transversais, paralelas às vigotas.

Considera-se como armadura efetiva a que está situada na faixa 40% de  $h$ . Esta armadura deve ser colocada horizontalmente ao longo de toda a altura  $h$  do diafragma.

A armadura distribuída é considerada uma solução melhor que a colocação da armadura concentrada em cintas junto às bordas, pois reduz o aparecimento de tensões elevadas em pontos localizados do diafragma, o que será sempre conveniente, apesar de distribuir a armadura pelo diafragma.

### 5.3.2 Verificação das tensões de compressão do concreto

$$f_{cd} > \frac{M_{hd}}{0,108 \cdot h_c \cdot h^2} \quad (5.3)$$

### 5.3.3 Dimensionamento do diafragma utilizando armaduras concentradas em cintas junto às bordas do diafragma

As armaduras concentradas em cintas junto às bordas devem ser utilizadas para estruturas de lajes lisas ou lajes cogumelo sem vigas de bordo. Conforme apresentado na figura 5.3.3-1, pode-se obter o momento resistente  $M_{rd} \geq M_{hd}$  e a armadura  $A_s$  concentrada em cintas junto às bordas, por meio da seguinte expressão:

$$A_s = \frac{M_{hd}}{0,8 \cdot f_{yd} \cdot h} \quad (5.4)$$

As mesmas considerações são válidas para as armaduras e espaçamentos mínimos, apresentados no item 5.3.1-2.

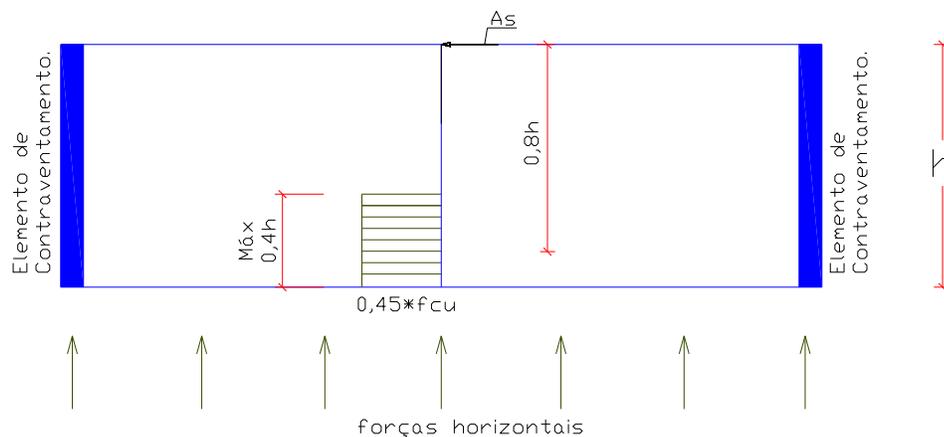


Figura 5.3.1-2 – Dimensionamento do diafragma com armaduras concentradas junto à borda

### 5.3.4 Verificação das tensões de compressão do concreto

$$f_{cd} > \frac{M_{hd}}{0,144 \cdot h_c \cdot h^2} \quad (5.5)$$

### 5.4 Verificação das tensões devidas ao esforço transversal $V_h$

A verificação das tensões do diafragma ao esforço transversal pode ser feita como viga de parede com altura  $h$ , por meio da seguinte expressão:

$$V_{rd} = \frac{V_{hd}}{h \cdot h_c} \leq 0,45 \text{ N/mm}^2 \quad (5.6)$$

Em função da pequena espessura da capa de concreto complementar ( $h_c$ ), recomenda-se respeitar o limite da tensão máxima apresentada (em 5.6). Caso o limite seja ultrapassado, recomenda-se o aumento da espessura da capa de concreto complementar ( $h_c$ ).

### 5.5 Pesquisas

A determinação das forças recebidas pelos painéis de contraventamento tem sido exaustivamente estudada. A análise da participação das lajes em conjunto com os vários elementos que formam a estrutura (vigas, pilares e núcleos) e as estruturas de contraventamento vertical deve –se considerar a rigidez transversal à flexão da chapa (lajes) em seu próprio plano. Para tanto, as técnicas mais utilizadas são as contínuas e as discretas.

Dentre as técnicas discretas, estão os modelos matemáticos que se aperfeiçoam na tentativa de representar uma forma precisa de obter o comportamento físico mais próximo do real da estrutura. O modelo estrutural mais simples divide a estrutura em lajes isoladas, atuando como diafragma rígido, as vigas contínuas e os pórticos planos. Outros modelos mais complexos analisam de uma só vez, todas as lajes e vigas que compõem o pavimento pela Teoria das Grelhas.

As técnicas discretas utilizam modelos matemáticos constituídos por elementos finitos, por elementos de contorno ou diferenças finitas, que foram demonstrados em vários estudos desenvolvidos na área de edifícios altos.

Utilizando o Método dos Elementos Finitos, Bruneli (1987) analisou diversas estruturas de edifícios de andares múltiplos sujeitas à ação do vento, considerando a rigidez à flexão das lajes. Para tanto, o autor empregou o método dos elementos finitos, por meio do processo dos deslocamentos. Na discretização da laje, para representar o efeito de membrana, empregou-se o elemento retangular ACM (Adini-Clough-Melosh).

Posteriormente, Balcazar (1991) analisou estruturas tridimensionais também considerando a rigidez à flexão das lajes, porém utilizou outra técnica e a inclusão do elemento de chapa modificado para representar o comportamento dos pilares-parede, melhorando a convergência dos resultados.

Para a melhor implantação do programa computacional desenvolvido foram empregadas as técnicas de subestruturação em série e em paralelo. O elemento retangular de chapa utilizado também foi o ACM (Adini-Clough-Melosh). No entanto, esses dois últimos trabalhos podem ser aplicados apenas aos edifícios em plantas retangulares.

Bezerra (1995) utilizou o Método dos Elementos Finitos e a implantação de um elemento finito triangular DKT (Discrete Kirchhoff Theory) e, por meio da condensação estática, obteve um elemento quadrangular, em que pôde analisar edifícios de qualquer planta, porém utilizando a teoria de primeira ordem para os pilares. O sistema estrutural não considera a presença dos núcleos estruturais, dos pilares ou pilares-parede submetidos à flexo-torção. A análise estática foi feita por meio do processo dos deslocamentos. O sistema estrutural considerado foi uma estrutura tridimensional formada por subestruturas também tridimensionais que, por sua vez, eram formadas pelos painéis e pilares individuais travados horizontalmente pelas lajes. A matriz de rigidez global da estrutura foi obtida por meio da contribuição de cada elemento estrutural. As estruturas analisadas eram formadas por subestruturas também tridimensionais, as quais compunham um determinado número de

andares. Estas subestruturas, por sua vez, eram formadas por pilares individuais e painéis, sendo estes compostos de vigas e pilares rigidamente conectados entre si.

A principal conclusão dessa análise foi que, ao computar a rigidez à flexão das lajes na estrutura, os deslocamentos horizontais nos pavimentos são menores que os obtidos pelos modelos que as consideram como diafragmas rígidos, com uma diferença de até 17% referente à translação do último pavimento.

Com os deslocamentos reduzidos, verifica-se, de forma geral, uma redução dos esforços de flexão nos elementos estruturais e também uma redução do esforço cortante. Portanto, as lajes tiveram uma participação considerável na rigidez global da estrutura.

Martins (1998) deu continuidade ao trabalho de Bezerra (1995) – que utilizou teoria de primeira ordem para os pilares – ao utilizar teoria de segunda ordem além de computar a rigidez à flexão das lajes na análise global da estrutura que, nesse caso, se tratava de uma estrutura convencional (composta por lajes maciças, vigas e pilares). Na análise do comportamento tridimensional dos pilares, levou em consideração a não-linearidade geométrica, ou seja, a análise em teoria de segunda ordem.

Para a análise da estrutura tridimensional, Martins (1988) utilizou elementos lineares para os pilares e as vigas e elementos de placa para as lajes, ambos pelo processo dos deslocamentos. Neste caso, os elementos de contraventamento horizontais foram discretizados em elementos finitos de barra e a laje em elementos finitos de placa, possibilitando, assim, a determinação da rigidez do sistema estrutural do pavimento.

Na discretização do pavimento, utilizou o elemento finito de placa DKT (Discrete Kirchhoff Theory) para a consideração da rigidez transversal das lajes na análise da estrutura que, segundo Batoz *et al.* (1980) apud Martins (1998), trata-se de um elemento eficiente para a análise de placas delgadas, que permite obter ótimos resultados em termos de rapidez computacional e, principalmente, de convergência.

Este estudo comprovou que a consideração da rigidez transversal à flexão das lajes influencia na redistribuição dos esforços nos elementos estruturais, aumentando em alguns elementos e diminuindo em outros. Além disso, alertou para o fato de que, no dimensionamento dos elementos estruturais a partir dos esforços do modelo analisado como diafragma rígido, alguns elementos podem estar superdimensionados em relação ao cálculo que considera a rigidez transversal da laje, na qual ocorre a diminuição dos esforços em alguns elementos estruturais. Com relação à segurança, alguns elementos podem estar subdimensionados, pois os esforços aumentam em alguns, com a consideração da rigidez transversal da laje.

Também verificou-se a importância da contribuição da rigidez à flexão das lajes na estabilidade global em teoria de segunda ordem. A partir de análises de uma estrutura convencional foram encontradas diferenças sensíveis no comportamento da estrutura com e sem a consideração da laje. Além da diferença de esforços significativa nos elementos estruturais, os deslocamentos laterais diminuem sensivelmente quando considera-se a rigidez à flexão das lajes.

Prosseguindo em seu trabalho, Martins (2001) analisou estruturas tridimensionais de edifícios altos em teoria de segunda ordem, com a presença de núcleos estruturais no modelo de análise da estrutura. As lajes contribuíram com sua rigidez transversal à flexão, modificando consideravelmente os deslocamentos e esforços em teoria deste tipo, o que indica que, nas estruturas de edifícios de andares múltiplos com a presença dos núcleos estruturais, a influência da rigidez transversal à flexão da laje deve ser pesquisada.

Menon *et al.* (2000) analisaram uma estrutura convencional (composta por lajes maciças, vigas e pilares) por meio da técnica discreta, considerando a rigidez transversal à flexão das lajes. Os modelos estruturais tridimensionais foram elaborados através do programa SAP2000, baseado no método dos elementos finitos.

A diferença entre deslocamentos no topo de edifícios constituídos de estrutura em lajes isoladas que atuam como diafragma rígido, analisada com o modelo de pórtico espacial, é 22,94% maior que o modelo de laje discretizada como placa, considerando sua rigidez à flexão. O estudo concluiu que a simplificação dos métodos de cálculo e a não-consideração de forças horizontais incidem na estrutura de contraventamento do edifício, podendo conduzir a danos estruturais de diferentes gravidades.

Brisot (2001) estudou o efeito da diferença em modelar os pavimentos de concreto armado como diafragma rígido ou flexível, na distribuição de forças cisalhantes nos pilares-parede de edifícios de alvenaria estrutural, submetidos unicamente a cargas laterais, analisando, apenas, o efeito de translação do diafragma. Ele utilizou elementos finitos planos e de casca em 78 diferentes casos, a partir da combinação de 6 geometrias de edifícios de quatro e oito andares, variando as dimensões em planta na proporção de 1:4, e concluiu que a hipótese de diafragma rígido em projetos estruturais deve ser questionada na maioria dos casos usuais, alertando para a diferença de 35% em relação à solução fornecida pelo modelo de diafragma flexível e os elementos de casca.

Rodríguez (2002) apresentou um modelo para a transformação da seção “T” em uma seção retangular, de espessura constante, simplificando a modelagem das lajes pelo método dos elementos finitos para a consideração da rigidez transversal à flexão da laje. O

modelo foi proposto por meio de um exemplo numérico com análise dinâmica de um edifício de aço de quatro pavimentos, com relação lado maior/lado menor igual a 2,66, composto por lajes tipo “Steel Deck”, e demonstrou, considerando-se a rigidez transversal à flexão e ao modelo da laje como diafragma com rigidez infinita, uma diferença em torno de 23% na distribuição dos esforços, em função do modelo utilizado.

Goulart (2008), por sua vez, analisou a contribuição da rigidez à flexão das lajes para três edifícios. Dois destes edifícios possuíam sistema estrutural de lajes nervuradas com partes maciças circundando os pilares. Uma das estruturas apresentava núcleo rígido na região dos elevadores. O terceiro edifício apresentava estrutura convencional, com laje maciça e pórticos rígidos formados por vigas e pilares.

Foram elaborados modelos estruturais tridimensionais através do programa computacional SAP2000, baseados no método dos elementos finitos, para as lajes e pilares retangulares com a relação maior dimensão maior do que três vezes a menor. Foram utilizados elementos de casca, e, para as vigas e demais pilares utilizados elementos de barras.

O programa computacional utilizado possibilita a caracterização de uma seção com definição de duas alturas: uma para cálculo do peso próprio e outra para a rigidez da seção. Desprezou-se a rigidez à torção das nervuras das lajes, consideradas de pouca importância para a estrutura de contraventamento dos edifícios analisados. Foram obtidos esforços e deslocamentos de 1ª ordem, através dos quais foi calculado o parâmetro  $\gamma_z$ . Tal procedimento foi dotado para cada uma das variações de rigidez dos elementos estruturais propostas pela ABNT NBR 6118:2003, para análise do estado limite último.

Os resultados alcançados mostraram a importância da contribuição da rigidez à flexão das lajes para os dois edifícios com sistemas estruturais não convencionais, sem um conjunto de pórticos rígidos formados por vigas e pilares, onde a contribuição da rigidez das lajes é fundamental. Sem a laje, as estruturas têm comportamento muito desfavorável, tendo parâmetros de estabilidade global e deslocamentos muito discrepantes quando comparados aos obtidos através da consideração do modelo completo.

Observou-se, ainda, um incremento substancial na eficiência da estrutura de contraventamento quando considerada a contribuição da laje. Além de conferir maior rigidez à estrutura de contraventamento, este modelo é mais realista, pois a laje existe e está ligada monoliticamente às vigas e pilares.

A inclusão da laje propiciou um modelo estrutural mais representativo do funcionamento real da estrutura. Ao desprezar sua rigidez à flexão, a distribuição de esforços é alterada e os deslocamentos são maiores.

Goulart (2008) recomenda a utilização do modelo de pórtico completo mesmo em estrutura convencional, com laje maciça e pórticos rígidos formados por vigas e pilares, com modelo mais realista, e ressalta que ao utilizar este modelo estrutural de pórtico completo, o projetista deve atentar para os esforços de flexão na laje devidos ao vento. Devem-se dimensionar as lajes para as combinações de ELU envolvendo as cargas verticais e horizontais de vento.

Também é importante lembrar a prescrição da ABNT NBR 6118:2003: uma vez considerada na estrutura de contraventamento, a laje deve possuir armadura de punção tal que resista à metade do esforço cortante existente na sua ligação com os pilares.

No estado limite de serviço, nos edifícios 1 e 2, o valor limite de deslocamento horizontal máximo só foi respeitado, para as duas direções, quando se considerou a rigidez à flexão da laje.

A consideração da rigidez à flexão da laje não influenciou apenas na obtenção de parâmetros de estabilidade global. Os esforços nas vigas e pilares podem apresentar reduções significativas com a inclusão da laje na estrutura de contraventamento. Assim, têm-se consequências diretas no dimensionamento desses elementos para combinações de ELU. A laje passa a ter esforços de flexão para forças horizontais do vento e devem obrigatoriamente ser armadas à punção.

## 5.6 Conclusão

Os fatores tecnológicos apresentados neste capítulo têm contribuído para o projeto de estruturas cada vez mais esbeltas, sendo que a análise estrutural, na maioria das vezes, é feita por meio de programas computacionais baseados no modelo do diafragma rígido para a distribuição dos esforços horizontais entre os painéis de contraventamento.

O modelo de funcionamento das lajes como diafragmas infinitamente rígidos é um método simplificado que não considera a rigidez transversal à flexão das lajes em seu próprio plano.

As pesquisas apresentadas no item anterior mostram que a rigidez transversal à flexão das lajes tem influência direta na distribuição de esforços horizontais entre os painéis de contraventamento, com diferenças entre 23% e 35% para os exemplos apresentados. Os resultados e conclusões são convergentes, permitindo-nos concluir:

➤ a consideração da rigidez transversal à flexão das lajes em seu próprio plano apresenta uma distribuição de forças horizontais sobre os planos verticais resistentes dos edifícios, diferentes das obtidas pelo modelo do diafragma com rigidez infinita;

- as diferenças de distribuição das forças horizontais entre os modelos de cálculo apresentados independem do arranjo estrutural, da tipologia dos elementos e dos materiais que constituem os elementos verticais de contraventamento;
- a consideração da rigidez transversal à flexão das lajes em seu próprio plano permite uma participação mais efetiva na interação dos esforços e deslocamentos entre os elementos verticais e horizontais;
- ocorre a inversão dos esforços em vários pontos da estrutura entre o modelo do diafragma rígido e os obtidos pelo modelo que considera a rigidez transversal à flexão das lajes, com elementos super ou subarmados. Como resultado, ocorre o aparecimento de fissuras nos elementos estruturais e alvenarias de vedação.

Conclui-se, a partir dos vários modelos estruturais estudados, que a consideração da rigidez transversal à flexão da laje é de grande importância em edifícios altos. As lajes têm participação mais efetiva na interação dos esforços e deslocamentos com os demais elementos (vigas, pilares, paredes e núcleos), em comparação com os outros modelos que as consideram apenas como diafragmas rígidos.

Com a utilização das ferramentas computacionais de análise, como as apresentadas nos trabalhos pesquisados, é possível obter informações sobre os deslocamentos independentes em diversos pontos do pavimento, o que se torna uma grande vantagem em relação à utilização do modelo do diafragma infinitamente rígido.

Tal fato permite que se recomende a utilização do modelo do diafragma infinitamente rígido somente quando não houver à disposição meios que permitam a utilização de modelos mais precisos. Propõe-se, portanto, o modelo de dimensionamento apresentado nos itens 5.4 e 5.5, dentro dos critérios estabelecidos. O mesmo modelo aplica-se às lajes nervuradas moldadas “in loco”.

## **CAPITULO 6: ESTUDO DE CASO**

### **6.1 Introdução**

Este capítulo apresenta uma comparação de custos com o objetivo de servir de referência para elaboração de anteprojeto. Não se pretende indicar uma solução ideal, mas sim apresentar resultados para um determinado edifício e também demonstrar a viabilidade deste tipo de estudo para o dia-a-dia dos escritórios, já que se dispõe de programas computacionais poderosos capazes de minimizar o tempo de cálculo, de detalhamento e de orçamento dos projetos.

### **6.2 Apresentação do edifício objeto do estudo de caso**

O edifício objeto deste estudo de caso é uma edificação comercial destinado a uma agência bancária situada na cidade de São José do Rio Preto, estado de São Paulo, inicialmente projetada em lajes lisas nervuradas moldadas no local.

Na época da execução da obra, os responsáveis pelo empreendimento solicitaram para a empresa construtora uma análise comparativa dos custos entre a laje lisa moldada no local e com vigotas pré-fabricadas treliçadas, sem que houvesse alteração dos projetos já elaborados, apenas do sistema executivo do mesmo.

As necessidades impostas pelo cliente que deveriam ser atendidas pelo sistema de lajes eram:

- a) Laje lisa para flexibilidade de utilização das alvenarias divisórias;
- b) uma solução construtiva/estrutural que reduzisse a altura do edifício pela necessidade do uso de forro falso como acabamento, de modo a esconder as redes de utilidades (eletrodutos, tubulações hidro-sanitárias, dutos de ar condicionado e demais utilidades).



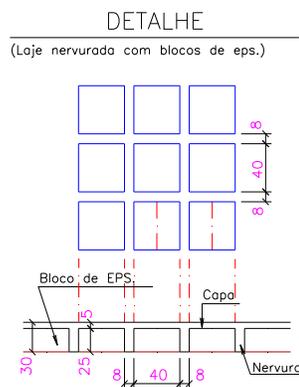


Figura 6.3-2 – Detalhe da laje nervurada (unidades: cm)

#### 6.4 Análise de custos

A composição dos custos foi elaborada pela empresa construtora contratada para execução da obra com base no projeto estrutural e nos preços dos materiais praticados na cidade de São José do Rio Preto, estado de São Paulo, em setembro de 2003.

As análises econômicas para cada alternativa estrutural são apresentadas nas tabelas 6.4-1 e 6.4-2.

**Tabela 6.4-1 - Alternativa em lajes lisas pré-fabricadas com vigotas treliçadas.**

Solução Estrutural: Lajes Lisas com Vigotas Pré-Fabricadas Treliçadas	Consumo	Unidade	Mat.+ MDO	Preço	Reduções
Discriminação	Total	Unidade	Unitário	Total (R\$)	Em %
1) Concreto fck = 25 MPa: Mat.+ MDO (lançamento, adensamento e cura)	110	m <sup>3</sup>	192,00	21.120,00	+2,6%
2) Aço: Mat.+ MDO (corte, dobra e montagem)	2000	kg	2,80	5.600,00	- 48%
3) Formas das lajes e Ábacos (Mat. e MDO)	59	m <sup>2</sup>	15,50	914,50	- 92%
4) Escoramentos das lajes e Ábacos (Mat. E MDO)	608	pç	5,00	3.040,00	- 71%
5) Lajes pré-fabricadas LTH33 (28+5) Mat.+ MDO (montagem lajes e remoção final escoramentos)	760	m <sup>2</sup>	35,00	26.600,00	
<b>CUSTO TOTAL</b>	<b>R\$ 57.274,50</b>				

**Tabela 6.4-2 - Alternativa em lajes lisas moldadas no local.**

Solução Estrutural: Lajes Lisas Moldada no Local (In Loco)	Consumo	Unidade	Mat.+ MDO	Preço
Discriminação	Total	Unidade	Unitário	Total (R\$)
1) Concreto fck = 25 MPa: Mat.+ MDO (lançamento, adensamento e cura)	107,15	m <sup>3</sup>	192,00	20.572,80
2) Aço: Mat.+ MDO (corte, dobra e montagem)	3850	kg	2,80	10.780,00
3) Formas das lajes e Ábacos (Mat. e MDO)	760	m <sup>2</sup>	15,50	11.780,00
4) Escoramentos das lajes e Ábacos (Mat. E MDO)	2128	Pç	5,00	10.640,00
5) EPS: forma perdida para as lajes - material	115,86	m <sup>2</sup>	165,00	19.116,90
<b>Custo Total</b>	<b>R\$72.889,70</b>			

## 6.5 Resultados

A utilização de lajes lisas com lajes pré-fabricadas treliçadas resultou numa redução global no custo da laje de 21,40% em relação ao sistema construtivo projetado inicialmente em lajes lisas moldadas “*in loco*”, como é possível observar nas Tabelas 6.4-1 e 6.4-2. A análise de custos não mensura o ganho financeiro com a redução no prazo de execução da obra, que teve sua inauguração antecipada em 10 dias, com a adoção do sistema estrutural em lajes lisas com vigotas pré-fabricadas treliçadas.

Seguem-se imagens da obra em questão (figuras 6.5-1 a 6.5-8) durante a aplicação do sistema de lajes lisas com vigotas pré-fabricadas treliçadas.



Figura 6.5-1 - Montagem da laje e escoramentos. Fonte: arquivo do autor.



Figura 6.5-2 - Detalhe das formas região do Ábaco. Fonte: arquivo do autor.



Figura 6.5-3 - Detalhe da armação da região do Ábaco. Fonte: arquivo do autor.



Figura 6.5-4 - Detalhe da armação da região do Ábaco. Fonte: arquivo do autor.



Figura 6.5-5 - Detalhe das armações das nervuras. Fonte: arquivo do autor.



Figura 6.5-6 - Limpeza da laje antes da concretagem. Fonte: arquivo do autor.

## CAPITULO 7: CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

### 7.1 Conclusões

Neste trabalho foi analisado o contexto no qual se insere o sistema construtivo em lajes lisas: a busca pela liberdade e flexibilidade na construção de espaços arquitetônicos que representa, atualmente, um tema que merece ser estudado e compreendido, para o contínuo desenvolvimento das técnicas construtivas na busca de opções viáveis à demanda.

A pesquisa de campo apresentada no anexo A1 revela que muitos projetistas ainda não elaboram projetos utilizando lajes lisas nervuradas pré-fabricadas com vigotas treliçadas. Os poucos que sim, elaboram, apresentam dúvidas relativas ao sistema. Há também quem aponte a deficiente ou quase inexistência de bibliografia relativa ao assunto como principal motivo dessa pequena demanda.

Diante de tal problema, procurou-se apresentar, no capítulo 4, as possibilidades para a execução destas lajes, suas vantagens e desvantagens e os métodos de cálculo segundo a ABNT NBR 6118:2003. Além disso, foram discutidos os problemas relativos às nervuras transversais retirados do texto da ABNT NBR 6118:2003 e fornecidos alguns subsídios para o projeto e sua execução, tais como: pré-dimensionamento; distribuição de forças concentradas nas lajes formadas por nervuras; juntas de dilatação no sentido das vigotas treliçadas; execução de lajes com vãos maiores que 12 metros; detalhes executivos para o projeto e recomendações executivas relativas aos escoramentos e sua remoção, contraflecha, concretagem e cura.

Outra dúvida, levantada pelos projetistas na pesquisa de campo relativa ao projeto de lajes lisas nervuradas pré-fabricadas com vigotas treliçadas, dizia respeito ao funcionamento do diafragma “infinitamente rígido”. Assim, optou-se por torná-lo objeto de estudo no capítulo 4, onde foi apresentado um modelo para esse sistema, baseado no efeito de arco ou bielas e tirantes, adaptado do modelo apresentado por Elliott (2005).

Nesse mesmo capítulo foram analisados estudos realizados por diversos pesquisadores, comparando-se o modelo de funcionamento do diafragma “infinitamente rígido” e o modelo que considera a rigidez transversal à flexão das lajes em seu próprio plano. Chegou-se à conclusão de que a consideração da rigidez transversal à flexão da laje é de grande importância em edifícios altos, uma vez que as lajes têm participação mais efetiva na interação dos esforços e deslocamentos com os demais elementos (vigas, pilares, paredes e

núcleos), em comparação com os outros modelos que as consideram apenas como diafragmas rígidos.

Com relação aos custos, a comparação entre o sistema de lajes lisas nervuradas moldadas no local e nervuradas pré-fabricadas com vigotas treliçadas, baseada em um estudo de caso real, apresentou redução de custos de 21,40% a favor do sistema com lajes lisas nervuradas pré-fabricadas com vigotas treliçadas.

Por fim, apresentou-se nos anexos uma análise sucinta das respostas obtidas na pesquisa de campo elaborada junto aos projetistas estruturais com o objetivo de esclarecer às dúvidas pertinentes ao sistema.

Conclui-se que o sistema de lajes lisas nervuradas pré-fabricadas com vigotas treliçadas pode ser empregado com grandes vantagens em comparação ao sistema convencional (lajes, vigas e pilares) e ao sistema de lajes lisas nervuradas moldadas no local, a partir da concepção de projetos voltados para a produção, desde que não sejam apenas projetos de manufatura, exigidos pelos sistemas moldados no local, e que a obra seja executada com planejamento e provida de equipamentos de movimentação como grua ou guindastes.

## **7.2 Sugestões para trabalhos futuros**

Dentre as sugestões para trabalhos futuros, pode-se citar:

a) estudos específicos com lajes lisas nervuradas lajes pré-fabricadas com vigotas treliçadas, comparando-se o modelo de funcionamento do diafragma “infinitamente rígido” e o modelo que considera a rigidez transversal à flexão das lajes em seu próprio plano.

b) estudos específicos com lajes pré-fabricadas com vigotas treliçadas para verificação da contribuição da armadura construtiva negativa, que influencia na redução das deformações ao longo do tempo, conforme observações em obras.

c) estudo aplicando a protensão não aderente ao sistema de lajes lisas nervuradas lajes pré-fabricadas com vigotas treliçadas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA FILHO, F. M.; *Estruturas de pisos de edifícios com a utilização de cordoalhas engraxadas*. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos – USP: São Carlos, 2002.

ASSIS, E. A. R. *Análise experimental de lajes treliçadas reforçadas pela face superior*. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Goiás: Goiânia, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento*. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

\_\_\_\_\_. *Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado*. NBR 9062. Rio de Janeiro: ABNT, 1985.

\_\_\_\_\_. *Laje pré-fabricada – Requisitos Parte 1: Lajes unidirecionais*. NBR14859-1. Rio de Janeiro, 2002.

\_\_\_\_\_. *Laje pré-fabricada – Requisitos Parte 2: Lajes Bidirecionais*. NBR14859-2. Rio de Janeiro, 2002.

\_\_\_\_\_. *Armaduras treliçadas eletrossoldadas – Requisitos*. NBR 14862:2002. Rio de Janeiro, 2002.

ATEX. *Apresenta descrição técnica (características e aplicação) de formas plásticas para a confecção de lajes nervuradas*. Disponível em: < <http://www.atex.com.br/fotos/fotografia.htm>>. Acesso em: 28 fevereiro 2005.

BALCAZAR, E. A. S. G. *Análise linear de estruturas tridimensionais pelo método dos elementos finitos utilizando subestruturas*. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo: São Carlos, 1991.

BENEVOLO, L. *História da arquitetura moderna*. São Paulo: Perspectiva, 2001.

BEZERRA, D. P. **Análise de estruturas tridimensionais de edifícios altos considerando a rigidez transversal à flexão das lajes**. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo: São Carlos, 1995.

BOCCHI Jr., C. F. **Lajes nervuradas de concreto armado projeto e execução**. Dissertação de Mestrado. USP: São Paulo, 1995.

BORGES, J.U.A. **Crítérios de projeto de lajes nervuradas com vigotas pré-fabricadas**. Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo: São Paulo, 1997.

BRANSON, D. E. **Procedures for Computing Deflections**. In: ACI Journal. New York, USA, 1968.

BRISOT, G. V. *et al.* **Influência da Rigidez das Lajes de Concreto Armado na Distribuição dos Esforços Laterais**. XIX Jornadas Sudamericanas de Ingeniería Estructural. Brasil: Brasília, 2001.

BRUNELI, A. C. **Análise estrutural de edifícios sujeitos ao carregamento horizontal, considerando a rigidez das lajes, com o método dos elementos finitos**. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo: São Carlos, 1987.

CAIXETA, D. P. **Contribuição ao estudo de lajes pré-moldadas com vigas treliçadas**. Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual de Campinas: Campinas, 1998.

CAMPOS, M. H. A. C., **A Construtibilidade em projectos de construção de edifícios para o Ensino Superior Público em Portugal**. Dissertação (Mestrado). Universidade do Minho, Campus Universitário de Azurém: Guimarães, Portugal, 2002.

CARVALHO R. C. **Estudo experimental do espaçamento de escoras em lajes pré-moldadas com nervuras do tipo trilho e treliçadas para pavimentos de edificações**. Relatório final do processo 99/04607-8 – FAPESP – São Carlos, 2000.

\_\_\_\_\_ **Análise não-linear de pavimento de edifícios de concreto através da analogia de grelha**. Tese (Doutorado). EESC – USP: São Carlos, 1994.

CARVALHO R. C.; FIGUEIREDO FILHO, J. R. *Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado*. 2 ed. São Carlos: Editora da UFSCar, 2004.

CARVALHO, R. C.; FIGUEIREDO FILHO, J. R.; FURLAN JUNIOR, S. *Reações nas vigas de apoio em pavimentos executados com lajes pré-moldadas*. In: 40º Congresso Brasileiro do Concreto. Rio de Janeiro, 1998.

\_\_\_\_\_. *Processo aproximado para o cálculo de lajes pré-moldadas nervuradas*. In: III Congresso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Juiz de Fora. Juiz de Fora, 1998.

CARVALHO, R. C.; PARSEKIAN, G. A.; FIGUEIREDO FILHO, J. R.; MACIEL, A. M. *Estado da arte do cálculo das lajes pré-fabricadas com vigotas de concreto*. In: 1º Encontro Produção-Projeto-Pesquisa, São Carlos, 2005.

DI PIETRO, J. E. *Projeto, execução e produção de lajes com vigotas pré-moldados de concreto*. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Santa Catarina: Santa Catarina, 1993.

DONIN, C. *Análise numérica de lajes nervuradas por meio do método dos elementos finitos*. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Santa Maria: Rio Grande do Sul, 2007.

DORFMAN, G. *Flexibilidade como balizador do desenvolvimento das técnicas de edificação no século XX*. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo Programa de Pós-Graduação – UNB – Universidade de Brasília. Disponível em: <[http://www.unb.br/fau/pos\\_graduacao/paranoa/flexibilidade.pdf](http://www.unb.br/fau/pos_graduacao/paranoa/flexibilidade.pdf)> Acesso em: 23 de setembro de 2003.

DROPA Jr, A. *Análise estrutural de lajes formadas por elementos pré-moldados tipo vigota com armação treliçada*. Dissertação (Mestrado). EESC-USP: São Carlos, 1999.

DROPPA JÚNIOR, A.; EL DEBS, M. K. *Análise não-linear de lajes pré-moldadas com armação treliçada*. Congresso Brasileiro do Concreto, São Paulo: IBRACON, 1999.

\_\_\_\_\_ *Um estudo teórico-experimental do comportamento estrutural de vigotas e painéis com armação treliçada na fase de construção.* [CD-ROM]. Congresso Brasileiro do Concreto, São Paulo: IBRACON, 2000.

EL DEBS, M. K. *Concreto pré-moldado: fundamentos e aplicações.* São Carlos: EESC-USP, 2000. 456 p.

EL DEBS, M. K.; DROPPA JÚNIOR, A. *Critérios para dimensionamento de vigotas com armação treliçada nas fases de construção.* Relatório Técnico. EESC-USP: São Carlos, 1999.

ELLIOTT, K. S. *Precast concrete structures.* Oxford: Butterworth Heinemann publications, 2005. 375 p.

ELLIOTT, K. S. *Design and construction of precast concrete structures,* São Carlos: UFSCar / Departamento de Engenharia Civil, 2005. Workshop.

EUROCODE 2. *European Standard* – First Draft, 1992.

FIGUEIREDO FILHO, J. R.; CHUST, R. C. **A utilização da analogia de grelha para análise de pavimentos de edifícios em concreto armado.** São Carlos: UFSCar/Departamento de Engenharia Civil – Programa de pós-graduação, 2004. Notas de aula.

\_\_\_\_\_ . **Pavimentos de edifícios em lajes sem vigas de concreto armado.** São Carlos: UFSCar/Departamento de Engenharia Civil – Programa de pós-graduação, 2004. Notas de aula.

FIGUEIREDO FILHO, J. R. **Sistemas estruturais de lajes sem vigas: subsídios para o projeto e execução.** 1989. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo: São Carlos, 1989.

FLÓRIO, M. C. *Estudo experimental de vigotas pré-moldadas e nervuras de concreto armado para execução de lajes unidirecionais.* Relatório final de iniciação científica 00/11854-0-0. Fapesp: São Carlos, 2001.

\_\_\_\_\_ *Projeto e execução de lajes pré-fabricadas unidirecionais com vigotas em concreto armado*. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de São Carlos: São Carlos, 2003.

FLÓRIO M. C.; CARVALHO, R. C.; FIGUEIREDO FILHO, J. R.; FURLAN JUNIOR, S. *Flecha em lajes com vigotas pré-moldadas considerando a fissuração e uso da Expressão de Branson*. In: 45º Congresso Brasileiro do Concreto. Vitória, 2003.

FORTE, F. C.; FANGEL, L.; ARADO, F. B. G; CARVALHO, R. C.; FURLAN JUNIOR, S.; FIGUEIREDO FILHO, J. R. *Estudo experimental do espaçamento de escoras em lajes pré-moldadas com nervuras do tipo treliça*. In: 42º Congresso Brasileiro de Concreto. Fortaleza: IBRACON, 2000.

FURLAN JUNIOR, S.; FIGUEIREDO FILHO, J. R.; CARVALHO, R. C.; MERLIN, A. *Lajes pré-moldadas de concreto: a consideração da plastificação nos valores dos momentos negativos em elementos hiperestáticos e seus efeitos no dimensionamento do pavimento*. In: XXIX Jornadas Sudamericanas de Ingeniería Estructural. Punta del Este, Uruguai, 2000.

FREIRE, T. M.; LEMES DE SOUZA, U. E. **Classificação dos sistemas de fôrmas para estruturas de concreto armado**. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP – BT/PCC/296, EPUSP: São Paulo, 2001.

GASPAR, R. *Análise da segurança estrutural das lajes pré-fabricadas na fase de construção*. Dissertação (Mestrado). USP: São Paulo, 1997.

GIOVANNARDI, F. & MAILLART, R. **L’emancipazione del cemento armato**. Pubblicazione Studio Giovannardi e Rontini. Ottobre 2007. Disponível em: <<http://www.giovannardierontini.it>>. Acesso em: 12 DE ABRIL DE 2006.

GÖSSEL, P. & LEUTHÄUSER, G. **Arquitetura no século XX**. Eslovênia: Taschen, 2001.

KAEFER, L. F. *A evolução do concreto armado - concepção, projeto e realização das estruturas: aspectos históricos*. Apostila PEF 5707. Universidade Politécnica da USP. São Paulo, 1998.

GERRA MARTINS, J. *Betão Armado: Lajes fungiformes*. Série estruturas – 1ª edição. Universidade Fernando Pessoa. Portugal, 2003.

GOULART, M. S.S. *Contribuição da rigidez à flexão das lajes para a estabilidade global de edifícios*. Rio de Janeiro. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE. 2008. 115p.

IMPACTO. *Apresenta descrição técnica (características e aplicação) de lajes pré-fabricadas treliçadas com utilização de formas removíveis*. Disponível em: <<http://www.impacto.com.br>>. Acesso em: 10 janeiro. 2005.

KAEFER, L. F. *A Evolução do Concreto Armado – Concepção, Projeto e Realização das estruturas: aspectos históricos*. Apostila PEF 5707 – Universidade Politécnica da USP. São Paulo, 1998.

KATAOKA, M. N. *Projeto de lajes com vigotas pré-fabricadas de concreto de acordo com as novas normas brasileiras*. Relatório de iniciação científica. São Carlos, 2004.

\_\_\_\_\_. *Estudo experimental da deformação ao longo do tempo de lajes contínuas e simplesmente apoiadas executadas com vigotas pré-moldadas de concreto*. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de São Carlos: São Carlos, 2005.

KATAOKA, L. T.; MELLO, A. L. V.; ROGGE, A. C.; CARVALHO, R. C.; FIGUEIREDO FILHO, J. R. *Estudo experimental da deformação ao longo do tempo de lajes contínuas e simplesmente apoiadas executadas com vigotas pré-moldadas*. In: Anais do 46º Congresso Brasileiro do Concreto, Florianópolis, 2004.

LIMA, E. L.; BALAT, V. H. & BISSIO, J. F. *Hormigón armado: notas sobre su evolución y la de su teoría. Seminario sobre fundamentos de la resistencia de materiales*. Argentina: Universidad Nacional de La Plata, 2004.

LIMA, J. N. *Estudo experimental de lajes nervuradas de concreto armado moldadas in loco com armadura convencional e treliçada simples*. Dissertação (Mestrado). UnB: Brasília, 1999.

LOURENÇO, J. *História da Arquitectura: século XX*. Portugal: Guimarães, 2004, p. 150-169.

MAGALHÃES, F. L. *Estudo dos momentos fletores negativos nos apoios de lajes formadas por elementos pré-moldados tipo nervuras com armação treliçada*. Dissertação de Mestrado. EESC. Universidade de São Paulo: São Carlos, 2001.

MAQSTYRO. *Apresenta descrição técnica com características e aplicação de blocos em EPS moldado, formas perdidas para confecção de lajes nervuradas*. Disponível em: <<http://www.maqstyro.com.br>> Acesso em: 28 de fevereiro de 2005.

MARTINS, C. H. *Análise não linear de estruturas tridimensionais de edifícios de andares múltiplos com núcleos resistentes, considerando a rigidez transversal à flexão das lajes*. Tese (Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos. São Carlos: Universidade de São Paulo, 2001.

MARTINS, C. H. *Contribuição da rigidez transversal à flexão das lajes na distribuição dos esforços em estruturas de edifícios de andares múltiplos, em teoria de segunda ordem*. Escola de Engenharia de São Carlos. São Carlos: Universidade de São Paulo, 1998.

MENON, N.V.; PERALTA, A.C.; WUTZOW, W.W. *Influência da rigidez transversal das lajes no contraventamento de edifícios de concreto armado*. In: ENTECA - 2000, Maringá-PR : Gráfica da UEM, p. 243-250, 2000.

MERLIN, A. J. *Momentos fletores negativos nos apoios de lajes formadas por vigotas de concreto protendido*. Dissertação (Mestrado). EESC: São Carlos, 2002.

MINISTERIO DE FOMENTO ESPAÑOL. EHE - *Instrucción de Hormigón Estructural*. Madrid: 2002.

MINISTERIO DE FOMENTO ESPAÑOL. EFHE. *Instrucción para el proyecto y la ejecución de forjados unidireccionales de hormigón estructural realizados con elementos prefabricados*. Madrid, 2002.

MÜLLER, F. *Alvar Aalto e a igreja feito corpo*. Arqutextos 070.01. Disponível em: <[http://www.vitruvius.com.br/arqutextos/arq070/arq070\\_01.asp](http://www.vitruvius.com.br/arqutextos/arq070/arq070_01.asp)> Acesso em: 10 de agosto de 2006.

MUÑOZ, M. T. *A casa sobre a natureza*. A Vila Malaparte e a Casa da Cascata. Disponível em: <<http://www.vitruvius.com.br/arquitextos/arq000/esp009.asp>> Acesso em: 10 de agosto de 2006.

NAWY, E. G. *Reinforced concrete: a fundamental approach*. New Jersey: Prentice-Hall, 1995.

NEVES, A. S. & PEIXOTO, S. M. *Comportamento Sísmico de Pavimentos Realizados com Paineis do Tipo Pré-Laje com Aligeiramento*. SÍSMICA – 6º Congresso Nacional de Sismologia e Engenharia Sísmica. Portugal: Porto, 2004.

NEVES, R. P. A. A. *Espaços arquitetônicos de alta tecnologia: os edifícios inteligentes*. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos. São Carlos: Universidade de São Paulo, 2002.

PAULAY, T. & PRIESTLEY N. *Seismic design of reinforced concrete and masonry buildings*. John Wiley and Sons Inc., 1992.

PEIXOTO, E. M. *Os efeitos da vibração mecânica e cura controlada do concreto no comportamento à flexão de lajes com vigotas pré-moldadas*. Relatório final de iniciação científica - 01/06803-0. Fapesp: São Carlos, 2002.

PEIXOTO, E. M. O.; CARVALHO, R. C.; FURLAN JUNIOR, S.; FIGUEIREDO FILHO, J. R. *Os efeitos da vibração mecânica do concreto no comportamento à flexão de lajes com vigotas pré-moldadas*. In: Anais do 44º Congresso Brasileiro do Concreto. Belo Horizonte, 2002.

PEREIRA, R. L. *Estudo experimental de emenda em vigotas treliçadas*. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Goiás: Goiânia, 2002.

RODRÍGUEZ, M. T. *et al. Modelo matemático para incorporar la flexibilidad del diafragma constituido por losas compuestas en la respuesta sísmica de edificios de acero*. Boletín Técnico IMME, volumen 40, nº 2. IMME, Universidad Central de Venezuela. Venezuela: Caracas, 2002.

ROGGE, A. C. *Estudo experimental da deformação ao longo do tempo de lajes com nervuras pré-moldadas*. Relatório parcial de iniciação científica – Processo 00/01898-0. Fapesp: São Carlos, 2000.

ROGGE, A. C.; TIRINTAN, M. R. A.; CARVALHO, R. C.; SYDNEY, F. Jr.; FIGUEIREDO, J. F. *Estudo experimental da deformação ao longo do tempo em lajes com vigotas pré-moldadas*. In: XXX Jornadas Sul-Americanas de Engenharia Estrutural. Brasília, 2002.

SILVA, L. M.; CARVALHO, R. C., FIGUEIREDO, F.; FURLAN JUNIOR, S. *Estudo experimental do espaçamento de escoras em lajes pré-moldadas com nervuras do tipo trilho*. In: XXIX Jornadas Sudamericanas de Ingeniería Estructural, “Jubileo Profesor Julio Ricaldoni”. Punta del Este, Uruguai, 2000.

SILVA, M. A. F. *Projeto e construção de lajes nervuradas de concreto armado*. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de São Carlos: São Carlos, 2005.

SCHMID, M. T. *Lajes planas protendidas*. São Paulo: Publicação Técnica de Rudloff-VSL Industrial Ltda, 1993.

STRÖHER, R. A. *A fachada frontal da Villa Stein: um exorcismo corbusiano*. Disponível em: <<http://www.vitruvius.com.br/arquitextos/arq000/esp333.asp>> Acesso em: 10 de agosto de 2006.

TERNI, A. W.; FERREIRA, J. B.; ROCHA, F. S. *Resistência à solda de união entre as armaduras dos sinusoides e banzo superior das lajes treliçadas*. In: Anais eletrônicos do 41º Congresso Brasileiro do Concreto. Salvador, 1999.

TESORO, F. R. *Los forjados reticulares: manual practico*. Madrid: CYPE Ingenieros, 1991.

TOSTÕES, A. *Construção moderna: as grandes mudanças do século XX*. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Concepção. Notas de aula do curso de História Econômica, Tecnologia e Sociedade. Instituto Técnico Superior: Universidade Técnica de Lisboa, 2004.

TRAMONTANO, M. *Habitações, metrópoles e modos de vida: por uma reflexão sobre a habitação contemporânea*. Texto premiado no 3º Prêmio Jovens Arquitetos:

Primeiro Lugar na categoria Ensaio Crítico. São Paulo: Instituto dos Arquitetos do Brasil - SP / Secretaria de Estado da Cultura: São Paulo, 1998.

VIZOTTO, ITAMAR. *Lajes planas nervuradas pré-moldadas com aplicações de treliças e elementos inertes em EPS ou cerâmicos*. 44º Congresso Brasileiro do Concreto. Belo Horizonte, IBRACON, 2002.

ZEVI, B. *Saber ver a arquitetura*. São Paulo: Martins Fontes, 2002.

**FONTES CONSULTADAS NÃO CITADAS NO TEXTO**

*A Revolução Industrial* - Disponível em: <http://paginas.terra.com.br/arte/mundoantigo/industrial/cangl.htm> Acesso em 10 agosto 2006.

*Arquitetura moderna*. Disponível em [http://pt.wikipedia.org/wiki/Arquitetura\\_moderna](http://pt.wikipedia.org/wiki/Arquitetura_moderna) Acesso em 20 de maio 2007.

*Arquitetura pós-moderna*. Disponível em: [http://pt.wikipedia.org/wiki/Arquitetura\\_p%C3%B3s-moderna](http://pt.wikipedia.org/wiki/Arquitetura_p%C3%B3s-moderna) Acesso em 20 de maio 2007.

AMARO, A; MACEDO, L. & PÓVOA, A. *A arte de fazer questionários*. Relatório Técnico. Departamento de Química. Faculdade de Ciências da Universidade do Porto. Portugal, 2005. Disponível em: <http://www.jcpaiva.net/getfile.php?cwd=ensino/cadeiras/metodol/20042005/894dc/f941&f=a9308>> Acesso em: 25 de janeiro de 2008.

COULON O. M. A. F.; PEDRO, F. C. *As cidades e as fábricas na Revolução Industrial: dos estados nacionais à primeira guerra mundial*. Apostila Cp1-UFMG – MG, 1995.

DIAS, R. H. *Sistemas estruturais para grandes vãos em pisos e a influência na concepção arquitetônica*. Texto Especial 214 – fevereiro 2004 – Disponível em: <<http://www.vitruvius.com.br/arquitextos/arq000/esp214.asp>>. Acesso em: 15 de maio de 2007.

FUSCO, P. B. *Técnica de Armar as Estruturas de Concreto*. São Paulo: Editora PINI Ltda, 1994.

GIL, A. C. *Como elaborar projetos de pesquisa*. 3 ed. São Paulo: Atlas, 1991.

*História da Arquitetura*. Disponível em: [http://pt.wikipedia.org/wiki/hist%C3%B3ria\\_da\\_arquitetura#s.c3.a9culo\\_xix](http://pt.wikipedia.org/wiki/hist%C3%B3ria_da_arquitetura#s.c3.a9culo_xix) Acesso em 20 maio 2007.

*História da Industrialização no Brasil*. Disponível em: [http://pt.wikipedia.org/wiki/Hist%C3%B3ria\\_da\\_industrializa%C3%A7%C3%A3o\\_no\\_Brasil](http://pt.wikipedia.org/wiki/Hist%C3%B3ria_da_industrializa%C3%A7%C3%A3o_no_Brasil) Acesso em 10 agosto 2006.

HELENE, P. *Evolução resistência do concreto*. I Seminário: Racionalização das Estruturas de Concreto e Revestimentos de Argamassa. SINDUSCON – SP. Campinas, 24 junho 2003.

KÜHL, B. M. *Arquitetura do ferro e arquitetura ferroviária em São Paulo – reflexões sobre sua preservação*. Secretaria da Cultura, Ateliê Editorial. São Paulo: Fapesp, 1998.

MUÑOZ, M. T. *A casa sobre a natureza: a Vila Malaparte e a Casa da Cascata*. Disponível em: <http://www.vitruvius.com.br/arquitextos/arq000/esp009.asp> Acesso em 10 agosto 2006.

STRUCTURAE. *Apresenta base de dados de tipologias e obras estruturais executadas no mundo*. Disponível em: <<http://www.structurae.net>>. Acesso em: 10 janeiro. 2005.

## **ANEXO 1 – ANÁLISE DAS RESPOSTAS OBTIDAS NA PESQUISA DE CAMPO**

### **1. Introdução**

Foi empregado um questionário a diversos engenheiros do Brasil cujo objetivo é obter respostas para o comportamento cultural predominante em projetar lajes lisas nervuradas moldadas no local, pois essa cultura se contrapõe à industrialização da construção, e, portanto, é de suma importância melhor compreendê-la. A obtenção de dados confiáveis do presente trabalho pretende viabilizar a apresentação de possíveis soluções pertinentes às dúvidas relativas ao Sistema Estrutural com Lajes Nervuradas Pré-Fabricadas com vigotas treliçadas.

A partir da aplicação do questionário, e seguindo as diretrizes e metodologia aplicadas foi possível apresentar as respostas de forma textual e/ou graficamente, cujo conteúdo é apresentado integralmente. Neste anexo serão apresentados de forma sucinta comentários que possam levar à compreensão de pontos de relevante interesse para o tema em questão.

### **1.1 Análise das respostas obtidas**

#### **1.1.1 Características do público alvo**

A maior parte dos 60 pesquisados, cerca de 40%, pertence à região Sudeste. Outros 20% pertencem à região Sul. Já as regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste representam juntas, 40% dos projetistas questionados.

Quanto ao tempo de atuação como projetista estrutural, cerca de 59% atuam há mais de 20 anos e 23% atuam entre 12 e 20 anos. Ou seja, 82% dos profissionais atuam a mais de 12 anos na profissão.

Esses dados corroboram com o panorama atual apresentado por várias pesquisas relativas à falta de profissionais Engenheiros Civis no mercado brasileiro, em decorrência de mais de 30 anos de recessão no setor da construção civil. Assim, é possível observar-se de forma específica o mercado relativo aos Engenheiros Civis que atuam como projetistas estruturais.

### 1.1.2 Verificação quanto à presença de lajes treliçadas em projetos estruturais

No Brasil, a utilização das lajes pré-fabricadas treliçadas em projetos estruturais ainda é muito baixa: apenas 27,5% dos projetistas estruturais utilizam-nas em seus projetos com frequência maior ou igual a 80%.

### 1.1.3 Emprego de lajes treliçadas em relação ao número de pavimentos

Em uma análise generalizada do Brasil quanto ao emprego de lajes treliçadas, constatou-se que dos questionados: 70% as empregam em até 5 pavimentos e 30% as empregam em projetos com 8 e acima de 10 pavimentos, o que nos permite considerar sua aplicação ainda restrita a edificações de pequeno porte.

### 1.1.4 Lajes in loco versus lajes treliçadas

Dos pesquisados, 68,42% afirmaram projetar edifícios com número maior de pavimentos quando utilizam lajes moldadas *in loco*, em relação a quando empregam lajes treliçadas. A estes entrevistados foi apresentado um elenco de opções para que as avaliassem segundo o seu grau de importância (*importantíssimo, muito importante, importante, pouco importante e sem importância*). Os fatores que induzem a elaboração de projetos de edifícios com lajes moldadas no local a ter maior número de pavimentos, em detrimento das lajes pré-fabricadas com vigotas treliçadas, são apresentados no gráfico 1.1.4-1.

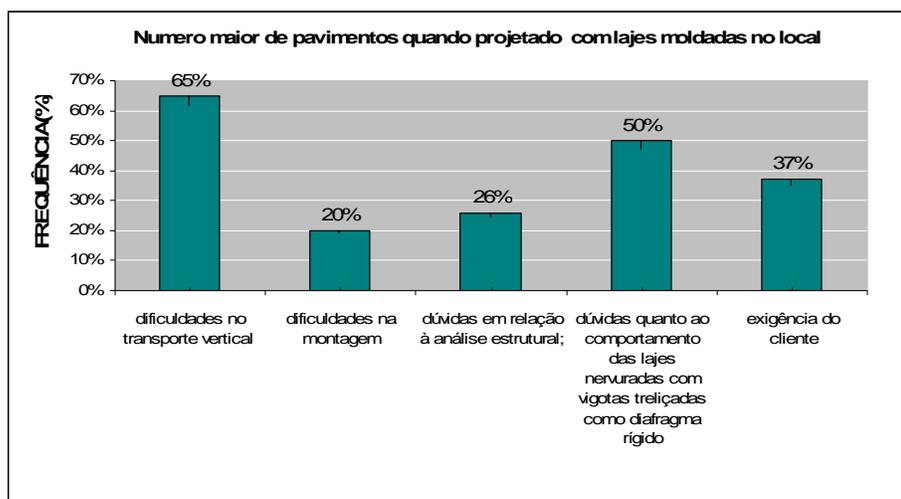


Gráfico 1.1.4-1- Fatores que induzem o projeto de edifício com lajes moldadas no local a ter maior número de pavimentos.

### **1.1.5 Valores de projeto: Resistência Característica do Concreto a Compressão ( $f_{ck}$ )**

A importância desta mensuração deriva do fato de que para vãos maiores interessam  $f_{ck}$  maiores; assim a partir da análise de  $f_{ck}$  poderão ser realizadas análises de outras características de projeto vinculadas ao mesmo.

No Brasil 62,5% dos questionados utilizam  $f_{ck} = 25\text{MPa}$  como  $f_{ck}$  de projeto. Outros 22,5% utilizam  $f_{ck} = 30$  e  $35\text{MPa}$  e apenas 15% utiliza  $f_{ck} = 20\text{MPa}$  como  $f_{ck}$  de projeto.

### **1.1.6 Vão máximo considerado como competitivo para o sistema construtivo com lajes treliçadas**

A avaliação a seguir almeja conhecer qual o vão máximo considerado como competitivo pelos projetistas questionados a respeito do sistema construtivo com lajes treliçadas.

Para 17,5% o vão máximo de até 4m é considerado como competitivo, 50% deles apontam o vão máximo de até 6m para que o sistema construtivo com lajes treliçadas seja competitivo. Outros 25% apontam o vão máximo de até 8m e 7,5% consideram competitivo o vão máximo de até 10m.

Vale observar que os 17,5% que consideram competitivo o vão máximo de até 4m estão totalmente desinformados quanto à relação custo benefício que o sistema apresenta. Os que responderam 6m ainda devem estar fundamentados em análises de custos comparativos cuja data base está entre os anos de 1990 a 1995. Apenas os últimos 32,5%, ou seja, os que consideram competitivo o vão máximo entre 8m e 10m, e que são provavelmente compostos pelos 27,5% apresentados no item 1.1.2, realmente utilizam o sistema com certa constância.

### **1.1.7 Ferramentas utilizadas**

Foram avaliadas as ferramentas mais utilizadas no pré-dimensionamento e/ou no dimensionamento das lajes treliçadas no Brasil e, em específico, em suas regiões. Como existiu mais de uma resposta em alguns dos questionários, o somatório percentual será maior que 100% em algumas das análises.

No Brasil, conforme gráfico 1.1.7-1, verifica-se um alto índice de utilização de programas computacionais para o cálculo de estruturas. Com relação ao dimensionamento de lajes treliçadas, no entanto, nota-se a mesma frequência de uso de tabelas e de softwares de fabricantes.

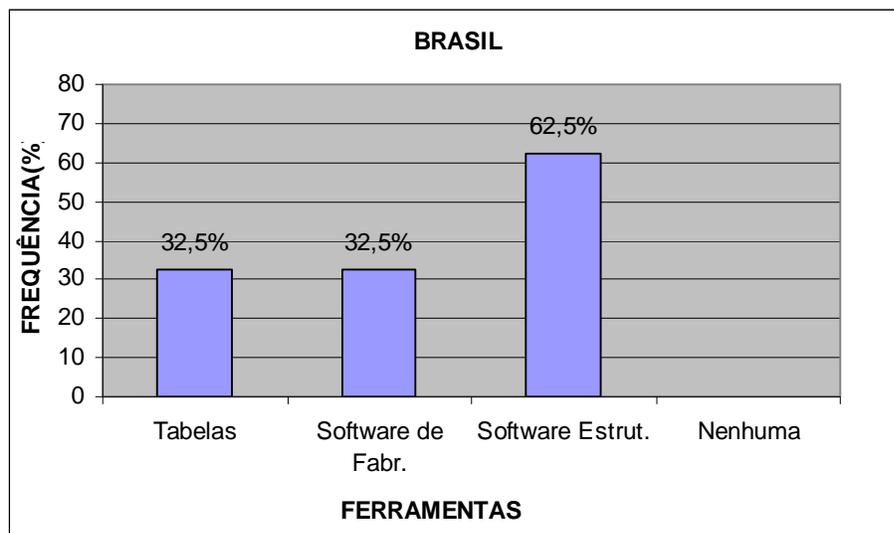


Gráfico 1.1.7-1 – Análise das ferramentas mais utilizadas no Brasil no dimensionamento de lajes treliçadas.

### 1.1.8 Classificação quanto ao emprego de lajes lisas e/ou vigas planas com lajes pré-fabricadas treliçadas nos projetos estruturais

No Brasil, verifica-se que 60% dos projetistas estruturais, ou seja, a grande maioria, não utiliza o sistema de lajes lisas e/ou vigas planas com lajes treliçadas em seus projetos estruturais.

### 1.1.9 Avaliação técnica dos projetistas estruturais que elaboraram projetos com lajes lisas e/ou vigas planas com lajes treliçadas versus lajes moldadas no local

Dos 40% de questionados que afirmaram já terem elaborado projetos em lajes lisas e/ou vigas planas empregando-se lajes treliçadas, 53,33% consideram tecnicamente como *melhor e muito melhor* a utilização do sistema em questão em relação ao sistema de lajes lisas e/ou vigas planas moldadas no local. Em torno de 46,67% consideram que os sistemas se

equivalem tecnicamente. Atenta-se que nesta questão não houve atribuições como tecnicamente “*pior*” ou “*muito pior*” na comparação entre os dois sistemas.

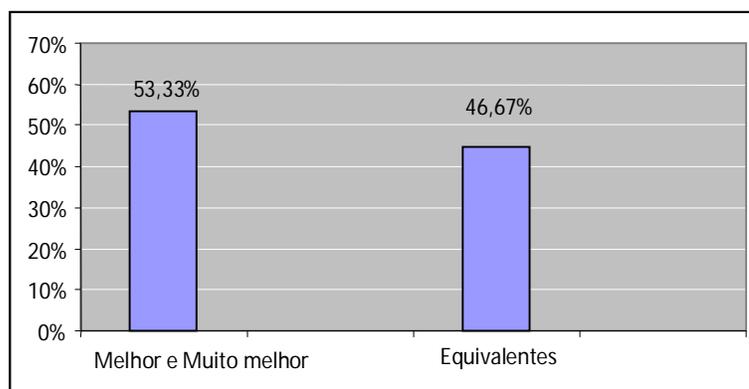


Gráfico 1.1.9-1 – Análise da avaliação técnica dos projetistas estruturais comparando projetos com lajes lisas e/ou vigas planas com lajes treliçadas e projetos elaborados com lajes moldadas no local.

### 1.1.10 Dificuldades no emprego de lajes treliçadas

A análise aqui apresentada partiu dos projetistas estruturais entrevistados que não elaboraram projetos em lajes lisas e/ou vigas planas utilizando lajes pré-fabricadas treliçadas, representando cerca de 60% do total de questionados (conforme 1.1.8). Do total de respostas possíveis, 46% afirmaram que sua decisão não foi motivada por nenhum dos itens elencados, mas não citaram o que motivou essa decisão. Os 54% restantes apresentaram suas justificativas baseadas nos itens apresentados no gráfico abaixo:

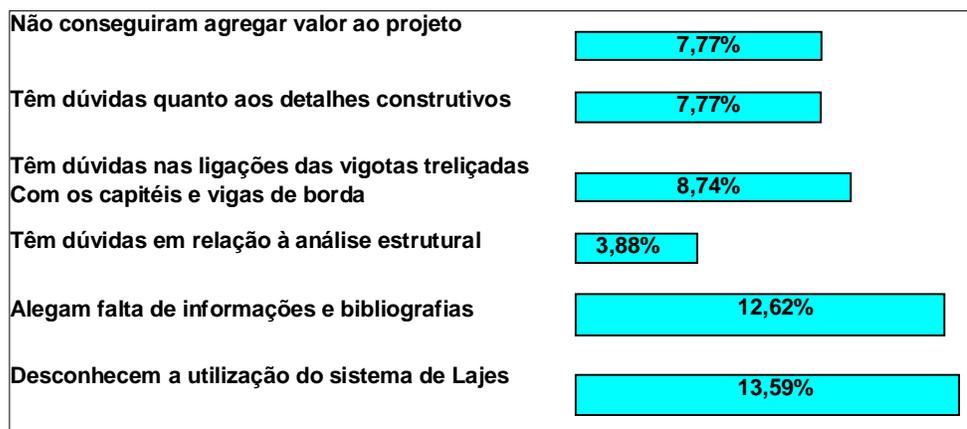


Gráfico 1.1.10-1 – Análise das dificuldades no emprego de lajes treliçadas

As respostas apresentadas permitem identificar que os principais fatores indutores para a não utilização das lajes pré-fabricadas treliçadas nos projetos em lajes lisas e/ou vigas planas são a falta de divulgação e a carência de literatura técnica específica quanto ao projeto com elementos pré-fabricados, os quais exigem detalhamentos específicos, implicando ainda no conhecimento de todo o processo (transporte, escoramentos e montagem) por parte do engenheiro projetista. Já os elementos moldados no local não exigem grande conhecimento em relação ao processo de produção por parte do projetista, visto que cada cliente geralmente tem o seu próprio processo.

## 1.2 Conhecimento de lajes treliçadas

### 1.2.1 Informações disponíveis

A análise aqui realizada visa mensurar quais as qualificações (*excelente, bom, razoável, ruim, péssimo* ou *não pesquisei*) atribuídas às informações disponíveis sobre lajes treliçadas, obtidas pelos projetistas estruturais junto aos fabricantes de lajes treliçada, usinas fabricantes de armações para lajes treliçadas e obtidas em pesquisas realizadas em nível nacional e internacional.

Os dados obtidos foram representados graficamente conforme gráficos 1.2.1-1, 1.2.1-2, 1.2.1-3 e 1.2.1-4.

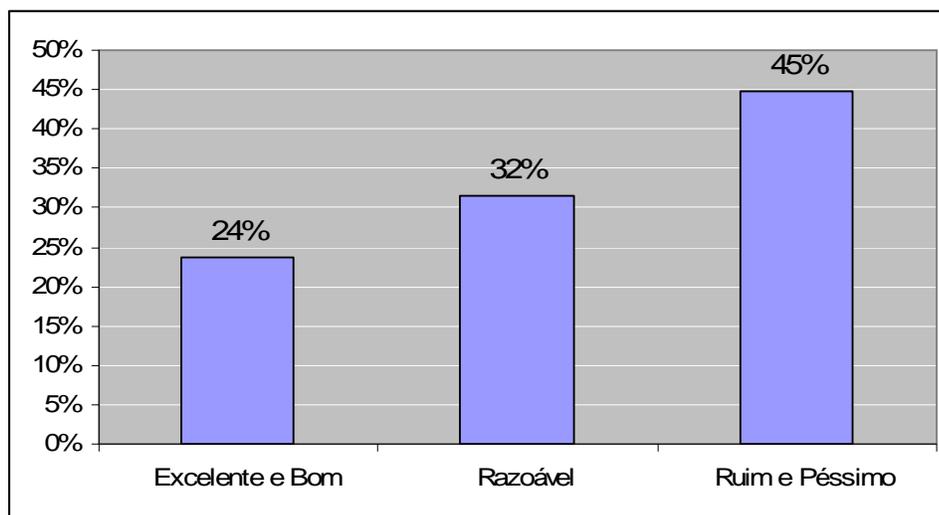


Gráfico 1.2.1-1 - Fabricantes de lajes treliçadas.

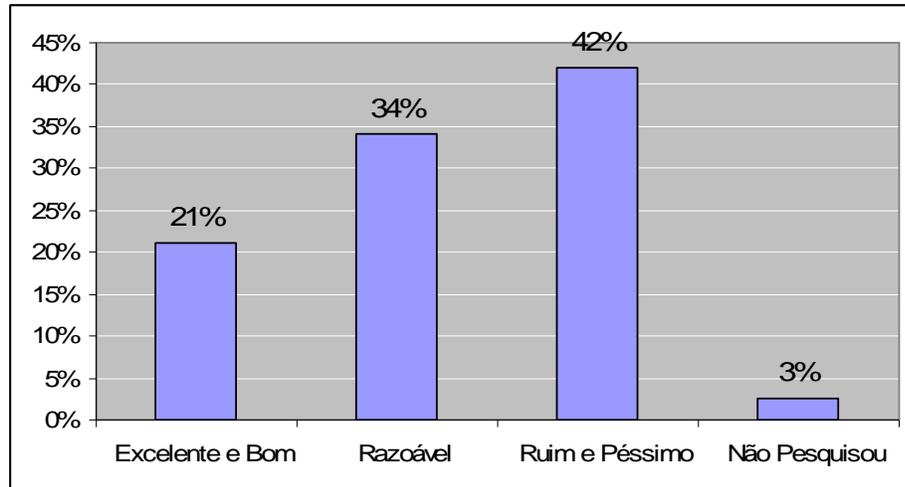


Gráfico 1.2.1-2 - Usinas fabricantes de armações para lajes treliçadas

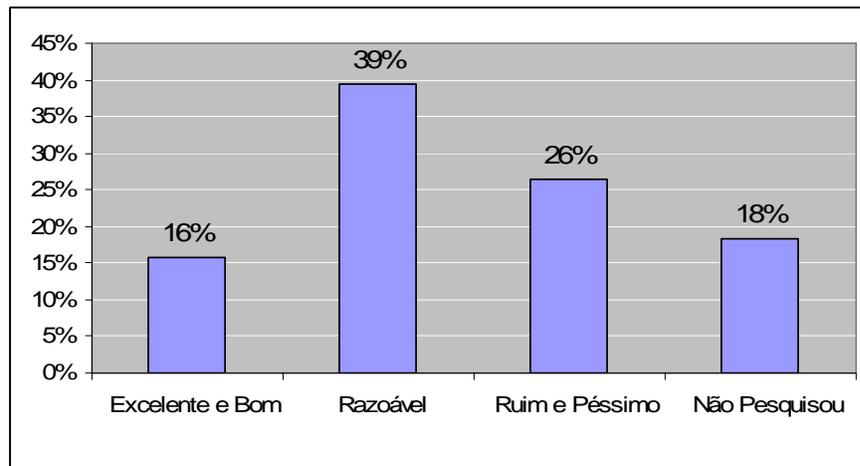


Gráfico 1.2.1-3 - Pesquisas realizadas em nível nacional.

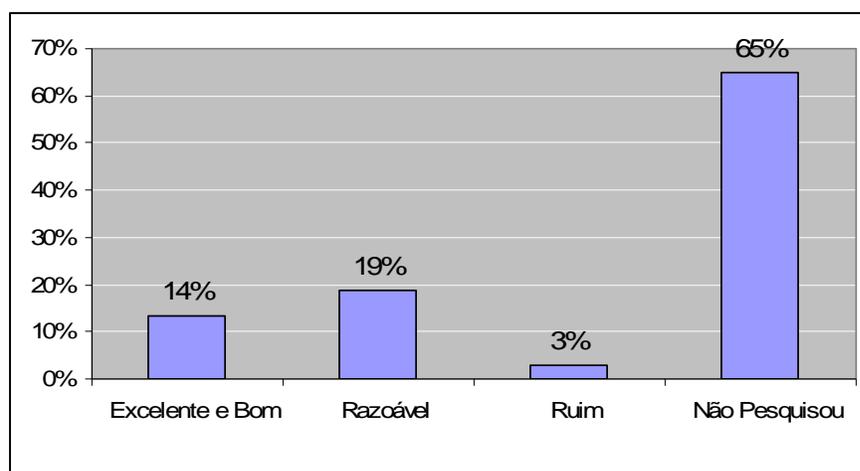


Gráfico 1.2.1-4 - Pesquisas realizadas em nível internacional.

Conclui-se assim que em quase que todos os itens conceituados, no que diz respeito às informações sobre lajes treliçadas, houve preponderância da atribuição *razoável*. Apenas no item *material técnico internacional* preponderou o conceito *não pesquisei*. Tais dados mostram o quão deficientes ainda são as informações disponíveis sobre lajes treliçadas no Brasil, o que instiga a criação de medidas que as qualifiquem de modo que assim também sejam hábeis no sentido de contribuir com o incentivo à utilização de lajes treliçadas.

### 1.2.2 Bibliografia

A análise a seguir visa mensurar quais as qualificações (*excelente, bom, razoável, ruim, péssimo* ou *não pesquisei*) atribuídas à bibliografia disponível sobre lajes treliçadas. Nesta análise as mensurações também se basearam no número de respostas e não no número de questionados.

Os dados obtidos foram representados a partir das figuras 1.2.2-1, 1.2.2-2, e 1.2.2-3.

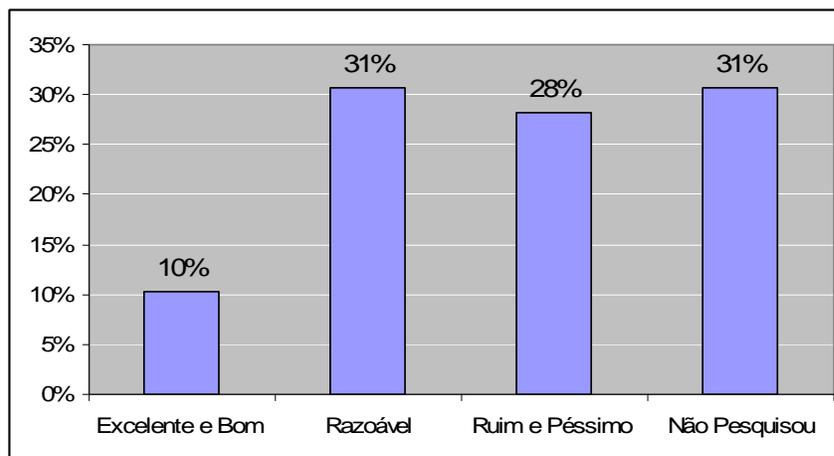


Gráfico 1.2.2-1 - Bibliografia nacional referente à análise estrutural para sistemas com lajes treliçadas.

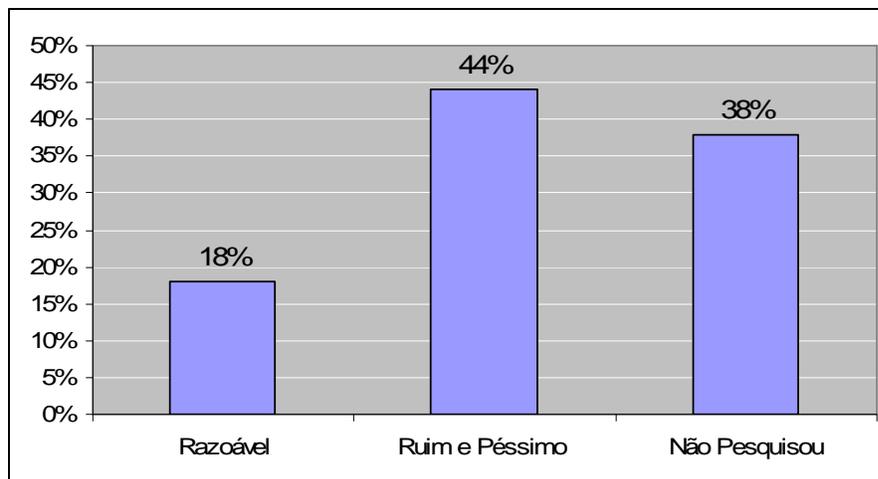


Gráfico 1.2.2-2 - Bibliografia com detalhes de ligações das vigotas treliçadas com capitéis, vigas de borda

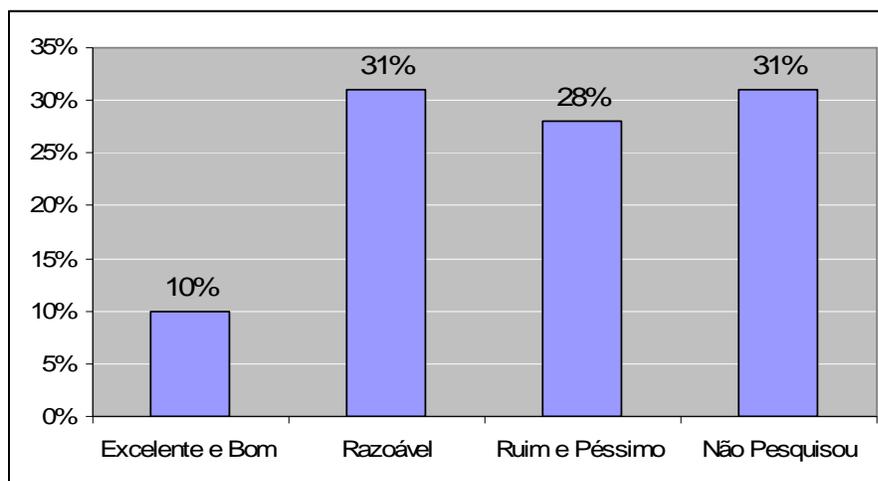


Gráfico 1.2.2-3 - Bibliografia com detalhes construtivos e de execução de obra (transporte, fôrmas, escoramentos e montagem).

Conclui-se, dessa forma, que a bibliografia nacional ainda deixa desejar, sendo classificada pela maioria como *razoável*. As demais bibliografias não tiveram seus dados sobre lajes treliçadas pesquisados.

Quanto à bibliografia com detalhes de ligações, notou-se que uma parcela considerável de respostas qualificou-a *péssima*, indicando uma necessidade de grandes melhorias. Já a bibliografia com detalhes construtivos apresentou uma parcela considerável de respostas quanto ao índice *razoável*. Embora o segundo caso seja menos preocupante que o primeiro, ainda assim necessita de aprimoramento técnico.

### 1.3 Análise econômica

A análise econômica é importante porque permite a identificação de quanta economia há em se utilizar lajes treliçadas, induzindo ou reduzindo o emprego das mesmas em projetos estruturais.

A obtenção do referencial porcentual econômico deverá ser feita regionalmente, pois a economia varia conforme valores de mercado (conseqüentemente conforme as regiões) e reflete o perfil dos projetistas em particular.

Dessa forma, uma avaliação generalizada que envolvesse o Brasil como um todo resultaria em dados cujas conclusões descartariam as peculiaridades culturais de cada região, comprometendo assim a análise econômica em questão.

Foram apresentadas as seguintes opções de respostas aos entrevistados, para a pergunta “*Economicamente*, o sistema com lajes treliçadas é”: Anti-econômico; Não apresenta economia significativa; 7,5% mais econômico; 15% mais econômico; 22,5% mais econômico; 27,5% mais econômico; 30% mais econômico; 35% mais econômico; 37,5% mais econômico e economia maior que 37,5%.

A questão relativa a este item foi a que obteve um maior índice de abstenção: um total de 20 pessoas não a respondeu, o que representa 50% do total dos questionados. A justificativa da maioria que não respondeu foi devido ao fato destes questionados trabalharem somente em projetos e não possuem acesso e/ou desconhecerem dados quanto a custos relativos a sistemas de lajes treliçadas. Assim, tomou-se o cuidado tanto na análise regional quanto na do Brasil em considerar como amostra total somente aqueles que responderam à questão quanto à economia quando se empregam lajes treliçadas.

Na região Norte todos os questionados classificaram o sistema em lajes treliçadas como 7,5% mais econômico.

O Nordeste apresentou as seguintes repostas: 20% classificaram o sistema de lajes treliçadas como anti-econômico, 15% mais econômico e 22,5% mais econômico e 40% dos questionados diz que o sistema em lajes treliçadas representa uma economia de 30%.

As respostas providas do Centro-Oeste dividiram-se igualmente em duas categorias: 50% consideram o sistema de lajes treliçadas como 15% mais econômico enquanto os demais 50% dos questionados o consideram como 22,5% mais econômico.

No Sudeste cerca de 14%, 29% e 57% dos questionados classificaram, respectivamente, o sistema em lajes treliçadas como 7,5%, 15% e 22,5% mais econômico.

As respostas oriundas do Sul dividiram-se igualmente, ou seja, com 50% dos questionados, entre as seguintes categorias quanto à classificação econômica obtida com o emprego de lajes treliçadas: Não representa economia significativa e 15% mais econômico.

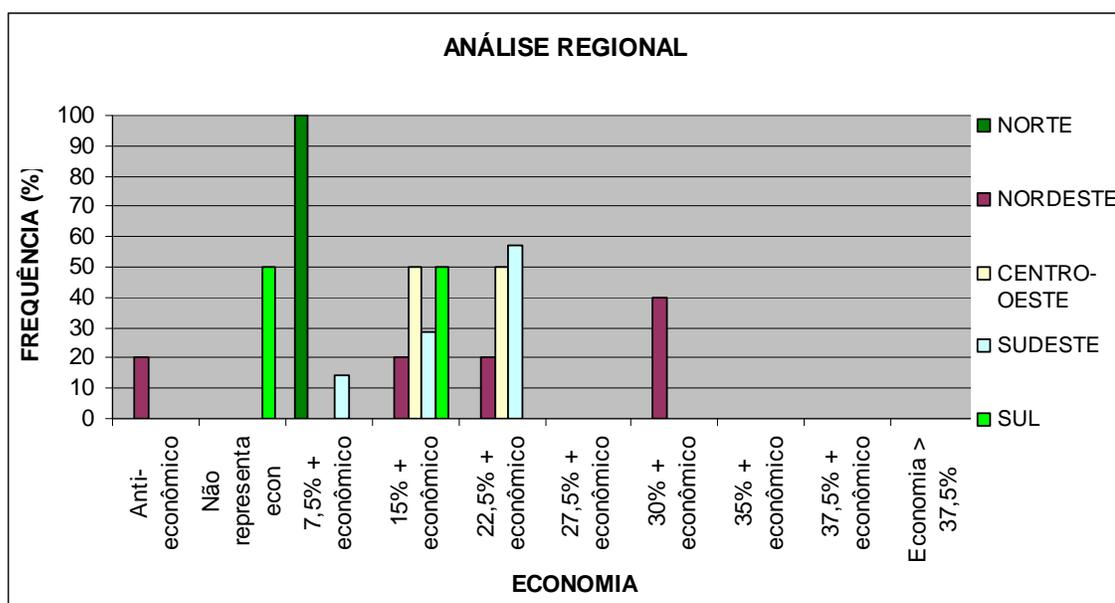


Gráfico 1.3-1 - Análise regional: economia quanto ao emprego de lajes treliçadas.

Pode-se concluir então que apenas uma das regiões do Brasil, o Sul, considerou o sistema com lajes treliçadas como anti-econômico. Outra observação é que o maior índice de economia constatado foi o de 30%, ocorrendo respostas respectivas a tal índice, e de modo significativo, somente na região Nordeste do país. Esta divergência entre as respostas destas regiões pode ser atribuída às suas diferentes economias de mercado; à mão de obra mal qualificada (o que pode vir a gerar maiores custos na obra devido a pouca ou nenhuma experiência quanto ao emprego de lajes treliçadas); tipo de transporte vertical disponível na região e principalmente ao desconhecimento quanto à composição dos custos pelos respondentes. Esta pode ser justificada em função da abstenção de 50% dos questionados que alegou desconhecer os custos.

## 1.4 Elemento de enchimento

### 1.4.1 Elementos inertes ou caixão perdido

O objetivo da análise realizada é saber, tanto regionalmente quanto no Brasil como um todo, quais são os elementos de preenchimento mais utilizados nos projetos de lajes treliçadas. Dentre tais elementos foram avaliados os blocos de EPS (polietireno expandido), as lajotas cerâmicas e os blocos de concreto. Destaca-se que algumas pessoas responderam a mais de uma alternativa, assim, algumas análises possuirão somatório maior que 100%.

Como conclusões acerca das regiões do Brasil, o Nordeste e o Sudeste foram as únicas regiões em que o bloco de concreto apareceu como elemento de enchimento.

No Brasil, conforme gráfico 1.4.1-1, o emprego dos blocos de EPS é bastante expressivo, representando 85% do total de questionados. As lajotas cerâmicas ficam em segundo lugar com 55% e, analogamente aos resultados regionais, o bloco de concreto representa a menor parcela com 5% utilização por parte dos projetistas.

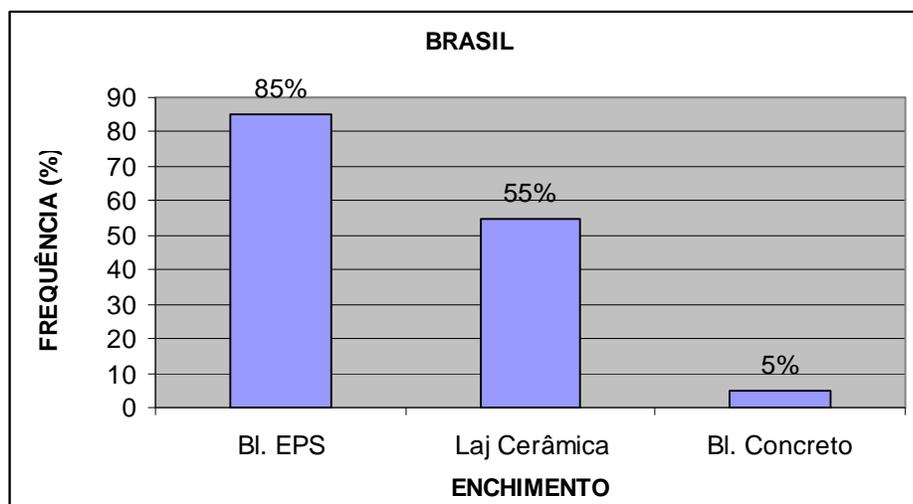


Gráfico 1.4.1-1 - Análise no Brasil: enchimentos de laje treliçada.

### 1.4.2 Elementos de enchimento com fôrmas plásticas removíveis

Em uma análise mais restrita quanto ao elemento de enchimento, avaliou-se o uso de fôrmas plásticas removíveis regionalmente e no Brasil.

Verifica-se que na maioria das regiões, de acordo com gráfico 1.4.2-1, as fôrmas plásticas removíveis não são empregadas como elemento de enchimento, apesar de serem desconhecidas apenas nas regiões Sudeste e Nordeste. Nota-se também que a parcela de projetistas estruturais que mais aplica fôrmas plásticas removíveis em seus projetos é proveniente do Centro-Oeste do país. Infere-se que estes dados distintos entre as regiões provêm de como a tecnologia em questão tem sido difundida em cada uma delas.

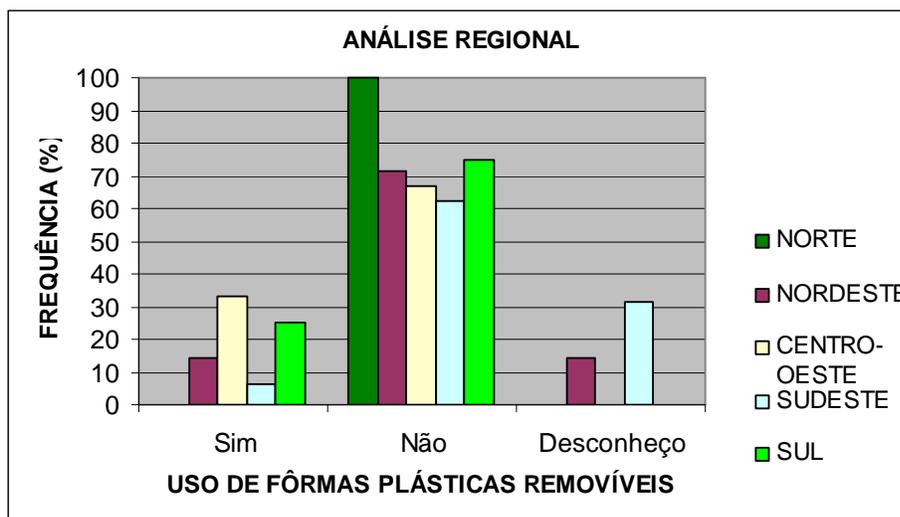


Gráfico 1.4.2-1 - Análise regional quanto ao uso de fôrmas plásticas removíveis.

Realizando-se um perfil do Brasil, verifica-se que ainda prepondera a não utilização de fôrmas plásticas removíveis, sendo que a aplicação e o desconhecimento desta tecnologia apresentam resultados iguais (gráfico 1.4.2-2).

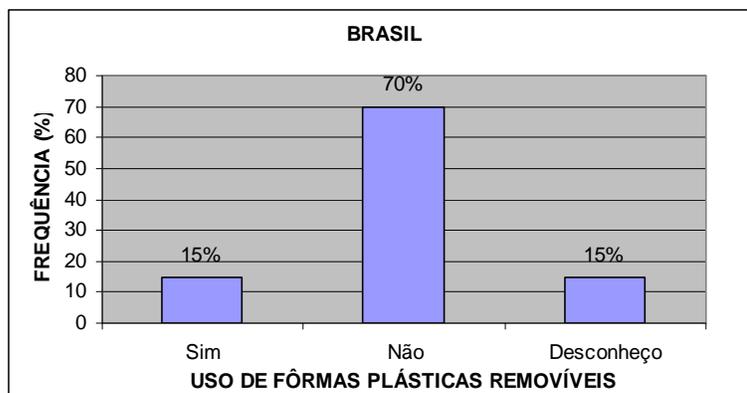


Gráfico 1.4.2-2 – Análise no Brasil quanto ao uso de fôrmas plásticas removíveis.

Tanto no Brasil como regionalmente nota-se o alto índice de não emprego e a parcela pequena, mas não desprezível, de desconhecimento do sistema de formas plásticas removíveis. Isto pode ser explicado devido a esta tecnologia ainda ser relativamente recente no mercado, estando presente no mesmo há cerca de 4 anos.

### 1.4.3 Transporte vertical

Uma análise avaliativa do Brasil como um todo permite constatar que a maioria das obras, segundo os projetistas pesquisados, utiliza transporte vertical manual. Uma parcela considerável utiliza elevador de obra vindo em seguida o guindaste e a grua, segundo gráfico 1.4.3-1.

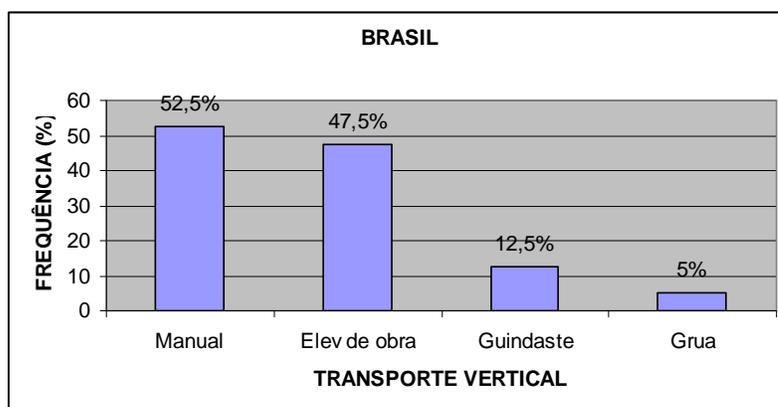


Gráfico 1.4.3-1 - Análise no Brasil: transporte vertical de vigotas.

Assim, verifica-se que o Brasil e suas regiões ainda carecem de medidas que forneçam respaldo à idéia das lajes treliçadas como um sistema construtivo.

#### 1.4.4 Patologias

A análise seguinte avalia em porcentagem quais as patologias que mais ocorrem com o sistema de lajes treliçadas no Brasil. Pode-se também constatar suas principais causas e assim detectar onde ocorrem as maiores falhas (se na execução, no transporte etc).

As manifestações patológicas mais observadas nas obras executadas com lajes treliçadas, pelos entrevistados estão representados no gráfico a seguir, gráfico 1.4.4-1.

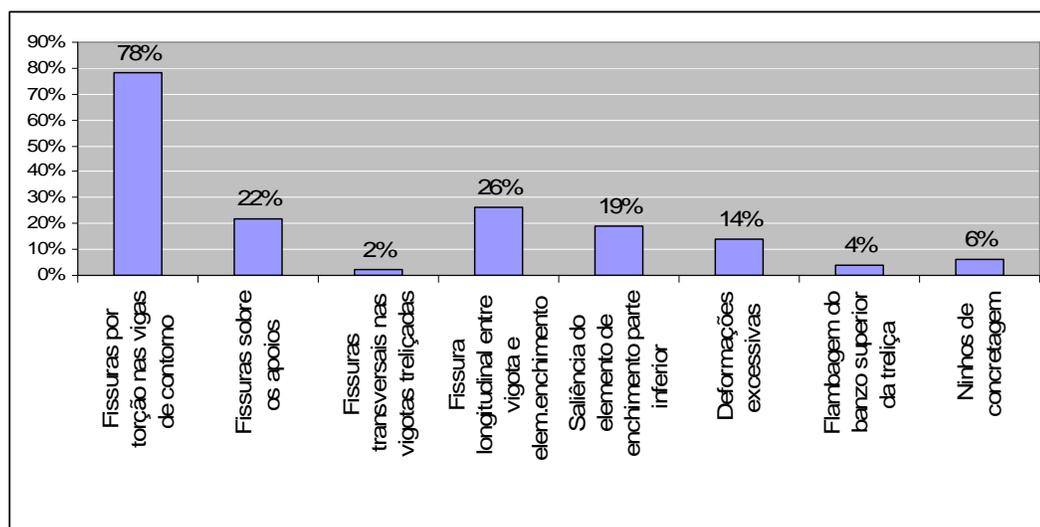


Gráfico 1.4.4-1 - Análise no Brasil: frequência de patologias.

Cerca de 44,82% das patologias mais observadas, compostas pelo grupo das fissuras por torção nas vigas de contorno dos painéis das lajes, sobre os apoios, transversais nas vigotas treliçadas e as deformações excessivas, são oriundas de erros originados no cálculo estrutural das lajes. Estes são geralmente elaborados pelos engenheiros responsáveis pelas fábricas e até mesmo pelos próprios fabricantes que, leigos, baseiam-se em suas “experiências”.

A outra parte das patologias, 55,17%, tem origem durante a execução da obra, a exemplo dos ninhos de concretagem que têm origem na execução do concreto complementar

na obra pela falta de um correto adensamento do concreto.

As fissuras longitudinais entre a vigota e o elemento de enchimento, que aparecem após o revestimento, têm grande incidência nas lajes com elementos de enchimento em EPS. Originam-se na retração por secagem do material de revestimento, face à diferença de velocidade existente entre secagem da argamassa aplicada sobre o elemento de enchimento e a aplicada sobre as vigotas de concreto. A retração pode ou não ocorrer quando na utilização de menor quantidade de água de amassamento na argamassa. A vedação de aberturas que formam corredores de ar acelerando a secagem é uma possível solução para minimizar a ocorrência desse tipo de patologia, bem como efetuar a cura úmida do revestimento em dias que apresentem baixa umidade relativa do ar.

A flambagem do banzo superior da treliça pode ocorrer durante as operações de transporte, montagem ou concretagem. Este tipo de patologia também pode acontecer por falta de cuidado na aplicação e manuseio dos materiais: pode ocorrer, raramente, a ruptura do nó da armação treliçada durante a concretagem, apresentando problema localizado que pode ser corrigido durante a concretagem.

O aparecimento da saliência na parte inferior da laje (caracterizada pela descida do elemento de enchimento durante a concretagem) deve-se, na maioria das vezes, ao grande acúmulo de concreto sobre o elemento de enchimento durante a concretagem (aproximadamente 20 a 30cm). O elemento de enchimento deforma-se e o nivelamento da laje é feito com o elemento deformado que apresenta saliência na parte inferior. O correto é a concretagem seguir o sentido das vigotas com o concreto vertido sobre as mesmas.

### **1.5 Estudos sobre lajes treliçadas**

Uma das questões do questionário abordava os projetistas quanto aos pontos do sistema com lajes treliçadas que necessitavam de maiores esclarecimentos. Nesta questão, o questionado poderia atribuir os seguintes índices de importância: *importantíssimo*, *muito importante*, *importante*, *pouco importante* ou *sem importância*.

Ressalta-se que a análise foi realizada com base no número de respostas de cada evento e não no número de questionados.

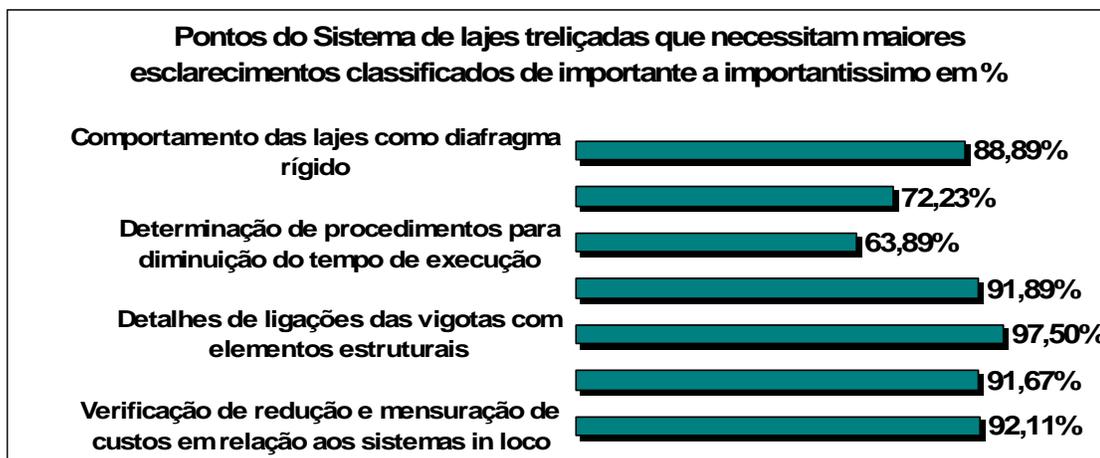


Gráfico 1.5-1 - Pontos do sistema de treliçadas que necessitam de maiores estudos e/ou esclarecimentos, segundo sua importância.

Pode-se constatar, então, que foram atribuídas de maneira expressiva as escalas *importantíssimo* ou  *muito importante* aos pontos: verificação econômica do sistema; análise de deformações; detalhes de ligações; definições de contra-flecha e comportamento das lajes como diafragma rígido.

A escala *importante* preponderou nos pontos: diminuição de tempo de execução e dificuldade em transporte vertical.

Verifica-se também que, em todos os eventos propostos, somente uma minoria atribuiu os índices *pouco importante* ou *sem importância*. Isso demonstra o grande déficit existente quanto aos estudos em lajes treliçadas, sendo necessárias mais pesquisas que embasem e incentivem a tomada de decisão dos projetistas estruturais quando na aplicação do mesmo.

### **1.6 Características das empresas fabricantes de lajes pré-fabricadas**

Para traçar-se o perfil dos fabricantes de lajes treliçadas do Brasil serão avaliadas duas características: atuação do engenheiro responsável e capacitação dos fabricantes quanto ao cálculo e orientação técnica.

### 1.6.1 Quanto à atuação do Engenheiro Responsável

Os dados obtidos a partir dos questionários permitem avaliar a atuação em obra dos engenheiros responsáveis pelas empresas fabricantes das lajes treliçadas, mais especificamente antes da concretagem para a liberação dos serviços, tanto no Brasil como um todo, quanto em suas regiões específicas. Verificou-se um índice de abstenção de 10% quanto à pergunta referente à análise da característica em questão. Não foi possível constatar, por meio dos questionários, o porquê desta abstenção.

Avaliando os questionários segundo o Brasil, conforme gráfico 6.2-19, verifica-se que a maior frequência (80%) representa apenas 2,78%, porcentagem muito longe do ideal caracterizado pela ética e caráter do compromisso assumido pelo profissional cujo comparecimento deve representar 100%. Tal constatação contribui como inibidor da aplicação de lajes treliçadas em obras, visto que a baixa frequência da presença do profissional responsável em questão na obra aumenta a probabilidade de experiências ruins quando no emprego de lajes treliçadas.

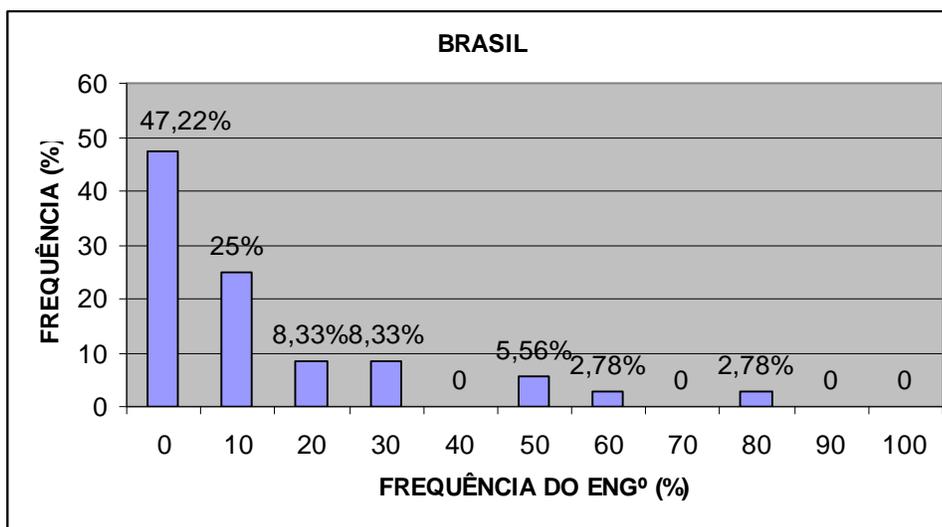


Gráfico 1.6.1-1 - Análise no Brasil quanto à frequência do engenheiro em obras

### 1.6.2 Quanto à capacitação dos fabricantes para o cálculo estrutural das lajes e orientação técnica

Quanto à capacitação dos fabricantes de lajes treliçadas, foi realizada uma análise (por regiões e no Brasil), visando saber como o meio técnico, que atua em conjunto

com os fabricantes de lajes na elaboração dos projetos estruturais que utilizam lajes pré-fabricadas treliçadas, avalia esses fabricantes de lajes com relação à capacitação do mesmo para efetuar o cálculo estrutural das lajes que produz e quanto à orientação técnica que oferecem. Como critério de avaliação, os fabricantes deveriam ser classificados através dos conceitos: *excelente*, *bom*, *razoável*, *ruim* ou *péssimo*.

No Brasil, segundo o gráfico 6.2-18, houve predominância da resposta *ruim* não aparecendo a resposta *excelente*.

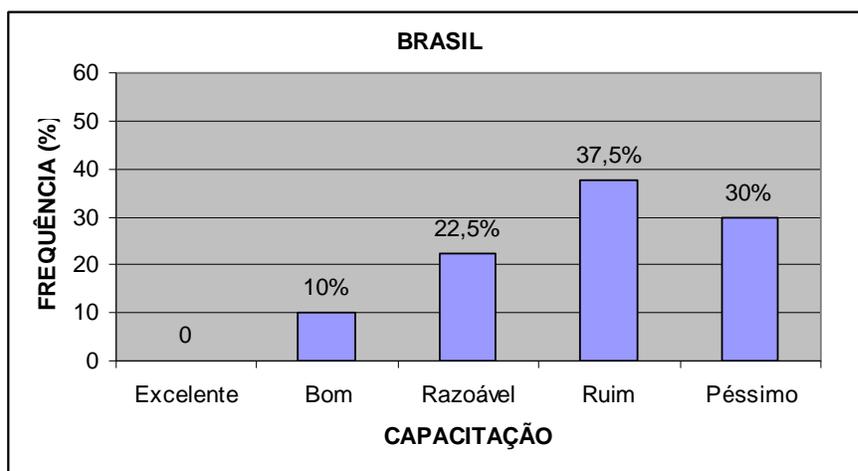


Gráfico 1.6.2-1 - Análise no Brasil quanto à capacitação dos fabricantes de lajes treliçadas

67,5% dos projetistas conceituaram como *ruim* e *péssimo* a capacitação técnica do fabricante para efetuar o cálculo estrutural das lajes que produz e quanto à orientação técnica que oferecem. Cerca de 22,5% conceituaram como *razoável* e apenas 10% conceituaram como *bom*.

Os fabricantes de lajes treliçadas no Brasil (e de suas regiões em específico) não fornecem o devido respaldo a seus clientes quanto à execução, em específico a concretagem, das lajes treliçadas. Este fato é também detectado pela atuação do engenheiro responsável pela fábrica de lajes, pois 72,22% destes engenheiros apresentam a frequência entre “nunca aparecem na obra”, com até 10% de comparecimento.

Os dados das avaliações *ruim* e *péssimo* indicam que a grande maioria das empresas de lajes treliçadas não atua de forma profissional junto ao mercado, fugindo à responsabilidade como empresa de engenharia. Esta negligência é a principal responsável pela

baixa aplicação do sistema que possui um potencial extraordinário. Compartilham a mesma responsabilidade as empresas fabricantes de armações treliçadas que fomentaram a disseminação do sistema em fábricas sem qualquer recurso técnico, alimentando-os até hoje com tabelas prontas que na maioria das vezes são relegadas à “experiência” de um leigo.

O exemplo do aqui exposto é o caso da protensão não aderente com cordoalhas com cabo engraxado, disponível no mercado nacional há 10 anos com grande utilização pelo meio técnico. Esta foi disseminada corretamente como um produto com valor tecnológico agregado com aplicação através de empresas de engenharia, cuja mentalidade é totalmente contrária à dos fabricantes de lajes treliçadas.

## **ANEXO 2 – CARTA E QUESTIONÁRIO ENVIADOS AOS PROJETISTAS ESTRUTURAIS**

A seguir constam a carta e o questionário disponibilizados aos projetistas estruturais por meio da comunidade TQS.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS  
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Prezado Engenheiro(a) Projetista Estrutural,

Eu, Engº Jovair Avilla Junior e meu orientador, Prof. Dr. Jasson Rodrigues de Figueiredo Filho, vimos por meio desta solicitar vossa colaboração em responder à pesquisa de campo anexa, parte integrante de minha dissertação de mestrado intitulada **“LAJES LISAS COM VIGOTAS TRELIÇADAS EXECUTADAS COM BLOCOS DE EPS OU FORMAS REMOVÍVEIS”**, apresentado ao departamento de engenharia civil da **UFSCar** - Universidade Federal de São Carlos, para a obtenção do título de mestre em construção civil, área de concentração de “Sistemas Construtivos de Edificações”.

Se houver dúvida em alguma questão formulada, solicitamos que entre em contato conosco para esclarecimentos.

Sua contribuição é de extrema importância para nós. Se desejar, comente as questões e/ou apresente sugestões sobre questões não abordadas, bem como soluções utilizadas em seus projetos. Nossa intenção é criar um canal de comunicação entre a universidade e os profissionais, norteador as pesquisas de forma colaborativa para a busca de soluções.

Não é necessária sua identificação, mas para nós é muito importante algum tipo de contato, a fim de que possamos enviar-lhe o resultado da pesquisa e a cópia da dissertação, que visa buscar soluções para grande parte dos problemas identificados, além de manter um canal de comunicação entre a UFSCar e você.

Desde já, contando com sua colaboração, agradecemos tão nobre gentileza em dispensar-nos seu tempo, para nós peça fundamental de um quebra-cabeça, cuja imagem não podemos vislumbrar sem sua estimada colaboração.

Pedimos que nos retorne o questionário respondido o quanto antes, pelo meio que melhor convier a vossa senhoria, nos endereços abaixo:

Email: [abcdeng@hotmail.com](mailto:abcdeng@hotmail.com); [jovair7@itelefonica.com.br](mailto:jovair7@itelefonica.com.br)

Cc: [jassonf@power.ufscar.br](mailto:jassonf@power.ufscar.br)

**Fax:**

Engº Jovair: Fone/Fax: (17) 3236-5115 / 8128-6658

Prof. Dr. Jasson: Tel. (16) 3351-8262 r. 237

**Correio:**

A/C: Jovair Avilla Junior

Endereço: Av. Mirassolândia nº 2850 – M.D.I Ary Attab

São José do Rio Preto / SP – CEP: 15047-000

1) Qual a localização geográfica em que você atua profissionalmente?

Cidade(s):.....

Estados e ou Região: .....

2) Qual o percentual de lajes treliçadas que utiliza em seus projetos?

Acima de  
0% 10% 20% 30% 40% 50% 60% 70% 80% 80%

3) Qual o número máximo de pavimentos (acima do nível térreo) que você projeta com lajes treliçadas?

1  2  3  4  5  6  7  8  9  10  Acima de 10

4) Quando utilizo lajes moldadas “in loco”, o número de pavimentos em relação aos projetos nos quais uso lajes treliçadas é:

Maior  Igual  Menor

5) Se você respondeu “Maior”, gradue as questões abaixo segundo a importância que melhor represente sua decisão:

*5 – Importantíssimo 4 - Muito importante 3 – Importante 2 – Pouco importante*

*1 – Sem importância*

Dificuldade no transporte vertical das vigotas.

Dificuldades na montagem

Dúvidas com relação à análise estrutural.

Dúvidas com relação ao comportamento das lajes como diafragma rígido.

Exigência do cliente.

6) Qual o  $f_{ck}$  mais especificado em seus projetos?

20    25    30    35    40    45    50    60  
MPa      MPa      MPa      MPa      MPa      MPa      MPa      MPa

7) Do ponto de vista estrutural, você considera o sistema construtivo com lajes treliçadas competitivo para qual vão máximo?

até 4m    até 6m    até 8m    até 10m    até 12m    até 15m    até 18m    até 20m

8) Qual a ferramenta utilizada para auxiliar no pré-dimensionamento e/ou dimensionamento das lajes treliçadas?

Tabelas    Software de fabricante    Software estrutural    Nenhuma

9) Você já elaborou projetos em lajes lisas e/ou com vigas planas utilizando lajes treliçadas?

Sim                       Não

Caso sua resposta tenha sido “Não” na questão nº 9, vá para a questão nº 11.

Caso sua resposta tenha sido “Sim” na questão nº 9, responda às próximas questões, com exceção da nº 11.

10) Os projetos que elaborei com lajes lisas e/ou vigas planas utilizando lajes treliçadas, comparados ao sistema com lajes moldadas “In Loco”, me permitem afirmar que, tecnicamente, o sistema com lajes lisas e/ou vigas planas com lajes treliçadas é:

Muito melhor    Melhor    Igual    Pior    Muito Pior

11) NÃO ELABOREI PROJETOS com lajes lisas e/ou vigas planas utilizando lajes treliçadas.  
 Às questões formuladas abaixo que melhor representem sua decisão atribua o número 1, e às questões que não representem sua decisão atribua o número 2:

- Desconheço a utilização do sistema de lajes treliçadas em projetos com Lajes Lisas e/ou vigas faixas.
- Falta informação e bibliografias disponíveis sobre o assunto.
- Tenho dúvidas em relação a análise estrutural.
- Tenho dúvidas nos detalhes das ligações das vigotas treliçadas com capitéis, vigas de borda, etc.
- Tenho dúvidas quanto aos detalhes construtivos e de execução de obra (transporte, formas, escoramentos e montagem).
- Não consegui agregar valor ao projeto estrutural com lajes treliçadas que demanda maior tempo na elaboração (projeto de fabricação e execução) e no detalhamento. No projeto com lajes moldadas “in loco” o tempo gasto é menor.

12) Como você qualifica as informações disponíveis sobre lajes treliçadas?

5 - Excelente   4 - Bom   3 - Razoável   2 - Ruim   1 - Péssimo   X – Não Pesquisei

- Os fabricantes de lajes treliçada disponibilizam material técnico e esclarecimentos sobre o assunto.
- As usinas fabricantes de armações para lajes treliçadas disponibilizam material técnico e esclarecimentos sobre o assunto.
- Encontrei todo o material técnico específico sobre o assunto nas pesquisas que realizei em nível nacional.
- Encontrei todo o material técnico específico sobre o assunto nas pesquisas que realizei em nível internacional.

13) Que conceito você daria para a bibliografia disponível sobre lajes treliçadas?

5 - Excelente 4 - Bom 3 - Razoável 2 - Ruim 1 - Péssimo X – Não Pesquisei

( ) Bibliografia nacional referente a análise estrutural para sistemas com lajes treliçadas.

( ) Bibliografia com detalhes de ligações das vigotas treliçadas com capitéis, vigas de borda, etc.

( ) Bibliografia com detalhes construtivos e de execução de obra(transporte, formas, escoramentos e montagem).

14) Economicamente, o sistema com lajes treliçadas é:

( ) Anti-econômico	( ) Não apresenta economia significativa	( ) 7,5% mais econômico	( ) 15% mais econômico	( ) 22,5% mais econômico
( ) 27,5% mais econômico	( ) 30% mais econômico	( ) 35% mais econômico	( ) 37,5% mais econômico	( ) economia maior que 37,5%

15) Qual o material de elemento de enchimento (formas perdidas) você especifica em seus projetos com lajes treliçadas?

( ) Blocos de EPS ( ) Lajotas cerâmicas ( ) Blocos de Concreto

16) Você já utilizou em seus projetos em lajes treliçadas, formas plásticas removíveis (tipo ATEX) como elemento de enchimento?

( ) Sim ( ) Não ( ) Desconheço essa utilização

17) Qual o tipo de transporte vertical que você observa ser o mais utilizado nas obras para o transporte das vigotas?

Manual     Elevador de obra     Guindaste     Grua

18) Qual(is) manifestação(ões) patológica(s) você observou nas obras executadas com lajes treliçadas?

Fissuras por torção nas vigas de contorno dos painéis das lajes.

Fissuras sobre os apoios(podem aparecer na parte superior da ligação viga-laje).

Fissuras transversais nas vigotas treliçadas(considere aquelas perceptíveis a olho nu).

Fissura longitudinal entre a vigota e o elemento de enchimento(aparece na parte inferior da laje após o revestimento).

Saliência na parte inferior da laje(caracterizada pela descida do elemento de enchimento durante a concretagem).

Deformações excessivas(considere deformação excessiva aquela perceptível a olho nu).

Flambagem do banzo superior da treliça(pode ocorrer durante as operações de transporte, montagem ou concretagem).

Ninhos de concretagem.

19) Qual(is) ponto(s) do sistema estrutural com lajes treliçadas necessita(m) de maiores estudos e/ou esclarecimentos, e qual a importância atribuída?

5 – *Importantíssimo*    4 - *Muito importante*    3 – *Importante*    2 – *Pouco importante*    1 – *Sem importância*

Verificar se o sistema é econômico e qual a redução de custos em relação aos sistemas moldados “In Loco”.

Análise das deformações ao longo do tempo.

Detalhes de ligações das vigotas com os demais elementos estruturais(transmissão de esforços e vinculações de apoio).

Definição de valores da contra-flecha e como aplicá-la.

Determinação de procedimentos para diminuição do tempo de execução.

Vencer a dificuldade no transporte vertical das vigotas.

Comportamento das lajes como diafragma rígido.

20) Qual a frequência que o Eng<sup>o</sup> responsável pela empresa fabricante das lajes visita as obras antes da concretagem para a liberação dos serviços?

0%    10%    20%    30%    40%    50%    60%    70%    80%    90%    100%

21) Qual sua avaliação quanto à capacitação dos fabricantes de lajes treliçadas para o cálculo e orientação técnica?

Excelente    Bom    Razoável    Ruim    Péssimo

22) Há quantos anos atua profissionalmente como projetista estrutural?

até 5 anos    5 a 8 anos    8 a 12 anos    12 a 20 anos

acima de 20 anos



## ANEXO 3 – PESQUISA DE CAMPO: ANÁLISE DAS RESPOSTAS

### 3.1 Características do público alvo

Foram respondidos quarenta questionários dos quais apenas três não possuíam identificação do questionado. A maior parte dos pesquisados era oriunda da região Sudeste do Brasil enquanto que a menor parte era da região Norte, conforme gráfico 3.1.1.

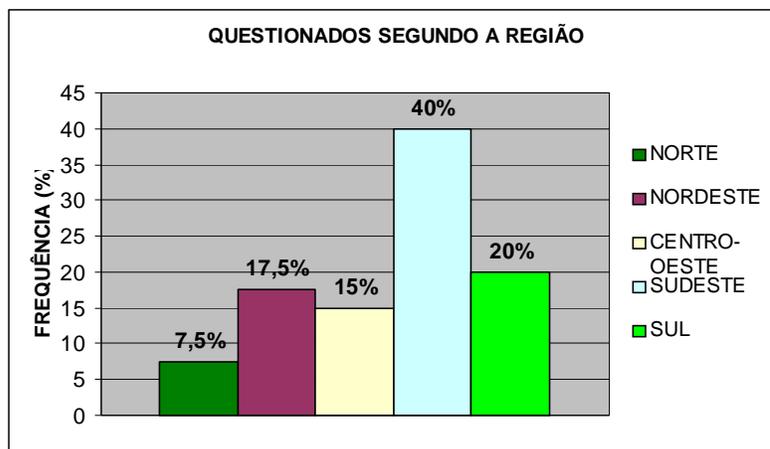


Gráfico 3.1-1 - Características do público alvo.

Quanto à experiência profissional dos questionados, foram realizados levantamentos regionais e no Brasil quanto ao tempo de atuação como projetista estrutural dos mesmos. Atenta-se que dos quarenta questionados apenas uma pessoa não respondeu à pergunta relativa à característica em questão.

Observou-se na Região Norte que: cerca de 33% das pessoas atuam entre 12 e 20 anos e 67% atuam há mais de 20 anos como projetista estrutural. Assim, constata-se que esta região é constituída por profissionais de vasta experiência no ramo de projetos de estruturas.

A região Nordeste apresentou os seguintes dados: em torno de 43% dos questionados atuam entre 12 e 20 anos como projetista estrutural e 57% atuam há mais de 20 anos neste ramo. Traça-se assim um perfil destes profissionais no Nordeste caracterizando-os como de grande experiência neste setor.

A amostra do Centro – Oeste subdividiu-se em três categorias: 17% atuam entre 8 e 12 anos; 33% entre 12 e 20 anos e 50% atuam há mais de 20 anos como projetista estrutural. Então, ao perfil dos profissionais nesta região pode ser agregada a característica de grande experiência em projetos de estruturas.

Ao analisar a região Sudeste nota-se que se obtiveram respostas em todas as categorias de experiência: cerca de 7% atua há 5, de 5 a 8 e de 8 a 12 anos; 13% atuam entre 12 a 20 anos e 66% atuam como projetista estrutural há mais de 20 anos. A região, mesmo apresentando dados dispersados por todas as categorias, pode ser caracterizada como constituída por profissionais de alta experiência em projetos de estruturas.

A região Sul foi uma das regiões que apresentou a maior variabilidade de dados: 12,5% dos profissionais atuam, em anos, há 5, de 5 a 8, de 8 a 12 e de 12 a 20 enquanto que os 50% restantes atuam há mais de 20 anos como projetista estrutural. Nota-se que metade da população questionada desta região atua há mais de vinte anos como projetista estrutural enquanto que a outra metade dividiu-se igualmente entre as demais categorias, o que leva a constatar que prevalecem profissionais de grande experiência no Sul.

Conclui-se então que em todas as regiões houve preponderância de profissionais de ampla experiência no setor de projetos de estruturas. As características regionais, das quais foram realizadas as análises citadas, foram representadas graficamente no gráfico 3.1-2.

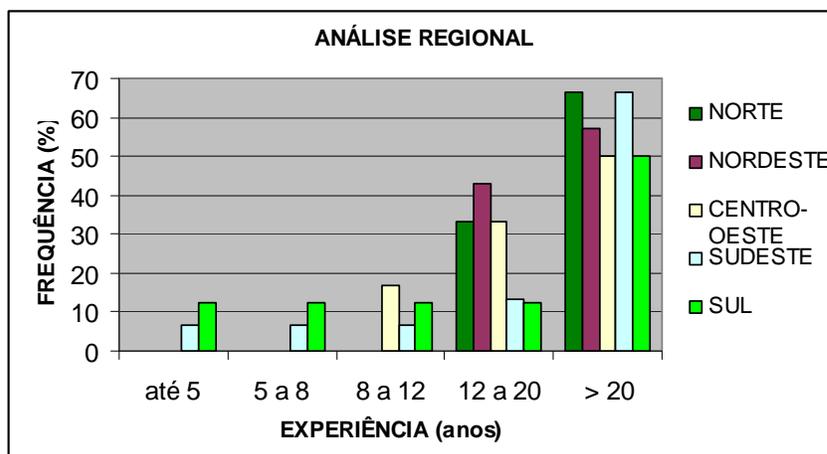


Gráfico 3.1-2 - Análise Regional: tempo de atuação como projetista estrutural.

Analisando o Brasil como um todo, nota-se que mais da metade dos questionados, cerca de 59%, atuam como projetista estrutural há mais de 20 anos, conforme gráfico 3.1-3. Tal fato revela que os questionados têm grande experiência profissional no ramo de projetos de estruturas, o que converge com a análise regional realizada quanto a esta mesma característica.

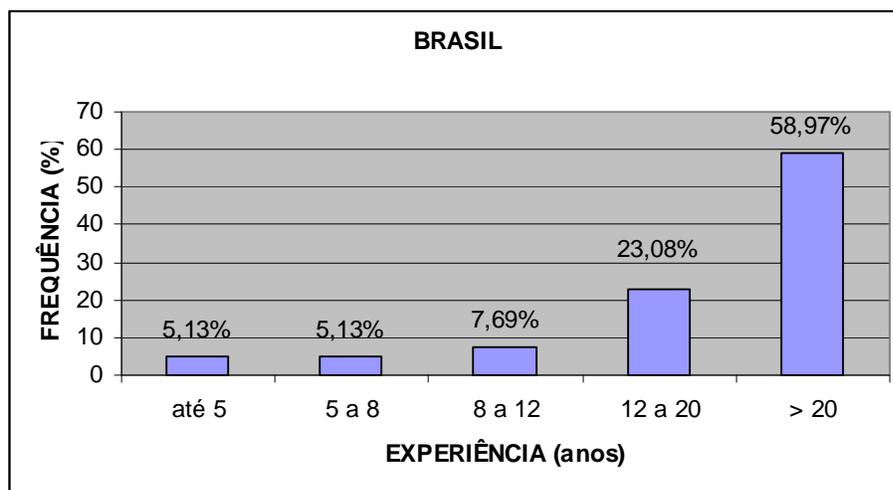


Gráfico 3.1-3 -Análise no Brasil: tempo de atuação como projetista estrutural.

### 3.2 Verificação quanto à presença de lajes treliçadas em projetos estruturais

De acordo com as respostas obtidas por meio dos questionários, realizou-se a mensuração do quão, em porcentagem, as lajes treliçadas são utilizadas em relação ao total projetado estruturalmente.

Verificou-se então que na região Norte 100% dos questionados, um total de três pessoas, utilizam lajes treliçadas em cerca de 40% de seus projetos. Tal mensuração indica que nesta região do país o sistema de lajes treliçadas ainda é pouco empregado, estimulando assim a investigações que busquem o porquê deste fato.

Já na Região Nordeste, onde responderam aos questionários 7 pessoas, houve uma maior variabilidade de resultados: utilizam lajes treliçadas em 10% e em 20% de seus projetos cerca de 57% dos questionados; enquanto que 14% dos questionados empregam lajes treliçadas em 20%, 60% e 70% de seus projetos.

Analisando-se a Região Centro-Oeste verificou-se que os 6 questionados não se agruparam em nenhuma das alternativas, ou seja, existiram seis diferentes respostas, as quais

indicaram que cerca de 17% dos entrevistados aplica lajes treliçadas em 10%, 20%, 30%, 40%, 50% e em acima de 80% de seus projetos. Essa dispersão acentuada incentiva à investigação do porquê tais disparidades ocorrerem nesta região do país em relação ao tema pesquisado.

Na região Sudeste constatou-se, do total de 16 questionados, que: cerca de 12% utiliza lajes treliçadas em 10% de seus projetos; 19% as emprega em 20% dos projetos; 6% as utiliza em 30% e 80% dos seus projetos e em torno de 57% dos projetistas emprega acima de 80% de lajes treliçadas em seus projetos. Tais mensurações caracterizam a região em questão como grande utilizadora do sistema de lajes treliçadas em seus projetos.

A região Sul, onde foram questionadas 8 pessoas, apresentou dados que revelam que o emprego de lajes treliçadas ainda é relativamente baixo: 25% das pessoas empregam este tipo de laje em 20% e em 40% de seus projetos; 38% empregam lajes treliçadas em 40% de seus projetos e apenas 12% dos pesquisados as empregam em 70% de seus projetos.

A partir do gráfico 3.2-1 pode-se melhor constatar os dados citados anteriormente.

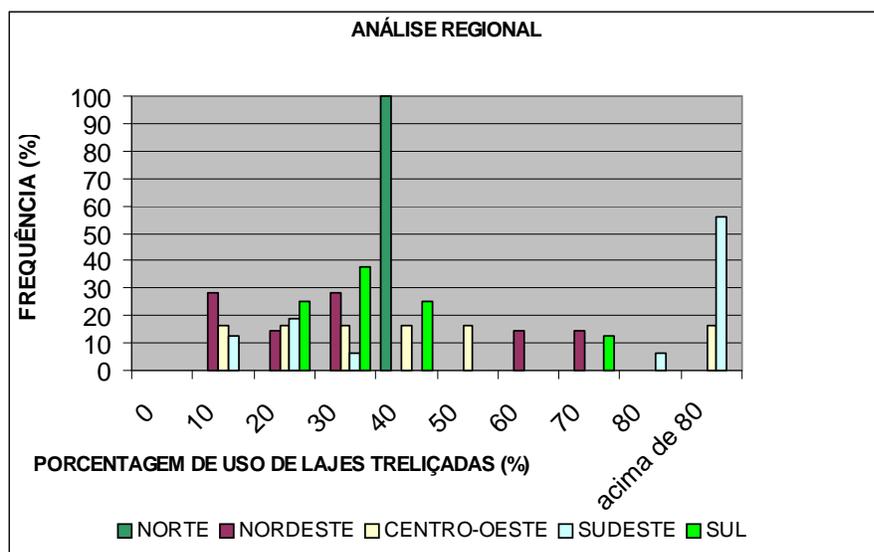


Gráfico 3.2-1 - Análise regional: Porcentagem de uso de lajes treliçadas.

Como conclusões ainda preliminares averigua-se que a região onde são mais empregadas as lajes treliçadas é a Sudeste. E, em contrapartida, a região que menos as

emprega é a Norte.

Em uma análise generalizada do Brasil, conforme gráfico 3.2-2, pode-se constatar que a maioria dos pesquisados emprega lajes treliçadas em mais de 80% de seus projetos. No entanto, não se deve concluir, mesmo que preliminarmente, que tal mensuração indique que há um emprego considerável das lajes aqui em estudo em todo o Brasil. Esta maioria de questionados, conforme visto na análise anterior, é constituída em quase que em sua totalidade por pessoas oriundas da região Sudeste.

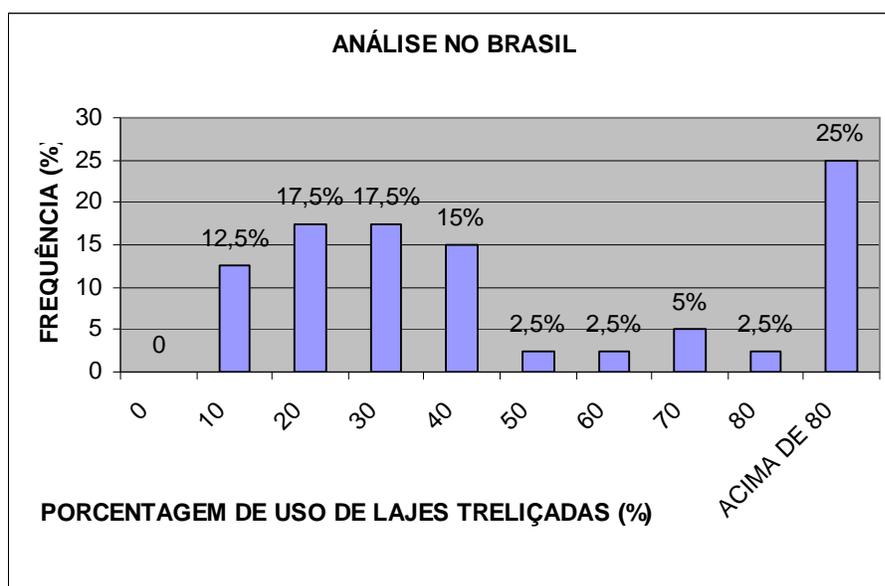


Gráfico 3.2-2 - Análise no Brasil: Porcentagem de uso de lajes treliçadas.

### 3.3 Emprego de lajes treliçadas em relação ao número de pavimentos

A partir das respostas contidas nos questionários foram realizadas análises por regiões do Brasil com relação ao número de pavimentos projetados com lajes treliçadas. Para indicar edificações com grande número de pavimentos optou-se por adotar o termo “edifício alto”, termo este que ainda não há consenso no meio científico se caracteriza edifícios quanto a sua esbeltez ou quanto ao número de pavimentos.

Na região Norte foram obtidos os seguintes resultados: cerca de 67% dos questionados projeta com lajes treliçadas edificações de até 4 pavimentos e 33% as aplica em

edificações de até 8 pavimentos. Isto mostra que os projetistas desta região utilizam as lajes treliçadas em edifícios com número de pavimentos relativamente baixo.

A região Nordeste apresentou uma variabilidade de respostas maior em relação às oriundas da região Norte: cerca de 14% aplica lajes treliçadas em construções de no máximo 2 e 3 pavimentos; 29% as emprega em edificações de até 4 pavimentos e 43% em construções acima de 10 pavimentos. Isto mostra que a maioria dos projetistas desta região emprega as lajes treliçadas na construção de “edifícios altos” devido a fatores ainda desconhecidos, mas que poderão vir a ser conhecidos no decorrer da análise das respostas contidas nos questionários.

Os questionários provindos do Centro–Oeste apresentaram os seguintes dados com relação ao emprego de lajes treliçadas: 17% das pessoas as empregam em edifícios de 3 e 8 pavimentos e cerca de 33% as aplica em projetos com 5 e acima de 10 pavimentos. Tais dados mostram que não existe uma tendência bem definida quanto a característica avaliada.

O Sudeste foi uma das regiões que apresentou a maior variabilidade de resultados, fato este que pode ser devido a região ter o maior número de pessoas questionadas. Assim, a análise “lajes treliçadas versus nº de pavimentos” mostrou que: 12,5% dos entrevistados projetam edificações de 2 e 5 pavimentos; cerca de 44% projetam em até 3 pavimentos; 19% em até 4 pavimentos e em torno de 6% aplica as lajes treliçadas em construções de 8 e acima de 10 pavimentos. Nesta região constata-se então que a grande maioria projeta edificações de no máximo 3 pavimentos, o que é considerado um número pequeno de pavimentos.

O Sul apresentou dados bem diversificados: 12,5% das pessoas aplicam lajes treliçadas em projetos de 1, 4, 5 e 8 pavimentos e 25% projetam edifícios de 3 e acima de 10 pavimentos. Pode-se verificar que a maioria projeta “edifícios altos” com lajes treliçadas, no entanto, não há uma tendência bem definida quanto a este item nesta região do Brasil.

Os dados citados anteriormente foram representados em forma de gráfico para que se tenha uma melhor visualização da análise (gráfico 3.3-1).

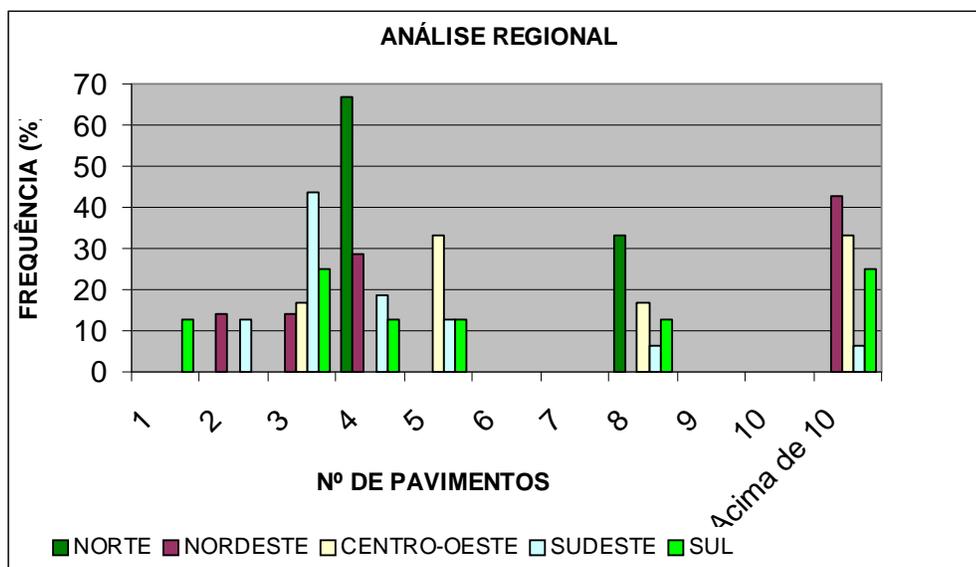


Gráfico 3.3-1 - Análise Regional: lajes treliçadas versus nº de pavimentos.

Em uma análise generalizada do Brasil, constatou-se que, dos 40 questionados: 2,5% as empregam em 1 pavimento; 7,5% em 2 pavimentos; 30% em 3 pavimentos; 17,5% em 7 pavimentos; 12,5% em cinco pavimentos; 10% em 8 pavimentos e 20% as empregam em projetos de edifícios acima de 10 pavimentos. Tais dados foram representados no gráfico 3.1-2.

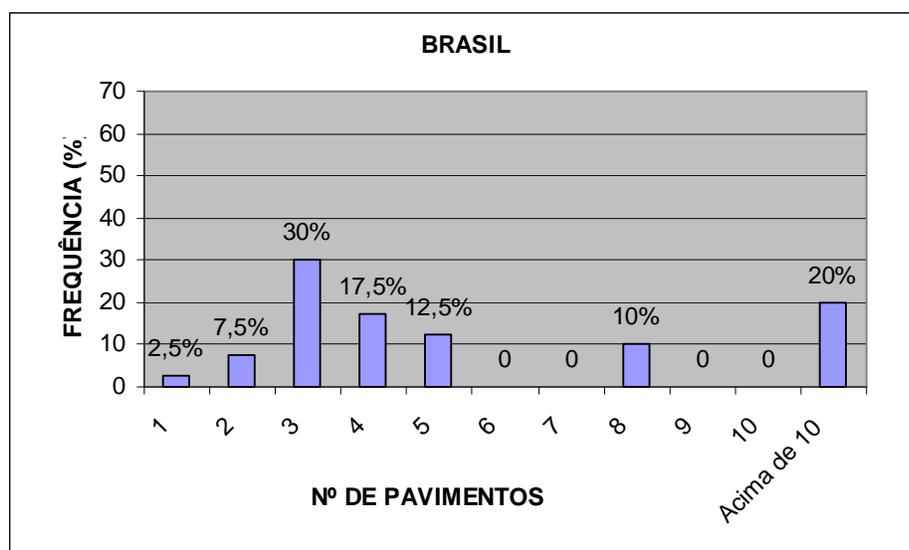


Gráfico 3.3-2 - Análise no Brasil: lajes treliçadas versus nº de pavimentos.

Estas mensurações permitem concluir que a maior parte dos questionados projetam edificações com lajes treliçadas com no máximo 3 pavimentos, um número relativamente pequeno. No entanto nota-se que uma parcela considerável de pessoas aplica as lajes em questão a projetos de edificações acima de 10 pavimentos, ou seja, “edifícios altos”. Esta notável discrepância pode ser explicada por escassez de informações e/ou de equipamentos adequados e pelas características culturais de projeto nas diferentes regiões brasileiras, refletindo nos dados do Brasil como um todo.

### 3.4 Lajes in loco versus lajes treliçadas

A fim de elencar algumas dificuldades quanto ao menor emprego de lajes treliçadas foram elaboradas duas questões, as quais estavam vinculadas entre si. Em um primeiro momento almejava-se saber de o número de pavimentos quando utilizam-se lajes moldadas in loco é *maior*, *menor* ou *igual* em relação aos projetos em que utiliza-se lajes treliçadas. Caso a resposta fosse *maior*, o questionado passaria para a segunda questão classificando alguns eventos que pudessem caracterizar a escolha segundo as dificuldades encontradas pelos projetistas na utilização do sistema de lajes pré-fabricadas treliçadas, a saber:

- Dificuldade no transporte vertical das vigotas;
- Dificuldades na montagem;
- Dúvidas com relação à análise estrutural;
- Dúvidas com relação ao comportamento das lajes como diafragma rígido;
- Exigência do cliente;

Primeiramente, serão realizadas análises regionais e no Brasil quanto aos índices atribuídos ao número de pavimentos quando empregam-se lajes in loco em comparação ao emprego de lajes treliçadas.

Na região Norte 100% dos questionados atribuiu o índice *maior* quanto ao número de pavimentos em relação aos dois sistemas em questão.

No Nordeste houve predominância do atributo *maior*, com cerca de 71% dos pesquisados, vindo em seguida os atributos *igual* e *menor* respondidos por cerca de 14,5% dos

pesquisados.

Os questionários do Centro-Oeste mostraram que a maioria dos projetistas, 50%, não faz distinção quanto ao número de pavimentos quando emprega-se lajes *in loco* ou treliçadas. O restante dividiu-se entre as categorias *maior* e *igual* com respectivamente 33% e 17% dos pesquisados.

No Sudeste, a maioria dos projetistas, em torno de 71%, emprega lajes *in loco* em edificações com maior número de pavimentos em relação às edificações projetadas com lajes treliçadas. Em torno de 21,5% atribuiu categoria *igual* enquanto que os 7,5% restantes atribuiu a categoria *menor* com relação ao número de pavimentos.

O Sul do país dividiu-se apenas entre as categorias *maior* e *igual* com, respectivamente, 75% e 25% dos projetistas.

Verifica-se assim que quase que em todas as regiões, exceto a Centro-Oeste, houve predominância quanto ao uso de lajes *in loco* em edificações com maior número de pavimentos em relação aos projetos nos quais emprega-se lajes treliçadas. A justificativa desta característica predominante somente poderá ser elaborada após ser realizada a análise das maiores dificuldades encontradas quanto ao emprego de lajes treliçadas.

Os dados citados foram representados no gráfico 3.4-1.

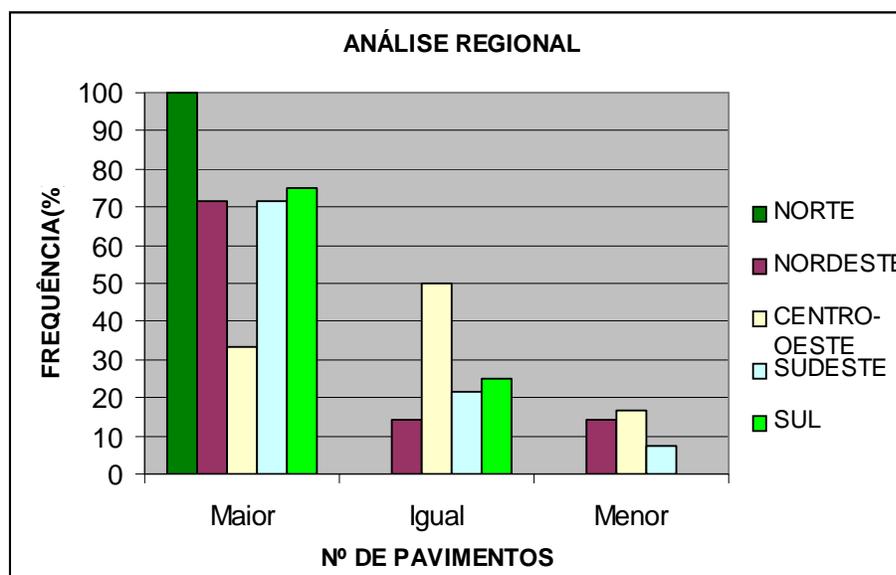


Gráfico 3.4-1 - Análise Regional: número de pavimentos

O Brasil apresentou dados que permitem constatar que a grande maioria utiliza lajes moldadas *in loco* em projetos com maior número de pavimentos em relação aos projetos de lajes treliçadas, conforme gráfico 3.4-2.

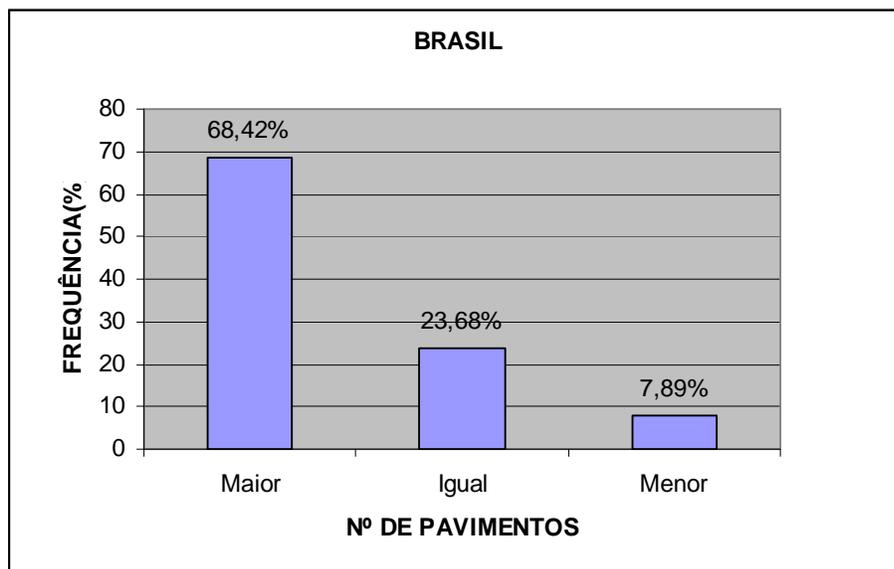


Gráfico 3.4-2 - Análise no Brasil: número de pavimentos

Em um segundo momento, partindo-se dos questionados que responderam *maior* na primeira questão, foi realizada a análise quanto ao grau de importância dos eventos já citados. Para facilitar a elaboração do gráfico, nesta análise foram atribuídos índices para os eventos propostos, conforme tabela 3.4-1. Outra observação quanto à análise a ser apresentada é que ela baseou-se na quantidade de respostas de cada evento e não na quantidade de entrevistados. Isso se deve ao tipo de questão apregoada, a qual permite ao questionado atribuir diversas *escalas* aos eventos.

**Tabela 3.4-1 – Eventos e seus índices adotados nos gráficos.**

Índices	Eventos
1	Dificuldade no transporte vertical de vigotas
2	Dificuldades na montagem
3	Dúvidas com relação à montagem
4	Dúvidas com relação ao comportamento das lajes como diafragma rígido
5	Exigência do cliente

Os fatores apontados pelos projetistas e as mensurações dos mesmos, conforme gráfico 3.4-3, que contribuem para a utilização de um número maior de pavimentos nos projetos que utilizam lajes nervuradas moldadas no local em relação aos que utilizam lajes treliçadas são:

- a) **Dificuldade no transporte vertical das vigotas:** 16,67% consideram importantíssimo; 22,22% muito importante; 33,33% importante; 11,11% pouco importante e 16,67% sem importância.
- b) **Dificuldades na montagem:** 22,22% consideram importantíssimo; 5,56% muito importante; 22,22% importante; 22,22% pouco importante e 7,78% sem importância.
- c) **Dúvidas com relação à análise estrutural:** 11,76% consideram importantíssimo; 23,53% muito importante; 17,65% importante; 17,65% pouco importante e 25,41% sem importância.
- d) **Dúvidas com relação ao comportamento das lajes como diafragma rígido:** 36,84% consideram importantíssimo; 5,26% muito importante; 21,05% importante; 5,26% pouco importante e 31,58% sem importância.
- e) **Exigência do cliente das lajes:** 22,22% consideram importantíssimo; 27,28% importante, 11,11% pouco importante e 38,89% sem importância.

Assim pode-se concluir que na maioria dos eventos propostos houve destaque quanto aos atributos *importantíssimo*, *muito importante* e *importante* em relação aos demais. No entanto, em alguns eventos existiram atribuições consideráveis às escalas *pouco importante* e *sem importância*, a saber: dúvidas com relação ao comportamento das lajes como diafragma rígido e exigência dos clientes das lajes.

Pode-se então dizer que, os fatores que mais contribuem com a preferência quanto ao uso de lajes moldadas *in loco* em relação às lajes treliçadas em edificações com maior número de pavimentos deve-se às dificuldades em transporte e montagem e às dúvidas na análise estrutural.

Com relação à *dificuldade no transporte vertical*, esta poderá ser melhor avaliada em análise posterior, a qual analisará especificamente os tipos de transporte vertical de vigotas.

Das *dificuldades em montagem* diz-se que estas não existem no sistema em lajes treliçadas, o que mostra o ainda desconhecimento do sistema em lajes treliçadas por parte dos projetistas que afirmaram ter grande importância tal evento.

Quanto às *dúvidas com relação à análise estrutural*, a atribuição deste item como sendo importante provém do desconhecimento técnico dos projetistas estruturais em relação à ABNT NBR6118:2003, a qual diz que lajes *in loco* e lajes treliçadas tem o mesmo comportamento estrutural.

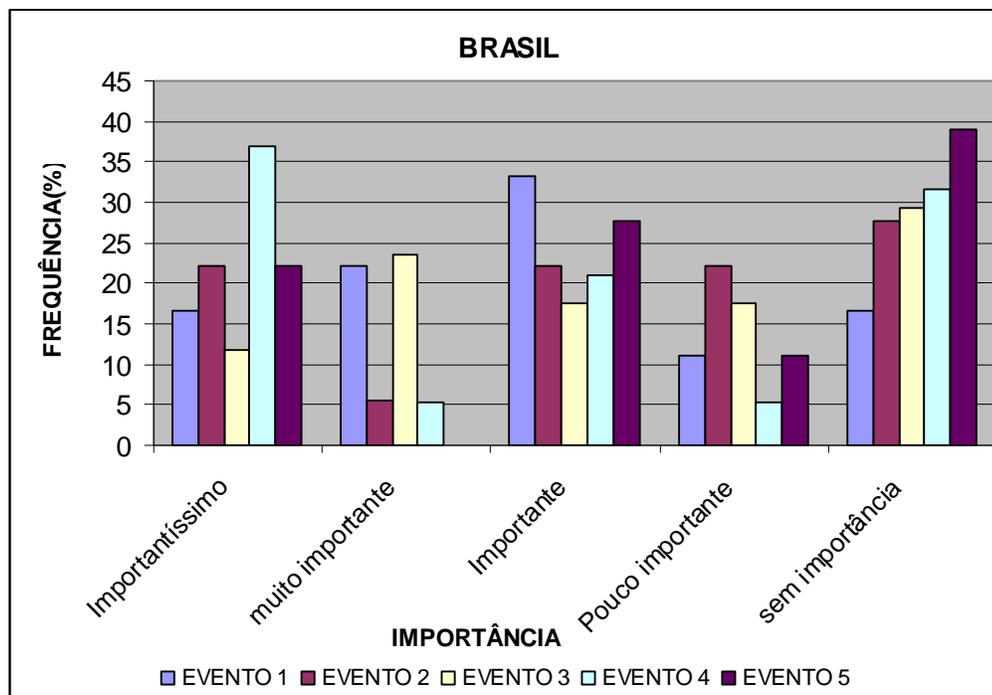


Gráfico 3.4-3 – Análise no Brasil: atribuição das escalas de importância aos eventos propostos

### 3.5 Valores de projeto: Resistência característica a compressão do concreto( $f_{ck}$ )

O objetivo desta análise é saber o  $f_{ck}$  usual de projeto no Brasil como um todo e nas diversas regiões brasileiras. A importância desta mensuração vem de que para valores maiores interessam  $f_{ck}$  maiores; assim a partir da análise de  $f_{ck}$  poderão ser realizadas análises de outras características de projeto vinculadas ao mesmo.

Regionalmente, iniciando pela região Norte, constata-se que a grande maioria dos projetistas, em torno de 67%, especifica projetos com  $f_{ck}$  de 20 MPa, enquanto que o restante, 33% dos projetistas, utiliza  $f_{ck}$  de 25 MPa.

No Nordeste, verifica-se que por cerca de 71% dos questionados especifica projetos com  $f_{ck}$  igual a 30 MPa enquanto que 29% especifica com  $f_{ck}$  de 25 MPa.

A região Centro-Oeste, similar ao Nordeste, apresentou questionários com respostas de  $f_{ck}$  de 25 MPa e 30 MPa atribuídos, respectivamente, por aproximadamente 17% e 83% dos projetistas questionados.

Respostas dos projetistas do Sudeste possibilitaram constatar, quanto ao  $f_{ck}$  de projeto, que: 25% emprega  $f_{ck}$  de 20 MPa e 30 MPa enquanto que a maioria de 50% emprega  $f_{ck}$  de 25 MPa.

Na região Sul verifica-se que 12,5% dos pesquisados especifica projetos com 20 MPa, 30 MPa e 35 MPa enquanto 62,5%, a maioria, o faz com  $f_{ck}$  igual a 25 MPa.

Observa-se que o maior  $f_{ck}$  especificado em projetos é o de 35 MPa e que este apareceu como resposta somente na região sudeste. O valor de  $f_{ck}$  que mais foi citado, aparecendo em respostas oriundas de todas as regiões, foi o igual a 25 MPa. Tais dados podem ser visualizados no gráfico 3.5-1.

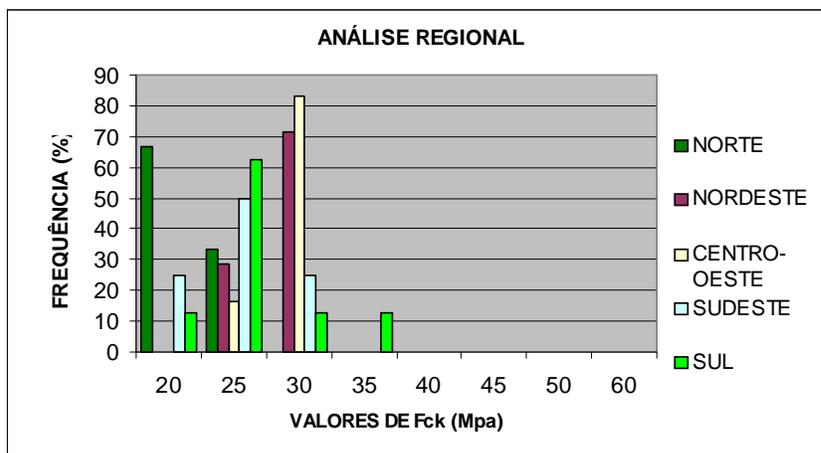


Gráfico 3.5-1 - Análise Regional:  $f_{ck}$  de projeto.

A média de  $f_{ck}$  de projeto no Brasil é o de valor 25 MPa, enquanto que o valor utilizado de modo menos expressivo, dentre os citados pelos questionados, é o 35 MPa, de acordo com gráfico 3.5-2.

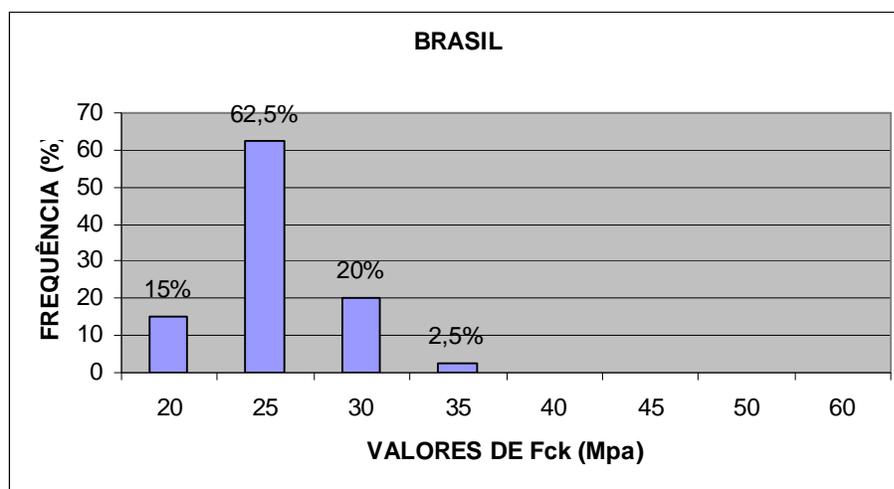


Gráfico 3.5-2 - Análise no Brasil:  $f_{ck}$  de projeto.

### 3.6 Vão máximo considerado como competitivo para o sistema construtivo com lajes treliçadas

A avaliação a seguir almeja conhecer até qual vão máximo o sistema construtivo com lajes treliçadas é competitivo. Esta avaliação será realizada tanto no Brasil como em suas regiões em específico.

Os questionários respondidos por projetistas estruturais da região Norte permitiram constatar que 100% deles apregoam lajes treliçadas em vãos de até 8m.

A maioria dos projetistas da região Nordeste, em torno de 43%, considera o sistema de lajes treliçadas competitivo para vãos de até 8m e até 10m. O restante dos projetistas, cerca de 14%, faz tal consideração para vãos até 6m.

No Centro-Oeste os projetistas pesquisados dividiram-se igualmente em duas categorias quanto ao vão máximo para o qual o sistema de lajes treliçadas é vantajoso: até 8m e até 10m.

A região Sudeste, quanto à característica aqui avaliada, apresentou os seguintes dados: 25% dos projetistas respondeu *vãos de até 6m*; cerca de 44% *vãos de até 8m*; 12,5% *vãos de até 10m* e cerca de 18,5% dos pesquisados respondeu *vãos de até 12m*.

No Sul do país metade do pesquisados atribuiu à competitividade das lajes treliçadas quando estas são empregadas em vãos de no máximo 8m. A outra metade dos projetistas dividiu-se igualmente entre as respostas *vãos de até 6m* e de *até 8m*.

As mensurações regionais estão apresentadas a seguir no gráfico 3.6-1.

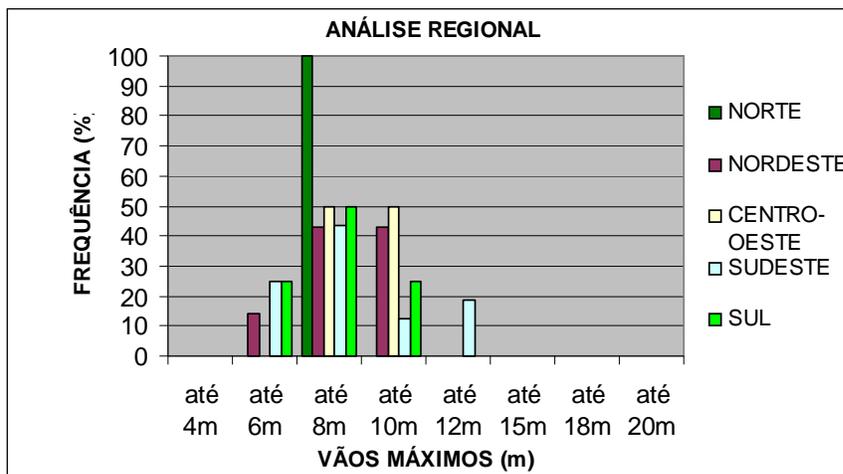


Gráfico 3.6-1 - Análise regional: Lajes treliçadas versus vão máximo.

Percebe-se que, no Brasil, a média de vão para o qual o sistema construtivo com lajes treliçadas é competitivo é de 6m (gráfico 3.6-2). Cabe então a pesquisa aqui realizada constatar quais são os impasses que fazem com que a maioria dos pesquisados afirme que o sistema em questão somente é vantajoso quando em vãos de no máximo 6m. Outra observação é que o máximo vão citado pelos pesquisados foi o de 10m, fato este que também instiga à pesquisa de quais são os empecilhos (estruturais, econômicos, etc) quanto ao emprego das lajes treliçadas em vãos maiores que este.

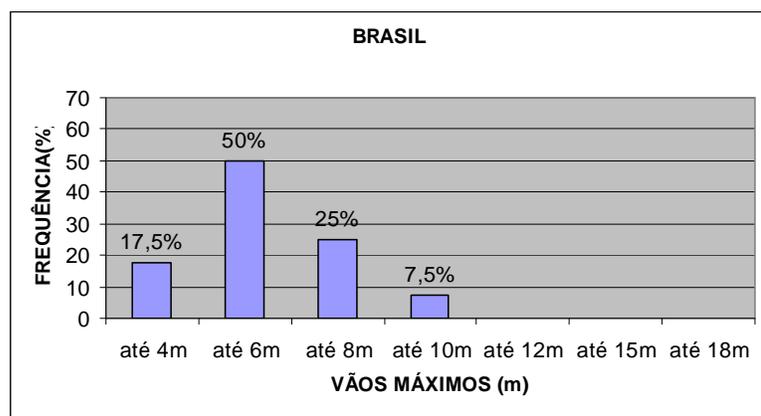


Gráfico 3.6-2 – Análise no Brasil: Lajes treliçadas *versus* vão máximo.

### 3.7 Ferramentas utilizadas

Foram avaliadas quais ferramentas são mais utilizadas no pré-dimensionamento e / ou no dimensionamento das lajes treliçadas no Brasil e, em específico, em suas regiões. Como existiu mais de uma resposta em alguns dos questionários, o somatório percentual será maior que 100% em algumas das análises a serem apresentadas a seguir, visto que o número de pessoas é inferior ao número de respostas.

Analisando primeiramente a região Norte, verifica-se que cerca de 67% dos questionados utilizam programas computacionais de fabricantes, enquanto 100% dos questionados utilizam estruturais quando no dimensionamento (ou pré-dimensionamento) de lajes treliçadas. Atenta-se que 2 dos 3 questionados responderam que utilizam simultaneamente as ferramentas: programas computacionais de fabricantes e programa computacional estrutural. Pode-se dizer então que esta região tem o perfil de utilizar programas computacionais como ferramentas de dimensionamento, tendo destaque o

programa computacional de fabricantes.

Os questionários do Nordeste indicaram que em torno de 29% dos pesquisados utilizam tabelas e cerca de 71% utilizam programa computacional estrutural no dimensionamento de lajes treliçadas. Nesta região não houve nenhum questionário com mais de uma resposta. Verifica-se que a ferramenta de dimensionamento mais empregada no Nordeste é o programa computacional estrutural.

Na região Centro-Oeste preponderaram como ferramentas os programas computacionais estrutural e de fabricantes, ambos com 50% dos pesquisados. Uma minoria, representada por aproximadamente 17% dos projetistas, afirma utilizar tabelas quando no dimensionamento de lajes treliçadas.

Os questionários do Sudeste continham em sua maioria, em torno de 56%, afirmações quanto ao uso de software estrutural como instrumento no dimensionamento de lajes. Uma peculiaridade observada desta região é que o uso de tabelas predominou sobre o uso de softwares de fabricante, com respectivamente, 44% e 56% dos projetistas estruturais pesquisados.

No Sul, houve predominância quanto ao uso de software estrutural com 63% dos projetistas; vindo em seguida as tabelas com cerca de 38% e por último o software de fabricante com 25% dos pesquisados.

Os dados regionais estão representados conforme gráfico 3.7-1.

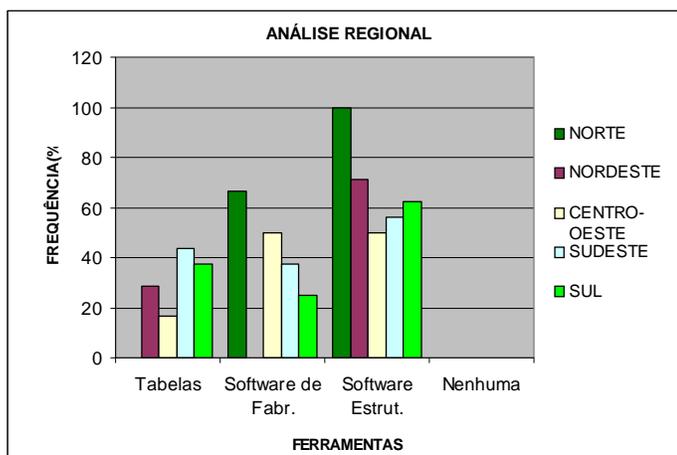


Gráfico 3.7-1 – Análise regional das ferramentas utilizadas no dimensionamento de lajes treliçadas.

No Brasil, conforme gráfico 3.7-2, verifica-se um alto índice de utilização de programas computacionais estruturais enquanto que as tabelas e os softwares de fabricantes apresentaram a mesma frequência de uso quando em dimensionamento de lajes treliçadas.

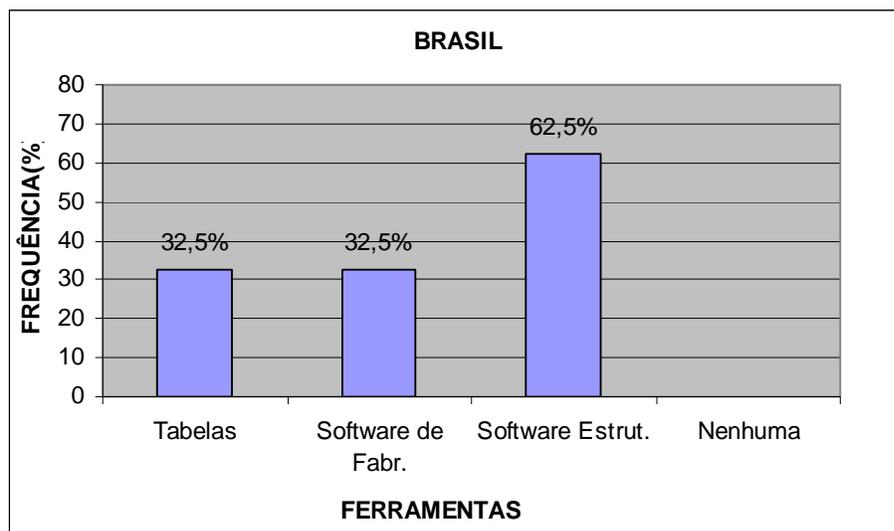


Gráfico 3.7-2 – Análise no Brasil das ferramentas utilizadas no dimensionamento de lajes treliçadas

### 3.8 Classificação quanto ao emprego de lajes lisas e vigas planas com lajes pré-fabricadas treliçadas nos projetos estruturais

A análise a seguir visa mensurar, regionalmente e no Brasil, qual a porcentagem de profissionais da área de projetos de estruturas que já tem elaborado projetos, especificamente de lajes lisas, utilizando lajes treliçadas.

No Norte do país predominou a parcela de projetistas de estruturas que não elaborou projetos de lajes treliçadas, com cerca de 67%. O restante, cerca de 33%, afirmou já ter utilizado este sistema em seus projetos de estruturas.

Na região Nordeste, similar à Norte, também predominou a parcela de projetistas que não aplicou o sistema: em torno de 71%. Os profissionais de estruturas que já apregoaram lajes treliçadas em seus projetos ficaram representados por uma minoria correspondente a 29% do total.

No Centro-Oeste houve um equilíbrio: 50% afirmou e 50% negou ter projetado lajes lisas utilizando lajes treliçadas.

A maioria dos questionários oriundos da região Sudeste, aproximadamente 68%, negou projetar lajes lisas com lajes treliçadas enquanto que o restante, 32% dos pesquisados, afirmou ter projetado com o sistema em questão.

A região Sul foi a única em que houve predominância do emprego de lajes treliçadas em projetos de lajes lisas, com aproximadamente 63% dos projetistas; o restante, 37%, negou tê-lo empregado.

Verifica-se que regionalmente há ainda restrições quanto se projetar lajes lisas com sistema de lajes treliçadas, predominando seu uso somente em uma das regiões do país (Sul).

As análises regionais estão graficamente representadas conforme gráfico 3.8-1.

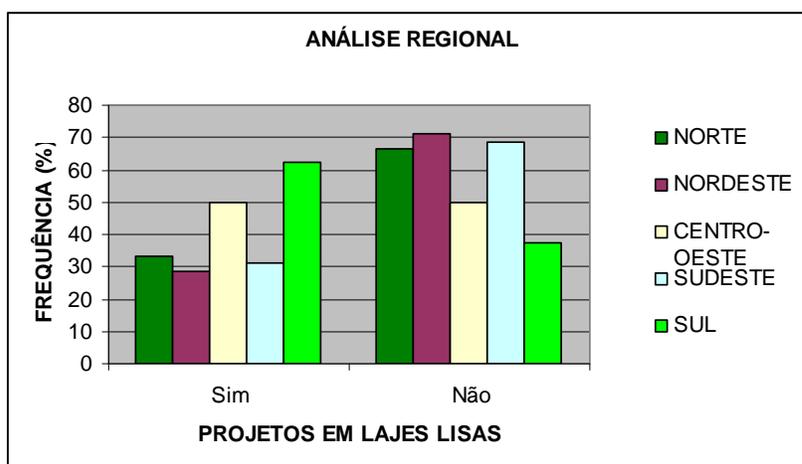


Gráfico 3.8-1 - Análise Regional de projetos com uso de lajes treliçadas.

Verifica-se no Brasil (gráfico 3.8-2) que há ainda uma grande maioria de projetistas que não utiliza o sistema de lajes treliçadas quando em projetos de lajes lisas e/ou vigas planas. Este fato deve ser averiguado de modo a descobrir-se o porquê de os projetistas utilizarem o sistema em questão de forma tão restrita, visto que este possui inúmeras vantagens já elencadas nesta pesquisa.

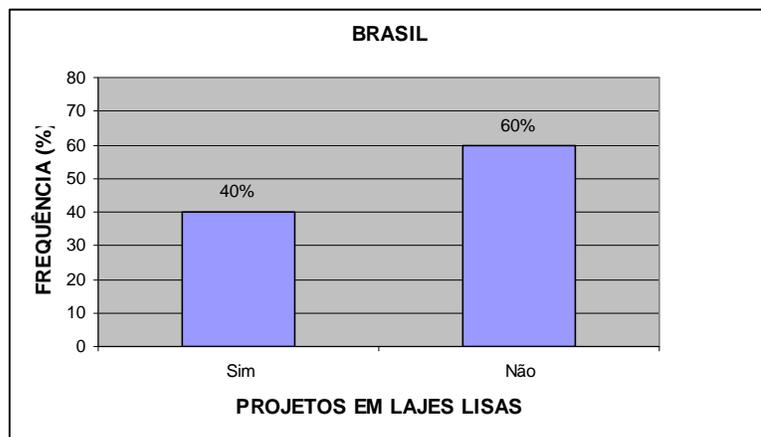


Gráfico 3.8-2 - Análise no Brasil de projetos com uso de lajes treliçadas.

### 3.9 Avaliação técnica dos projetistas estruturais que elaboraram projetos com lajes lisas e/ou vigas planas com lajes treliçadas, quando comparados aos projetos elaborados com lajes moldadas no local

Em relação aos questionados que afirmaram já terem elaborado projetos em lajes lisas e/ou vigas planas empregando-se lajes treliçadas, conforme item 7.4.8, fez-se um levantamento comparativo entre estes projetos e os que utilizam sistemas com lajes moldadas *in loco*.

Todas as pessoas pesquisadas da Região Norte, ou seja, 100% dos questionados, afirmaram que o sistema utilizando lajes treliçadas é *melhor* se comparado ao sistema *in loco*.

Na região Nordeste, 50% dos questionados caracterizou o sistema de lajes treliçadas em *muito melhor* e o restante classificou como *melhor* em relação ao sistema com lajes moldadas *in loco*.

O Centro-Oeste apresentou dados uniformemente distribuídos em 3 das categorias de qualificação do sistema de lajes treliçadas em relação ao de lajes moldadas *in loco*: cerca de 33% caracterizou o sistema como *muito melhor*, *melhor* e *igual*.

Analisando a região Sudeste, constatou-se que: 60% classificou o sistema de lajes treliçadas *melhor* e 40% como *igual* em relação ao sistema de lajes moldadas *in loco*.

No Sul 25% dos questionados indicaram o sistema de lajes treliçadas como

*melhor* enquanto 75% caracterizou tal sistema como *igual* em relação às lajes moldadas *in loco*.

Assim, conclui-se que o sistema de lajes treliçadas foi, na pior das qualificações, considerado *igual* em relação ao sistema de lajes moldadas *in loco*. Nota-se também que a melhor aceitação do sistema foi na região Nordeste, na qual metade dos questionados caracterizou-o como  *muito melhor* em relação ao sistema de lajes moldadas *in loco*. Os dados citados nas análises regionais foram representados no gráfico 3.9-1.

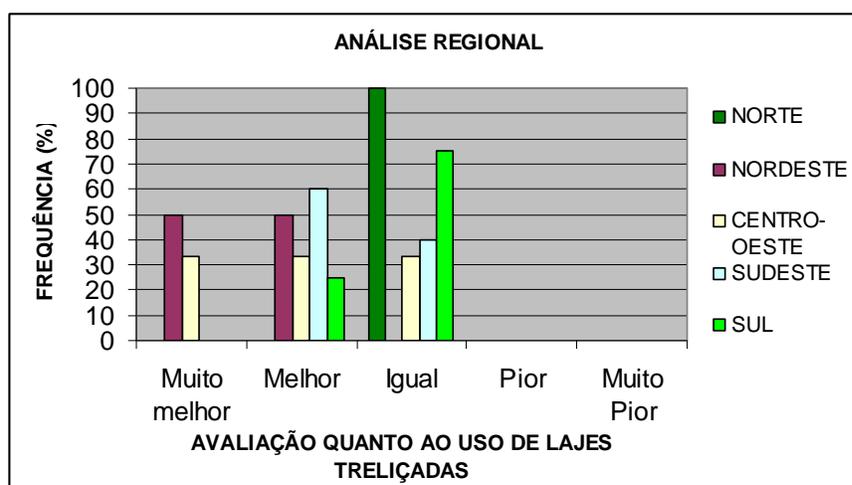


Gráfico 3.9-1 – Análise Regional: avaliação comparativa quanto ao uso de lajes treliçadas.

Avaliando a qualificação do sistema de lajes treliçadas no Brasil, verifica-se que a maioria das pessoas o classifica como *igual* ao sistema de lajes *in loco*, conforme gráfico 3.9-2.

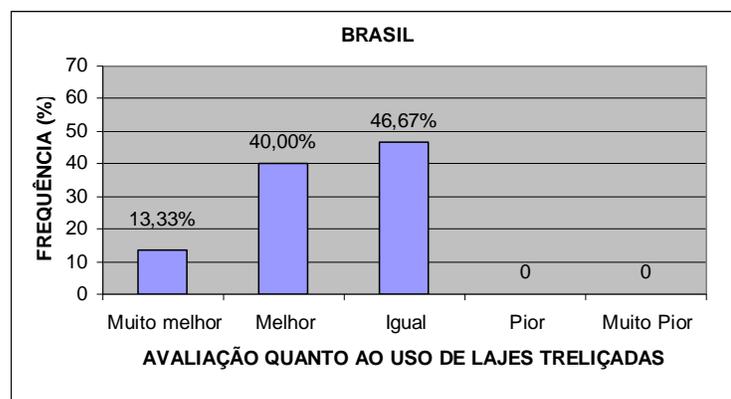


Gráfico 3.9-2 - Análise no Brasil: avaliação comparativa quanto ao uso de lajes treliçadas.

As análises realizadas tanto no Brasil quanto em suas regiões permitiram constatar que a maioria dos projetistas estruturais ainda encontra entraves quanto ao uso de lajes treliçadas em projetos de lajes lisas, sendo o sistema considerado como equivalente (“igual”) ao *in loco*. O fato de o sistema de lajes treliçadas não ser considerado muito vantajoso pela grande maioria pode ser explicado por experiências ruins que esses profissionais tiveram, por exemplo, com uma mão de obra mal qualificada para o emprego deste sistema em lajes lisas. Outros fatores poderão ser atribuídos conforme as demais análises forem sendo efetuadas.

### 3.10 Dificuldades no emprego de lajes treliçadas

Este levantamento permitirá saber quais as maiores dificuldades em projetar lajes lisas e/ou vigas planas utilizando lajes treliçadas, o que, posteriormente, contribuirá com a elaboração de subsídios a serem propostos por esta pesquisa. A amostra a ser considerada na análise a seguir será constituída pelos questionados que responderam *não* ter elaborado projetos com lajes lisas utilizando lajes treliçadas.

Assim como em algumas análises já aqui realizadas, para facilitar a plotagem do gráfico foram atribuídos índices aos eventos propostos, conforme tabela 3.10-1.

**Tabela 3.10-1 Eventos e seus respectivos índices**

Índices	Eventos
1	Desconheço a utilização do sistema de lajes treliçadas em projetos com lajes lisas e/ou vigas faixas
2	Falta informação e bibliografias disponíveis sobre o assunto
3	Tenho dúvidas em relação à análise estrutural
4	Tenho dúvidas nos detalhes das ligações das vigotas treliçadas com capitéis, vigas de borda etc.
5	Tenho dúvidas quanto aos detalhes construtivos e de execução de obra
6	Não consegui agregar valor ao projeto estrutural com lajes treliçadas que demanda maior tempo na elaboração e no detalhamento. No projeto com lajes moldadas <i>in loco</i> o tempo gasto é menor.

Foram propostos dois conceitos a serem atribuídos para cada um dos eventos: *conceito 1* – que melhor representa a decisão do questionado e *conceito 2* - que não representa a decisão do questionado. Para facilitar a análise serão aqui apresentados os dados referentes ao *conceito 1*.

Dos projetistas estruturais entrevistados que não elaboraram projetos em lajes lisas e/ou vigas planas utilizando lajes pré-fabricadas treliçadas apresentaram como respostas às questões formuladas que melhor representaram sua decisão (*conceito 1*):

- 13,59 % Desconhece a utilização do sistema de lajes treliçadas em projetos com Lajes Lisas e/ou vigas faixas.

- 12,62% Alega falta informação e bibliografias disponíveis sobre o assunto.

- 3,88% Tem dúvidas em relação a análise estrutural.

- 8,74% Tem dúvidas nos detalhes das ligações das vigotas treliçadas com capitéis, vigas de borda etc.

- 7,77% Tem dúvidas quanto aos detalhes construtivos e de execução de obra (transporte, fôrmas, escoramentos e montagem).

- 7,77% Não conseguiu agregar valor ao projeto estrutural com lajes treliçadas que demanda maior tempo na elaboração e detalhamento (projeto de fabricação e execução). No projeto com lajes moldadas “*in loco*” o tempo gasto é menor.

Do total de respostas possíveis, cerca de 54% atribuiu *conceito 1* às situações propostas e o restante, em torno de 46%, atribuiu *conceito 2*.

As mensurações apresentadas foram representadas graficamente, conforme gráfico 3.10-1.

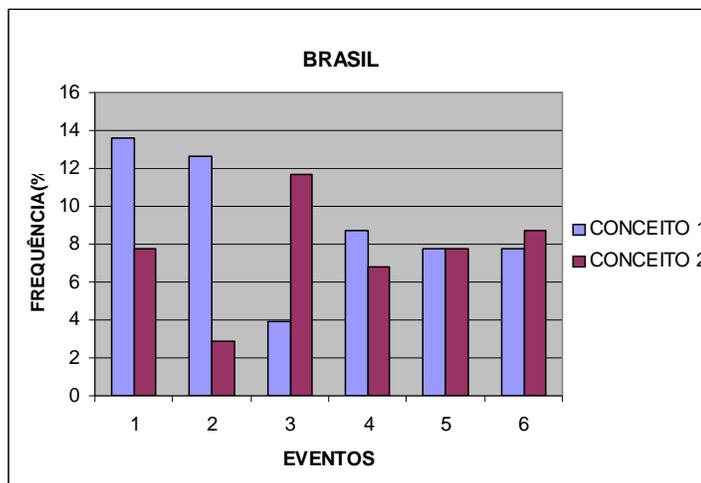


Gráfico 3.10-1 – Decisões quanto à não elaboração de projetos de lajes lisas com uso de lajes treliçadas

Assim verifica-se que não há uma causa bem definida quanto ao não emprego de lajes treliçadas em projetos de lajes lisas, pois houve certo equilíbrio entre as respostas. Pode-se verificar certo destaque quanto ao desconhecimento da utilização do sistema em questão, no entanto, conforme já constatado, todas as situações propostas mostraram justificar o porquê da não elaboração dos tipos de projetos em questão.

### 3.11 Conhecimento de lajes treliçadas

#### 3.11.1 Informações disponíveis

A análise aqui realizada visa mensurar quais as qualificações (*excelente, bom, razoável, ruim, péssimo* ou *não pesquisei*) atribuídas às informações disponíveis sobre lajes treliçadas.

A tabela 3.11.1-1 apresenta como os índices para a análise foram atribuídos aos eventos propostos.

**Tabela 3.11.1-1 – Eventos e seus índices**

Índices	Eventos
1	Os fabricantes de lajes treliçadas disponibilizam esclarecimentos sobre o assunto
2	As usinas fabricantes de armações para lajes treliçadas disponibilizam esclarecimentos sobre o assunto
3	Encontrei todo o material técnico sobre o assunto nas pesquisas realizada em nível nacional.
4	Encontrei todo o material técnico sobre o assunto nas pesquisas realizada em nível internacional.

Nas análises a seguir as mensurações foram realizadas considerando o número de respostas totais, visto que cada pesquisado poderia atribuir uma categoria distinta a cada um dos eventos propostos. As porcentagens foram elaboradas por eventos, ou seja, partiu-se do número de respostas totais de cada evento.

Assim, obteve-se para cada evento as seguintes respostas:

**a) O material técnico e os esclarecimentos prestados pelos fabricantes de lajes treliçada foi considerado como:**

10,53% Excelente

13,16% Bom

31,58% Razoável

28,95% Ruim

15,79% Péssimo

**b) O material técnico e os esclarecimentos prestados pelas usinas fabricantes de armações para lajes treliçadas, foi considerado como:**

10,53% Excelente

10,53% Bom

34,21% Razoável

31,58% Ruim

10,53% Péssimo

2,63% Não Pesquisou

**c) Quanto à qualidade do material técnico específico sobre o assunto em pesquisas realizadas em nível nacional, diz-se que:**

7,89% Excelente

7,89% Bom

39,47% Razoável

10,53% Ruim

15,79% Péssimo

18,42% Não Pesquisou

**d) Qualidade do material técnico específico sobre o assunto em pesquisas realizadas em nível internacional?**

2,70% Excelente

10,81% Bom

18,92% Razoável

2,70% Ruim

64,86% Não Pesquisou

Tais mensurações são representadas a seguir, de acordo com a figura 3.11.1-1

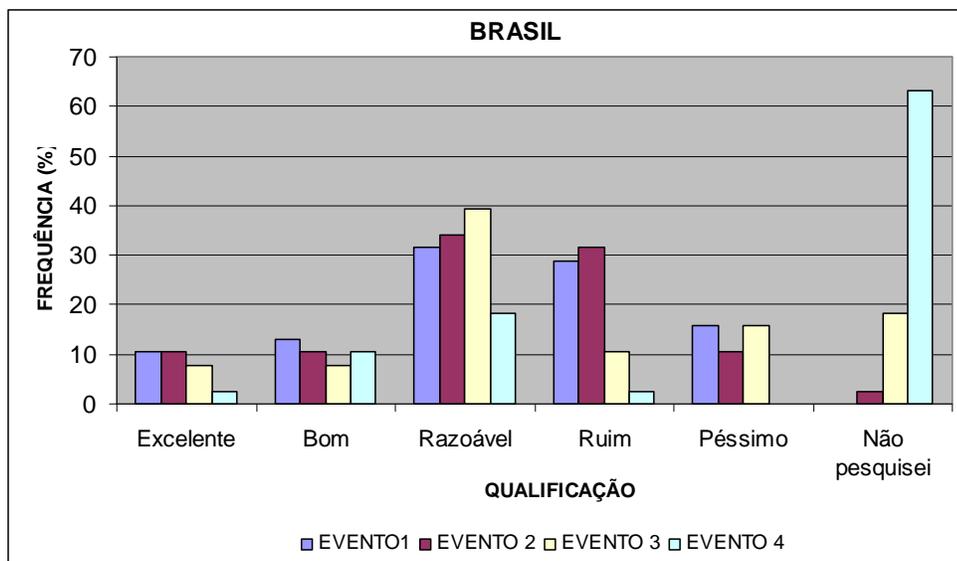


Gráfico 3.11.1-1 – Análise no Brasil quanto às informações disponíveis

Conclui-se assim que em quase que todos os itens a serem conceituados no que diz respeito às informações sobre lajes treliçadas houve preponderância da atribuição *razoável*. Apenas no item material técnico internacional preponderou o conceito *não pesquisei*. Tais dados mostram o quão deficiente ainda são as informações disponíveis sobre lajes treliçadas no Brasil, o que instiga a criação de medidas que as qualifique de modo que assim também sejam hábeis no sentido de contribuir com o incentivo à utilização de lajes treliçadas.

### 3.11.2 Bibliografia disponível

A análise a seguir visa mensurar quais as qualificações (*excelente, bom, razoável, ruim, péssimo* ou *não pesquisei*) atribuídas à bibliografia disponível sobre lajes treliçadas. Nesta análise as mensurações também se basearam no número de respostas e não no número de questionados.

Foram obtidos os seguintes dados:

a) **Bibliografia nacional referente à análise estrutural para sistemas com lajes treliçadas:**

2,56% Excelente

15,38% Bom

38,46% Razoável

20,51% Ruim

12,82% Péssimo

10,26% Não Pesquisou

**b) Bibliografia com detalhes de ligações das vigotas treliçadas com capitéis, vigas de borda etc.**

17,95% Razoável

20,51% Ruim

23,08% Péssimo

38,46% Não Pesquisou

**c) Bibliografia com detalhes construtivos e de execução de obra (transporte, fôrmas, escoramentos e montagem).**

5,13% Excelente

5,13% Bom

30,77% Razoável

17,95% Ruim

10,26% Péssimo

30,77% Não Pesquisou

Os dados supra citados foram representados no gráfico 3.11.2-1.

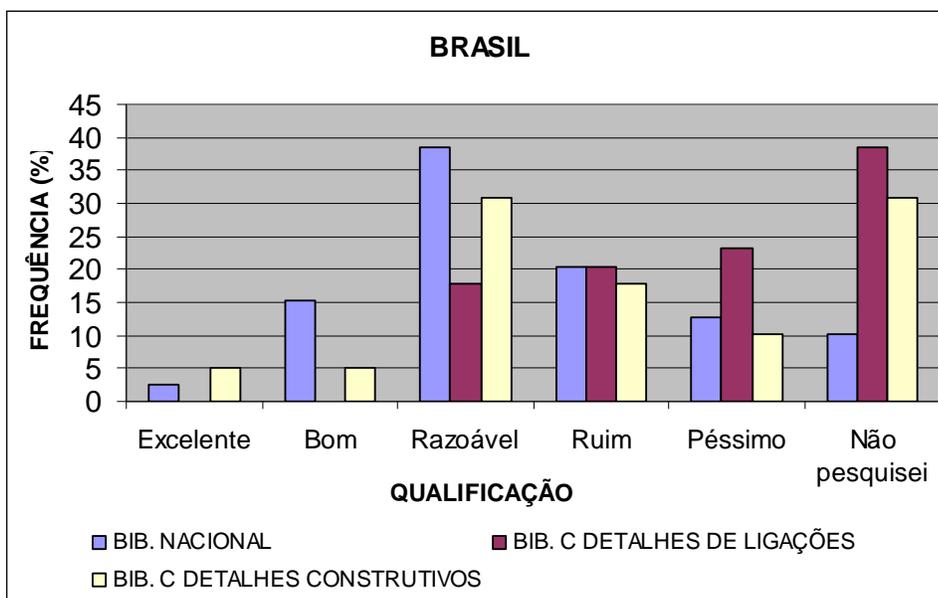


Gráfico 3.11.2-1 – Análise no Brasil quanto às bibliografias disponíveis.

Então, pode-se concluir que a bibliografia nacional ainda deixa desejar, sendo classificada pela maioria como razoável. Com relação às demais bibliografias, estas apresentaram dados em que a maioria não pesquisou sobre lajes treliçadas por meio das mesmas.

Quanto à bibliografia com detalhes de ligações notou-se que uma parcela considerável de respostas qualificou-na como péssima, indicando uma necessidade de grandes melhorias. Já a bibliografia com detalhes construtivos apresentou uma parcela considerável de respostas quanto ao índice *razoável*. Embora o segundo caso seja menos preocupante que o primeiro, ainda assim ele necessita de aprimoramento técnico.

### 3.12 Análise econômica

A análise econômica é importante no intuito de identificar o quanto a economia em se utilizar lajes treliçadas induz ou reduz o emprego das mesmas em projetos estruturais. A obtenção do referencial porcentual econômico deverá ser feita regionalmente, pois a economia varia conforme valores de mercado (conseqüentemente conforme as regiões) e reflete o perfil dos projetistas em particular. Assim, uma avaliação generalizada que envolva o Brasil como um todo resultaria em dados cujas conclusões descartariam as peculiaridades culturais de cada

região, comprometendo assim a análise econômica em questão.

A questão relativa a este item foi a que obteve um maior índice de abstenção: um total de 20 pessoas não a respondeu, o que representa 50% do total dos questionados. A justificativa da maioria que não respondeu foi devido ao fato destes questionados trabalharem somente em projetos e não possuem acesso e/ou desconhecem dados quanto a custos relativos a sistemas de lajes treliçadas. Assim, tomou-se o cuidado de, tanto na análise regional quanto na do Brasil, considerar como amostra total somente aqueles que responderam à questão quanto à economia quando se empregam lajes treliçadas.

Na região Norte todos os questionados classificaram o sistema em lajes treliçadas como 7,5% mais econômico.

O Nordeste apresentou as seguintes repostas: 20% classificaram o sistema de lajes treliçadas como anti-econômico, 15% mais econômico e 22,5% mais econômico e 40% dos questionados diz que o sistema em lajes treliçadas representa uma economia de 30%.

As respostas provindas do Centro-Oeste dividiram-se igualmente em duas categorias: 50% consideram o sistema de lajes treliçadas como 15% mais econômico enquanto os demais 50% dos questionados o consideram como 22,5% mais econômico.

No Sudeste cerca de 14%, 29% e 57% dos questionados classificaram, respectivamente, o sistema em lajes treliçadas como 7,5%, 15% e 22,5% mais econômico.

As respostas oriundas do Sul dividiram-se igualmente, ou seja, com 50% dos questionados, entre as seguintes categorias quanto à classificação econômica obtida com o emprego de lajes treliçadas: Não representa economia significativa e 15% mais econômico.

Pode-se concluir então que apenas uma das regiões do Brasil, o Sul, considerou o sistema com lajes treliçadas como anti-econômico. Outra observação é que o maior índice de economia constatado foi o de 30%, ocorrendo respostas respectivas a tal índice e, de modo significativo, somente na região Nordeste do país. Esta divergência entre as respostas destas regiões pode ser atribuída às suas diferentes economias de mercado; à mão de obra mal qualificada (o que pode vir a gerar maiores custos na obra devido a pouca ou nenhuma experiência quanto ao emprego de lajes treliçadas), ao tipo de transporte vertical disponível na região e entre outros fatores.

Nota-se que os referenciais atribuídos ao sistema de lajes treliçadas foram

relativamente baixos quanto à economia do mesmo, o que instiga a pesquisas que almejem subsidiar o sistema em questão, de modo que este seja substancialmente econômico. Para tal, demais análises serão aqui realizadas quanto à mitigação ou minoração dos fatores que possam interferir negativamente na economia das lajes treliçadas. Os dados regionais citados anteriormente foram representados no gráfico 3.12-1.

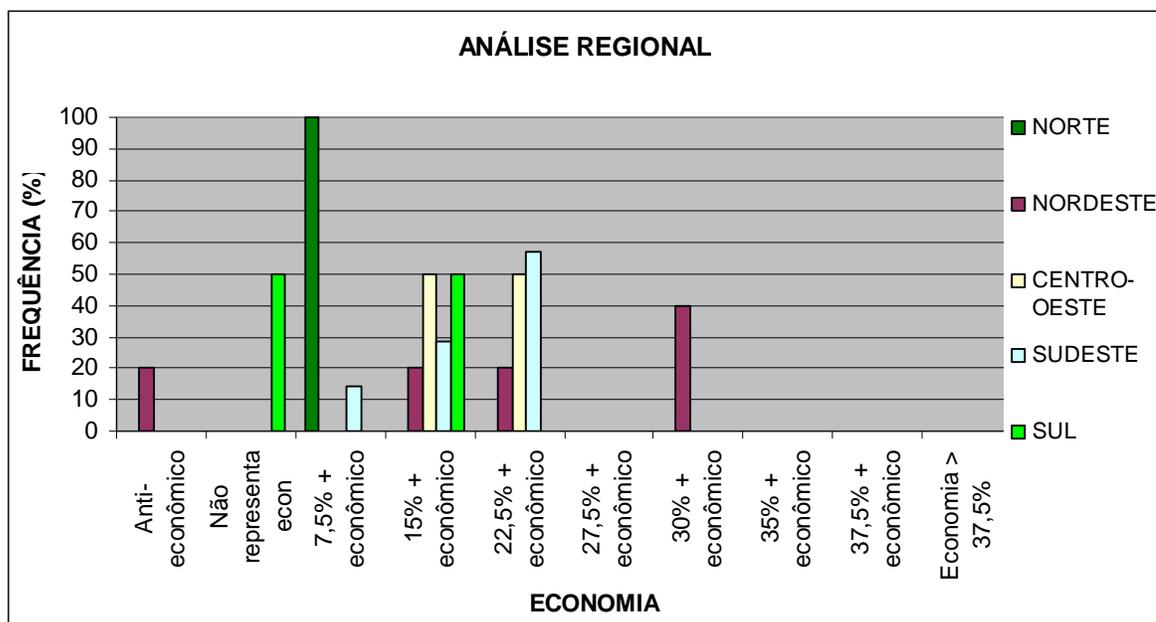


Gráfico 3.12-1 - Análise regional: economia quanto ao emprego de lajes treliçadas

### 3.13 Elemento de enchimento

#### 3.13.1 Elementos inertes ou caixão perdido

O objetivo da análise realizada é saber, regionalmente e no Brasil, quais são os elementos de preenchimento mais utilizados nos projetos de lajes treliçadas. Dentre estes elementos foram avaliados primeiramente: blocos de EPS (polietireno expandido), lajotas cerâmicas e blocos de concreto. Destaca-se que algumas pessoas responderam a mais de uma alternativa, assim, algumas análises possuirão somatório maior que 100% (visto que o número de respostas é superior ao número de questionados).

No Norte do país foi constatado que: 100% dos questionados utilizam blocos de

EPS e cerca de 67% utilizam lajotas cerâmicas como elemento de enchimento em lajes treliçadas. Nota-se o grande emprego nesta região tanto de blocos de EPS quanto de lajotas, destacando-se o primeiro, enquanto que os blocos de concreto não são empregados como elemento de enchimento.

Na região Nordeste existiram respostas quanto aos três tipos de material de enchimento em lajes treliçadas: cerca de 86% emprega blocos de EPS e 14% emprega lajotas cerâmicas e blocos de concreto. Verifica-se que nesta região, em relação à região Norte, utilizam-se lajotas cerâmicas em menor quantidade e que o bloco de concreto é empregado como enchimento, embora de maneira pouco expressiva. Nota-se que o elemento de enchimento mais utilizado nesta região é o bloco de EPS.

As respostas provindas do Centro-Oeste permitiram constatar que: 100% dos questionados utilizam blocos de EPS e 50% utilizam lajotas cerâmicas como elemento de enchimento em lajes treliçadas. Nota-se, assim como em outras regiões, que o bloco de concreto não é empregado como material de enchimento, em contrapartida aos blocos de EPS, amplamente utilizados.

No Sudeste, a maioria dos projetistas estruturais especifica em seus projetos com lajes treliçadas os blocos de EPS e lajotas cerâmicas como elementos de enchimento, correspondendo ambos a 75% das respostas; enquanto a minoria, cerca de 6%, utiliza o bloco de concreto. Há assim uma notável disparidade entre os resultados, sendo os blocos de EPS e as lajotas cerâmicas amplamente empregados enquanto que os blocos de concreto são utilizados de maneira pouco expressiva.

Os questionários do Sul permitiram traçar o seguinte perfil dos projetistas estruturais quanto ao elemento de enchimento empregado: 87,5% utiliza blocos de EPS enquanto 50% utiliza lajotas cerâmicas. Novamente nota-se que os blocos de concreto não foram citados em disparate aos blocos de EPS.

Como conclusões preliminares à cerca das regiões do Brasil, e conforme gráfico 3.13.1-1, pode-se afirmar que o Nordeste e o Sudeste foram as únicas regiões em que o bloco de concreto apareceu como elemento de enchimento. Tal fato pode ser explicado pelas diferentes culturais dos projetistas estruturais das regiões do país, o que incentiva ou desestimula o emprego deste elemento de enchimento.

Nota-se, quanto às respostas que surgiram simultaneamente, que as que se destacaram foram: blocos de EPS e lajotas cerâmicas. Isto pode ser explicado pelo fato do EPS e da lajota cerâmica serem elementos mais leves se comparados ao bloco de concreto e, conforme o perfil do projetista, os primeiros são de maior preferência em relação ao último, pois reduzem consideravelmente o peso próprio da laje e da estrutura como um todo.

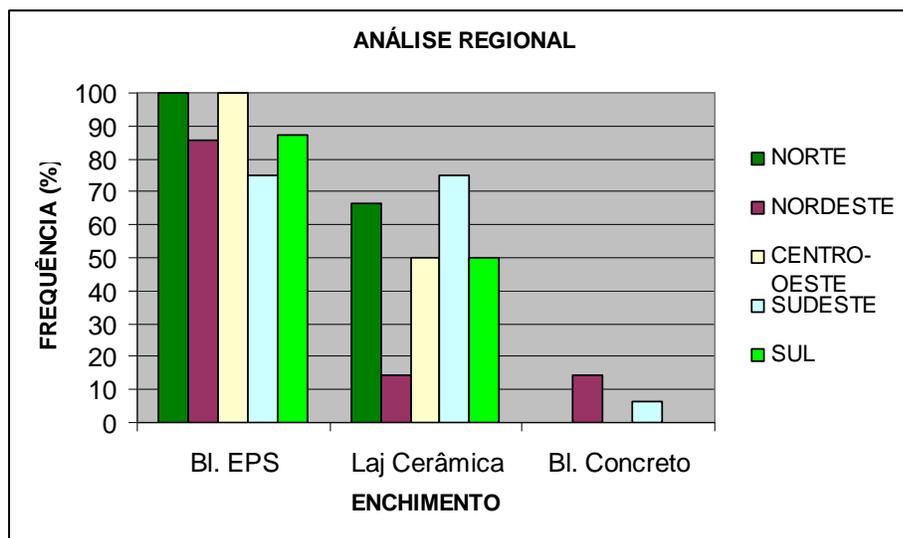


Gráfico 3.13.1-1 - Análise Regional: enchimentos de laje treliçada

No Brasil, conforme gráfico 3.13.1-2, a tendência em empregar o bloco de EPS é bem expressiva, representando 85% do total de questionados. As lajotas cerâmicas ficam em segundo lugar com 55% e, analogamente aos resultados regionais, o bloco de concreto representa a menor parcela com 5% dos projetistas.

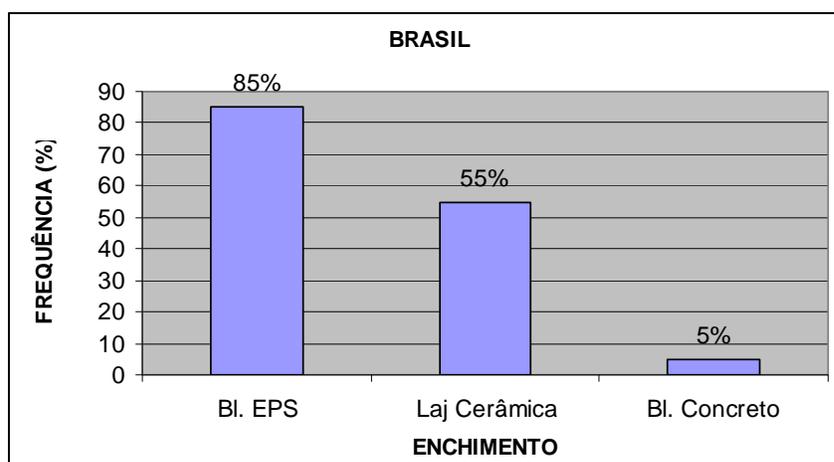


Gráfico 3.13.1-2 - Análise no Brasil: enchimentos de laje treliçada

### 3.13.2 Elementos de enchimento com fôrmas plásticas removíveis

Em uma análise mais restrita quanto ao elemento de enchimento, avaliou-se o emprego de fôrmas plásticas removíveis regionalmente e no Brasil.

No Norte, 100% dos questionados não emprega fôrmas plásticas removíveis como enchimento em lajes treliçadas. Já no Nordeste, em torno de 72% não aplica o material e tanto a aplicação quanto o desconhecimento de fôrmas plásticas removíveis representaram 14% dos projetistas estruturais.

Na região Centro-Oeste não foi constatado desconhecimento de fôrmas plásticas removíveis, sendo as mesmas aplicadas e não aplicadas, respectivamente, por 33% e 67% dos questionados.

A região Sudeste apresentou as seguintes respostas quanto ao enchimento de lajes treliçadas: cerca de 6% afirma aplicar fôrmas plásticas removíveis; 63% não as aplica e 31% as desconhece. Verifica-se que prepondera a não aplicação do elemento de enchimento em questão e que parcela considerável dos projetistas pesquisados desconhece tal material.

No Sul, assim como na maioria das regiões, o desconhecimento das fôrmas plásticas removíveis não foi constatado, obtendo-se os seguintes dados: 25% as utiliza e 75% não as utiliza como material de enchimento.

Verifica-se que na maioria das regiões, de acordo com gráfico 3.13.2-1, não são empregadas fôrmas plásticas removíveis como elemento de enchimento e que seu desconhecimento só foi constatado nas regiões Sudeste e Nordeste. Nota-se também que a parcela de projetistas estruturais que mais as aplica em seus projetos é proveniente do Centro-Oeste do país. Infere-se que estes dados distintos entre as regiões provêm de como a tecnologia em questão tem sido difundida nestas.

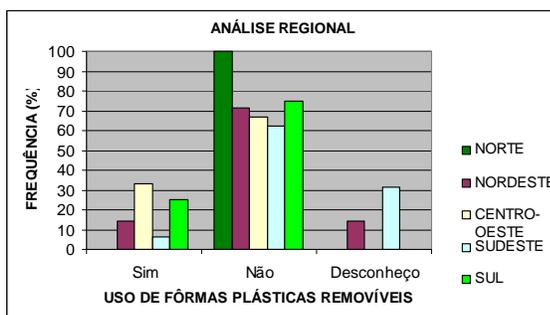


Gráfico 3.13.2-1 - Análise regional quanto ao uso de fôrmas plásticas removíveis .

Realizando-se um perfil do Brasil, verifica-se que ainda prepondera a não utilização de fôrmas plásticas removíveis e em parcelas iguais estão a aplicação e o desconhecimento desta tecnologia (gráfico 3.13.2-2).

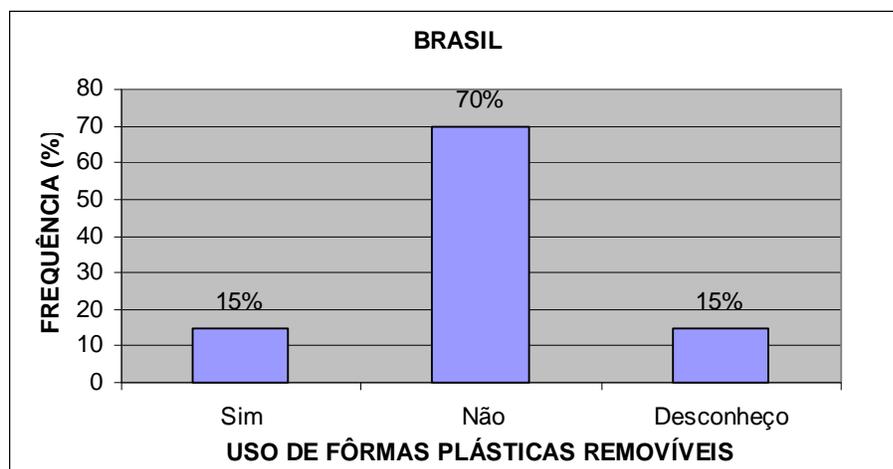


Gráfico 3.13.2-2 – Análise no Brasil quanto ao uso de fôrmas plásticas removíveis.

Tanto no Brasil como regionalmente nota-se o alto índice de não emprego e a parcela pequena, mas não desprezível, de desconhecimento do sistema de formas plásticas removíveis. Isto pode ser explicado devido a esta tecnologia ainda ser relativamente recente no mercado, estando presente no mesmo há cerca de 4 anos.

O problema do pouco conhecimento dessas fôrmas removíveis é a divulgação, até mesmo em função da patente obtida pelo fabricante. Esta escassez de divulgação gera também pouca utilização e conhecimento das mesmas.

Quanto às possíveis restrições do uso de fôrmas plásticas removíveis, a única que pode não justificar o uso é o fator custo. Desde que feita uma análise considerando todos os insumos e custos e se estes forem viáveis, tecnicamente não há restrições.

### 3.14 Transporte vertical

O fundamento em avaliar o transporte vertical vai além de mensurar simplesmente como as vigotas são transportadas. Nesta análise poderá notar-se como o sistema de lajes treliçadas é encarado no Brasil e em suas regiões: como sistema construtivo ou como uma simples construção moldada no local. Esta incerteza quanto a como o sistema

em questão é visto, provém do fato de os fabricantes de armações treliçadas terem trazido da Europa tal sistema. No entanto, os fundamentos do sistema de lajes treliçadas foram distorcidos quando chegaram ao Brasil, agregando a este a idéia de construção moldada in loco.

Nas análises regionais e no Brasil, similares a algumas já aqui apresentadas, apresentam dados cuja somatória é maior que 100%. Isto ocorreu porque existiu mais de uma resposta para a questão relativa ao transporte vertical nos questionários apregoados.

Na região Norte observa-se que em 100% das obras é empregado o transporte manual de vigotas. O que leva a crer que nesta região o sistema de lajes treliçadas é ainda considerado como uma simples construção moldada em obra.

No Nordeste a variedade de transportes verticais é maior em relação à Norte: em torno de 29% utiliza transporte manual; 57% utiliza elevador de obra e 14% utiliza guindaste e grua. O destaque quanto ao uso de elevador de obra caracterizam a região como não sendo substancialmente suscetível à ideologia das lajes treliçadas como um sistema construtivo.

O perfil da região Centro-Oeste quanto à característica em análise apresentou as seguintes características: 17% utiliza elevador de obra, guindaste e grua enquanto que a grande maioria, cerca de 67%, utiliza o transporte manual de vigotas. Embora nesta região nota-se uma variedade quanto aos tipos de transporte, nota-se que a grande maioria ainda emprega o modo manual. Assim, o Centro-Oeste ainda não se fundamenta na visão de lajes treliçadas como um sistema construtivo.

Os questionários provenientes do Sudeste e do Sul não indicaram a grua como modo de transporte de vigotas. O Sudeste apresentou dados que indicam o grande uso de transporte manual, um uso mediano de elevador de obra e uma menor utilização de guindastes, respectivamente: 69%; 44% e 6%. No Sul houve preponderância, cerca de 50% dos pesquisados, quanto ao transporte manual e o elevador de obra enquanto que uma minoria de 25% emprega guindaste em obras. Em ambas regiões o perfil das obras ainda é o de transportar as vigotas de modo manual.

Os dados regionais supra citados foram representados no gráfico 3.14-1.

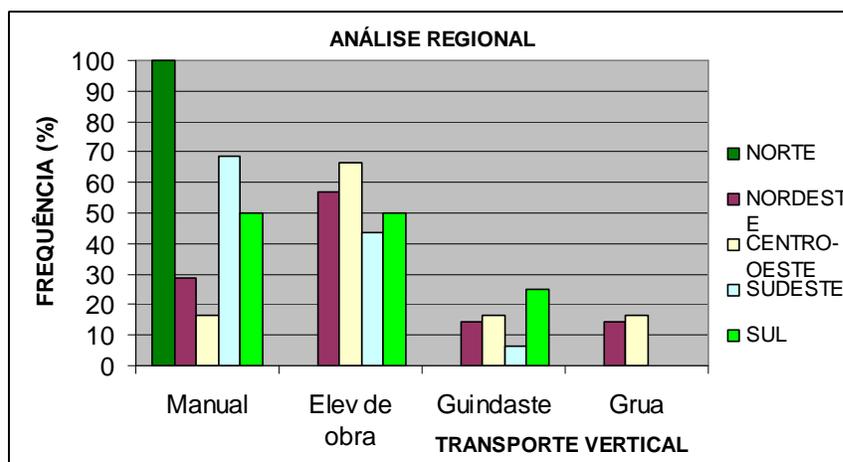


Gráfico 3.14-1 - Análise Regional: transporte vertical de vigotas.

Uma análise avaliando o Brasil como um todo permite constatar que a maioria das obras, segundo os projetistas pesquisados, utiliza transporte vertical manual. Uma parcela considerável utiliza elevador de obra vindo em seguida o guindaste e a grua, segundo gráfico 3.14-2.

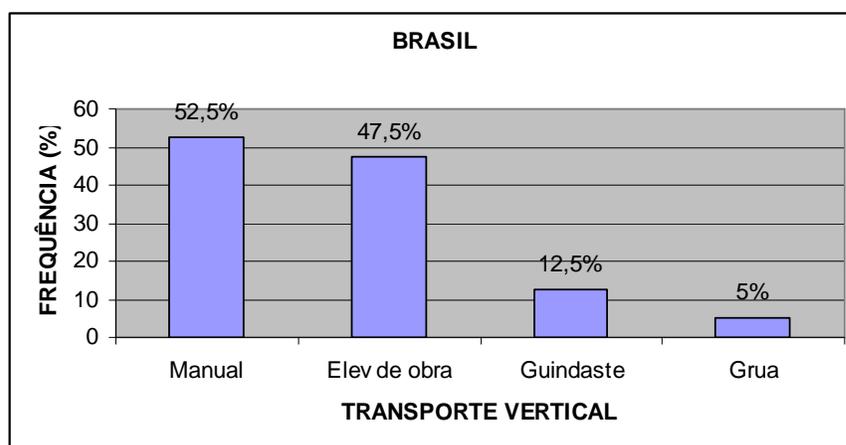


Gráfico 3.14-2 - Análise no Brasil: transporte vertical de vigotas.

Assim verifica-se que o Brasil e suas regiões ainda carecem de medidas que forneçam respaldo à idéia das lajes treliçadas como um sistema construtivo.

### 3.15 Patologias

A análise a ser feita permitirá avaliar em porcentagem no Brasil quais as patologias que mais ocorrem com o sistema de lajes treliçadas. Pode-se também constatar suas principais causas e assim detectar onde ocorrem as maiores falhas (se na execução, no transporte etc).

Foram atribuídos índices às patologias propostas a serem classificadas pelos questionados, conforme tabela 3.15-1.

**Tabela 3.15-1 – Patologias e seus índices**

Índices	Patologias
1	Fissuras por torção nas vigas de contorno dos painéis das lajes
2	Fissuras sobre os apoios
3	Fissuras transversais nas vigotas treliçadas
4	Fissura longitudinal entre a vigota e o elemento de enchimento
5	Saliência na parte inferior da laje
6	Deformações excessivas
7	Flambagem no banzo superior da treliça
8	Ninhos de concretagem

As manifestações patológicas mais observadas nas obras executadas com lajes treliçadas, pelos entrevistados foram:

7,76% Fissuras por torção nas vigas de contorno dos painéis das lajes.

21,55% Fissuras sobre os apoios (podem aparecer na parte superior da ligação viga-laje).

1,72% Fissuras transversais nas vigotas treliçadas (consideradas aquelas perceptíveis a olho nu).

25,86% Fissura longitudinal entre a vigota e o elemento de enchimento (aparece na parte inferior da laje após o revestimento).

18,97% Saliência na parte inferior da laje (caracterizada pela descida do elemento de enchimento durante a concretagem).

13,79% Deformações excessivas (considerar deformação excessiva aquela perceptível a olho nu).

4,31% Flambagem do banzo superior da treliça (pode ocorrer durante as operações de transporte, montagem ou concretagem).

6,03% Ninhos de concretagem.

Estes dados foram representados no gráfico a seguir, gráfico 3.15-1.

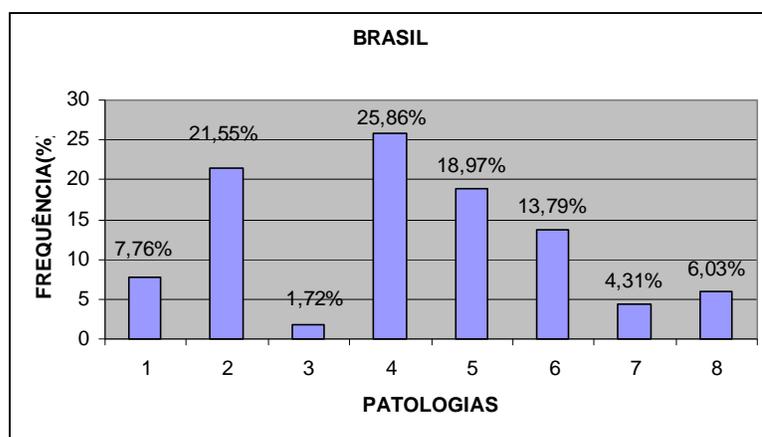


Gráfico 3.15-1 - Análise no Brasil: frequência de patologias

Verifica-se que as patologias mais frequentes são as fissuras sobre os apoios e as fissuras longitudinais entre a vigota e o elemento de enchimento. Destacam-se ainda, porém de maneira menos expressiva, as saliências na parte inferior da laje e as deformações excessivas. Tais constatações permitirão posteriormente concluir em que fases de execução ocorrem e porque ocorrem com maior frequência tais patologias.

### 3.16 Estudos sobre lajes treliçadas

Uma das questões do questionário abordava os projetistas quanto aos pontos do sistema com lajes treliçadas que necessitavam de maiores esclarecimentos. Nesta questão o questionado poderia atribuir os seguintes índices de importância: *importantíssimo*, *muito importante*, *importante*, *pouco importante* ou *sem importância*.

Ressalta-se que a análise foi realizada com base no número de respostas de cada evento, e não no número de questionados. Novamente foram atribuídos índices de modo a facilitar as mensurações realizadas, de acordo com tabela 3.16-1.

**Tabela 3.16-1 – Eventos e seus índices**

Índices	Eventos
1	Verificação de redução e mensuração de custos em relação aos sistemas <i>in loco</i>
2	Análise de deformações ao longo do tempo
3	Detalhes de ligações das vigotas com elementos estruturais
4	Definição de valores de contra-flecha e como aplicá-la
5	Determinação de procedimentos para diminuição do tempo de execução
6	Vencer a dificuldade no transporte vertical das vigotas
7	Comportamento das lajes como diafragma rígido

Assim, foram destacados pelos questionados dentre um elenco de pontos do sistema estrutural com lajes treliçadas que necessitam de maiores estudos e/ou esclarecimentos, segundo a importância dos mesmos, a saber:

**a) Verificar se o sistema é econômico e qual a redução de custos em relação aos sistemas moldados “In Loco”.**

28,95% Importantíssimo

50% Muito importante

13,16% Importante

7,89% Pouco importante

**b) Análise das deformações ao longo do tempo.**

66,67% Importantíssimo

13,89% Muito importante

11,11% Importante

2,78% Pouco importante

5,56% Sem importância

**c) Detalhes de ligações das vigotas com os demais elementos estruturais (transmissão de esforços e vinculações de apoio).**

51,3% Importantíssimo

30,8% Muito importante

15,4% Importante

2,6% Sem importância

**d) Definição de valores da contra-flecha e como aplicá-la.**

21,62% Importantíssimo

43,24% Muito importante

27,03% Importante

5,41% Pouco importante

2,70% Sem importância

**e) Determinação de procedimentos para diminuição do tempo de execução.**

2,78% Importantíssimo

25% Muito importante

36,11% Importante

22,22% Pouco importante

13,89% Sem importância

**f) Vencer a dificuldade no transporte vertical das vigotas.**

16,67% Importantíssimo

25% Muito importante

30,56% Importante

13,89% Pouco importante

13,89% Sem importância

**g) Comportamento das lajes como diafragma rígido.**

41,67% Importantíssimo

25% Muito importante

22,22% Importante

8,33% Pouco importante

2,78% Sem importância

As mensurações supra citadas foram representadas graficamente, conforme gráfico 3.16-1.

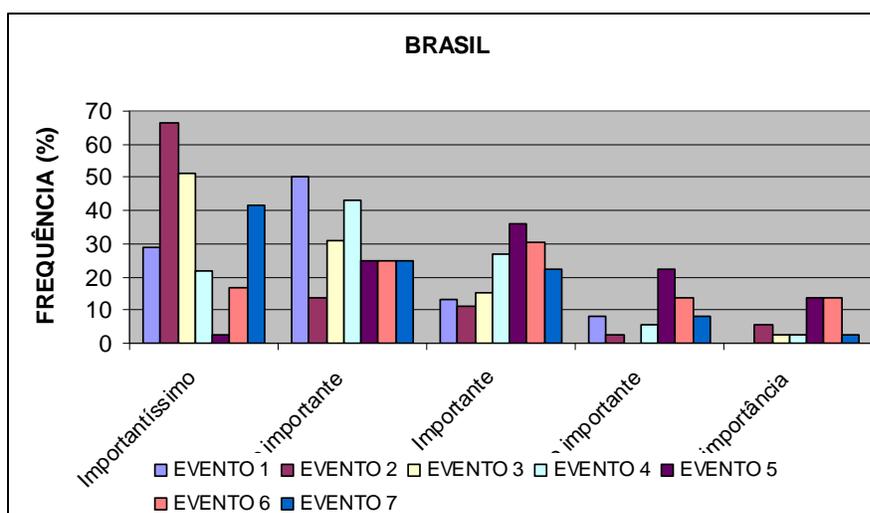


Gráfico 3.16-1 – Análise no Brasil: importância de pontos quanto a seus estudos

Pode-se constatar então que foram atribuídos de maneira expressiva as escalas *importantíssimo* ou *muito importante* aos pontos: verificação econômica do sistema; análise de deformações; detalhes de ligações; definições de contra-flecha e comportamento das lajes como diafragma rígido.

A escala *importante* preponderou quando em sua atribuição aos pontos: diminuição de tempo de execução e dificuldade em transporte vertical.

Verifica-se também que em todos os eventos propostos uma minoria atribuiu os índices de importância *pouco importante* ou *sem importância*. Isso demonstra o grande déficit existente quanto aos estudos em lajes treliçadas, necessitando esse sistema de mais pesquisas que embasem e incentivem a tomada de decisão dos projetistas estruturais quando na aplicação do mesmo.

### **3.17 Características das empresas fabricantes de lajes treliçadas**

Para traçar-se o perfil dos fabricantes de lajes treliçadas do Brasil serão avaliadas duas características: atuação do engenheiro responsável e capacitação dos fabricantes quanto ao cálculo e orientação técnica.

#### **3.17.1 Quanto à atuação do Engenheiro Responsável**

Os dados obtidos a partir dos questionários permitirão avaliar, segundo o Brasil e suas regiões, a atuação em obra dos engenheiros responsáveis pelas empresas fabricantes das lajes treliçadas, mais especificamente previamente a concretagem. A importância desta avaliação é que ela contribuirá quanto à identificação de fatores que induzem ou inibem a aplicação de lajes treliçadas em obras. Ou seja, uma baixa frequência da presença do profissional responsável em questão na obra, aumenta a probabilidade de experiências ruins quando no emprego de lajes treliçadas.

Verifica-se que houve um índice de abstenção de 10% quanto a pergunta referente à análise da característica em questão. Não foi possível constatar a partir dos questionários o porquê desta abstenção.

O Norte do país apresentou respostas igualmente divididas (equivalente a 33%

dos projetistas pesquisados) em três índices de frequência de engenheiro em obra: 0%, 20% e 50%.

O Nordeste apresentou dados que demonstram um considerável descaso quanto à avaliação da obra para a liberação da concretagem, cerca de 86% dos projetistas afirma que o engenheiro responsável quanto a este item não visita a obra (frequência de 0%). O restante dos pesquisados, em torno de 14%, afirmou que os engenheiros das empresas fabricantes visitam as obras para liberação da concretagem em 10% dos eventos.

Os questionários providos da região Centro-Oeste apresentaram respostas igualmente distribuídas (o equivalente a 25% dos projetistas pesquisados) em quatro índices de assiduidade dos engenheiros: 0%, 10%, 60% e 80%.

Na região Sudeste houve destaque quanto ao índice de 0% de frequência do engenheiro em obra, em valores: 53% dos questionados. Os demais dados quanto a assiduidade do profissional em questão foram: 26% dos projetistas indicaram ser de 10% e cerca de 7% afirmaram ser de 20%, 20% e 50%.

O Sul apresentou os seguintes dados quanto à presença em obra do engenheiro responsável da empresa fabricante de lajes: em torno de 14% atribuiu índices de 0% e 20%; 43% dos projetistas atribuiu índices de 0% e 29% dos projetistas atribuiu a tal evento um índice de 30%.

A região que apresentou o maior índice quanto à assiduidade do engenheiro da empresa fabricante de lajes treliçadas às obras foi a Centro-Oeste. Outra observação relevante é que em todas as regiões, com destaque ao Nordeste, existiram respostas de que tal índice é de 0%, fato este que revela a negligência dos fabricantes de lajes. Isto reflete negativamente na qualidade não só da estrutura em questão como da edificação como um todo. Os dados que permitiram tais constatações foram representados no gráfico 3.17.1-1.

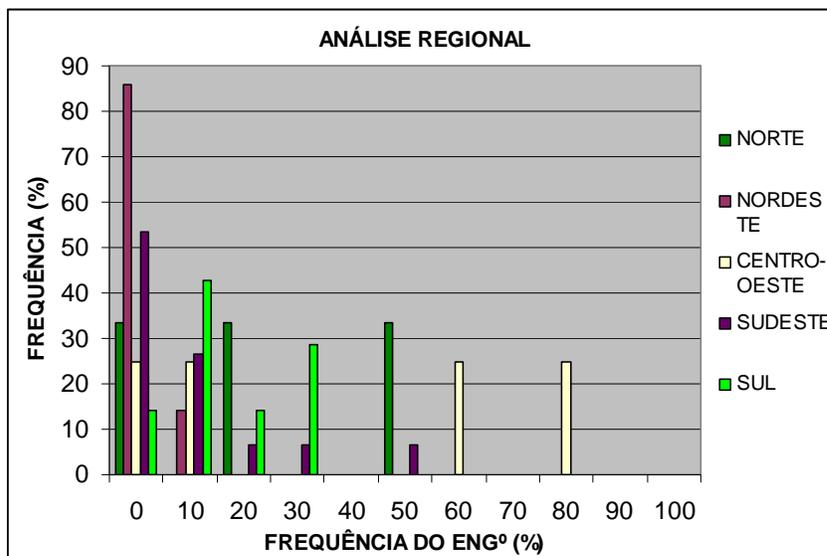


Gráfico 3.17.1-1 – Análise regional quanto à frequência do engenheiro em obras

Avaliando os questionários segundo o Brasil, verifica-se que prepondera a não presença do engenheiro da fabricante em obras para que o serviço de concretagem seja liberado; de acordo com gráfico 3.17.1-2 Esta constatação vai de encontro com as efetuadas regionalmente, o que revela que os fabricantes de lajes treliçadas do Brasil (e de suas regiões em específico) não fornecem o devido respaldo a seus clientes quanto a execução, em específico a concretagem, das lajes treliçadas. Uma análise da visão dos projetistas quanto a capacitação dos fabricantes poderá vir a confirmar ou não esta constatação.

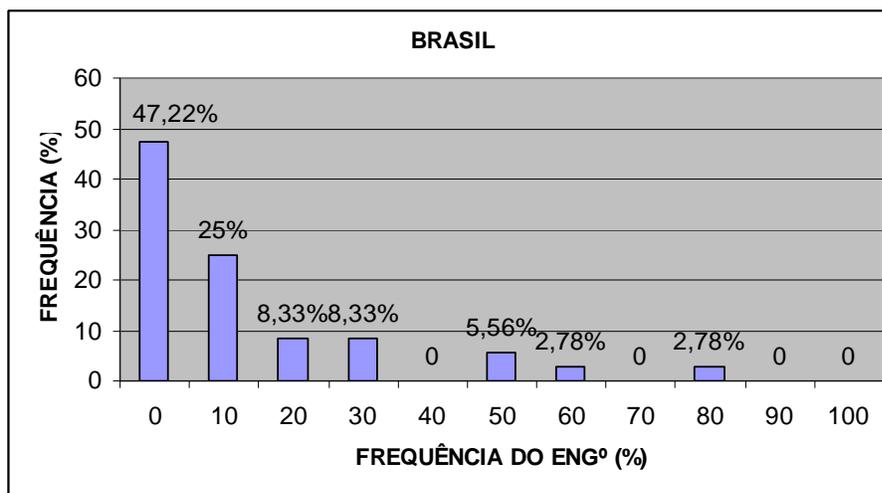


Gráfico 3.17.1-2 - Análise no Brasil quanto à frequência do engenheiro em obras.

### 3.17.2 Quanto à capacitação dos fabricantes para cálculo estrutural e orientação técnica

Quanto à capacitação dos fabricantes de lajes treliçadas foi realizada uma análise (por regiões e no Brasil) de qual categoria ela está mais bem associada: *excelente*, *bom*, *razoável*, *ruim* ou *péssimo*.

As respostas dos questionários do Norte dividiram-se igualmente, com 33% dos questionados, em três categorias de qualificação e capacitação dos fabricantes: bom, razoável e péssimo.

No Nordeste houve destaque quanto à classificação razoável, com cerca de 57% dos pesquisados; vindo em seguida a qualificação péssimo com 29% e por último a qualificação bom, com 14% dos pesquisados

A região Centro-Oeste obteve respostas quanto à qualificação dos engenheiros como ruim e péssimo, sendo cada uma atribuída por 50% dos projetistas questionados.

O Sudeste apresentou dados de grande variabilidade distribuindo-se em 4 das 5 categorias de qualificação de capacitação dos fabricantes da seguinte forma: 12,5% dos projetistas classificaram-na como bom e razoável; 44% como ruim e 31% como péssimo.

No Sul predominou a resposta ruim, com 62,5% dos projetistas; em seguida razoável com 25% e os restantes 12,5% qualificaram como péssimo a capacitação dos fabricantes quanto à orientação técnica e ao cálculo.

Nota-se que nenhuma das regiões do Brasil qualificou os fabricantes quanto ao cálculo e orientação técnica de modo excelente, enquanto que a qualificação péssimo surgiu em questionários de todas as regiões.

Os dados utilizados para as análises realizadas foram representados no gráfico 3.17.2-1.

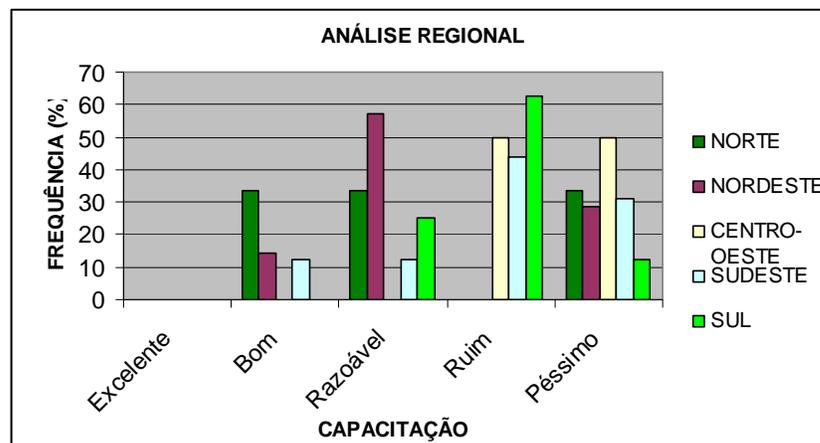


Gráfico 3.17.2-1 - Análise Regional quanto à capacitação dos fabricantes de lajes treliçadas.

No Brasil, segundo o gráfico 3.17.2-2, houve predominância da resposta ruim não aparecendo, conforme dados regionais, a resposta excelente.

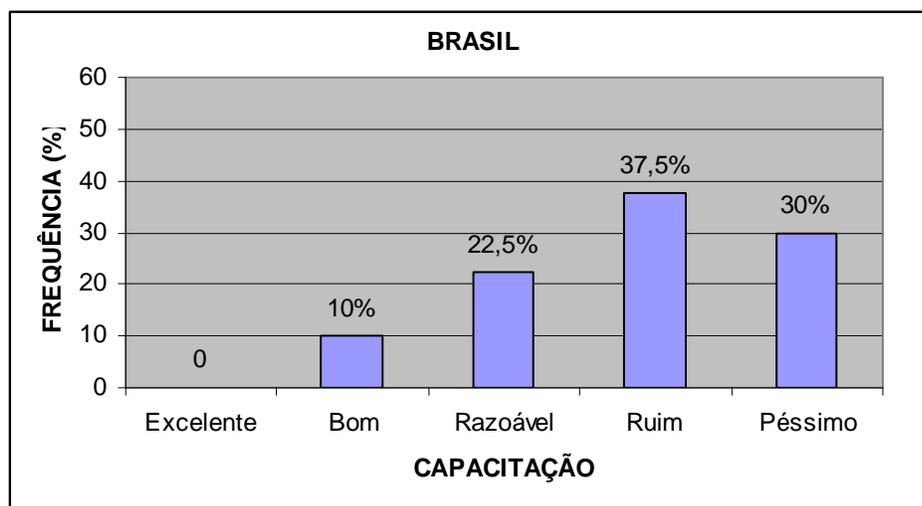


Gráfico 3.17.2-2 - Análise no Brasil quanto à capacitação dos fabricantes de lajes treliçadas.

A análise quanto à capacitação, juntamente com a anterior quanto ao engenheiro responsável, reflete que a maioria das empresas de lajes treliçadas ainda não se fundamenta na ideologia de que são e têm a responsabilidade de empresas fabricantes de pré-moldados.