

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
ESCOLA DE ENGENHARIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

**Marcel Poeta Faria**

**ESTRUTURAS PARA EDIFÍCIOS EM CONCRETO ARMADO:  
ANÁLISE COMPARATIVA DE SOLUÇÕES COM LAJES  
CONVENCIONAIS, LISAS E NERVURADAS**

Porto Alegre  
junho 2010

**MARCEL POETA FARIA**

**ESTRUTURAS PARA EDIFÍCIOS EM CONCRETO ARMADO:  
ANÁLISE COMPARATIVA DE SOLUÇÕES COM LAJES  
CONVENCIONAIS, LISAS E NERVURADAS**

Trabalho de Diplomação apresentado ao Departamento de Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro Civil

**Orientador: Ruy Alberto Cremonini**

Porto Alegre  
junho 2010

**MARCEL POETA FARIA**

**ESTRUTURAS PARA EDIFÍCIOS EM CONCRETO ARMADO:  
ANÁLISE COMPARATIVA DE SOLUÇÕES COM LAJES  
CONVENCIONAIS, LISAS E NERVURADAS**

Trabalho de Diplomação foi julgado adequado como pré-requisito para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL e aprovado em sua forma final pelo Professor Orientador e pela Coordenadora da disciplina Trabalho de Diplomação Engenharia Civil II (ENG01040) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, 15 de julho de 2010

**Prof. Ruy Alberto Cremonini**  
Dr. pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo  
Orientador

**Profa. Carin Maria Schmitt**  
Coordenadora

**BANCA EXAMINADORA**

**Eng.º. Gustavo Fanck Emer**  
Eng.º. Civil pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

**Prof. Roberto Domingos Rios**  
Dr. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

**Prof. Ruy Alberto Cremonini**  
Dr. pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

Dedico este trabalho aos meus irmãos Cristiano e Luciano,  
e especialmente aos meus pais, Ivânio e Rosane, que  
sempre me incentivaram e apoiaram e em todas minhas  
escolhas e principalmente a ser o quarto Engenheiro Civil  
da família.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço ao Prof. Ruy Alberto Cremonini, orientador deste trabalho, pela paciência e pelos conhecimentos importantes e valiosos repassados para a elaboração deste trabalho.

Agradeço à Profa. Carin Maria Schmitt, pela atenção e pelo acompanhamento e orientações durante todas etapas deste trabalho.

Agradeço aos meus pais, Ivânio Faria e Rosane Maria Poeta Faria, pela educação, carinho, incentivo, paciência, sabedoria, valores, dedicação e conhecimento, permanentemente repassados durante toda vida.

Agradeço aos meus irmãos, Cristiano Poeta Faria e Luciano Poeta Faria, pelo carinho, incentivo, paciência, companheirismo e conhecimento, em todos os momentos, sem exceções.

Agradeço às minhas cunhadas, Daniela Timm de Oliveira e Andreza Sulzbach Faria, pelo carinho e cooperação, principalmente durante o período da graduação.

Agradeço aos meus tios, José Antônio Jaeger, Rejane Maria Poeta Jaeger, José Cairú Poeta e Régis Tadeu Poeta, pelo carinho, paciência e dedicação, desde minha mudança para Porto Alegre e durante a graduação, o que me permitiu sentir mais confiante, seguro e à vontade durante todo este período.

Agradeço a Valpi Valor Produtos Imobiliários Ltda., em especial ao Eng. Gustavo Fanck Emer, pela confiança depositada e pela oportunidade de crescimento profissional e pessoal oferecida.

Agradeço aos meus colegas e amigos, Alisson Ramos Madeira, Giordano Rubert Librelotto, Jonatas Ferri Dariva, Luiz Roberto Meneghetti e Tobias Bezzi Cardoso, pelo companheirismo e pelos momentos vivenciados durante todo o período de graduação.

Agradeço aos meus amigos de Lajeado, principalmente os que fazem parte do TPM F.A., pelo companheirismo, pelos momentos vivenciados e pela compreensão por não me fazer presente em todos finais de semana durante o período de graduação.

Brincar é condição fundamental para ser sério.

*Arquimedes*

## RESUMO

FARIA, M. P. **Estruturas para edifícios em concreto armado**: análise comparativa de soluções com lajes convencionais, lisas e nervuradas. 2010. 97 f. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

Ainda que em diversas situações a escolha da alternativa estrutural de um edifício seja influenciada por diversos fatores, cabe ao engenheiro buscar, dentro destas imposições, a solução estrutural que resulte em uma maior economia. Devido ao grande número de sistemas estruturais disponíveis no mercado da construção civil, muitas vezes os profissionais não optam pela solução mais adequada, pois cada obra possui particulares que dificultam a utilização de um modelo padrão. Com base nesta questão, este trabalho busca a análise comparativa de sistemas estruturais em concreto armado de maneira quantitativa e qualitativa. As alternativas estruturais que foram objeto deste trabalho são lajes: convencionais, lisas e nervuradas. A análise se baseia em um edifício residencial na cidade de Porto Alegre e para o dimensionamento das estruturas se usou apenas o software TQS®. No primeiro momento serão abordadas, em cada alternativa, a definição, aplicação, características e recomendações, vantagens, desvantagens e a descrição do processo construtivo. Em seguida, serão apresentadas noções sobre quais aspectos de projeto devem ser considerados no momento da escolha da alternativa estrutural. O desenvolvimento, propriamente dito, aborda a adequação de cada alternativa, análise dos quantitativos, dos custos através de composições unitárias e custos médios da construção no Estado, dos métodos de cimbramentos e escoramentos empregados nas obras atuais e as interferências significativas nos canteiros de obras. Após uma comparação dos resultados obtidos, específicos para esta situação, é feita uma discussão sobre os mesmos, tendo como base os temas abordados no desenvolvimento do trabalho. Estes resultados são exclusivos para esta obra por dependerem diretamente da forma da edificação. Finalmente, conclui-se que a alternativa estrutural com lajes convencionais possui o menor custo e a menor produtividade, que as soluções com lajes lisas e nervuradas com EPS têm praticamente os mesmos custos e a mesma produtividade e que nas lajes nervuradas com cubetas tem-se o maior custo e uma produtividade entre as alternativas anteriores.

Palavras-chave: estruturas em concreto armado, sistemas estruturais; lajes convencionais; lajes lisas; lajes nervuradas.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: diagrama das etapas do projeto de pesquisa .....	18
Figura 2: representação esquemática de uma estrutura com laje convencional .....	20
Figura 3: concretagem do pilar antes da execução das demais fôrmas .....	22
Figura 4: representação esquemática de uma estrutura com laje lisa .....	25
Figura 5: representação esquemática de uma estrutura com laje nervurada bidirecional .....	30
Figura 6: disposição das armaduras na laje .....	36
Figura 7: aspecto final da laje nervurada após a retirada das cubetas .....	36
Figura 8: fachada do edifício-exemplo .....	40
Figura 9: perspectiva dos pavimentos tipo da estrutura em laje convencional .....	42
Figura 10: planta de fôrmas reduzida do pavimento tipo em laje convencional .....	43
Figura 11: perfil metálico .....	45
Figura 12: perspectiva dos pavimentos tipo da estrutura em laje lisa sem capitel .....	47
Figura 13: planta de fôrmas reduzida do pavimento tipo em laje lisa .....	48
Figura 14: sistema de reescoramento que permite a desfôrma da laje sem a necessidade de retirar as escoras do reescoramento .....	50
Figura 15: perspectiva dos pavimentos tipo da estrutura em laje nervurada com blocos de EPS .....	52
Figura 16: planta de fôrmas reduzida do pavimento tipo em laje nervurada com blocos de EPS .....	53
Figura 17: sequência de montagem do sistema para lajes lisas e nervuradas com EPS ...	55
Figura 18: perspectiva dos pavimentos tipo da estrutura em laje nervurada com cubetas de polipropileno .....	57
Figura 19: planta de fôrmas reduzida do pavimento tipo em laje nervurada com cubetas de polipropileno .....	58
Figura 20: sistema específico para lajes nervuradas com cubetas .....	60
Figura 21: comparativo dos quantitativos, por elemento estrutural, de concreto, aço e fôrmas das alternativas de lajes em concreto armado .....	62
Figura 22: custos totais de cada alternativa de laje para um ciclo de 5 dias .....	63
Figura 23: custo por área de cada alternativa de laje para um ciclo de 5 dias .....	64
Figura 24: custo diário de cada alternativa de laje para um ciclo de 5 dias .....	64
Figura 25: índice de produtividade de cada alternativa de laje .....	66
Figura 26: parâmetros de produtividade em tempos de ciclos e número de trabalhadores .....	66
Figura 27: custos totais de cada alternativa de laje para equipe de 10 trabalhadores .....	67
Figura 28: custo diário de cada alternativa de laje para equipe de 10 trabalhadores .....	67

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1: quantitativos de concreto, aço e fôrmas, por elemento estrutural, para o pavimento tipo em laje maciça convencional .....	42
Quadro 2: quantitativos e custos totais dos materiais para o pavimento tipo em laje maciça convencional .....	44
Quadro 3: quantitativos de concreto, aço e fôrmas, por elemento estrutural, para o pavimento tipo em laje maciça lisa .....	47
Quadro 4: quantitativos e custos totais dos materiais para o pavimento tipo em laje maciça lisa .....	49
Quadro 5: quantitativos de concreto, aço e fôrmas, por elemento estrutural, para o pavimento tipo em laje nervurada com blocos de EPS .....	52
Quadro 6: quantitativos e custos totais dos materiais,para o pavimento tipo em laje nervurada com blocos de EPS .....	54
Quadro 7: quantitativos de concreto, aço e fôrmas, por elemento estrutural, para o pavimento tipo em laje nervurada com cubetas de polipropileno .....	57
Quadro 8: quantitativos e custos totais dos materiais,para o pavimento tipo em laje nervurada com cubetas de polipropileno .....	59
Quadro 9: relação dos custos entre cada alternativa de laje .....	65

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	12
<b>2 MÉTODO DE PESQUISA</b> .....	15
2.1 QUESTÃO DE PESQUISA .....	15
2.2 OBJETIVOS DO TRABALHO .....	15
<b>2.2.1 Objetivo principal</b> .....	15
<b>2.2.2 Objetivos secundários</b> .....	15
2.3 PRESSUPOSTOS .....	16
2.4 DELIMITAÇÕES .....	16
2.5 LIMITAÇÕES .....	16
2.6 DELINEAMENTO DA PESQUISA .....	17
<b>3 ESTRUTURAS EM CONCRETO ARMADO: SISTEMAS CONSTRUTIVOS E CRITÉRIOS PARA ESCOLHA DE SOLUÇÕES</b> .....	19
3.1 LAJES MACIÇAS CONVENCIONAIS .....	19
<b>3.1.1 Definição e aplicação das lajes convencionais</b> .....	19
<b>3.1.2 Vantagens das lajes convencionais</b> .....	20
<b>3.1.3 Desvantagens das lajes convencionais</b> .....	21
<b>3.1.4 Processo construtivo de estruturas com lajes convencionais</b> .....	21
3.1.4.1 Montagem das fôrmas dos pilares .....	22
3.1.4.2 Montagem de fôrmas de vigas e lajes .....	22
3.1.4.3 Procedimentos para a concretagem dos pilares .....	23
3.1.4.4 Colocação das armaduras nas fôrmas de vigas e lajes .....	23
3.1.4.5 Procedimentos recomendados para lançamento do concreto nas vigas e lajes ....	24
3.1.4.6 Desfôrma .....	24
3.2 LAJES MACIÇAS LISAS .....	25
<b>3.2.1 Definição, aplicação e histórico das lajes lisas</b> .....	25
3.2.1.1 Punção .....	27
3.2.1.2 Vigas de borda .....	27
<b>3.2.2 Vantagens das lajes lisas</b> .....	28
<b>3.2.3 Desvantagens das lajes lisas</b> .....	28
<b>3.2.4 Processo construtivo de estruturas com lajes lisas</b> .....	29
3.3 LAJES NERVURADAS .....	29
<b>3.3.1 Definição e aplicação das lajes nervuradas</b> .....	30
3.3.1.1 Blocos de EPS .....	31

3.3.1.1.1 <i>Vantagens do uso dos blocos de EPS</i> .....	32
3.3.1.1.2 <i>Desvantagens do uso dos blocos de EPS</i> .....	32
3.3.1.2 <i>Cubetas de polipropileno</i> .....	32
3.3.1.2.1 <i>Vantagens do uso das cubetas de polipropileno</i> .....	33
3.3.1.2.2 <i>Desvantagens do uso das cubetas de polipropileno</i> .....	33
<b>3.3.2 Vantagens das lajes nervuradas</b> .....	33
<b>3.3.3 Desvantagens das lajes nervuradas</b> .....	34
<b>3.3.4 Processo construtivo de estruturas com lajes nervuradas</b> .....	34
3.3.4.1 <i>Etapas de montagem</i> .....	35
3.3.4.2 <i>Recomendações para a contratação do sistema de lajes nervuradas com utilização de cubetas de polipropileno</i> .....	37
<b>3.4 CRITÉRIOS PARA ESCOLHA DA SOLUÇÃO A ADOTAR</b> .....	37
<b>4 EDIFÍCIO-EXEMPLO: ANÁLISE DAS ALTERNATIVAS ESTRUTURAIS</b> ...	40
4.1 <b>ESTRUTURA COM LAJES MACIÇAS CONVENCIONAIS</b> .....	41
4.1.1 <b>Quantitativos e custos totais dos materiais da laje convencional</b> .....	44
4.1.2 <b>Métodos de cimbramento e escoramento para lajes convencionais</b> .....	45
4.1.3 <b>Interferências diretas e significativas nos canteiros de obras com lajes convencionais</b> .....	45
4.2 <b>ESTRUTURA COM LAJES MACIÇAS LISAS</b> .....	46
4.2.1 <b>Quantitativos e custos totais dos materiais da laje lisa</b> .....	49
4.2.2 <b>Métodos de cimbramento e escoramento para lajes lisas</b> .....	50
4.2.3 <b>Interferências diretas e significativas nos canteiros de obras com lajes lisas</b> ..	51
4.3 <b>ESTRUTURA COM LAJES NERVURADAS COM BLOCOS DE EPS</b> .....	51
4.3.1 <b>Quantitativos e custos totais dos materiais da laje nervurada com blocos de EPS</b> .....	54
4.3.2 <b>Métodos de cimbramento e escoramento para lajes nervuradas com blocos de EPS</b> .....	55
4.3.3 <b>Interferências diretas e significativas nos canteiros de obras com lajes nervuradas com blocos de EPS</b> .....	55
4.4 <b>ESTRUTURA COM LAJES NERVURADAS COM CUBETAS DE POLIPROPILENO</b> .....	56
4.4.1 <b>Quantitativos e custos totais dos materiais da laje nervurada com cubetas de polipropileno</b> .....	59
4.4.2 <b>Métodos de cimbramento e escoramento para lajes nervuradas com cubetas de polipropileno</b> .....	60
4.4.3 <b>Interferências diretas e significativas nos canteiros de obras com lajes nervuradas com cubetas de polipropileno</b> .....	60
<b>5 COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS</b> .....	62

<b>6 ANÁLISES FINAIS E CONCLUSÕES .....</b>	<b>69</b>
REFERÊNCIAS .....	71
APÊNDICE A .....	73
APÊNDICE B .....	82
ANEXO A .....	91
ANEXO B .....	95

## 1 INTRODUÇÃO

Atualmente, a construção civil vive um grande momento. Apesar da crise mundial que iniciou em 2008 e já em 2009 deu mostras de enfraquecimento, o cenário é tratado como um novo ciclo de crescimento do mercado imobiliário. Com esse crescimento, tanto projetistas quanto construtores têm se preocupado em buscar soluções mais econômicas que as convencionais. Isto é feito porque fatores como linhas arquitetônicas, sistemas construtivos e disponibilidade de materiais na região influenciam de maneira considerável no custo das obras.

No passado, a simples adoção por uma estrutura convencional, com lajes maciças convencionais, era uma solução normal, sem maiores problemas, visto que, segundo Spohr (2008, p. 13), estas estruturas eram construídas com vãos relativamente pequenos e sujeitas apenas a cargas distribuídas. Neste contexto, as lajes nervuradas surgem como alternativa estrutural eficiente frente aos ousados projetos arquitetônicos comerciais, residenciais ou industriais. A concepção da laje nervurada permite vencer amplos vãos em consequência da exclusão do volume de concreto entre as nervuras e diminuição do peso próprio da estrutura sem afetar a sua resistência. Assim, as funções exercidas pelo aço e pelo próprio concreto tornam-se mais eficientes.

Outra alternativa, muito semelhante à estrutura convencional, é a estrutura com lajes lisas. As lajes lisas podem ser descritas como placas que se apóiam diretamente sobre os pilares, podendo ou não, ter vigas de borda ou um aumento de espessura da laje ao redor dos pilares para combater o efeito da punção. A diferenciação desta alternativa está na ausência de vigas nas partes internas da edificação, que é suprida pelo aumento da espessura das lajes em questão. Consequentemente, este panorama permite, quando previsto estruturalmente, maior flexibilidade arquitetônica no interior dos pavimentos.

Tendo em vista que reduzir custos na construção de empreendimentos torna-se cada vez mais indispensável, empresas do setor da construção civil vêm buscando um conhecimento maior de novas técnicas que proporcionem atenuar as perdas e reduzir os custos das obras. Quando se trata de lajes essa economia pode ser muito mais significativa tendo em vista que uma redução se refletirá na repetição de pavimentos e o resultado trará vantagens financeiras

consideráveis. Tal vantagem não fica apenas ligada à economia de materiais, mas também na redução do tempo de execução que a escolha poderá proporcionar.

De acordo com Albuquerque (1999, p. 1), a evolução do processo construtivo começa pela qualidade dos projetos, e entre os projetos elaborados para a construção civil, destaca-se o estrutural. O projeto estrutural, individualmente, responde pela etapa de maior representatividade no custo total da construção (15 a 20% do custo total). Justifica-se então um estudo prévio para a escolha do sistema estrutural a ser adotado, pois sabe-se que uma redução de 10% no custo da estrutura pode representar, no custo total, uma diminuição de 2%. Em termos práticos, 2% do custo total correspondem, por exemplo, à execução de toda etapa de pintura ou a todos os serviços de movimento de terra, soleiras, rodapés, peitoris e coberta juntos.

Devido ao grande número de alternativas estruturais encontradas no mercado os engenheiros devem optar pelo tipo mais adequado para a situação em questão. No entanto, em muitos casos esta escolha não passa por critérios adequados. Quando se trata de uma análise comparativa entre alternativas estruturais, são levados em consideração somente custos em função dos insumos, quando o mais correto seria, além do custo dos materiais da estrutura, analisar-se a mão de obra, tempo de execução e as interferências de cada alternativa na execução da obra.

Diante disso, neste trabalho pretendeu-se elaborar uma comparação, com critérios adequados, entre alguns sistemas estruturais usuais, para posteriormente ter a análise correta e embasada destas alternativas. Não se desejou levar a uma conclusão de uma solução ideal e única, mas apresentar resultados para um determinado edifício com o propósito de servir como parâmetro na elaboração de projetos.

A partir de um edifício-exemplo, as opções de projeto estrutural para lajes desenvolvidas para a análise nesse trabalho foram as seguintes:

- a) maciças convencionais;
- b) maciças lisas;
- c) nervuradas bidirecionais com uso de blocos de EPS;
- d) nervuradas bidirecionais com uso de cubetas de polipropileno.

Para o dimensionamento de cada alternativa foi utilizada a ferramenta computacional CAD/TQS®, um software amplamente utilizado em escritórios de projeto de estruturas. Estes cálculos foram supervisionados por engenheiros civis de um escritório de cálculo estrutural, na cidade de Porto Alegre. Com quase 30 anos de atuação no ramo, este escritório contabiliza mais de 1.000 obras em Porto Alegre, interior do Estado, Brasília, São Paulo, Paraná, Santa Catarina, Goiás e Punta del Este (Uruguai).

No segundo capítulo tem-se a apresentação do método de pesquisa do trabalho, incluindo a questão de pesquisa, objetivos, pressupostos, delimitações, limitações e delineamento que orientaram a realização deste trabalho. O terceiro capítulo mostra uma revisão bibliográfica sobre diversos temas relacionados aos sistemas construtivos de estruturas em concreto armado, apresentando definição, aplicação, vantagens, desvantagens e processo construtivo de cada alternativa de laje estudada.

No quarto capítulo realiza-se a análise das alternativas de lajes a partir do projeto original em lajes convencionais. Apresentam-se, para o pavimento tipo de cada solução estrutural, a perspectiva, a planta de fôrmas, os quantitativos, o custo global, os métodos de cimbramentos e escoramentos e as interferências diretas e significativas nos canteiros de obras. No quinto capítulo apresenta-se a comparação dos resultados obtidos e uma discussão sobre os mesmos, tendo como base os consumos de concreto, aço e fôrmas, custos totais, métodos de cimbramentos e escoramentos e as interferências significativas, de cada alternativa, no canteiro de obras. Por fim, no sexto e último capítulo, apresentam-se as análises e conclusões finais do trabalho.

## **2 MÉTODO DE PESQUISA**

### **2.1 QUESTÃO DE PESQUISA**

A questão de pesquisa deste trabalho é: variando-se a alternativa de laje para o pavimento tipo de um edifício residencial, como, comparativamente, podem-se analisar os resultados quanto aos custos da estrutura, os métodos de cimbramento e escoramento e as interferências no canteiro de obras de cada alternativa?

### **2.2 OBJETIVOS DO TRABALHO**

Os objetivos do trabalho estão classificados em principal e secundários e são apresentados nos próximos itens.

#### **2.2.1 Objetivo principal**

O objetivo principal deste trabalho é a análise comparativa dos custos da estrutura, dos métodos de cimbramento e escoramento e das interferências significativas no canteiro de obras, variando-se a alternativa de laje.

#### **2.2.2 Objetivos secundários**

Os objetivos secundários deste trabalho são as descrições dos procedimentos construtivos na execução de estruturas com lajes:

- a) maciças convencionais;

- b) maciças lisas;
- c) nervuradas.

## 2.3 PRESSUPOSTOS

Como pressupostos da pesquisa, admite-se que:

- a) as composições unitárias consultadas na TCPO (TABELAS..., 2008) são válidas e corretas;
- b) as informações, técnicas e procedimentos coletados de fornecedores de sistema de cimbramento e escoramento representam a realidade;
- c) os projetos estruturais do edifício-exemplo, na sua versão original e nas demais alternativas, estão dimensionados de maneira correta e válida.

## 2.4 DELIMITAÇÕES

O trabalho fica delimitado a um edifício residencial de nove pavimentos, na cidade de Porto Alegre, considerando-se a mesma resistência característica do concreto e planta baixa de fôrmas utilizadas na versão original do projeto em concreto armado com laje convencional.

## 2.5 LIMITAÇÕES

Como limitação do estudo proposto está o fato de, no dimensionamento estrutural de cada alternativa de laje, utilizar-se somente a ferramenta computacional CAD/TQS®. As composições unitárias de armaduras para aços CA-50 serão utilizadas também para aços CA-60. Serão utilizados preços unitários médios do Estado, consultados no Guia da Construção (GUIA..., 2010). Demais limitações estão relacionadas às variáveis utilizadas na comparação das alternativas de laje e são abaixo apresentadas:

- a) custo da estrutura (fôrmas, concreto, aço, mão de obra, materiais utilizados, etc.) e quantitativos de materiais do pavimento tipo analisado;
- b) métodos de cimbramentos e escoramentos;
- c) vantagens e interferências significativas, a serem definidas, das alternativas do estudo de caso.

## 2.6 DELINEAMENTO DA PESQUISA

O trabalho foi desenvolvido através das seguintes etapas:

- a) pesquisa bibliográfica;
- b) descrição das soluções estruturais;
- c) escolha e apresentação do edifício-exemplo;
- d) dimensionamento das soluções estruturais;
- e) levantamento e avaliação do consumo de materiais;
- f) avaliação de custos através de composições unitárias de custos;
- g) avaliação dos métodos de escoramento, desfôrma e reescoramento;
- h) avaliação das características relevantes de cada solução no canteiro de obras;
- i) comparação dos resultados;
- j) análise final e conclusões.

Na figura 1 apresenta-se a sequência de etapas de como o trabalho foi desenvolvido. Cada etapa será detalhada nos itens a seguir.

Na **pesquisa bibliográfica** buscou-se dissertações a respeito de análise de alternativas de lajes, livros específicos de estruturas de concreto armado e artigos técnicos publicados em revistas direcionadas para o campo da Engenharia. Em **descrição das soluções estruturais**, com base no edifício selecionado, foram definidas as alternativas de laje que seriam comparadas.

Na **escolha e apresentação do edifício-exemplo** foi feita a apresentação edifício selecionado para o desenvolvimento do estudo. A partir de cada solução de laje fez-se o **dimensionamento das soluções estruturais**, para um pavimento tipo, de acordo com as particularidades de cada solução em estudo.

Com os projetos de cada alternativa obtidos na etapa de dimensionamento das lajes, fez-se o **levantamento e avaliação do consumo de materiais**, quantificando aço, concreto e fôrmas necessárias para a realização das estruturas e, avaliou-se, comparativamente, a quantidade de insumos para cada uma das alternativas de lajes. Com base nos quantitativos levantados na etapa anterior e em composições consultadas, realiza-se a **avaliação de custos através de composições unitárias de custos**, avaliando-se o custo global da estrutura para cada solução.

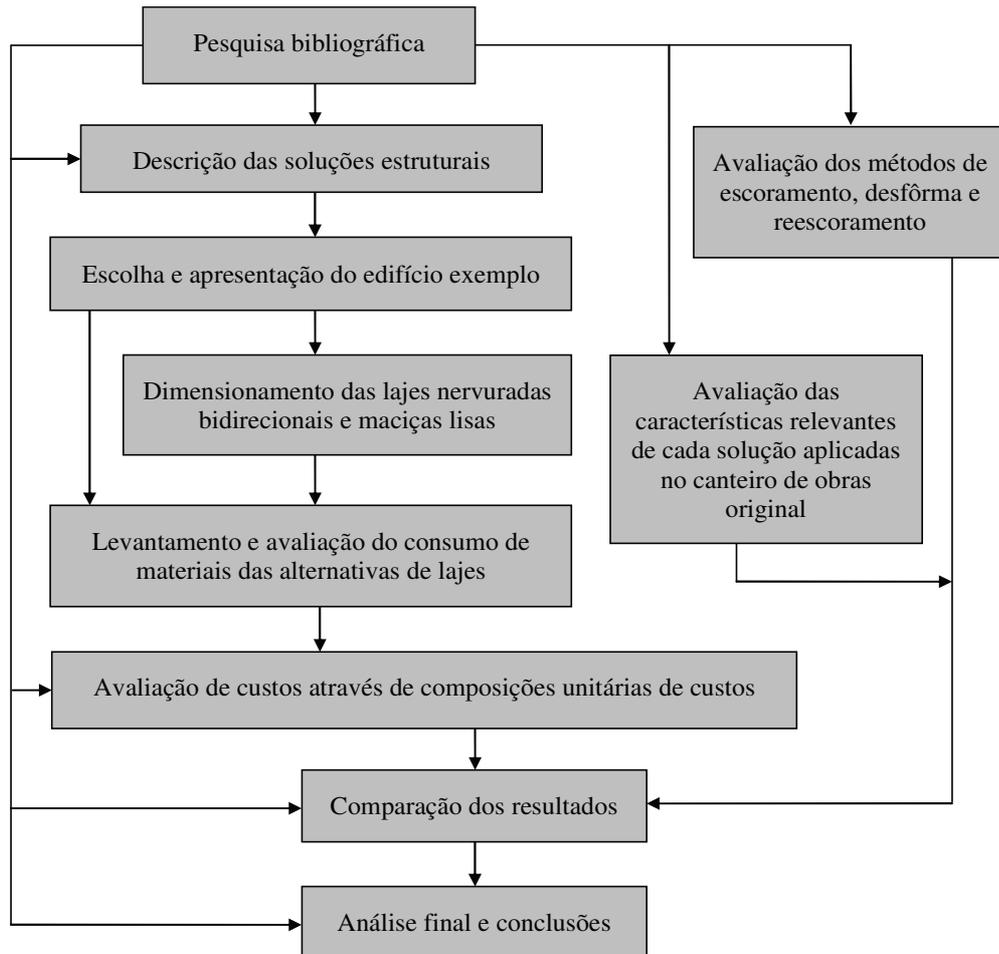


Figura 1: diagrama das etapas do projeto de pesquisa

Em **avaliação dos métodos de escoramento, desfôrma e reescoramento**, com base em cadernos técnicos de fornecedores de sistema de cimbramento e escoramento, avaliou-se qual a diferença de métodos de escoramento, de tempo médio para desfôrma e de métodos de reescoramento nas soluções apresentadas no trabalho. Com base nas vantagens e desvantagens estudadas na pesquisa bibliográfica, fez-se a **avaliação das características relevantes de cada solução aplicadas no canteiro de obras original**.

Na etapa **comparação dos resultados** realizaram-se, através de gráficos e tabelas, a comparação das soluções estudadas. Na **análise final e conclusões**, através da análise dos dados obtidos e informações coletadas, foi feita a comparação entre as alternativas de lajes estudadas nos quesitos indicados e, puderam-se apontar quais destas alternativas tiveram melhor desempenho em cada quesito.

### **3 ESTRUTURAS EM CONCRETO ARMADO: SISTEMAS CONSTRUTIVOS E CRITÉRIOS PARA ESCOLHA DE SOLUÇÕES**

Os sistemas construtivos de estruturas em concreto armado apresentados no trabalho são os com lajes convencionais, nervuradas e lisas e são descritos nos próximos itens, bem como condições de qualidades a serem observadas no momento da escolha da solução estrutural.

#### **3.1 LAJES MACIÇAS CONVENCIONAIS**

As lajes maciças convencionais serão apresentadas através de sua definição e aplicação, suas vantagens e desvantagens e seu processo construtivo, sendo todos detalhados nos próximos subitens.

##### **3.1.1 Definição e aplicação das lajes convencionais**

Por definição, “As lajes convencionais são placas de espessura uniforme, apoiadas ao longo do seu contorno. Os apoios podem ser constituídos por vigas ou por alvenarias, sendo este tipo de laje predominante nos edifícios residenciais onde os vãos são relativamente pequenos.” (ARAÚJO, 2003a, p. 2).

Segundo Spohr (2008, p. 31) a laje maciça convencional não é adequada para vencer grandes vãos. Ele recomenda como prática usual adotar-se como vão médio econômico um valor entre 3,5 e 5 m. Spohr (2008, p. 30) define, basicamente, como sendo um sistema convencional:

[...] aquele que pode ser constituído basicamente por lajes convencionais, vigas e pilares, sendo que as lajes recebem os carregamentos oriundos da utilização, ou seja, das pessoas, móveis acrescidos de seu peso próprio, os quais são transmitidos às vigas, que por sua vez descarregam seus esforços aos pilares e esses às fundações.

Na figura 2 está a representação de uma laje convencional.

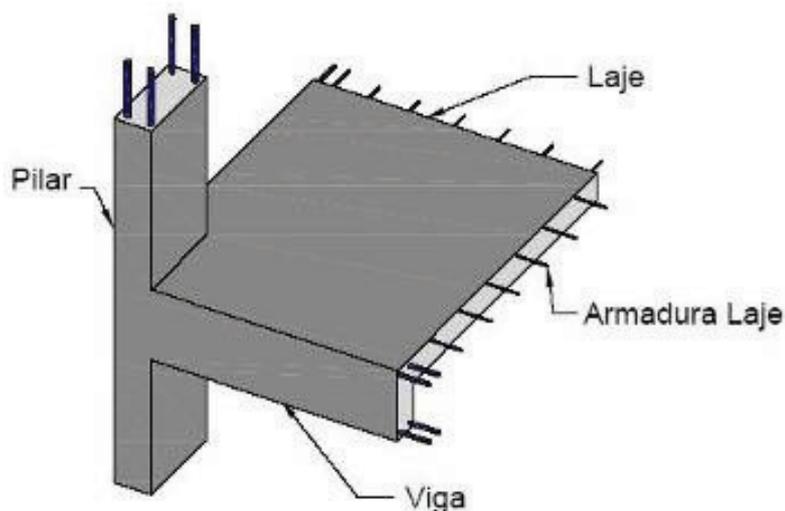


Figura 2: representação esquemática de uma estrutura com laje convencional (SPOHR, 2008, p. 30)

### 3.1.2 Vantagens das lajes convencionais

Como vantagens das lajes convencionais podem-se citar:

- a) a existência de muitas vigas forma muitos pórticos, que garantem uma boa rigidez à estrutura de contraventamento (ALBUQUERQUE, 1999, p. 21);
- b) foi durante anos o sistema estrutural mais utilizado nas construções de concreto, por isso a mão de obra já é bastante treinada (ALBUQUERQUE, 1999, p. 23);
- c) em geral, facilidade no lançamento e adensamento do concreto (trabalho não publicado)<sup>1</sup>;
- d) não necessidade de área para depósito de material inerte (trabalho não publicado)<sup>2</sup>;
- e) possibilidade de descontinuidade em sua superfície (trabalho não publicado)<sup>3</sup>.

---

1 Informação obtida em versão resumida da dissertação Análise Comparativa entre Lajes Maciças, com Vigotes Pré-Moldados e Nervuradas, de Sérgio C. B. Nappi, no curso de Engenharia de Produção da Universidade Federal de Santa Catarina, 1993.

2 Idem.

3 Idem.

### 3.1.3 Desvantagens das lajes convencionais

Algumas desvantagens desse sistema são:

- a) alto consumo de madeira para fôrmas e escoramento (trabalho não publicado)<sup>4</sup>;
- b) devido aos limites impostos, apresenta uma grande quantidade de vigas, fato esse que deixa a fôrma do pavimento muito recortada, diminuindo a produtividade da construção (ALBUQUERQUE, 1999, p. 21);
- c) os recortes diminuem o reaproveitamento das fôrmas (ALBUQUERQUE, 1999, p. 21);
- d) tempos de execução das fôrmas e tempo de desfôrma muito grandes (trabalho não publicado)<sup>5</sup>;
- e) apresenta grande consumo de concreto, aço e fôrmas (ALBUQUERQUE, 1999, p. 21);
- f) uso de concreto em locais onde o mesmo não é solicitado (trabalho não publicado)<sup>6</sup>.

### 3.1.4 Processo construtivo de estruturas com lajes convencionais

Em Barros e Melhado (2006, p. 72) encontram-se basicamente os seguintes passos para a produção da estrutura:

- a) montagem das fôrmas e armaduras dos pilares;
- b) montagem das fôrmas de vigas e lajes;
- c) concretagem dos pilares;
- d) montagem da armadura de vigas e lajes;
- e) concretagem de vigas e lajes;
- f) desfôrma.

---

4 Informação obtida em versão resumida da dissertação Análise Comparativa entre Lajes Maciças, com Vigotes Pré-Moldados e Nervuradas, de Sérgio C. B. Nappi, no curso de Engenharia de Produção da Universidade Federal de Santa Catarina, 1993.

5 Idem.

6 Idem.

### 3.1.4.1 Montagem das fôrmas dos pilares

Em Barros e Melhado (2006, p. 72-73) recomendam-se os seguintes procedimentos:

- a) locação de ganchos de pé de pilar, os quais deverão circunscrever os painéis das faces;
- b) posicionamento das três faces do pilar, nivelando e aprumando cada uma das faces com o auxílio de escoras inclinadas;
- c) posicionamento da armadura, com espaçadores, segundo o projeto;
- d) fechamento, nivelamento, prumo e escoramento da 4ª face.

Finalizada a etapa de montagem dos pilares, estes podem ser concretados sem que se tenha executado as fôrmas de vigas e lajes (figura 3).



Figura 3: concretagem do pilar antes da execução das demais fôrmas

### 3.1.4.2 Montagem de fôrmas de vigas e lajes

Finalizados os pilares tem início a montagem das fôrmas de vigas e lajes. Barros e Melhado (2006, p. 77) recomendam que sejam seguidos os seguintes procedimentos:

- a) montagem dos fundos de viga apoiados sobre os pontaletes, cavaletes ou garfos;
- b) posicionamento das laterais das vigas, das guias, dos travessões e pés-direitos de apoio dos painéis de laje;
- c) distribuição e fixação dos painéis de laje e colocação das escoras das faixas de laje;
- d) alinhamento das escoras e nivelamento das vigas e lajes;
- e) limpeza geral e liberação da fôrma para a colocação da armadura.

#### 3.1.4.3 Procedimentos para a concretagem dos pilares

Primeiramente, deve-se salientar que esta etapa pode ser executada antes da montagem das fôrmas de vigas e lajes, etapa apresentada no item anterior. O concreto dos pilares poderá ser produzido tanto em obra quanto em usina. Porém, segundo Barros e Melhado (2006, p. 81), seja qual for a sua procedência, deverá ser devidamente controlado antes de sua aplicação.

Conforme os autores, quando o concreto for transportado com bomba, seu lançamento no pilar é realizado diretamente, com o auxílio de um funil. Quando o transporte é feito através de caçambas ou jericas, é comum primeiro colocar o concreto sobre uma chapa de compensado junto à boca do pilar e, em seguida, lançar o concreto para dentro dele. Os autores recomendam o lançamento do concreto no pilar deva ser feito por camadas não superiores a 50 cm, devendo-se vibrar, utilizando vibrador de agulha, cada camada expulsando os vazios.

#### 3.1.4.4 Colocação das armaduras nas fôrmas de vigas e lajes

Finalizada a concretagem dos pilares tem início a colocação das armaduras nas fôrmas de vigas e lajes. Segundo Barros e Melhado (2006, p. 83), considerando-se que as armaduras estejam previamente cortadas e pré-montadas, tendo sido devidamente controlado o seu preparo, tem início o seu posicionamento nas fôrmas, recomendando-se observar os seguintes procedimentos:

- a) antes de colocar a armadura da viga e da laje nas fôrmas, deve-se colocar os espaçadores de acordo com projeto;

- b) marcar as posições e montar a armadura nas vigas e lajes.

#### 3.1.4.5 Procedimentos recomendados para lançamento do concreto nas vigas e lajes

Em Barros e Melhado (2006, p. 85-86) recomenda-se:

- a) lançar o concreto diretamente sobre a laje e espalhar com auxílio de pás e enxadas;
- b) lançar o concreto nas vigas, sempre que possível, diretamente com a bomba, caso contrário, utilizar jericas e auxiliando com pás e enxadas;
- c) adensamento com vibrador e sarrafeamento do concreto;
- d) acabamento com desempenadeira e início da cura da laje logo que for possível andar sobre o concreto.

#### 3.1.4.6 Desfôrma

De acordo com a NBR 14.931 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004b, p. 23), “Fôrmas e escoramentos devem ser removidos de acordo com o plano de desfôrma previamente estabelecido e de maneira a não comprometer a segurança e o desempenho em serviço da estrutura.”. A Norma prossegue recomendando que escoramentos e fôrmas não devam ser removidos, em nenhum caso, até que o concreto tenha adquirido resistência suficiente para:

- a) suportar a carga imposta ao elemento estrutural nesse estágio;
- b) evitar deformações que excedam as tolerâncias especificadas;
- c) resistir a danos para a superfície durante a remoção.

A Norma conclui direcionando ao responsável pelo projeto da estrutura a responsabilidade de informar ao designado pela execução da obra os valores mínimos de resistência à compressão e módulo de elasticidade que devem ser obedecidos simultaneamente para a retirada das fôrmas e do escoramento, além da necessidade de um plano particular de retirada do escoramento.

## 3.2 LAJES MACIÇAS LISAS

As lajes maciças convencionais serão apresentadas através de sua definição, aplicação e histórico, suas vantagens, desvantagens e particularidades importantes (punção e vigas de borda) e seu processo construtivo, sendo todos detalhados nos próximos subitens.

### 3.2.1 Definição, aplicação e histórico das lajes lisas

De acordo com Leonhardt e Mönning (1978, p. 121) e a NBR 6.118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004a, p. 86), são lajes maciças que se apóiam diretamente sobre pilares sem capitéis<sup>7</sup>. Antigamente, segundo Fusco (1995, p. 265), essas lajes eram providas de capitéis sobre os pilares, por isso se deve o nome laje-cogumelo, como também são conhecidas. O autor ainda cita que hoje em dia os capitéis estão em desuso, mas o nome de laje-cogumelo ainda é empregado. A figura 4 representa uma laje lisa.

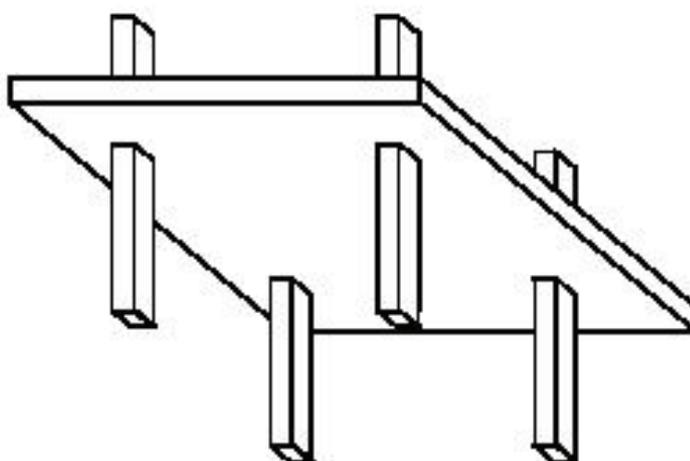


Figura 4: representação esquemática de uma estrutura com laje lisa sem capitel (MELGES, 1995, p. 1)

Henrichs (2003, p. 33) cita que a crescente aplicação de lajes lisas em estruturas de edifícios se deve a exigência de estruturas com melhor desempenho executivo, ou seja, de execução

---

<sup>7</sup> Capitéis: regiões em torno dos pilares na quais há um aumento de espessura da laje.

mais simples e rápida e com redução de custos; e melhor desempenho funcional, permitindo que se tenham ambientes mais confortáveis e personalizados. Por este motivo é que, segundo Araújo (2003b, p. 160), atualmente, tem-se evitado o emprego de lajes com capitéis, devido às dificuldades de execução das fôrmas. Dessa maneira, empregam-se lajes lisas, as quais são projetadas com uma espessura suficiente para garantir a sua resistência à punção.

De acordo com Branco<sup>8</sup> (1989 apud ALBUQUERQUE, 1999, p. 44) e Figueiredo Filho<sup>9</sup> (1989 apud HENNRICHS, 2003, p. 31), o primeiro edifício em lajes lisas foi o C. A. Bovey Building, construído por Turner, em 1906, Minneapolis, Minnesota. A obra foi executada com este sistema em virtude da necessidade de se obter um teto totalmente liso. Nos Estados Unidos da América também foi onde ocorreu o primeiro acidente grave com esse tipo de estrutura. Foi o desabamento do Prest-O-Lite Building, em Indianápolis, Indiana, em dezembro de 1911, quando nove pessoas morreram e outras vinte ficaram gravemente feridas.

Conforme Leonhardt e Mönning (1978, p. 122):

Lajes de pisos sem vigas, apoiadas em pilares esbeltos, devem se apoiar, para resistir a esforços horizontais, em paredes estruturais ou em núcleos rígidos (como poços de elevador), porque o efeito de pórtico nessas lajes é fraco e dificilmente consegue-se solucionar construtivamente problemas de introdução de grandes momentos nas extremidades.

Segundo a NBR 6.118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004a, p. 67), deve-se respeitar a espessura mínima de 16 cm em lajes maciças lisas. Araújo (2003b, p. 160) recomenda que “Sempre que possível, os pilares devem ser dispostos em filas ortogonais, de maneira regular e com vãos pouco diferentes, o que simplifica o cálculo dos esforços, além de melhorar o comportamento estrutural.”. Este sistema possui também como principais características o uso de vigas de borda, fortemente recomendado para melhorar o efeito de pórtico, e a preocupação com a punção da laje pelos pilares que a sustentam. Tais características serão detalhadas a seguir.

---

8 BRANCO, A. F. V. C. Contribuição para o projeto de lajes-cogumelo. 1989. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Carlos, São Carlos.

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

### 3.2.1.1 Punção

De acordo com Melges (1995, p. 21):

O fenômeno da punção de uma placa é basicamente a sua perfuração devida às altas tensões de cisalhamento, provocadas por forças concentradas ou agindo em pequenas áreas. Nos edifícios com lajes-cogumelo, esta forma de ruína pode se dar na ligação da laje com os pilares, onde a reação do pilar pode provocar a perfuração da laje.

Segundo Leonhardt e Mönning (1978, p. 124) quando estas tensões são elevadas, as fissuras propagam-se como fissuras de cisalhamento, com uma inclinação de 30° a 35°, o que pode levar a estrutura a romper bruscamente. Para reduzir essas tensões de cisalhamento, conforme Araújo (2003b, p. 159), pode-se alargar as seções de topo dos pilares, o que dá origem aos capitéis.

### 3.2.1.2 Vigas de borda

É importante observar que grande parte das possíveis deficiências estruturais das lajes lisas estão localizadas nas bordas e particularmente em seus cantos. O emprego de vigas de borda na laje é providência sempre recomendável (FUSCO, 1995, p. 268). O autor ainda cita que a falta dessas vigas de periferia tem levado a manifestações patológicas em estruturas com que utilizam este sistema.

Segundo Albuquerque (1999, p. 45), com a utilização mais frequente das lajes lisas, observou-se que a utilização de vigas nas bordas do pavimento traziam uma série de vantagens, sem com isso prejudicar o conceito da ausência de recortes na fôrma do pavimento:

- a) não prejudicam a arquitetura;
- b) formam pórticos para resistir às ações laterais;
- c) impedem deslocamentos excessivos nas bordas;
- d) eliminam a necessidade de verificação de punção em alguns pilares.

### 3.2.2 Vantagens das lajes lisas

As principais vantagens que podem ser citadas, conforme Moretto<sup>10</sup> (1975 apud HENNRICHS, 2003, p. 29-30) e Figueiredo Filho<sup>11</sup> (1989 apud HENNRICHS, 2003, p. 29-30) são:

- a) grandes possibilidades de reformas e modificações futuras – quando previstas em projeto –, racionalização de vedações e aberturas, execução de fachadas com grande liberdade;
- b) menor consumo de materiais, as fôrmas apresentam um plano contínuo sem obstáculos, as espessuras das lajes podem ser uniformizadas, as fôrmas são montadas e desmontadas com maior facilidade, menor incidência de mão de obra, racionalização e padronização dos cimbramentos;
- c) simplificam e racionalizam as armaduras pela ausência de vigas, operações de corte, dobra e montagem facilitadas, facilidade de inspeção e conferência;
- d) simplificam a concretagem pelos poucos recortes nas lajes, facilitando o acesso de vibradores, reduzindo a possibilidade de falhas e melhorando o acabamento;
- e) podem resultar na redução da quantidade de cimento (quando concreto produzido em obra), pois na concretagem de sistemas convencionais onde há grande incidência de vigas pode ser necessário um concreto mais fluído;
- f) simplificam as instalações pela menor quantidade de condutos e fios necessários, menor incidência de cortes e emendas, modificações futuras são facilitadas, possibilidade de perfuração da laje para passagem de tubulação;
- g) a ausência de vigas facilita a insolação e ventilação dos ambientes, diminuindo a umidade, redução do acúmulo de sujeira e insetos;
- h) reduzem do tempo de execução em função da simplificação nas fôrmas, armaduras, concretagem e instalações.

### 3.2.3 Desvantagens das lajes lisas

Apesar das vantagens citadas, segundo Araújo (2003b, p. 160-161), as lajes lisas não devem ser empregadas sem uma análise criteriosa. No caso dos edifícios residenciais, normalmente não há uma disposição regular dos pilares e a solução em laje lisa pode ser antieconômica. Além disso, o autor lembra que a ausência das vigas torna a estrutura muito deformável frente às ações horizontais, o que é um sério problema em edifícios altos. Nesses casos, de acordo

<sup>10</sup> MORETTO, O. **Curso de hormigão armado**. 2. ed. Buenos Aires: Libreria El Ateneo, 1975.

<sup>11</sup> FIGUEIREDO FILHO, J. R. **Sistemas estruturais de lajes sem vigas**: subsídios para o projeto e execução. 1989. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Carlos, São Carlos.

com o autor, torna-se necessário projetar elementos de contraventamento, como paredes estruturais ou núcleos rígidos na região da escada e dos poços de elevadores.

Em síntese, as principais desvantagens são:

- a) menor rigidez da estrutura às ações laterais em relação aos outros sistemas estruturais, devido ao número reduzido de pórticos (ALBUQUERQUE, 1999, p. 53);
- b) funcionamento da laje pelos pilares é um dos principais problemas de tais lajes, podendo ser solucionado adotando-se uma espessura de laje adequada ou adotando uma armadura de punção, ou ambos (HENNRICHS, 2003, p. 30);
- c) em geral, maior consumo de aço e concreto (ALBUQUERQUE, 1999, p. 53);
- d) o deslocamento de lajes sem vigas, para uma mesma rigidez e um mesmo vão, é maior do que aqueles nas lajes sobre vigas (HENNRICHS, 2003, p. 30).

### **3.2.4 Processo construtivo de estruturas com lajes lisas**

No caso da estrutura de concreto armado com lajes maciças lisas, o processo construtivo é de fato praticamente o mesmo ao apresentado para as lajes maciças convencionais. Além dos nomes (laje maciça convencional e laje maciça lisa) similares, tanto a concepção quanto o processo construtivo das lajes também são. Com o fato de não existirem vigas nas lajes lisas – excluindo-se o caso das vigas de borda – pode-se levar ao raciocínio de eliminar os procedimentos de montagem de fôrmas e armaduras para as vigas internas. Porém, as demais etapas seriam consideradas idênticas e aplicáveis para este caso. Portanto, não se reproduzirá novamente todo o processo já detalhado anteriormente, apenas considerá-lo aplicável para a execução de estruturas com lajes lisas.

## **3.3 LAJES NERVURADAS**

As lajes nervuradas serão apresentadas através de sua definição, aplicação e utilização com blocos de EPS ou cubetas de polipropileno, suas vantagens e desvantagens e seu processo construtivo, sendo todos detalhados nos próximos subitens.

### 3.3.1 Definição e aplicação das lajes nervuradas

Segundo Araújo (2003b, p. 143), os pisos dos edifícios de concreto armado, usualmente, são projetados em lajes convencionais. Entretanto, o autor cita que quando os vãos são grandes essa solução pode ser antieconômica, em virtude da elevada espessura da laje. Diante disso, a solução em laje convencional pode exigir espessuras tão grandes que a maior parte do carregamento passa a ser constituída por seu peso próprio. Neste caso, conforme Araújo, (2003a, p. 2), as lajes nervuradas, empregadas para vencer grandes vãos, geralmente superiores a 8 m, são as mais adequadas. A figura 5 representa uma laje nervurada.

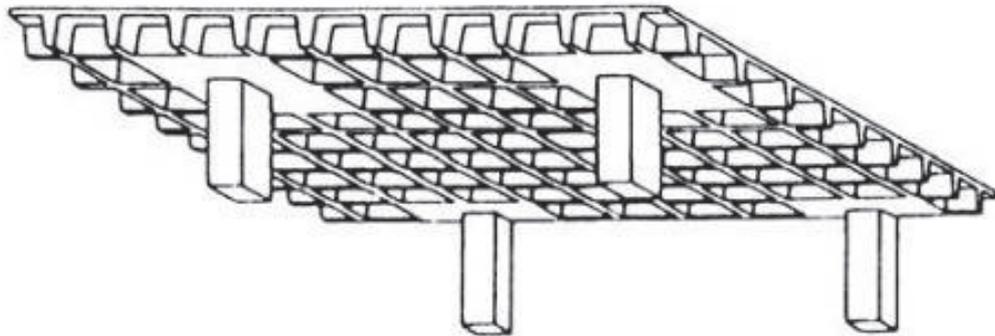


Figura 5: representação esquemática de uma estrutura com laje nervurada bidirecional (MELGES, 1995, p. 18)

Conforme a NBR 6.118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004a, p. 86), as “Lajes nervuradas são 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.”. As lajes nervuradas podem ser unidirecionais ou bidirecionais, sendo a segunda especificação a condição de análise para este tipo de laje. Na laje bidirecional, nervuras principais nas duas direções constituem a laje nervurada. Segundo Albuquerque (1999, p. 24), “O fato de as armaduras serem responsáveis pelos esforços resistentes de tração permite que a zona tracionada seja discretizada em forma de nervuras, não comprometendo a zona comprimida, que será resistida pela mesa de concreto.”.

As lajes nervuradas adaptam-se a qualquer tipo de estrutura, tais como (SPOHR, 2008, p. 36):

- a) prédios residenciais e comerciais;

- b) garagens, indústrias e shopping Centers;
- c) escolas, hospitais e hotéis.

De acordo com Fusco (1995, p. 263), as lajes nervuradas podem ser calculadas como se fossem lajes convencionais, desde que se observem as seguintes restrições:

- a) a distância livre entre nervuras não deve ultrapassar 100 cm e, para se evitar a armadura de cisalhamento das nervuras, não deve ultrapassar 50 cm;
- b) a espessura das nervuras deve ter no mínimo 4 cm;
- c) a espessura da mesa (capa) não deve ser inferior a 4 cm nem a 1/15 da distância livre entre nervuras.

Para aliviar o peso próprio da laje adotam-se nervuras que, conseqüentemente, eliminam uma parcela do concreto da zona tracionada. Entre as nervuras são utilizados materiais que tenham peso específico não superior ao peso específico do concreto. Estes materiais podem ser materiais inertes perdidos com a concretagem ou fôrmas reaproveitáveis em forma de caixotes (cubetas). Segundo Albuquerque (1999, p. 24) tijolos cerâmicos, blocos de cimentos e blocos de EPS (*Expanded Poly-Styrene*, no português Poliestireno Expandido) são os mais utilizados como materiais inertes e os caixotes na sua maioria são feitos de polipropileno ou de metal. O presente trabalho abordará as lajes nervuradas bidirecionais com uso de blocos de EPS como material inerte e cubetas de polipropileno como fôrmas.

### 3.3.1.1 Blocos de EPS

Segundo Silva (2002, p. 18) tem-se a seguinte definição para os blocos de EPS:

EPS é sigla padronizada pela ISO - Internacional Organization for Standardization para o poliestireno expansível. No Brasil, é mais conhecido como isopor, marca registrada de uma empresa. Descoberto pelos químicos Fritz Stastny e Karl Buchholz em 1949, na Alemanha, este derivado do petróleo é um monômero polimerizado em meio aquoso, que recebe uma adição de gás pentano (inofensivo à natureza) – agente expensor. O EPS é industrializado em “pérolas” milimétricas, capazes de expandir-se até 50 vezes quando expostas ao vapor d’água. O resultado é uma espuma rígida formada por 98% de ar e apenas 2% de poliestireno. Em 1 m<sup>3</sup> de EPS há 3 a 6 bilhões de células fechadas e cheias de ar, que impedem a passagem de líquidos como a água.

### 3.3.1.1.1 Vantagens do uso dos blocos de EPS

Em síntese, o EPS possui as seguintes vantagens (SILVA, 2002, p. 21-22):

- a) **para o engenheiro de estruturas**, possibilita a execução de estruturas leves, gerando redução no custo dos materiais nos diversos elementos estruturais;
- b) **para o construtor**, gera facilidade no transporte das peças, proporcionando redução do volume de mão de obra e aumento de produtividade;
- c) **para o arquiteto**, fornece condições de construções com amplos vãos livres, desfrutando de conforto térmico acompanhado de redução no consumo de energia elétrica;
- d) **para o proprietário**, resulta em edificações mais econômicas confortáveis.

### 3.3.1.1.2 Desvantagens do uso dos blocos de EPS

Silva (2002, p. 22) cita algumas desvantagens do emprego do EPS em lajes nervuradas:

- a) por apresentar baixo peso específico, o processo de concretagem torna-se complicado, em virtude da tendência dos blocos emergirem no concreto;
- b) incorporam, de certa forma, relativa carga permanente à laje, quando comparado com fôrmas constituídas de moldes de polipropileno;
- c) o EPS não pode receber diretamente o revestimento, devendo ser feito com chapisco, utilizando-se um aditivo de base acrílica (PVA).

### 3.3.1.2 Cubetas de polipropileno

Para Silva (2002, p. 25) as cubetas:

São moldes, em polipropileno, desenvolvidos especialmente para construção de lajes nervuradas. Esta tecnologia foi desenvolvida na Inglaterra há mais de 30 anos e é utilizada hoje em mais de 30 países, inclusive no Brasil. Eles são comercializados por algumas empresas em regime de locação e por outras em regime de vendas. Segundo informações de uma empresa que comercializa moldes para lajes nervuradas em regime de venda, a vida útil de cada molde é de 100 utilizações e em apenas 13, o construtor já reaverá o capital empregado na compra, comparando-se com o preço de locação praticado no mercado.

### *3.3.1.2.1 Vantagens do uso das cubetas de polipropileno*

Conforme Albuquerque (1999, p. 34), “A utilização dos caixotes [...] traz como vantagens: o fato desses elementos não onerarem o peso próprio da estrutura e a presença do forro falso, que permite a passagem de dutos de instalações não embutidos na estrutura.”. Silva (2002, p. 26) cita vantagens do emprego de fôrmas de polipropileno em lajes nervuradas:

- a) não incorporam peso à laje e por serem leves, facilitam o manuseio na obra;
- b) atendem a diversos tipos de projetos, pois são encontradas com diversas dimensões e alturas;
- c) a montagem e a desfôrma são extremamente fáceis, uma vez que seja utilizado o método no qual podem ser apoiadas diretamente sobre o escoramento, assim, eliminando a necessidade do uso de compensado;
- d) a laje apresenta bom aspecto após executada, não sendo necessária a aplicação de nenhum revestimento.

### *3.3.1.2.2 Desvantagens do uso das cubetas de polipropileno*

De acordo com Silva (2002, p. 29), “Alguns arquitetos não aprovam o uso deste sistema pelo fato de a face inferior da laje não apresentar uma superfície plana, acarretando a necessidade do emprego de forros, aumentando o custo do sistema.”.

## **3.3.2 Vantagens das lajes nervuradas**

Nas lajes nervuradas observam-se a seguintes vantagens:

- a) a maior inércia em relação às lajes convencionais possibilita o aumento dos vãos entre pilares, facilitando os projetos e criando maior área de manobras nos estacionamentos (SPOHR, 2008, p. 37);
- b) pode-se definir um pavimento com poucas lajes, devido à sua capacidade de vencer grandes vãos (ALBUQUERQUE, 1999, p. 32);
- c) maior facilidade na execução, uma vez que as vigas são embutidas na própria laje (sem vigas altas), evitando-se recortes e agilizando-se os serviços de montagem das fôrmas (SPOHR, 2008, p. 37);
- d) o fato de ter poucas vigas faz com que a estrutura não interfira muito na arquitetura (ALBUQUERQUE, 1999, p. 32);

- e) os pilares podem ser distribuídos de acordo com as necessidades do projeto arquitetônico, sem a necessidade de alinhamento (SPOHR, 2008, p. 37);
- f) quando associadas a um sistema de fôrmas industrializadas aceleram muito o processo construtivo, chegando a um ciclo médio de execução de sete dias por pavimentos com aproximadamente 450,00 m<sup>2</sup> (SPOHR, 2008, p. 37).

### 3.3.3 Desvantagens das lajes nervuradas

A seguir, algumas desvantagens do uso de lajes nervuradas:

- a) o custo de locação dessas fôrmas pode inviabilizar o sistema, caso o cronograma não seja cumprido (ARAÚJO, 2008, p. 25);
- b) necessária mão de obra qualificada para não onerar custos e prejudicar a produtividade (ARAÚJO, 2008, p. 25);
- c) dificuldade na instalação de tubulações, devendo optar por sistemas que eliminem ou minimizem este tipo de ação (ARAÚJO, 2008, p. 25);
- d) o sistema de escoramento deve ser compatível com a montagem das fôrmas para evitar a perda da rigidez do sistema (ARAÚJO, 2008, p. 25).
- e) maior consumo de aço (trabalho não publicado)<sup>12</sup>;
- f) exigir maiores cuidados durante a concretagem (trabalho não publicado)<sup>13</sup>;
- g) consumo de material inerte cujo preço pode ser elevado, ou na ausência deste, maior consumo de fôrmas (trabalho não publicado)<sup>14</sup>;
- h) necessidade de espaço para a estocagem do material inerte (trabalho não publicado)<sup>15</sup>.

### 3.3.4 Processo construtivo de estruturas com lajes nervuradas

O processo construtivo de uma estrutura de concreto armado com lajes nervuradas, seja com blocos de EPS, seja com cubetas de polipropileno, é muito semelhante ao processo construtivo, já apresentado, com lajes maciças convencionais. Isto se deve à única – e principal – diferença entre as duas soluções: as lajes. Isolando-se as etapas que envolvem

---

12 Informação obtida em versão resumida da dissertação Análise Comparativa entre Lajes Maciças, com Vigotes Pré-Moldados e Nervuradas, de Sérgio C. B. Nappi, no curso de Engenharia de Produção da Universidade Federal de Santa Catarina, 1993.

13 Idem.

14 Idem.

15 Idem.

diretamente a laje nervurada (montagem das fôrmas e armaduras e concretagem das lajes), as demais etapas são praticamente idênticas.

Portanto, seria desnecessário reproduzir novamente todos os procedimentos já detalhados anteriormente. No entanto, com foco apenas na laje nervurada propriamente dita, são detalhados, a seguir, os processos para lajes nervuradas utilizando cubetas de polipropileno.

#### 3.3.4.1 Etapas de montagem

Segundo Araújo (2008, p. 17):

Antes da instalação das fôrmas, é necessária a colocação e montagem do escoramento e barroteamento de acordo com os espaços definidos no projeto de fôrmas. Geralmente é adotado um sistema de escoramento metálico, fornecido por empresas especializadas, especialmente para esse tipo de sistema construtivo, que permite a remoção da fôrma sem retirar as escoras.

Nakamura (2008, p. 13) chama a atenção para que, antes de cada uso, seja aplicado à forma um líquido desmoldante, para a conservação da peça contra eventuais deteriorizações e obter uma desfôrma mais fácil e com um melhor acabamento. Após, conforme Araújo (2008, p. 19), deve-se proceder à colocação das armaduras, começando pelas armaduras das nervuras e, posteriormente, as armaduras da capa, ambas conforme indicação do projetista (figura 6). De acordo com autor, nos encontros das lajes nervuradas com os pilares, faz-se necessário o aumento da espessura da laje, criando uma região maciça, para absorver os esforços provenientes do efeito da punção.

Concluídas as etapas apresentadas, a laje está apta para ser concreta. O processo de concretagem nesta alternativa é semelhante ao processo descrito para as lajes convencionais. Araújo (2008, p. 20) recomenda que para esse método construtivo o uso de um concreto com boa plasticidade, em virtude da maior densidade de armaduras neste sistema.

O processo de cura e desfôrma devem ser realizados de acordo com as especificações normatizadas. O passo seguinte é o da retirada das cubetas. Esse processo pode ser facilitado quando utilizado ar comprimido. Outra forma de removê-la, conforme Araújo (2008, p. 21), é utilizando cunha de madeira ou martelo de borracha, pois outras maneiras podem danificar ou até inutilizar as peças. De acordo com o autor, após a retirada das fôrmas, aguarda-se a cura

completa do concreto que ocorre em, aproximadamente, 28 dias (figura 7). Então, é possível a retirada total do escoramento e a laje encontra-se finalizada.



Figura 6: disposição das armaduras na laje



Figura 7: aspecto final da laje nervurada após a retirada das cubetas

Desta forma, Araújo (2008, p. 22) finaliza:

A última etapa resume-se à limpeza das cubas plásticas. Para isso deve ser removido o concreto que se aderem principalmente, às bordas inferiores da fôrma. Jamais devem ser usadas espátulas ou escovas de aço para retirada desse material. Por isso, é fundamental a utilização de desmoldante para que esse material não fique fixado junto à superfície da forma. O armazenamento deve ser feito à sombra, em pilhas de no máximo 15 peças, até sua próxima utilização.

#### 3.3.4.2 Recomendações para a contratação do sistema de lajes nervuradas com utilização de cubetas de polipropileno

De acordo com Cichinelli (2008, p. 33), a contratação da mão de obra para este sistema deve ser encarada como ponto importante no bom andamento do processo. Segundo o projetista estrutural Ricardo França, algumas precauções devem ser tomadas quando o construtor preferir pela cobrança por metros cúbicos de concreto lançados, pois como este sistema requer amplos vãos livres, qualquer modificação na altura da capa da laje pode acarretar em custos adicionais. Para evitar esse entrave, o construtor tem optado por contratações de mão de obra própria e paga por hora.

Conforme Araújo (2008, p. 24):

Outro item importante a ser observado se refere à aplicação das fôrmas propriamente dita. Como, geralmente, esses moldes são fornecidos pelas empresas à construtora por meio de locação, é importante observar os prazos para que o aluguel não se torna um problema e inviabilize o sistema.

### 3.4 CRITÉRIOS PARA ESCOLHA DA SOLUÇÃO A ADOTAR

Durante a fase de anteprojetos, uma etapa de compatibilização realizada de maneira eficiente é imprescindível para um perfeito andamento dos serviços até o final da obra. De acordo com Spohr (2008, p. 18), a interação entre os projetos arquitetônico, estrutural, de instalações e outros, tem importância fundamental para que a construção atenda os requisitos básicos de funcionalidade, durabilidade e estética.

Foi com este objetivo que Laranjeiras<sup>16</sup> (1995 apud ALBUQUERQUE, 1999, p. 17) elaborou, para a Construtora Suarez, normas internas sobre condições de qualidade a serem observadas na execução de projetos de estruturas de concreto armado de edifícios:

- a) segurança e durabilidade;
- b) arquitetônicas;
- c) funcionais;
- d) construtivas;
- e) estruturais;
- f) integração com os demais projetos;
- g) econômicas.

Laranjeiras<sup>17</sup> (1995 apud ALBUQUERQUE, 1999, p. 18) explica que as condições de **segurança e durabilidade** referem-se à necessidade da estrutura de:

- a) resistir a todas as ações e outras influências ambientais passíveis de acontecer durante as fases de construção e de utilização;
- b) comportar-se adequadamente sob as condições previstas de uso, durante determinado tempo de sua existência.

O autor complementa que **a segurança e a durabilidade** dependem ambas da qualidade dos detalhes da armadura, com vistas a evitar rupturas localizadas e a favorecer boas condições de adensamento do concreto. Laranjeiras<sup>18</sup> (1995 apud ALBUQUERQUE, 1999, p. 18) prossegue referindo-se como condições **arquitetônicas** impostas ao projeto estrutural, as constantes do projeto arquitetônico. As condições **funcionais** referem-se às finalidades e ao uso previsto para a estrutura. As condições **construtivas** implicam a compatibilização do projeto estrutural com os métodos, procedimentos e etapas construtivas previstas. Sobre as condições **estruturais**, o autor destaca que:

[...] referem-se basicamente à adequação das soluções estruturais adotadas, caracterizada pela escolha apropriada das características dos materiais; do sistema estrutural para resistir às ações verticais e às ações horizontais; do tipo de fundação;

---

16 LARANJEIRAS, A. C. R. Execução de projetos de estruturas de concreto armado de edifícios. Salvador: Construtora Suarez, 1995. Norma interna.

17 Idem.

18 Idem.

da estrutura de laje com ou sem vigas, nervuradas, pré-fabricadas; dos apoios, articulações, ligações entre os elementos estruturais, etc.

O autor prossegue, esclarecendo que as condições de **integração com os demais projetos**, referem-se à necessidade de prever rebaixos, furos, shafts ou dispor as peças estruturais de modo a viabilizar e compatibilizar a coexistência da estrutura com estes demais sistemas. Já as condições **econômicas** estão associadas à necessidade de otimizar os custos de investimento, relacionados às manutenções da estrutura em uso e compatibilização desses custos com os prazos desejados.

Pensando nisso, quando se deseja avaliar mais de uma alternativa estrutural, engenheiros devem relacionar os custos destas alternativas a itens que extrapolam os insumos ligados à estrutura propriamente dita. Por fim, Silva (2002, p. 7) salienta que ao se mensurar, de maneira correta e confiável, o custo de uma estrutura, além do volume de concreto, do peso de aço e da área de fôrmas, devem ser levados em consideração os seguintes itens:

- a) tempo despendido na execução;
- b) materiais empregados especificamente no sistema estrutural adotado;
- c) mão de obra;
- d) reutilização das fôrmas.

## 4 EDIFÍCIO-EXEMPLO: ANÁLISE DAS ALTERNATIVAS ESTRUTURAIS

O edifício-exemplo e seu projeto estrutural foram cedidos, respectivamente, por uma incorporadora e construtora e um escritório de cálculo estrutural, ambos da cidade de Porto Alegre. O empreendimento situa-se no Bairro Menino Deus, também na cidade de Porto Alegre, Rio Grande do Sul. Trata-se de um edifício residencial, com 9 pavimentos, sendo dois subsolos, térreo, 5 pavimentos tipo e uma cobertura. O presente trabalho ficou restrito ao estudo do pavimento tipo. Este é constituído por dois apartamentos de dois dormitórios e dois apartamentos de três dormitórios, além de áreas condominiais, totalizando 316 m<sup>2</sup> neste pavimento tipo. A figura 8 apresenta a fachada do edifício-exemplo.



Figura 8: fachada do edifício-exemplo

Nos próximos itens será apresentado o projeto na sua versão original em lajes convencionais, bem como as demais alternativas de lajes obtidas através de adaptações em sequência, a partir

deste projeto original da solução estrutural com lajes em concreto armado. Para cada alternativa, serão apresentados os seguintes tópicos:

- a) composições unitárias de custos utilizadas, quantitativos totais obtidos pelas composições consultadas e por levantamentos, custos unitários de todos materiais envolvidos nos processos e o custo total do processo;
- b) métodos de cimbramentos e escoramentos;
- c) interferências diretas e significativas nos canteiros de obras.

Com base nos dados dos quadros 1, 2, 3 e 4, utilizou-se as composições de preços, convenientes, da TCPO (TABELAS..., 2008) para se chegar aos quantitativos referentes ao pavimento tipo. Como as composições de mão de obra são para lajes convencionais, para demais alternativas, estes valores foram corrigidos pelos índices de produtividade apresentados no trabalho. Logo após, consultou-se o Guia da Construção (GUIA..., 2010) para levantamentos de todos os preços unitários (exceto os valores de aço, espaçadores, fabricação, montagem e desmontagem de fôrmas, blocos de EPS, cubetas de polipropileno e forros de gesso, pesquisados durante o mês de abril de 2010, no mercado da construção civil). No anexo A estão todas as composições utilizadas no levantamento.

Para os detalhamentos dos métodos de cimbramento e escoramento do trabalho, foram consultados catálogos e profissionais de duas empresas de cimbramentos e escoramentos. A empresa A possui sede em Cachoeirinha, no Rio Grande do Sul, e a empresa B tem sua sede no Rio de Janeiro (mas com atuação em Porto Alegre). Com base na planta de fôrmas do pavimento tipo de cada alternativa de laje, as empresas forneceram quantitativos de materiais, custo de locação mensal e custo da compra dos materiais utilizados no projeto, informações de técnicas mais utilizadas neste campo, vantagens do sistema indicado e índice de produtividade, em homem-hora (Hh), do sistema.

#### 4.1 ESTRUTURA COM LAJES MACIÇAS CONVENCIONAIS

A concepção estrutural utilizada para projeto e construção do edifício-exemplo foi de lajes maciças convencionais. Na figura 9 tem-se a perspectiva da estrutura em lajes convencionais, disponibilizada pelo programa de cálculo CAD/TQS®. Através da perspectiva, nota-se claramente as vigas internas e externas, grande número de pilares nos pavimento e espessura

da laje relativamente pequena, em comparação à altura das vigas; características fundamentais e importantes do sistema.

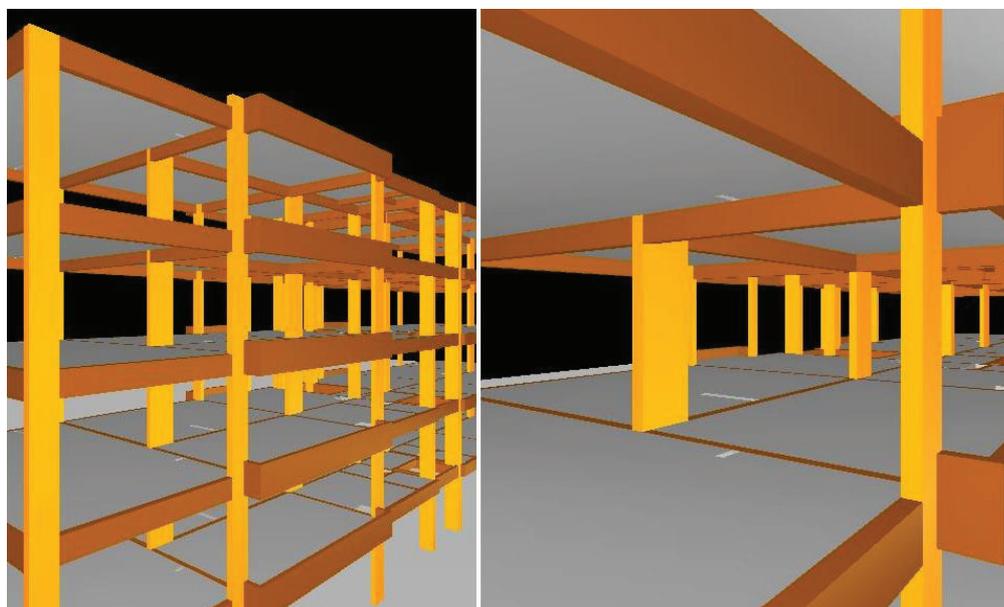


Figura 9: perspectiva dos pavimentos tipo da estrutura em laje convencional

Com o pressuposto de que o projeto estrutural da versão original está dimensionado de maneira correta e válida, obtém-se os quantitativos de concreto, aço e fôrmas dos elementos estruturais constituintes da alternativa através do quadro 1. A figura 10 representa, em planta, o pavimento tipo do edifício-exemplo em lajes convencionais.

LAJE CONVENCIONAL	Concreto (m <sup>3</sup> )	Aço (kg)	Fôrmas (m <sup>2</sup> )
Vigas	14,48	1.528,00	181,02
Pilares	8,23	903,00	120,95
Lajes	35,90	1.645,00	271,06
<b>TOTAL</b>	<b>58,61</b>	<b>4.076,00</b>	<b>573,03</b>

Quadro 1: quantitativos de concreto, aço e fôrmas, por elemento estrutural, para o pavimento tipo em laje maciça convencional (trabalho não publicado<sup>19</sup>)

<sup>19</sup> Informações fornecidas pelo escritório de cálculo estrutural.

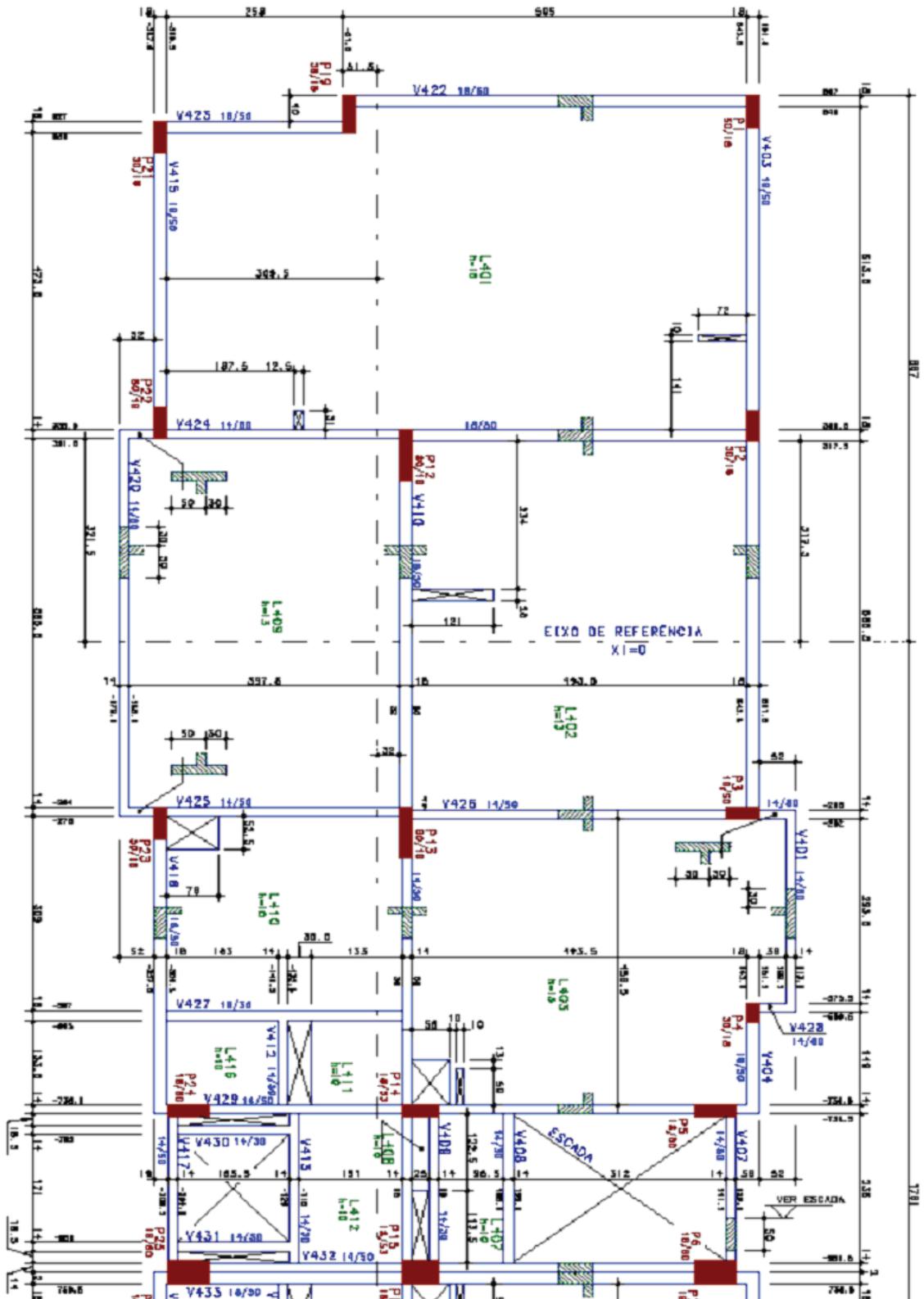


Figura 10: planta de fôrmas reduzida do pavimento tipo em laje convencional<sup>20</sup>

20 Planta de fôrmas do edifício-exemplo na sua versão original, elaborado e detalhado pelo próprio escritório de cálculo estrutural. Por possuir simetria, a planta foi reduzida. Formato original e dimensões no apêndice B.

Estruturas para edifícios em concreto armado: análise comparativa de soluções com lajes convencionais, e lisas e nervuradas

#### 4.1.1 Quantitativos e custos totais dos materiais da laje convencional

No apêndice A, o quadro APA-1<sup>21</sup> mostra os dados completos dos consumos, quantidades e custos de todos componentes envolvidos na produção da laje convencional. Assim, tem-se o quadro 2, com os custos de cada componente e um custo total de R\$ 50.162,91 para o pavimento tipo com laje maciça convencional.

Componente	Custo total
Ajudante de armador	R\$ 84,43
Ajudante de carpinteiro	R\$ 263,54
Arame galvanizado (bitola: 12 BWG)	R\$ 198,33
Arame recozido (diâmetro do fio: 1,25 mm / bitola: 18 BWG)	R\$ 460,59
Armador	R\$ 797,29
Barra de aço CA-50 (bitola: 10 mm)	R\$ 770,13
Barra de aço CA-50 (bitola: 12,5 mm)	R\$ 2.751,17
Barra de aço CA-50 (bitola: 16 mm)	R\$ 3.330,56
Barra de aço CA-50 (bitola: 20 mm)	R\$ 833,57
Barra de aço CA-50 (bitola: 6,3 mm)	R\$ 4.775,48
Barra de aço CA-50 (bitola: 8 mm)	R\$ 1.825,74
Barra de aço CA-60 (bitola: 5 mm)	R\$ 2.274,45
Carpinteiro	R\$ 1.303,33
Chapa compensada plastificada (espessura: 12 mm)	R\$ 3.287,14
Concreto dosado em central convencional brita 1 e 2	R\$ 18.478,77
Desmoldante de fôrmas para concreto	R\$ 346,93
Desmontagem de fôrma feita em obra para lajes, em chapa compensada plastificada, e=12 mm	R\$ 902,10
Desmontagem de fôrma feita em obra para pilares, em chapa compensada plastificada, e=12 mm	R\$ 402,53
Desmontagem de fôrma feita em obra para vigas, em chapa compensada plastificada, e=12 mm	R\$ 602,44
Espaçador circular de plástico para pilares, fundo e laterais de vigas, lajes, pisos e estacas (cobrimento: 30 mm)	R\$ 2.669,34
Fabricação de fôrma feita em obra para lajes, em chapa compensada plastificada, e=12 mm	R\$ 99,83
Fabricação de fôrma feita em obra para pilares, em chapa compensada plastificada, e=12 mm	R\$ 44,55
Fabricação de fôrma feita em obra para vigas, em chapa compensada plastificada, e=12 mm	R\$ 66,67
Montagem de fôrma feita em obra para lajes, em chapa compensada plastificada, e=12 mm	R\$ 902,10
Montagem de fôrma feita em obra para pilares, em chapa compensada plastificada, e=12 mm	R\$ 402,53
Montagem de fôrma feita em obra para vigas, em chapa compensada plastificada, e=12 mm	R\$ 602,44
Pedreiro	R\$ 322,82
Pontaletes 3" x 3" (altura: 75 mm / largura: 75 mm)	R\$ 386,68
Prego 15 x 15 com cabeça (comprimento: 34,5 mm / diâmetro da cabeça: 2,4 mm)	R\$ 68,85
Prego 17 x 21 com cabeça (comprimento: 48,3 mm / diâmetro da cabeça: 3,0 mm)	R\$ 23,48
Prego 17 x 27 com cabeça dupla (comprimento: 62,1 mm / diâmetro da cabeça: 3,0 mm)	R\$ 242,76
Sarrafo 1" x 3" (altura: 75 mm / espessura: 25 mm)	R\$ 201,60
Servente	R\$ 219,33
Tábua 1" x 6" (espessura: 25 mm / largura: 150 mm)	R\$ 50,48
Tábua 1" x 8" (espessura: 25 mm / largura: 200 mm)	R\$ 66,01
Vibrador de imersão, elétrico, potência 1 HP (0,75 kW) - vida útil 20.000 h	R\$ 104,91

Quadro 2: custos totais dos materiais para o pavimento tipo em laje maciça convencional

<sup>21</sup> Nos componentes das lajes convencionais e demais alternativas que constam no apêndice A, ao serem apresentados mais de um consumo para este mesmo insumo, indicam-se coeficientes diferentes e específicos para cada elemento estrutural (laje, viga e pilar).

#### 4.1.2 Métodos de cimbramento e escoramento para lajes convencionais

Para este caso, foi considerado um sistema de escoramento industrializado e não o sistema artesanal com escoras de madeiras. A empresa A apresentou os custos mensais de locação e compra que são, respectivamente, R\$ 3.205,06 e R\$ 48.740,92 (anexo B – quadro AXB-1). A empresa B recomenda, para as lajes convencionais, o simples uso de escoras metálicas e perfis metálicos de cimbramento, ambos comuns na construção civil. Para este sistema, o índice de produtividade do sistema é de **2,80 Hh/m<sup>2</sup>**. Como vantagens, está o uso de escoramentos metálicos, os quais contam com ajuste milimétrico e o uso de perfil metálico (figura 11), que permite fixação do compensado de fundo de laje. Desta forma, o sistema não chega a ser muito sofisticado, pois necessita do fornecimento de compensado para forração de laje.



Figura 11: perfil metálico  
(SH FÔRMAS, ANDAIMES E ESCORAMENTOS LTDA., 2009, p. 13)

#### 4.1.3 Interferências diretas e significativas nos canteiros de obras com lajes convencionais

Um sistema estrutural com lajes convencionais é evidentemente mais usual do que as demais alternativas em questão. Basta agora saber qual é o impacto de cada uma delas no canteiro de obras original do edifício-exemplo, um edifício residencial.

Quando opta-se por esta solução, fundamenta-se no fato de ter sido, durante anos, o sistema estrutural mais utilizado nas construções de concreto, por isso a mão de obra já é bastante treinada. Diante disto, uma mão de obra bem treinada pode, de certa forma, executar com certa qualidade. Considerando um ciclo, para o pavimento tipo de 316 m<sup>2</sup>, de 5 dias (ou 44 horas semanais) e o índice de produtividade de 2,80 Hh/m<sup>2</sup> apresentado no item anterior, seriam necessários 20 trabalhadores. Ou se fosse disponibilizada uma mão de obra com, por exemplo, 10 funcionários, o ciclo passaria para 88 horas, ou 10 dias úteis, de produção do pavimento tipo.

No entanto o que mais se leva em consideração, quando opta-se por este sistema em comparação, especificamente, as lajes nervuradas, é a vantagem da não necessidade de área para depósito de material inerte. Isso porque, invariavelmente, seja nas lajes nervuradas com blocos de EPS ou com cubetas de polipropileno, se teria mais de um conjunto destes materiais, por pavimento, algo que ocuparia um espaço considerável do estoque do canteiro. Principalmente no uso dos blocos de EPS, já que estes permanecem na estrutura após a concretagem, não sendo reaproveitados a cada dois, ou três pavimentos, levando, desta maneira a um estoque, fixo e mínimo, de blocos para três pavimentos, por exemplo.

Por outro lado, tem-se que considerar as desvantagens de que devido a grande quantidade de vigas, a fôrma do pavimento torna-se muito recortada, o que acaba diminuindo a produtividade da construção e o reaproveitamento das fôrmas.

## 4.2 ESTRUTURA COM LAJES MACIÇAS LISAS

A partir da planta de fôrmas do projeto estrutural do pavimento tipo, na versão original, foram feitas as modificações necessárias, com o intuito de se adaptar para a solução com lajes maciças lisas. Na perspectiva da estrutura com lajes lisas (figura 12) pode-se ter uma noção maior das transformações realizadas no projeto original. Por meio desta, pode-se visualizar as modificações referidas, que são a retirada das vigas internas e aumento da espessura da laje, em relação à altura das vigas, para uma altura suficiente que suportasse os esforços previstos. As vigas externas foram mantidas, como recomenda Albuquerque (1999, p. 45).

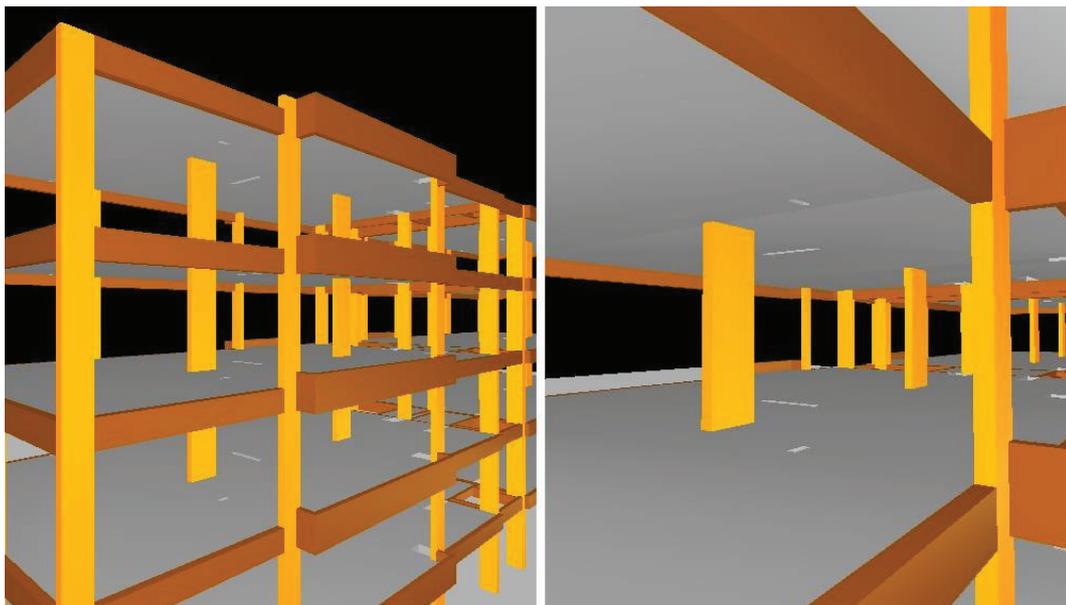


Figura 12: perspectiva dos pavimentos tipo da estrutura em laje lisa

Obtém-se os quantitativos de concreto, aço e fôrmas dos elementos estruturais constituintes da alternativa através do quadro 3. A figura 13 representa, em planta, o pavimento tipo do edifício-exemplo em lajes lisas.

LAJE LISA	Concreto (m <sup>3</sup> )	Aço (kg)	Fôrmas (m <sup>2</sup> )
Vigas	10,04	1.173,00	126,56
Pilares	8,23	1.054,00	120,95
Lajes	47,21	3.435,00	283,91
<b>TOTAL</b>	<b>65,48</b>	<b>5.662,00</b>	<b>531,42</b>

Quadro 3: quantitativos de concreto, aço e fôrmas, por elemento estrutural, para o pavimento tipo em laje maciça lisa (trabalho não publicado<sup>22</sup>)

<sup>22</sup> Informações fornecidas pelo escritório de cálculo estrutural.

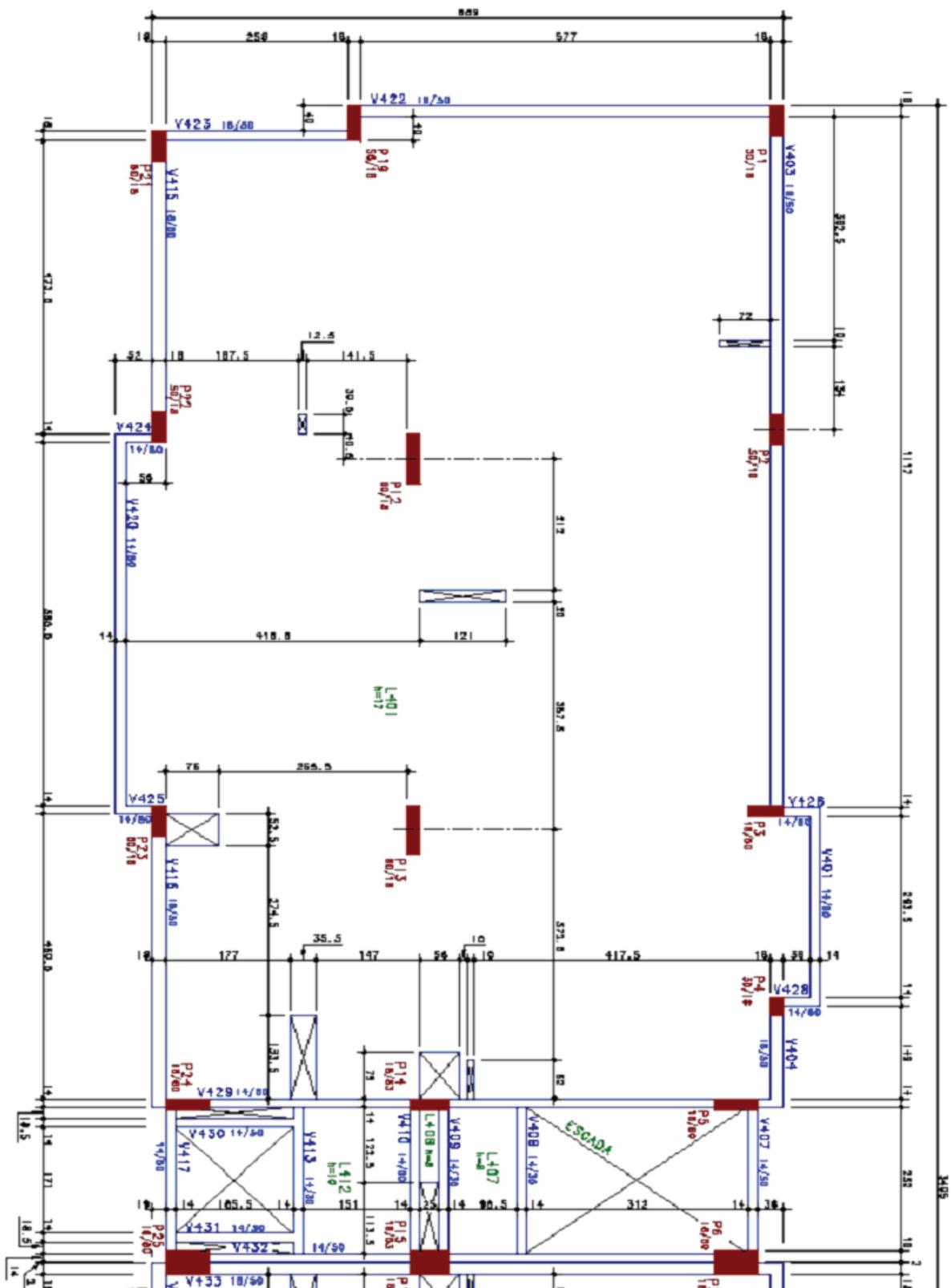


Figura 13: planta de fôrmas reduzida do pavimento tipo em laje lisa<sup>23</sup>

<sup>23</sup> Por possuir simetria, a planta foi reduzida. Formato original e dimensões no apêndice B.

#### 4.2.1 Quantitativos e custos totais dos materiais da laje lisa

No apêndice A, o quadro APA-2 expõe os dados completos dos consumos, quantidades e custos de todos componentes listados na execução da laje lisa. Desta maneira, obtém-se o quadro 4 com os custos de cada componente e um custo total de R\$ 58.008,86 para o pavimento tipo com laje maciça lisa.

Componente	Custo total
Ajudante de armador	R\$ 17,60
Ajudante de carpinteiro	R\$ 41,92
Arame galvanizado (bitola: 12 BWG)	R\$ 198,33
Arame recozido (diâmetro do fio: 1,25 mm / bitola: 18 BWG)	R\$ 639,81
Armador	R\$ 157,63
Barra de aço CA-50 (bitola: 10 mm)	R\$ 3.766,04
Barra de aço CA-50 (bitola: 12,5 mm)	R\$ 4.444,48
Barra de aço CA-50 (bitola: 16 mm)	R\$ 3.080,11
Barra de aço CA-50 (bitola: 20 mm)	R\$ 1.184,95
Barra de aço CA-50 (bitola: 6,3 mm)	R\$ 3.066,27
Barra de aço CA-50 (bitola: 8 mm)	R\$ 6.747,51
Barra de aço CA-60 (bitola: 5 mm)	R\$ 1.358,92
Carpinteiro	R\$ 207,33
Chapa compensada plastificada (espessura: 12 mm)	R\$ 3.062,31
Concreto dosado em central convencional brita 1 e 2	R\$ 20.644,76
Desmoldante de fôrmas para concreto	R\$ 319,32
Desmontagem de fôrma feita em obra para lajes, em chapa compensada plastificada, e=12 mm	R\$ 944,87
Desmontagem de fôrma feita em obra para pilares, em chapa compensada plastificada, e=12 mm	R\$ 402,53
Desmontagem de fôrma feita em obra para vigas, em chapa compensada plastificada, e=12 mm	R\$ 421,20
Espaçador circular de plástico para pilares, fundo e laterais de vigas, lajes, pisos e estacas (cobrimento: 30 mm)	R\$ 4.118,15
Fabricação de fôrma feita em obra para lajes, em chapa compensada plastificada, e=12 mm	R\$ 104,57
Fabricação de fôrma feita em obra para pilares, em chapa compensada plastificada, e=12 mm	R\$ 44,55
Fabricação de fôrma feita em obra para vigas, em chapa compensada plastificada, e=12 mm	R\$ 46,61
Montagem de fôrma feita em obra para lajes, em chapa compensada plastificada, e=12 mm	R\$ 944,87
Montagem de fôrma feita em obra para pilares, em chapa compensada plastificada, e=12 mm	R\$ 402,53
Montagem de fôrma feita em obra para vigas, em chapa compensada plastificada, e=12 mm	R\$ 421,20
Pedreiro	R\$ 64,40
Pontaletes 3" x 3" (altura: 75 mm / largura: 75 mm)	R\$ 395,56
Prego 15 x 15 com cabeça (comprimento: 34,5 mm / diâmetro da cabeça: 2,4 mm)	R\$ 72,11
Prego 17 x 21 com cabeça (comprimento: 48,3 mm / diâmetro da cabeça: 3,0 mm)	R\$ 19,29
Prego 17 x 27 com cabeça dupla (comprimento: 62,1 mm / diâmetro da cabeça: 3,0 mm)	R\$ 211,50
Sarrafo 1" x 3" (altura: 75 mm / espessura: 25 mm)	R\$ 192,24
Servente	R\$ 43,76
Tábua 1" x 6" (espessura: 25 mm / largura: 150 mm)	R\$ 35,30
Tábua 1" x 8" (espessura: 25 mm / largura: 200 mm)	R\$ 69,14
Vibrador de imersão, elétrico, potência 1 HP (0,75 kW) - vida útil 20.000 h	R\$ 117,21

Quadro 4: custos totais dos materiais para o pavimento tipo em laje maciça lisa

#### 4.2.2 Métodos de cimbramento e escoramento para lajes lisas

Baseando-se na planta de fôrmas do pavimento tipo em laje lisa, a empresa A forneceu os custos de locação mensal e compra que são, respectivamente, R\$ 3.864,38 e R\$ 56.689,32 (anexo B – quadro AXB-2). A empresa B recomenda, para as lajes lisas, o uso de fôrmas prontas, específicas para as lajes lisas. O índice de produtividade do sistema é de **0,50 Hh/m<sup>2</sup>**. Para este, segundo o fabricante, são as seguintes vantagens:

- a) sistema de escoramento e fôrma para laje em alumínio;
- b) baixo peso;
- c) fornecido com compensado plastificado, assim dispensa-se a compra de compensado para forração;
- d) baixa incidência de mão de obra de montagem;
- e) sistema de reescoramento – que permite a desfôrma da laje sem a necessidade de retirar as escoras do reescoramento – incluso na montagem do escoramento (figura 14);
- f) alta produtividade de montagem.

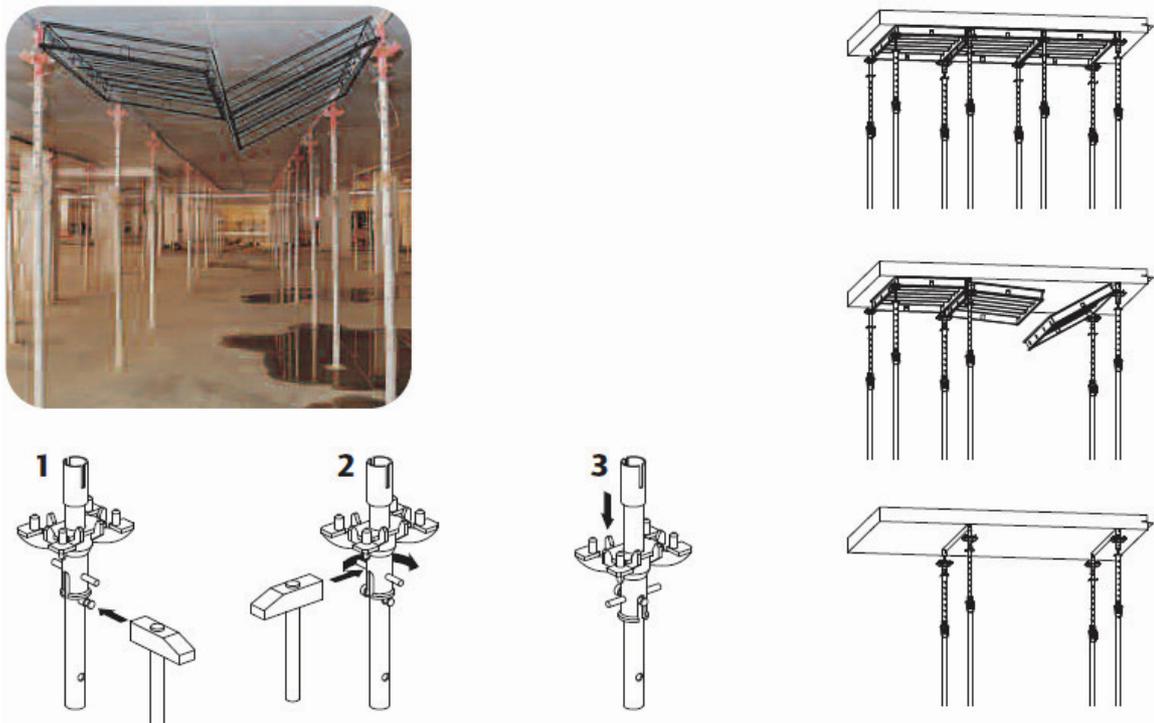


Figura 14: sistema de reescoramento que permite a desfôrma da laje sem a necessidade de retirar as escoras do reescoramento (SH FÔRMAS, ANDAIMES E ESCORAMENTOS LTDA., 2009, p. 3)

### **4.2.3 Interferências diretas e significativas nos canteiros de obras com lajes lisas**

Ao optar-se por um sistema com lajes lisas, se obtém ganhos que vão além de um teto praticamente limpo de vigas. Ganha-se ao mesmo tempo vantagens do canteiro de obras que utilizar tal solução estrutural. Consegue-se uma simplificação das fôrmas, o que resulta em um menor consumo de materiais, as fôrmas apresentam um plano contínuo sem obstáculos, as espessuras das lajes podem ser uniformizadas, as fôrmas são montadas e desmontadas com maior facilidade, além de uma menor incidência de mão de obra. Isso pode ser exemplificado da seguinte forma: com base no índice de produtividade de 0,50 Hh/m<sup>2</sup>, no pavimento tipo de 316 m<sup>2</sup> e num ciclo de 5 dias (44 horas semanais) teria-se o número de apenas 4 pessoas trabalhando. Ou, com o pensamento inverso: se estivessem disponíveis 10 trabalhadores, o ciclo passaria para 16 horas, ou quase 2 dias úteis, de produção do pavimento tipo.

No canteiro de obras, também se consegue a simplificação e racionalização das armaduras, pois pela ausência de vigas, as operações de corte, dobra e montagem tornam-se facilitadas, além da inspeção e conferência destas serem também mais simples. Os poucos recortes nas lajes facilitam o acesso de vibradores, reduz a possibilidade de falhas e melhoram o acabamento da laje, o que acaba simplificando a concretagem. Pela menor quantidade de vigas ganha-se uma simplificação das instalações, isso porque a incidência de cortes e emendas é menor, bem como a quantidade de condutos e fios. Portanto, reduz-se o tempo execução, em função da simplificação das fôrmas, armaduras, concretagem e instalações.

Porém, o uso da solução com lajes lisas implica numa armação um pouco complicada, principalmente sobre os pilares e nas suas adjacências, em virtude da malha de aço utilizada na laje do pavimento. Além disso, geralmente o consumo de aço em concreto é maior, devido à necessidade da estrutura suportar as cargas sem a existência de vigas internas.

## **4.3 ESTRUTURA COM LAJES NERVURADAS COM BLOCOS DE EPS**

Partindo da planta de fôrmas do projeto estrutural do pavimento tipo com lajes lisas foram feitas as alterações necessárias, com o objetivo de se adaptar para a solução com lajes nervuradas com blocos de EPS. Com a perspectiva da estrutura (figura 15) visualiza-se as

modificações citadas, que são a alteração da laje maciça para nervurada com maior espessura, além do engrossamento da laje na região dos pilares e vigas de borda. A concepção em relação ao projeto anterior manteve-se a mesma, sendo a mudança do tipo de laje, basicamente, a única mudança.

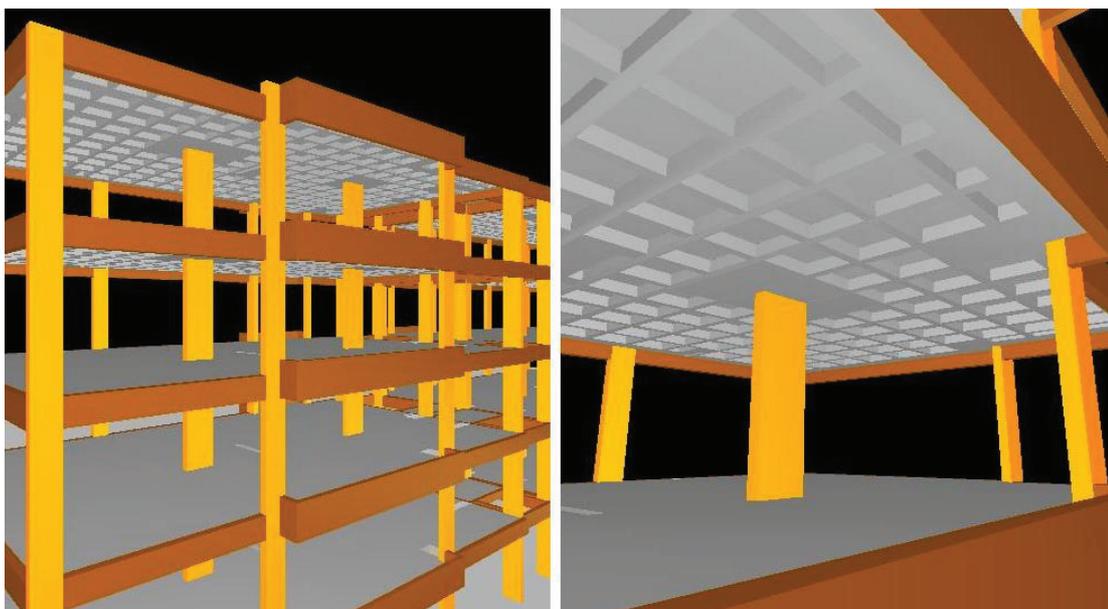


Figura 15: perspectiva dos pavimentos tipo da estrutura em laje nervurada com blocos de EPS

Tem-se os quantitativos de concreto, aço e fôrmas dos elementos estruturais constituintes da alternativa através do quadro 5. A figura 16 representa, em planta, o pavimento tipo do edifício-exemplo em lajes nervuradas com blocos de EPS.

LAJE NERVURADA BLOCOS EPS	Concreto (m <sup>3</sup> )	Aço (kg)	Fôrmas (m <sup>2</sup> )
Vigas	10,04	1.496,00	121,94
Pilares	8,23	1.054,00	120,95
Lajes	37,31	3.078,00	283,91
<b>TOTAL</b>	<b>55,58</b>	<b>5.628,00</b>	<b>526,80</b>

Quadro 5: quantitativos de concreto, aço e fôrmas, por elemento estrutural, para o pavimento tipo em laje nervurada com blocos de EPS (trabalho não publicado<sup>24</sup>)

<sup>24</sup> Informações fornecidas pelo escritório de cálculo estrutural.



### 4.3.1 Quantitativos e custos totais dos materiais da laje nervurada com blocos de EPS

No apêndice A, o quadro APA-3 apresenta os dados completos dos consumos, quantidades e custos de todos insumos necessários no processo executivo da alternativa de laje. Assim, o quadro 6 contém os custos de cada componente além do custo total de R\$ 57.540,02 para o pavimento tipo com laje nervurada com blocos de EPS.

Componente	Custo total
Ajudante de armador	R\$ 17,60
Ajudante de carpinteiro	R\$ 41,42
Arame galvanizado (bitola: 12 BWG)	R\$ 198,33
Arame recozido (diâmetro do fio: 1,25 mm / bitola: 18 BWG)	R\$ 635,96
Armador	R\$ 170,52
Barra de aço CA-50 (bitola: 10 mm)	R\$ 5.534,80
Barra de aço CA-50 (bitola: 12,5 mm)	R\$ 5.812,59
Barra de aço CA-50 (bitola: 16 mm)	R\$ 3.345,51
Barra de aço CA-50 (bitola: 20 mm)	R\$ 960,67
Barra de aço CA-50 (bitola: 6,3 mm)	R\$ 1.537,43
Barra de aço CA-50 (bitola: 8 mm)	R\$ 1.893,36
Barra de aço CA-60 (bitola: 5 mm)	R\$ 3.543,05
Carpinteiro	R\$ 204,83
Chapa compensada plastificada (espessura: 12 mm)	R\$ 3.037,00
Concreto dosado em central convencional brita 1 e 2	R\$ 17.523,46
Desmoldante de fôrmas para concreto	R\$ 316,02
Desmontagem de fôrma feita em obra para lajes, em chapa compensada plastificada, e=12 mm	R\$ 944,87
Desmontagem de fôrma feita em obra para pilares, em chapa compensada plastificada, e=12 mm	R\$ 402,53
Desmontagem de fôrma feita em obra para vigas, em chapa compensada plastificada, e=12 mm	R\$ 405,82
Espaçador circular de plástico para pilares, fundo e laterais de vigas, lajes, pisos e estacas (cobrimento: 30 mm)	R\$ 3.984,03
Fabricação de fôrma feita em obra para lajes, em chapa compensada plastificada, e=12 mm	R\$ 104,57
Fabricação de fôrma feita em obra para pilares, em chapa compensada plastificada, e=12 mm	R\$ 44,55
Fabricação de fôrma feita em obra para vigas, em chapa compensada plastificada, e=12 mm	R\$ 44,91
Fôrmas de poliestireno expandido (blocos de EPS)	R\$ 3.901,64
Montagem de fôrma feita em obra para lajes, em chapa compensada plastificada, e=12 mm	R\$ 944,87
Montagem de fôrma feita em obra para pilares, em chapa compensada plastificada, e=12 mm	R\$ 402,53
Montagem de fôrma feita em obra para vigas, em chapa compensada plastificada, e=12 mm	R\$ 405,82
Pedreiro	R\$ 54,67
Pontaletes 3" x 3" (altura: 75 mm / largura: 75 mm)	R\$ 395,56
Prego 15 x 15 com cabeça (comprimento: 34,5 mm / diâmetro da cabeça: 2,4 mm)	R\$ 72,11
Prego 17 x 21 com cabeça (comprimento: 48,3 mm / diâmetro da cabeça: 3,0 mm)	R\$ 18,93
Prego 17 x 27 com cabeça dupla (comprimento: 62,1 mm / diâmetro da cabeça: 3,0 mm)	R\$ 208,84
Sarrafo 1" x 3" (altura: 75 mm / espessura: 25 mm)	R\$ 191,45
Servente	R\$ 37,14
Tábua 1" x 6" (espessura: 25 mm / largura: 150 mm)	R\$ 34,01
Tábua 1" x 8" (espessura: 25 mm / largura: 200 mm)	R\$ 69,14
Vibrador de imersão, elétrico, potência 1 HP (0,75 kW) - vida útil 20.000 h	R\$ 99,49

Quadro 6: quantitativos e custos totais dos materiais, para o pavimento tipo em laje nervurada com blocos de EPS

### 4.3.2 Métodos de cimbramento e escoramento para lajes nervuradas com blocos de EPS

A empresa A cedeu, para a laje nervurada com blocos de EPS, os custos por mês de locação e compra que são, respectivamente, R\$ 3.475,48 e R\$ 51.920,98 (anexo B – quadro AXB-3). Segundo a empresa B, como a única diferença entre o pavimento com esta laje e com a laje lisa está no tipo da laje, recomenda-se o mesmo sistema da laje lisa. Portanto, mantém-se todas as informações já levantadas. A figura 17 indica a facilidade na montagem do sistema.



Figura 17: sequência de montagem do sistema para lajes lisas e nervuradas com EPS (SH FÔRMAS, ANDAIMES E ESCORAMENTOS LTDA., 2009, p. 2)

### 4.3.3 Interferências diretas e significativas nos canteiros de obras com lajes nervuradas com blocos de EPS

Ao escolher por um sistema estrutural com lajes nervuradas com blocos de EPS, o maior objetivo é a redução do peso próprio da estrutura e conseqüentemente economia em aço, concreto e nas fundações, obtido pelo baixo peso específico que o EPS apresenta. Essa sua propriedade favorece o seu manuseio, tanto no transporte vertical quanto no horizontal, acarretando economia no canteiro de obras. Tudo isso aumenta a produtividade, diminui o tempo de execução e reduz mão de obra. Para esta alternativa teria-se a mesma produtividade para a laje lisa. Dessa maneira, para um ciclo de 5 dias (44 horas semanais) também precisaria-se de 4 trabalhadores, ou se teria um ciclo de 2 dias (16 horas) caso disponibilizasse-se 10 trabalhadores para produção do pavimento tipo. Outro fator que, em

obra, é facilitado neste processo, é possibilidade de recortes dos blocos de EPS nas dimensões desejadas. Os cortes no EPS são muito fáceis de serem feitos (com uso de facas ou de serrotes, por exemplo) e não há perda devido a quebras.

Por outro lado, no momento da concretagem deve-se tomar cuidado com o posicionamento dos blocos. Isso porque por apresentar baixo peso específico, o bloco de EPS tende a emergir durante a concretagem do pavimento, assim, este processo pode-se tornar mais difícil. Outro fato importante é que o EPS não pode receber diretamente um revestimento convencional. O revestimento da face inferior da laje deve ser feito com chapisco, utilizando-se um aditivo de base acrílica (PVA), que estabeleça a ponte de ligação estável entre o EPS e os materiais constituintes do chapisco. Além disso, sempre se acaba perdendo um espaço do canteiro de obras para armazenamento do material inerte.

#### 4.4 ESTRUTURA COM LAJES NERVURADAS COM CUBETAS DE POLIPROPILENO

Com base na planta de fôrmas do projeto estrutural do pavimento tipo com lajes nervuradas com blocos de EPS, foram efetuadas as mudanças necessárias, com a finalidade de se adaptar para a solução com lajes nervuradas com cubetas de polipropileno. Com a perspectiva da estrutura com lajes nervuradas com cubetas de polipropileno (figura 18) tem-se uma noção das alterações realizadas no projeto com lajes nervuradas com blocos de EPS. Nota-se a retirada dos pilares centrais, aumento da espessura da laje, em relação à altura das vigas e o uso de vigas faixas como forma de deixar a laje mais rígida entre os pilares externos opostos. O aumento da espessura da laje se dá tanto pela ausência tanto de pilares centrais, quanto de vigas internas para suportar as cargas previstas. Através da perspectiva, também se visualiza nitidamente a grande área que a retirada de pilares e aumento dos vãos proporciona.

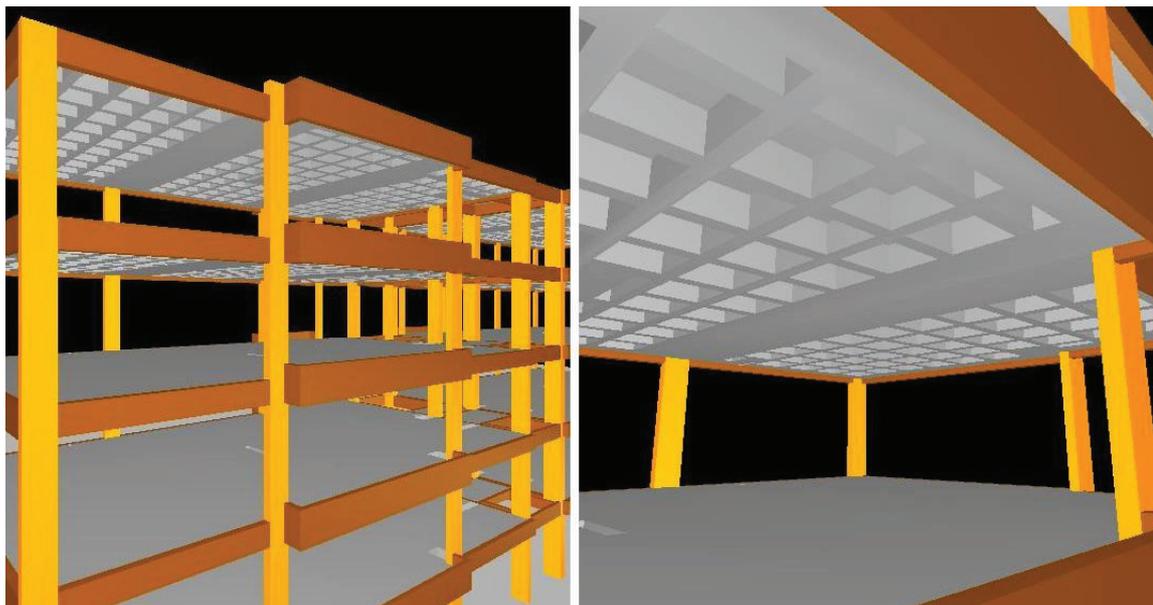


Figura 18: perspectiva dos pavimentos tipo da estrutura em laje nervurada com cubetas de polipropileno

Obtém-se os quantitativos de concreto, aço e fôrmas dos elementos estruturais da alternativa através do quadro 7. A figura 19 representa, em planta, o pavimento tipo do edifício-exemplo em lajes nervuradas com cubetas de polipropileno.

LAJE NERVURADA CUBETAS POLIPROPILENO	Concreto (m <sup>3</sup> )	Aço (kg)	Fôrmas (m <sup>2</sup> )
Vigas	10,04	1.641,00	107,61
Pilares	6,60	1.734,00	98,77
Lajes	68,95	3.632,00	6,14
<b>TOTAL</b>	<b>85,59</b>	<b>7.707,00</b>	<b>212,52</b>

Quadro 7: quantitativos de concreto, aço e fôrmas, por elemento estrutural, para o pavimento tipo em laje nervurada com cubetas de polipropileno (trabalho não publicado<sup>26</sup>)

<sup>26</sup> Informações fornecidas pelo escritório de cálculo estrutural.



#### 4.4.1 Quantitativos e custos totais materiais da laje nervurada com cubetas de polipropileno

No apêndice A, quadro APA-4 exibe os dados completos dos insumos da alternativa de laje. No cálculo do preço unitário do aluguel das cubetas, considerou-se um prazo de cinco dias para locação das quantidades necessárias. Logo, tem-se o quadro 8 contendo os custos de cada componente e um custo total de R\$ 75.427,25 para a laje nervurada com cubetas.

Componente	Custo total
Ajudante de armador	R\$ 104,23
Ajudante de carpinteiro	R\$ 72,66
Arame galvanizado (bitola: 12 BWG)	R\$ 161,96
Arame recozido (diâmetro do fio: 1,25 mm / bitola: 18 BWG)	R\$ 791,79
Armador	R\$ 733,63
Barra de aço CA-50 (bitola: 10 mm)	R\$ 6.004,50
Barra de aço CA-50 (bitola: 12,5 mm)	R\$ 2.825,93
Barra de aço CA-50 (bitola: 16 mm)	R\$ 5.838,76
Barra de aço CA-50 (bitola: 20 mm)	R\$ 6.930,25
Barra de aço CA-50 (bitola: 6,3 mm)	R\$ 1.172,40
Barra de aço CA-50 (bitola: 8 mm)	R\$ 2.642,01
Barra de aço CA-60 (bitola: 5 mm)	R\$ 2.446,88
Carpinteiro	R\$ 359,32
Chapa compensada plastificada (espessura: 12 mm)	R\$ 1.233,03
Concreto dosado em central convencional brita 1 e 2	R\$ 26.985,11
Desmoldante de fôrmas para concreto	R\$ 61,35
Desmontagem de fôrma feita em obra para lajes, em chapa compensada plastificada, e=12 mm	R\$ 20,43
Desmontagem de fôrma feita em obra para pilares, em chapa compensada plastificada, e=12 mm	R\$ 328,71
Desmontagem de fôrma feita em obra para vigas, em chapa compensada plastificada, e=12 mm	R\$ 358,13
Espaçador circular de plástico para pilares, fundo e laterais de vigas, lajes, pisos e estacas (cobrimento: 30 mm)	R\$ 4.810,46
Fabricação de fôrma feita em obra para lajes, em chapa compensada plastificada, e=12 mm	R\$ 2,26
Fabricação de fôrma feita em obra para pilares, em chapa compensada plastificada, e=12 mm	R\$ 36,38
Fabricação de fôrma feita em obra para vigas, em chapa compensada plastificada, e=12 mm	R\$ 39,63
Fôrmas de polipropileno para lajes nervuradas (cubetas de polipropileno - 400x799x300 mm)	R\$ 50,67
Fôrmas de polipropileno para lajes nervuradas (cubetas de polipropileno - 749x799x300 mm)	R\$ 828,00
Forro de gesso acartonado - colocado, fixo, com acabamento monolítico suspenso por pendurais de arame galvanizado nº 18 (espessura: 12,5 mm)	R\$ 8.670,29
Montagem de fôrma feita em obra para lajes, em chapa compensada plastificada, e=12 mm	R\$ 20,43
Montagem de fôrma feita em obra para pilares, em chapa compensada plastificada, e=12 mm	R\$ 328,71
Montagem de fôrma feita em obra para vigas, em chapa compensada plastificada, e=12 mm	R\$ 358,13
Pedreiro	R\$ 303,06
Pontaletes 3" x 3" (altura: 75 mm / largura: 75 mm)	R\$ 167,02
Prego 15 x 15 com cabeça (comprimento: 34,5 mm / diâmetro da cabeça: 2,4 mm)	R\$ 1,56
Prego 17 x 21 com cabeça (comprimento: 48,3 mm / diâmetro da cabeça: 3,0 mm)	R\$ 16,08
Prego 17 x 27 com cabeça dupla (comprimento: 62,1 mm / diâmetro da cabeça: 3,0 mm)	R\$ 175,16
Sarrafo 1" x 3" (altura: 75 mm / espessura: 25 mm)	R\$ 157,72
Servente	R\$ 205,90
Tábua 1" x 6" (espessura: 25 mm / largura: 150 mm)	R\$ 30,01
Tábua 1" x 8" (espessura: 25 mm / largura: 200 mm)	R\$ 1,50
Vibrador de imersão, elétrico, potência 1 HP (0,75 kW) - vida útil 20.000 h	R\$ 153,21

Quadro 8: quantitativos e custos totais dos materiais, para o pavimento tipo em laje nervurada com cubetas de polipropileno

#### 4.4.2 Métodos de cimbramento e escoramento para lajes nervuradas com cubetas de polipropileno

Com base na planta de fôrmas do pavimento tipo em laje nervurada com cubetas de polipropileno, a empresa A informou os custos por mês de locação e compra que são, respectivamente, R\$ 8.264,37 e R\$ 111.631,59 (anexo B – quadro AXB-4). A empresa B aconselha, para as lajes nervuradas com cubetas de polipropileno, o uso de sistema específico para lajes nervuradas com cubetas. O índice de produtividade é de **1,80 Hh/m<sup>2</sup>** para este sistema. Suas vantagens são:

- a) sistema específico de escoramento de cubetas, que permite a retirada das cubetas se a retirada das escoras (figura 20);
- b) baixo peso e baixa incidência de mão de obra de montagem;
- c) sistema de reescoramento – que permite a desfôrma da laje sem a necessidade de retirar as escoras do reescoramento – incluso na montagem do escoramento;
- d) média produtividade de montagem.



Figura 20: sistema específico para lajes nervuradas com cubetas (SH FÔRMAS, ANDAIMES E ESCORAMENTOS LTDA., 2009, p. 8)

#### 4.4.3 Interferências diretas e significativas nos canteiros de obras com lajes nervuradas com cubetas de polipropileno

Talvez seja a alternativa de lajes nervuradas com cubetas de polipropileno aquela que apresente maior contraste em análises deste gênero. Isso porque nesse sistema tem-se a maior

transformação da estrutura em comparação com as demais, tanto na sua concepção ideológica (objetivos) quanto na física (aspecto); mas ao mesmo tempo depara-se com dificuldades de mesma importância no canteiro de obras.

O maior ganho em adotar essa solução estrutural está no fato de se eliminar, quase que na totalidade, a necessidade do uso de compensados para modelarem a laje nervurada. Pois as cubetas ficam justapostas em todo centro da laje, restando apenas nas bordas para se utilizar chapas de madeiras. Assim, a montagem e a desfôrma são extremamente fáceis, uma vez que estas cubetas podem ser apoiadas diretamente sobre o escoramento. Quando a vigas não possuem altura superior à espessura da laje, estas podem ser embutidas na própria laje, o que facilita a execução, evitando-se recortes e agilizando-se os serviços de montagem das fôrmas. Sua desfôrma é fácil, tanto manualmente (com cunha de madeira) quanto com utilização de ar comprimido. Além disso, por as cubetas serem leves, facilitam seu manuseio na obra. Desta maneira, considerando-se o pavimento tipo de 316 m<sup>2</sup>, um ciclo de 5 dias (44 horas) e o índice de produtividade, para lajes nervuradas com cubetas de polipropileno, de 1,80 Hh/m<sup>2</sup>, seriam necessários 13 operários. Ou então, caso disponibilizasse-se 10 trabalhadores para executar o mesmo serviço, o ciclo passaria para 57 horas, ou um pouco mais 7 dias úteis. A laje pronta também apresenta boa estética após executada, não sendo necessária a aplicação de nenhum revestimento.

Por outro lado, alguns arquitetos reprovam seu uso, principalmente em edifícios residenciais, pelo fato de a face inferior da laje não apresentar uma superfície lisa, sendo necessário o uso de forros para isto. Fora este problema, o custo, no caso de locação dessas fôrmas, deve ser bem estudado, pois pode inviabilizar o sistema, uma que ocorra atraso no cronograma de obra. Também, necessita-se uma mão de obra qualificada para que não prejudique a produtividade e não onere custos adicionais. Outro fato é dificuldade na instalação de tubulações, pelo motivo da capa de concreto não possuir uma espessura compatível às instalações embutidas. Isto, porém, pode levar a instalação destas tubulações seja realizada após a laje estar pronta. Neste caso, durante a produção da laje não há necessidade de que aguarde as instalações para concretagem do pavimento. Desta maneira estas equipes tem a possibilidade de trabalharem sozinhas no pavimento, o que resulta em menos mão de obra junta e que o próximo ciclo transcorra normalmente. Além dos fatores contras citados, deve-se analisar a disponibilidade de espaço para a estocagem das cubetas de polipropileno em obra.

## 5 COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS

A partir do projeto, em sua versão original, em laje maciça convencional (LMC), foram elaboradas as alternativas de laje maciça lisa (LML), nervurada com blocos de EPS (LNBE) e nervurada com cubetas de polipropileno (LNCP). Seus quantitativos diretos foram levantados nos quadros 1, 3, 5 e 7 e a figura 21 compara, graficamente, estes valores.

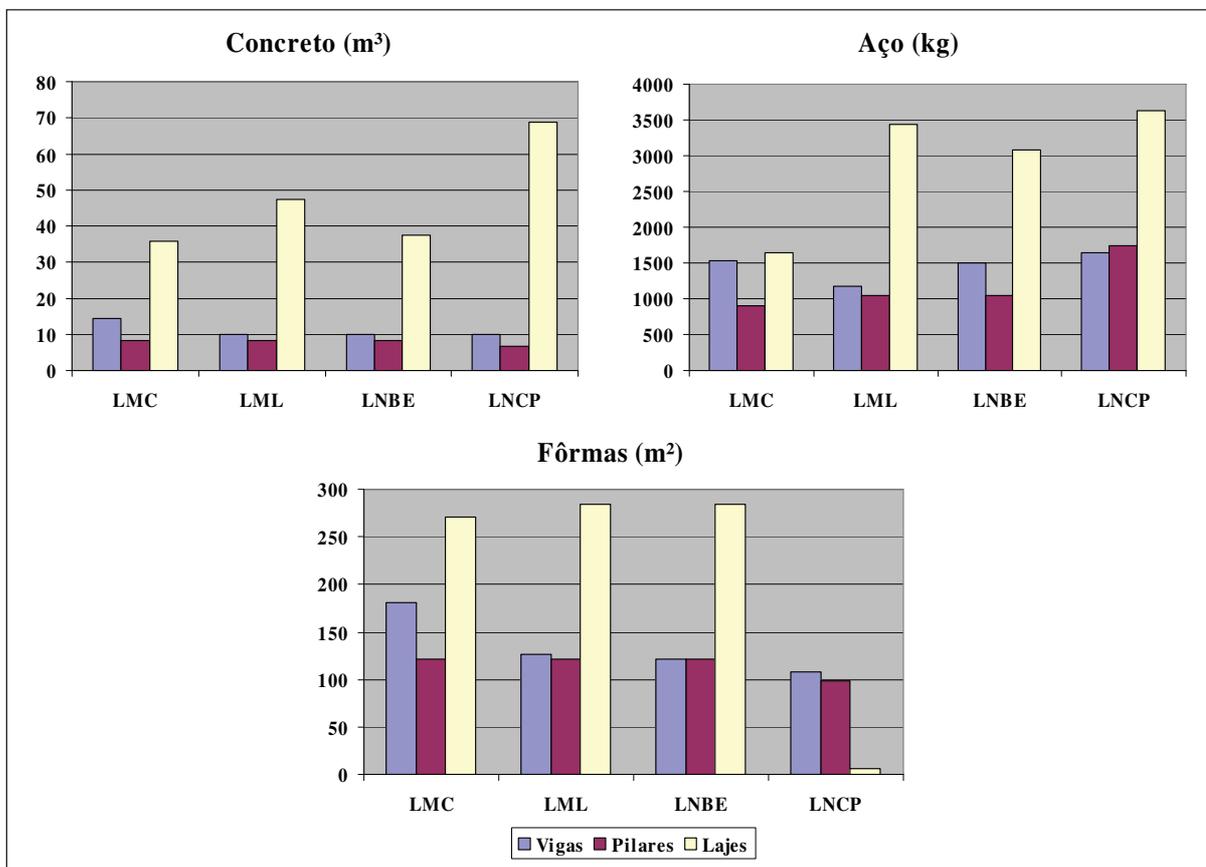


Figura 21: comparativo dos quantitativos, por elemento estrutural, de concreto, aço e fôrmas das alternativas de lajes em concreto armado

Nas lajes lisas, pode-se notar, em relação à solução com laje convencional, um maior consumo de concreto e aço. No entanto, reduziu-se o uso de madeiras nas fôrmas. Pode-se explicar o aumento dos dois primeiros materiais pelo aumento da espessura da laje e a ausência das vigas, respectivamente. Assim, a laje necessita de uma maior taxa de armadura para resistir aos esforços sem o uso deste elemento fletido que fora removido. Para

diminuição da quantidade de fôrmas, novamente correlaciona-se com a redução do número de vigas do pavimento.

Nas LNBE, em relação às soluções anteriores, observa-se uma redução no consumo de concreto, em virtude da eliminação deste material no local no qual não é solicitado: a zona tracionada. Pelo mesmo motivo, as quantidades de aço e fôrmas permaneceram praticamente as mesmas levantadas na solução com laje lisa. A mesma quantidade de fôrmas deve-se aos blocos de EPS permanecerem incorporados à laje.

Já nas LNCP, comparando com todas soluções apresentadas, observa-se que para esta solução estrutural o consumo de concreto e aço foi bem maior que nas demais alternativas. Este aumento se deve ao aumento da espessura da laje para suportar, sem uso de vigas e pilares na parte interna da laje, as solicitações, consideradas em projeto, através dos grandes vãos. Por outro lado, teve-se uma redução considerável no uso de fôrmas. Isso se explica pelo simples fato de não existirem mais pilares centrais, pela técnica desta alternativa permitir que não sejam necessárias fôrmas para sustentar as cubetas, além da menor diferença de altura entre as vigas de borda e a laje, o que diminui as fôrmas nas faces laterais das vigas.

Outro item de comparação são os custos que cada alternativa apresentou. Pode-se analisar o custo total bruto de cada alternativa (figura 22), como também o indicador custo/área (figura 23) e custo diário (figura 24), considerando-se um ciclo de 5 dias. Incluiu-se os valores para a laje nervurada com cubetas de polipropileno sem o uso de forros de gesso (LNCP s/ forros).

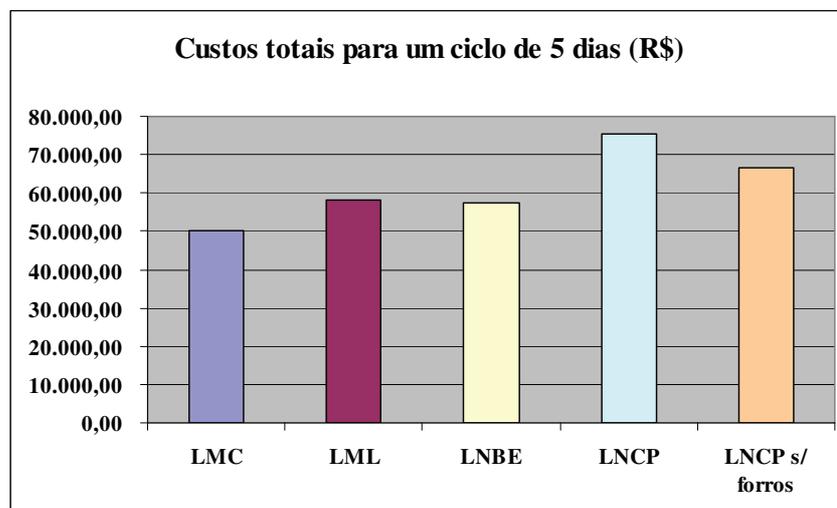


Figura 22: custos totais de cada alternativa de laje para um ciclo de 5 dias

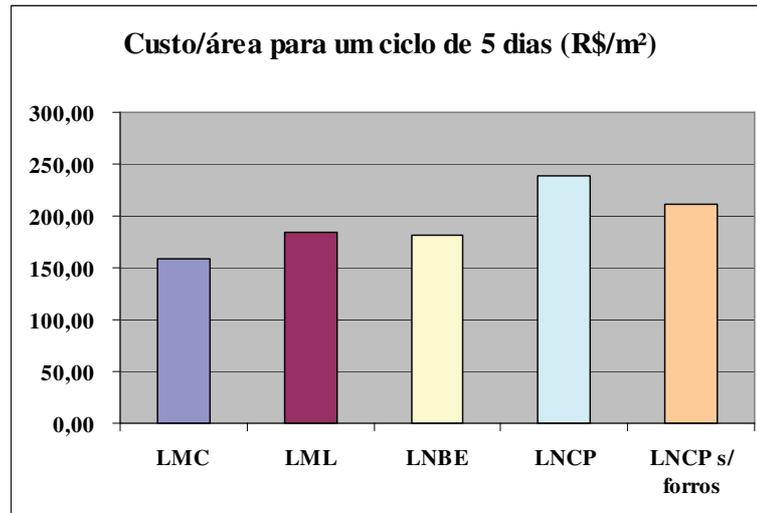


Figura 23: custo por área de cada alternativa de laje para um ciclo de 5 dias

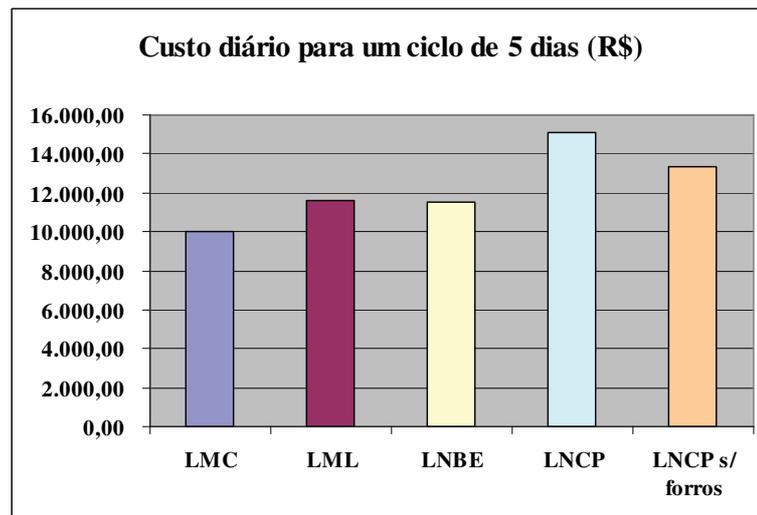


Figura 24: custo diário de cada alternativa de laje para um ciclo de 5 dias

Em relação à laje convencional, o custo total da laje lisa ficou 16% acima, semelhante a LNBE que ficou 15% acima. Já o custo total da LNCP ficou bem acima do custo da laje convencional, cerca de 50%. No entanto, se fossem retirados os forros do pavimento, em relação ao projeto original, o custo da LNCP ficaria 33% superior. Estes valores não chegam a surpreender, pois as alternativas não convencionais para terem o ganho que proporcionam com suas concepções, apresentam desvantagens, dentre elas estão seus custos. Todas relações entre as alternativas de lajes estão no quadro 9.

	LMC	LML	LNBE	LNCP	LNCP sem forros
LMC	100%	116%	115%	150%	133%
LML	86%	100%	99%	130%	115%
LNBE	87%	101%	100%	131%	116%
LNCP	67%	77%	76%	100%	89%
LNCP sem forros	75%	87%	86%	113%	100%

Quadro 9: relação dos custos entre cada alternativa de laje

Isto fica mais representativo para as lajes nervuradas com cubetas de polipropileno. Seu custo alto está relacionado, também, ao uso de forros nos cálculos, pelo edifício-exemplo se tratar de uma edificação residencial. No entanto, caso a edificação fosse destinada para outros fins, como estacionamentos, hospitais, escolas, ou até mesmo em edifícios comerciais, a face inferior da laje com as nervuras aparentes não seria nenhum empecilho estético para o local. Sendo assim, para este caso específico, a retirada dos forros representaria um desconto de mais 11% do custo total desta laje. Uma redução considerável, levando-se em consideração os benefícios que a solução proporciona, principalmente no canteiro de obras. Em primeiro lugar deve-se lembrar dos grandes vão que alternativa proporciona. Também ganha-se com a economia de fôrmas, pois reduzem o uso de madeira para a laje. Com isso, contribui-se para a preservação ambiental, algo muito admirável na atualidade, já que fala-se muito em construções sustentáveis e sustentabilidade. Ganhos como as cubetas sendo apoiadas diretamente sobre o escoramento, o baixo peso do material e o fato deste ser posto pronto em obra (contrário das fôrmas de madeira), podem até onerar em custos maiores, porém torna a produção mais rápida do que comparada com as lajes convencionais. Há possibilidade de que as instalações elétricas e hidráulicas sejam realizadas após a concretagem do pavimento, o que resulta numa menor quantidade de pessoas trabalhando juntas no mesmo local e que o próximo ciclo já se inicie sem necessidade das instalações embutidas na laje. Os valores de horas-homem para o pavimento tipo são apresentados na figura 25.

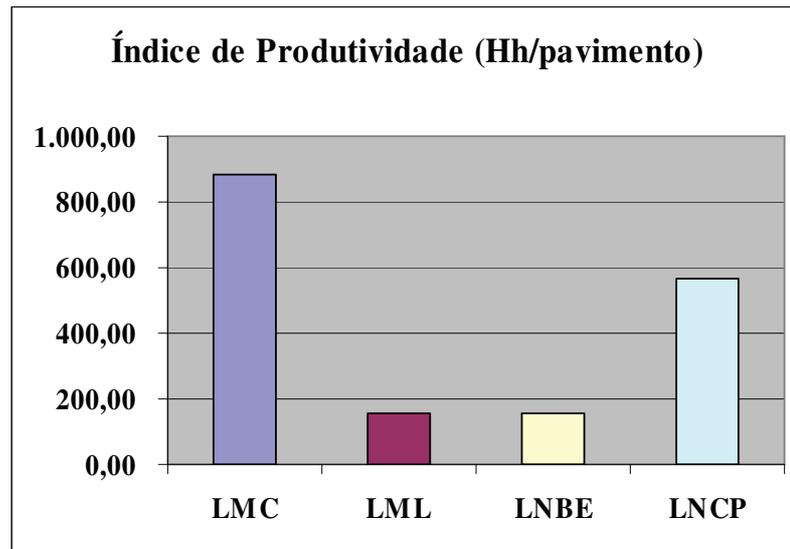


Figura 25: índice de produtividade de cada alternativa de laje

O melhor índice de produtividade é aquele que despense menos homem-hora por pavimento, ou seja, os que apresentam os menores valores da figura 25. Assim, tanto a produção nas lajes lisas quanto nas lajes nervuradas com blocos de EPS é mais rápida, ou eficiente comparando-se a LNCP. Esta, por sua vez, apresenta uma produtividade superior à das lajes convencionais. A figura 26 ilustra, graficamente, estes parâmetros de produtividade.

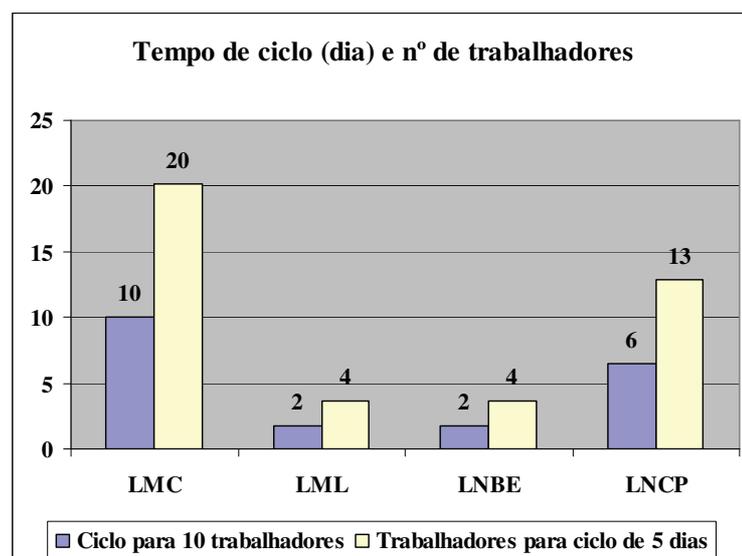


Figura 26: parâmetros de produtividade em tempos de ciclos e número de trabalhadores

Desta maneira, percebe-se a grande diferença entre os sistemas estudados. Porém, com estes parâmetros de produtividade, pode-se gerar novos índices para análises de custos. Na figura 27 temos os custos totais considerando-se 10 trabalhadores para produção de cada alternativa de laje e, conseqüentemente, com tempos de ciclos diferentes para cada uma delas. A figura 28 mostra o custo diário de cada alternativa, sendo o tempo de ciclo de cada uma, respectivamente, 10, 2, 2, 6 e 6 dias.

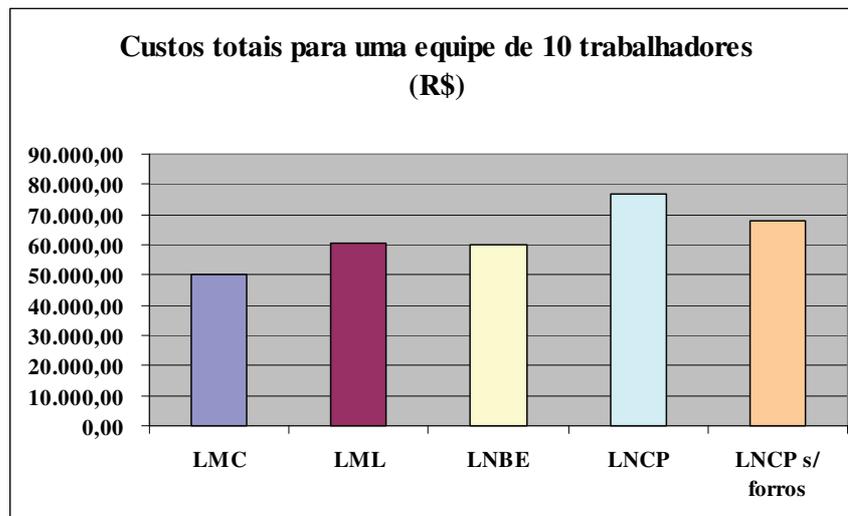


Figura 27: custos totais de cada alternativa de laje para equipe de 10 trabalhadores

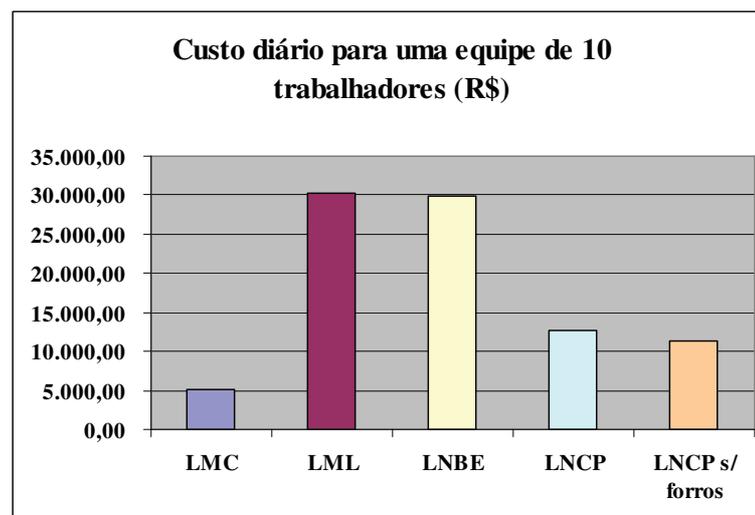


Figura 28: custo diário de cada alternativa de laje para equipe de 10 trabalhadores

Partindo do bom desempenho de produtividade das lajes lisas e nervuradas com blocos de EPS, lembra-se dos seus custos também semelhantes e se faz um paralelo com suas interferências significativas nos canteiros de obras. Em ambas alternativas, lembra-se que sua alta produtividade já era esperada, tendo em vista o plano praticamente contínuo que as lajes apresentam. Neste aspecto, nas lajes lisas ganha-se também numa inspeção mais eficiente das armaduras, bem como sua montagem. Em suma, simplificam, as armaduras, as fôrmas, a concretagem e as instalações. Nas LNBE, fatores como o baixo peso dos blocos de EPS e a possibilidade de recortes do material nas dimensões desejadas, contribuem para uma maior produtividade neste sistema. Por fim, além destes fatores, pode-se relacionar um número reduzido de funcionários a uma área menor direcionada para alojamentos, bem como uma maior segurança em virtude da menor quantidade de pessoas que circularão na obra e estarão sujeitas a acidentes.

Já para a estrutura com laje maciça convencional, tem-se de um lado o menor custo entre alternativas, mas por outro, sua produtividade é a menor. Isso deve-se ao grande número de vigas no pavimento. Assim, a fôrma deste pavimento torna-se muito recortada, o que acaba reduzindo a eficiência do processo construtivo e o reaproveitamento das fôrmas. Por outro lado, é um sistema bem treinado ao longo dos anos (o que explica seu baixo custo). Também não necessita de área para estocagem de materiais como blocos de EPS e cubetas de polipropileno, como é o caso nas lajes nervuradas.

## 6 ANÁLISES FINAIS E CONCLUSÕES

No decorrer do trabalho em questão pode-se observar a importância de um estudo para determinação da alternativa estrutural adequada para um pavimento, sobretudo quando a análise realizada torna-se mais criteriosa, envolvendo fatores econômicos e questões de funcionalidade.

Ao avaliarem-se os custos de um sistema estrutural, não se deve levar em consideração apenas os consumos de materiais e sim todos os aspectos relacionados ao processo construtivo: mão de obra, tempo de execução, recursos e materiais necessários. Também deve-se realizar, para um julgamento mais completo, uma análise das implicações que cada alternativa ocasiona no canteiro de obras em questão.

No caso de regiões menos desenvolvidas, onde a mão de obra é menos qualificada e o sistema convencional é utilizado há muitos anos, pode-se encontrar oposição por parte de empreiteiros e operários, seja por falta de informação ou meramente por dificuldade de concordância em utilizar novas soluções mais eficazes. Ou também em ocasiões nas quais não se dispõem recursos financeiros e o prazo de execução torna-se mais longo, o que aumenta consideravelmente os custos com locação de cubetas de polipropileno, por exemplo.

A solução estrutural com lajes maciças convencionais (LMC) foi a que apresentou o menor custo. Por outro lado verificou-se a menor produtividade, o maior tempo de execução e uma grande quantidade de vigas.

A solução com lajes maciças lisas (LML) apresentou um custo 16% superior em relação à alternativa com LMC. No entanto, teve uma produtividade maior, apresentando uma redução de 80% no tempo de execução da LMC e fôrmas praticamente contínuas, proporcionando grande flexibilidade ao pavimento.

A estrutura com lajes nervuradas com blocos de EPS (LNBE) apresentou resultados considerados idênticos em relação as LML. Entretanto, seu processo necessita de espaço em obra para o material ser estocado.

A alternativa com lajes nervuradas com cubetas de polipropileno (LNCP) foi o sistema mais caro entre os estudados. Seus custos ficaram 50% acima dos custos da LMC e cerca de 30% superior em relação as LML e as LNBE. Apesar disso, se fosse retirado o custo dos forros, estes valores reduziriam, respectivamente, para 33 e 15%. Sendo assim, para maior aproveitamento dos benefícios deste sistema, seu uso deve ser restringido a casos específicos, como estacionamentos, indústrias e edifícios comerciais. No entanto, vale salientar que discorda-se do alto índice de produtividade apresentado pelo fornecedor para esta alternativa. Isto porque o sistema se assemelha muito com o com laje nervurada com blocos de EPS. Sendo assim, tal índice ser quase quatro vezes superior à alternativa com blocos de EPS é considerado exagerado e curioso diante das grandes vantagens que o sistema com cubetas de polipropileno oferece.

No caso específico de Araújo (2008, p. 103), a alternativa optada foi a nervurada com cubetas de polipropileno, embora à primeira vista o custo desta tenha sido relativamente superior. O autor citou que custos indiretos, como encargos sociais, poderiam aumentar de maneira considerável caso fosse adotado o sistema convencional. Além disso, questões de prazo tornaram-se bastante importantes no momento da escolha.

Já em Spohr (2008, p. 84), foi a alternativa com lajes convencionais que apresentou maior custo total. Nesta solução, variáveis como fôrmas muito recortadas, grande quantidade de vigas e o maior consumo de concreto e aço, contribuíram para que o valor global da alternativa fosse superior em relação aos demais. Neste caso, o custo final da laje nervurada com cubetas de polipropileno obteve uma redução de 18,1% em comparação ao sistema convencional, além de apresentar menor consumo de concreto e taxa de aço dentre as soluções analisadas.

Finalmente, torna-se a salientar que a escolha do sistema estrutural está sujeito a muitos fatores. Destes, alguns fogem do alcance tanto do engenheiro de estruturas quanto do engenheiro de obras. Ainda há o fato da imposição arquitetônica poder inviabilizar um determinado sistema estrutural, em virtude de suas peculiaridades e exigências. Sendo assim, o presente trabalho não tem a intenção de tornar genéricos os resultados obtidos, mas apresentar parâmetros que podem ajudar na estruturação de análises de edificações semelhantes e, nos demais casos, auxiliar na escolha de tipologia estrutural adequada.

## REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, A. T. **Análise de alternativas para edifícios em concreto armado**. 1998. 100 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. 1999
- ARAÚJO, A. R. **Estudo técnico comparativo entre pavimentos executados com lajes nervuradas e lajes convencionais**. 2008. 113 f. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia e Tecnologia, Universidade Anhembi Morumbi, São Paulo.
- ARAÚJO, J. M. **Curso de concreto armado**. 2. ed. Rio Grande: Dunas, 2003a. v. 2.
- \_\_\_\_\_. **Curso de concreto armado**. 2. ed. Rio Grande: Dunas, 2003b. v. 4.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6.118**: projeto de estruturas de concreto – procedimento. Rio de Janeiro, 2004a.
- \_\_\_\_\_. **NBR 14.931**: execução de estruturas de concreto – procedimento. Rio de Janeiro, 2004b.
- BARROS, M. M. S. B.; MELHADO, S. B. **Recomendações para a produção de estruturas de concreto armado em edifícios**. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006. Versão Ampliada e atualizada em 2006: Mercia Maria S. Bottura de Barros e Viviane Miranda Araújo, a partir do texto original de 1998. Apostila da disciplina PCC - 2435: Tecnologia da Construção de Edifícios I. Disponível em: <<http://pcc2435.pcc.usp.br/textos%20técnicos/estrutura/apostilaestrutura.PDF>>. Acesso em: 22 out. 2009.
- CICHINELLI, G. C. Lajes ampliadas. **Revista Técnica**, São Paulo: Pini, ano 16, n. 132, p. 32-36, mar. 2008.
- FUSCO, P. B. **Técnica de armar as estruturas de concreto**. 1. ed, 4. tiragem. São Paulo: Pini, 1995.
- GUIA da construção: custos, suprimentos e soluções técnicas. São Paulo: Pini, ano 63, n. 105, abr. 2010.
- HENNRICHS, C. A. **Estudo sobre modelagem de lajes planas**. 2003. 201 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- LEONHARDT, F.; MÖNNING, E. **Construções de concreto**: princípios básicos sobre a armação de estruturas de concreto armado. 3. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 1978. v. 3.
- MELGES, J. L. P. **Punção em lajes**: exemplos de cálculo e análise teórico-experimental. 1995. 217 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

NAKAMURA, J. Lajes nervuradas com cubas plásticas. **Revista Equipe de Obra**, São Paulo: Pini, ano 4, n. 16, p. 12-14, mar./abr. 2008.

SH FÔRMAS, ANDAIMES E ESCORAMENTOS LTDA. **Lajes**: catálogos de equipamentos. Rio de Janeiro. 2009. Catálogo técnico. Disponível em: <<http://www.sh.com.br/media/catalogoSH-2009-lajes.pdf>>. Acesso em 30 abr. 2010.

SILVA, A. R. **Análise comparativa de custos de sistemas estruturais para pavimentos de concreto armado**. 2002. 211 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Estruturas, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

SPOHR, V. H. **Análise comparativa**: sistemas estruturais convencionais e estruturas de lajes nervuradas. 2008. 107 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

TABELAS de composições de preços para orçamentos. 13. ed. São Paulo: Pini, 2008.

**APÊNDICE A – Quadros completos de consumos, quantidades e custos dos insumos envolvidos nas alternativas**

Componente	Unidade	Consumo	Quantidade	Total	Preço unitário	Custo total	
Ajudante de armador	h	0,034	903,00	30,70	R\$ 2,75	R\$ 84,43	
Ajudante de carpinteiro	h	0,131	271,06	35,51	R\$ 2,75	R\$ 97,65	
		0,165	120,95	19,96	R\$ 2,75	R\$ 54,88	
		0,223	181,02	40,37	R\$ 2,75	R\$ 111,01	
Arame galvanizado (bitola: 12 BWG)	kg	0,180	120,95	21,77	R\$ 9,11	R\$ 198,33	
Arame recozido (diâmetro do fio: 1,25 mm / bitola: 18 BWG)	kg	0,020	903,00	18,06	R\$ 5,65	R\$ 102,04	
			1.528,00	30,56	R\$ 5,65	R\$ 172,66	
			1.645,00	32,90	R\$ 5,65	R\$ 185,89	
Armador	h	0,031	1.645,00	51,00	R\$ 3,40	R\$ 173,38	
			903,00	30,70	R\$ 3,40	R\$ 104,39	
			1.528,00	152,80	R\$ 3,40	R\$ 519,52	
Barra de aço CA-50 (bitola: 10 mm)	kg	1,050	14,00	14,70	R\$ 4,03	R\$ 59,24	
			48,00	50,40	R\$ 4,03	R\$ 203,11	
			120,00	126,00	R\$ 4,03	R\$ 507,78	
Barra de aço CA-50 (bitola: 12,5 mm)	kg	1,050	58,00	60,90	R\$ 3,56	R\$ 216,80	
			295,00	309,75	R\$ 3,56	R\$ 1.102,71	
			383,00	402,15	R\$ 3,56	R\$ 1.431,65	
Barra de aço CA-50 (bitola: 16 mm)	kg	1,050	164,00	172,20	R\$ 3,56	R\$ 613,03	
			727,00	763,35	R\$ 3,56	R\$ 2.717,53	
Barra de aço CA-50 (bitola: 20 mm)	kg	1,050	55,00	57,75	R\$ 3,56	R\$ 205,59	
			168,00	176,40	R\$ 3,56	R\$ 627,98	
Barra de aço CA-50 (bitola: 6,3 mm)	kg	1,050	23,00	24,15	R\$ 4,09	R\$ 98,77	
			1.089,00	1.143,45	R\$ 4,09	R\$ 4.676,71	
Barra de aço CA-50 (bitola: 8 mm)	kg	1,050	68,00	71,40	R\$ 4,60	R\$ 328,44	
			310,00	325,50	R\$ 4,60	R\$ 1.497,30	
Barra de aço CA-60 (bitola: 5 mm)	kg	1,050	156,00	163,80	R\$ 3,91	R\$ 640,46	
			174,00	182,70	R\$ 3,91	R\$ 714,36	
			224,00	235,20	R\$ 3,91	R\$ 919,63	
Carpinteiro	h	0,524	271,06	142,04	R\$ 3,40	R\$ 482,92	
			0,660	120,95	79,83	R\$ 3,40	R\$ 271,41
			0,892	181,02	161,47	R\$ 3,40	R\$ 549,00
Chapa compensada plastificada (espessura: 12 mm)	m²	0,100	181,02	18,03	R\$ 55,00	R\$ 991,63	
			0,104	271,06	28,19	R\$ 55,00	R\$ 1.550,46
			0,112	120,95	13,55	R\$ 55,00	R\$ 745,05
Concreto dosado em central convencional brita 1 e 2	m³	1,050	8,23	8,64	R\$ 300,27	R\$ 2.594,78	
			14,48	15,20	R\$ 300,27	R\$ 4.565,31	
			35,90	37,70	R\$ 300,27	R\$ 11.318,68	
Desmoldante de fôrmas para concreto	l	0,020	120,95	2,42	R\$ 17,36	R\$ 41,99	
			181,02	3,62	R\$ 25,98	R\$ 94,05	
			271,06	5,42	R\$ 38,90	R\$ 210,89	
Desmontagem de fôrma feita em obra para lajes, em chapa compensada plastificada, e=12 mm	m²	1,000	271,06	271,06	R\$ 3,33	R\$ 902,10	
Desmontagem de fôrma feita em obra para pilares, em chapa compensada plastificada, e=12 mm	m²	1,000	120,95	120,95	R\$ 3,33	R\$ 402,53	
Desmontagem de fôrma feita em obra para vigas, em chapa compensada plastificada, e=12 mm	m²	1,000	181,02	181,02	R\$ 3,33	R\$ 602,44	
Espaçador circular de plástico para pilares, fundo e laterais de vigas, lajes, pisos e estacas (cobrimento: 30	un	4,700	903,00	4.244,10	R\$ 0,08	R\$ 331,87	
			7,290	1.528,00	11.139,12	R\$ 0,08	R\$ 871,04
			11,400	1.645,00	18.753,00	R\$ 0,08	R\$ 1.466,42
Fabricação de fôrma feita em obra para lajes, em chapa compensada plastificada, e=12 mm	m²	0,083	271,06	22,50	R\$ 4,44	R\$ 99,83	

Componente	Unidade	Consumo	Quantidade	Total	Preço unitário	Custo total
Fabricação de fôrma feita em obra para pilares, em chapa compensada plastificada, e=12 mm	m²	0,083	120,95	10,04	R\$ 4,44	R\$ 44,55
Fabricação de fôrma feita em obra para vigas, em chapa compensada plastificada, e=12 mm	m²	0,083	181,02	15,02	R\$ 4,44	R\$ 66,67
Montagem de fôrma feita em obra para lajes, em chapa compensada plastificada, e=12 mm	m²	1,000	271,06	271,06	R\$ 3,33	R\$ 902,10
Montagem de fôrma feita em obra para pilares, em chapa compensada plastificada, e=12 mm	m²	1,000	120,95	120,95	R\$ 3,33	R\$ 402,53
Montagem de fôrma feita em obra para vigas, em chapa compensada plastificada, e=12 mm	m²	1,000	181,02	181,02	R\$ 3,33	R\$ 602,44
Pedreiro	h	1,620	8,23	13,33	R\$ 3,40	R\$ 45,33
			14,48	23,46	R\$ 3,40	R\$ 79,76
			35,90	58,16	R\$ 3,40	R\$ 197,74
Pontaletes 3" x 3" (altura: 75 mm / largura: 75 mm)	m	0,216	271,06	58,55	R\$ 3,20	R\$ 187,36
			120,95	62,29	R\$ 3,20	R\$ 199,33
Prego 15 x 15 com cabeça (comprimento: 34,5 mm / diâmetro da cabeça: 2,4 mm)	kg	0,050	271,06	13,55	R\$ 5,08	R\$ 68,85
Prego 17 x 21 com cabeça (comprimento: 48,3 mm / diâmetro)	kg	0,017	181,02	3,00	R\$ 4,64	R\$ 13,94
			120,95	2,06	R\$ 4,64	R\$ 9,54
Prego 17 x 27 com cabeça dupla (comprimento: 62,1 mm / diâmetro)	kg	0,100	181,02	18,10	R\$ 5,74	R\$ 103,91
			120,95	24,19	R\$ 5,74	R\$ 138,85
Sarrafo 1" x 3" (altura: 75 mm / espessura: 25 mm)	m	0,083	181,02	15,02	R\$ 2,07	R\$ 31,10
			120,95	82,37	R\$ 2,07	R\$ 170,50
Servente	h	1,620	8,23	13,33	R\$ 2,31	R\$ 30,80
			14,48	23,46	R\$ 2,31	R\$ 54,19
			35,90	58,16	R\$ 2,31	R\$ 134,34
Tábua 1" x 6" (espessura: 25 mm / largura: 150 mm)	m	0,166	181,02	30,05	R\$ 1,68	R\$ 50,48
Tábua 1" x 8" (espessura: 25 mm / largura: 200 mm)	m	0,108	271,06	29,27	R\$ 2,26	R\$ 66,01
Vibrador de imersão, elétrico, potência 1 HP (0,75 kW) - vida útil 20.000 h	h prod.	0,200	8,23	1,65	R\$ 8,95	R\$ 14,73
			14,48	2,90	R\$ 8,95	R\$ 25,92
			35,90	7,18	R\$ 8,95	R\$ 64,26

Quadro APA-1: consumos, quantitativos e custos unitários e totais dos materiais, para o pavimento tipo em laje maciça convencional

Componente	Unidade	Consumo	Quantidade	Total	Preço unitário	Custo total
Ajudante de armador	h	0,006	1.054,00	6,40	R\$ 2,75	R\$ 17,60
Ajudante de carpinteiro	h	0,023	283,91	6,64	R\$ 2,75	R\$ 18,26
		0,029	120,95	3,56	R\$ 2,75	R\$ 9,80
		0,040	126,56	5,04	R\$ 2,75	R\$ 13,86
Arame galvanizado (bitola: 12 BWG)	kg	0,180	120,95	21,77	R\$ 9,11	R\$ 198,33
Arame recozido (diâmetro do fio: 1,25 mm / bitola: 18 BWG)	kg	0,020	1.054,00	21,08	R\$ 5,65	R\$ 119,10
			1.173,00	23,46	R\$ 5,65	R\$ 132,55
			3.435,00	68,70	R\$ 5,65	R\$ 388,16
Armador	h	0,006	3.435,00	19,02	R\$ 3,40	R\$ 64,65
			1.054,00	6,40	R\$ 3,40	R\$ 21,76
			1.173,00	20,95	R\$ 3,40	R\$ 71,22
Barra de aço CA-50 (bitola: 10 mm)	kg	1,050	41,00	43,05	R\$ 4,03	R\$ 173,49
			184,00	193,20	R\$ 4,03	R\$ 778,60
			665,00	698,25	R\$ 4,03	R\$ 2.813,95
Barra de aço CA-50 (bitola: 12,5 mm)	kg	1,050	167,00	175,35	R\$ 3,56	R\$ 624,25
			302,00	317,10	R\$ 3,56	R\$ 1.128,88
			720,00	756,00	R\$ 3,56	R\$ 2.691,36
Barra de aço CA-50 (bitola: 16 mm)	kg	1,050	334,00	350,70	R\$ 3,56	R\$ 1.248,49
			490,00	514,50	R\$ 3,56	R\$ 1.831,62
Barra de aço CA-50 (bitola: 20 mm)	kg	1,050	112,00	117,60	R\$ 3,56	R\$ 418,66
			205,00	215,25	R\$ 3,56	R\$ 766,29
Barra de aço CA-50 (bitola: 6,3 mm)	kg	1,050	78,00	81,90	R\$ 4,09	R\$ 334,97
			636,00	667,80	R\$ 4,09	R\$ 2.731,30
Barra de aço CA-50 (bitola: 8 mm)	kg	1,050	1.397,00	1.466,85	R\$ 4,60	R\$ 6.747,51
Barra de aço CA-60 (bitola: 5 mm)	kg	1,050	17,00	17,85	R\$ 3,91	R\$ 69,79
			150,00	157,50	R\$ 3,91	R\$ 615,83
			164,00	172,20	R\$ 3,91	R\$ 673,30
Carpinteiro	h	0,094	283,91	26,57	R\$ 3,40	R\$ 90,32
			120,95	14,25	R\$ 3,40	R\$ 48,47
			126,56	20,16	R\$ 3,40	R\$ 68,54
Chapa compensada plastificada (espessura: 12 mm)	m²	0,100	126,56	12,61	R\$ 55,00	R\$ 693,30
			283,91	29,53	R\$ 55,00	R\$ 1.623,97
			120,95	13,55	R\$ 55,00	R\$ 745,05
Concreto dosado em central convencional brita 1 e 2	m³	1,050	8,23	8,64	R\$ 300,27	R\$ 2.594,78
			10,04	10,54	R\$ 300,27	R\$ 3.165,45
			47,21	49,57	R\$ 300,27	R\$ 14.884,53
Desmoldante de fôrmas para concreto	l	0,020	120,95	2,42	R\$ 17,36	R\$ 41,99
			126,56	2,53	R\$ 18,16	R\$ 45,97
			283,91	5,68	R\$ 40,74	R\$ 231,35
Desmontagem de fôrma feita em obra para lajes, em chapa compensada plastificada, e=12 mm	m²	1,000	283,91	283,91	R\$ 3,33	R\$ 944,87
Desmontagem de fôrma feita em obra para pilares, em chapa compensada plastificada, e=12 mm	m²	1,000	120,95	120,95	R\$ 3,33	R\$ 402,53
Desmontagem de fôrma feita em obra para vigas, em chapa compensada plastificada, e=12 mm	m²	1,000	126,56	126,56	R\$ 3,33	R\$ 421,20
Espaçador circular de plástico para pilares, fundo e laterais de vigas, lajes, pisos e estacas (cobrimento: 30	un	4,700	1.054,00	4.953,80	R\$ 0,08	R\$ 387,37
			1.173,00	8.551,17	R\$ 0,08	R\$ 668,67
			3.435,00	39.159,00	R\$ 0,08	R\$ 3.062,10
Fabricação de fôrma feita em obra para lajes, em chapa compensada plastificada, e=12 mm	m²	0,083	283,91	23,56	R\$ 4,44	R\$ 104,57

Componente	Unidade	Consumo	Quantidade	Total	Preço unitário	Custo total
Fabricação de fôrma feita em obra para pilares, em chapa compensada plastificada, e=12 mm	m²	0,083	120,95	10,04	R\$ 4,44	R\$ 44,55
Fabricação de fôrma feita em obra para vigas, em chapa compensada plastificada, e=12 mm	m²	0,083	126,56	10,50	R\$ 4,44	R\$ 46,61
Montagem de fôrma feita em obra para lajes, em chapa compensada plastificada, e=12 mm	m²	1,000	283,91	283,91	R\$ 3,33	R\$ 944,87
Montagem de fôrma feita em obra para pilares, em chapa compensada plastificada, e=12 mm	m²	1,000	120,95	120,95	R\$ 3,33	R\$ 402,53
Montagem de fôrma feita em obra para vigas, em chapa compensada plastificada, e=12 mm	m²	1,000	126,56	126,56	R\$ 3,33	R\$ 421,20
Pedreiro	h	0,289	8,23	2,38	R\$ 3,40	R\$ 8,09
			10,04	2,90	R\$ 3,40	R\$ 9,88
			47,21	13,66	R\$ 3,40	R\$ 46,43
Pontaletes 3" x 3" (altura: 75 mm / largura: 75 mm)	m	0,216	283,91	61,32	R\$ 3,20	R\$ 196,24
			120,95	62,29	R\$ 3,20	R\$ 199,33
Prego 15 x 15 com cabeça (comprimento: 34,5 mm / diâmetro da cabeça: 2,4 mm)	kg	0,050	283,91	14,20	R\$ 5,08	R\$ 72,11
Prego 17 x 21 com cabeça (comprimento: 48,3 mm / diâmetro)	kg	0,017	126,56	2,10	R\$ 4,64	R\$ 9,75
			120,95	2,06	R\$ 4,64	R\$ 9,54
Prego 17 x 27 com cabeça dupla (comprimento: 62,1 mm / diâmetro)	kg	0,100	126,56	12,66	R\$ 5,74	R\$ 72,65
			120,95	24,19	R\$ 5,74	R\$ 138,85
Sarrafo 1" x 3" (altura: 75 mm / espessura: 25 mm)	m	0,083	126,56	10,50	R\$ 2,07	R\$ 21,74
			120,95	82,37	R\$ 2,07	R\$ 170,50
Servente	h	0,289	8,23	2,38	R\$ 2,31	R\$ 5,50
			10,04	2,90	R\$ 2,31	R\$ 6,71
			47,21	13,66	R\$ 2,31	R\$ 31,55
Tábua 1" x 6" (espessura: 25 mm / largura: 150 mm)	m	0,166	126,56	21,01	R\$ 1,68	R\$ 35,30
Tábua 1" x 8" (espessura: 25 mm / largura: 200 mm)	m	0,108	283,91	30,66	R\$ 2,26	R\$ 69,14
Vibrador de imersão, elétrico, potência 1 HP (0,75 kW) - vida útil 20.000 h	h prod.	0,200	8,23	1,65	R\$ 8,95	R\$ 14,73
			10,04	2,01	R\$ 8,95	R\$ 17,97
			47,21	9,44	R\$ 8,95	R\$ 84,51

Quadro APA-2: consumos, quantitativos e custos unitários e totais dos materiais, para o pavimento tipo em laje maciça lisa

Componente	Unidade	Consumo	Quantidade	Total	Preço unitário	Custo total	
Ajudante de armador	h	0,006	1.054,00	6,40	R\$ 2,75	R\$ 17,60	
Ajudante de carpinteiro	h	0,023	283,91	6,64	R\$ 2,75	R\$ 18,26	
		0,029	120,95	3,56	R\$ 2,75	R\$ 9,80	
		0,040	121,94	4,86	R\$ 2,75	R\$ 13,35	
Arame galvanizado (bitola: 12 BWG)	kg	0,180	120,95	21,77	R\$ 9,11	R\$ 198,33	
Arame recozido (diâmetro do fio: 1,25 mm / bitola: 18 BWG)	kg	0,020	1.054,00	21,08	R\$ 5,65	R\$ 119,10	
			1.496,00	29,92	R\$ 5,65	R\$ 169,05	
			3.078,00	61,56	R\$ 5,65	R\$ 347,81	
Armador	h	0,006	3.078,00	17,04	R\$ 3,40	R\$ 57,93	
			1.054,00	6,40	R\$ 3,40	R\$ 21,76	
			1.496,00	26,71	R\$ 3,40	R\$ 90,83	
Barra de aço CA-50 (bitola: 10 mm)	kg	1,050	43,00	45,15	R\$ 4,03	R\$ 181,95	
			228,00	239,40	R\$ 4,03	R\$ 964,78	
			1.037,00	1.088,85	R\$ 4,03	R\$ 4.388,07	
Barra de aço CA-50 (bitola: 12,5 mm)	kg	1,050	103,00	108,15	R\$ 3,56	R\$ 385,01	
			405,00	425,25	R\$ 3,56	R\$ 1.513,89	
			1.047,00	1.099,35	R\$ 3,56	R\$ 3.913,69	
Barra de aço CA-50 (bitola: 16 mm)	kg	1,050	349,00	366,45	R\$ 3,56	R\$ 1.304,56	
			546,00	573,30	R\$ 3,56	R\$ 2.040,95	
Barra de aço CA-50 (bitola: 20 mm)	kg	1,050	52,00	54,60	R\$ 3,56	R\$ 194,38	
			205,00	215,25	R\$ 3,56	R\$ 766,29	
Barra de aço CA-50 (bitola: 6,3 mm)	kg	1,050	170,00	178,50	R\$ 4,09	R\$ 730,07	
			188,00	197,40	R\$ 4,09	R\$ 807,37	
Barra de aço CA-50 (bitola: 8 mm)	kg	1,050	11,00	11,55	R\$ 4,60	R\$ 53,13	
			381,00	400,05	R\$ 4,60	R\$ 1.840,23	
Barra de aço CA-60 (bitola: 5 mm)	kg	1,050	169,00	177,45	R\$ 3,91	R\$ 693,83	
			251,00	263,55	R\$ 3,91	R\$ 1.030,48	
			443,00	465,15	R\$ 3,91	R\$ 1.818,74	
Carpinteiro	h	0,094	283,91	26,57	R\$ 3,40	R\$ 90,32	
			0,118	120,95	14,25	R\$ 3,40	R\$ 48,47
			0,159	121,94	19,42	R\$ 3,40	R\$ 66,04
Chapa compensada plastificada (espessura: 12 mm)	m²	0,100	121,94	12,15	R\$ 55,00	R\$ 667,99	
			0,104	283,91	29,53	R\$ 55,00	R\$ 1.623,97
			0,112	120,95	13,55	R\$ 55,00	R\$ 745,05
Concreto dosado em central convencional brita 1 e 2	m³	1,050	8,23	8,64	R\$ 300,27	R\$ 2.594,78	
			10,04	10,54	R\$ 300,27	R\$ 3.165,45	
			37,31	39,18	R\$ 300,27	R\$ 11.763,23	
Desmoldante de fôrmas para concreto	l	0,020	120,95	2,42	R\$ 17,36	R\$ 41,99	
			121,94	2,44	R\$ 17,50	R\$ 42,68	
			283,91	5,68	R\$ 40,74	R\$ 231,35	
Desmontagem de fôrma feita em obra para lajes, em chapa compensada plastificada, e=12 mm	m²	1,000	283,91	283,91	R\$ 3,33	R\$ 944,87	
Desmontagem de fôrma feita em obra para pilares, em chapa compensada plastificada, e=12 mm	m²	1,000	120,95	120,95	R\$ 3,33	R\$ 402,53	
Desmontagem de fôrma feita em obra para vigas, em chapa compensada plastificada, e=12 mm	m²	1,000	121,94	121,94	R\$ 3,33	R\$ 405,82	
Espaçador circular de plástico para pilares, fundo e laterais de vigas, lajes, pisos e estacas (cobrimento: 30	un	4,700	1.054,00	4.953,80	R\$ 0,08	R\$ 387,37	
			7,290	1.496,00	10.905,84	R\$ 0,08	R\$ 852,80
			11,400	3.078,00	35.089,20	R\$ 0,08	R\$ 2.743,86
Fabricação de fôrma feita em obra para lajes, em chapa compensada plastificada, e=12 mm	m²	0,083	283,91	23,56	R\$ 4,44	R\$ 104,57	

Componente	Unidade	Consumo	Quantidade	Total	Preço unitário	Custo total
Fabricação de fôrma feita em obra para pilares, em chapa compensada plastificada, e=12 mm	m <sup>2</sup>	0,083	120,95	10,04	R\$ 4,44	R\$ 44,55
Fabricação de fôrma feita em obra para vigas, em chapa compensada plastificada, e=12 mm	m <sup>2</sup>	0,083	121,94	10,12	R\$ 4,44	R\$ 44,91
Fôrmas de poliestireno expandido (blocos de EPS)	m <sup>3</sup>	1,000	23,79	23,79	R\$ 164,00	R\$ 3.901,64
Montagem de fôrma feita em obra para lajes, em chapa compensada plastificada, e=12 mm	m <sup>2</sup>	1,000	283,91	283,91	R\$ 3,33	R\$ 944,87
Montagem de fôrma feita em obra para pilares, em chapa compensada plastificada, e=12 mm	m <sup>2</sup>	1,000	120,95	120,95	R\$ 3,33	R\$ 402,53
Montagem de fôrma feita em obra para vigas, em chapa compensada plastificada, e=12 mm	m <sup>2</sup>	1,000	121,94	121,94	R\$ 3,33	R\$ 405,82
Pedreiro	h	0,289	8,23	2,38	R\$ 3,40	R\$ 8,09
			10,04	2,90	R\$ 3,40	R\$ 9,88
			37,31	10,79	R\$ 3,40	R\$ 36,70
Pontaletes 3" x 3" (altura: 75 mm / largura: 75 mm)	m	0,216	283,91	61,32	R\$ 3,20	R\$ 196,24
			120,95	62,29	R\$ 3,20	R\$ 199,33
Prego 15 x 15 com cabeça (comprimento: 34,5 mm / diâmetro da cabeça: 2,4 mm)	kg	0,050	283,91	14,20	R\$ 5,08	R\$ 72,11
Prego 17 x 21 com cabeça (comprimento: 48,3 mm / diâmetro)	kg	0,017	121,94	2,02	R\$ 4,64	R\$ 9,39
			120,95	2,06	R\$ 4,64	R\$ 9,54
Prego 17 x 27 com cabeça dupla (comprimento: 62,1 mm / diâmetro)	kg	0,100	121,94	12,19	R\$ 5,74	R\$ 69,99
			0,200	24,19	R\$ 5,74	R\$ 138,85
Sarrafo 1" x 3" (altura: 75 mm / espessura: 25 mm)	m	0,083	121,94	10,12	R\$ 2,07	R\$ 20,95
			0,681	120,95	82,37	R\$ 2,07
Servente	h	0,289	8,23	2,38	R\$ 2,31	R\$ 5,50
			10,04	2,90	R\$ 2,31	R\$ 6,71
			37,31	10,79	R\$ 2,31	R\$ 24,93
Tábua 1" x 6" (espessura: 25 mm / largura: 150 mm)	m	0,166	121,94	20,24	R\$ 1,68	R\$ 34,01
Tábua 1" x 8" (espessura: 25 mm / largura: 200 mm)	m	0,108	283,91	30,66	R\$ 2,26	R\$ 69,14
Vibrador de imersão, elétrico, potência 1 HP (0,75 kW) - vida útil 20.000 h	h prod.	0,200	8,23	1,65	R\$ 8,95	R\$ 14,73
			10,04	2,01	R\$ 8,95	R\$ 17,97
			37,31	7,46	R\$ 8,95	R\$ 66,78

Quadro APA-3: consumos, quantitativos e custos unitários e totais dos materiais, para o pavimento tipo em laje nervurada com blocos de EPS

Componente	Unidade	Consumo	Quantidade	Total	Preço unitário	Custo total	
Ajudante de armador	h	0,022	1.734,00	37,90	R\$ 2,75	R\$ 104,23	
Ajudante de carpinteiro	h	0,084	6,14	0,52	R\$ 2,75	R\$ 1,42	
		0,106	98,77	10,48	R\$ 2,75	R\$ 28,81	
		0,143	107,61	15,43	R\$ 2,75	R\$ 42,42	
Arame galvanizado (bitola: 12 BWG)	kg	0,180	98,77	17,78	R\$ 9,11	R\$ 161,96	
Arame recozido (diâmetro do fio: 1,25 mm / bitola: 18 BWG)	kg	0,020	1.641,00	32,82	R\$ 5,65	R\$ 185,43	
			1.734,00	34,68	R\$ 5,65	R\$ 195,94	
			3.632,00	72,64	R\$ 5,65	R\$ 410,42	
Armador	h	0,020	3.632,00	72,38	R\$ 3,40	R\$ 246,09	
			0,022	1.734,00	37,90	R\$ 3,40	R\$ 128,86
			0,064	1.641,00	105,49	R\$ 3,40	R\$ 358,68
Barra de aço CA-50 (bitola: 10 mm)	kg	1,050	36,00	37,80	R\$ 4,03	R\$ 152,33	
			80,00	84,00	R\$ 4,03	R\$ 338,52	
			1.303,00	1.368,15	R\$ 4,03	R\$ 5.513,64	
Barra de aço CA-50 (bitola: 12,5 mm)	kg	1,050	76,00	79,80	R\$ 3,56	R\$ 284,09	
			319,00	334,95	R\$ 3,56	R\$ 1.192,42	
			361,00	379,05	R\$ 3,56	R\$ 1.349,42	
Barra de aço CA-50 (bitola: 16 mm)	kg	1,050	62,00	65,10	R\$ 3,56	R\$ 231,76	
			515,00	540,75	R\$ 3,56	R\$ 1.925,07	
			985,00	1.034,25	R\$ 3,56	R\$ 3.681,93	
Barra de aço CA-50 (bitola: 20 mm)	kg	1,050	90,00	94,50	R\$ 3,56	R\$ 336,42	
			370,00	388,50	R\$ 3,56	R\$ 1.383,06	
			1.394,00	1.463,70	R\$ 3,56	R\$ 5.210,77	
Barra de aço CA-50 (bitola: 6,3 mm)	kg	1,050	107,00	112,35	R\$ 4,09	R\$ 459,51	
			166,00	174,30	R\$ 4,09	R\$ 712,89	
Barra de aço CA-50 (bitola: 8 mm)	kg	1,050	154,00	161,70	R\$ 4,60	R\$ 743,82	
			393,00	412,65	R\$ 4,60	R\$ 1.898,19	
Barra de aço CA-60 (bitola: 5 mm)	kg	1,050	122,00	128,10	R\$ 3,91	R\$ 500,87	
			140,00	147,00	R\$ 3,91	R\$ 574,77	
			334,00	350,70	R\$ 3,91	R\$ 1.371,24	
Carpinteiro	h	0,337	6,14	2,07	R\$ 3,40	R\$ 7,03	
			0,424	98,77	41,91	R\$ 3,40	R\$ 142,48
			0,573	107,61	61,71	R\$ 3,40	R\$ 209,80
Chapa compensada plastificada (espessura: 12 mm)	m²	0,100	107,61	10,72	R\$ 55,00	R\$ 589,49	
			0,104	6,14	0,64	R\$ 55,00	R\$ 35,12
			0,112	98,77	11,06	R\$ 55,00	R\$ 608,42
Concreto dosado em central convencional brita 1 e 2	m³	1,050	6,60	6,93	R\$ 300,27	R\$ 2.080,87	
			10,04	10,54	R\$ 300,27	R\$ 3.165,45	
			68,95	72,40	R\$ 300,27	R\$ 21.738,80	
Desmoldante de fôrmas para concreto	l	0,020	6,14	0,12	R\$ 0,88	R\$ 0,11	
			98,77	1,98	R\$ 14,17	R\$ 28,00	
			107,61	2,15	R\$ 15,44	R\$ 33,24	
Desmontagem de fôrma feita em obra para lajes, em chapa compensada plastificada, e=12 mm	m²	1,000	6,14	6,14	R\$ 3,33	R\$ 20,43	
Desmontagem de fôrma feita em obra para pilares, em chapa compensada plastificada, e=12 mm	m²	1,000	98,77	98,77	R\$ 3,33	R\$ 328,71	
Desmontagem de fôrma feita em obra para vigas, em chapa compensada plastificada, e=12 mm	m²	1,000	107,61	107,61	R\$ 3,33	R\$ 358,13	
Espaçador circular de plástico para pilares, fundo e laterais de vigas, lajes, pisos e estacas (cobrimento: 30	un	4,700	1.734,00	8.149,80	R\$ 0,08	R\$ 637,29	
			1.641,00	11.962,89	R\$ 0,08	R\$ 935,46	
			3.632,00	41.404,80	R\$ 0,08	R\$ 3.237,72	
Fabricação de fôrma feita em obra para lajes, em chapa compensada plastificada, e=12 mm	m²	0,083	6,14	0,51	R\$ 4,44	R\$ 2,26	

Componente	Unidade	Consumo	Quantidade	Total	Preço unitário	Custo total
Fabricação de fôrma feita em obra para pilares, em chapa compensada plastificada, e=12 mm	m²	0,083	98,77	8,20	R\$ 4,44	R\$ 36,38
Fabricação de fôrma feita em obra para vigas, em chapa compensada plastificada, e=12 mm	m²	0,083	107,61	8,93	R\$ 4,44	R\$ 39,63
Fôrmas de polipropileno para lajes nervuradas (cubetas de polipropileno - 400 x 799 x 300 mm)	un / dia	1,000	240,00	120,00	R\$ 0,42	R\$ 50,67
Fôrmas de polipropileno para lajes nervuradas (cubetas de polipropileno - 749 x 799 x 300 mm)	un / dia	1,000	2.760,00	1.380,00	R\$ 0,60	R\$ 828,00
Forro de gesso acartonado - colocado, fixo, com acabamento monolítico suspenso por pendurais de arame galvanizado nº 18 (espessura: 12,5 mm)	m²	1,000	278,34	278,34	R\$ 31,15	R\$ 8.670,29
Montagem de fôrma feita em obra para lajes, em chapa compensada plastificada, e=12 mm	m²	1,000	6,14	6,14	R\$ 3,33	R\$ 20,43
Montagem de fôrma feita em obra para pilares, em chapa compensada plastificada, e=12 mm	m²	1,000	98,77	98,77	R\$ 3,33	R\$ 328,71
Montagem de fôrma feita em obra para vigas, em chapa compensada plastificada, e=12 mm	m²	1,000	107,61	107,61	R\$ 3,33	R\$ 358,13
Pedreiro	h	1,041	6,60	6,87	R\$ 3,40	R\$ 23,37
			10,04	10,46	R\$ 3,40	R\$ 35,55
			68,95	71,81	R\$ 3,40	R\$ 244,14
Pontaleta 3" x 3" (altura: 75 mm / largura: 75 mm)	m	0,216	6,14	1,33	R\$ 3,20	R\$ 4,24
			0,515	98,77	50,87	R\$ 3,20
Prego 15 x 15 com cabeça (comprimento: 34,5 mm / diâmetro da cabeça: 2,4 mm)	kg	0,050	6,14	0,31	R\$ 5,08	R\$ 1,56
Prego 17 x 21 com cabeça (comprimento: 48,3 mm / diâmetro)	kg	0,017	107,61	1,79	R\$ 4,64	R\$ 8,29
			98,77	1,68	R\$ 4,64	R\$ 7,79
Prego 17 x 27 com cabeça dupla (comprimento: 62,1 mm / diâmetro)	kg	0,100	107,61	10,76	R\$ 5,74	R\$ 61,77
			0,200	98,77	19,75	R\$ 5,74
Sarrafo 1" x 3" (altura: 75 mm / espessura: 25 mm)	m	0,083	107,61	8,93	R\$ 2,07	R\$ 18,49
			0,681	98,77	67,26	R\$ 2,07
Servente	h	1,041	6,60	6,87	R\$ 2,31	R\$ 15,88
			10,04	10,46	R\$ 2,31	R\$ 24,15
			68,95	71,81	R\$ 2,31	R\$ 165,87
Tábua 1" x 6" (espessura: 25 mm / largura: 150 mm)	m	0,166	107,61	17,86	R\$ 1,68	R\$ 30,01
Tábua 1" x 8" (espessura: 25 mm / largura: 200 mm)	m	0,108	6,14	0,66	R\$ 2,26	R\$ 1,50
Vibrador de imersão, elétrico, potência 1 HP (0,75 kW) - vida útil 20.000 h	h prod.	0,200	6,60	1,32	R\$ 8,95	R\$ 11,81
			10,04	2,01	R\$ 8,95	R\$ 17,97
			68,95	13,79	R\$ 8,95	R\$ 123,42

Quadro APA-4: consumos, quantitativos e custos unitários e totais dos materiais, para o pavimento tipo em laje nervurada com cubetas de polipropileno

**APÊNDICE B – Plantas de fôrmas e dimensões dos elementos estruturais  
do pavimento tipo**

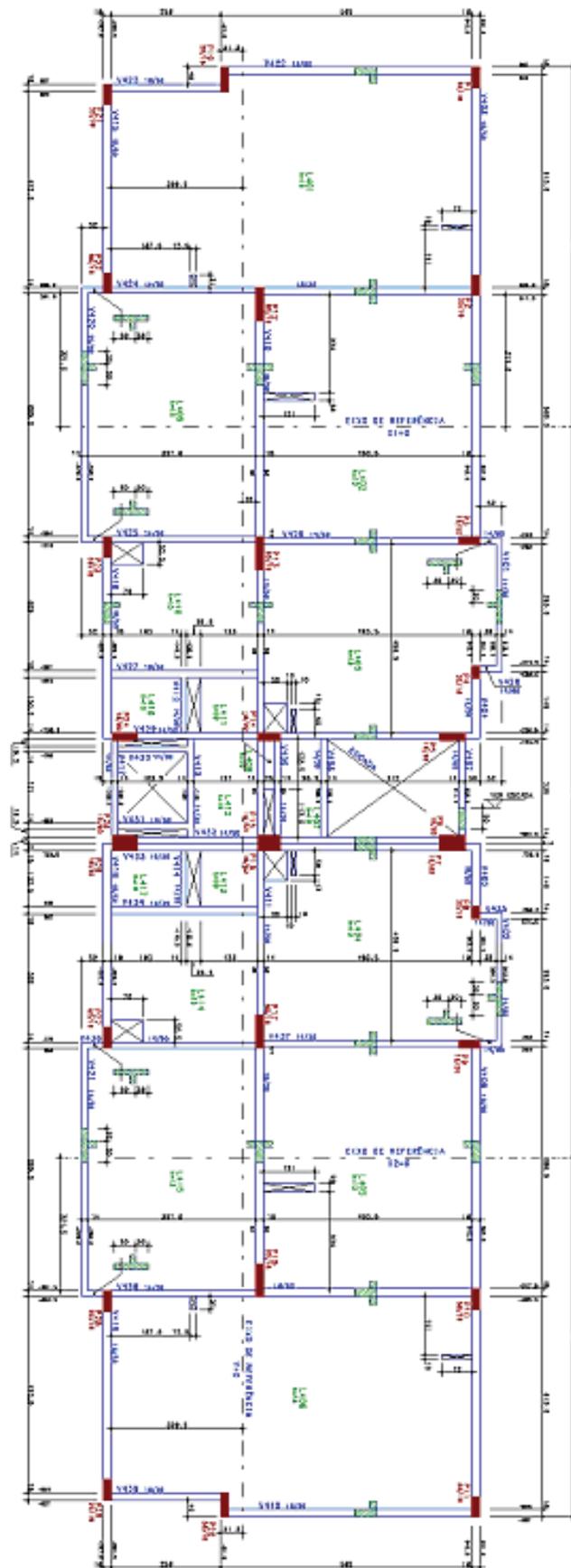


Figura APB-1: planta de fôrmas completa do pavimento tipo em laje convencional

<b>Elemento</b>	<b>Identificação/Igualdades</b>	<b>Dimensão (em cm)</b>
Laje	L401=L406	h=15
Laje	L402=L405	h=13
Laje	L403=L404	h=13
Laje	L407	h=10
Laje	L408	h=10
Laje	L409=L415	h=13
Laje	L410=L414	h=10
Laje	L411=L413	h=10
Laje	L412	h=10
Laje	L416=L417	h=10
Viga	V401=V402	14/80
Viga	V403=V406	18/50
Viga	V404=V405	18/50
Viga	V407	14/50
Viga	V408	14/30
Viga	V409	14/30
Viga	V410=V411	18/50 e 14/50
Viga	V412=V414	14/30
Viga	V413	14/30
Viga	V415=V419	18/50
Viga	V416=V418	18/50
Viga	V417	14/50
Viga	V420=V421	14/80
Viga	V422=V440	18/50
Viga	V423=V439	18/50
Viga	V424=V438	14/80, 14/50 e 18/50
Viga	V425=V436	14/80 e 14/50
Viga	V426=V437	14/50 e 14/80
Viga	V427=V434	18/30
Viga	V428=V435	14/80
Viga	V429=V432	14/50
Viga	V430=V431	14/30
Viga	V433	18/50
Pilar	P1=P11	50/18
Pilar	P2=P10	50/18
Pilar	P3=P9	18/50
Pilar	P4=P8	30/18
Pilar	P5=P6=P7	18/60
Pilar	P12=P18	80/18
Pilar	P13=P17	80/18
Pilar	P14=P15=P16	18/53
Pilar	P19=P20	58/18
Pilar	P21=P29	50/18
Pilar	P22=P28	50/18
Pilar	P23=P27	50/18
Pilar	P24=P25=P26	18/60

Quadro APB-1: dimensões dos elementos estruturais do pavimento tipo em laje convencional

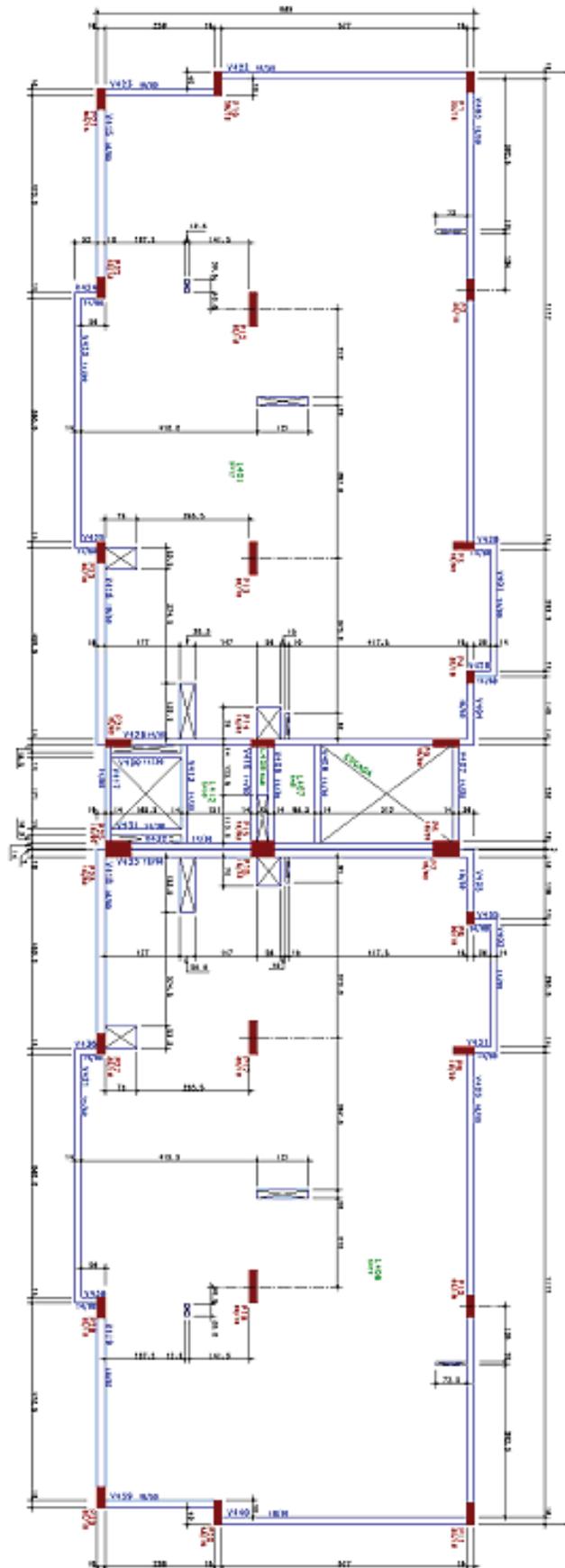


Figura APB-2: planta de fôrmas completa do pavimento tipo em laje lisa

<b>Elemento</b>	<b>Identificação/Igualdades</b>	<b>Dimensão (em cm)</b>
Laje	L401=L406	h=17
Laje	L407	h=8
Laje	L408	h=8
Laje	L412	h=10
Viga	V401=V402	14/80
Viga	V403=V406	18/50
Viga	V404=V405	18/50
Viga	V407	14/50
Viga	V408	14/30
Viga	V409	14/30
Viga	V410	14/50
Viga	V413	14/30
Viga	V415=V419	18/50
Viga	V416=V418	18/50
Viga	V417	14/50
Viga	V420=V421	14/80
Viga	V422=V440	18/50
Viga	V423=V439	18/50
Viga	V424=V438	14/80
Viga	V425=V436	14/80
Viga	V426=V437	14/80
Viga	V428=V435	14/80
Viga	V429=V432	14/50
Viga	V430=V431	14/30
Viga	V433	18/50
Pilar	P1=P11	50/18
Pilar	P2=P10	50/18
Pilar	P3=P9	18/50
Pilar	P4=P8	30/18
Pilar	P5=P6=P7	18/60
Pilar	P12=P18	80/18
Pilar	P13=P17	80/18
Pilar	P14=P15=P16	18/53
Pilar	P19=P20	58/18
Pilar	P21=P29	50/18
Pilar	P22=P28	50/18
Pilar	P23=P27	50/18
Pilar	P24=P25=P26	18/60

Quadro APB-2: dimensões dos elementos estruturais do pavimento tipo em laje lisa

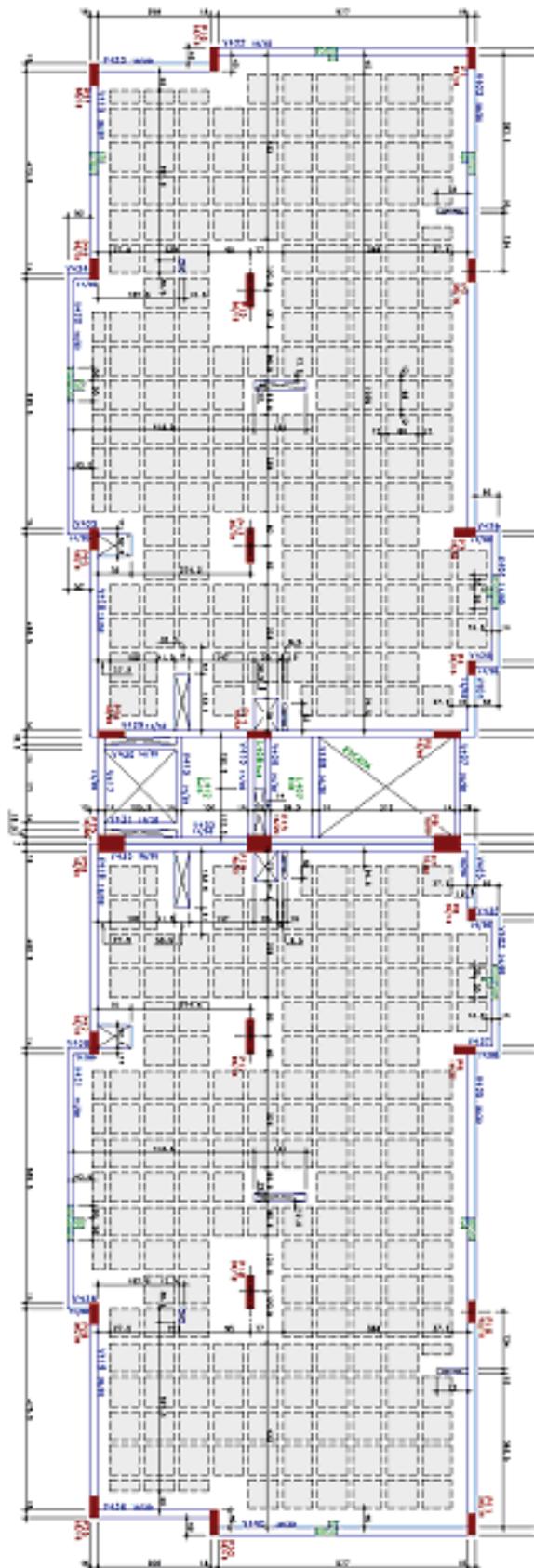


Figura APB-3: planta de fôrmas completa do pavimento tipo em laje nervada com blocos de EPS

<b>Elemento</b>	<b>Identificação/Igualdades</b>	<b>Dimensão (em cm)</b>
Laje	L401=L406	h=22
Laje	L407	h=8
Laje	L408	h=8
Laje	L412	h=10
Viga	V401=V402	14/80
Viga	V403=V406	18/50
Viga	V404=V405	18/50
Viga	V407	14/50
Viga	V408	14/30
Viga	V409	14/30
Viga	V410	14/50
Viga	V413	14/30
Viga	V415=V419	18/50
Viga	V416=V418	18/50
Viga	V417	14/50
Viga	V420=V421	14/80
Viga	V422=V440	18/50
Viga	V423=V439	18/50
Viga	V424=V438	14/80
Viga	V425=V436	14/80
Viga	V426=V437	14/80
Viga	V428=V435	14/80
Viga	V429=V432	14/50
Viga	V430=V431	14/30
Viga	V433	18/50
Pilar	P1=P11	50/18
Pilar	P2=P10	50/18
Pilar	P3=P9	18/50
Pilar	P4=P8	30/18
Pilar	P5=P6=P7	18/60
Pilar	P12=P18	80/18
Pilar	P13=P17	80/18
Pilar	P14=P15=P16	18/53
Pilar	P19=P20	58/18
Pilar	P21=P29	50/18
Pilar	P22=P28	50/18
Pilar	P23=P27	50/18
Pilar	P24=P25=P26	18/60

Quadro APB-3: dimensões dos elementos estruturais do pavimento tipo em laje nervurada com blocos de EPS

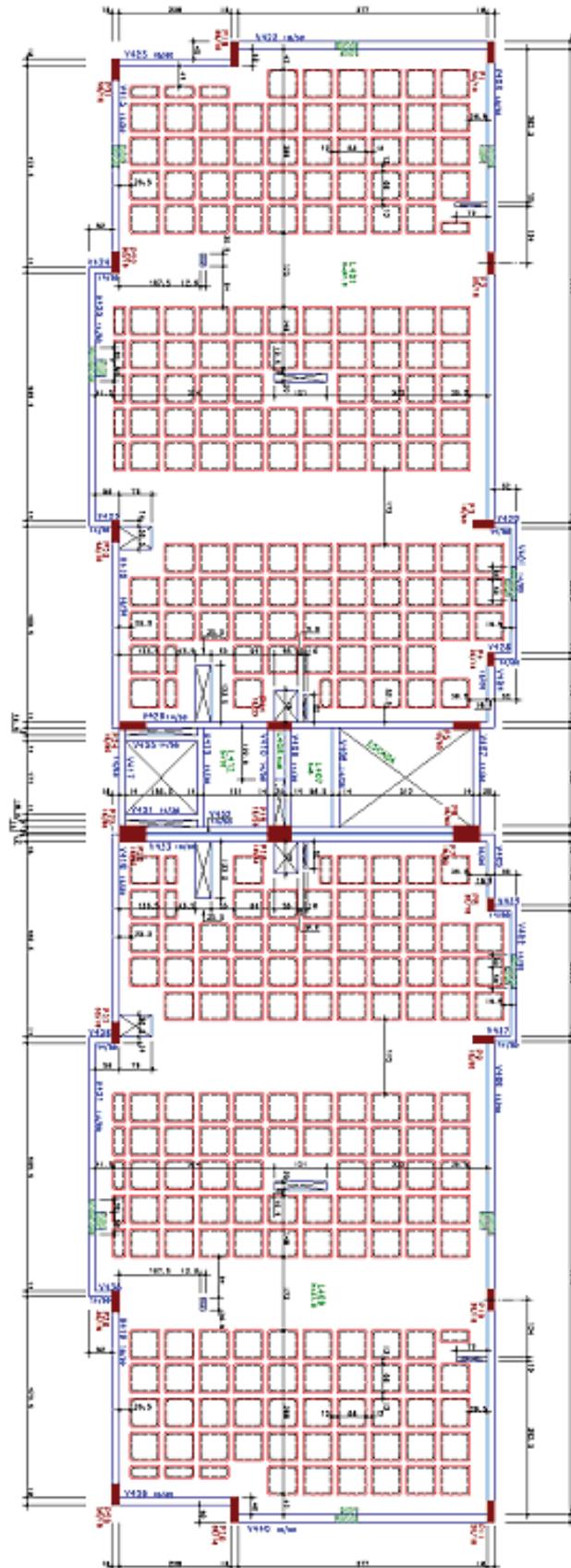


Figura APB-4: planta de fôrmas completa do pavimento tipo em laje nervurada com cubetas de polipropileno

<b>Elemento</b>	<b>Identificação/Igualdades</b>	<b>Dimensão (em cm)</b>
Laje	L401=L406	h=37,5
Laje	L407	h=8
Laje	L408	h=8
Laje	L412	h=10
Viga	V401=V402	14/80
Viga	V403=V406	18/50
Viga	V404=V405	18/50
Viga	V407	14/50
Viga	V408	14/30
Viga	V409	14/30
Viga	V410	14/50
Viga	V413	14/30
Viga	V415=V419	18/50
Viga	V416=V418	18/50
Viga	V417	14/50
Viga	V420=V421	14/80
Viga	V422=V440	18/50
Viga	V423=V439	18/50
Viga	V424=V438	14/80
Viga	V425=V436	14/80
Viga	V426=V437	14/80
Viga	V428=V435	14/80
Viga	V429=V432	14/50
Viga	V430=V431	14/30
Viga	V433	18/50
Pilar	P1=P11	50/18
Pilar	P2=P10	50/18
Pilar	P3=P9	18/50
Pilar	P4=P8	30/18
Pilar	P5=P6=P7	18/60
Pilar	P14=P15=P16	18/53
Pilar	P19=P20	58/18
Pilar	P21=P29	50/18
Pilar	P22=P28	50/18
Pilar	P23=P27	50/18
Pilar	P24=P25=P26	18/60

Quadro APB-4: dimensões dos elementos estruturais do pavimento tipo em laje nervurada com cubetas de polipropileno

**ANEXO A – Tabelas de composições de preços para orçamentos  
(TABELAS..., 2008)**

COMPONENTES	UNID.	CONSUMOS
Fabricação de fôrma feita em obra para pilares, em chapa compensada plastificada, e=12 mm	m <sup>2</sup>	0,083
Montagem de fôrma feita em obra para pilares, em chapa compensada plastificada, e=12 mm	m <sup>2</sup>	1,00
Desmontagem de fôrma feita em obra para pilares, em chapa compensada plastificada, e=12 mm	m <sup>2</sup>	1,00
<b>COMPOSIÇÃO DETALHADA INCLUINDO A PRODUÇÃO DE INSUMOS</b>		
Ajudante de carpinteiro	h	0,165
Carpinteiro	h	0,66
Chapa compensada plastificada (espessura: 12 mm)	m <sup>2</sup>	0,112
Prego 17 x 21 com cabeça (comprimento: 48,3 mm / diâmetro da cabeça: 3,0 mm)	kg	0,017
Pontaete 3" x 3" (altura: 75 mm / largura: 75 mm)	m	0,515
Sarrafo 1" x 3" (altura: 75 mm / espessura: 25 mm)	m	0,681
Desmoldante de fôrmas para concreto	l	0,02
Prego 17 x 27 com cabeça dupla (comprimento: 62,1 mm / diâmetro da cabeça: 3,0 mm)	kg	0,20
Arame galvanizado (bitola: 12 BWG)	kg	0,18

Quadro AXA-1: fôrma feita em obra para pilares, com chapa compensada plastificada, 12 aproveitamentos, e=12 mm - unidade: m<sup>2</sup>  
(TABELAS..., 2008, p. 129)

COMPONENTES	UNID.	CONSUMOS
Fabricação de fôrma feita em obra para vigas, em chapa compensada plastificada, e=12 mm	m <sup>2</sup>	0,083
Montagem de fôrma feita em obra para vigas, em chapa compensada plastificada, e=12 mm	m <sup>2</sup>	1,00
Desmontagem de fôrma feita em obra para vigas, em chapa compensada plastificada, e=12 mm	m <sup>2</sup>	1,00
<b>COMPOSIÇÃO DETALHADA INCLUINDO A PRODUÇÃO DE INSUMOS</b>		
Ajudante de carpinteiro	h	0,223
Carpinteiro	h	0,892
Chapa compensada plastificada (espessura: 12 mm)	m <sup>2</sup>	0,0996
Prego 17 x 21 com cabeça (comprimento: 48,3 mm / diâmetro da cabeça: 3,0 mm)	kg	0,0166
Sarrafo 1" x 3" (altura: 75 mm / espessura: 25 mm)	m	0,083
Tábua 1" x 6" (espessura: 25 mm / largura: 150 mm)	m	0,166
Desmoldante de fôrmas para concreto	l	0,02
Prego 17 x 27 com cabeça dupla (comprimento: 62,1 mm / diâmetro da cabeça: 3,0 mm)	kg	0,10

Quadro AXA-2: fôrma feita em obra para vigas, com chapa compensada plastificada, 12 aproveitamentos, e=12 mm - unidade: m<sup>2</sup>  
(TABELAS..., 2008, p. 130)

COMPONENTES	UNID.	CONSUMOS
Fabricação de fôrma feita em obra para lajes, em chapa compensada plastifica, e=12 mm	m <sup>2</sup>	0,083
Montagem de fôrma feita em obra para lajes, em chapa compensada plastifica, e=12 mm	m <sup>2</sup>	1,00
Desmontagem de fôrma feita em obra para lajes, em chapa compensada plastifica, e=12 mm	m <sup>2</sup>	1,00
<b>COMPOSIÇÃO DETALHADA INCLUINDO A PRODUÇÃO DE INSUMOS</b>		
Ajudante de carpinteiro	h	0,131
Carpinteiro	h	0,524
Chapa compensada plastificada (espessura: 12 mm)	m <sup>2</sup>	0,104
Pontaletes 3" x 3" (altura: 75 mm / largura: 75 mm)	m	0,216
Tábua 1" x 8" (espessura: 25 mm / largura: 200 mm)	m	0,108
Desmoldante de fôrmas para concreto	l	0,02
Prego 15 x 15 com cabeça (comprimento: 34,5 mm / diâmetro da cabeça: 2,4 mm)	kg	0,05

Quadro AXA-3: fôrma feita em obra para lajes, com chapa compensada plastificada, 12 aproveitamentos, e=12 mm - unidade: m<sup>2</sup> (TABELAS..., 2008, p. 130)

COMPONENTES	UNID.	CONSUMOS
Ajudante de armador	h	0,034
Armador	h	0,034
Espaçador circular de plástico para pilares, fundo e laterais de vigas, lajes, pisos e estacas (cobrimento: 30 mm)	un	4,70
Serviço de corte/dobra industrializado para aço CA 50/60	kg	1,05
Barra de aço CA-50 1/2" (bitola: 12,5 mm / massa linear: 0,963 kg/m)	kg	1,05
Arame recozido (diâmetro do fio: 1,25 mm / bitola: 18 BWG)	kg	0,02

Quadro AXA-4: armadura de aço para pilares, CA-50, corte e dobra industrial, fora de obra - unidade: kg (TABELAS..., 2008, p. 151)

COMPONENTES	UNID.	CONSUMOS
Armador	h	0,10
Espaçador circular de plástico para pilares, fundo e laterais de vigas, lajes, pisos e estacas (cobrimento: 30 mm)	un	7,29
Serviço de corte/dobra industrializado para aço CA 50/60	kg	1,05
Barra de aço CA-50 3/8" (bitola: 10 mm / massa linear: 0,617 kg/m)	kg	1,05
Arame recozido (diâmetro do fio: 1,25 mm / bitola: 18 BWG)	kg	0,02

Quadro AXA-5: armadura de aço para vigas, CA-50, corte e dobra industrial, fora de obra - unidade: kg (TABELAS..., 2008, p. 151)

COMPONENTES	UNID.	CONSUMOS
Armador	h	0,031
Espaçador circular de plástico para pilares, fundo e laterais de vigas, lajes, pisos e estacas (cobrimento: 30 mm)	un	11,40
Serviço de corte/dobra industrializado para aço CA 50/60	kg	1,05
Barra de aço CA-50 5/16" (bitola: 8 mm / massa linear: 0,395 kg/m)	kg	1,05
Arame recozido (diâmetro do fio: 1,25 mm / bitola: 18 BWG)	kg	0,02

Quadro AXA-6: armadura de aço para lajes, CA-50, corte e dobra industrial, fora de obra - unidade: kg (TABELAS..., 2008, p. 151)

COMPONENTES	UNID.	CONSUMOS
		<b>RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (Fck)</b>
		<b>30 MPa</b>
Concreto dosado em central convencional brita 1 e 2	m <sup>3</sup>	1,05

Quadro AXA-7: concreto estrutural dosado em central - unidade: m<sup>3</sup>  
(TABELAS..., 2008, p. 155)

COMPONENTES	UNID.	CONSUMOS
Pedreiro	h	1,62
Servente	h	1,62
Vibrador de imersão, elétrico, potência 1 HP (0,75 kW) - vida útil 20.000 h	h prod.	0,20

Quadro AXA-8: transporte, lançamento, adensamento e acabamento do concreto em estrutura - unidade: m<sup>3</sup> (TABELAS..., 2008, p. 156)

COMPONENTES	UNID.	CONSUMOS
Forno de gesso acartonado - colocado, fixo, com acabamento monolítico suspenso por pendurais de arame galvanizado nº 18 (espessura: 12,5 mm)	m <sup>2</sup>	1,00

Quadro AXA-9: forno de gesso acartonado fixo monolítico, suspenso por pendurais de arame galvanizado nº 18 painel, e=12,5 mm - unidade: m<sup>2</sup>  
(TABELAS..., 2008, p. 302)

## **ANEXO B – Custos de locação e compra de sistemas de cimbramento e escoramento**

Componente	Quantidade	Preço aluguel	Preço compra	Custo total aluguel mensal	Custo total compra
Pontaete "A" Plus (1,6m- 2,9m)	178,00	R\$ 4,22	R\$ 64,70	R\$ 751,16	R\$ 11.516,60
Cabeçal de Apoio "U" Simples	140,00	R\$ 0,46	R\$ 7,00	R\$ 64,40	R\$ 980,00
Cabeçal de Apoio "U" Duplo	38,00	R\$ 0,84	R\$ 12,90	R\$ 31,92	R\$ 490,20
Cruzeta "A"	8,00	R\$ 1,75	R\$ 26,90	R\$ 14,00	R\$ 215,20
VM8 x 100	3,00	R\$ 2,18	R\$ 33,59	R\$ 6,54	R\$ 100,77
VM8 x 150	4,00	R\$ 3,18	R\$ 49,05	R\$ 12,72	R\$ 196,20
VM8 x 200	50,00	R\$ 4,78	R\$ 64,50	R\$ 239,00	R\$ 3.225,00
VM8 x 225	10,00	R\$ 4,67	R\$ 72,07	R\$ 46,70	R\$ 720,70
VM8 x 250	28,00	R\$ 5,12	R\$ 79,01	R\$ 143,36	R\$ 2.212,28
VM8 x 300	32,00	R\$ 6,08	R\$ 93,84	R\$ 194,56	R\$ 3.002,88
VM8 x 400	32,00	R\$ 8,22	R\$ 126,97	R\$ 263,04	R\$ 4.063,04
Pontaete "A" Plus (1,6m- 2,9m)	168,00	R\$ 4,22	R\$ 64,70	R\$ 708,96	R\$ 10.869,60
Cruzeta "A"	168,00	R\$ 1,75	R\$ 26,90	R\$ 294,00	R\$ 4.519,20
Sargento 565mm	185,00	R\$ 1,44	R\$ 21,95	R\$ 266,40	R\$ 4.060,75
Sargento 775mm	110,00	R\$ 1,53	R\$ 23,35	R\$ 168,30	R\$ 2.568,50
			<b>Total:</b>	<b>R\$ 3.205,06</b>	<b>R\$ 48.740,92</b>

Quadro AXB-1: quantitativos e custos unitários e totais dos materiais, para do projeto de cimbramento e escoramento para laje convencional<sup>28</sup>

Componente	Quantidade	Preço aluguel	Preço compra	Custo total aluguel mensal	Custo total compra
Pontaete "A" Plus (1,6m- 2,9m)	184,00	R\$ 4,22	R\$ 64,70	R\$ 776,48	R\$ 11.904,80
Cabeçal de Apoio "U" Simples	128,00	R\$ 0,46	R\$ 7,00	R\$ 58,88	R\$ 896,00
Cabeçal de Apoio "U" Duplo	56,00	R\$ 0,84	R\$ 12,90	R\$ 47,04	R\$ 722,40
Cruzeta "A"	8,00	R\$ 1,75	R\$ 26,90	R\$ 14,00	R\$ 215,20
VM8 x 100	3,00	R\$ 2,18	R\$ 33,59	R\$ 6,54	R\$ 100,77
VM8 x 150	20,00	R\$ 3,18	R\$ 49,05	R\$ 63,60	R\$ 981,00
VM8 x 200	298,00	R\$ 4,78	R\$ 64,50	R\$ 1.424,44	R\$ 19.221,00
VM8 x 225	2,00	R\$ 4,67	R\$ 72,07	R\$ 9,34	R\$ 144,14
VM8 x 250	42,00	R\$ 5,12	R\$ 79,01	R\$ 215,04	R\$ 3.318,42
VM8 x 275	2,00	R\$ 5,57	R\$ 85,96	R\$ 11,14	R\$ 171,92
VM8 x 300	68,00	R\$ 6,08	R\$ 93,84	R\$ 413,44	R\$ 6.381,12
VM8 x 350	2,00	R\$ 7,01	R\$ 108,35	R\$ 14,02	R\$ 216,70
Pontaete "A" Plus (1,6m- 2,9m)	104,00	R\$ 4,22	R\$ 64,70	R\$ 438,88	R\$ 6.728,80
Cruzeta "A"	104,00	R\$ 1,75	R\$ 26,90	R\$ 182,00	R\$ 2.797,60
Sargento 565mm	121,00	R\$ 1,44	R\$ 21,95	R\$ 174,24	R\$ 2.655,95
Sargento 775mm	10,00	R\$ 1,53	R\$ 23,35	R\$ 15,30	R\$ 233,50
			<b>Total:</b>	<b>R\$ 3.864,38</b>	<b>R\$ 56.689,32</b>

Quadro AXB-2: quantitativos e custos unitários e totais dos materiais, para do projeto de cimbramento e escoramento para laje lisa<sup>29</sup>

<sup>28</sup> Quadro elaborado e detalhado pela empresa A de cimbramento e escoramento.

<sup>29</sup> Idem.

Componente	Quantidade	Preço aluguel	Preço compra	Custo total aluguel mensal	Custo total compra
Pontaleta "A" Plus (1,6m- 2,9m)	188,00	R\$ 4,22	R\$ 64,70	R\$ 793,36	R\$ 12.163,60
Cabeçal de Apoio "U" Simples	126,00	R\$ 0,46	R\$ 7,00	R\$ 57,96	R\$ 882,00
Cabeçal de Apoio "U" Duplo	62,00	R\$ 0,84	R\$ 12,90	R\$ 52,08	R\$ 799,80
VM8 x 100	33,00	R\$ 2,18	R\$ 33,59	R\$ 71,94	R\$ 1.108,47
VM8 x 150	20,00	R\$ 3,18	R\$ 49,05	R\$ 63,60	R\$ 981,00
VM8 x 200	165,00	R\$ 4,78	R\$ 64,50	R\$ 788,70	R\$ 10.642,50
VM8 x 250	20,00	R\$ 5,12	R\$ 79,01	R\$ 102,40	R\$ 1.580,20
VM8 x 275	2,00	R\$ 5,57	R\$ 85,96	R\$ 11,14	R\$ 171,92
VM8 x 300	96,00	R\$ 6,08	R\$ 93,84	R\$ 583,68	R\$ 9.008,64
VM8 x 350	20,00	R\$ 7,01	R\$ 108,35	R\$ 140,20	R\$ 2.167,00
Pontaleta "A" Plus (1,6m- 2,9m)	104,00	R\$ 4,22	R\$ 64,70	R\$ 438,88	R\$ 6.728,80
Cruzeta "A"	104,00	R\$ 1,75	R\$ 26,90	R\$ 182,00	R\$ 2.797,60
Sargento 565mm	121,00	R\$ 1,44	R\$ 21,95	R\$ 174,24	R\$ 2.655,95
Sargento 775mm	10,00	R\$ 1,53	R\$ 23,35	R\$ 15,30	R\$ 233,50
<b>Total:</b>				<b>R\$ 3.475,48</b>	<b>R\$ 51.920,98</b>

Quadro AXB-3: quantitativos e custos unitários e totais dos materiais, para do projeto de cimbramento e escoramento para laje nervurada com blocos de EPS<sup>30</sup>

Componente	Quantidade	Preço aluguel	Preço compra	Custo total aluguel mensal	Custo total compra
Pontaleta "A" Plus (1,6m- 2,9m)	326,00	R\$ 4,22	R\$ 64,70	R\$ 1.375,72	R\$ 21.092,20
Cabeçal de Caída	326,00	R\$ 1,79	R\$ 25,00	R\$ 583,54	R\$ 8.150,00
VS 080	408,00	R\$ 3,73	R\$ 47,50	R\$ 1.521,84	R\$ 19.380,00
VP 080	154,00	R\$ 3,58	R\$ 45,60	R\$ 551,32	R\$ 7.022,40
VP 120	8,00	R\$ 4,54	R\$ 57,80	R\$ 36,32	R\$ 462,40
VP 160	132,00	R\$ 7,52	R\$ 95,70	R\$ 992,64	R\$ 12.632,40
Perfil Espaçador 7,5 x 2,5 x 40	22,00	R\$ 1,03	R\$ 13,13	R\$ 22,66	R\$ 288,86
Perfil Espaçador 7,5 x 2,5 x 80	154,00	R\$ 1,77	R\$ 22,54	R\$ 272,58	R\$ 3.471,16
Perfil Espaçador 7,5 x 2,5 x 120	8,00	R\$ 2,54	R\$ 32,30	R\$ 20,32	R\$ 258,40
Perfil Espaçador 7,5 x 2,5 x 160	128,00	R\$ 3,21	R\$ 40,92	R\$ 410,88	R\$ 5.237,76
Diagonal Simples 80 x 80	40,00	R\$ 1,04	R\$ 13,20	R\$ 41,60	R\$ 528,00
Diagonal Simples 80 x 120	4,00	R\$ 1,38	R\$ 17,59	R\$ 5,52	R\$ 70,36
Diagonal Simples 80 x 160	25,00	R\$ 1,57	R\$ 20,00	R\$ 39,25	R\$ 500,00
Quadro de Contraventamento 80	218,00	R\$ 5,44	R\$ 69,30	R\$ 1.185,92	R\$ 15.107,40
Quadro de Contraventamento 120	8,00	R\$ 6,23	R\$ 79,30	R\$ 49,84	R\$ 634,40
Quadro de Contraventamento 160	50,00	R\$ 6,88	R\$ 87,60	R\$ 344,00	R\$ 4.380,00
Pontaleta "A" Plus (1,6m- 2,9m)	104,00	R\$ 4,22	R\$ 64,70	R\$ 438,88	R\$ 6.728,80
Cruzeta "A"	104,00	R\$ 1,75	R\$ 26,90	R\$ 182,00	R\$ 2.797,60
Sargento 565mm	121,00	R\$ 1,44	R\$ 21,95	R\$ 174,24	R\$ 2.655,95
Sargento 775mm	10,00	R\$ 1,53	R\$ 23,35	R\$ 15,30	R\$ 233,50
<b>Total:</b>				<b>R\$ 8.264,37</b>	<b>R\$ 111.631,59</b>

Quadro AXB-4: quantitativos e custos unitários e totais dos materiais, para do projeto de cimbramento e escoramento para laje nervurada com cubetas de polipropileno<sup>31</sup>

<sup>30</sup> Quadro elaborado e detalhado pela empresa A de cimbramento e escoramento.

<sup>31</sup> Idem.