

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA

LUANA JABLONSKI

**ÍNDICES E TAXAS DE CONSUMO DE MATERIAIS EM FUNÇÃO DA TIPOLOGIA
ESTRUTURAL**

**Alegrete
2013**

LUANA JABLONSKI

**ÍNDICES E TAXAS DE CONSUMO DE MATERIAIS EM FUNÇÃO DA TIPOLOGIA
ESTRUTURAL**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Engenharia Civil
da Universidade Federal do Pampa, como
requisito parcial para obtenção do Título
de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Me. André Lübeck

Coorientador: Prof. Dr. Telmo Deifeld

**Alegrete
2013**

LUANA JABLONSKI

**ÍNDICES E TAXAS DE CONSUMO DE MATERIAIS EM FUNÇÃO DA TIPOLOGIA
ESTRUTURAL**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Engenharia Civil
da Universidade Federal do Pampa, como
requisito parcial para obtenção do Título
de Bacharel em Engenharia Civil.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em: 27 de Setembro de
2013.

Banca examinadora:

Prof. Me. André Lübeck
Orientador
Unipampa

Prof. Dr. Telmo Deifeld
Co-orientador
Unipampa

Me. Alisson Milani
Unipampa

Prof. Dr. Luis Eduardo Kostas
Unipampa

AGRADECIMENTOS

Ao Professores André e Telmo pela valiosa orientação, incentivo e dedicação dispensados para a realização desse trabalho.

A minha mãe, Marlene pela constante lição de vida, exemplo de perseverança e por ensinar-me a lutar sempre pelos meus objetivos.

Ao Eng° João Carlos Endler pelos conhecimentos transmitidos.

A todos os Engenheiros que contribuíram com projetos estruturais para a realização desde trabalho.

RESUMO

Neste trabalho, realiza-se um estudo quantitativo sobre o consumo de materiais para os elementos de estruturas em concreto armado, considerando-se sistemas estruturais com Lajes Maciças, Pré-Lajes e Lajes Alveolares. Estuda-se a quantidades de concreto, aço e formas. Optou-se pela análise de projetos prontos nas tipologias mencionadas, construídos no estado do Rio Grande do Sul. Foram estudadas 13 edificações, sendo 5 delas com Lajes Maciças, 4 com Pré-Lajes e 4 com Lajes Alveolares.

Para cada um dos projetos e tipologias foi calculado os índices de consumo. A taxa de concreto e aço nos sistemas estruturais com lajes maciças foi maior nas lajes, com exceção de um projeto, onde o consumo foi maior nos pilares. No que diz respeito ao consumo de formas, as lajes apresentaram os maiores valores, com exceção de dois projetos que se destacaram pelo alto consumo nas vigas. Considerando-se os sistemas estruturais com pré-lajes, o consumo de concreto foi equilibrado, variando pouco o consumo entre lajes e vigas, mas em relação ao consumo de aço e formas, as vigas foram as que mais consumiram. E por último a análise de sistemas estruturais com Lajes Alveolares, nos quais o consumo de concreto apresentou valores semelhantes entre lajes e vigas. Apenas dois projetos ganharam destaque pelo maior consumo nas vigas. Em relação ao consumo de aço, as vigas apresentaram valores superiores, com exceção de um projeto onde os pilares lideraram o consumo. Em relação ao consumo de formas, foram as vigas que mais consumiram.

Palavras-Chave: Índice de Consumo de Material, Elementos da estrutura, Estruturas de Concreto Armado.

ABSTRACT

In this work, carried out a quantitative study on the consumption of materials for the elements of reinforced concrete structures, considering structural systems with Solid Slabs, Precast Slabs and Hollow core Slabs. Studies the amounts of concrete, steel and moulds. We chose to analyze finished projects of types mentioned, constructed in the state of Rio Grande do Sul. Were studied 13 buildings, 5 of which with Solid massive slabs, 4 with Precastlabs and 4 with Hollow core slabs.

For each of the projects and typologies was calculated consumption rates. The rate of concrete and steel in structural systems with massive slabs was higher in slabs, with the exception of one project, where consumption was higher in the pillars. With regard to the consumption of moulds, slabs showed the highest values, with the exception of two projects that stood out for high consumption in the beams. Considering the structural systems with pre-slabs, concrete consumption was balanced, varying little between consumption slabs and beams, but in relation to the use of steel and moulds, the beams were the most consumed. And at the last, the analysis of structural systems with hollow core slabs, in which the consumption of concrete showed similar values between slabs and beams. Only two projects were highlighted by increased consumption in the beams. Regarding the consumption of steel, beams exhibited higher values, with the exception of a project where the pillars topped consumption. Regarding use of moulds, beams that were consumed more.

Keywords: Consumption Material Index, Structural Elements, Concrete Reinforced Structures.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1- Relação entre dado, informação e indicador..... | 16 |
| Figura 2- Representação esquemática de uma laje convencional | 21 |
| Figura 3—Representação da laje composta por vigotas treliçada | 25 |
| Figura 4 - Corte esquemático de uma laje com Vigotas Treliçadas..... | 26 |
| Figura 5 - Representação de uma laje composta por vigota simples protendida..... | 26 |
| Figura 6 - Representação de uma laje composta por vigota simples armada | 27 |
| Figura 7 - Corte esquemático de uma vigota de concreto armado | 27 |
| Figura 8 - Seção transversal do Painel Alveolar..... | 30 |
| Figura 9 - Içamento de uma Laje Alveolar..... | 32 |
| Figura 10- Montagem de uma Laje Alveolar | 32 |
| Figura 11 - Taxa de concreto versus projetos analisados para sistemas estruturais com lajes maciças | 39 |
| Figura 12 - Taxa de aço versus projetos analisados para os sistemas estruturais com lajes maciças | 41 |
| Figura 13- Taxa de formas versus projetos analisados para as lajes maciças | 44 |
| Figura 14 - Média resultante da taxa de volume de concreto nos sistemas estruturais com lajes maciças | 45 |
| Figura 15- Média resultante para a taxa de aço para os sistemas estruturais com lajes maciças | 45 |
| Figura 16 - Média resultante para a taxa de área de formas para os sistemas estruturais com lajes maciças | 46 |
| Figura 17 - Taxa de concreto versus projetos analisados para os sistemas estruturais com pré-lajes..... | 49 |
| Figura 18 - Taxa de aço versus projetos analisados para os sistemas estruturais com pré-lajes | 51 |
| Figura 19 - Taxa de formas versus projetos analisados para os sistemas estruturais com pré-lajes | 53 |
| Figura 20 - Média resultante da taxa de volume de concreto para os sistemas estruturais com pré-lajes | 55 |
| Figura 21 - Média resultante da taxa de aço para os sistemas estruturais com pré-lajes..... | 55 |
| Figura 22 - Média resultante da taxa de formas para os sistemas estruturais com pré-lajes | 56 |
| Figura 23 - Taxa de concreto versus projetos analisados para os sistemas estruturais com lajes alveolares | 59 |

| | |
|--|----|
| Figura 24 - Taxa de aço versus projetos analisados para os sistemas estruturais com lajes alveolares | 61 |
| Figura 25 - Taxa de formas versus projetos analisados para sistemas estruturais com lajes alveolares | 63 |
| Figura 26 - Média resultante do volume de concreto para os sistemas estruturais com lajes alveolares | 65 |
| Figura 27 - Média resultante da taxa de aço para os sistemas estruturais com lajes alveolares | 65 |
| Figura 28 - Média resultante da taxa de formas para os sistemas estruturais com lajes alveolares | 66 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1- Caracterização dos projetos | 34 |
| Tabela 2 - Consumo de materiais para as lajes maciças | 36 |
| Tabela 3 - Taxa de concreto nas lajes para os sistemas estruturais com lajes maciças | 37 |
| Tabela 4 – Taxa de concreto nas vigas para os sistemas estruturais com lajes maciças..... | 37 |
| Tabela 5 – Taxa de concreto nos pilares para os sistemas estruturais com lajes maciças .. | 38 |
| Tabela 6 – Taxa de aço nas lajes para os sistemas estruturais com lajes maciças | 40 |
| Tabela 7 – Taxa de aço nas vigas para os sistemas estruturais com lajes maciças | 40 |
| Tabela 8 – Taxa de aço nos pilares para os sistemas estruturais com lajes maciças | 41 |
| Tabela 9 – Taxa de formas nas lajes para os sistemas estruturais com lajes maciças | 42 |
| Tabela 10 – Taxa de formas nas vigas para os sistemas estruturais com lajes maciças | 43 |
| Tabela 11 – Taxa de formas nos pilares para as para os sistemas estruturais com lajes maciças | 43 |
| Tabela 12 - Índices Totais para os sistemas estruturais com lajes maciças..... | 44 |
| Tabela 13 - Consumo de materiais para os sistemas estruturais com pré-lajes..... | 47 |
| Tabela 14 – Taxa de concreto nas lajes para os sistemas estruturais com pré-lajes | 47 |
| Tabela 15 - Taxa de concreto nas vigas para os sistemas estruturais com pré-lajes | 48 |
| Tabela 16 – Taxa de concreto nos pilares para os sistemas estruturais com pré-lajes | 48 |
| Tabela 17– Taxa de aço nas lajes para os sistemas estruturais com pré-lajes | 50 |
| Tabela 18 – Taxa de aço nas vigas para os sistemas estruturais com pré-lajes | 50 |
| Tabela 19 – Taxa de aço nos pilares para os sistemas estruturais com pré-lajes..... | 51 |
| Tabela 20 – Taxa de formas nas vigas para os sistemas estruturais com pré-lajes..... | 52 |
| Tabela 21–Taxa de formas nos pilares para os sistemas estruturais com pré-lajes..... | 53 |
| Tabela 22 - Índices Totais para os sistemas estruturais com pré-lajes | 54 |
| Tabela 23 - Consumo de materiais para os sistemas estruturais com lajes alveolares | 56 |
| Tabela 24 - Taxa de concreto nas lajes para os sistemas estruturais com lajes alveolares . | 57 |
| Tabela 25 – Taxa de concreto nas vigas para os sistemas estruturais com lajes alveolares | 58 |
| Tabela 26 – Taxa de volume de concreto nos pilares para os sistemas estruturais com lajes alveolares | 58 |
| Tabela 27 - Taxa de aço para os sistemas estruturais com lajes alveolares | 60 |
| Tabela 28 - Taxa de aço nas vigas para os sistemas estruturais com lajes alveolares | 60 |
| Tabela 29 – Taxa de aço nos pilares para os sistemas estruturais com lajes alveolares | 61 |
| Tabela 30 – Taxa de formas nas vigas para os sistemas estruturais com lajes alveolares .. | 62 |
| Tabela 31 - Taxa de formas nos pilares para os sistemas estruturais com lajes alveolares . | 63 |
| Tabela 32 - Índices Totais para os sistemas estruturais com lajes alveolares..... | 64 |

| | |
|--|----|
| Tabela 33- Média final versus tipologias analisadas | 66 |
| Tabela 34 - Média dos valores mencionados por Botelho e Marchetti (2004) | 66 |

SUMÁRIO

| | |
|--|----|
| 1 INTRODUÇÃO | 13 |
| 1.1 OBJETIVOS | 14 |
| 1.1.1 OBJETIVO GERAL | 14 |
| 1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 15 |
| 2 ÍNDICES DE CONSUMO | 16 |
| 2.1 INDICADORES COMO INFORMAÇÃO PARA A TOMADA DE DECISÃO E GESTÃO DE QUALIDADE | 16 |
| 2.2 CLASSIFICAÇÃO DOS INDICADORES UTILIZADOS | 17 |
| 2.2.1 RELAÇÃO ENTRE VOLUME DE CONCRETO E A ÁREA CONSTRUÍDA | 17 |
| 2.2.2 RELAÇÃO ENTRE O PESO DE AÇO E VOLUME DE CONCRETO | 18 |
| 2.2.3 RELAÇÃO ENTRE A ÁREA DE FÔRMAS E VOLUME DE CONCRETO | 19 |
| 3.1 LAJES MACIÇAS | 21 |
| 3.1.1 LAJE MACIÇA CONVENCIONAL | 21 |
| 3.1.1.1 Vantagens | 22 |
| 3.1.1.2 Desvantagens | 22 |
| 3.1.1.3 Processo Construtivo | 23 |
| 3.3 PRÉ-LAJES | 24 |
| 3.3.1 PROCESSO DE EXECUÇÃO DAS VIGOTAS | 24 |
| 3.3.2 TIPOS DE PRÉ-LAJE | 24 |
| 3.3.2.1 Treliçadas | 25 |
| 3.3.2.2 Vigotas Simples Protendidas | 26 |
| 3.3.2.3 Vigotas Simples Armadas | 27 |
| 3.3.2 VANTAGENS DAS PRÉ-LAJES | 28 |
| 3.3.3 DESVANTAGENS DAS PRÉ-LAJES | 28 |
| 3.3.4 PROCESSO CONSTRUTIVO | 29 |
| 3.3.5 MATERIAIS EMPREGADOS | 29 |
| 3.4 LAJES ALVEOLARES | 30 |
| 3.4.1 VANTAGENS | 30 |
| 3.4.2 DESVANTAGENS | 31 |
| 3.4.3 PROCESSO CONSTRUTIVO | 32 |
| 4 METODOLOGIA | 33 |
| 4.1 DESCRIÇÃO DA METODOLOGIA | 33 |
| 4.2 CARACTERIZAÇÃO DOS PROJETOS ANALISADOS | 34 |

| | |
|--|----|
| 5 ANÁLISE DOS RESULTADOS | 35 |
| 5.1 DEMONSTRATIVO DO CONSUMO DE MATERIAIS PARA CADA SISTEMA ESTRUTURAL PESQUISADO | 35 |
| 5.1.1 LAJES MACIÇAS | 35 |
| 5.1.1.1 Análise estatística do consumo de concreto para os sistemas estruturais com lajes maciças | 36 |
| 5.1.1.2 Análise estatística do consumo de aço para os sistemas estruturais com lajes maciças | 39 |
| 5.1.1.3 Análise Estatística do consumo de formas para os sistemas estruturais com lajes maciças | 42 |
| 5.1.1.4 Média para os sistemas estruturais com Lajes Maciças | 44 |
| 5.1.2 PRÉ-LAJES | 46 |
| 5.1.2.1 Análise estatística do consumo de concreto para os sistemas estruturais com pré-lajes | 47 |
| 5.1.2.2 Análise do consumo de aço para os sistemas estruturais com pré-lajes | 50 |
| 5.1.2.3 Análise Estatística do consumo de formas para os sistemas estruturais com pré-lajes | 52 |
| 5.1.2.4 Índices Totais para os sistemas estruturais com pré-lajes | 54 |
| 5.1.3 LAJES ALVEOLARES | 56 |
| 5.1.3.1 Análise estatística do consumo de concreto para os sistemas estruturais com lajes alveolares | 57 |
| 5.1.3.2 Análise estatística do consumo de aço para as lajes alveolares | 59 |
| 5.1.3.3 Análise estatística do consumo de formas para os sistemas estruturais com lajes alveolares | 62 |
| 5.1.3.4 Índices Totais para os sistemas estruturais com lajes alveolares | 64 |
| 5.2 MÉDIA RESULTANTE PARA AS TIPOLOGIAS ANALISADAS | 66 |
| 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS | 68 |
| 6.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS | 69 |

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos a atividade da construção civil tem avançado rapidamente e os empreendimentos têm se tornado cada vez mais numerosos. Basta olhar ao entorno e perceber que em qualquer média ou grande cidade de nosso país o ritmo das construções é frenético. Desta forma é intensa no Brasil a busca por melhores parâmetros que norteiem a tomada de decisão, seja ela em qualquer nível da cadeia produtiva.

Neste contexto, vem crescendo a importância dos sistemas de medição de desempenho em empresas de construção. Algumas empresas vêm investindo em programas formais de melhoria de desempenho e certificação de sistemas da qualidade, principalmente devido às exigências de órgãos contratantes quanto à necessidade de um maior controle sobre os processos, (LANTELME, 2002).

Diante dessa preocupação, durante a escolha da tipologia estrutural, o conhecimento de índices ou taxas de referência permite a tomada de decisão e o controle do resultado final de maneira mais direta.

O conceito de Indicadores de projeto são elementos obtidos por análise matemática que criam valores ou índices que permitem uma análise rápida e preliminar de soluções, a partir de dados oriundos de projetos arquitetônicos e estruturais, com o objetivo de oferecer parâmetros de comparação, planejamento e de desenvolvimento de controle de qualidade e assim contribuindo na tomada de decisão com relação a uma determinada estrutura, (FUNDAÇÃO PARA O PRÊMIO NACIONAL DA QUALIDADE, 1995).

Desta forma, a implantação dos índices de consumos nas empresas, constitui-se em parâmetros de referência e aferição de projetos em desenvolvimento. Isto possibilita, no âmbito de projetos estruturais, a identificação do quantitativo de materiais, fornecendo uma previsão ou um parâmetro de controle mostrando se houve um consumo díspar de algum material para a estrutura analisada.

Campos (1992) coloca como princípio básico para o gerenciamento de qualidade: "falar, raciocinar e decidir com dados e com base em fatos", ressaltando a necessidade de "tomar decisões em cima de dados e fatos concretos e não com base em experiência, bom senso e intuição ou coragem". Por outro lado, a experiência pode ser traduzida no conhecimento destes dados e fatos.

Por isso a cada vez tem-se menos espaço e tempo para operar com métodos baseados na tentativa e erro. Entretanto num mundo moderno com a gama de informações acessíveis, competir e oferecer menores custos são alternativas para se sobressair no mercado. É nesse âmbito competitivo que se entende a importância dos indicadores de projeto.

A principal função dos indicadores de projetos é orientar o profissional para melhorar suas escolhas, maximizando seu rendimento. Os índices encontrados possibilitam a comparação e identificação da justa proporção do custo em função do consumo, e assim permite fazer uma melhor avaliação técnica da estrutura analisada.

Estudar os índices de consumo é buscar parâmetros de controle que forneçam o chamado conhecimento prévio para cada alternativa estrutural avaliada, propiciando assim, um melhor planejamento da estrutura com orçamento adequado para os novos empreendimentos. Assim justifica-se o interesse em se promover estudos sobre taxas ou índices de consumo de materiais conforme a tipologia estrutural.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é fazer um levantamento dos Índices de Consumo Médios de Projetos em Concreto Armado em função da tipologia estrutural de lajes.

1.1.2 Objetivos Específicos

Para alcançar o objetivo geral são necessários que sejam alcançados os seguintes objetivos específicos.

- Coletar indicadores de consumo de materiais através da verificação de diversos projetos de concreto armado em diferentes escritórios de cálculo de estruturas;
- Analisar o índice de consumo de concreto para todas as tipologias analisadas resumindo o consumo para cada elemento da estrutura;
- Analisar o índice de consumo de aço para todas as tipologias analisadas resumindo o consumo para cada elemento da estrutura;
- Analisar o índice de consumo de formas para todas as tipologias analisadas resumindo o consumo para cada elemento da estrutura;
- Tecer comparações a partir dos resultados obtidos com os valores encontrados na bibliografia.

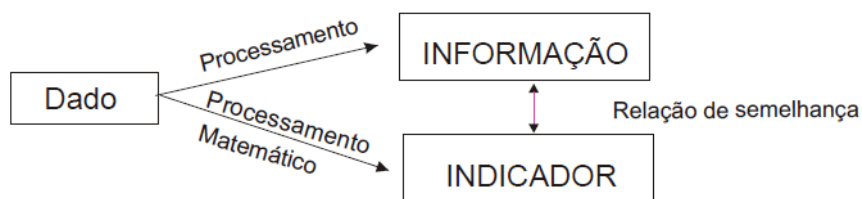
2 ÍNDICES DE CONSUMO

Índices de consumo são valores médios, resultantes de procedimentos matemáticos simples, obtidos a partir de dados oriundos de projetos estruturais. Com dados sobre o consumo de materiais elaboram-se os índices de consumo, com o objetivo de fornecer parâmetros de comparação com metas numéricas preestabelecidas e passíveis de comparação que permitem controlar a qualidade dos projetos em desenvolvimento.

Com esta intenção, indicadores são formas de representação quantificáveis das características de produtos e processos (TAKASHINA E FLORES, 1996).

Na Figura 1 é apresentado um esquema ilustrativo da relação entre dado, informação e indicador.

Figura 1- Relação entre dado, informação e indicador



Fonte: Ailton Soares Freire

2.1 Indicadores como informação para a tomada de decisão e gestão de qualidade

A existência de indicadores disponíveis podem ajudar a melhorar a qualidade de projetos, pois fornecem aos profissionais da área, conhecimentos para o processo de tomada de decisão e ações de melhoria da qualidade e da produtividade da empresa visando aumentar o seu rendimento, propiciando maior lucratividade.

Autores como Hronec (1994) e Picchi, (1993) afirmam que “80% do custo da edificação são definidos na etapa de concepção”. Conclui-se, então, pela

necessidade de informações nesta etapa que alimentem e auxiliem a tomada de decisão.

A importância do uso de indicadores é o acréscimo de informações para melhoria do desenvolvimento do produto propondo maior qualidade. Os recursos empregados para a implantação desse processo devem ser compreendidos como investimento que ao longo do tempo dará retorno com a qualidade dos processos gerados, (BARROS E MELHADO, 1993).

2.2 Classificação dos indicadores utilizados

Define-se índice como um valor médio de consumo de um determinado material usado como referência para a elaboração de projetos estruturais, em função da metragem quadrada da edificação, ou qualquer outro material de quantidade facilmente obtida.

O consumo de materiais refere-se às estimativas de custos, já que a “estrutura é responsável por 21% do custo da construção” conforme Tubino, (2004). Diante disso o projetista estrutural pode propor reformulações de projeto de acordo com o indicador calculado e analisado, priorizando a racionalização dos materiais e a lucratividade.

Os fatores que influenciam o volume de concreto, as áreas de fôrmas, e a quantidade de aço necessária à estrutura são: modulação estrutural proposta, carga resultante de elementos de vedação utilizados, tipo de estrutura analisada, (SOUZA, 2003).

2.2.1 Relação entre volume de concreto e a área construída

O primeiro índice a ser analisado é a relação entre o volume de concreto e a área construída. Recebe o nome de espessura média que é equivalente à espessura hipotética com igual área de construção, (BOTELHO E MARCHETTI, 2004).

$$I_{conc} = \frac{V_{conc}}{A_{real}} (m^3/m^2)$$

Onde:

V_{conc} é o volume de concreto obtido no projeto estrutural;

Área real global (A_{real}) é a área de toda a edificação, obtida segundo os critérios da NBR 12721(1992).

Este indicador tem objetivo de prever o super-dimensionamento das lajes, vigas e pilares quanto ao volume de concreto.

Botelho e Marchetti (2004) citam as seguintes espessuras médias que podem ser usadas como parâmetro de referência:

- Espessura média da superestrutura de um prédio com lajes maciças, vigas e pilares: 0,23m;
- Espessura média da superestrutura de um prédio com laje pré-moldada, vigas e pilares: 0,13m;
- Espessura média da estrutura de fundação composta de sapata e baldrame: 0,10m;
- Espessura média da estrutura de fundação composta de blocos e baldrame: 0,045m.

2.2.2 Relação entre o peso de aço e volume de concreto

Esse índice mostra a relação entre o consumo de aço para concreto armado e o volume de concreto. Ou seja, é uma taxa média de armaduras válida para toda a edificação.

$$I_{aço} = \frac{Paço}{V_{conc}} (kg/m^3)$$

Com: $Paço$ sendo o peso da armadura obtido no projeto estrutural e V_{conc} , o volume de concreto obtido no projeto estrutural, não incluindo as fundações.

Para este índice os valores de referência usados por Botelho e Marchetti (2004) são:

- Para a superestrutura: 100Kg/m³;
- Fundação em estacas: 70kg/m³;

- Fundação em sapatas: 40kg/m³.

2.2.3 Relação entre a área de fôrmas e volume de concreto

A relação entre a área de formas para executar toda a estrutura e o volume de concreto total justifica a racionalidade da escolha do sistema estrutural e mostra a coerência ou não do dimensionamento da estrutura quanto à área de fôrmas.

$$I_{Formas} = \frac{A_{form}}{V_{conc}} \text{ (m}^2/\text{m}^3\text{)}$$

Os parâmetros para este índice citados por Botelho e Marchetti (2004) são:

- Para a superestrutura: 12m²/m³;
- Para infra-estrutura Se for de blocos e baldrames: 5,5m²/m³;
- Para infra-estrutura se for de sapatas e baldrames: 7m²/m³.

3 TIPOLOGIAS DE LAJES

Os sistemas estruturais em concreto são compostos por vigas, lajes e pilares. Este conjunto tem função de dar sustentação à edificação trocando esforços entre si e permitindo o caminho dos carregamentos até os elementos de fundação.

Atualmente, os requisitos mínimos para desenvolver um bom projeto estrutural são atender as recomendações das normas técnicas, produzir um projeto racional, evitando improvisações no canteiro de obras e ajudando a escolher o melhor sistema estrutural para as características da edificação em questão sob o ponto de vista dos custos e funcionalidade.

Buscando definir a importância de cada um dos elementos dentro do projeto estrutural e de seus custos, pode-se escrever que nas estruturas de edifícios usuais as lajes representam, no conjunto total da edificação, um consumo de concreto na ordem de 50% do volume total, (Giongo, 2007). Além disso, o fato de estar sempre na composição estrutural representa significativa importância a sua análise como elemento estrutural.

No caso de lajes maciças, a parcela de concreto armado utilizada chega usualmente a quase dois terços do volume total de concreto da estrutura. Por esta razão e pelo fato das lajes possuírem muito baixo fator de eficiência, torna-se oportuno o estudo aprofundado dos critérios de escolha dos tipos de lajes a serem empregadas nos edifícios de vários pavimentos, tendo em vista a obtenção de soluções técnica e economicamente otimizadas (FRANCA,1999).

Dentro desta importância que tornam as lajes dentro da estrutura como um todo, cabe um comparativo sucinto entre alguns dos principais tipos de lajes utilizados usualmente em edifícios.

3.1 Lajes Maciças

3.1.1 Laje maciça convencional

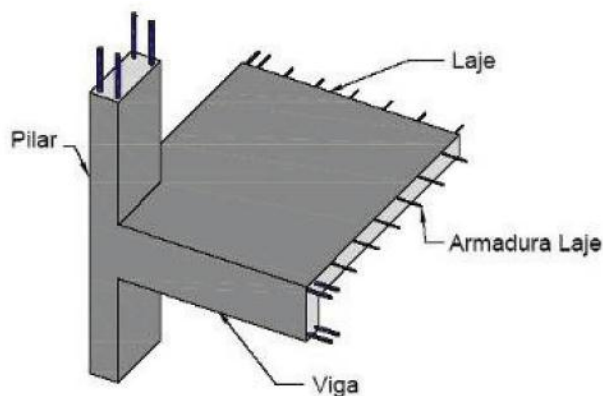
As lajes maciças convencionais são constituídas por placas de concreto armado cuja armadura pode ser calculada em uma ou duas direções. São indicadas para edifícios residenciais onde os vãos variam entre 3,5 e 5 m e geralmente apresentam-se na forma retangular, mas podem ter qualquer formato.

De acordo com Araújo (2003, p.2):

“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.”

Na figura 2 está representada uma laje maciça.

Figura 2- Representação esquemática de uma laje convencional



Fonte: Spohr, 2008, p. 30

As lajes maciças de concreto, com espessuras que normalmente variam de 7 cm a 15 cm, são projetadas para os mais variados tipos de construção, desde construções de pequeno porte até edifícios de múltiplos pavimentos. A NBR 6118 (2003) estabelece as seguintes espessuras mínimas para as lajes maciças:

- 5 cm para lajes de cobertura não em balanço;

- 7 cm para lajes de piso ou de cobertura em balanço;
- 10 cm para lajes que suportem veículos de peso total menor ou igual a 30 kN;
- 12 cm para lajes que suportem veículos de peso total maior que 30 kN;
- 15 cm para lajes com protensão apoiada em vigas;
- 16 cm para lajes lisas e 14 cm para lajes-cogumelo.

3.1.1.1 Vantagens

Segundo Pfeil (1988), o concreto armado possui papel fundamental na construção civil, devido principalmente às seguintes vantagens:

- a) a laje maciça apresenta um comportamento estrutural bastante eficiente, principalmente, quando se deseja projetar pavimentos com forma, em planta, retangular e com duas dimensões da mesma grandeza, com isso pode-se aproveitar as formas, tornando a estrutura econômica;
- b) os materiais utilizados encontram-se disponíveis em abundância no mercado;
- c) este sistema estrutural é largamente utilizado há décadas, devido sua execução ser bastante simples, não precisando mão de obra qualificada;
- d) com o passar do tempo, há um aumento de resistência à ruptura;
- e) elevada resistência ao fogo;
- f) Pode ser uni ou bidirecional.

3.1.1.2 Desvantagens

Mesmo havendo diversas vantagens, o concreto armado apresenta algumas desvantagens que podem ser fundamentais para a escolha ou não de sua utilização em um projeto. Segundo Vizotto e Sartoti (2010), dentre as desvantagens do concreto armado estão:

- a) mesmo sendo o sistema mais antigo, tem sido substituído por pré-moldadas devido à grande quantidade de formas e escoras utilizadas, encarecendo a estrutura;
- b) elevado consumo de mão de obra referente às atividades dos profissionais da área.
- c) sua aplicação é limitada a grandes vãos, por conta da espessura média de concreto exigida;
- d) grande capacidade de propagação de ruídos entre pavimentos;
- e) elevado peso próprio devido a seu peso específico elevado;
- f) Custo da estrutura relativamente elevado;
- g) É necessário um sistema de formas e utilização de escoramento que permaneçam no local até que o concreto alcance resistência adequada.

3.1.1.3 Processo Construtivo

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

- a) montagem das formas e armaduras dos pilares;
- b) montagem das formas de vigas e lajes;
- c) concretagem dos pilares;
- d) montagem das armaduras de vigas e lajes;
- e) concretagem de vigas e lajes;
- f) Desforma.

3.3 Pré-lajes

Para Nakamura (2009, p.22) as pré-lajes evoluíram muito do ponto de vista construtivo, passando a ser utilizada em outros tipos de construções:

As pré-lajes são tradicionalmente utilizadas em tabuleiros de pontes, coberturas de galerias, reservatórios e em estruturas de contenção. Mas nos últimos anos, o aproveitamento dessa solução vem se consolidando também nos edifícios com múltiplos pavimentos, acompanhando um movimento que visa racionalizar o processo adotado nessas construções.

3.3.1 Processo de execução das vigotas

Os elementos pré-moldados podem ser diferenciados quanto ao local de produção, podendo ser em fábrica ou no próprio canteiro de obras. O pré-moldado de fábrica é aquele cuja execução é realizada em instalações permanentes distantes da obra. Esse tipo de pré-moldado pode ou não atingir o nível de pré-fabricado, segundo critério da NBR 9062 (1985), caso este seja executado industrialmente, mesmo em instalações temporárias em canteiro de obra, sob condições rigorosas de controle de qualidade. O pré-moldado de canteiro é executado em instalações provisórias nas proximidades da obra, geralmente com baixa capacidade de produção, e, conseqüentemente, pequena produtividade. Para esse tipo de elemento, a facilidade de transporte e a redução nos custos de produção são as principais vantagens para a adoção desse processo (EL DEBS, 2000,p.15).

3.3.2Tipos de Pré-laje

As pré-lajes podem ser de três tipos:

- Treliçadas;
- Vigota simples protendida;
- Vigota simples armada.

3.3.2.1 Treliçadas

Munte Construções Industrializadas (2007, p.437) indica que:

As pré-lajes são ideais para vãos maiores, acima de 7,5 metros. Nessas condições, as deformações da peça são significativas e a treliça trabalha com sua barra superior sob compressão, criando maior rigidez e menor flecha. Também nesses casos, o cisalhamento passa a ser relevante, pois a treliça combate esse efeito.

Devido à facilidade de execução e ao bom comportamento estrutural as lajes pré-fabricadas tipo treliça vem ganhando maior espaço tanto em construções residenciais de pequeno porte como em edificações de baixa altura (BASTOS, 2006).

A Figura 3 representa o sistema estrutural composto por vigotas treliçadas e blocos de cerâmica como elementos de enchimento.

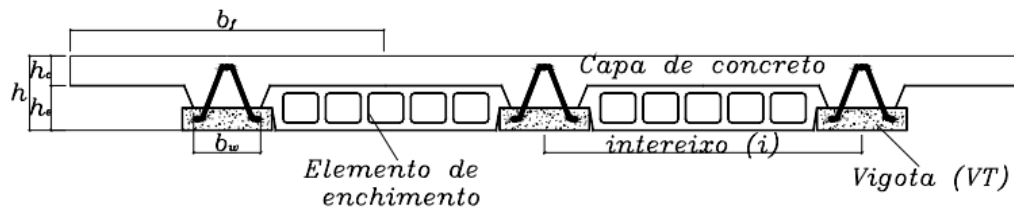
Figura 3—Representação da laje composta por vigotas treliçada



Fonte: www.construrhor.com.br

Na figura 4 representa-se um corte de uma laje com vigotas treliçadas, podendo-se observar o elemento de enchimento, a vigota e a capa de concreto.

Figura 4 - Corte esquemático de uma laje com Vigotas Trelaçadas



Fonte: Florio, 2004, p19

3.3.2.2 Vigotas Simples Protendidas

As pré-lajes de vigotas simples protendidas são ideais para vãos menores e sobrecargas baixas, sendo muito utilizadas nas edificações residenciais. Com seção de concreto usualmente formando um “T” invertido, com armadura ativa pré-tensionada totalmente englobada pelo concreto da vigota.

O alto consumo de cimento e a baixa relação água/cimento, conferem alta resistência e durabilidade às vigotas protendidas.

Este tipo de vigota não suporta cargas de paredes diretamente sobre a laje, é necessário colocar vigas sob as paredes.

A Figura 5 representa o sistema estrutural composto por vigota simples protendida e blocos de cerâmica como material de enchimento.

Figura 5 - Representação de uma laje composta por vigota simples protendida



Fonte: www.construrhor.com.br

3.3.2.3 Vigotas Simples Armadas

Com seção usualmente no formato de um “T” invertido, com armadura passiva totalmente englobada pelo concreto da vigota. Os parâmetros que definem uma vigota simples armada são os mesmos que definem uma vigota protendida. Sendo recomendada para vãos pequenos, ainda menores que os das vigotas protendidas.

A Figura 6 representa o sistema estrutural composto por vigota simples armada e blocos de cerâmica como material de enchimento.

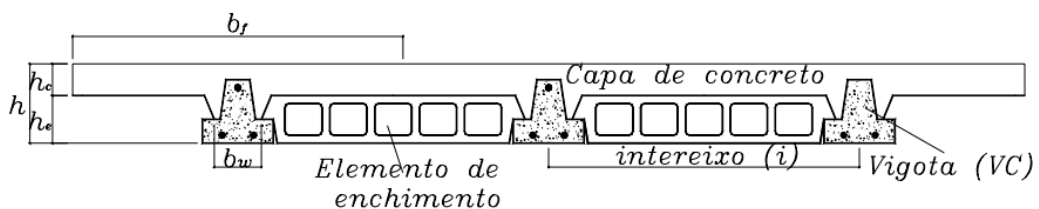
Figura 6 - Representação de uma laje composta por vigota simples armada



Fonte: www.construrhor.com.br

A Figura 7 representa o corte esquemático de uma laje com vigota de concreto armado, podendo-se observar o elemento de enchimento, a vigota e a capa de concreto.

Figura 7 - Corte esquemático de uma vigota de concreto armado



Fonte: Flório, 2004, p.19

3.3.2 Vantagens das Pré-lajes

Segundo Flório (2004); Gaspar (1997) e Barboza (2008) o sistema estrutural em pré-laje apresenta inúmeras vantagens, dentre as principais destaca-se as seguintes:

- a) minimização da utilização de formas de madeira na obra;
- b) diminuição de escoras;
- c) diminuição das perdas de concreto;
- d) racionalização da armadura;
- e) melhor compatibilização dos projetos;
- f) melhor sistema de vibração das peças;
- g) rapidez na montagem;
- h) diminuição de mão de obra;
- i) Bom comportamento estrutural.

Desde o final dos anos 70, o sistema vem sendo usado e desenvolvido, tendo sido realizados ensaios e experiências práticas que comprovam sua eficiência e eficácia nos canteiros de obra, (Munte Construções Industrializadas, 2007).

3.3.3 Desvantagens das Pré-lajes

El Debs (2000) diz que as desvantagens da utilização de elementos pré-fabricados estão relacionados aos seguintes itens:

- a) aos custos e as condições de acesso de equipamentos para sua realização;
- b) A inexistência de um fornecedor próximo ao canteiro, já que os custos com transporte e logística são bastante consideráveis.

Nakamura (2009, p.25) ressalta que:

Pelo fato do processo de produção das pré-lajes ser bastante simples, principalmente quando não requer protensão, um problema corrente é a prática de fabricantes de artefatos ou construtores, que produzem lajes com pouco investimento e nem sempre atentam para detalhes importantes como a necessidade de um projeto estrutural, controle da qualidade e acompanhamento de um responsável técnico qualificado. Daí a existência, no mercado, de produtos com valores e qualidades discrepantes.

3.3.4 Processo construtivo

O processo de montagem constitui-se em colocação e fixação das vigotas no local definitivo. Após essa etapa, são executadas os mesmos procedimentos do sistema convencional; concretagem dos pilares, colocação dos painéis das laterais externas das vigas, colocação das armaduras das vigas, das tubulações e caixas segundo projeto específico e da armadura negativa da laje, visto que a armadura positiva já está incorporada à pré-laje. Por fim é realizado o lançamento do concreto para a camada de capeamento da laje, observando que o volume total de concreto é menor, pois a pré-laje faz parte da espessura final da laje, resultando num menor consumo de concreto, se comparada com o sistema de laje convencional.

3.3.5 Materiais empregados

A pré-laje é composta pelos seguintes elementos:

- Vigota;
- Material inerte de enchimento;
- Concreto lançado in-loco;
- Armadura complementar.

O material de enchimento não tem função estrutural, apenas precisa ser de boa qualidade para resistir ao peso da capa de concreto durante a concretagem e resistir às cargas de operários e equipamentos durante o período de construção da laje.

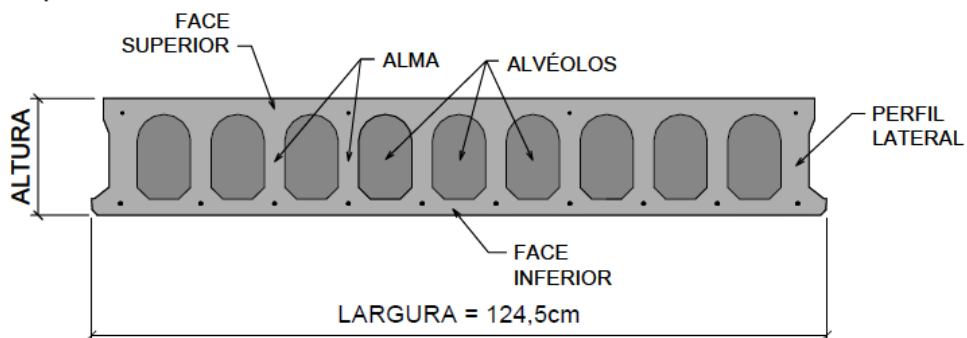
Os materiais de enchimento usualmente empregados são: Blocos cerâmicos e blocos de EPS (isopor), estas opções tornam a estrutura mais leve, devido sua baixa densidade, com isso diminuem-se as cargas da fundação, pilares e vigas de apoio.

3.4 Lajes Alveolares

A Laje Alveolar é constituída de painéis de concreto protendido que possuem seção transversal com altura constante e alvéolos longitudinais, responsáveis pela redução do peso da peça. É indicada para obras com canteiros pequenos e prazos limitados onde o custo da laje é compensado por sua praticidade.

A Figura 8 ilustra uma seção transversal de um painel alveolar com descrição das partes que o constituem.

Figura 8 - Seção transversal do Painel Alveolar



Fonte: Tatu blocos lajes pisos telhas

3.4.1. Vantagens

Segundo Cassol Pré-fabricados (2006), Petrucelli (2009) e Villar (2002), uma série de vantagens técnicas podem ser citadas, tais como:

- a) processo altamente automatizado e mecanizado;
- b) rígido controle de qualidade em fábrica (sistema industrializado);
- c) processo simplificado e rápido, possibilitando assim, economia no tempo, mão de obra e material;

- d) dispensa escoramentos e formas na construção, além de utilizar menos concreto, contribuindo para a responsabilidade ambiental;
- e) mão de obra reduzida devido à racionalização do trabalho (indústria);
- f) boa produtividade com baixo custo de produção;
- g) os vazios longitudinais presentes na laje facilitam as instalações elétricas e hidráulicas;
- h) maior limpeza e organização na produção;
- i) possibilita a aplicação em grandes vãos;
- j) maior durabilidade (possibilita a produção em escala);
- k) diminuição do seu peso próprio devido a presença de alvéolos;
- l) Capacidade de minimizar o surgimento de fissuras e flechas.

3.4.2 Desvantagens

Por outro lado, as lajes alveolares também apresentam algumas desvantagens, Petrucelli (2009) e Villar (2002) citam as seguintes:

- a) a produção dos pré-moldados merece atenção especial, pois se realizada sem controle tecnológico pode pôr a perder todo um projeto bem elaborado, trazer patologias à edificação e até comprometer a segurança estrutural do elemento;
- b) custos relativamente altos;
- c) pelo fato de precisar de uma área para descarga dos painéis, o canteiro deve apresentar um espaço para tal procedimento;
- d) Necessita de equipamentos de produção e manuseio, tais como guinchos e guias.

3.4.3 Processo Construtivo

As lajes são transportadas da fábrica até a obra em caminhões com comprimento adequado e através de içamento pelos ganchos com guindaste as mesmas são içadas e colocadas no local definitivo da obra.

A Figura 9 representa o içamento de uma laje alveolar e a Figura 10 representa a sua montagem na obra.

Figura 9 - Içamento de uma Laje Alveolar



Fonte: Tatu Pré-moldado

Figura 10- Montagem de uma Laje Alveolar



Fonte: Tatu Pré-moldado

4 METODOLOGIA

4.1 Descrição da Metodologia

Através da pesquisa realizada em escritórios de projeto estrutural, foram selecionados projetos de edifícios com diferentes tipologias estruturais, afim de levantar os dados de consumo dos materiais concreto, armadura e formas. Estes consumos foram levantados separadamente para lajes, vigas e pilares, pois assim pode-se ter uma idéia da influência da tipologia estrutural sobre cada um destes elementos.

Na busca por projetos de cálculo estrutural, os sistemas estruturais mais usuais encontrados foram:

- Maciças Convencionais;
- Pré-lajes;
- Alveolares Pré-Moldadas.

A partir desses dados foram calculados os índices de consumo. Os índices avaliados foram:

- Relação entre volume de concreto e a área construída;

$$I_{conc} = \frac{V_{conc}}{A_{real}} (m^3/m^2)$$

- Relação entre peso de aço e volume de concreto;

$$I_{aço} = \frac{P_{aço}}{V_{conc}} (kg/m^3)$$

- Relação entre área de fôrmas e volume de concreto.

$$I_{Formas} = \frac{A_{form}}{V_{conc}} (m^2/m^3)$$

4.2 Caracterização dos Projetos Analisados

O levantamento de dados contemplou 13 projetos, sendo 5 projetos com lajes maciças convencionais, 4 projetos com pré-lajes e 4 projetos com lajes alveolares.

A Tabela 1 resume as características de cada projeto pesquisado.

Tabela 1- Caracterização dos projetos

| Nome do Projeto | Tipo de edificação | Sistema Estrutural | Cidade | Área (m ²) | Nº de Pav. |
|------------------------------|--------------------|----------------------|---------------|------------------------|------------|
| Residencial Campo grande | Residencial | Maciça Convencional | Portão | 1.012,79 | 5 |
| Resid. São Borja | Residencial | Maciça Convencional | São Leopoldo | 1.053,17 | 5 |
| Acadêmico Alegrete | Bloco acadêmico | Maciça Convencional | Alegrete | 2.208,00 | 3 |
| Projeto D | Residencial | Maciça Convencional | Caxias do Sul | 4.161,26 | 17 |
| Resid. Juliza | Residencial | Maciça Convencional | Caxias do Sul | 5.073,13 | 12 |
| Hospital de Caridade de Ijuí | Hospitalar | Pré-Laje | Ijuí | 2.938,60 | 3 |
| Galpão Manutenção | Residencial | Pré-Laje | Caxias do Sul | 1.032,90 | 4 |
| Unacon | Hospitalar | Pré-Laje | Caxias do Sul | 3.314,00 | 2 |
| Projeto C | Residencial | Pré-Laje | Itajaí | 729,74 | 3 |
| Prédio São Borja | Residencial | Alveolar Pré-Moldada | São Borja | 1.575,00 | 3 |
| Prédio Dom Pedrito | Residencial | Alveolar Pré-Moldada | Dom Pedrito | 2.126,00 | 3 |
| Bloco J | Bloco acadêmico | Alveolar Pré-Moldada | Caxias do Sul | 2.934,85 | 3 |
| Bloco 74 | Bloco acadêmico | Alveolar Pré-Moldada | Caxias do Sul | 2.745,30 | 3 |

Para cada um dos projetos, foi calculada a média, desvio padrão amostral conforme equação $S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{x})^2}{n}}$, coeficiente de variação conforme $CV = \frac{S}{\bar{x}}$, e desvio relativo da amostra conforme equação $dr = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |X_i - \bar{x}|}{\bar{x}}$. Onde \bar{x} é a média dos projetos.

5 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo serão apresentados resultados obtidos através de uma análise quantitativa dos consumos de materiais, aço, concreto e formas para cada sistema estrutural pesquisado e em seguida compará-los com os parâmetros de referência.

Um edifício de concreto armado pode ser entendido como um pórtico tridimensional hiperestático. É característico deste tipo de estrutura a capacidade de redistribuição dos esforços. Assim, o viés de cada projeto depende até mesmo da preferência do projetista, pois ao dar rigidez aos pilares tenderá a aliviar os esforços sobre a grelha do pavimento. Sob esta ótica os projetos foram analisados e comparados.

5.1 Demonstrativo do consumo de materiais para cada sistema estrutural pesquisado

A seguir serão apresentados os consumos de materiais em função da tipologia de laje.

5.1.1 Lajes Maciças

Observa-se que a escolha do sistema estrutural empregado varia de acordo com a região. É comum a preferência regional por determinadas tipologias.

A Tabela 2 resume o consumo de materiais, concreto, aço e formas para cada projeto analisado nos sistemas estruturais com lajes maciças.

Tabela 2 - Consumo de materiais para as lajes maciças

| Projeto | Tipologia | Material | Laje | Vigas | Pilares | Totais |
|--------------------------------|----------------|----------------------------|-----------|-----------|-----------|------------|
| Residencial Campo Grande | Maciça | Concreto (m ³) | 87,98 | 17,39 | 6,66 | 112,03 |
| | | Aço (kg) | 5023,00 | 1740,00 | 590,00 | 7353,00 |
| | | Formas (m ²) | 884,35 | 308,67 | 88,80 | 1281,82 |
| Residencial São Borja | Maciça | Concreto (m ³) | 90,99 | 15,90 | 2,20 | 109,09 |
| | | Aço (kg) | 3803,00 | 839,00 | 591,00 | 5233,00 |
| | | Formas (m ²) | 909,97 | 322,91 | 55,00 | 1287,88 |
| Acadêmico Alegrete | Laje Maciça | Concreto (m ³) | 251,28 | 193,83 | 60,68 | 505,79 |
| | | Aço (kg) | 20.911,70 | 18.305,60 | 4.212,00 | 43.429,30 |
| | | Formas (m ²) | 2.215,01 | 2.427,25 | 774,11 | 5.416,37 |
| Projeto D | Laje Maciça | Concreto (m ³) | 316,70 | 337,6 | 458,80 | 1.113,10 |
| | | Aço (kg) | 18.539,80 | 27.589,60 | 55.206,00 | 101.335,40 |
| | | Formas (m ²) | 3.825,10 | 4.912,60 | 5097,10 | 13.834,80 |
| Residencial Juliza | Laje Maciça | Concreto (m ³) | 472,58 | 264,10 | 172,46 | 909,14 |
| | | Aço (kg) | 23.999,00 | 21.842,00 | 19.022,00 | 64.863,00 |
| | | Formas (m ²) | 4.441,72 | 2.851,70 | 2170,30 | 9.463,72 |

5.1.1.1 Análise estatística do consumo de concreto para os sistemas estruturais com lajes maciças

a) Lajes

São mostradas nas Tabelas 3, 4 e 5 a taxa de concreto nas lajes, vigas e pilares, respectivamente, em m³ de concreto por m² de área construída, para as edificações com sistemas estruturais com lajes maciças. São apresentados a média, o desvio padrão, o coeficiente de variação e o desvio relativo.

Tabela 3 - Taxa de concreto nas lajes para os sistemas estruturais com lajes maciças

| Projetos Analisados | Taxa de Concreto (m³/m²) | Área (m²) | Média (m³/m²) | Desvio Padrão | Coef. Variação | Desvio Relativo |
|----------------------------|---|-----------------------------|--|----------------------|-----------------------|------------------------|
| Resid. C Grande | 0,087 | 1.012,79 | | | | 0,05 |
| Resid. S. Borja | 0,086 | 1.053,17 | | | | 0,06 |
| Acad. Alegrete | 0,114 | 2.208,00 | 0,091 | 0,01 | 0,15 | 0,25 |
| Projeto D | 0,076 | 4.161,26 | | | | 0,17 |
| Resid. Juliza | 0,093 | 5.073,13 | | | | 0,02 |

O desvio relativo, apesar do valor elevado para alguns dos projetos é resultado direto da arquitetura e das opções do projetista. Esta informação baseia-se na hipótese de que o resultado demonstra situação de máxima economia para esta tipologia. Está hipótese pode ser admitida como verdadeira na situação de extrema competitividade encontrada no mercado nacional.

Os resultados com desvios relativos elevados por serem admitidos como decorrentes de uma opção de projeto e não um valor espúrio, assim, não foram desconsiderados.

O valor médio entre os projetos analisados é de 0,091 m³/m², a menor taxa de concreto nas lajes é 0,076 m³/m² para o Projeto D, já a maior taxa de concreto nas lajes refere-se ao Projeto Acadêmico Alegrete, cujo valor é de 0,114 m³/m². O coeficiente de variação encontrado é de 15%, e o desvio relativo máximo foi de 25%.

b) Vigas

Tabela 4 – Taxa de concreto nas vigas para os sistemas estruturais com lajes maciças

| Projetos Analisados | Taxa de Concreto (m³/m²) | Área (m²) | Média | Desvio Padrão | Coef. Variação | Desvio Relativo |
|----------------------------|---|-----------------------------|--------------|----------------------|-----------------------|------------------------|
| Res. Campo Grande | 0,017 | 1.012,79 | | | | 0,66 |
| Res. São. Borja | 0,015 | 1.053,17 | | | | 0,70 |
| Acad. Alegrete | 0,088 | 2.208,00 | 0,051 | 0,04 | 0,67 | 0,74 |
| Projeto D | 0,081 | 4.161,26 | | | | 0,60 |
| Res. Juliza | 0,052 | 5.073,13 | | | | 0,03 |

Para as vigas, o valor médio dos projetos pesquisados é de 0,051 m³/m², a menor taxa de concreto refere-se ao Residencial São Borja com 0,015 m³/m² em contrapartida a maior taxa de concreto é 0,088 m³/m² para o Acadêmico Alegrete, cujo coeficiente de variação resulta em 67% e desvio relativo máximo de 74%.

c) Pilares

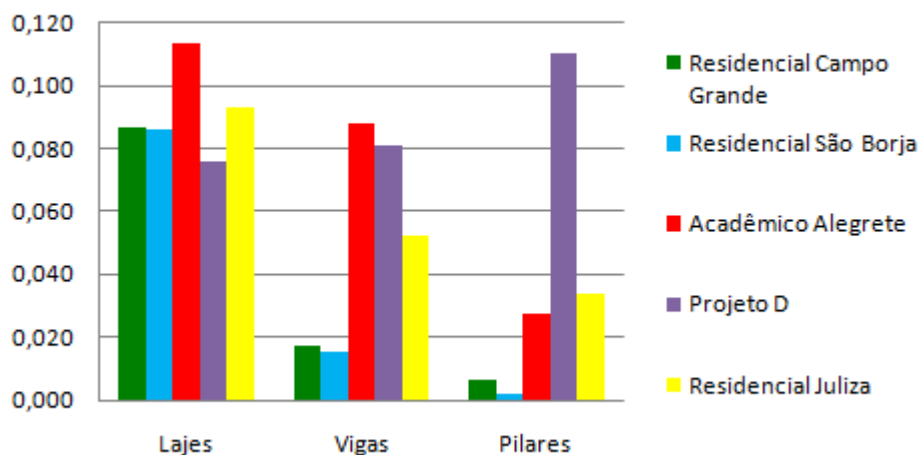
Tabela 5 – Taxa de concreto nos pilares para os sistemas estruturais com lajes maciças

| Projetos Analisados | Taxa de Concreto (m³/m²) | Área (m²) | Média | Desvio Padrão | Coef. Variação | Desvio Relativo |
|----------------------------|---|-----------------------------|--------------|----------------------|-----------------------|------------------------|
| Res. C Grande | 0,007 | 1.012,79 | | | | 0,81 |
| Res. S. Borja | 0,002 | 1.053,17 | | | | 0,94 |
| Acad. Alegrete | 0,027 | 2.208,00 | 0,036 | 0,04 | 1,20 | 0,25 |
| Projeto D | 0,110 | 4.161,26 | | | | 2,06 |
| Res. Juliza | 0,034 | 5.073,13 | | | | 0,06 |

Já para os pilares, a média entre os projetos é de 0,036 m³/m², a maior e a menor taxa de concreto refere-se aos projetos D, com 0,110 m³/m², e Residencial São Borja, com 0,02 m³/m², respectivamente. O coeficiente de variação é de 120% e o desvio relativo máximo foi de 206%.

Na Figura 11 é mostrada a taxa de concreto para cada tipo de elemento estrutural em todas as edificações com lajes maciças consideradas.

Figura 11 - Taxa de concreto versus projetos analisados para sistemas estruturais com lajes maciças



É importante destacar que a estrutura é analisada como o conjunto dos elementos estruturais e a forma como se conectam. Partindo dessa ideia, quando um dos elementos tem menos consumo de concreto, torna-se menos rígido, assim o outro elemento terá de compensar a falta de rigidez.

Como já era esperado para o caso de sistemas estruturais com lajes maciças, as lajes consomem mais concreto em relação aos demais elementos da estrutura. Fatores que podem alterar esta relação são a espessura da laje e seus vãos médios.

Dos casos estudados, o Projeto D foi o único que apresentou dados diferentes do esperado, pois teve maior consumo de concreto nos pilares, ou seja, aparentemente a rigidez dos pilares compensou a menor rigidez das lajes.

5.1.1.2 Análise estatística do consumo de aço para os sistemas estruturais com lajes maciças

a) Lajes

São mostradas nas Tabela 6, 7 e 8 a taxa de aço nas lajes, vigas e pilares, respectivamente, para as edificações com sistemas estruturais em lajes maciças, em kg de aço por m³ de concreto apresentando a média, o desvio padrão, o coeficiente de variação e o desvio relativo.

Tabela 6 – Taxa de aço nas lajes para os sistemas estruturais com lajes maciças

| Projetos Analisados | Taxa de Aço (kg/m³) | Área (m²) | Média | Desvio Padrão | Coef. Variação | Desvio Relativo |
|----------------------------|---------------------------------------|-----------------------------|--------------|----------------------|-----------------------|------------------------|
| Res. C Grande | 44,84 | 1.012,79 | | | | 0,37 |
| Res. S. Borja | 34,86 | 1.053,17 | | | | 0,06 |
| Acad. Alegrete | 41,34 | 2.208,00 | 32,82 | 11,44 | 0,34 | 0,26 |
| Projeto D | 16,66 | 4.161,26 | | | | 0,49 |
| Res. Juliza | 26,40 | 5.073,13 | | | | 0,20 |

Considerando agora o consumo de aço nas lajes, obteve-se uma média de 32,82 Kg/m³, o Projeto D teve a menor taxa, 16,66 Kg/m³, em contrapartida o Residencial Campo Grande apresentou a maior taxa, 44,84 kg/m³. O coeficiente de variação é de 34% e o desvio relativo máximo é de 49%.

b) Vigas

Tabela 7 – Taxa de aço nas vigas para os sistemas estruturais com lajes maciças

| Projetos Analisados | Taxa de Aço (kg/m³) | Área (m²) | Média | Desvio Padrão | Coef. Variação | Desvio Relativo |
|----------------------------|---------------------------------------|-----------------------------|--------------|----------------------|-----------------------|------------------------|
| Res. C Grande | 15,53 | 1.012,79 | | | | 0,28 |
| Res. S. Borja | 7,69 | 1.053,17 | | | | 0,64 |
| Acad. Alegrete | 36,19 | 2.208,00 | 21,64 | 10,71 | 0,49 | 0,67 |
| Projeto D | 24,79 | 4.161,26 | | | | 0,15 |
| Res. Juliza | 24,02 | 5.073,13 | | | | 0,11 |

Já para as vigas, a média equivalente é de 21,64 kg/m³, a taxa de aço variou entre 7,69 kg/m³ para o Residencial São Borja até 36,19 kg/m³ para o Acadêmico Alegrete, o coeficiente de variação é de 49% e o desvio relativo máximo é de 67%.

c) Pilares

Tabela 8 – Taxa de aço nos pilares para os sistemas estruturais com lajes maciças

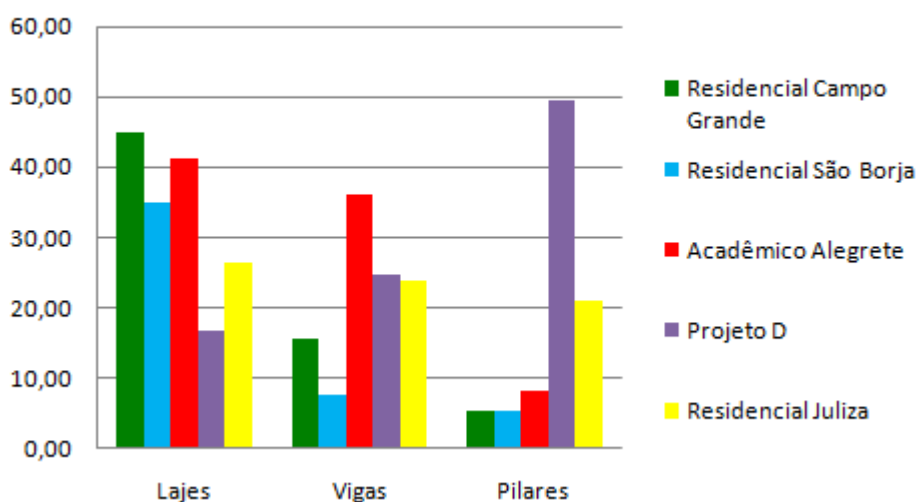
| Projetos Analisados | Taxa de Aço (kg/m ³) | Área (m ²) | Média | Desvio Padrão | Coef. Variação | Desvio Relativo |
|---------------------|----------------------------------|------------------------|-------|---------------|----------------|-----------------|
| Res. C Grande | 5,27 | 1.012,79 | | | | 0,71 |
| Res. S. Borja | 5,42 | 1.053,17 | | | | 0,70 |
| Acad. Alegrete | 8,33 | 2.208,00 | 17,90 | 18,84 | 1,05 | 0,53 |
| Projeto D | 49,60 | 4.161,26 | | | | 1,77 |
| Res. Juliza | 20,92 | 5.073,13 | | | | 0,17 |

A média para os pilares é de 17,90 kg/m³, o projeto que consumiu menos aço foi o Residencial Campo Grande cuja taxa é de 5,27 kg/m³ já o que consumiu mais aço é o Projeto D com 49,6 kg/m³, o coeficiente de variação é de 105% e o desvio relativo máximo é de 177%.

Observa-se que a taxa de aço no Projeto D apresentou um valor díspar em relação aos demais projetos, provavelmente porque o projetista optou por aumentar a rigidez dos pilares, aumentando o consumo de aço nos mesmos.

Na Figura 12 é mostrada a taxa de aço para cada tipo de elemento estrutural em todas as edificações com lajes maciças consideradas.

Figura 12 - Taxa de aço versus projetos analisados para os sistemas estruturais com lajes maciças



De forma análoga ao consumo de concreto, o consumo de aço é maior nas lajes, comparando-se com o consumo nas vigas e pilares, em sistemas estruturais com laje maciça. Os fatores que implicam nesse resultado são os mesmos que os apresentados anteriormente para o volume de concreto.

Novamente, o Projeto D apresentou características díspares em relação aos demais projetos, pois o consumo de aço nos pilares também é superior ao das lajes, o que, assim como no caso do consumo de concreto, é função da compensação de rigidez entre os elementos da estrutura.

5.1.1.3 Análise Estatística do consumo de formas para os sistemas estruturais com lajes maciças

a) Lajes

São mostradas nas Tabelas 9, 10 e 11 o consumo de formas nas lajes, vigas e pilares, respectivamente, para as edificações com sistemas estruturais em lajes maciças, em m^2 de área de formas por m^3 de concreto apresentando a média, o desvio padrão, o coeficiente de variação e o desvio relativo.

Tabela 9 – Taxa de formas nas lajes para os sistemas estruturais com lajes maciças

| Projetos Analisados | Taxa de Formas (m^2/m^3) | Área (m^2) | Média | Desvio Padrão | Coef. Variação | Desvio Relativo |
|---------------------|------------------------------|----------------|-------|---------------|----------------|-----------------|
| Res. C Grande | 7,89 | 1.012,79 | | | | 0,36 |
| Res. S. Borja | 8,34 | 1.053,17 | | | | 0,44 |
| Acad. Alegrete | 4,38 | 2.208,00 | 5,78 | 2,19 | 0,37 | 0,24 |
| Projeto D | 3,44 | 4.161,26 | | | | 0,41 |
| Res. Juliza | 4,89 | 5.073,13 | | | | 0,16 |

A média dos projetos é de $5,78 m^2/m^3$. A menor taxa de formas nas lajes refere-se ao Projeto D $3,44 m^2/m^3$ e a maior taxa equivale ao Residencial São Borja $8,34 m^2/m^3$, sendo o coeficiente de variação de 37% e desvio relativo máximo de 44%.

b) Vigas

Tabela 10 – Taxa de formas nas vigas para os sistemas estruturais com lajes maciças

| Projetos Analisados | Taxa de Formas (m ² /m ³) | Área (m ²) | Média | Desvio Padrão | Coef. Variação | Desvio Relativo |
|---------------------|--|------------------------|-------|---------------|----------------|-----------------|
| Res. C Grande | 2,76 | 1.012,79 | | | | 0,24 |
| Res. S. Borja | 2,96 | 1.053,17 | | | | 0,18 |
| Acad. Alegrete | 4,80 | 2.208,00 | 3,61 | 0,92 | 0,25 | 0,33 |
| Projeto D | 4,41 | 4.161,26 | | | | 0,22 |
| Res. Juliza | 3,14 | 5.073,13 | | | | 0,13 |

Para as vigas, a média entre os projetos é de 3,61 m²/m³, a menor taxa de formas refere-se ao Residencial Campo Grande com 2,76 m²/m³ e a maior taxa de formas é 4,41 m²/m³ para o Projeto D, cujo coeficiente de variação resulta em 25% e o desvio relativo máximo é de 33%.

c) Pilares

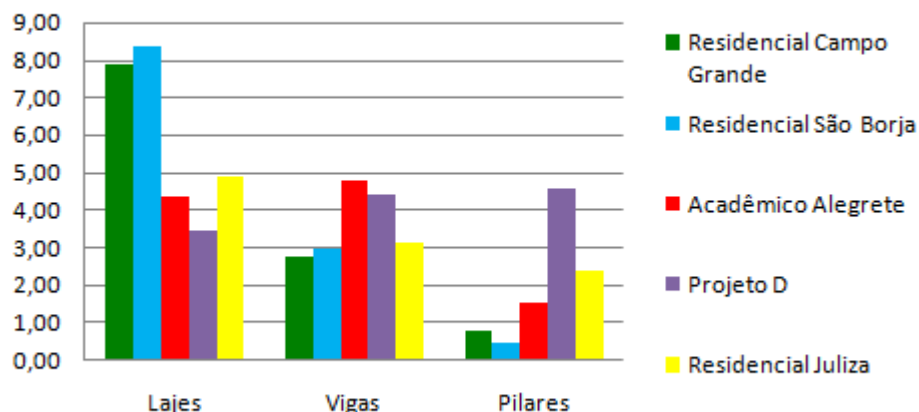
Tabela 11 – Taxa de formas nos pilares para as para os sistemas estruturais com lajes maciças

| Projetos Analisados | Taxa de Formas (m ² /m ³) | Área (m ²) | Média | Desvio Padrão | Coef. Variação | Desvio Relativo |
|---------------------|--|------------------------|-------|---------------|----------------|-----------------|
| Res. C Grande | 0,79 | 1.012,79 | | | | 0,60 |
| Res. S. Borja | 0,50 | 1.053,17 | | | | 0,74 |
| Acad. Alegrete | 1,53 | 2.208,00 | 1,95 | 1,63 | 0,83 | 0,22 |
| Projeto D | 4,58 | 4.161,26 | | | | 1,34 |
| Res. Juliza | 2,39 | 5.073,13 | | | | 0,22 |

Já para os pilares, a média dos projetos é de 1,95 m²/m³, a maior e a menor taxa de formas refere-se aos seguintes projetos, respectivamente: Projeto D com 4,58 m²/m³ e Residencial São Borja com 0,5 m²/m³, o coeficiente de variação é de 83% e o desvio relativo máximo de 134%.

Na Figura 13 é mostrada a taxa de formas para cada tipo de elemento estrutural em todas as edificações com lajes maciças consideradas.

Figura 13- Taxa de formas versus projetos analisados para as lajes maciças



Nesta tipologia, o elevado consumo de formas nas lajes já era esperado, devido à grande área de contato das lajes. Porém o Acadêmico Alegrete e o Projeto D apresentaram maior área de formas nas vigas, o que se deve ao aumento do número e das dimensões das vigas. Este fator também pode estar associado a menores vãos médios de lajes.

5.1.1.4 Média para os sistemas estruturais com Lajes Maciças

A Tabela 12 apresenta o resumo dos índices de consumo de materiais para as edificações com lajes maciças.

Tabela 12 - Índices Totais para os sistemas estruturais com lajes maciças

| | Vol. Concreto (m³/m²) | Aço (kg/m³) | Formas (m²/m³) |
|--------------------------|-----------------------|--------------|----------------|
| Residencial Campo Grande | 0,111 | 65,63 | 11,44 |
| Residencial São Borja | 0,104 | 47,97 | 11,81 |
| Acadêmico Alegrete | 0,229 | 85,86 | 10,71 |
| Projeto D | 0,267 | 91,04 | 12,43 |
| Residencial Juliza | 0,179 | 71,35 | 10,41 |
| MÉDIA TOTAL | 0,178 | 72,37 | 11,36 |

Como visto anteriormente, o Projeto D apresentou a maior variação. Caso optasse por desconsiderá-lo, a média final seria para volume de concreto, 0,156 m³/m²; taxa de aço, 67,703 kg/m³ e para a taxa de formas, 11,093 m²/m³.

As Figuras 14, 15 e 16 referem-se a média resultante dos projetos analisados para a taxa de concreto, aço e formas, respectivamente, para as edificações com lajes maciças.

Figura 14 - Média resultante da taxa de volume de concreto nos sistemas estruturais com lajes maciças

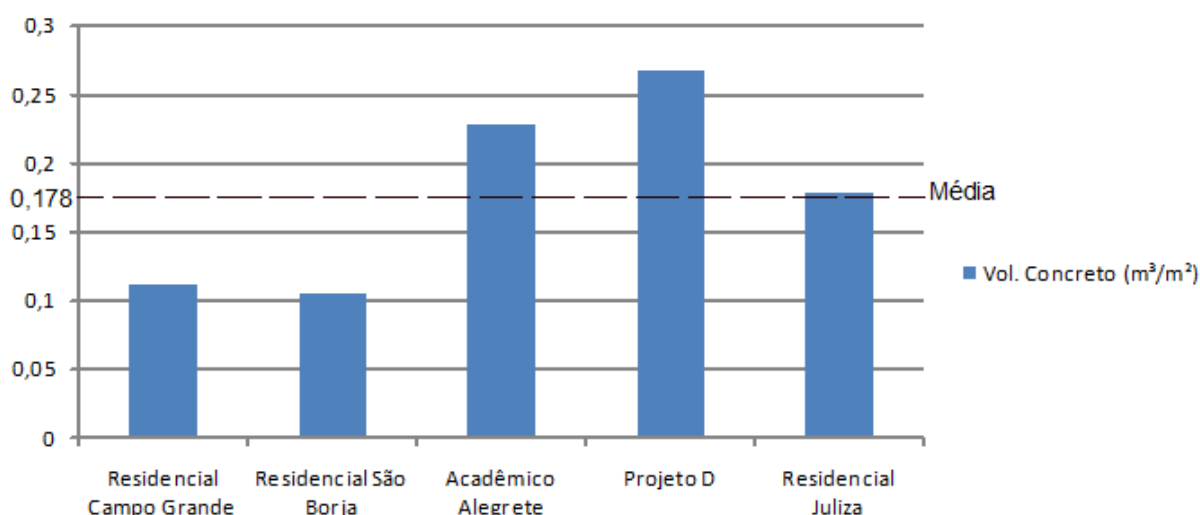


Figura 15- Média resultante para a taxa de aço para os sistemas estruturais com lajes maciças

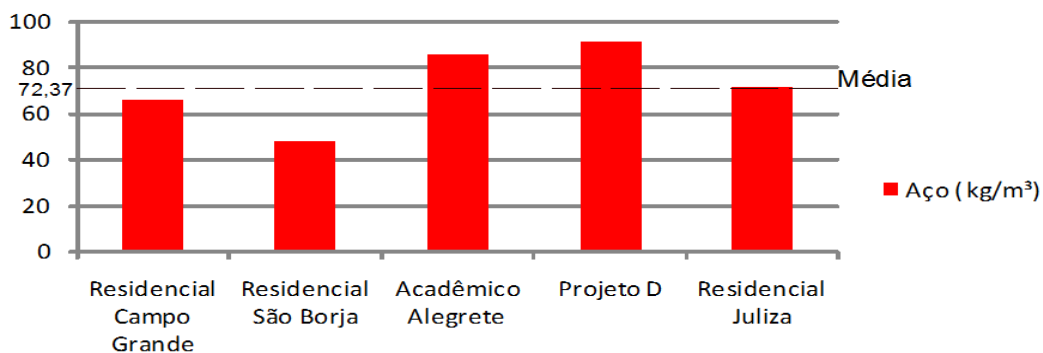
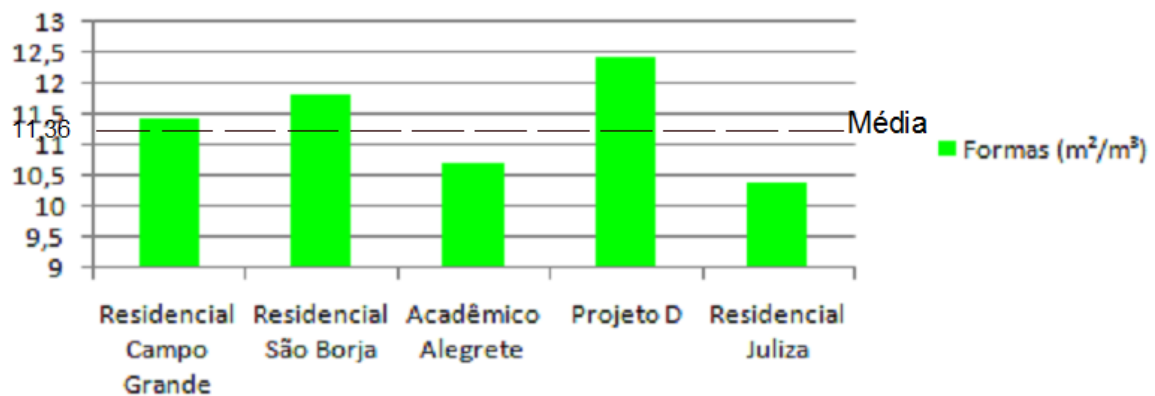


Figura 16 - Média resultante para a taxa de área de formas para os sistemas estruturais com lajes maciças



5.1.2 Pré-Lajes

Neste trabalho, todos os tipos de vigotas se enquadram no mesmo grupo de pré-lajes, pois o consumo de materiais empregados não variam com a escolha do tipo de vigota utilizada. Além disso os resultados apresentados, informam apenas o consumo de concreto moldado *in loco*, ou seja, não está computado a parcela de concreto e armadura das vigotas.

A Tabela 13 apresenta o consumo de materiais, concreto, aço e formas de cada projeto analisado para os sistemas estruturais com pré-laje.

Tabela 13 - Consumo de materiais para os sistemas estruturais com pré-lajes

| Projeto | Tipologia | Material | Laje | Vigas | Pilares | Totais |
|-------------------|-----------|----------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Projeto C | Pré-Laje | Concreto (m ³) | 51,08 | 43,63 | 7,31 | 102,02 |
| | | Aço (kg) | 2.100,00 | 3.505,70 | 1.375,20 | 6.980,90 |
| | | Formas (m ²) | | 695,30 | 128,66 | 823,96 |
| Unacon | Pré-Laje | Concreto (m ³) | 172,00 | 131,00 | 46,41 | 349,41 |
| | | Aço (kg) | 6.708,00 | 11.278,00 | 5.942,00 | 23.928,00 |
| | | Formas (m ²) | | 1.033,10 | 645,67 | 1.678,77 |
| Galpão Manutenção | Pré-Laje | Concreto (m ³) | 41,60 | 50,40 | 14,80 | 106,50 |
| | | Aço (kg) | 1.683,00 | 3.030,00 | 1.454,00 | 6.167,00 |
| | | Formas (m ²) | | 634,80 | 220,30 | 855,10 |
| HCI | Pré-Laje | Concreto (m ³) | 146,93 | 132,89 | 81,90 | 361,72 |
| | | Aço (kg) | 10.285,10 | 14.508,91 | 12.631,20 | 37.425,21 |
| | | Formas (m ²) | | 1.454,18 | 962,45 | 2.416,63 |

5.1.2.1 Análise estatística do consumo de concreto para os sistemas estruturais com pré-lajes

a) Lajes

As Tabelas 14, 15 e 16 apresentam a taxa de concreto nas lajes, vigas e pilares, respectivamente, em m³ de concreto por m² de área construída, para as edificações com sistemas estruturais em pré-lajes, mostrando a média, o desvio padrão, o coeficiente de variação e o desvio relativo.

Tabela 14 – Taxa de concreto nas lajes para os sistemas estruturais com pré-lajes

| Projetos Analisados | Taxa de Concreto (m ³ /m ²) | Área (m ²) | Média | Desvio Padrão | Coef. Variação | Desvio Relativo |
|---------------------|--|------------------------|-------|---------------|----------------|-----------------|
| Projeto C | 0,070 | 729,74 | | | | 0,42 |
| Unacon | 0,052 | 3.314,00 | 0,05 | 0,02 | 0,32 | 0,06 |
| Galpão Manutenção | 0,040 | 1.032,00 | | | | 0,19 |
| HCI | 0,035 | 2.938,60 | | | | 0,29 |

Da mesma forma como mencionado para a tipologia anterior, os resultados com desvios relativos elevados não foram desconsiderados.

O valor médio entre os projetos analisados é de 0,05 m³/m², a menor taxa de concreto nas lajes refere-se ao projeto HCI, 0,035 m³/m², já a maior taxa de concreto nas lajes é do Projeto C, cujo valor é de 0,070 m³/m², apresentando coeficiente de variação de 32%, e desvio relativo máximo de 42%.

b) Vigas

Tabela 15 - Taxa de concreto nas vigas para os sistemas estruturais com pré-lajes

| Projetos Analisados | Taxa de Concreto (m ³ /m ²) | Área (m ²) | Média | Desvio Padrão | Coef. Variação | Desvio Relativo |
|---------------------|--|------------------------|-------|---------------|----------------|-----------------|
| Projeto C | 0,060 | 729,74 | | | | 0,33 |
| Unacon | 0,040 | 3.314,00 | 0,050 | 0,01 | 0,27 | 0,12 |
| Galpão Manutenção | 0,049 | 1.032,00 | | | | 0,08 |
| HCI | 0,032 | 2.938,60 | | | | 0,29 |

Para as vigas, o valor médio dos projetos pesquisados é de 0,050 m³/m², a menor taxa de concreto é do HCI com 0,032 m³/m² em compensação a maior taxa de concreto é 0,06 m³/m² referente ao Projeto C, com coeficiente de variação de 27% e desvio relativo máximo de 33%.

c) Pilares.

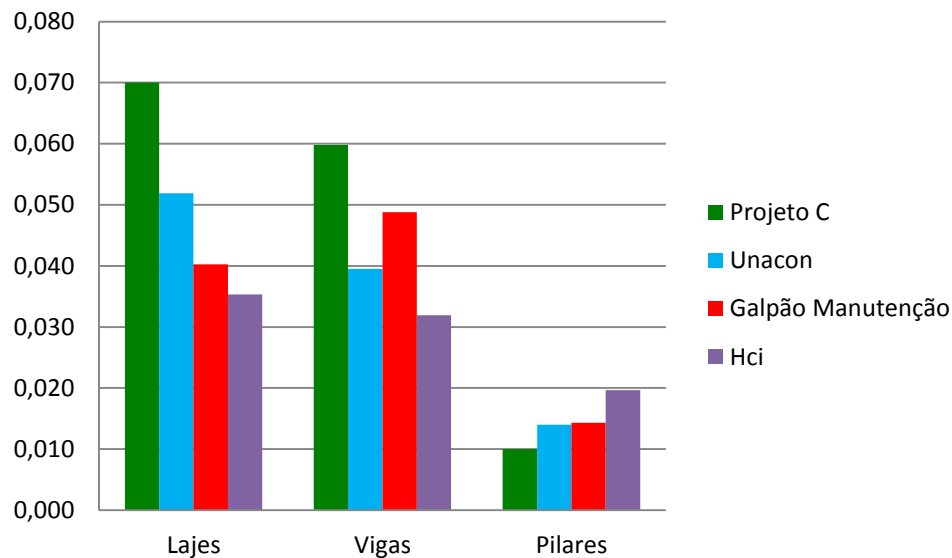
Tabela 16 – Taxa de concreto nos pilares para os sistemas estruturais com pré-lajes

| Projetos Analisados | Taxa de Concreto (m ³ /m ²) | Área (m ²) | Média | Desvio Padrão | Coef. Variação | Desvio Relativo |
|---------------------|--|------------------------|-------|---------------|----------------|-----------------|
| Projeto C | 0,010 | 729,74 | | | | 0,31 |
| Unacon | 0,014 | 3.314,00 | 0,014 | 0,004 | 0,28 | 0,72 |
| Galpão Manutenção | 0,014 | 1.032,00 | | | | 0,72 |
| HCI | 0,020 | 2.938,60 | | | | 0,59 |

Para os pilares, a média entre os projetos é de 0,014 m³/m², a maior e a menor taxa de concreto refere-se aos seguintes projetos, respectivamente, HCI com 0,020 m³/m² e Projeto C com 0,010 m³/m², o coeficiente de variação é de 28% e o desvio relativo máximo é de 72%.

Na Figura 17 é mostrada a taxa de aço para tipo de elemento estrutural em todas as edificações com pré-lajes consideradas.

Figura 17 - Taxa de concreto versus projetos analisados para os sistemas estruturais com pré-lajes



Observa-se que em três dos quatro projetos analisados, houve maior índice de consumo de concreto nas lajes, em seguida nas vigas e por último nos pilares. Apenas no Galpão Manutenção o consumo de concreto nas vigas foi maior do que nas lajes. Mas em todos os casos a diferença entre o consumo de concreto nas lajes e nas vigas é pouco expressiva.

Verifica-se que a taxa de consumo maior concreto nas lajes do que nas vigas é um caso pouco esperado, pois a pré-laje é composta por vigota, elemento de enchimento e a capa de concreto, logo a capa de concreto refere-se apenas a uma parcela do volume final, tendendo tornar a estrutura mais leve. Porém os fatores que podem ter contribuído significativamente para alterar essa hipótese é a altura das vigotas e dos elementos de enchimento e ao maior número de vigas em função de menores vãos.

5.1.2.2 Análise do consumo de aço para os sistemas estruturais com pré-lajes

a) Lajes

As Tabelas 17, 18 e 19 apresentam a taxa de aço nas lajes, vigas e pilares, respectivamente, em kg de aço por m³ de concreto, para as edificações com sistemas estruturais em pré-lajes, demonstrando a média, o desvio padrão, o coeficiente de variação e o desvio relativo.

Tabela 17– Taxa de aço nas lajes para os sistemas estruturais com pré-lajes

| Projetos Analisados | Taxa de Aço (kg/m ³) | Área (m ²) | Média | Desvio Padrão | Coef. Variação | Desvio Relativo |
|---------------------|----------------------------------|------------------------|-------|---------------|----------------|-----------------|
| Projeto C | 20,58 | 729,74 | | | | 0,02 |
| Unacon | 19,20 | 3.314,00 | 20,99 | 5,36 | 0,25 | 0,09 |
| Galpão Manutenção | 15,76 | 1.032,00 | | | | 0,25 |
| HCI | 28,43 | 2.938,60 | | | | 0,35 |

Considerando agora, o consumo de aço nas lajes, obteve-se uma média de 20,99 Kg/m³, o Galpão de manutenção teve a menor taxa, 15,76 Kg/m³, em contrapartida o HCI apresentou a maior taxa, 28,43 kg/m³, o coeficiente de variação é de 25% e o desvio relativo máximo é de 35%.

b) Vigas

Tabela 18 – Taxa de aço nas vigas para os sistemas estruturais com pré-lajes

| Projetos Analisados | Taxa de Aço (kg/m ³) | Área (m ²) | Média | Desvio Padrão | Coef. Variação | Desvio Relativo |
|---------------------|----------------------------------|------------------------|-------|---------------|----------------|-----------------|
| Projeto C | 34,36 | 729,74 | | | | 0,02 |
| Unacon | 32,28 | 3.314,00 | 33,78 | 4,90 | 0,14 | 0,04 |
| Galpão Manutenção | 28,37 | 1.032,00 | | | | 0,16 |
| HCI | 40,11 | 2.938,60 | | | | 0,19 |

Já para as vigas, a média equivalente é de 33,78 kg/m³, a taxa de aço variou entre 28,37 kg/m³ para o Galpão de manutenção até 40,11 kg/m³ para o Hospital de Caridade de Ijuí, o coeficiente de variação é de 14% e o desvio relativo máximo é de 19%.

c) Pilares

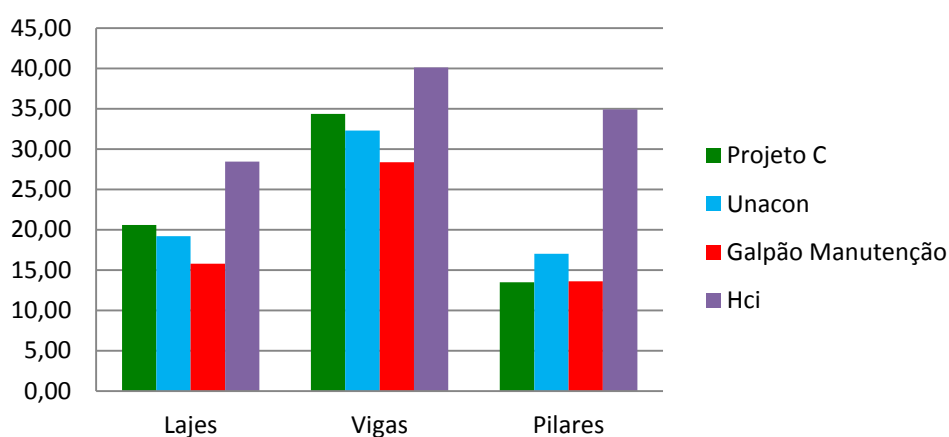
Tabela 19 – Taxa de aço nos pilares para os sistemas estruturais com pré-lajes

| Projetos Analisados | Taxa de Aço (kg/m ³) | Área (m ²) | Média | Desvio Padrão | Coef. Variação | Desvio Relativo |
|---------------------|----------------------------------|------------------------|-------|---------------|----------------|-----------------|
| Projeto C | 13,48 | 729,74 | | | | 0,32 |
| Unacon | 17,01 | 3.314,00 | 19,76 | 10,24 | 0,52 | 0,14 |
| Galpão Manutenção | 13,61 | 1.032,00 | | | | 0,31 |
| HCI | 34,92 | 2.938,60 | | | | 0,77 |

A média para os pilares é de 19,36 kg/m³, o projeto que consumiu menos aço foi o Projeto C cuja taxa é de 13,48 kg/m³, já o que consumiu mais aço foi o Unacon com 17,01kg/m³, o coeficiente de variação é de 52% e o desvio relativo máximo é de 77%.

Na Figura 18 é mostrada a taxa de aço para cada tipo de elemento estrutural em todas as edificações com pré-lajes consideradas.

Figura 18 - Taxa de aço versus projetos analisados para os sistemas estruturais com pré-lajes



Percebe-se que em todos os projetos analisados o consumo de aço é equilibrado, apresentando valores superiores na seguinte ordem: vigas, lajes e pilares, o que se deve ao aumento do número de vigas por menores vãos de lajes.

Apenas o HCI apresentou taxa maior de aço nas vigas do que nos pilares, e em último lugar nas lajes.

As lajes apresentam um baixo consumo de aço porque a armadura mais significativa das lajes pré-moldadas está nas vigotas, não sendo considerados nesta análise.

5.1.2.3 Análise Estatística do consumo de formas para os sistemas estruturais com pré-lajes

O consumo de formas nas lajes será desconsiderado, pois a forma é substituída pelas vigotas e materiais de enchimento, não contabilizando o seu consumo, por mais que se use escoramentos, estes também não serão computados.

O consumo de formas foi calculado para os demais elementos.

O consumo de fôrmas é muito importante na hora de se analisar a viabilidade de um sistema estrutural, pois atualmente a madeira é um material caro, e requer muita mão de obra para executar as formas.

a) Vigas

É mostrado nas Tabelas 20 e 21 as taxas de formas nas vigas e pilares, respectivamente, em m^2 de área de formas por m^3 de concreto, para as edificações com sistemas estruturais em pré-lajes, apresentando a média, o desvio padrão, o coeficiente de variação e o desvio relativo.

Tabela 20 – Taxa de formas nas vigas para os sistemas estruturais com pré-lajes

| Projetos Analisados | Taxa de Formas (m^2/m^3) | Área (m^2) | Média | Desvio Padrão | Coef. Variação | Desvio Relativo |
|---------------------|------------------------------|----------------|-------|---------------|----------------|-----------------|
| Projeto C | 6,82 | 729,74 | | | | 0,38 |
| Unacon | 2,96 | 3.314,00 | 4,94 | 1,76 | 0,36 | 0,40 |
| Galpão Manutenção | 5,94 | 1.032,00 | | | | 0,20 |
| HCI | 4,02 | 2.938,60 | | | | 0,19 |

A média dos projetos é de 4,94 m²/m³. A menor taxa de formas nas vigas refere-se ao Unacon, 2,96 m²/m³ já a maior taxa equivale ao Projeto C, 6,82 m²/m³, sendo o coeficiente de variação de 36% e desvio relativo máximo de 40%.

b) Pilares

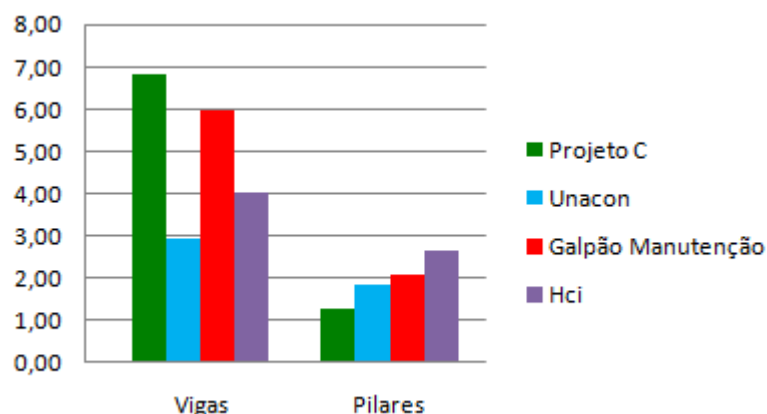
Tabela 21–Taxa de formas nos pilares para os sistemas estruturais com pré-lajes

| Projetos Analisados | Taxa de Formas (m ² /m ³) | Área (m ²) | Média | Desvio Padrão | Coef. Variação | Desvio relativo |
|---------------------|--|------------------------|-------|---------------|----------------|-----------------|
| Projeto C | 1,26 | 729,74 | | | | 0,36 |
| Unacon | 1,85 | 3.314,00 | 1,96 | 0,58 | 0,30 | 0,05 |
| Galpão Manutenção | 2,06 | 1.032,00 | | | | 0,05 |
| HCI | 2,66 | 2.938,60 | | | | 0,36 |

E por último a análise estatística para as pilares, onde a média entre os projetos é de 1,96 m²/m³, a menor taxa de formas refere-se ao Projeto C com 1,26 m²/m³ e a maior taxa de formas é 2,66 m²/m³ para o HCI, cujo coeficiente de variação resulta em 30% e o desvio relativo máximo é de 36%.

Na Figura 19 é apresentada a taxa de formas para cada tipo de elemento estrutural em todas as edificações com pré-lajes consideradas.

Figura 19 - Taxa de formas versus projetos analisados para os sistemas estruturais com pré-lajes



Nota-se que o consumo de formas é maior nas vigas para todas as edificações consideradas. Percebe-se ainda que o consumo de formas foi inversamente proporcional ao consumo nos pilares. O que pode ser explicado é pela relação, mesmo que indireta, entre área de formas e a rigidez do elemento estrutural.

5.1.2.4 Índices Totais para os sistemas estruturais com pré-lajes

A Tabela 22 apresenta o índice de consumo de materiais para as quatro edificações analisadas nos sistemas estruturais com pré-lajes.

Tabela 22 - Índices Totais para os sistemas estruturais com pré-lajes

| | Vol. Concreto (m ³ /m ²) | Aço (kg/m ³) | Formas (m ² /m ³) |
|-------------------|---|---------------------------|--|
| Projeto C | 0,140 | 68,43 | 8,08 |
| Unacon | 0,105 | 68,48 | 4,80 |
| Galpão manutenção | 0,103 | 57,74 | 8,01 |
| HCI | 0,087 | 103,46 | 6,68 |
| MÉDIA TOTAL | 0,11 | 74,53 | 6,89 |

As Figuras 20, 21 e 22 apresentam a média resultante dos projetos analisados para a taxa de concreto, aço e formas respectivamente, para os sistemas estruturais com pré-lajes.

Figura 20 - Média resultante da taxa de volume de concreto para os sistemas estruturais com pré-lajes

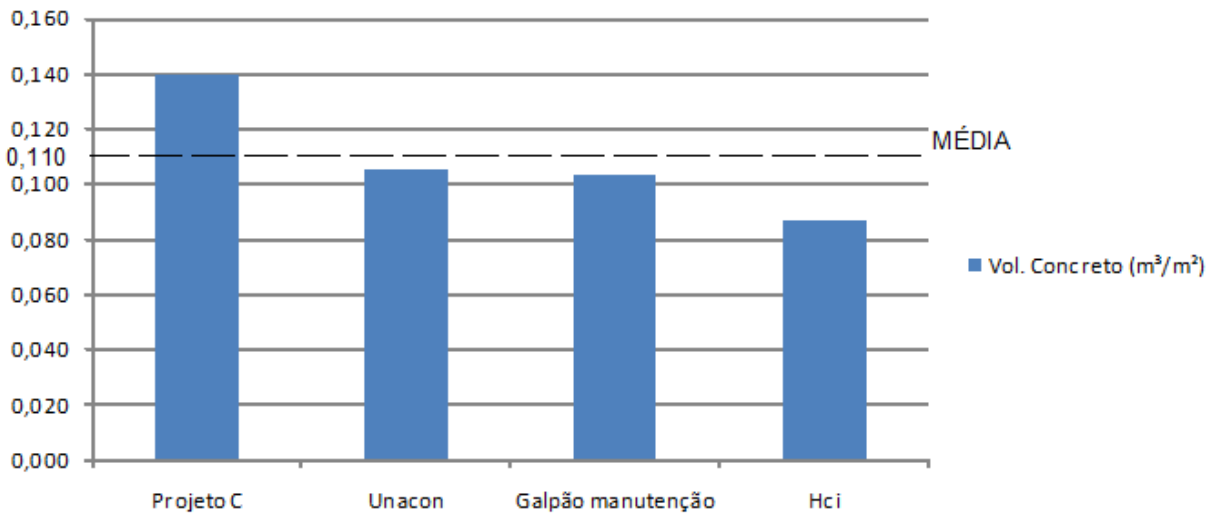


Figura 21 - Média resultante da taxa de aço para os sistemas estruturais com pré-lajes

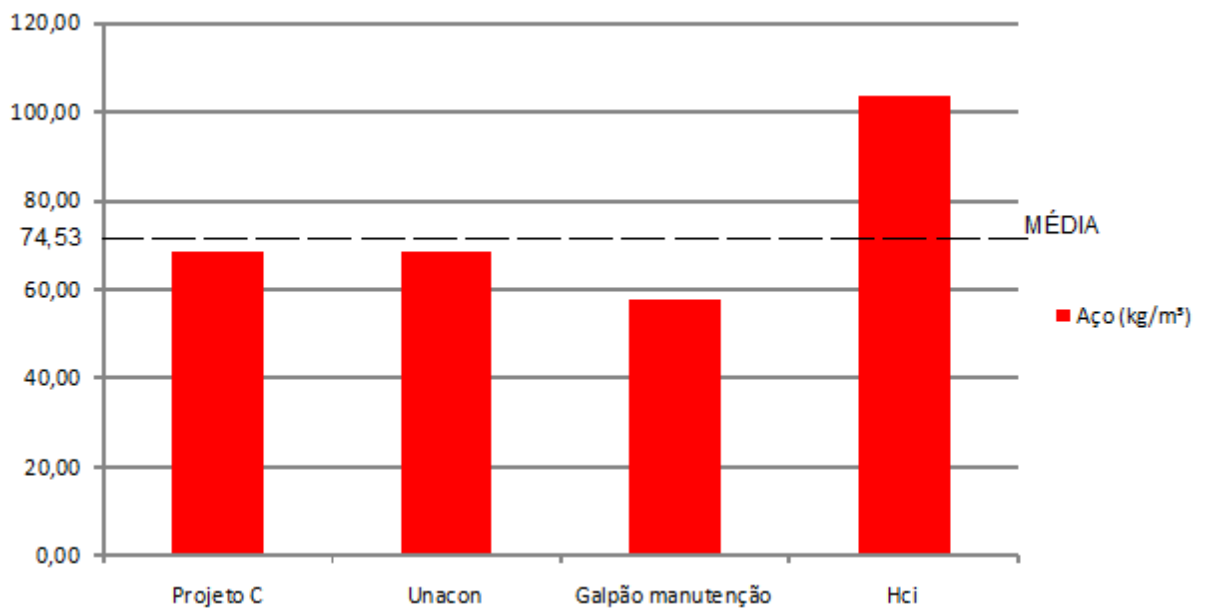
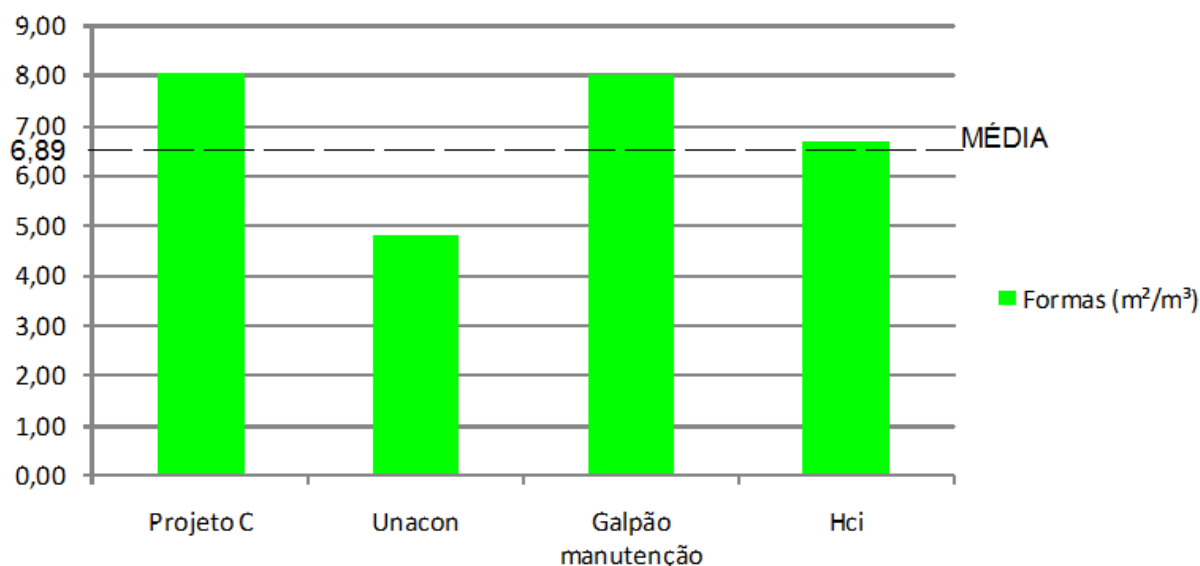


Figura 22 - Média resultante da taxa de formas para os sistemas estruturais com pré-lajes



5.1.3 Lajes Alveolares

A Tabela 23 resume o consumo de materiais, concreto, aço e formas para cada um dos projetos analisados em sistemas estruturais com lajes alveolares.

Tabela 23 - Consumo de materiais para os sistemas estruturais com lajes alveolares

| Projeto | Tipologia | Material | Laje | Vigas | Pilares | Totais |
|----------------|--------------|---------------|----------|-----------|-----------|-----------|
| Prédio Borja | São Alveolar | Concreto (m³) | 78,75 | 119,58 | 70,85 | 269,18 |
| | | Aço (kg) | 3.628,00 | 11.531,42 | 8.583,89 | 23.743,31 |
| | | Formas (m²) | | 1.231,96 | 736,52 | 1.968,48 |
| Prédio Pedrito | Dom Alveolar | Concreto (m³) | 106,30 | 107,99 | 90,00 | 304,29 |
| | | Aço (kg) | 4.898,30 | 12.775,76 | 17.466,98 | 35.141,04 |
| | | Formas (m²) | | 1.271,91 | 978,50 | 2.250,41 |
| Bloco J | Alveolar | Concreto (m³) | 136,70 | 203,00 | 63,00 | 402,70 |
| | | Aço (kg) | 5.352,00 | 17.402,00 | 15.361,00 | 38.115,00 |
| | | Formas (m²) | | 2.557,84 | 1.180,16 | 3.738,00 |
| Bloco 74 | Alveolar | Concreto (m³) | 137,26 | 128,01 | 81,23 | 346,50 |
| | | Aço (kg) | 6.325,17 | 16.619,00 | 13.850,00 | 36.794,17 |
| | | Formas (m²) | | 2.134,37 | 1.278,63 | 3.413,00 |

5.1.3.1 Análise estatística do consumo de concreto para os sistemas estruturais com lajes alveolares

a) Lajes

Salienta-se que o consumo de concreto dos painéis alveolares foram desconsiderados. Somente é computado a capa de concreto com 5 cm de espessura.

São apresentadas nas Tabelas 24, 25 e 26 a taxa de concreto nas lajes, vigas e pilares, respectivamente, em m³ de concreto por m² de área construída, para as edificações com lajes alveolares, mostrando a média, o desvio padrão, o coeficiente de variação e o desvio relativo.

Tabela 24 - Taxa de concreto nas lajes para os sistemas estruturais com lajes alveolares

| Projetos Analisados | Taxa de Concreto (m ³ /m ²) | Área (m ²) | Média | Desvio Padrão | Coef. Variação | Desvio relativo |
|---------------------|--|------------------------|-------|---------------|----------------|-----------------|
| Prédio São Borja | 0,050 | 1.575,00 | | | | 0,02 |
| Prédio Dom Pedrito | 0,050 | 2.126,00 | 0,05 | 0,00 | 0,03 | 0,02 |
| Bloco J | 0,047 | 2.934,00 | | | | 0,05 |
| Bloco 74 | 0,050 | 2.745,00 | | | | 0,02 |

Nota-se que a média resultante para as lajes variou pouco, 0,05 m³/m², porque todos os projetos apresentaram taxa de concreto semelhante, resultando em desvio padrão nulo, coeficiente de variação e desvio relativo baixos. Isso deve-se à espessura da capa de solidarização ser constante para os diferentes projetos.

b) Vigas

Tabela 25 – Taxa de concreto nas vigas para os sistemas estruturais com lajes alveolares

| Projetos Analisados | Taxa de Concreto (m ³ /m ²) | Área (m ²) | Média | Desvio Padrão | Coef. Variação | Desvio relativo |
|---------------------|--|------------------------|-------|---------------|----------------|-----------------|
| Prédio São Borja | 0,076 | 1.575,00 | | | | 0,25 |
| Prédio Dom Pedrito | 0,051 | 2.126,00 | 0,061 | 0,01 | 0,23 | 0,16 |
| Bloco J | 0,069 | 2.934,00 | | | | 0,14 |
| Bloco 74 | 0,047 | 2.745,00 | | | | 0,23 |

Já para as vigas, a taxa de concreto variou pouco, a média entre os projetos analisados é de 0,061 m³/m². Sendo o Prédio São Borja que apresentou a maior taxa de concreto, 0,076 m³/m², em compensação o Bloco 74 apresentou a menor taxa, 0,047 m³/m². Apresentando 23% de coeficiente de variação e 25% de desvio relativo máximo.

c) Pilares

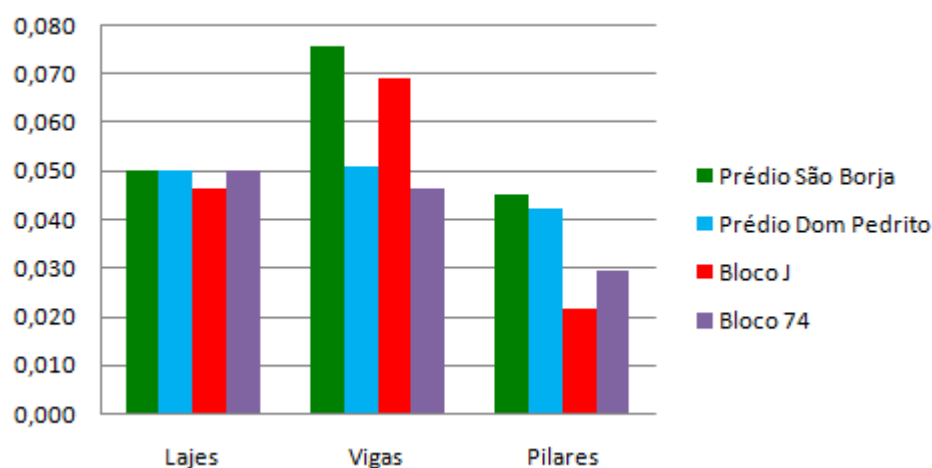
Tabela 26 – Taxa de volume de concreto nos pilares para os sistemas estruturais com lajes alveolares

| Projetos Analisados | Taxa de Concreto (m ³ /m ²) | Área (m ²) | Média | Desvio Padrão | Coef. Variação | Desvio relativo |
|---------------------|--|------------------------|-------|---------------|----------------|-----------------|
| Prédio São Borja | 0,045 | 1.575,00 | | | | 0,30 |
| Prédio Dom Pedrito | 0,042 | 2.126,00 | 0,035 | 0,011 | 0,32 | 0,22 |
| Bloco J | 0,021 | 2.934,00 | | | | 0,39 |
| Bloco 74 | 0,030 | 2.745,00 | | | | 0,13 |

E por último a análise da taxa de concreto nos pilares, cuja média é de 0,035 m³/m². A maior taxa de concreto é do Prédio São Borja, 0,045 m³/m² e a menor taxa refere-se ao Bloco J, 0,021 m³/m². O coeficiente de variação é de 32% e desvio relativo máximo de 39%.

Na Figura 23 é apresentada a taxa de concreto para cada tipo de elemento estrutural em todas as edificações com lajes alveolares analisadas.

Figura 23 - Taxa de concreto versus projetos analisados para os sistemas estruturais com lajes alveolares



Observa-se que o consumo de concreto nas lajes é equilibrado, devido todos os projetos apresentarem uma capa de concreto com pequena espessura. Nota-se que a diferença de volume de concreto nos elementos da estrutura é proporcional a quantidades de vigas e vãos médios entre as mesmas. Para o Prédio Dom Pedrito e o Bloco 74 o consumo de concreto nas lajes e vigas foi menor, logo estes prédios possuem menos vigas e maiores vãos médios entre vigas, caso ideal para as lajes alveolares, que podem vencer até 20 m de vão. Já para os demais dos projetos, percebe-se que as vigas recebem mais concreto, logo os vãos médios são menores e as estruturas possuem mais vigas.

5.1.3.2 Análise estatística do consumo de aço para as lajes alveolares

a) Lajes

As Tabelas 27, 28 e 29 trazem a taxa de aço nas lajes, em kg de aço por m³ de concreto, para as edificações com lajes alveolares apresentando a média, o desvio padrão, o coeficiente de variação e o desvio relativo.

Tabela 27 - Taxa de aço para os sistemas estruturais com lajes alveolares

| Projetos Analisados | Taxa de Aço (kg/m³) | Área (m²) | Média | Desvio Padrão | Coef. Variação | Desvio Relativo |
|----------------------------|---------------------------------------|-----------------------------|--------------|----------------------|-----------------------|------------------------|
| Prédio São Borja | 13,48 | 1.575,00 | | | | 0,12 |
| Prédio Dom Pedrito | 16,10 | 2.126,00 | 15,28 | 2,36 | 0,15 | 0,05 |
| Bloco J | 13,29 | 2.934,00 | | | | 0,13 |
| Bloco 74 | 18,25 | 2.745,00 | | | | 0,19 |

A média entre os projetos é 15,28 kg/m³. O bloco J consumiu a menor taxa de aço, com 13,29 kg/ m³ em contrapartida o bloco 74 apresentou a maior taxa de aço, com 18,25 kg/m³. O coeficiente de variação é de 15% e o desvio relativo máximo de 19%.

b) Viga

Tabela 28 - Taxa de aço nas vigas para os sistemas estruturais com lajes alveolares

| Projetos Analisados | Taxa de Aço (kg/m³) | Área (m²) | Média | Desvio Padrão | Coef. Variação | Desvio Relativo |
|----------------------------|---------------------------------------|-----------------------------|--------------|----------------------|-----------------------|------------------------|
| Prédio São Borja | 42,84 | 1.575,00 | | | | 0,03 |
| Prédio Dom Pedrito | 41,99 | 2.126,00 | 44,00 | 2,69 | 0,06 | 0,05 |
| Bloco J | 43,21 | 2.934,00 | | | | 0,02 |
| Bloco 74 | 47,96 | 2.745,00 | | | | 0,09 |

Para as vigas, a média é de 44 kg/m³. A maior taxa de aço refere-se ao Bloco 74 com, 47,96 kg/m³, já a menor taxa é de 41,99 kg/m³ pertence ao Prédio Dom Pedrito. O coeficiente de variação é de 6% e desvio relativo máximo de 9%.

c) Pilar

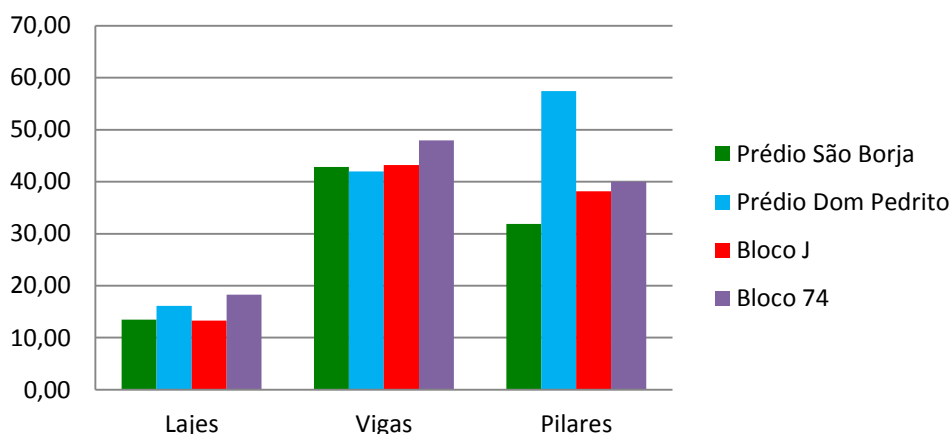
Tabela 29 – Taxa de aço nos pilares para os sistemas estruturais com lajes alveolares

| Projetos Analisados | Taxa de Aço (kg/m ³) | Área (m ²) | Média | Desvio Padrão | Coef. Variação | Desvio relativo |
|---------------------|----------------------------------|------------------------|-------|---------------|----------------|-----------------|
| Prédio São Borja | 31,89 | 1.575,00 | 41,85 | 10,93 | 0,26 | 0,24 |
| Prédio Dom Pedrito | 57,40 | 2.126,00 | | | | 0,37 |
| Bloco J | 38,15 | 2.934,00 | | | | 0,09 |
| Bloco 74 | 39,97 | 2.745,00 | | | | 0,04 |

E por fim a análise estatística para os pilares que apresenta a média de 41,85 kg/m³. As taxas de aço máxima e mínima são, respectivamente, 57,4 kg/m³ para o Prédio Dom Pedrito e 31,89 kg/m³ para o Prédio São Borja. O coeficiente de variação é de 26% e desvio relativo máximo de 37%.

Na Figura 24 é mostrada a taxa de aço para cada tipo de elemento estrutural em todas as edificações com lajes alveolares consideradas.

Figura 24 - Taxa de aço versus projetos analisados para os sistemas estruturais com lajes alveolares



Para esta tipologia, a laje é composta por apenas uma malha de aço de pequeno diâmetro, contribuindo pouco no peso total da laje. Como descrito para as outras tipologias, quem determina a rigidez dos pilares e vigas é o projetista. No Prédio Dom Pedrito os pilares apresentam maior consumo de aço tornando-se mais

rígidos, em contrapartida os demais projetos analisados é nas vigas que se consome mais aço.

5.1.3.3 Análise estatística do consumo de formas para os sistemas estruturais com lajes alveolares

Da mesma forma que nas pré-lajes o consumo de formas nas lajes não será considerado, pois os painéis alveolares as substituem.

a) Vigas

Por fim são apresentados nas Tabelas 30 e 31 a taxa de consumo de formas nas vigas e pilares, respectivamente, em m^2 de área de formas por m^3 de concreto, para as edificações com lajes alveolares. São mostrados a média, o desvio padrão, o coeficiente de variação e o desvio relativo.

Tabela 30 – Taxa de formas nas vigas para os sistemas estruturais com lajes alveolares

| Projetos Analisados | Taxa de Formas (m^2/m^3) | Área (m^2) | Média | Desvio Padrão | Coef. Variação | Desvio relativo |
|---------------------|------------------------------|----------------|-------|---------------|----------------|-----------------|
| Prédio São Borja | 4,58 | 1.575,00 | | | | 0,14 |
| Prédio Dom Pedrito | 4,18 | 2.126,00 | 5,32 | 1,10 | 0,21 | 0,21 |
| Bloco J | 6,35 | 2.934,00 | | | | 0,19 |
| Bloco 74 | 6,16 | 2.745,00 | | | | 0,16 |

A média dos projetos é de $5,32 m^2/m^3$. A menor taxa de forma é do Projeto Dom Pedrito com $4,18 m^2/m^3$ e a maior taxa de forma é do Bloco J com $6,35 m^2/m^3$. O coeficiente de variação é de 21% e desvio relativo máximo de 21%.

b) Pilar

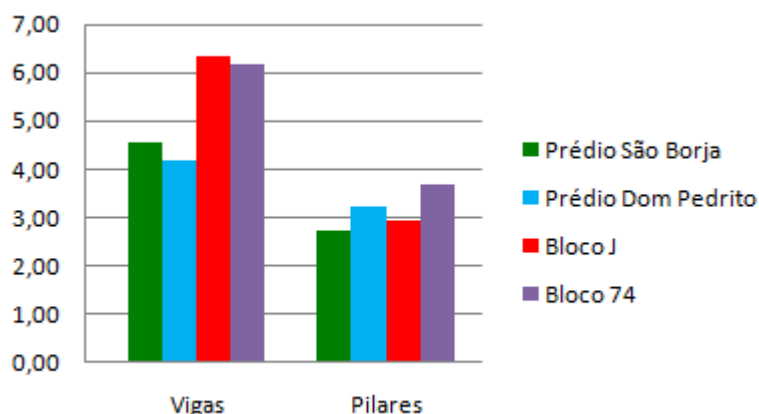
Tabela 31 - Taxa de formas nos pilares para os sistemas estruturais com lajes alveolares

| Projetos Analisados | Taxa de Formas (m ² /m ³) | Área (m ²) | Média | Desvio Padrão | Coef. Variação | Desvio relativo |
|---------------------|--|------------------------|-------|---------------|----------------|-----------------|
| Prédio São Borja | 2,74 | 1.575,00 | | | | 0,13 |
| Prédio Dom Pedrito | 3,22 | 2.126,00 | 3,15 | 0,41 | 0,13 | 0,02 |
| Bloco J | 2,93 | 2.934,00 | | | | 0,07 |
| Bloco 74 | 3,69 | 2.745,00 | | | | 0,17 |

Para os pilares, a média para a taxa de formas é de 3,15 m²/m³. As taxas variam entre 2,74 m²/m³ a 3,69 m²/m³ referente aos seguintes projetos, respectivamente, Prédio São Borja e Bloco 74.

Na Figura 25 é mostrada a taxa de formas para cada tipo de elemento estrutural em todas as edificações com lajes alveolares consideradas.

Figura 25 - Taxa de formas versus projetos analisados para sistemas estruturais com lajes alveolares



De forma análoga ao caso dos sistemas estruturais com pré-laje, o consumo de formas foi maior nas vigas do que nos pilares, no entanto de forma mais equilibrada. O que pode ser explicado pelo menor número de vigas devido aos maiores vãos vencidos pelas lajes alveolares.

5.1.3.4 Índices Totais para os sistemas estruturais com lajes alveolares

A Tabela 32 apresenta o índice total de consumo de materiais para os sistemas estruturais com lajes alveolares.

Tabela 32 - Índices Totais para os sistemas estruturais com lajes alveolares

| | Vol. Concreto (m ³ /m ²) | Aço (kg/m ³) | Formas (m ² /m ³) |
|--------------------|---|---------------------------|--|
| Prédio São Borja | 0,171 | 88,21 | 7,31 |
| Prédio Dom Pedrito | 0,143 | 115,49 | 7,40 |
| Bloco J | 0,137 | 94,65 | 9,28 |
| Bloco 74 | 0,126 | 106,19 | 9,85 |
| MÉDIA TOTAL | 0,14 | 101,13 | 8,46 |

As Figuras 26, 27 e 28 apresentam a média resultante dos projetos analisados para a taxa de concreto, aço e formas respectivamente, para os sistemas estruturais com lajes alveolares.

Figura 26 - Média resultante do volume de concreto para os sistemas estruturais com lajes alveolares

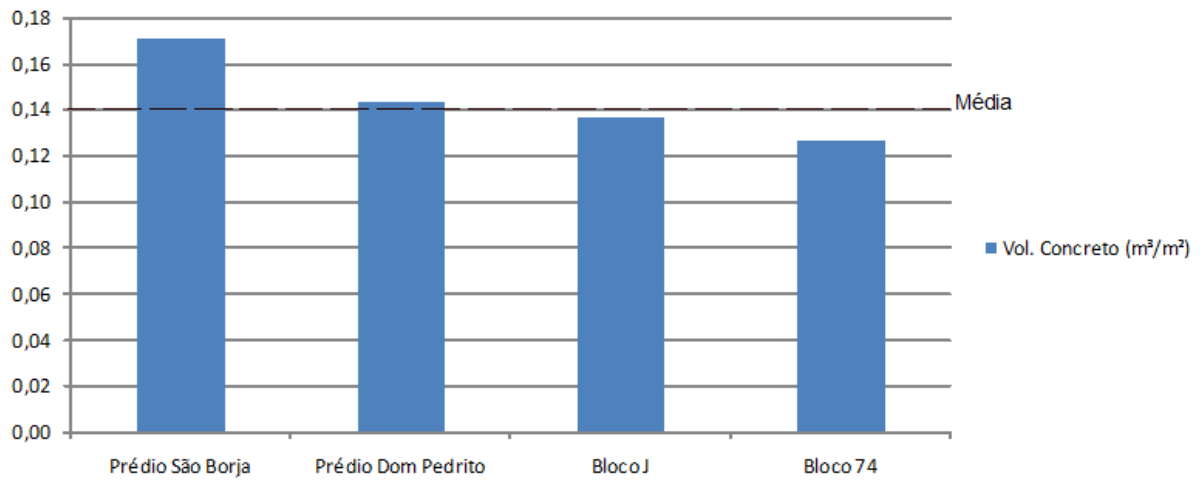


Figura 27 - Média resultante da taxa de aço para os sistemas estruturais com lajes alveolares

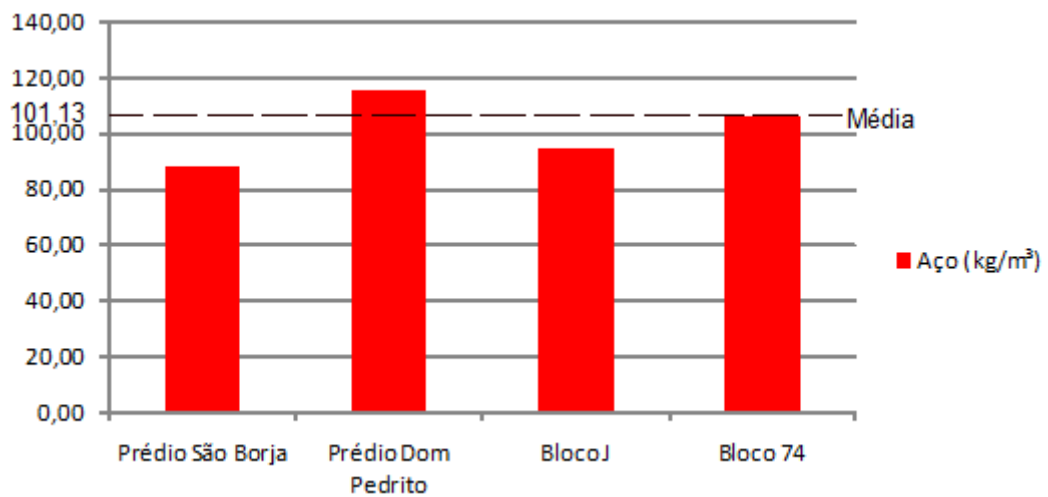
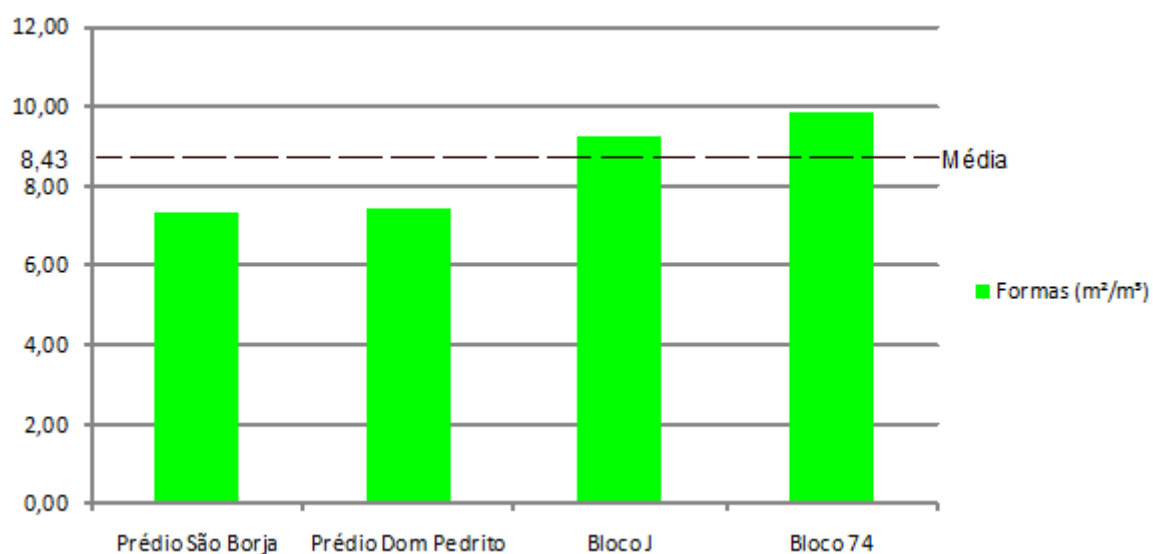


Figura 28 - Média resultante da taxa de formas para os sistemas estruturais com lajes alveolares



5.2 Média resultante para as tipologias analisadas

A Tabela 33 mostra a média resultante para volume de concreto, aço e formas de cada tipologia analisada e a Tabela 34 apresenta a média dos valores mencionados por Botelho e Marchetti (2004).

Tabela 33- Média final versus tipologias analisadas

| | Vol. Concreto (m³/m²) | Aço (kg/m³) | Formas (m²/m³) |
|---------------|-----------------------|--------------|----------------|
| Laje Maciça | 0,18 | 72,37 | 11,36 |
| Pré-Laje | 0,11 | 74,53 | 6,89 |
| Laje Alveolar | 0,14 | 101,13 | 8,46 |

Tabela 34 - Média dos valores mencionados por Botelho e Marchetti (2004)

| | Vol. Concreto (m³/m²) | Aço (kg/m³) | Formas (m²/m³) |
|---------------|-----------------------|--------------|----------------|
| Laje Maciça | 0,23 | 100 | 12 |
| Pré-Laje | 0,13 | - | - |
| Laje Alveolar | - | - | - |

Comparando se os dados obtidos neste trabalho (Tabela 33) com os parâmetros mencionados por e Botelho (2004) (Tabela 34), tem-se que:

- Em relação ao consumo de concreto, o sistema estrutural com lajes maciças apresentaram taxa de aproximadamente 22% menor do que o valor apresentado pelos referidos autores;
- Considerando-se os sistemas estruturais com pré-lajes, a taxa de volume de concreto foi aproximadamente 15% menor do que o valor da bibliografia;
- A relação ao consumo de aço, para lajes maciças a taxa foi de aproximadamente 28% menor;
- O consumo de formas foi o que mais se aproximou dos dados mencionados pelos autores.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para os projetos analisados concluiu-se que em relação ao índice de consumo de concreto as lajes são responsáveis pelo maior consumo. Houve edificações que fugiram a esta regra, provavelmente por opção de projeto. Mesmo assim a média de consumo para edificações com lajes maciças foi de $0,178 \text{ m}^3/\text{m}^2$, para pré-lajes $0,11 \text{ m}^3/\text{m}^2$ e lajes alveolares $0,14 \text{ m}^3/\text{m}^2$.

Para o índice de consumo de aço as lajes maciças também apresentaram o maior consumo nas lajes. Apenas o Projeto D apresentou valores díspares, consumindo mais aço nos pilares. A média de consumo para lajes maciças foi de $72,37 \text{ kg}/\text{m}^3$. Os sistemas estruturais com pré-lajes apresentaram o maior consumo nas vigas, em segundo lugar nas lajes e por último nos pilares. A média foi de $74,53 \text{ kg}/\text{m}^3$. A exceção foi o HCl onde o consumo de aço foi maior nos pilares do que nas lajes. Em relação aos sistemas estruturais com lajes alveolares, o consumo de aço foi equilibrado, apresentando valores maiores nas vigas, depois nos pilares e por último nas lajes. Este resultado já era esperado, pois o aço computado nas lajes refere-se apenas ao aço embutido na capa de concreto, contribuindo em menor parcela no peso final da estrutura. A média de consumo foi de $101,13 \text{ kg}/\text{m}^3$.

A análise do consumo de formas, que como já esperado, apresentou o maior consumo para as lajes maciças, média de $11,36 \text{ m}^2/\text{m}^3$. Nos sistemas estruturais com Pré-lajes e Lajes alveolares o consumo de formas foi menor devido a inexistência de formas nas lajes, mas em geral, todas as edificações analisadas para estas duas tipologias, apresentaram maior consumo nas vigas, com média de $6,89 \text{ m}^2/\text{m}^3$ para pré-lajes e $8,46 \text{ m}^2/\text{m}^3$ para lajes alveolares.

Fica claro ao longo da pesquisa que buscar um valor único de referência é difícil pois a depender da arquitetura e da estrutura lançada pelo projetista pode haver redistribuição de esforços e compensação entre os diferentes elementos, lajes, vigas e pilares. No entanto, a busca por valores representativos é válida como uma primeira estimativa ou como um parâmetro de controle de qualidade nos projetos. Desta forma, entende-se que os objetivos do trabalho foram atendidos.

6.1 Sugestões para trabalhos futuros

- Calcular os índices de volume de concreto, peso de aço e área de formas por m² de área construída;
- Buscar por projetos estruturais elaborados pelo mesmo projetista;
- Elaborar um comparativo com custos para cada tipologia analisada;
- Procurar parâmetros com outros autores e realizar comparações.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, J. M. **Curso de Concreto Armado**. Ed. Dunas. 2ª ed. Vol. 4. Rio Grande, RS: 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 12721 – **Avaliação de custos unitários e preparo de orçamentos para incorporações de edifícios em condomínio** – Procedimento - Rio de Janeiro, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 6118 – **Projeto de estruturas de concreto** – Rio de Janeiro, 1985

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 9062 – **Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado** – Rio de Janeiro, 2006.

BARBOZA, M. R. **Concepção e análise de estruturas de edifícios em concreto armado**. Bauru: UNESP, 2008. Relatório Final de Iniciação Científica n. 07

BARROS, M. M. S. B.; MELHADO, S.B. **Racionalização do projeto de edifícios construídos pelo processo tradicional**. São Paulo, 1993. Seminário (Pós Graduação) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

_____. **Recomendações para a produção de estruturas de concreto armado em edifícios**. São Paulo: EPUSP, 2006. Apostila da disciplina de Tecnologia da Construção de Edifícios I.

BASTOS, P. S. S. **Fundamentos do Concreto Armado. Material Didático**. 2006. Disponível em: <<http://www.ufsm.br/decc/ECC1006/Downloads/FUNDAMENTOS.pdf>>. Acesso em: Julho de 2013.

BOTELHO, M. H.C.; MARCHETTI, O. **Concreto Armado Eu te Amo**, volume II, 2004

CAMPOS, V.F. TQC: **Controle de qualidade total**. 2 ed. Rio de Janeiro: Bloch Ed, 1992

CASSOL PRÉ-FABRICADOS. **Laje Alveolar**. 2006. Disponível em: <HTTP://www.arweb.com.br/cassol/php/produtos.php?id=16>. Acesso em 1 set. 2013.

CONSTRUROHR, disponível em <www.construrhor.com.br/content/index.php>, acesso em 25 de agosto de 2013.

_____. <www.construrhor.com.br/content/index.php?secao=laje_concreto>, acesso em 25 de agosto de 2013.

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

FLÓRIO, M. C. **Projeto e execução de lajes unidirecionais com vigotas em concreto armado**. 2004. 213 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal de São Carlos. São Carlos.

FRANCA, Argemiro, et al., **As Lajes Nervuradas Na Moderna Construção de Edifícios**. 4ª ed. São Paulo Ó Afala e Abrapex.

FREIRE, A. S. **Indicadores de projetos para edifícios em Alvenaria Estrutural**. (Programa de Pós Graduação em Construção Civil), Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, 2007.

FUNDAÇÃO PARA O PRÊMIO NACIONAL DE QUALIDADE. **Prêmio Nacional da qualidade: Instruções para inscrição**. São Paulo, 1995.

GASPAR, R. **Análise da Segurança Estrutural das Lajes Pré-fabricadas na Fase de Construção**. Dissertação (Mestrado em Estruturas). USP. São Paulo. SP. 1997.

GIONGO, J. S. **Concreto Armado: Projeto Estrutural de Edifícios**. USP. São Paulo. 2007.

HRONEC, S M. **Sinais vitais: Usando medidas de desempenhos**. São Paulo: Makron Books, 1994.

LANTELME, E. M. V. **proposta de um sistema de indicadores de qualidade e produtividade para a construção civil**. Porto Alegre: CPGE/URGS, 1994. Dissertação de mestrado em engenharia.

MUNTE CONSTRUÇÕES INDUSTRIALIZADAS. **Manual Munte de Projetos em Pré- Fabricados de Conceto**. 2. Ed. São Paulo: Pini, 2007.

NAKAMURA, J. **Pré-fabricados: as opções em pré-lajes para construções residenciais e edificações de alvenaria estrutural**. Revista Técnica: a revista do engenheiro civil, São Paulo: Pini, ano 17, n.149, p.22-25, ago. 2009.

NOVAES, C. C. Processo de projeto de edificações: estruturação de informações e indicadores para a elaboração e controle de qualidade. In: I SIBRAGEQ - I Simpósio Brasileiro de Gestão da Qualidade e Organização do Trabalho no Ambiente Construído, 2001.

PETRUCCELLI, N. S. **Considerações sobre projeto e fabricação de lajes alveolares protendidas**. 190p. 2009. Dissertação (Mestrado em Construção civil). Universidade Federal de São Carlos. 2009

PFEIL, w. **Concreto Armado**. 5. Ed. Rio de Janeiro: LTC, 1988

PICCHI, F. A. **Sistema de qualidade: uso em empresas de construção**. São Paulo: EDUSP, 1993.

SOUZA, E. **Índices médios para consumo para a elaboração de projetos em concreto armado**. Disciplina TCC-Monografia, Londrina, 2003.

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

TAKASHINA, N.T; FLORES M. C. X. **Indicadores da qualidade e do desempenho: como estabelecer metas e medir resultados**. Rio de Janeiro: Qualitymark Editora, 1996.

TATU PRÉ-MOLDADOS. **Laje alveolar protendida**, 2008. Disponível em: www.tatu.com.br/Paineis%20alveolares%20Tatu.pdf. Acesso em: 28 ago. 2013.

TUBINO, R. Sistemas de indicadores de projeto. Goiânia, 2004

VILLAR, F.H.R. **Lajes alveolares Pré-fabricadas de concreto protendido x lajes de concreto aramado**. São Carlos: UFSCAR, 2002. Trabalho da disciplina de sistemas estruturais de edificação e tecnologia.

VIZOTTO, I.; SARTORTI, A. L. **Soluções de lajes maciças, nervuradas com cuba plástica e nervuradas com vigotas treliçadas pré-moldadas: análise comparativa**. Teoria e Prática na Engenharia Civil, n.15, p.19-28, abr, 2010. Disponível em:<www.editoradunas.com.br/revistatpec/Art3_N15.pdf>.