

CONCRETO ARMADO: Comparativo de componentes estruturais de uma edificação unifamiliar

Kevin Lourenço Brito

Luana Ferreira Mendes

RESUMO

Este artigo tem como intuito analisar e comparar os custos entre sistemas estruturais com laje nervurada pré-moldada treliçada e laje maciça lisa. Cabendo ao engenheiro, dentro das exigências do projeto e da norma buscar o sistema com maior economia. Em primeiro lugar, apresenta-se os sistemas adotados para a comparação, critérios de projeto, conceitos básicos, edificação modelo para realização do estudo. Logo após, o lançamento estrutural com cada tipo de sistema escolhido, obtendo o consumo de materiais, que são aço e concreto, os quais são empregues na comparação. Por final a comparação dos custos entre os sistemas e conclusão de qual sistema é mais econômico para a edificação modelo analisada.

Palavras-chave: Sistemas estruturais, custos, estruturas de concreto armado, lajes nervuradas pré-moldadas treliçadas e lajes maciças lisas.

1 INTRODUÇÃO

O trabalho trata-se de um diagnóstico e cálculos de componentes estruturais de uma edificação unifamiliar, a fim de comparar e realizar verificações, quanto a se utilizar o sistema concreto armado com laje nervurada pré-moldada treliçada e laje maciça lisa, observando então a variação de consumo de aço e concreto que ocorre na edificação.

Os Indicadores de projeto são adquiridos por investigação matemática que geram números ou índices que permitem uma análise preliminar e rápida de soluções, a partir de dados obtidos de projetos estruturais, com o objetivo de disponibilizar referência de comparação e assim contribuindo na tomada de decisão com relação a uma determinada estrutura (FUNDAÇÃO PARA O PRÊMIO NACIONAL DA QUALIDADE, 1995).

Antigamente as estruturas construídas continham vãos relativamente menores e eram submetidas apenas a cargas distribuídas, assim a laje maciça não acarretava maiores problemas, tendo em vista que as espessuras das peças também eram superiores.

A tecnologia na construção teve seu crescimento, gerando atualmente maior controle e resistência dos materiais aço e concreto, o que proporcionou a redução do tamanho das peças e vãos maiores.

Os empreendimentos na construção civil, vem buscando os melhores sistemas, materiais, índices e tomada(s) de decisão associados a uma viabilidade econômica e técnica (Spohr, 2008).

Para realizar a análise técnica do presente estudo, serão coletados inicialmente os índices de consumo de concreto e aço dos projetos estruturais, resumindo o consumo para cada parte da estrutura e demonstrar a confrontação dos resultados atingidos com considerações identificadas nos estudos de comparação.

Por comparar tipos de sistemas estruturais, o trabalho é de grande importância para a construção civil, orientando o profissional através da exploração de parâmetros em função do tipo da edificação modelo, proporcionando um direcionamento na escolha de um sistema.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Na concepção estrutural fundamenta-se na escolha do sistema estrutural que irá sustentar a edificação. Essa é a primeira etapa de um projeto estrutural, implica em definir os elementos a serem empregue e suas posições, formando um sistema eficiente, sendo capaz de receber e absorver esforços atuantes.

O lançamento de uma estrutura inicia pelo posicionamento dos pilares e colocação de vigas que delimitam as lajes (PINHEIRO, 2003).

2.1 Sistema concreto Armado

Um dos sistemas estruturais existentes é o sistema de concreto armado que é o concreto e aço trabalhando juntos, o concreto tem por sua característica principal, a força a compressão e possui uma menor resistência de tração. Na zona tracionada em elementos estruturais surgem rachaduras, derivadas da falta de compressão. Nessas regiões são introduzidas barras de aço em disposições favoráveis para combater as forças de tração, entendido que o aço resiste a força empregada. Ao rachar em uma zona de compressão o aço começa a trabalhar para combater absorvendo os esforços de tração, aumentando a resistência do membro e possibilitando a utilização.

Por meio de associação entre concreto e armadura convenientemente colocada, de tal modo que ambos resistam solidariamente aos esforços solicitantes (CARVALHO E FILHO, 2014).

2.2 Lajes nervuradas pré-moldadas treliçadas

As lajes treliçadas pré-moldadas tem como objetivo a racionalização no processo executivo, gerando rapidez e economia à obra (DROPPA JÚNIOR, 1999).

Na fase inicial de montagem e concretagem, as treliças devidamente escoradas, suportam além de seu peso próprio, a carga acidental de pessoas transitando, além disso para execução da concretagem são dispensados o uso de formas, como no caso das lajes maciças, porque a treliça juntamente com o elemento de enchimento faz essa função (CARVALHO E FILHO, 2014).

A figura 01 a seguir a representa o corte esquemático de uma laje nervurada pré-moldada treliçada, podendo-se demonstrar os elementos que a compõe.

Figura 01: Corte esquemático de uma laje nervurada pré-moldada treliçada



Fonte: Florio, 2004, p19.

2.3 Lajes maciças lisas

As lajes maciças lisas são de espessura uniforme, são apoiadas nas vigas ao longo do seu perímetro e também não são adequadas para vencer grandes vãos, é usual para se vencer vãos entre 3,5m e 5m (SPOHR, 2008).

Usando o sistema de lajes maciças sobre vigas convencionais o volume total de concreto consumido pelas lajes pode chegar a quase 2/3 de toda estrutura (FRANCA E FUSCO, 1997).

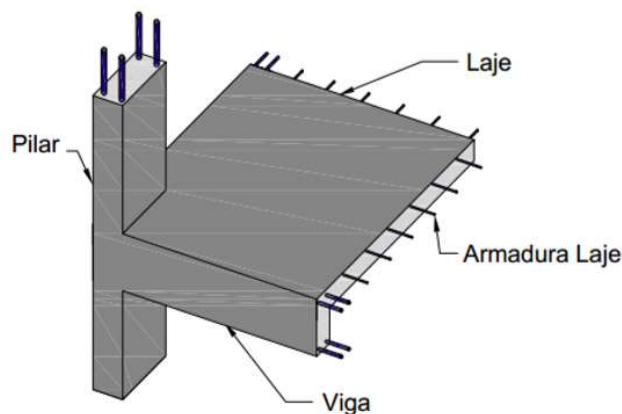
A ABNT NBR 6118:2007 descreve os limites mínimos para a espessura das lajes maciças.

- 5 cm para lajes de cobertura 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.

A figura 02, a seguir, representa o corte esquemático de uma laje maciça lisa, podendo-se demonstrar os elementos que a compõe.

Figura 02: Representação esquemática de uma laje maciça lisa



Fonte: Spohr, 2008, p30.

2.4 Vigas e pilares

As vigas são componentes lineares, onde a flexão é preponderante. Sua função é absorver esforços oriundos das lajes e transportá-los para os pilares que a sustentam, havendo como fundamento os esforços de cortantes e momentos fletores.

Internamente as vigas sofrem tensões de compressão que é resistida pelo concreto e tensões de tração que são resistidas pelas armaduras longitudinais e transversais.

Outro componente são os pilares, elementos usualmente arranjados na vertical, onde as cargas de compressão são prevaletentes, da qual sua principal função é conduzi-las até a fundação (PINHEIRO, 2005).

2.5 Durabilidade das estruturas de concreto

A ABNT NBR 6118:2014, no item 6.1, define que ao se projetar estruturas de concreto deve ser prever influências ambientais, para conservar a segurança, durabilidade, estabilidade e comportamento em sua vida útil de serviço.

A durabilidade ainda requer cooperação dos esforços do usuário, do proprietário, dos responsáveis pelo projeto estrutural, arquitetônico, construção e tecnologia do concreto.

Uma principal responsável pela perda de durabilidade das estruturas é a agressividade do meio ambiente, que está relacionada às ações físicas e químicas que agem sobre as estruturas de concreto segundo o item 6.4 da ABNT NBR 6118:2014.

Podendo ser avaliado pelo Quadro 01 (Tabela 6.1 da ABNT NBR 6118:2014).

Quadro 01: Classe de agressividade ambiental (CAA)

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fraca	Rural	Insignificante
		Submersa	
II	Moderada	Urbana ^{1), 2)}	Pequeno
III	Forte	Marinha ¹⁾	Grande
		Industrial ^{1), 2)}	
IV	Muito forte	Industrial ^{1), 3)}	Elevado
		Respingos de maré	

Fonte: NBR 6118:2014 Tabela 6.1

2.6 Métodos Clássicos

Um dos métodos para se calcular é o estado limite último que se relaciona à ruína ou colapso da estrutura, equivalente à máxima eficiência resistente da estrutura, levando em consideração o comprometimento parcial ou total do uso da edificação (CARVALHO E FILHO, 2014).

O item 10.3 da NBR 6118:2007 aponta os estados limites últimos que devem ser avaliados, sendo eles:

- Perda de equilíbrio como corpo rígido;
- Esgotamento da capacidade resistente da estrutura;
- Instabilidade devido a solicitações mecânicas;
- Colapso progressivo (fadiga).

Outro método é o estado limite de serviço que se relaciona à utilização, aspecto, funcionalismo, sendo assim a estrutura pode apresentar desconforto, flechas em vigas e lajes ou até fissuras, comprometendo a durabilidade da construção, mas não necessariamente atingiu sua máxima eficiência de resistência (CARVALHO E FILHO, 2014).

O item 3.2 da NBR 6118:2007, aponta os estados limites últimos de serviço que devem ser avaliados sendo eles:

- Formação e abertura de fissuras, denegrindo a estética e a durabilidade;

- Deformação excessiva, causando desconforto e afetando o uso;
- Vibrações excessivas, causando desconforto e podendo causar danos.

2.7 Índices médios de consumo

2.7.1 Relação entre volume de concreto e a área construída

Botelho e Marchetti (2004) Em relação ao volume de concreto e a área construída, esse é o primeiro índice a ser analisado. Recebe o nome de espessura média que é equivalente à espessura hipotética com igual área de construção.

Este indicador tem a finalidade de evitar o super-dimensionamento das lajes, vigas e pilares quanto ao volume de concreto. As seguintes espessuras médias que podem ser usadas como parâmetro de referência:

- Espessura média da superestrutura de uma edificação com lajes maciças, vigas e pilares: 0,23m;
- Espessura média da superestrutura de uma edificação com laje pré-moldada, vigas e pilares: 0,13m:

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

2.7.2 Relação entre o peso de aço e o volume de concreto

Esse índice demonstra a relação entre o consumo de aço para concreto armado e volume de concreto. É um valor médio de armaduras válidas para toda a edificação.

Onde: $P_{aço}$ é o peso da armadura obtido no projeto da estrutura e V_{conc} o volume de concreto extraído do projeto da estrutura, não adicionando as fundações.

Botelho e Marchetti (2004) Definiram que para este índice os valores de referência são:

- Para a superestrutura: 100 kg/m³;

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

2.8 Normas técnicas

Carvalho e Filho (2014) Explicam que com o intuito de impulsionar um padrão na confecção de projetos, na execução e na direção das obras e dos materiais que garanta a segurança adequada e a qualidade do produto final, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) regulamenta os procedimentos a serem empregados por meio de normas específicas. No caso de estruturas de concreto armado, as mais importantes são:

- ABNT NBR 6118:2014: projeto de estruturas de concreto – procedimento.

- ABNT NBR 6120:1980: cargas para cálculo de estruturas de edificações – procedimento.
- ABNT NBR 8681:2003: ações de segurança nas estruturas de edificações – procedimento.
- ABNT NBR 14931:2004: execução de estruturas de concreto – procedimento.

2.9 Ferramenta de cálculo computacional

O CYPECAD é uma ferramenta para cálculo estrutural em concreto armado. A ferramenta apresenta um modelador gráfico, oferecendo suporte para a geometria e as cargas da estrutura, podendo modelar os elementos que compõem a edificação como lajes, vigas, pilares, concedendo as ações e cargas das lajes para as vigas e das vigas para os pilares.

É relevante enfatizar que a modelagem de uma estrutura é de domínio e competência do engenheiro. Vale lembrar que a ferramenta não tem poder de escolha de qual modelo deve ser adotado e possuir critérios, onde quem define diretrizes para o processamento e detalhamento da edificação é o próprio projetista (MULTIPLUS SOFTWARES TÉCNICOS, CYPECAD, 2010).

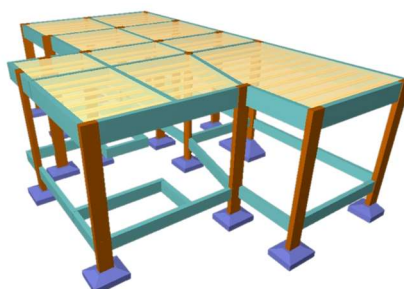
3 METODOLOGIA

3.1 Edificação modelo

A edificação modelo utilizada neste estudo possui 100m² de área, para o cálculo com lajes nervuradas treliçadas e lajes maciças lisas. É uma edificação residencial composta por pavimento térreo e cobertura, pé direito com altura de 3,40 metros, vigas de seções 15x40 e pilares de seções 15x40. A categoria de uso será para residência unifamiliar e classe de agressividade ambiental 2.

A figura 03 a seguir demonstra a edificação modelo utilizada.

Figura 03: Edificação Residencial em 3D



Fonte: Figura elaborada pelo autor.

3.2 Sistema construtivo

Foram calculados por dois sistemas construtivos em concreto armado, um possuindo sistema convencional com lajes maciças lisas e outro convencional com lajes nervuradas treliçadas com os seguintes materiais analisados: concreto e aço, respeitando as seguintes normas:

- ABNT NBR 6118:2014: projeto de estruturas de concreto – procedimento.
- ABNT NBR 6120:1980: cargas para cálculo de estruturas de edificações – procedimento.
- ABNT NBR 8681:2003: ações de segurança nas estruturas de edificações – procedimento.
- ABNT NBR 14931:2004: execução de estruturas de concreto – procedimento.

3.3 Dados do projeto

No dimensionamento das lajes, vigas e pilares serão utilizados concreto de resistência característica $F_{ck} = 25\text{Mpa}$ e aço CA50 e CA60.

A laje nervurada pré-moldada treliçada H16, sendo 4 centímetros de capa, considerado este valor intencional maior do escolhido para a laje maciça que possui altura de altura 14cm em função do maior de 5,60 metros, sendo utilizadas as seguintes relações de cargas para o cálculo dimensional:

- Peso próprio da laje maciça com 14cm de altura: 350 kgf/m^2 ;
- Peso próprio da laje nervurada treliçada com 16cm de altura: 200 kgf/m^2 ;
- Sobrecarga normativa: 150 kgf/m^2 ;
- Sobrecarga de revestimento: 100 kgf/m^2 .

3.4 Cálculo e lançamento estrutural

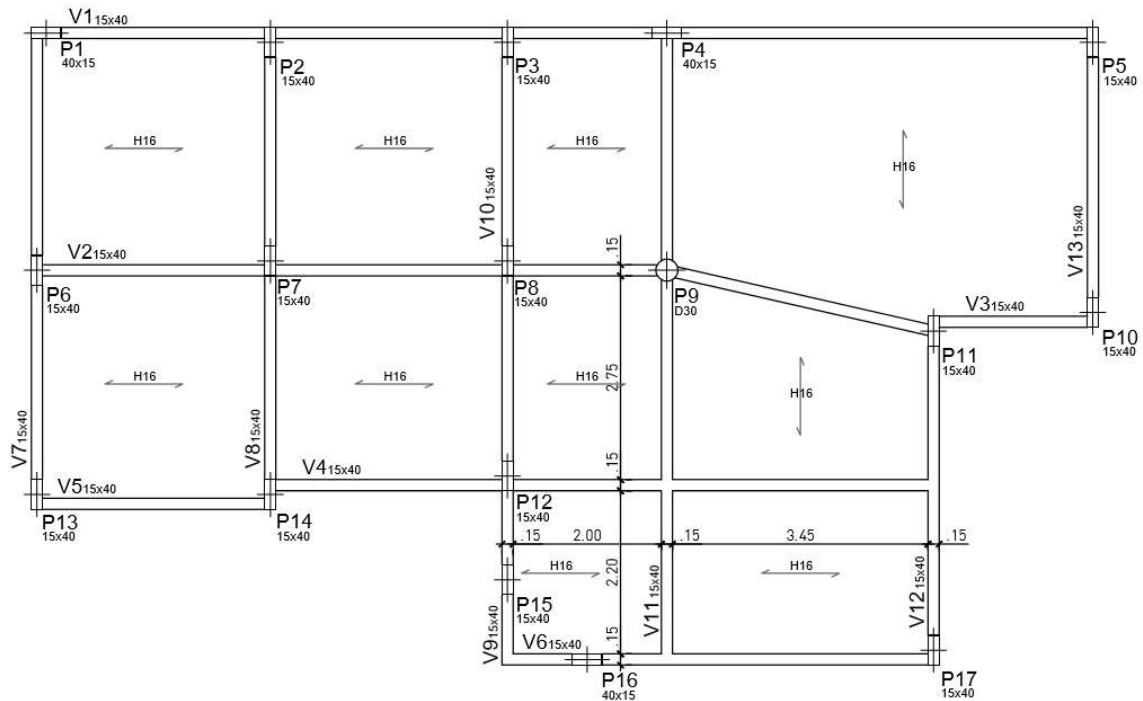
Os cálculos e lançamentos estruturais foram feitos com o Software Cypecad, primeiramente inserindo a planta (máscara), depois os pisos, juntamente com a altura do pé direito e os valores das cargas de revestimento e sobrecarga normativa.

Após esse procedimento, inserimos os pilares, vigas e as lajes, programa faz o cálculo e gera os resultados do quantitativo de materiais para comparação.

3.5 Plantas baixas

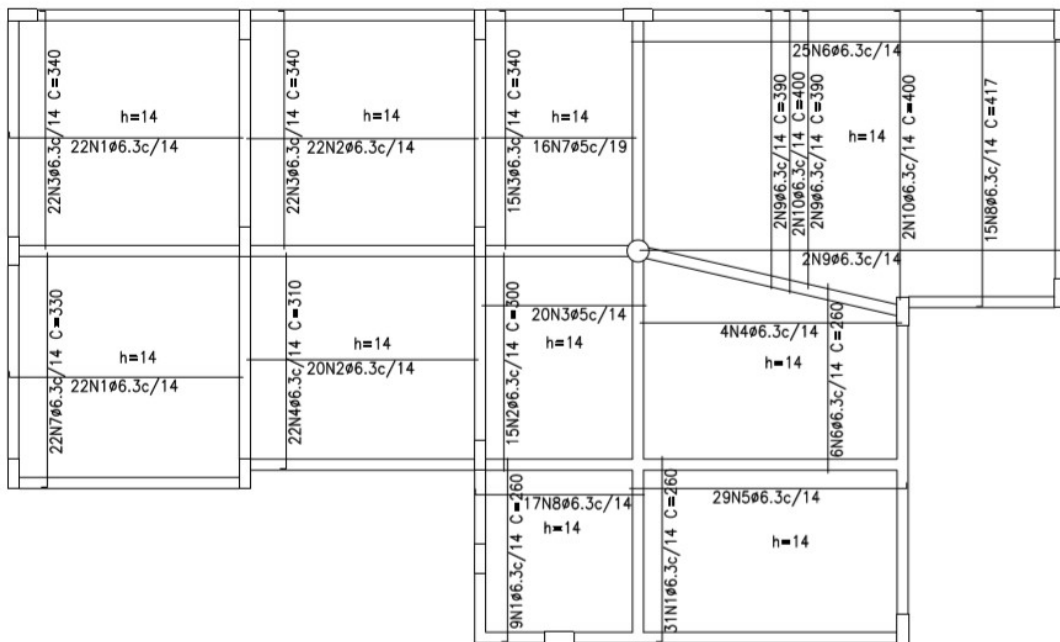
A seguir, a planta 01 e 02 demonstra-se as plantas baixas do sistema com lajes nervuradas pré-moldadas treliçadas e o sistema com lajes maciças lisas.

Planta 01: Planta baixa laje nervurada pré-moldada treliçada



Fonte: Planta elaborada pelo autor.

Planta 02: Planta baixa laje maciça lisa



Fonte: Planta elaborada pelo autor.

3.6 Índices calculados para comparação

Foram calculados os índices de aço ($I_{aço}$), para cada tipo laje utilizando a fórmula a seguir de relação entre o consumo total de aço em quilos e o consumo total de concreto em metro cúbico.

$$I_{aço} = Paço \div Vconc \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

Em sequência utilizado para calcular o índice de concreto (I_{conc}), a fórmula que relaciona o uso total de concreto na estrutura dividido área total da edificação.

$$I_{conc} = Vconc \div Areal \text{ (m}^3\text{/m}^2\text{)}$$

3.7 Comparativo de consumo de materiais e custos

O comparativo de consumo de materiais será obtido por quantitativo gerado pelo programa e transformado em gráfico para demonstrar os resultados obtidos.

Os custos unitários dos materiais são de referência do mês de julho de 2019, com os seguintes valores encontrados na SINAPI:

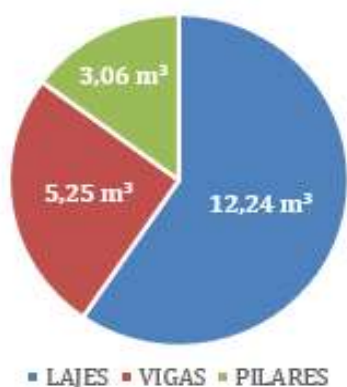
- Concreto: custo por metro cúbico: R\$ 291,78;
- Aço: custo por kg: R\$ 5,50.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Resultado do Sistema 1 com laje maciça lisa

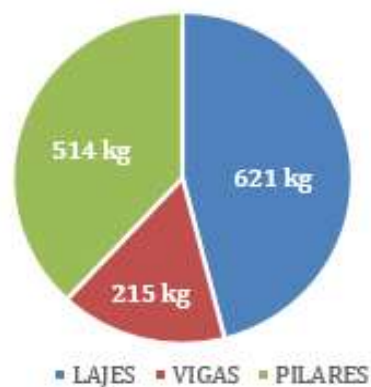
Demonstra-se no gráfico 01 e 02, os resultados obtidos de consumo aço e concreto pelo sistema com laje maciça lisa.

Gráfico 01: Consumo de concreto do sistema 1



Fonte: Gráfico elaborado pelo autor.

Gráfico 02: Consumo de aço do sistema 1



Fonte: Gráfico elaborado pelo autor.

Com os resultados dos consumos calculamos através da equação os índices de concreto e aço e custo total para o sistema 1.

Sendo índice de concreto:

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

$$I_{conc} = 20,55 / 100 (m^3/m^2)$$

$$I_{conc} = 0,206 (m^3/m^2)$$

Sendo índice de aço:

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

$$I_{aço} = 1.350 / 20,55 (kg/m^3)$$

$$I_{aço} = 65,69 (kg/m^3)$$

Sendo Custo do sistema 1:

$$\text{Concreto: } R\$ 291,78 \times 20,55 m^3 = R\$ 5.996,08;$$

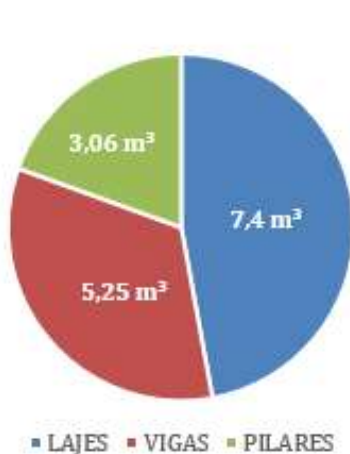
$$\text{Aço: } R\$ 5,50 \times 1350 kg = R\$ 7.425,00;$$

$$\text{Custo total do sistema 1: } R\$ 5.996,08 + R\$ 7.425,00 = \mathbf{R\$ 13.421,08}.$$

4.2 Resultado do Sistema 2 com laje nervurada pré-moldada treliçada

Demonstra-se no gráfico 03 e 04, os resultados obtidos de consumo aço e concreto pelo sistema com laje nervurada pré-moldada treliçada.

Gráfico 03: Consumo de concreto do sistema 2



Fonte: Gráfico elaborado pelo autor.

Gráfico 04: Consumo de aço do sistema 2



Fonte: Gráfico elaborado pelo autor.

Com os resultados dos consumos calculamos através da equação os índices de concreto e aço e custo total para o sistema 2.

Sendo índice de concreto:

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

$$I_{conc} = 15,71 / 100 (m^3/m^2)$$

$$I_{conc} = 0,157 (m^3/m^2)$$

Sendo índice de aço:

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

$$I_{aço} = 874 / 15,71 (kg/m^3)$$

$$I_{aço} = 55,63 (kg/m^3)$$

Sendo Custo do sistema 2:

$$\text{Concreto: } R\$ 291,78 \times 15,71 m^3 = R\$ 4.583,86;$$

$$\text{Aço: } R\$ 5,50 \times 874 kg = R\$ 4.807,00;$$

$$\text{Custo total do sistema 2: } R\$ 4.583,86 + R\$ 4.807,00 = \mathbf{R\$ 9.390,86.}$$

4.3 Comparativo entre os sistemas

O sistema 1 possui o índice de concreto 31,21% e um índice de aço 18,08% maior que o sistema 2. Logo identificamos que a laje maciça lisa consome mais aço e concreto para a edificação modelo.

O gráfico 05, a seguir, demonstra o comparativo entre o custo do sistema 1 e sistema 2.

Gráfico 05: Comparativo de custo entre os sistemas



Fonte: Gráfico elaborado pelo autor.

Identificamos que o sistema 2 apresenta um custo menor, sendo 69,97% do custo de materiais do sistema 1 o que demonstra uma economia de R\$4030,22.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para análise de custos de um sistema estrutural, não se deve somente levar em consideração o consumo de materiais, mas também características pertinentes ao processo de construção, como: tempo da execução do serviço, mão de obra e recursos. Cada opção estrutural tem suas características, e devem-se analisar as condições que possam interferir e inviabilizar a opção do sistema estrutural.

O custo do sistema com lajes maciças, ao se comparar com o sistema de lajes nervuradas pré-moldadas treliçadas, apresentam maiores índices de concreto e aço, sendo assim o sistema de lajes nervuradas pré-moldadas treliçadas tem um custo de materiais de 69,97% do preço do custo de materiais do sistema com lajes maciças, o que representa uma diferença de R\$4030,22.

O sistema de menor custo também apresenta como vantagens: diminuição do peso da laje, não necessidade de forma de fundo, rapidez na execução em relação ao sistema de maior custo.

Com a análise dos resultados conclui-se que além do custo de materiais sistema com laje nervurada pré-moldada treliçada ser menor, ele possui vantagens consideráveis para a edificação modelo.

Por fim, este trabalho não tem a função de generalizar os resultados, para outros modelos, mas pode servir de parâmetro no auxílio para a decisão de um sistema estrutural.

REINFORCED CONCRETE: Comparison of structural components of a family building

ABSTRACT

This article is intended to analyze and compare the costs between two structural systems: one is with ribbed slab precast tressed, and another with flat solid slab. It is up to the Engineer, whitin the project requirements and standard, to give the most economical system. Firstly, the systems are presented, the project criteria, the basics concepts, and the model building for the study. Therefore, the structural release with each type of systems, obtaining the materials consumption, which are steel and concrete, used in comparison. And finally, the costs comparison between the systems, and the conclusion of which one is more economical project for the model building analyzed.

Keywords: structural systems, costs, reinforced concrete structures, rib slabs precast tressed, and solid slab.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 6118:2014: **projeto de estruturas de concreto** - Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 6120:1980: **cargas para cálculo de estruturas de edificações** - Rio de Janeiro, 1980. (versão corrigida: 2000)

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 8681:2003: **ações de segurança nas estruturas de edificações** - Rio de Janeiro, 2003. (versão corrigida: 2004).

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 6123:1988: **forças devidas ao vento em edificações** - Rio de Janeiro, 1988. (versão corrigida 2 de 2013).

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR ABNT NBR 14931:2004: **execução de estruturas de concreto** - Rio de Janeiro, 2004.

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

CARVALHO, R. C.; FIGUEIREDO, J. R. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado: segundo a NBR6118:2007**. 4ª ed. EdUFSCAR, São Carlos, SP, 2014.

DROPPA JÚNIOR, A. **Análise estrutural de lajes formadas por elementos pré-moldados tipo vigota com armação treliçada**. 1999. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 1999.

FRANCA, A. B. M.; FUSCO, P. B. **As lajes nervuradas na moderna construção de edifícios**. São Paulo: AFALA & ABRAPEX, 1997.

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.

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

MULTIPLUS SOFTWARES TÉCNICOS. CYPECAD – **Manual do Usuário**. São Paulo, 2010.

SINAPI: Relatório de Insumos e Composições - JUL/19 - COM DESONERAÇÃO. Disponível em: <http://www.caixa.gov.br/Downloads/sinapi-a-partir-jul-2009-mg/SINAPI_ref_Insumos_Composicoes_MG_072019_Desonerado.zip>. Acesso em: 04 de setembro 2019.

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