

Uni – ANHANGUERA – CENTRO UNIVERSITÁRIO DE GOIÁS
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

ESTUDO COMPARATIVO DE MODELOS ESTRUTURAIS PARA
EDIFICAÇÕES DE PEQUENO PORTE

DANIELE MOREIRA SANTOS
HUMBERTO SOUSA E SILVA

GOIÂNIA – GO
Novembro/2019

**DANIELE MOREIRA SANTOS
HUMBERTO SOUSA E SILVA**

**ESTUDO COMPARATIVO DE MODELOS ESTRUTURAIS PARA
EDIFICAÇÕES DE PEQUENO PORTE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Centro Universitário de Goiás – Uni-ANHANGUERA, sob a orientação do Professor MsIvo Carrijo Andrade Neto, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

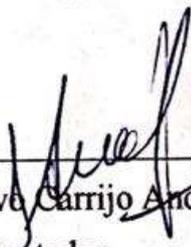
GOIÂNIA
Novembro/2019

FOLHA DE APROVAÇÃO

DANIELE MOREIRA SANTOS
HUMBERTO SOUSA E SILVA

ESTUDO COMPARATIVO DE MODELOS ESTRUTURAIS PARA
EDIFICAÇÕES DE PEQUENO PORTE

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à banca examinadora como requisito parcial para obtenção do Bacharelado em Engenharia Civil do Centro Universitário de Goiás – Uni-ANHANGUERA, defendido e aprovado em 22 de Novembro de 2019, pela banca examinadora constituída por:



Prof. Ms Ivo Carrijo Andrade
Orientador



Prof Esp Fernando Pinheiro
Membro



Profª. Ms Paula Viana
Membro

AGRADECIMENTOS

Agradecemos primeiramente ao nosso Deus, por nos guiar pelos seus caminhos e nos capacitar em toda nossa caminhada durante o curso e a concluir esse trabalho, renovando nossas forças em cada etapa e nos iluminando todos os dias. Obrigado por não nos abandonar e nos amar incondicionalmente.

“Lâmpadas para os meus pés é a tua Palavra e Luz para os meus caminhos” (Salmos 119:105)

Agradecemos aos nossos familiares, pelo apoio, conselhos, companheirismo, amor, dedicação, recursos despendidos a toda graduação em Engenharia Civil e realização deste trabalho.

_Daniele: Agradeço em especial a Deus pela oportunidade de estar concluindo mais um curso de graduação. E aos meus pais, Luiz Roberto e Andréa pelo apoio em todos os momentos.

_Humberto: Em especial agradeço aos meus pais, Edimar e Margarida, meu tio/pai Rubens e tia/mãe Francisca por sempre estarem comigo diante as dificuldades e por me sustentarem, quando por algumas vezes, pensei em desistir, me dando apoio, amor e carinho necessário, obrigado pelas palavras que acalentaram meu coração durante essa jornada, palavras positivas que me deram força para persistir, sempre me ensinando e mostrando os caminhos em que devo andar. As minhas duas irmãs Jaqueline e Andrielly por me ensinarem a conviver e amar pessoas tão diferentes de mim. Aos meus avôs e avós, pelo exemplo de vida, humildade e esteio de toda família.

Ao professor Mestre Ivo Carrijo Andrade Neto pela orientação em cada etapa desse trabalho, por toda dedicação, paciência e disponibilidade em nos ajudar. Obrigado por contribuir tanto para a nossa formação profissional.

Aos professores convidados Fernando Camilo Pinheiro e Paula Queiroz Andrade, por aceitar esse convite e por compartilhar conosco todos os seus conhecimentos, que com certeza levaremos para nossa vida pessoal e profissional, a vocês muita gratidão.

RESUMO

De uma maneira geral, as obras de pequeno porte no Brasil apresentam uma tipologia estrutural bem comum, formada basicamente por vigas e pilares de concreto armado e lajes pré-fabricadas. As lajes pré-fabricadas são bastante utilizadas em edificações de menor porte por proporcionarem economia significativa de fôrmas e mão de obra. O avanço alcançado na tecnologia dos materiais, a disponibilidade de equipamentos e softwares mais precisos possibilitam o engenheiro à elaboração de projetos diferenciados viabilizando, mesmo em obras de pequeno porte, a utilização de lajes nervuradas e planas. O objetivo deste trabalho é apresentar parâmetros de comparação para diferentes tipologias estruturais adotadas para uma mesma edificação de menor porte. São apresentados resultados e comentários sobre a utilização das lajes maciças, lajes treliçadas e lajes nervuradas. Os resultados obtidos nos permitem afirmar que, mesmo em edificações de menor porte, as lajes nervuradas podem ser opções eficientes e viáveis.

PALAVRAS-CHAVE: Concreto Armado – Lajes – Obras de Pequeno Porte – Arranjo Estrutural.

1. INTRODUÇÃO

O projeto estrutural é o dimensionamento dos elementos estruturais que irão sustentar a edificação. As vigas, pilares, lajes e fundações são responsáveis pela segurança das construções, evitando não somente a ruína (desmoronamento), mas também patologias. Assim sendo, o *Projeto de Estruturas* funciona como um tripé que é responsável pela economia, segurança e longevidade da construção.

Um estudo de viabilidade do projeto estrutural começa desde a escolha dos materiais adequados, passando pela avaliação da técnica construtiva mais indicada e a compatibilidade com a mão de obra disponível. Segundo a NBR 6118/2014, a estrutura é considerada segura quando são confirmadas as hipóteses de cálculo, admitidas na fase de projeto, a um custo razoável de construção e manutenção. Desta forma torna-se evidente a preocupação com a correta especificação dos materiais e a escolha de técnicas construtivas coerentes com a localidade onde a obra está inserida.

Em se tratando de obras de pequeno porte, representadas em sua grande maioria por construções térreas ou com dois pavimentos, com finalidades diversas (residencial ou comercial), a preocupação com o custo global da estrutura é de grande importância visto que as decisões tomadas na etapa de projeto podem inviabilizar completamente o empreendimento. Uma das etapas do projeto estrutural consiste em definir o melhor sistema estrutural. Isso pode ser de suma importância para reduzir os custos da obra sem que se perca qualidade no processo produtivo. Afinal, o cálculo é feito com base na opção que vai oferecer mais durabilidade, resistência e segurança à edificação — qualidades que agregam muito valor à sua marca. E com o avanço da tecnologia dos materiais e o aprimoramento dos softwares, os projetistas podem trabalhar com várias simulações para um mesmo projeto, variando parâmetros que vão desde a escolha da resistência dos materiais empregados até modificações na tipologia estrutural, buscando alcançar assim a “estrutura ótima” no que tange a segurança e economia.

Este trabalho tem como objetivo geral realizar um estudo de viabilidade em obras de pequeno porte, incluindo as edificações térreas e construções com andares múltiplos.

Os objetivos específicos do trabalho não é apontar um sistema estrutural adotado como eficiente e ou deficiente e sim apresentar custos para cada modelo estrutural empregado, mostrando que não se pode atribuir um tipo de laje como padrão para edificações de pequeno porte, pois cada projeto apresenta um comportamento estrutural diferente. Pretende-se chamar atenção do projetista de estruturas a itens que na maioria dos casos

passam despercebidos durante a análise estrutural como a disponibilidade de materiais, a possibilidade de reaproveitamento de fôrmas e a qualificação da mão de obra.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Serão investigados seis modelos com tipologias variadas no que diz respeito as lajes (maciças, nervuradas ou treliçadas) e no número de pavimentos. A análise será realizada utilizando a modelo de grelhas associada ao pórtico espacial e processados com auxílio do software TQS. As características gerais dos materiais utilizados: concreto $f_{ck}=25\text{MPa}$, aço CA50/CA60, cobertura 2 cm para laje, vigas e pilares. Serão propostas seis tipologias mantendo-se constante a resistência à compressão do concreto e o pé-direito (2,7m). Os elementos estruturais serão dimensionados em conformidade com a NBR 6118/2014.

É importante ressaltar que a escolha de uma determinada laje para a edificação dependerá em muito da qualificação da mão de obra local além da disponibilidade dos materiais básicos. Todos estes parâmetros (material e mão de obra) que serão avaliados em conjunto definem o custo final da estrutura apresentando variações importantes dependendo da localidade. Pretende-se investigar o custo final da estrutura, para os 6 modelos que serão estudados, utilizando o sistema SINAPI para a cidade de Goiânia.

3. MODELOS ESTRUTURAIS PROPOSTOS

3.1 Modelo 01

Composto por um pórtico com 04 (quatro) pilares, 04 (quatro) vigas e 01 (um) painel de laje. As fôrmas utilizadas neste modelo sofrem 03 (três) variações para as lajes sendo estas: maciças com $h = 15$ cm, nervuradas com $h = 23$ cm e treliçadas com $h = 16$ cm. As vigas possuem seções transversais 12/40 cm e os pilares com seções 12/30cm.

Esquemas representando o modelo 01 e suas variações podem ser visualizados nas Figuras 01 a 03.

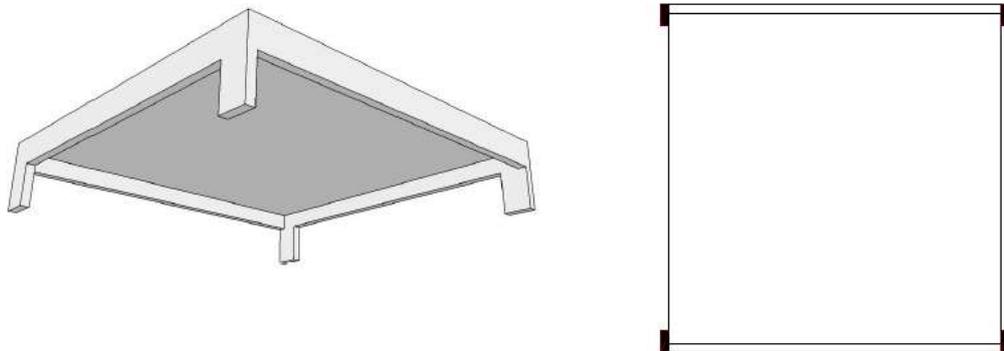


Figura 01 – Modelo 01 com Lajes Maciças (Edificação Térrea)

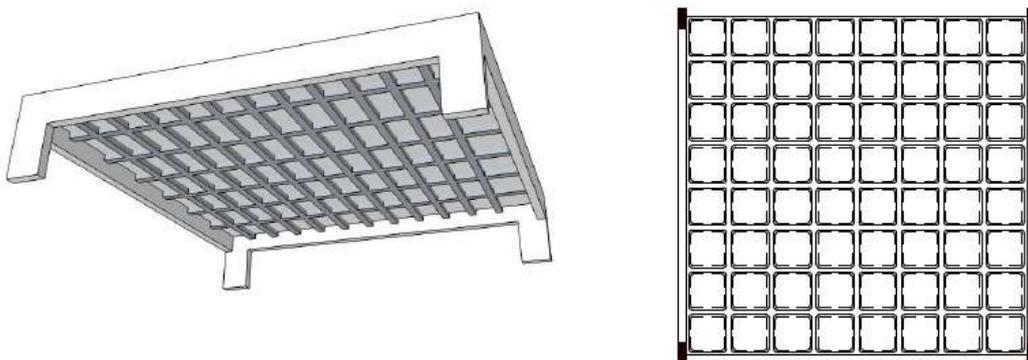


Figura 02 – Modelo 01 com Lajes Nervuradas (Edificação Térrea)

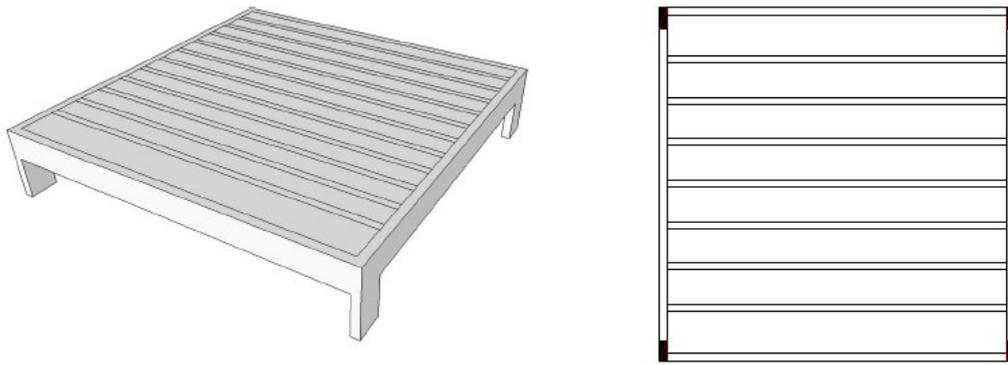


Figura 03 – Modelo 01 com Lajes Treliçadas (Edificação Térrea)

3.2 Modelos 02 e 03

Nesses modelos, procurou-se demonstrar a influência dos balanços no custo global da estrutura. Foram feitas alterações no modelo anterior acrescentando balanços formados exclusivamente por laje (sem viga de bordo) e o mesmo balanço com vigas. As dimensões das vigas e dos pilares foram mantidas conforme modelo anterior.

Esquemas representando os modelos 02 e 03 e suas variações podem ser visualizados nas Figuras 04 e 05.

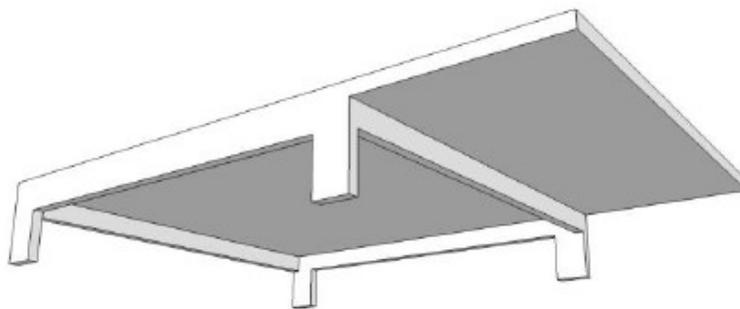


Figura04 – Modelo 02 com Laje em Balanço (Edificação Térrea)

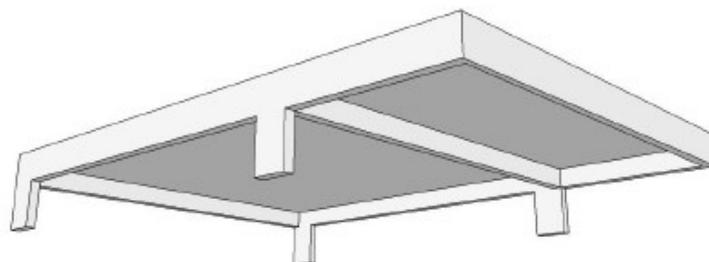


Figura05 – Modelo 03 com Viga em Balanço (Edificação Térrea)

3.3 Modelos 04 e 05

Os modelos 04 e 05 são simulados edifícios que apresentam dois pavimentos (térreo e superior). O objetivo é mostrar a partir de que ponto o reaproveitamento de fôrmas é significativo no custo global da estrutura. O modelo 04 é um pórtico espacial do tipo convencional, apresentando variações nas lajes utilizadas (maciças, nervuradas e treliçadas). O modelo 05 foi incluído transições no pórtico avaliando-se desta forma o acréscimo no consumo de aço no edifício.

Esquemas representando os modelos 04 e 05 e suas variações podem ser visualizados nas Figuras 06 e 07.

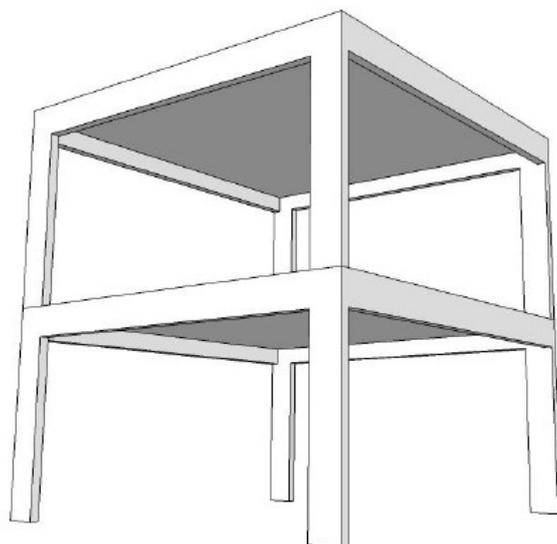


Figura06 – Modelo 04 com dois pavimentos.

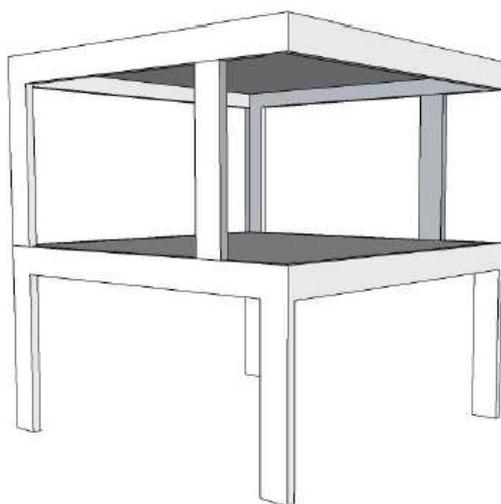


Figura07 – Modelo 05 com transições.

3.4 Modelo 06.

Nesse modelo trabalhou-se com o número maior de pavimentos (oito pavimentos) mantendo-se a estrutura como de pequeno porte. Foram avaliados os esforços finais no pórtico de tal forma que os esforços horizontais provenientes do vento não interferissem na análise final permanecendo a estrutura classificada como de pequeno porte. Foram adotadas as mesmas variações nas lajes admitidas nos exemplos anteriores.

Esquema representando o modelo 06 pode ser visualizado na Figura 08.

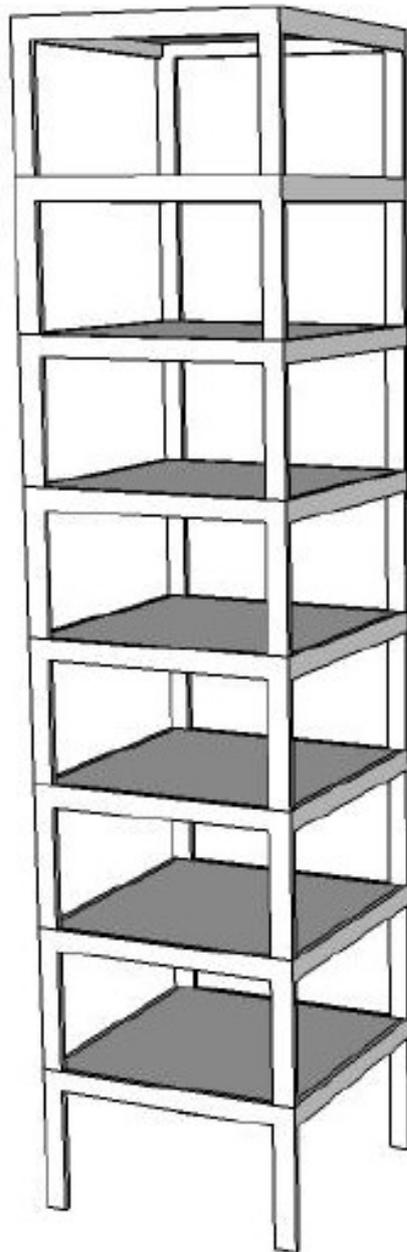


Figura08 – Modelo 06 edifício com oito pavimentos

Em todos os exemplos foram utilizadas lajes maciças com espessura de 15 cm. Estas lajes apresentam como vantagens taxa reduzidas de armadura e a possibilidade de reaproveitamento de fôrmas, quando se trata de edifícios de múltiplos pavimentos. Em obras de menor porte, onde custos de fôrmas e concreto é significativo, as lajes pré-fabricadas passam a ser competitivas e por isso são bastante utilizadas. Nos edifícios de maior altura, as lajes maciças participam do contraventamento global da estrutura funcionando como diafragmas rígidos, com inércia infinita no plano horizontal e são responsáveis diretos pela transferência de esforços horizontais aos pilares da estrutura.

As lajes nervuradas com a utilização de fôrmas plásticas reutilizáveis são comuns nos edifícios de andares múltiplos e apresentam índices interessantes para o consumo de aço, concreto e fôrma. A estrutura com lajes nervuradas apresenta um desempenho satisfatório quando se trata de distribuição de carregamentos e contraventamentos do pórtico. É uma opção não recomendada para obras executadas em lugares afastados ou na inexistência de fornecedores locais para os modelos plásticos e cimbramentos. Normalmente os moldes estão disponíveis para venda ou locação dependendo do fluxo de obras da empresa executora.

A laje nervurada consiste em um conjunto de vigas denominadas “nervuras” espaçadas simetricamente entre si, podendo estar dispostas em duas direções, e trabalha solidaria a mesa colaborante. A Figura 02 apresenta um exemplo de utilização de lajes nervuradas com fôrmas plásticas reutilizáveis. Um ponto bastante positivo desta laje é o fato de que sua utilização contribui cada vez mais para sustentabilidade nos canteiro de obras uma vez que a matéria prima das fôrmas é proveniente de programas de reciclagem.



Figura 09 – Laje nervurada.

Fonte: <http://construindodecor.com.br/laje-nervurada-o-guia-completo/>

Neste trabalho foram utilizadas também as lajes pré-fabricadas constituídas de nervuras treliçadas, elemento de enchimento (cerâmico ou EPS) e capeamento de concreto.

As lajes treliçadas são utilizadas com frequência em edificações de menor porte apresentando como características principais o baixo consumo de concreto e uma redução no consumo de fôrmas de madeira e escoramento. Nos edifícios de múltiplos pavimentos, onde se pode contar com o reaproveitamento de fôrmas, as lajes maciças e nervuradas costumam ser as opções mais utilizadas.



Figura10 – Laje Pré – fabricada (Treliçada)

Fonte: <http://www.lajesitaim.com.br/laje-pre-fabricada-trelicada>

É importante ressaltar que a escolha de uma determinada laje para edificação dependerá em muito da qualificação da mão de obra local além da disponibilidade dos materiais básicos para cada tipo de laje. Todos esses parâmetros relativos a material e mão de obra avaliados em conjunto, definem o custo final da estrutura apresentando variações importantes dependendo da localidade. Este trabalho restringiu-se em investigar o custo final da estrutura para os seis modelos já apresentados, utilizando o sistema SINAPI para a cidade de Goiânia.

4. SISTEMA SINAPI E SUAS COMPOSIÇÕES

O Sistema Financeiro de Habitação, hoje gerido pela CAIXA ECONÔMICA FEDERAL, necessitava de informações precisas sobre custos e índices da construção civil. A partir daí a criação e implantação do SINAPI (Sistema de Preços, custos e Índices da Construção Civil), em 1969, permitindo a programação de investimentos, a execução e

análise de orçamentos, acompanhamento de custos, entre outras aplicações. Decidida a implantação do Sistema, delegou-se ao IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) a tarefa de produzir as séries de preços e salários. A partir de janeiro de 1985, ampliou-se a participação do IBGE cabendo-lhe também a produção de séries de custos e índices. A manutenção da base teórica da SINAPI é feita pelo IBGE e CAIXA através de convênio, sendo o IBGE responsável pela base cadastral da coleta e a CAIXA pelos arquivos de engenharia.

Na SINAPI, as sequências de etapas estão organizadas hierarquicamente em três níveis, a saber: Projeto, Serviço/Quantidade e Especificação/Composição. A eles estão associados os preços e salários coletados, de modo a se calcular os custos. São calculados custos do metro quadrado de construção para um conjunto de projetos residenciais e comerciais. Estes projetos apresentam características diferentes, tais como o número de pavimentos, número de quartos (no caso de edificações residenciais) e padrões de acabamento (alto, normal, baixo e mínimo). Para o cálculo dos custos, pesquisam-se mensalmente os preços dos materiais e salários das categorias profissionais referentes à construção. O sistema disponibiliza a pesquisa de insumos e composições dos serviços cadastrados no SINAPI, apresentando preços e custos regionalizados e disponibilizando-os na internet, podendo ser acessado em qualquer localidade do País. O sistema pode ser inicializado através da página www.caixa.gov.br ou www.ibge.gov.br.

Neste trabalho, adotamos insumos e composições da SINAPI para comparações de custos, nos modelos estruturais adotados. Na falta de algumas informações como, por exemplo, a composição de serviços para lajes nervuradas, foi realizada pelos autores uma ampla pesquisa de mercado objetivando obter dados realistas para serem utilizados. A localidade de referência escolhida foi a cidade de Goiânia e os preços dos insumos e composições são referentes ao mês de Julho de 2019. As tabelas de composições e insumos para fôrma, aço e concreto estão discriminadas nas tabelas 01 a 04.

O sistema SINAPI não apresenta composições específicas para o serviço de fôrmas de lajes nervuradas e treliçadas. Sabe-se que uma correlação direta com as composições de lajes maciças pode implicar em resultados diferentes dos encontrados na prática. Desta forma foram feitas algumas visitas em obras no intuito de obter os referidos coeficientes das composições. Com os dados obtidos nas obras foram feitas adequações nas composições de fôrma a incorporar as lajes nervuradas, treliçadas e o escoramento adequado nestes serviços.

Tabela 01 – Composição fôrmas com reaproveitamento 8 vezes (fonte: SINAPI)

Referência Técnica					
Serviço: Composição					
Código: 5987			Data preço: 10/2019		
Descrição:		Fôrma em chapa compensada resinada, estrutural, e= 12mm, com reaproveitamento 8x		Und: m ²	
Encargos sociais hora: 87,60%					
Tipo do item	Código	Descrição Básica	Unidade	Coefficiente	R\$ Unitário
I	4431	Peça madeira 8x8 cm	m	0,24	R\$ 9,48
I	4417	Peça madeira 2.5x7.5 cm	m	0,18	R\$ 5,20
I	1213	Carpinteiro de fôrmas	h	2,00	R\$ 13,30
I	5075	Prego de aço 18x30	Kg	0,25	R\$ 11,36
I	1357	Chapa compensada 1.1x2.2 m	Und	0,17	R\$ 33,00
I	2692	Desmoldante para fôrma de madeira	l	0,10	R\$ 6,43
I	6111	Servente	h	2,00	R\$ 8,51
I	4460	Peça madeira 2.5x10 cm	m	0,30	R\$ 5,22
I – Insumo C – Composição					

Tabela 02 – Composição fôrmas com reaproveitamento 2 vezes (fonte: SINAPI)

Referência Técnica					
Serviço: Composição					
Código: 74075/1			Data preço: 10/2019		
Descrição:		Fôrma em chapa compensada resinada, estrutural, e= 12mm, com reaproveitamento 2x		Und: m ²	
Encargos sociais hora: 87,60%					
Tipo do item	Código	Descrição Básica	Unidade	Coefficiente	R\$ Unitário
I	1213	Carpinteiro de fôrmas	h	1,35	R\$ 13,30
I	1357	Chapa compensada 1.1x2.2 m	Und	0,26	R\$ 33,00
I	4491	Peça madeira 7.5x7.5 cm	m	3,00	R\$ 4,35
I	4509	Peça madeira 2.5x10 cm	m	2,30	R\$ 2,14
I	5061	Prego de aço 18x27	Kg	0,25	R\$ 11,17
I	6212	Tábua madeira 2.5x30 cm	m	2,40	R\$ 8,68
I	7332	Agente de desforma para concreto	L	0,10	R\$ 6,05
I	6117	Ajudante de carpinteiro	h	1,35	R\$ 10,46
I – Insumo C - Composição					

Tabela 03 – Composição lançamento de concreto e o material concreto (fonte: SINAPI)

Referência Técnica					
Serviço: Composição					
Código: 53590			Data preço: 10/2019		
Descrição:		Lançamento de concreto em estrutura		Und: m ³	
Encargos sociais hora: 87,60%					
Tipo do item	Código	Descrição Básica	Unidade	Coefficiente	R\$ Unitário
I	4750	Pedreiro	h	5,00	R\$ 13,30
I	6111	Servente	h	8,00	R\$ 8,51
Item acrescido referente ao material para execução do serviço disposto nesta composição					
I	1527	Concreto usinado bomb. Fck 25 Mpa	m ³	1,00	R\$ 325,65
I – Insumo					
C - Composição					

Na composição lançamento de concreto, tabela 03, foi feita a inclusão do insumo concreto usinado e bombeado com fck de 25 MPa, de tal forma a contemplar tanto o custo do material quando à mão de obra para o serviço de concretagem. A referida composição foi empregada para todos os modelos estudados.

Tabela 04 – Composição de armação aço CA-50 (fonte: SINAPI)

Referência Técnica					
Serviço: Composição					
Código: 73990/1			Data preço: 10/2019		
Descrição:		Armação aço CA-50		Und: m ²	
Encargos sociais hora: 87,60%					
Tipo do item	Código	Descrição Básica	Unidade	Coefficiente	R\$ Unitário
I	27	Aço CA-50 – 16 mm	kg	0,71	R\$ 4,15
I	378	Armador	h	0,09	R\$ 13,30
I	337	Arame cozido n° 18	kg	0,03	R\$ 12,90
I	33	Aço CA-50 – 8 mm	kg	0,29	R\$ 5,13
I	6115	Ajudante de armador	h	0,09	R\$ 9,26
I – Insumo					
C - Composição					

Na tabela 04, são descritos os coeficientes para a composição dos serviços de armação utilizando o aço CA-50. Foi feita uma adequação da tabela original do sistema SINAPI modificando a unidade de referência substituindo m³ de concreto por m² de fôrma. Esta composição também foi empregada em todos os modelos estruturais apresentados.

5. RESULTADOS OBTIDOS E CONCLUSÕES

Com bases nos resultados obtidos para os modelos de 01 a 06, algumas conclusões podem ser tiradas servindo de base para projetos com arranjo estrutural similar aos propostos neste trabalho. É importante ressaltar que os índices de custos expostos nas tabelas 01, 02, 03 e 04 podem sofrer alterações de acordo com as dimensões dos edifícios, tipologia e adoção de um determinado partido estrutural. Entretanto, estes índices são úteis e funcionam como parâmetros para comparação da viabilidade de uma determinada opção estrutural.

Primeiramente destaca-se a viabilidade do arranjo com lajes treliçadas para edificações térreas e com dois pavimentos. A laje treliçada apresenta características importantes com a redução de peso próprio e gera economia de fôrmas e escoramentos, reduzindo dessa forma o custo final da estrutura. Para o mesmo modelo (01), a utilização de lajes treliçadas reduz o custo final da estrutura em até 32,11%, comparando com a opção de laje maciça. Acrescentando-se mais pavimentos nos modelos 04 e 06, a opção com lajes nervuradas passa a ser competitiva, pois começam a surgir algumas vantagens como, por exemplo, o reaproveitamento de fôrmas, redução de custo com os cimbramentos e uma melhor redistribuição de carregamentos no pórtico.

Em relação à opção mais onerosa para fôrmas no caso dos modelos com lajes maciças, as lajes nervuradas apresentam uma economia variando de 25,06% a 33,54%, dependendo do número de reaproveitamento da fôrma. Vale ressaltar a importância da sustentabilidade nos canteiros de obras, por isso a utilização de fôrmas plásticas reutilizáveis nas lajes nervuradas contribui muito para esse processo construtivo, ocasionando a redução e desperdício nas obras, aliada a rapidez na execução. É importante deixar claro que a viabilidade das lajes nervuradas só é possível quando há existência da disponibilidade do material para venda ou locação, geralmente em obras situadas fora dos grandes centros, o custo do frete neste caso pode inviabilizar a utilização deste tipo de material.

As taxas encontradas para o modelo 01 (edificações térreas) e se tratando de consumo de aço, e comparando com os valores para consumo de aço para o modelo 06 (edifícios). No modelo 01, a taxa global de aço para a edificação variou de 56,17 kg/m³ a 75,98 kg/m³ sendo os pilares os elementos que apresentam maior taxa de armadura de 193,94 kg/m³. As vigas apresentam uma taxa de armadura equivalente a 93,75 kg/m³, para o mesmo modelo, e o elemento laje com as menores taxas, em torno de 36 kg/m³. Analisando o modelo 06 (edifício), percebe-se uma redução expressiva nas taxas dos pilares, chegando a 46,18% de redução e um aumento nas taxas de armaduras das vigas, em torno de 43%. Sabe-se que esta

redução na taxa de armadura dos pilares é uma característica evidenciada apenas em edificações de pequeno porte onde os efeitos do vento não são tão significativos.

Ainda em relação ao consumo do aço, destacam-se algumas informações sobre a taxa de aço utilizada nas armaduras das vigas e pilares. Em todos os modelos investigados, 79% da armadura das vigas são utilizadas como ferragem longitudinal e 21% aproximadamente, como armaduras transversais. Nos pilares, os índices obtidos para as vigas também se confirmam, indicando um maior consumo de aço nas ferragens longitudinais. Comparando-se os modelos 04 e 05, procurou-se investigar a influência das transições no consumo final de aço do modelo estrutural. Neste, modelos com apenas dois pavimentos, houve um acréscimo de armadura em torno de 12,7%, comparando-se um projeto sem ou com transições. Sabe-se que este índice aumenta de forma significativa quando se considera um número maior de pavimentos.

A utilização de lajes em balanço, sem vigas de bordo, e a adoção de vigas em balanço foram trabalhadas com os modelos 02 e 03, respectivamente. O modelo 01 admitindo lajes maciças foi utilizado para comparação. Os resultados demonstram que a adoção de balanços, com lajes ou vigas, produz um incremento na taxa de armadura em torno de 29%. Entre optar por lajes em balanços, sem vigas de bordo, ou vigas em balanços, os resultados indicam que a última opção pode ser mais onerosa quando a fôrma é levada em consideração, aumento de 10% aproximadamente. No caso de balanços expressivos, as utilizações de lajes sem vigas de bordo podem ser viabilizadas quando o concreto protendido é utilizado.

Nas tabelas de 05 a 07 abaixo anexadas, estão resumidos os quantitativos, preços e percentuais para os modelos 01, 04 e 06.

Tabela 5 – Relação- Materiais, Preços e Percentuais (Modelo 01)

MODELO 01	DESCRIÇÃO	MACIÇA				
		QTDE	MAT	MOB	R\$	%
	Fôrma (m2)	46,95	R\$ 2.391,11	R\$ 1.505,97	R\$ 3.897,08	48,61%
	Aço (Kg)	273,00	R\$ 1.322,16	R\$ 560,46	R\$ 1.882,62	23,48%
	Concreto (m3)	4,86	R\$ 1.582,66	R\$ 654,06	R\$ 2.236,72	27,90%
	PERCENTAL (%)		66,06%	33,94%	100,00%	
	TOTAL (R\$)		R\$ 5.295,93	R\$ 2.720,49	R\$ 8.016,42	
	DESCRIÇÃO	PRÉ - MOLDADA				
		QTDE	MAT	MOB	R\$	%
	Fôrma (m2)	22,93	R\$ 1.521,01	R\$ 735,50	R\$ 2.256,51	41,47%
	Aço (Kg)	193,00	R\$ 1.620,11	R\$ 396,22	R\$ 2.016,33	37,05%
	Concreto (m3)	2,54	R\$ 827,15	R\$ 341,83	R\$ 1.168,98	21,48%
	Custo laje pré-fabricada R\$ 38,2 m ² (50% MAT e 50% MOB)					
	PERCENTAL (%)		72,92%	27,08%	100,00%	
	TOTAL (R\$)		R\$ 3.968,27	R\$ 1.473,55	R\$ 5.441,82	
	DESCRIÇÃO	NERVURADA				
		QTDE	MAT	MOB	R\$	%
	Fôrma (m2)	45,35	R\$ 1.244,65	R\$ 1.454,65	R\$ 2.699,30	43,20%
	Aço (Kg)	228,00	R\$ 1.373,53	R\$ 468,07	R\$ 1.841,60	29,47%
	Concreto (m3)	3,71	R\$ 1.208,16	R\$ 499,29	R\$ 1.707,45	27,33%
PERCENTAL (%)		61,24%	38,76%	100,00%		
TOTAL (R\$)		R\$ 3.826,34	R\$ 2.422,01	R\$ 6.248,35		

Tabela 6 – Relação- Materiais, Preços e Percentuais (Modelo 04)

MODELO 04	DESCRIÇÃO	MACIÇA				
		QTDE	MAT	MOB	R\$	%
	Fôrma (m2)	93,90	R\$ 4.782,21	R\$ 3.011,94	R\$ 7.794,15	46,76%
	Aço (Kg)	638,00	R\$ 3.089,89	R\$ 1.309,79	R\$ 4.399,68	26,40%
	Concreto (m3)	9,72	R\$ 3.165,32	R\$ 1.308,12	R\$ 4.473,44	26,84%
	PERCENTAL (%)		66,22%	33,78%	100,00%	
	TOTAL (R\$)		R\$ 11.037,42	R\$ 5.629,85	R\$ 16.667,27	
	DESCRIÇÃO	PRÉ - MOLDADA				
		QTDE	MAT	MOB	R\$	%
	Fôrma (m2)	45,86	R\$ 3.042,02	R\$ 1.471,01	R\$ 4.513,03	37,94%
	Aço (Kg)	599,40	R\$ 3.812,87	R\$ 1.230,54	R\$ 5.043,41	42,40%
	Concreto (m3)	5,08	R\$ 1.654,30	R\$ 683,67	R\$ 2.337,97	19,66%
	Custo laje pré-fabricada R\$ 38,2 m ² (50% MAT e 50% MOB)					
	PERCENTAL (%)		71,54%	28,46%	100,00%	
	TOTAL (R\$)		R\$ 8.509,19	R\$ 3.385,22	R\$ 11.894,41	
	DESCRIÇÃO	NERVURADA				
		QTDE	MAT	MOB	R\$	%
	Fôrma (m2)	90,70	R\$ 2.489,31	R\$ 122,78	R\$ 2.612,09	27,95%
	Aço (Kg)	481,00	R\$ 2.329,52	R\$ 987,47	R\$ 3.316,99	35,50%
	Concreto (m3)	7,42	R\$ 2.416,32	R\$ 998,58	R\$ 3.414,90	36,55%
PERCENTAL (%)		77,43%	22,57%	100,00%		
TOTAL (R\$)		R\$ 7.235,15	R\$ 2.108,83	R\$ 9.343,98		

Tabela 7 – Relação- Materiais, Preços e Percentuais (Modelo 06)

MODELO 06	MACIÇA					
	DESCRIÇÃO	QTDE	MAT	MOB	R\$	%
	Fôrma (m2)	402,90	R\$ 5.499,28	17.539,17	R\$ 23.038,45	38,61%
	Aço (Kg)	2.488,00	R\$ 12.049,58	R\$ 5.107,76	R\$ 17.157,34	28,75%
	Concreto (m3)	42,33	R\$ 13.784,76	R\$ 5.696,77	R\$ 19.481,53	32,64%
	PERCENTAL (%)		52,51%	47,49%	100,00%	
	TOTAL (R\$)		R\$ 31.333,62	R\$ 28.343,70	R\$ 59.677,32	
	PRÉ - MOLDADA					
	DESCRIÇÃO	QTDE	MAT	MOB	R\$	%
	Fôrma (m2)	209,93	R\$ 5.927,97	R\$ 9.157,15	R\$ 15.085,12	34,29%
	Aço (Kg)	2.072,00	R\$ 13.674,56	R\$ 4.253,73	R\$ 17.928,29	40,75%
	Concreto (m3)	23,86	R\$ 7.770,01	R\$ 3.211,08	R\$ 10.981,09	24,96%
	Custo laje pré-fabricada R\$ 38,2 m ² (50% MAT e 50% MOB)					
	PERCENTAL (%)		62,22%	37,78%	100,00%	
	TOTAL (R\$)		R\$ 27.372,54	R\$ 16.621,96	R\$ 43.994,50	
NERVURADA						
DESCRIÇÃO	QTDE	MAT	MOB	R\$	%	
Fôrma (m2)	389,29	R\$ 4.727,93	R\$ 8.490,41	R\$ 13.218,34	30,13%	
Aço (Kg)	2.228,00	R\$ 10.790,38	R\$ 4.573,99	R\$ 15.364,37	35,02%	
Concreto (m3)	33,22	R\$ 10.818,09	R\$ 4.470,75	R\$ 15.288,84	34,85%	
PERCENTAL (%)		60,03%	39,97%	100,00%		
TOTAL (R\$)		R\$ 26.336,40	R\$ 17.535,15	R\$ 43.871,55		

Neste trabalho procurou-se estudar a viabilidade de cada opção estrutural proposta, variando-se alguns parâmetros como o tipo de laje e o número de pavimentos da edificação. A intenção é mostrar os custos de decisões que são tomadas pelos projetistas, e não criar um modelo a ser generalizado para qualquer tipo de arranjo estrutural. Pode-se perceber que o projetista de estruturas acostumado a estabelecer comparações com taxas de armaduras deve ter atenção especial às fôrmas, pois é de valor significativo no custo final. Devem ser levadas em consideração as lajes treliçadas e nervuradas, uma vez que mesmo em obra de pequeno porte as mesmas podem ser opções com custos competitivos, tanto no custo de material quando em mão de obra.

6. REFERÊNCIAS

LOUREIRO, Giodarno. **Métodos de Análise e Modelos Estruturais de Edifícios**. Anais do 52º Congresso Brasileiro de Concreto CBC2010

MARCELLINO, Narbal. **Avaliação das lajes lisas em pavimentos de edificações**. Anais do 52º Congresso Brasileiro de Concreto CBC2010.

CAIO, Felipe. **Análise Comparativa entre Sistemas Estruturais de Lajes Maciças e Nervuradas Treliçadas**. Centro Universitário UNIVATES, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118: Projeto de Estrutura de Concreto – Procedimento, versão corrigida 08/2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15575-2:2013: Edificações Habitacionais – Desempenho, parte 2 – Requisitos para os Sistemas Estruturais.

CARVALHO, R.S. ; PINHEIRO, L.M. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado**. Pini, 2009.

MANUAL TÉCNICO DE LAJES TRELIÇADAS BELGO. Disponível em: <<http://rangellage.com.br/wp-content/uploads/2019/06/Manual-Lajes-Treli%C3%A7adas.pdf>>. Acesso em 10 nov. 2019.

SISTEMA SINAPI, Julho 2019. Disponível em <<http://www.caixa.gov.br>>. Acesso em: 10nov. 2019.

ESTUDO COMPARATIVO DE MODELOS ESTRUTURAIS PARA EDIFICAÇÕES DE PEQUENO PORTE

SANTOS, Daniele Moreira¹; SILVA, Humberto Sousa²; ANDRADE NETO, Ivo Carrijo³

¹Alunos do curso de Engenharia Civil do Centro Universitário de Goiás – Uni – ANHANGUERA. ²Professor orientador Mestre do Curso de Engenharia Civil do Centro Universitário de Goiás – Uni – ANHANGUERA.

De uma maneira geral, as obras de pequeno porte no Brasil apresentam uma tipologia estrutural bem comum, formada basicamente por vigas e pilares de concreto armado e lajes pré-fabricadas. As lajes pré-fabricadas são bastante utilizadas em edificações de menor porte por proporcionarem economia significativa de fôrmas e mão de obra. O avanço alcançado na tecnologia dos materiais, a disponibilidade de equipamentos e softwares mais precisos possibilitam o engenheiro à elaboração de projetos diferenciados viabilizando, mesmo em obras de pequeno porte, a utilização de lajes nervuradas e planas. O objetivo deste trabalho é apresentar parâmetros de comparação para diferentes tipologias estruturais adotadas para uma mesma edificação de menor porte. São apresentados resultados e comentários sobre a utilização das lajes maciças, lajes treliçadas e lajes nervuradas. Os resultados obtidos nos permitem afirmar que, mesmo em edificações de menor porte, as lajes nervuradas podem ser opções eficientes e viáveis.

PALAVRAS-CHAVE: Concreto Armado – Lajes – Obras de Pequeno Porte – Arranjo Estrutural.