

PROPOSTA DE METODOLOGIA PARA ESCOLHA DO SISTEMA ESTRUTURAL DE EDIFÍCIOS EM CONCRETO BASEADA EM UMA ANÁLISE DE CUSTO

Augusto Teixeira de Albuquerque (UFC) E-mail: augusto.albuquerque@ufc.br

Tiago S. Q. Travassos (IFEC) E-mail: tiagoengifce@gmail.com

Karine Alves do Santo (UFC) E-mail: karine@crolim.com.br

Resumo: A escolha do sistema estrutural para edifícios em concreto, dentre as várias alternativas existentes tais como estruturas com vigas, sem vigas, utilizando lajes maciças ou nervuradas, aplicando ou não a protensão, é, por vezes, baseada em dados simplórios, que não garantem a escolha da solução mais econômica para o empreendimento. Propõe-se neste trabalho uma metodologia que permita aos coordenadores de projeto tomarem decisão a cerca do sistema estrutural, a ser adotado, baseada em uma análise de custo global, considerando os custos diretos e indiretos do item estrutura. Observa-se que o item estrutura representa aproximadamente 25% do custo total, porém tem influência em todos os outros sistemas da edificação. Diante disso é estabelecida uma metodologia para cálculos de custos globais por unidade de área, para cada alternativa proposta, que possibilite uma comparação que contemple todos os impactos da estrutura, além da simples comparação de seus consumos.

Palavras-chave: Sistemas Estruturais, Indicadores de desempenho, Projeto de Estrutura.

METHODOLOGY PURPOSE TO CONCRETE STRUCTURAL SYSTEM BUILDINGS SELECTION BASED ON COST ANALYSIS

Abstract: The reinforced concrete structural system choose for multistory building, among a lot of alternatives existent is sometimes based on poor analysis that does not guarantee the best economical decision. It is presented in this paper a methodology that permits to the project coordinators taking the correct decision about how the most economical structural system, considering the direct costs, indirect costs and decision's consequence. It is observed that the reinforced concrete structural system corresponds to 25% of the total construction cost in addition It influences the cost of other system such as Architectural and services. The proposal methodology conceives global cost per area unit for each alternative comparing besides the direct costs.

Keywords: Structural System, Performance Indicator, Structural Design.

1. INTRODUÇÃO

Todo empreendimento possibilita, a partir de um projeto básico de arquitetura, sempre, mais de uma alternativa estrutural que atenda às especificidades impostas. Cabe então à coordenação dos projetos identificar a melhor solução com o mínimo custo.

É senso comum que a solução deve ser integrada, respeitando as interferências entre os sistemas, o que fica evidente com a importância dada à compatibilização dos projetos, porém, por vezes, os impactos destas interferências não ficam evidentes nos orçamentos iniciais, pois são feitos isoladamente, e, não de maneira integrada.

Segundo PESSIKI et al (1997) o sistema estrutural representa 25% do custo total de uma obra, enquanto os sistemas arquitetônicos e de serviços (instalações) respondem por 75% valores também razoáveis para a realidade brasileira, de acordo com a prática corrente. Ressalta-se porém que embora seja a menor fração do custo, o sistema estrutural apresenta impactos nos demais sistemas.

Por exemplo, um sistema estrutural com vigas implica, muitas vezes, na necessidade de uma maior distância entre os pavimentos devido à altura mínima livre dos ambientes, além do que requer muitas vezes que sejam executadas furações para a passagem das instalações. O

acréscimo da distância entre pavimentos implica em custo por aumentar a área de revestimento de fachada e de divisórias internas, e, aumentar o comprimento total dos tubos de descida, ou ainda, em muitas cidades restringem a quantidade de pavimentos devido ao gabarito, diminuindo assim a área de vendas. Da mesma forma a furação em vigas apresenta um custo adicional e uma dificuldade executiva das instalações.

Constatou-se então, a partir de várias experiências dos autores, que a escolha do sistema estrutural, na maioria dos casos, se dá levando em consideração apenas o custo direto da estrutura. Em alguns casos a comparação entre os custos diretos das alternativas é feita de maneira simplista, utilizando como indicador apenas o consumo de concreto, por exemplo.

O item estrutura de concreto é composto de 3 insumos básicos: concreto, aço e forma, que são bem particulares e com variações independentes. Ressalta-se a importância da consideração do item forma, que representa em média 30% do item concreto, cuja economia é alcançada através de repetições, simplicidade dos detalhes, formas razoáveis e facilidade de instalação. Tem-se ainda a necessidade da consideração do tempo de execução, e, do custo da mão-de-obra. De forma que utilizar apenas o volume total de concreto é um indicador bastante frágil.

Diante disso, neste trabalho propõe-se uma metodologia para tomada de decisão sobre sistemas estruturais a serem adotados em edifícios com estrutura em concreto, dando ênfase aos custos diretos e indiretos, de maneira global. De forma que os comparativos sejam feitos de maneira sistêmica, retratando os custos totais com mais eficácia.

A metodologia aqui sugerida é composta de 3 marcos. Após a concepção de alternativas estruturais (sistemas estruturais) para o empreendimento:

1. Consolidar os indicadores de consumo por área do pavimento;
2. Identificar um custo unitário da forma diferenciado em função de cada sistema estrutural;
3. Avaliar os impactos nos outros sistemas, causados por cada sistema estrutural, e, levantar um indicador financeiro por área do pavimento, considerando os acréscimos de custos indiretos.

Para ilustrar e demonstrar a metodologia proposta foram analisadas e quantificadas 3 alternativas estruturais para 3 edifícios exemplos, que foram concebidas e dimensionadas por uma empresa de elaboração de projetos estruturais com atuação nacional.

Em seguida, foram calculados os indicadores de consumo das estruturas que representam os custos diretos, que são espessura média, taxa de aço e taxa de forma. Estes indicadores foram multiplicados pelos custos unitários dos itens: concreto, aço e forma (considerando as particularidades da forma para cada sistema estrutural). Posteriormente foram analisados todos os impactos da estrutura nos demais sistemas, para que fosse possível o levantamento dos custos indiretos.

Os preços unitários de concreto, aço e forma, praticados para os diversos sistemas estruturais, foram obtidos em três empresas do ramo, denominadas nesse estudo de “Empresa A”, “Empresa B” e “Empresa C”.

Por fim, foram feitos comparativos entre os custos, contabilizando os diretos e indiretos. Dessa forma, foi possível distinguir, com mais acuidade, para os edifícios exemplos, qual seria a alternativa estrutural mais econômica.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Vários trabalhos têm investigado a questão de avaliação econômica entre distintos sistemas estruturais para edifícios exemplos (tabela 01). Dentre estes observa-se que todos fizeram variações entre os sistemas estruturais: convencional com vigas e lajes maciças, convencional com vigas e lajes nervuradas, estrutura sem viga com laje maciça (laje lisa) e estrutura com laje nervurada e faixa protendida.

Muitos adotaram os indicadores de consumo (concreto, aço e forma) por área (do pavimento), facilitando assim a comparação entre os sistemas e proporcionando um parâmetro normalizado

Tabela 01 - Alguns trabalhos sobre avaliação econômica comparativa entre sistemas estruturais distintos para edifícios exemplos.

SPHOR, V. H. (2008)	Comparação entre sist. estruturais para ed. exemplo (10 pavimentos). Utilizou os indicadores de consumo por m ² .
COELHO, E. L.; SOUZA, R.M.; GRECO, M. (2010)	Comparação entre 4 sistemas estruturais distintos para um mesmo pavimento modelo (2 apartamentos por andar).
GIROLDO, L. C (2007)	Comparação em ed. residencial (12 pav.), com 6 variantes de 3 sist. estruturais. Utilizou os indicadores de consumo por m ² .
SILVA, A. R. Da (2002)	São comparados 3 sistemas estruturais distintos para 3 edifícios exemplos. Inclui o item revestimento das lajes no custo.
BRONDANI, R. P.; MOHAMAD, G.; ISAIA, G.C. (2015)	Para um edifício exemplo faz um comparativo de custos diretos para 3 sistemas estruturais.
DAL PRÁ, A. A. (2012)	Para 2 edifícios exemplos de 4 pavimentos são feitas variantes de sistemas estruturais sem vigas.
SILVA, L. R. (2002)	Para 3 edifícios exemplos varia sistemas estruturais.

Vários deles (tabela 01) citaram como possibilidade de pesquisas futuras a tentativa de inclusão de custos (impactos) causados especificamente pela escolha de um determinado sistema estrutural nos demais sistemas (Arquitetura e Instalações), que por vezes não são levados em consideração na tomada de decisão. Baseado nesta constatação motivou-se o desenvolvimento da metodologia aqui apresentada.

2.1 Custos Diretos e Indiretos da Estrutura

Ao se avaliar a viabilidade econômica de um projeto estrutural não se deve levar em consideração somente os consumos de materiais e mão de obra, mas sim todos os sistemas de serviços e de arquitetura, que são influenciados pela escolha da opção estrutural.

Pode-se definir como custo direto da estrutura os materiais e a mão de obra como: formas, escoras, cimbramento, concreto, bombeamento, aço de armadura passiva e ativa, carpinteiros, ferreiros, pedreiros, serventes. Como custos indiretos classificam-se os impactos que a solução estrutural condiciona aos demais sistemas como revestimentos, forro, pintura, instalações elétricas e hidráulicas, elementos de fachada, tempo e dificuldade de execução.

Cita-se como exemplo a utilização de lajes nervuradas que impõem a utilização de forro de gesso, logo, é um custo indireto da estrutura, pois se fossem utilizadas lajes maciças este custo não seria obrigatório. Por outro lado optar por laje maciça sem forro obriga que as instalações sejam embutidas, que têm um custo mais elevado do que as instalações que passam pelo forro.

Para uma avaliação mais completa, devem ser feitas então análises das implicações que cada alternativa estrutural acarreta nas instalações, nas alvenarias, tipos de forro e nos demais sistemas.

2.2 Sistemas Estruturais

Para este estudo foram utilizadas 3 opções de sistemas estruturais para que seja possível fazer uma análise comparativa de cada opção.

2.2.1 Estrutura Convencional com Lajes Maciças

Estrutura convencional é aquela em que as lajes se apoiam nas vigas, que por sua vez apóiam em pilares (Figura 01).

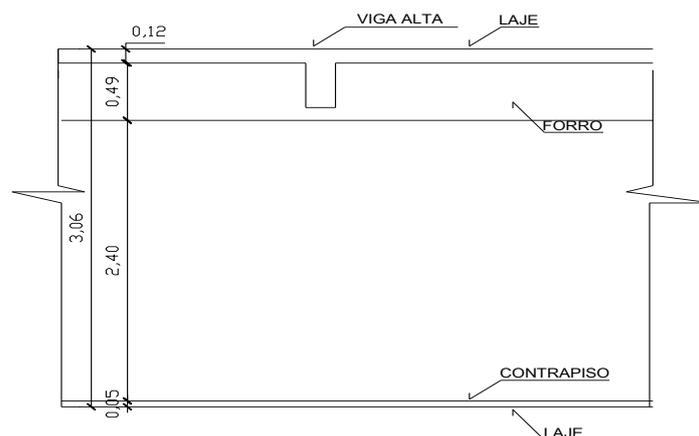


Figura 01 – Estrutura Convencional com Laje Maciça. (unidades em metro)

2.2.2 Estrutura Convencional com Lajes Nervuradas

A diferença para o sistema anterior é que as lajes são substituídas por lajes nervuradas (Figura 02). Neste sistema estrutural é comum a utilização de lajes maciças em alguns trechos, como as lajes próximas aos elevadores e escada.

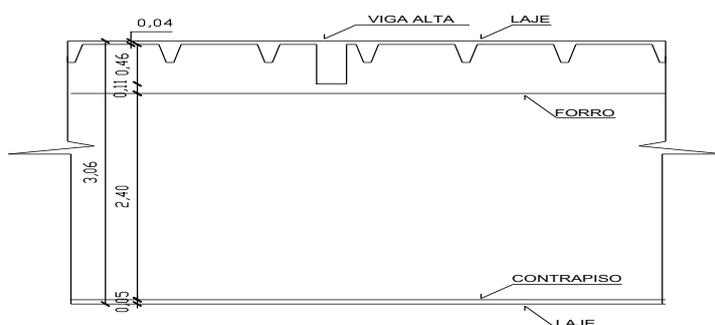


Figura 02 – Estrutura Convencional com Laje Nervurada. (unidades em metro)

2.2.3 Estrutura Com Vigas Faixas Protendidas Embutidas

Neste sistema (Figura 03) as lajes são nervuradas e as vigas são faixas protendidas, embutidas nas lajes, de forma que a estrutura tem o mesmo aspecto de uma laje lisa (sem vigas), que trás grande facilidade para as instalações, além de proporcionar uma grande flexibilidade de layout arquitetônico, devido à ausência de vigas. Outra vantagem da ausência de vigas internas é que permite a utilização de uma menor distância entre pisos.

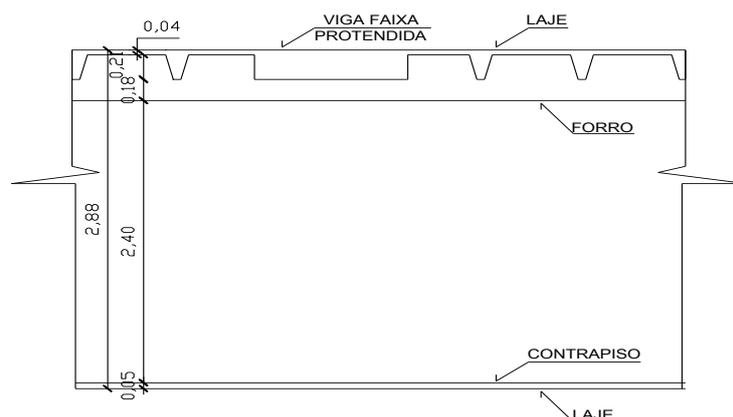


Figura 03 – Estrutura Com Vigas Faixas Embutidas.

2.3 Concepção Estrutural

A concepção estrutural consiste na escolha do sistema estrutural, juntamente com o posicionamento dos elementos (lajes, vigas e pilares), com a finalidade de atender aos requisitos de qualidade estabelecidos nas normas técnicas, relativos à capacidade resistente, ao desempenho em serviço e à durabilidade da estrutura.

Na concepção da estrutura deve-se levar em consideração a integração com os demais projetos, tais como: arquitetura, projetos de instalações elétricas, hidrossanitária, de automação, de ar condicionado, e, paisagismo, garantindo a funcionalidade.

2.3.1 Concepção Estrutural x Formas

Uma característica das estruturas de concreto que se nos apresenta com uma forte tendência de garantia de economia e qualidade é a padronização dos elementos. A padronização leva a uma maior disciplina na execução de atividades, com a eliminação das improvisações e uma conseqüente redução da variabilidade em relação ao projeto, resultando em uma obra com maior nível de precisão e menor nível de desperdícios. A economia é alcançada através de repetições, simplicidade dos detalhes, formas razoáveis e facilidade de instalação.

Alguns critérios têm sido adotados por grande parte dos projetistas para que as estruturas moldadas no local sejam mais padronizadas, para que propiciem uma maior facilidade de execução e um maior reaproveitamento das formas.

3. APRESENTAÇÃO DOS PROJETOS ANALISADOS

Os três projetos a serem estudados foram cedidos por empresa especializada em elaboração de Projetos Estruturais. Para o estudo foi considerado, em todos os edifícios, que os pavimentos eram iguais ao pavimento tipo.

O primeiro trata-se do HC Plaza: edifício empresarial, composto de nove andares de salas e mais 3 andares de estacionamento no subsolo. A Figura 4 apresenta um sistema convencional composto de lajes nervuradas apoiadas em vigas altas em concreto armado, e, a Figura 5 é similar à Figura 4, mas com lajes maciças. A Figura 6 apresenta uma alternativa em que as lajes nervuradas se apoiam em vigas faixas protendidas.

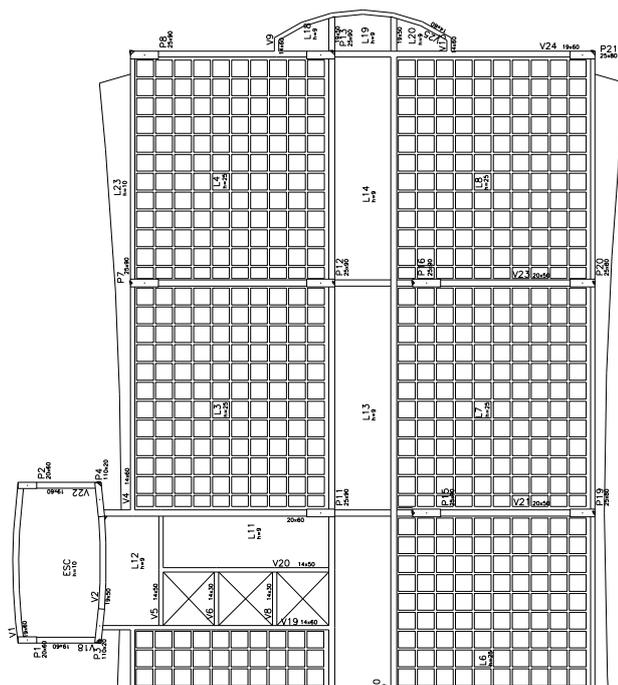


Figura 04- Edifício HC Plaza – Vigas + Lajes nervuradas.

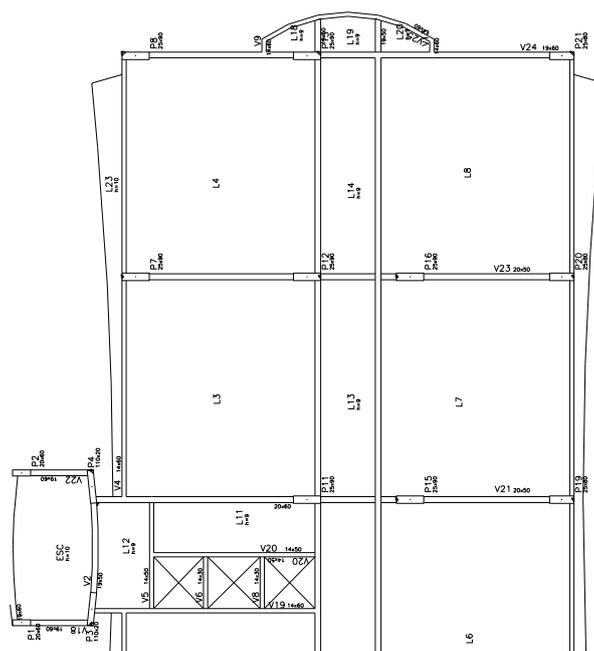


Figura 05 - Edifício HC Plaza – Vigas altas + Lajes maciças.

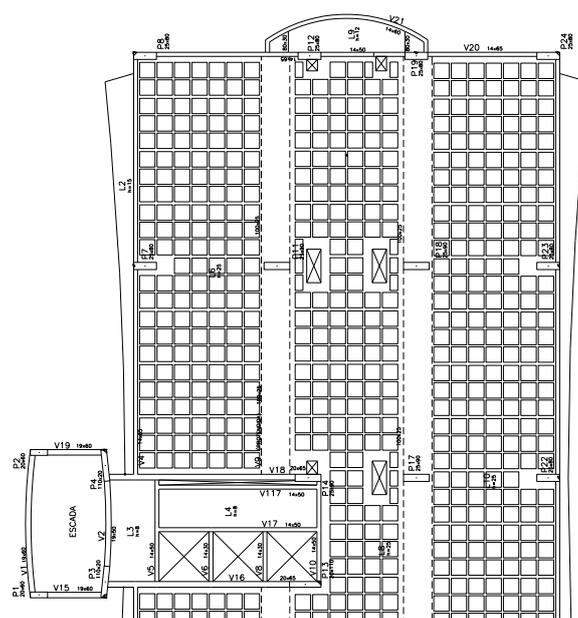


Figura 06 - Edifício HC Plaza – Vigas faixas + Lajes nervuradas.

O segundo empreendimento é o edifício Mustique: possui dezesseis andares tipos e 2 subsolos. As Figuras 7 e 9 apresentam sistemas convencionais em que as lajes (nervuradas e maciças respectivamente) se apoiam sobre vigas altas em concreto armado. A alternativa apresentada pela Figura 8 apresenta vigas faixas protendidas em substituição às vigas altas da Figura 7.

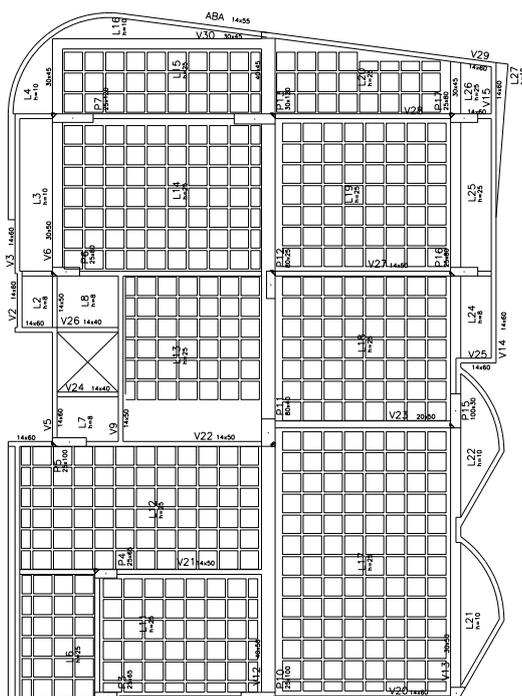


Figura 07 - Edifício Mustique – Vigas + Lajes nervuradas.

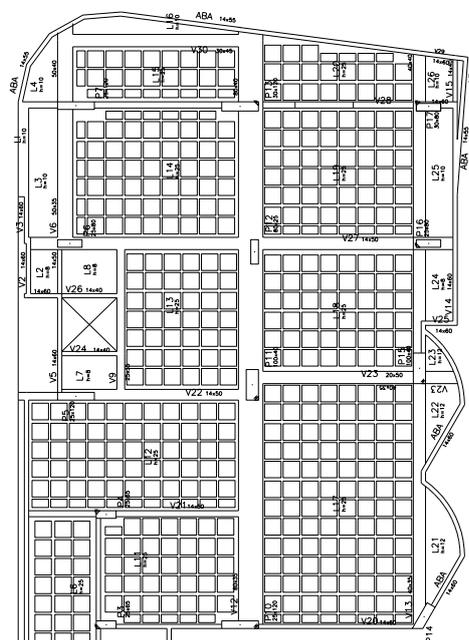


Figura 08 - Edifício Mustique – Vigas faixas + Lajes nervuradas

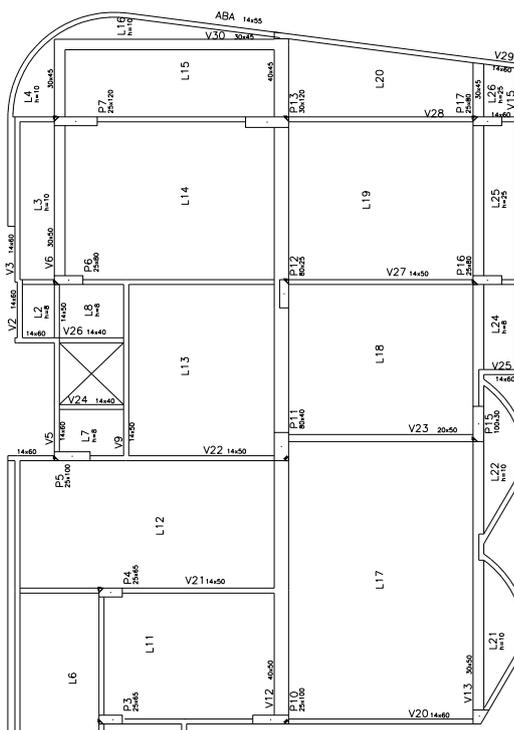


Figura 09 - Edifício Mustique – Vigas altas + Lajes maciças.

O terceiro trata-se do edifício Vancouver: constituído por subsolo, pavimento térreo, pavimento garagem, pavimento de lazer e doze pavimentos tipo. A Figura 10 apresenta a alternativa estrutural do Ed. Vancouver que contempla lajes nervuradas apoiadas em faixas protendidas e algumas vigas altas localizadas.

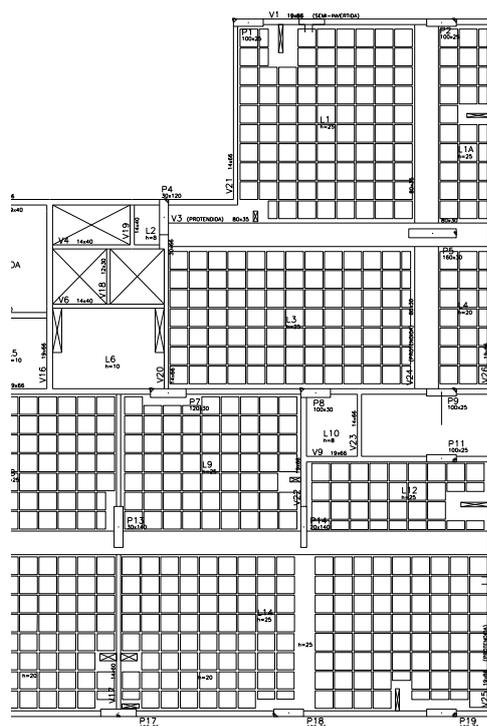


Figura 10 - Edifício Vancouver – Vigas Faixas + Lajes Nervuradas.

4. VERIFICAÇÃO DOS CONSUMOS E LEVANTAMENTO DOS INDICADORES

Neste item foram levantados os custos diretos e indiretos relativos a todas as alternativas estruturais apresentadas.

4.1 Consumos Referentes à Estrutura de Concreto (Custos Diretos)

Para se fazer a avaliação dos custos diretos das alternativas estruturais foram levantados os consumos de concreto, de aço (Passivo - CA e Ativo - CP) e de forma, e, depois foram calculados indicadores normalizados, por área estrutural, para facilitar a comparação.

4.1.1 Espessura Média

É a relação entre o consumo total de concreto e a área estrutural (somatório das áreas das plantas de forma) do edifício.

$$\text{Espessura - Média} = \frac{V(\text{m}^3)}{A(\text{m}^2)} \quad (1)$$

Onde: V=volume de concreto; A= área estrutural.

4.1.2 Taxa de Aço

É a relação entre o consumo total de aço e a área estrutural do edifício. São calculadas taxas para o aço passivo (CA60) e (CA50) com aço ativo (CP190), em separado.

$$\text{Taxa - de - Aço} = \frac{P(\text{Kg})}{A(\text{m}^2)} \quad (2)$$

Onde: P= peso de aço passivo CA60 + CA50 e peso de aço ativo CP190; A= área estrutural.

4.1.3 Taxa de Forma

É a relação entre o consumo total de forma necessária para execução da estrutura e a área estrutural do edifício.

$$\text{Taxa - de - Forma} = \frac{F(\text{m}^2)}{A(\text{m}^2)} \quad (3)$$

Onde: F= área de forma utilizada em lajes, vigas e pilares; A= área estrutural.

Para cada um dos empreendimentos foram calculados os consumos para cada uma de suas alternativas. Os resultados são apresentados na Tabela 02.

Para o cálculo dos custos diretos do item estrutura de concreto, deve-se fazer um orçamento criterioso, levando-se em consideração: consumo de materiais, equipamentos necessários, tempo de construção e mão-de-obra requerida.

Para a composição dos custos diretos, contou-se com a ajuda de três empresas de execução de estruturas de concreto estrutural. As três empresas construíram vários edifícios, tendo assim uma vasta experiência em todas as alternativas apresentadas neste trabalho. Utilizou-se então como referência os custos unitários praticados por estas empresas, aqui identificadas com empresas “A”, “B” e “C”.

Foram feitas entrevistas com os responsáveis técnicos das três empresas, e, com base em um banco de dados de estruturas já executadas, foi possível calcular o custo unitário diferenciado para cada tipo de sistema estrutural. Esta variação é devida ao grau de dificuldade de execução que influencia no tempo e na quantidade de operários.

Os entrevistados sugeriram que a execução de forma para um sistema com muitas vigas, por exemplo, é mais oneroso do que um sistema sem vigas, que tem menos recortes, pois é mais rápido e mais fácil de concretar, e, tem um maior aproveitamento. Desta forma representaram o fator grau de dificuldade variando o preço unitário da forma e do concreto em função do sistema estrutural avaliado, ou seja, o sistema vigas faixas embutidas, devido à ausência de vigas internas, teve um custo unitário reduzido (Tabela 02). Salienta-se que no custo de protensão já estão inclusos todos os serviços e materiais necessários, tais como monocordoalhas engraxadas, ancoragens, colocação dos cabos, serviço de protensão etc.

Tabela 02– Indicadores de consumo para cada alternativa estrutural por edifício; Custo unitário de execução de estruturas, em função do sistema estrutural, de acordo com empresas consultadas.

Sistema Estrutura	Forma (m ² /m ²)	Concreto (m ³ /m ²)	CA (kg/m ²)	CP (kg/m ²)	Forma (R\$/m ²)	Concreto (R\$/m ²)	CA (R\$/kg)	CP (R\$/kg)
-------------------	---	--	-------------------------	-------------------------	-----------------------------	--------------------------------	-------------	-------------

HC Plaza					Empresa A			
2.2.2	1,68	0,162	16,00	-	28,30	361,75	4,10	10,27
2.2.3	1,56	0,161	12,00	2,00	25,00	361,75	4,10	10,27
2.2.1	2,08	0,210	17,17	-	25,00	361,75	4,10	10,27
Mustique					Empresa B			
2.2.2	1,85	0,193	20,00	-	28,00	361,00	4,10	10,27
2.2.3	1,80	0,195	17,00	1,50	26,80	355,72	4,10	10,27
2.2.1	2,37	0,242	22,17	-	30,04	370,00	4,10	10,27
Vancouver					Empresa C			
2.2.2	1,90	0,192	18,25	-	23,17	346,00	4,36	11,60
2.2.3	1,80	0,195	14,50	2,50	23,17	346,00	4,36	11,60
2.2.1	2,32	0,244	19,67	-	23,17	346,00	4,36	11,60

4.2 Consumos Referentes aos Custos Indiretos

Analisaram-se então os impactos provocados pela escolha do sistema estrutural aos outros sistemas da edificação, observou-se que a distância entre os pavimentos e o forro de gesso são os fatores mais significativos.

Dependendo da solução estrutural adotada o pé direito (distância de piso a piso entre pavimentos) necessita ser mais alto em decorrência da existência das vigas e com isso há diversos itens que irão onerar o custo global tais como: revestimentos, alvenarias, fiação e eletrodutos.

O tipo de laje escolhida também irá influenciar na necessidade ou não de execução de forro de gesso. Se a escolha for laje nervurada o forro de gesso será indispensável para que seja possível ocultar as nervuras e permitir a passagem das instalações elétricas e hidrossanitárias.

Se a laje for maciça as instalações elétricas e algumas hidrossanitárias poderão ficar embutidas na laje, porém neste caso obriga que os serviços de instalações iniciem precocemente na obra, pois ainda na fase de concretagem é necessária presença de eletricitistas e bombeiros para fazer a passagem das tubulações, gerando custos antecipados.

Segundo uma empresa consultada, especializada em serviços de instalações, é cobrado um valor maior se as instalações forem embutidas devido à dificuldade de execução e o aumento de mão de obra para fiscalização.

Seguem os indicadores sugeridos para composição dos custos indiretos.

4.2.1 Taxa de Revestimento Externos

É a relação entre o perímetro externo e a área da estrutura.

$$\text{Taxa - de - Revestimento - Externo} = \frac{P_{\text{EXTERNO}} \text{ (m)}}{A \text{ (m}^2\text{)}} \quad (4)$$

4.2.2 Taxa de Divisórias Internas

É a relação entre o perímetro das divisórias internas e a área da estrutura.

$$\text{Taxa - de - Divisórias - Internas} = \frac{P_{\text{INTERNO}}(\text{m})}{A(\text{m}^2)} \quad (5)$$

4.2.3 Taxa de Alvenaria de Vedação.

É a relação entre o perímetro das alvenarias de vedação e a área da estrutura.

$$\text{Taxa - de - Alvenaria} = \frac{P_{\text{ALVENARIA}}(\text{m})}{A(\text{m}^2)} \quad (6)$$

4.2.4 Taxa de Fiação

É a relação entre a quantidade linear de fios e a área da estrutura.

$$\text{Taxa - de - Fiação} = \frac{L_{\text{FIOS}}(\text{m})}{A(\text{m}^2)} \quad (7)$$

4.2.5 Taxa de Eletroduto

É a relação entre a quantidade linear de eletrodutos e a área da estrutura.

$$\text{Taxa - de - Eletroduto} = \frac{L_e(\text{m})}{A(\text{m}^2)} \quad (8)$$

4.2.6 Taxa de Forro

É a relação entre a área de forro e a área da estrutura.

$$\text{Taxa - de - Forro} = \frac{A_f(\text{m}^2)}{A(\text{m}^2)} \quad (9)$$

A partir de levantamentos feitos com 3 edifícios de uma conceituada Construtora, estimaram-se as Taxas sugeridas nos indicadores (Tabela 03). Ainda para o cálculo das Taxas, adotou-se que as soluções convencionais, que possuem vigas internas altas, demandam um acréscimo de pé direito de 12 cm (valor bastante usual). Esta diferença de 12 cm foi multiplicada pelas taxas 4.2.1 a 4.2.4.

Para os custos unitários dos custos indiretos, contou-se também com ajuda de duas outras empresas, uma de execução de instalações elétricas e hidrossanitária e outra de construção civil. Para calcular os custos por área de pavimento de cada serviço multiplicaram-se as taxas pelos valores unitários fornecidos pelas empresas e os resultados apresentam-se também na Tabela 03.

Na sequência apresentam-se os custos indiretos que devem ser acrescidos aos custos diretos de acordo com cada sistema estrutural (Tabela 04).

Tabela 03– Taxas dos serviços e respectivos custos (Custos Indiretos).

Custos Indiretos	Taxas (m ² /m ²)	Custo (R\$/m ²)
Revestimento Externo	0,235	4,82
Divisória Interna	0,233	2,26
Forro de Gesso	0,800	19,20
Alvenaria de Vedação	0,188	1,83
Fiação	8,720	9,70
Eletroduto	1,174	1,70

Tabela 04– Custo Indireto por m² a ser acrescentado aos custos diretos por sistema estrutural.

Custos Indiretos	2.2.1	2.2.2	2.2.3
Revestimento Externo	4,82	4,82	-
Divisória Interna	2,26	2,26	-
Forro de Gesso	-	19,20	19,20
Alvenaria de Vedação	1,83	1,83	-
Fiação	9,70	9,70	-
Eletroduto	1,70	1,70	-
Total (R\$)	20,32	39,52	19,20

O sistema estrutural viga faixa com lajes nervuradas (2.2.3) só tem como custo indireto o forro de gesso, pois não foi necessário o acréscimo de 12 cm na distância entre os pisos.

5. ESTUDO DE VIABILIDADE ECONOMICA E ANÁLISE DOS CUSTOS.

Apresentam-se a seguir (Tabela 05) os custos diretos relativos às diversas opções dos empreendimentos, utilizando os custos unitários das empresas "A", "B" e "C".

Tabela 05– Custo unitário para cada sistema estrutural para edifício exemplo (R\$).

Sistema Estrutural	Empresa (A)	Empresa (B)	Empresa (C)	MÉDIA
HC Plaza				
2.2.2	171,75	171,12	164,74	169,20
2.2.3	166,98	168,82	167,37	167,72
2.2.1	198,36	210,58	146,36	185,10
Mustique				
2.2.2	204,17	203,47	196,84	201,50
2.2.3	200,65	202,71	200,70	201,35
2.2.1	237,69	251,63	235,31	241,54
Vancouver				
2.2.2	198,05	197,34	190,03	195,14
2.2.3	200,52	202,59	201,26	201,46
2.2.1	226,91	240,62	223,94	230,49

Para uniformizar os resultados foram calculados os custos médios de cada alternativa, e, conclui-se que para os 3 edifícios exemplos os sistemas estruturais Convencional com lajes nervuradas e Lajes nervuradas com viga faixas protendidas apresentam valores muito próximos (diferença máxima de 3%), enquanto a alternativa Convencional com lajes maciças se apresenta sempre como a mais cara, em média 17%. Estes resultados são consistentes com a experiência dos autores que ao longo de vários anos têm realizados estudos semelhantes para diversos outros edifícios.

Para se chegar ao custo unitário global da estrutura para efeito de tomada de decisão, considerando a metodologia proposta, que também inclui na comparação os custos indiretos, refez-se a Tabela 05 adicionando os custos da Tabela 04, e, os resultados são apresentados na Tabela 06.

Tabela 06 - Custo global considerando a metodologia proposta.

Sistema Estrutural	Média Custos Diretos (R\$/m ²)	Custos indiretos (R\$/m ²)	Custo Global (R\$/m ²)
HC Plaza			
2.2.2	169,20	39,52	208,72
2.2.3	167,72	19,20	186,92
2.2.1	185,10	20,32	205,42
Mustique			
2.2.2	201,50	39,52	241,02
2.2.3	201,35	19,20	220,55
2.2.1	241,54	20,32	261,86
Vancouver			
2.2.2	195,14	39,52	234,66
2.2.3	201,46	19,20	220,66
2.2.1	230,49	20,32	250,81

Percebe-se que, com a inclusão dos custos indiretos, houve uma alteração de cenário, em que, para os 3 edifícios exemplos, o sistema estrutural (2.2.3) apresentou os resultados mais econômicos. Ao se fazer uma média entre os 3 edifícios exemplos, por sistema estrutural, verifica-se que o sistema (2.2.2) resultou em 9% mais caro e o sistema (2.2.1) em 14% mais caro. (Tabela 07).

Tabela 07- Diferenças percentuais entre as alternativas.

Sistema Estrutural	Custo Global Médio (R\$/m ²)	Variação Percentual (%)
2.2.2	228,12	+9

2.2.3	209,37	Referencial
2.2.1	239,35	+14

6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O levantamento de custos, dos sistemas estruturais, para efeito comparativo, apresentado neste trabalho contemplou todos os insumos e a mão de obra das atividades (custos diretos), além dos custos indiretos demandados por cada sistema estrutural especificamente. Possibilitou-se assim uma comparação mais realista, abordando o problema de uma maneira sistêmica, e, não apenas através da análise de custos do item estrutura, ou pior ainda, apenas do volume de concreto consumido.

Os resultados encontrados estão em conformidade com o partido estrutural escolhido para diversos empreendimentos, o que demonstra a consistência da metodologia proposta, porém estes não são válidos para todos os casos, e, a investigação por novos custos indiretos, demandados para cada sistema estrutural, deve ser uma constante das salas técnicas e dos setores de projetos das grandes construtoras.

Constata-se que os aumentos localizados, em algum dos insumos, podem reverter resultados previamente encontrados. Cita-se como exemplo o caso do aço para armadura passiva (CA50), que nos últimos anos apresentou um grande aumento de preço ao contrário do aço para armadura protendida, que aumentou muito pouco, tornando assim as alternativas protendidas bastante competitivas.

Ressalta-se também que o levantamento realizado favorece aos sistemas que propiciem uma maior facilidade de execução, que embora possam apresentar um maior consumo de alguns insumos tendem a ganhar competitividade na diminuição da mão de obra e nos custos indiretos.

Para que estes indicativos se tornem parâmetros mais reais e temporais as planilhas de custos, das empresas, devem ser atualizadas, a cada variação de preço dos serviços e materiais utilizados neste trabalho, tanto nos custos diretos como nos indiretos. Além do que sugere-se a adoção integral da metodologia aqui proposta, dando ênfase à:

- a) utilização dos indicadores de consumo por área de pavimento;
- b) levantamento junto aos fornecedores de custos unitários diferenciados para o item forma, de acordo com o sistema estrutural;
- c) caracterização do indicador custo indireto por área de pavimento, incluindo ao máximo custos demandados específicos também de acordo o sistema estrutural.

REFERÊNCIAS

BRONDANI, R. P.; MOHAMAD, G.; ISAIA, G. C. *Sustentabilidade em projeto de estruturas de concreto armado. Concreto & Construções. Revista do Ibracon, 2015.*

COELHO, E. L; SOUZA, R.M.; GRECO, M. *Estudo Comparativo entre Sistemas Estruturais com Lajes Maciças, Nervuradas e Lajes Lisas. 9o. Simpósio de Mecânica Computacional - São João Del Rei, 2010.*

DAL PRÁ, A. A. *Análise de alternativas de projeto para pavimentos sem vigas em Concreto Armado. Florianópolis. Dissertação (Mestrado) - UFSC, 2012.*

GIROLDO, L. C. *Edifício residencial de múltiplos pisos: análise comparativa de custos de sistemas estruturais em concreto para o pavimento tipo. Curitiba. Dissertação (Mestrado) - UFPR, 2007.*

PESSIKI, S., VAN ZYVERDEN, W., SAUSE, R., SLAUGHTER, E. S., "Proposed Concepts for Floor Framing Systems for Precast Concrete Office Buildings," SPHOR, V. H. *Análise comparativa: sistemas estruturais convencionais e estruturas de lajes nervuradas. Santa Maria. Dissertação (Mestrado) - UFSM, 2008.*

SILVA, A. R. da. *Análise comparativa de custos de sistemas estruturais para pavimentos de Concreto Armado. Belo Horizonte. Dissertação (Mestrado) - UFMG, 2002.*

SILVA, L. R. *Análise comparativa de custos de sistemas estruturais para pavimentos de concreto armado. Goiania. Dissertação (Mestrado) - UFGO, 2002.*