

## Scientific Electronic Archives

Issue ID: Sci. Elec. Arch. Vol. 10 (6)

December 2017

Article link

<http://www.seasinop.com.br/revista/index.php?journal=SEA&page=article&op=view&path%5B%5D=366&path%5B%5D=pdf>

Included in DOAJ, AGRIS, Latindex, Journal TOCs, CORE, Discursio Open Science, Science Gate, GFAR, CIARDRING, Academic Journals Database and NTHRYS Technologies, Portal de Periódicos CAPES.



# Análise técnico-econômica na superestrutura de edifícios de múltiplos pavimentos (três, cinco, sete e nove) em concreto armado e laje nervurada com moldes retangulares e com diferentes valores de resistência à compressão

## Techno-economic analysis in a superstructure of a multiple floors building (three, five, seven and nine floors) in reinforced concrete and ribbed slabs with rectangular form and different compressive strength values

E. F. S. Moraes<sup>1</sup>, S. F. S. Moraes<sup>2</sup>, M. J. Hillesheim<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade Estadual do Mato Grosso – Campus Sinop

<sup>2</sup>Universidade Federal do Mato Grosso – Campus Sinop

Author for correspondence: [edgar\\_moraes@hotmail.com](mailto:edgar_moraes@hotmail.com)

**Resumo.** Com base na adaptação de valores de " $f_{ck}$ " entre 25 MPa e 40 MPa em estruturas de edifício que variam entre alternativas de 3, 5, 7 e 9 pavimentos para locais com ventos de até 30 m/s, foram calculados os custos e os insumos neste trabalho. Estes dados alcançados têm como objetivo de colaborar no campo de confecção de projetos de edifícios de múltiplos pavimentos em concreto armado e laje nervurada contribuindo em possíveis ganhos econômicos. Das etapas: (i) definição do projeto arquitetônico modelo na proporção 1:1, (ii) concepção estrutural, (iii) dimensionamento da estrutura, (iv) composição dos custos (v) análise dos parâmetros técnico-econômicos. Com os resultados alcançados, concluiu-se que os " $f_{ck}$ " menores foram mais viáveis para estruturas de poucos pavimentos e conforme aumentado a quantidades de pavimentos o " $f_{ck}$ " indicado também subiu, chegando a um aumento de custo de 16,54% nas vigas e 11,16% nas lajes, já nos pilares constatou uma economia de 28,89%, variação de até 11,93% na espessura média e uma máxima de 6,29% de variação de consumo de fôrma por m<sup>3</sup> de concreto. Alcançando uma economia no custo global de até 5,14% entre as propostas.

**Palavras chaves:** Concepção estrutural; cubeta; insumo.

**Abstract.** Adapting " $f_{ck}$ " values between 25 MPa to 40 MPa, in three, five, seven and nine floor buildings for places under winds of up to 30 m/s, this research calculated the cost and inputs of these variations. The results have as a goal to improve multiple floors building design in reinforced concrete and ribbed slabs, and to contribute to economic gains. The results were analysed in five stages. (I) Architectural design definition in a 1:1 proportion, (II) structural conception, (III) structural design, (IV) cost composition and (V) techno economic parameters. To sum up, the results showed that lower " $f_{ck}$ " has presented more viability to few flooring. In addition, with the increase of floors also the " $f_{ck}$ " raised, causing higher cost around 16,54% in the beams and 11,16% in the slabs. Moreover, the pillars showed a saving of 28,89% in the cost, ranging by up to 11,93% in the average thickness and 6,29% in the concrete form expenditure per m<sup>3</sup>. Therefore, the research showed an economic achievement of 5,14% in the overall cost between the number of floor.

**Keywords:** Structural conception, 'waffle' cube design, input.

### Introdução

Assim como vários materiais, o concreto vem sendo modificado e melhorado ao longo dos anos, isso também fez com que surgissem novas

técnicas de construção com esse material, permitindo uma maior difusão quanto ao seu uso.

Este estudo tem como intuito avaliar a superestrutura feita a partir de uma planta com

dimensões aproximadas de 1:1 para ventos de até 30m/s, onde serão considerados quatro modelos estruturais em que foram variados os números de pavimentos, sendo um com três, cinco, sete e nove pavimentos.

Para este projeto, foi utilizada uma laje nervurada com moldes retangulares na confecção da superestrutura, e também foram utilizados quatro diferentes valores de resistência característica à compressão, tais como, 25, 30, 35, 40 MPa, adotados para o concreto utilizados nos elementos das estruturas (pilares, lajes nervuradas, vigas).

O resultado quanto ao dimensionamento dos elementos e as verificações que foram realizadas neste projeto foram feitas com a ajuda do software de cálculo estrutural, onde esses resultados foram dispostos em tabelas com o auxílio de uma planilha eletrônica.

Sendo assim, este projeto de pesquisa propôs obter uma relação da quantidade de materiais gastos (concreto, aço e formas) para a produção das superestruturas, nesta relação também serão incluídos os custos da mão de obra e os equipamentos utilizados nesse processo. Com o intuito de produzir a relação técnico-econômica ( $\text{kg}_{\text{aço}}/\text{m}^3_{\text{concreto}}$ ;  $\text{R}\$/\text{m}^3_{\text{concreto}}$ ;  $\text{R}\$/\text{m}^2_{\text{área}}$ ;  $\text{m}^3_{\text{concreto}}/\text{m}^2_{\text{área}}$ ) dos elementos da superestrutura que melhor atenda cada um dos quatro modelos estruturais, e assim definindo qual dentre os valores de resistência característica a compressão ( $f_{ck}$ ) 25, 30, 35, 40 MPa foi mais indicado. Podendo assim, criar gráficos a partir desses resultados, definindo qual é o menor custo global da superestrutura de cada uma das edificações (três, cinco, sete e nove pavimentos).

O concreto é um material resultante de uma mistura compondo agregados (miúdos e graúdos), cimento (aglomerante), água e ar. Ele também pode ser melhorado ou ter algumas propriedades alteradas através da incorporação de adições (cinza volante, pozolonas, sílica ativa, etc.) e aditivos químicos. (BASTOS, 2006).

O concreto possui cerca de 70% de agregados na sua composição o que contribui para diminuição do seu custo final, uma vez que, este material é o de menor custo. Os agregados podem ser classificados devido a sua origem ou à suas dimensões, quanto à origem podem ser de naturais e artificiais, os naturais são encontradas na natureza (areias e pedregulhos) e os artificiais são aqueles passaram por algum processo para obter os seus aspectos finais. Já quanto às suas dimensões são divididos em miúdos e graúdos, os denominados miúdos são aqueles que têm seu diâmetro máximo menor ou igual a 4,8 mm e os graúdos são os que possuem diâmetro máximo maior que 4,8 mm. (BASTOS, 2006).

Para que as reações químicas do cimento aconteçam no concreto é necessária à adição de água na mistura, essas reações que irão assegurar

que ele adquira propriedades como: resistência e durabilidade. (BASTOS, 2006).

Como o concreto simples possui uma fragilidade quanto submetida a esforços no âmbito da tração, para isso são utilizados aços que tem por objetivo corrigir esse problema do concreto. (ARAÚJO, 2010).

O aço é classificado conforme a tensão de escoamento,  $f_{yk}$ , onde essas tensões são obtidas através de corpos de prova submetidos à tração. (ARAÚJO, 2010).

Em projeto, na parte de dimensionamento são encontradas as áreas de aço necessárias para cada caso e a partir desse resultado são escolhidas as bitolas que tem o melhor arranjo final.

Segundo a NBR 6118 (2014), "Laje nervurada são as lajes moldadas no local ou com nervuras pré-moldadas, cuja zona de tração para momentos positivos esta localizadas nas nervuras entre as quais pode ser colocado material inerte".

Em projeto podem ser utilizadas as lajes sem viga, onde ela estará diretamente ligada aos pilares e é neles que irão se apoiar, esta solução é vantajosa devido à economia de formas relacionadas às vigas, no entanto, se deve tomar cuidados em relação à segurança, uma vez que esta solução não possui vigas para formar pórtico a fim de enrijecer a estrutura, deve-se ter mais cuidados com a ação do vento e com a estabilidade global. (GIONGO, 2007).

Por outro lado, nas regiões dos apoios há uma concentração de tensões transversais, o que pode ocasionar a ruína por punção ou por cisalhamento e deve ser evitado esse tipo de falha. Como este tipo de estrutura é frágil devem-se utilizar elementos mais robustos perto dos apoios, como soluções podem ser feitas faixas maciças em uma ou em duas direções formando as vigas faixas ou também pode fazer uma região maciça em volta do pilar constituindo um capitel. (PINHEIRO, 2007).

As laje nervuradas com moldes reaproveitáveis (cubetas) é de fácil execução e fica a critério do projetista determinar as dimensões dessas cubetas. E posteriormente utilizam materiais de enchimento com o EPS (isopor) a fim de proporcionar uma superfície lisa, sem a necessidade de forro. (BARBOZA, 2008).

A concepção estrutural também conhecida como lançamento da estrutura, consiste basicamente em compor um sistema estrutural formando a parte resistente do edifício. Esta etapa é de fundamental importância para o projeto, pois nela que é feita a escolha dos elementos a serem utilizados e determinadas as suas posições, para que o sistema estrutural formado possa absorver os esforços produzidos pelas ações atuantes e transmiti-las ao solo de maneira eficiente e mantendo uma boa estabilidade. (PINHEIRO, 2007).

As ações podem ser definidas como causas que produzem esforços ou deformações na

estrutura. Estas ações podem ser classificadas, de acordo com a sua variabilidade com o tempo, em permanentes, variáveis e excepcionais. (PINHEIRO, 2007).

As ações verticais (provenientes das cargas permanentes) na sua grande maioria são distribuídas nas lajes dos diversos andares de um edifício, que tem por finalidade transferir esses esforços diretamente para os pilares ou para as vigas, essas que por sua vez, as transmitem por flexão aos pilares. Os pilares tem a função de receber as ações dos diversos andares e distribuí-las as fundações, que irão finalmente serem repassados ao solo. (GIONGO, 2007).

As ações horizontais também deverão ser absorvidas e encaminhadas para as fundações, estas têm suas atuações iniciais nas paredes externas das edificações e são caracterizadas pelo vento. (PINHEIRO, 2007).

O lançamento dos pilares no projeto busca ser feito levando em consideração o posicionamento da caixa de água e das escadas, sendo de preferência local os pilares nos cantos da edificação e áreas não muito nobres (atrás de porta, cantos de armários embutidos) evitando que ele fique aparente em quartos e dormitórios. Também deve verificar se os pilares lançados são compatíveis com o térreo e com as garagens. (ALVA, 2007).

Na locação das lajes nervurada devem-se evitar engastes e balanço, uma vez que, nesses casos há esforços de compressão na parte inferior onde a área de concreto é reduzida nesta região da laje. (PINHEIRO, 2007).

Em estruturas, além de se fazer cálculos e verificações de cada elemento que a compõe (pilar, viga e laje), também se deve verificar a estrutura como um todo analisando o seu comportamento e como ela irá reagir depois que estiver recebendo os carregamentos. Podendo estas estruturas estarem sujeitas aos efeitos de instabilidade de primeira e segunda ordem. (RIBEIRO, 2010).

O parâmetro  $\alpha$  é uma forma de analisar a estabilidade global de estruturas de concreto, onde se supõe a estrutura como um meio elástico, e, portanto não é considerada a fissuração dos elementos. Este parâmetro foi criado por Beck e König e não capaz de calcular os efeitos de segunda ordem. (MONCAYO, 2011).

Este coeficiente  $\gamma_z$  avalia de maneira simples e bastante eficaz, a estabilidade global dos edifícios com estruturas de concreto armado. Ele consegue calcular os esforços de segunda ordem através da majoração dos esforços de primeira ordem, este coeficiente foi criado por Franco e Vasconcelos em 1991. Considerando que a estrutura é de nós fixos de  $0 < \gamma_z \leq 1,1$  e de nós móveis se  $1,1 < \gamma_z \leq 1,3$ . (MONCAYO, 2011).

A durabilidade das estruturas de concreto é um dos aspectos mais importantes. As exigências relacionadas à durabilidade estão ficando mais rígidas com o passar do tempo, tanto na fase de

projeto, quanto na fase de execução das obras. Essas exigências se tornaram mais rigorosa devido ao descuido dos projetistas e dos construtores, contribuindo com a aceleração da deterioração das estruturas construídas. (ARAÚJO, 2010).

Uma estrutura de concreto armado apesar de sempre buscar uma associação com os aspectos econômicos e estéticos, além desses um projeto também deve obedecer a alguns requisitos de qualidade, como a segurança, um bom desempenho em serviço e a durabilidade. Lembrando que quando alguns aspectos relacionados à segurança e ao bom desempenho em serviço deixam de serem atendidos deve ser considerado que foi atingido um estado limite, podendo ser ele um Estado Limite Último ou Estado Limite de Utilização. (ARAÚJO, 2010).

Os custos são todos os gastos relativos a um serviço ou um bem empregados na elaboração de outros bens e serviços. Quando a alocação dos custos está relacionada aos produtos estes podem ser divididos em custos diretos e indiretos. Os custos diretos são aqueles que facilmente podem ser determinadas sobre um bem ou serviço. Exemplos: matéria-prima, mão de obra direta, etc. Já os custos indiretos são aqueles que não podem ser diretamente destinado ao produto. Exemplo: materiais indiretos, mão de obra indireta, depreciação, taxa e impostos, etc. (OLIVEIRA & VENÂNCIO).

## Métodos

A metodologia deste projeto foi abordada em duas partes, onde o primeiro discutiu as ferramentas utilizadas para a composição dos resultados, e a segunda foi composta pelas etapas e a discriminação dos métodos utilizados para a sua execução.

Para o desenvolvimento desta pesquisa foi necessário o uso de algumas ferramentas como um software de cálculo estrutural os software Microsoft Excel 2013. Através do primeiro foi possível dimensionar os elementos da estrutura, assim como, a obtenção dos resultados quanto à verificação do concreto, dimensionamento e verificação das armaduras, o comportamento da estrutura quando sujeito as ações e o quantitativo de insumos (aço, concreto e fôrmas) de cada estrutura. Do segundo foi feito a organização dos resultados em tabelas que são interceptados formando os gráficos.

Tendo o conhecimento sobre os conceitos das normas da ABNT e outras literaturas citadas neste projeto, no qual este foi feito em cinco etapas. A princípio foi escolhido o projeto arquitetônico utilizado. Já a segunda etapa consistiu em local os elementos estruturais em projeto que deu origem à concepção estrutural. Dando continuidade na etapa anterior, a terceira etapa contou com a ajuda do software de cálculo estrutural para dimensionar a estrutura e analisar o seu comportamento, e com a

estrutura dimensionada, obteve-se o quantitativo de materiais para a sua produção. Na quarta etapa, com os resultados do quantitativo foram realizados os arranjos de custos relacionados às estruturas. E na quinta e última etapa foram elaborados os gráficos para análise técnico-econômica a partir do quantitativo de custos e materiais consumidos, feitos com o auxílio do Microsoft Excel 2013.

O projeto arquitetônico adotado tem proporção aproximada em planta de 1:1 e com aproximadamente 359 m<sup>2</sup>, sendo uma planta de um edifício fictício dimensionado para locais com velocidade básica do ventos de 30 m/s. A planta do projeto é comum a todos os pavimentos, onde foi considerando um modelo estrutural com três, cinco, sete e nove pavimentos tipo. Os pavimentos tipo possuem uma distância entre eixo das lajes de 3 metros.

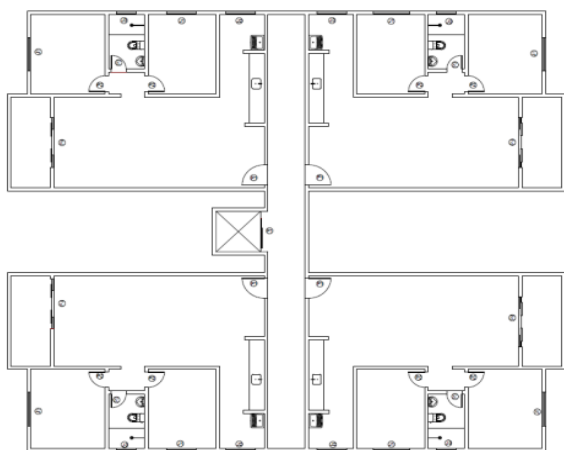


Figura 1 - Planta arquitetônica do pavimento tipo. Fonte: Próprio autor, 2015.

Como mostra a Figura 2, foram considerados quatro modelos estruturais, sendo: 3 (A), 5 (B), 7 (C) e 9 (D).

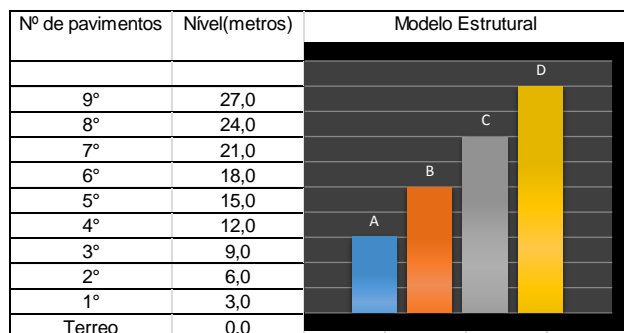


Figura 2. Níveis dos casos propostos da estrutura. Fonte: Próprio autor, 2015.

Para a elaboração da concepção estrutural dos edifícios analisados neste projeto, foram feitas a locação dos elementos do seguinte modo, respectivamente, pilares, lajes, maciços e vigas. Inicialmente foram dispostos os pilares de canto e os pilares no contorno da planta, posteriormente a

fim de proporcionar estabilidade e rigidez na estrutura foi dimensionado um núcleo rígido na caixa do elevador.

Para a laje nervurada, foram utilizadas cubetas retangulares que obteve os melhores resultados nos teste realizados, com as seguintes dimensões: 60 cm de largura, 90 cm de comprimento, 28 cm de altura e 10 cm de mesa, proporcionando para laje nervurada uma altura total de 38 cm. Ficando dispostas conforme mostra a Figura 3.

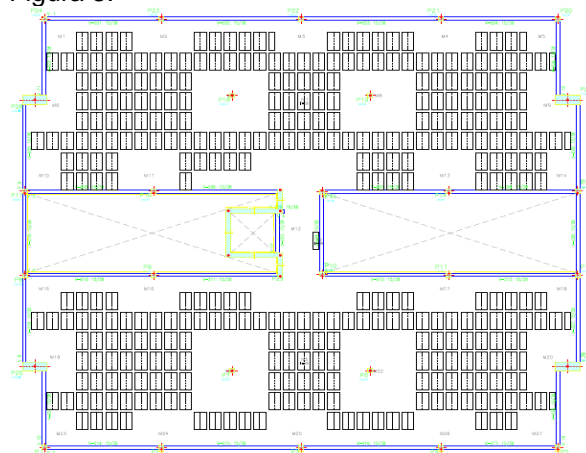


Figura 3. Planta de fôrmas do pavimento tipo. Fonte: Próprio autor, 2015.

Com a laje já locada, foram gerados os maciços em volta dos pilares para transferência das cargas da laje para os pilares que conseqüentemente resolveu parte do problema de punção gerada na laje.

Outras medidas utilizadas para resolver o problema de punção na laje foram a locação de vigas no contorno da laje e a implantação de quatro pilares internos sempre respeitando o projeto arquitetônico.

Os cálculos das edificações foram feitos seguindo as normativas da ABNT 6118:2014 e 6120:1980, devido ao gênero deste projeto, as ações que são consideradas nas estruturas são apenas as ações permanentes e variáveis. As ações permanentes consideradas para as estruturas são: peso próprio da estrutura, do revestimento e da alvenaria. Onde a alvenaria tem 2,62 m, espessura de 15 cm e peso específico 0,6T/m. As ações variáveis (sobrecargas de utilização e efeitos do vento), onde as ações do vento seguem a norma ABNT 6123:1988 e as considerações relacionadas a local com ventos de até 30 m/s, onde a Figura 2 mostra as definições adotadas.

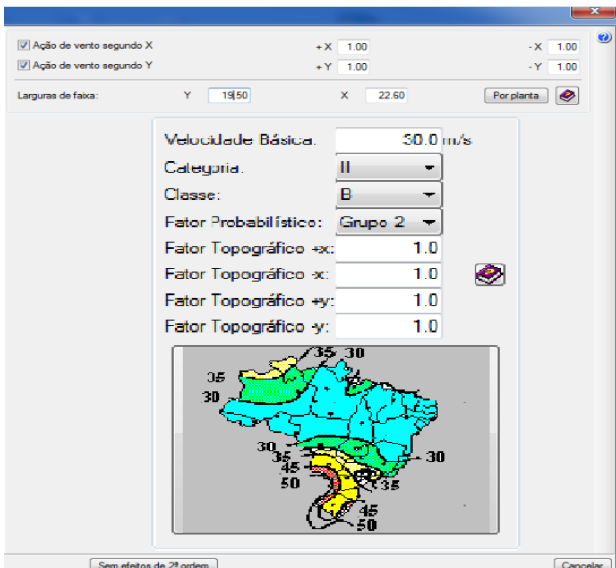


Figura 2 - Parâmetros definidos para as ações do vento. Fonte: Próprio autor, 2015.

Com os parâmetros das ações do vento definidos o programa gerou automaticamente as cargas do vento em x e y.

Assim como as cargas do vento, o software calculou automaticamente as ações permanentes estruturais, mas para isso ocorrer foram adicionadas algumas cargas variáveis nas lajes da estrutura segundo as normas da ABNT, tais como, 0,15 T/m<sup>2</sup> para salas, cozinha, dormitórios e 0,2 t/m<sup>2</sup> para o banheiro e a lavanderia.

Por se tratar de um projeto de concreto armado alguns parâmetros foram considerados em relação ao concreto e ao aço a ser utilizados. Para o concreto foram adotados parâmetros como: resistência característica à compressão de 25, 30, 35 e 40 MPa, classe de agressividade II, peso específico do concreto de 25 kN/m<sup>3</sup>, cobrimento das peças (interno e externo) de 2,5 cm para as lajes e restante dos elementos de 3,0 cm.

Foram utilizados o aço do tipo CA-50 e CA-60 nas armaduras para os elementos estruturais, já os diâmetros, área de aço e os espaçamentos foram calculados de forma automatizada pelo programa. Com a definição dos elementos e de suas respectivas armaduras, foram feitas as verificações quanto aos estados limites (último e de serviço) buscando estar em conformidade com as normas já citadas. Com a estrutura já pré-estabelecida, foram feitas a análise do comportamento global da estrutura quando sujeita aos efeitos de primeira e segunda ordem. Esta análise do comportamento da estrutura buscou verificar os deslocamentos e as deformações na edificação. Sabendo que para esta verificações foram utilizados os valores do coeficiente “γ<sub>z</sub>” e do parâmetro de instabilidade “α”, onde foram verificados de forma automática pelo programa.

Por fim, com os critérios escolhidos e as verificações quanto aos estados limites da edificação já executados, foi realizado o

dimensionamento da estrutura de modo automatizado pelo software de cálculo estrutural. Este que também produziu o modelo tridimensional da estrutura, facilitando a visualização da estrutura e das deformações quando existentes.

A composição dos custos foi realizada com a relação de insumos utilizados (aço, concreto e fôrmas) para a confecção da superestrutura, e posteriormente foram incluídas as relações da mão de obra e equipamentos utilizados nesse processo, onde este foi feito contando com a ajuda da tabela SINAPI-MT (Março 2015) e com o auxílio de uma avaliação de custo dos fornecedores locais. Foi considerado o concreto usinado e lançado na obra. Para a composição de custo relacionado às armaduras foi utilizado somente o preço do aço CA-50.

Utilizando os resultados obtidos, foram feitas tabelas e gráficos com o auxílio do software Microsoft Excel 2013, apresentando os resultados da seguinte forma: kg<sub>aço</sub>/m<sup>3</sup><sub>concreto</sub>; R\$/m<sup>3</sup><sub>concreto</sub>; R\$/m<sup>2</sup><sub>área</sub>; m<sup>3</sup><sub>concreto</sub>/m<sup>2</sup><sub>área</sub>, a fim de, determinar qual o menor custo de cada modelo estrutural.

### Análise e Discussão dos Resultados

Na composição dos custos foram utilizados os valores da tabela 1.

**Tabela 1:** Custos de materiais adotados segundo a SINAPI-MT e fornecedores locais.

COMPOSIÇÃO	UNID.	VALOR
Aço CA-50	Kg	R\$ 7,37
Concreto 25 MPa	m <sup>3</sup>	R\$ 336,00
Concreto 30 MPa	m <sup>3</sup>	R\$ 357,67
Concreto 35 MPa	m <sup>3</sup>	R\$ 375,00
Concreto 40 MPa	m <sup>3</sup>	R\$ 398,67
Formas de mad.	m <sup>2</sup>	R\$ 26,46
Cubetas	Uni.	R\$ 175

Fonte: Próprio autor, 2015.

A Figura 5 mostra a relação kg<sub>aço</sub>/m<sup>3</sup><sub>concreto</sub>:

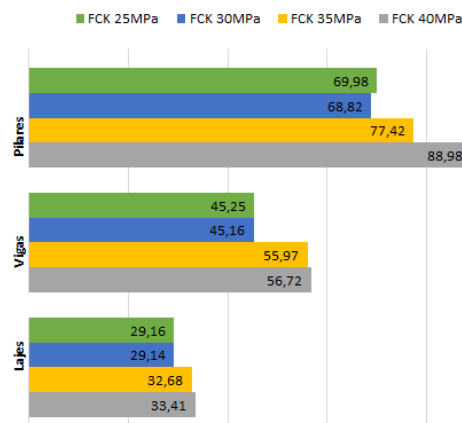


Figura 5 . Relação kg<sub>aço</sub>/m<sup>3</sup><sub>concreto</sub> por subestrutura para a proposta “A”. Fonte: Próprio autor, 2015.

Em uma comparação das subestruturas horizontais (vigas e lajes) é possível observar que com o aumento do  $f_{ck}$  há um pequeno decréscimo no consumo de aço por  $m^3$  inicialmente, mas assim que continua a aumentar o  $f_{ck}$  se nota um crescimento no consumo de aço. O consumo de aço por  $m^3$  diminui 0,2% para as vigas e 0,07% para as lajes do  $f_{ck}$  de 25 para 30 MPa, e aumenta 25,59% para as vigas e 14,65% para as lajes do  $f_{ck}$  de 30 para 40 MPa. Para a análise das estruturas não foram feitas alterações nas dimensões desses elementos.

Nas subestruturas verticais (pilares) segue o mesmo padrão das subestruturas horizontais, onde o consumo de aço por  $m^3$  diminui inicialmente e volta crescer conforme o aumento  $f_{ck}$ . O consumo de aço por  $m^3$  diminui 1,66% do  $f_{ck}$  de 25 para 30 MPa, e aumenta 29,29% do  $f_{ck}$  de 30 para 40 MPa. O consumo global de aço foi de 36,88 para FCK 25MPa, de 36,67 para FCK 30MPa, de 40,65 para FCK 35MPa e de 42,55 para FCK 40MPa.

Inicialmente há uma diminuição e posteriormente um crescimento conforme aumenta o  $f_{ck}$ . O consumo de aço por  $m^3$  diminui 0,57% da estrutura com  $f_{ck}$  de 25 para 30 MPa, e o consumo aumenta 16,03% da estrutura com  $f_{ck}$  de 30 para 40 MPa.

Considerando o volume total de concreto para as estruturas desta proposta e a área dos pavimentos tipo se obteve uma espessura média de 0,275 metros. A espessura média apresentou uma variação máxima de 8,87% entre as propostas.

O consumo de formas teve uma diminuição de 2,88% do menor para o maior valor de  $f_{ck}$ , onde a média de consumo foi de  $2,61 m^2_{formas}/m^3_{concreto}$ . Já o consumo de cubeta por estrutura ficou na média de 325 cubetas inteira e 15 parciais.

Na Fig. 6 mostra os custos para cada subsistema.

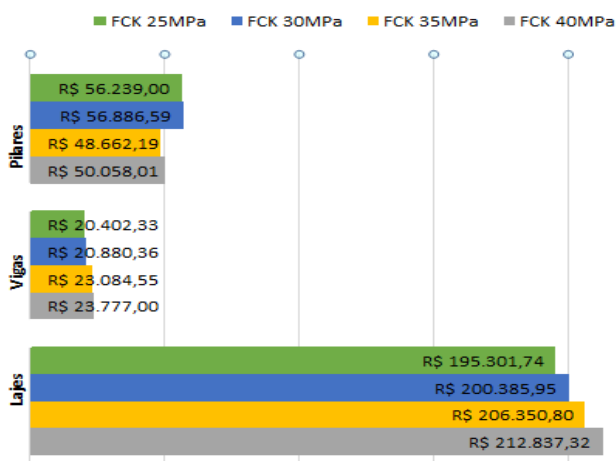


Figura 6. Custo por subestrutura para a proposta "A". Fonte: Próprio autor, 2015

Notou-se que nas subestruturas horizontais as proposta com menor  $f_{ck}$  resultou em estruturas mais econômicas, obtendo uma variação máxima de

16,54% nas vigas e 8,98% nas lajes. Já no subsistema vertical a proposta com o  $f_{ck}$  de 35 MPa obteve o menor custo, apresentado uma variação máxima de 16,9%.

Averiguou-se que a estrutura de concreto com o  $f_{ck}$  de 25 MPa atingiu uma redução de custo de 5,14% em relação ao de maior custo.

A Figura 7 mostra a relação  $kg_{aço}/m^3_{concreto}$ :

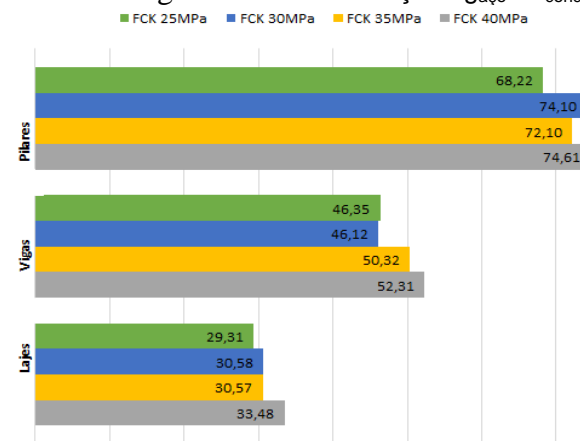


Figura 7. Relação  $kg_{aço}/m^3_{concreto}$  por subestrutura para a proposta "B". Fonte: Próprio autor, 2015.

Nas subestruturas horizontais é possível notar que com o aumento do  $f_{ck}$  também há um aumento no consumo de aço por  $m^3$ , resultando em uma variação máxima de 13,42% para as vigas e 14,23% para as lajes.

Nesta proposta houve uma variação irregular no consumo de aço no subsistema vertical conforme as alterações do  $f_{ck}$  resultando em uma variação de 9,37% entre os extremos.

O consumo global de aço para FCK 25MPa foi de 37,39, o FCK 30MPa e FCK 35MPa foram de 38,53 e FCK 40MPa foi de 40,67.

Como apresentado nesta proposta, o consumo global de aço por  $m^3$  teve um crescimento conforme o aumento do  $f_{ck}$ , apesar de manter-se constante nas estruturas com  $f_{ck}$  intermediários. O aumento no consumo chegou a 8,77%.

A espessura média foi de 0,283 metros, e apresentou uma variação máxima de 8,33% entre as propostas.

O consumo de formas teve uma diminuição de 4,28% do menor para o maior valor de  $f_{ck}$ , onde a média de consumo foi de  $2,99 m^2_{formas}/m^3_{concreto}$ . Já o consumo de cubeta por estrutura ficou na média de 319 cubetas inteira e 17 parciais.

Na Fig. 8 observam-se os custos dos subsistemas.

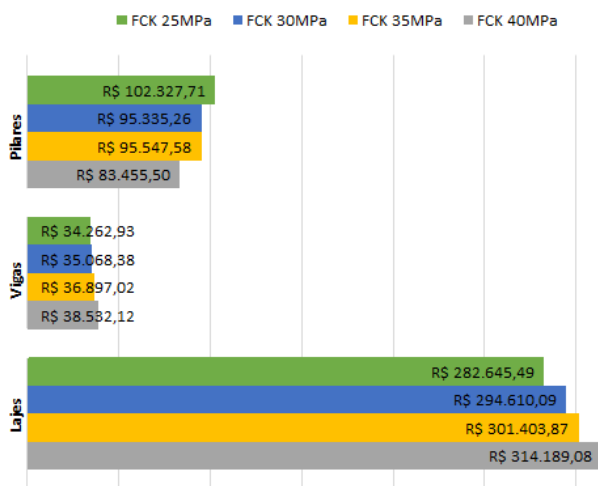


Figura 8. Custo por subestrutura para a proposta "B". Fonte: Próprio autor, 2015.

No subsistema vertical constatou-se uma economia de 18,44% com o  $f_{ck}$  de 40 MPa em relação ao de maior valor. Já as subestruturas horizontais apresentou um crescimento conforme o aumento da resistência, sendo a variação entre os extremos de 12,61% e 11,16% para vigas e lajes respectivamente.

O custo para o aço foi de 34%, para concreto de 43% e para formas de 23%. Assim como a proposta anterior a estrutura com o concreto de 25 MPa foi a que mostrou ser mais econômica, atingindo uma economia de 3,88%.

O custo por metro quadrado foi de 233,56 para FCK 25MPa, 236,78 para FCK 30MPa, de 241,70 para FCK 35MPa, e 243,00 para FCK 40MPa.

A Figura 9 mostra a relação  $kg_{aço}/m^3_{concreto}$ .

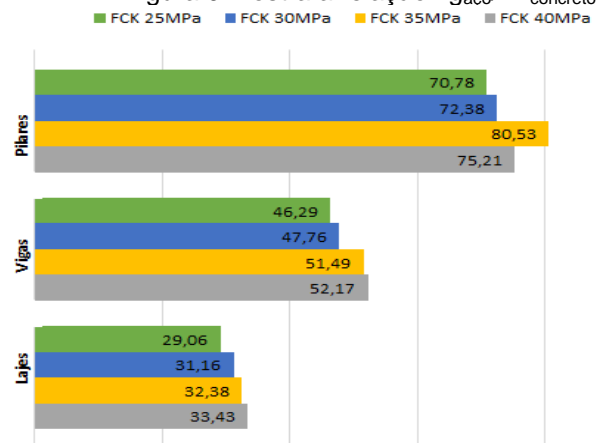


Figura 9. Relação  $kg_{aço}/m^3_{concreto}$  por subestrutura para a proposta "C". Fonte: Próprio autor, 2015.

Nas subestruturas horizontais o consumo de aço por  $m^3$  foi subindo gradativamente conforme o aumento do  $f_{ck}$ , apresentando uma variação máxima de 12,7% nas vigas e de 15,04% nas lajes. No subsistema vertical verificou-se uma variação crescente no consumo de aço por  $m^3$  conforme foi aumentando o  $f_{ck}$ , onde apresentou um pico no

consumo para o  $f_{ck}$  de 35 MPa. A variação entre os extremos foi de 13,78%.

O consumo global de aço para a proposta "C", sendo FCK 25MPa 38,96, para FCK 30MPa de 39,30, para FCK 35MPa 41,24 e FCK 40MPa de 41,25

Novamente a estrutura com o menor  $f_{ck}$  se mostrou mais eficiente em relação à economia de aço por  $m^3$ , neste apresentou uma economia de 5,55%.

Nesta proposta a espessura média foi de 0,289 m, e verificou uma variação máxima para as diferentes resistências de 11,93%.

Assim como mostrou as outras duas propostas, o consumo de formas diminuiu conforme o aumento do  $f_{ck}$ , variando 4,79 % e com a média de 2,82  $m^2_{formas}/m^3_{concreto}$ . E o consumo médio de cubeta foi de 318 inteiras e 16 parciais.

Na Fig. 10 observam-se os custos dos subsistemas.

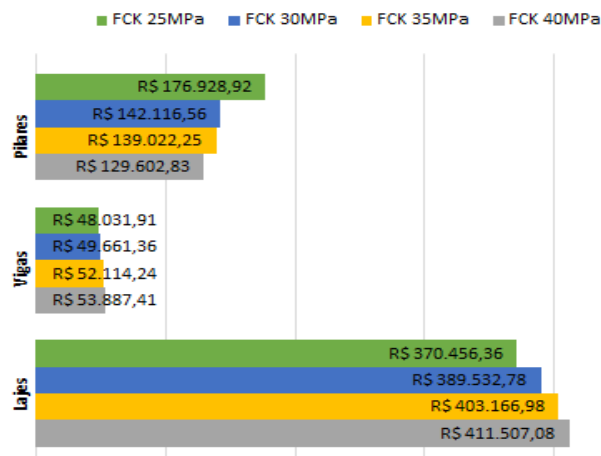


Figura 10. Custo por subestrutura para a proposta "C". Fonte: Próprio autor, 2015.

Para o subsistema vertical a proposta com o  $f_{ck}$  de 40 MPa mostrou-se mais econômica, com uma variação máxima entres as elas de 26,75%. E nas subestruturas horizontais as propostas com  $f_{ck}$  de 25 MPa foram mais econômicas, com variação máxima entre elas de 12,19% e 11,08% nas vigas e lajes respectivamente. O custo global dos materiais foram para aço, concreto e formas de 36%, 45% e 19% respectivamente.

E o custo global para a proposta "C" foram de 595.417,19 para FCK 25MPa, de 581.310,70 para FCK 30MPa, de 594.303,47 para FCK 35MPa e de 594.997,32 para FCK 40MPa.

Para esta proposta constatou que o  $f_{ck}$  de 30 MPa se tornou o mais viável técnico-econômico, com uma redução de custo de 2,37%.

O custo por  $m^2$  de área construída foi de 236,93 para FCK 25MPa, de 231,32 para FCK 30MPa, de 236,49 para FCK 35MPa e de 236,77 para FCK 40MPa.

A Figura 11 mostra a relação  $\text{kg}_{\text{aço}}/\text{m}^3_{\text{concreto}}$  na proposta "D":

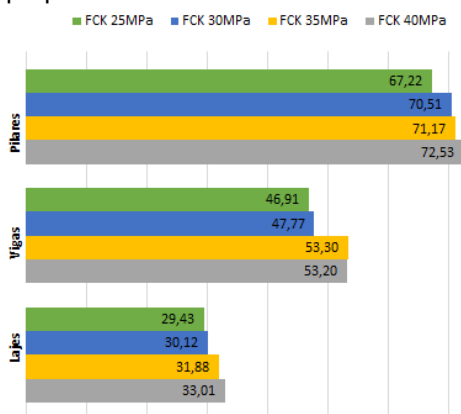


Figura 11. Relação  $\text{kg}_{\text{aço}}/\text{m}^3_{\text{concreto}}$  por subestrutura para a proposta "D". Fonte: Próprio autor, 2015.

Nos subsistema vertical verificou-se um crescimento regular no consumo de aço por  $\text{m}^3$  conforme o aumento do " $f_{ck}$ ", resultando em uma variação máxima de 7,9%.

No comparativo das subestruturas também se notou um crescimento no consumo de aço quando aumentado o " $f_{ck}$ ", atingindo uma variação máxima de 13,62% nas vigas e 12,16% nas lajes.

O consumo global de aço para a proposta "D", foi de 39,07 para FCK 25MPa, de 39,75 para FCK 30MPa, de 40,41 para FCK 35MPa e de 41,09 para FCK 40MPa.

Como observado nas propostas anteriores, está também constou que o consumo de aço por  $\text{m}^3$  cresceu juntamente com o aumento da resistência, onde teve uma variação entre os extremos de resistência de 5,17%.

A espessura média desta proposta foi de 0,303m, onde a espessura média atingiu uma variação máxima de 9,53% para os diferentes " $f_{ck}$ ". Como nas demais propostas, o consumo de formas diminuiu conforme o aumento do " $f_{ck}$ ", variando 6,29% e com a média de  $2,76 \text{ m}^2_{\text{formas}}/\text{m}^3_{\text{concreto}}$ . E o consumo médio de cubeta foi de 309 inteiras e 17 parciais.

Na Fig. 12 mostra os custos para cada subsistema.

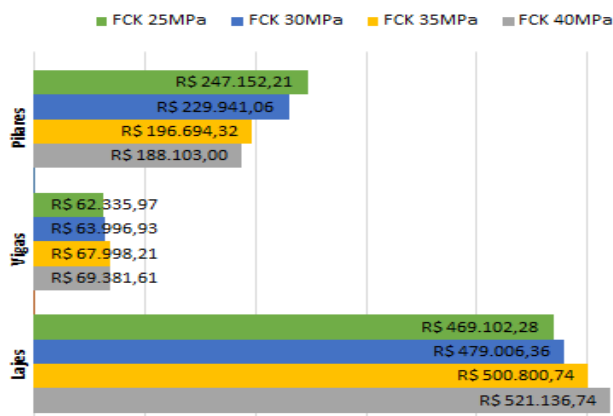


Figura 12. Custo por subestrutura para a proposta "D". Fonte: Próprio autor, 2015.

O concreto de 40 MPa se mostrou mais econômico no subsistema vertical, atingindo uma economia de 28,89%. Já para o subsistema horizontal a proposta com o " $f_{ck}$ " de 25 MPa se sobressaiu quanto as outras, alcançando uma economia de 10,15% e 9,98% para vigas e lajes respectivamente. Os custos médios para a proposta "D" para aço, concreto e formas foi de 37%, 46% e 17% respectivamente.

Já o custo global para a proposta "D" foi de 778.590,46 para FCK 25MPa, de 772.944,35 para FCK 30MPa, de 765.493,27 para FCK 35MPa e de 778.621,35 para FCK 40MPa.

Diferente das propostas anteriores, nesta o concreto de 35 MPa obteve a maior economia, reduzindo em 1,67% em relação ao de maior custo.

O custo por  $\text{m}^2$  de área construída foram de 240,98 para FCK 25MPa, de 239,23 para FCK 30MPa, de 236,92 para FCK 35MPa e de 240,98 para FCK 40MPa.

## Conclusão

Com embasamento nos resultados obtidos foi possível evidenciar a relevância que a utilização do " $f_{ck}$ " correto exerce no arranjo estrutural, mostrando que quando feita a escolha de forma correta pode-se obter ganhos econômicos no custo final da estrutura.

Com os dados gerados constatou-se uma inviabilidade no aumento de resistência a compressão no subsistema horizontal, isso se deu pelo fato de não serem feitas modificações nas dimensões destes elementos tendo alteração apenas nos maciços, onde suas medidas são acondicionadas as dimensões dos pilares, o que conseqüentemente resulta em uma variação insignificante no volume de concreto e não justifica o uso de " $f_{ck}$ " maiores devido seu custo ser mais elevado. Foi verificada uma variação média no custo final deste subsistema, chegando a aumentar 16,54% nas vigas e 11,16% nas lajes.

Nos subsistemas verticais ocorreu o inverso dos elementos horizontais, apresentando uma economia conforme aumentado os valores do " $f_{ck}$ " do concreto, onde chegou em até 28,89% a redução de custo em uma das propostas.

Para as quatro propostas aqui exibidas houve uma redução do custo quando utilizados " $f_{ck}$ " menores em estruturas de menos pavimentos, e conforme aumentava a quantidade de pavimento o " $f_{ck}$ " viável também subia. Para as propostas "A" e "B" o " $f_{ck}$ " mais viável foi o de 25 MPa, para a proposta "C" foi o de 30 MPa e de 35 MPa para a proposta "D". Atingindo uma economia no custo global entre as propostas de até 5,14%.

A espessura média obteve uma variação considerável, chegando a 11,93% em uma das propostas. No consumo de formas constatou uma



variação média, chegando a 6,29%. Já o uso de cubetas tornou-se mais viável conforme o aumento de pavimentos devido ao reaproveitamento das mesmas, onde na primeira proposta o custo médio das formas correspondia a 30 % do valor total e nas estruturas de 9 pavimentos teve uma contribuição de 17%, variando 13 % entre os extremos de quantidade de pavimentos.

Neste projeto teve alguns parâmetros definidos para realizar diferentes arranjos técnicos para dar suporte a acadêmicos e profissionais da área, de modo que eles analisem e utilizem os dados em casos práticos tendo em vista uma previsão do custo e uma possível geração de economia. Devido à complexidade e muitas outras combinações possíveis necessárias para gerar um vasto conteúdo bibliográfico neste seguimento, propõe-se a continuação de pesquisas no assunto em questão.

### Referências

ALVA, G. M. S. Concepção Estrutural de Edifícios Em Concreto Armado. Santa Maria, Maio 2007. 24.

ARAÚJO, J. M. D. Curso de Concreto Armado. 3ª. ed. Rio grande: Dunas, v. 1, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6120. Cargas para o cálculo de estruturas de edificações, Rio de Janeiro, 1980. 5.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6123. Forças devidas ao vento em edificações, Rio de Janeiro, 1988. 66.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7480. Barras e fios de aço destinados a armaduras para concreto armado, Rio de Janeiro, 1996. 7.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8681. Ações e segurança nas estruturas - Procedimento, Rio de Janeiro, 2003. 15.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14931. Execução de estruturas de concreto - Procedimento, 2004. 53.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118. Projeto de estruturas de concreto - Procedimento, Rio de Janeiro, 2014.

BARBOZA, M. R. Concepção e análise de estruturas de edifícios em concreto armado. Bauru 2008. 161.

BASTOS, P. S. D. S. Fundamentos do concreto armado. Bauru, Agosto 2006. 92.

BASTOS, P. S. D. S. Fundamentos do concreto armado. Bauru, Março 2006. 28.

CARVALHO, J. D. N. Sobre as origens e desenvolvimento do concreto. Revista tecnológica, v.17, 2008.

GIONGO, J. S. Concreto Armado: Introdução e propriedade dos materiais. São Carlos, Março 2007. 71.

GIONGO, J. S. Concreto armado: projeto estrutural de edifícios. São Carlos, Fevereiro 2007. 184.

MONCAYO, W. J. Z. Análise de segunda ordem global em edifícios com estrutura de concreto armado. EESC-USP. São Carlos, 2011. 221.

PINHEIRO, L. M. Fundamentos do concreto e projeto de edifícios. São Carlos, Maio 2007.

OLIVEIRA, A.; VENÂNCIO P. Contabilidade de custos. curso em PDF, ICMS – SP.

RIBEIRO, J. F. Estabilidade global de edifícios: análise dos efeitos de segunda ordem nas estruturas de concreto. Porto Alegre, dezembro 2010. 81.