

OTIMIZAÇÃO ESTRUTURAL DE LAJES NERVURADAS DE CONCRETO ARMADO

Carlos Alberto Mignoni Marcolin

Acadêmico do curso de Engenharia Civil Universidade de Passo Fundo

carlos_mignoni@hotmail.com

Moacir Kripka

Professor/Pesquisador do curso de Engenharia Civil Universidade de Passo Fundo

mkripka@upf.br

Resumo. Lajes são elementos que contribuem em grande parte do custo empregado na estrutura. Como nos dias de hoje há uma grande necessidade na redução de custos e na velocidade em se executar um projeto, buscam-se ferramentas para se agilizar estes processos. Muitas destas ferramentas hoje utilizadas correspondem a métodos matemáticos onde se busca a otimização do custo respeitando os requisitos básicos de segurança que uma estrutura deve apresentar. Utilizando ferramentas de otimização, foi desenvolvida uma formulação objetivando minimizar os custos de uma laje nervurada armada em uma direção em concreto armado respeitando os limites de segurança impostos pela NBR 6118:2007.

Palavras-chave: Custos. Lajes Nervuradas. Otimização Estrutural.

1. INTRODUÇÃO

Sendo o projeto estrutural um processo bastante complexo e importante, cada vez mais existe a demanda de projetos mais econômicos e seguros. Uma estrutura sempre deverá se apresentar resistente as ações que serão impostas a ela, e isso com o menor custo possível.

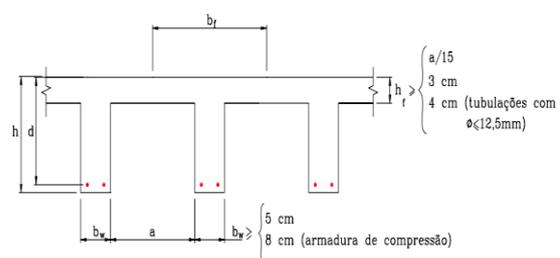
O pré-dimensionamento é uma etapa importante para o cálculo estrutural, mas normalmente é feita por fórmulas empíricas ou pela experiência do engenheiro projetista. Os problemas de dimensionamento nos

últimos tempos têm sido resolvidos através da tentativa e do erro. Nos dias de hoje, com os avanços dos recursos computacionais, ferramentas de otimização podem ser desenvolvidas para auxílio de engenheiros na busca do dimensionamento ótimo.

O custo das lajes é um fator importante no custo total da estrutura. Existem diversos tipos de concepções estruturais, e estas são indicadas para diferentes tipos de vãos e obras. Neste sentido, a escolha do tipo de laje e seu dimensionamento de forma otimizada podem propiciar uma grande economia.

O presente trabalho teve como objetivo formular e implementar um modelo matemático para minimizar o custo final da execução de uma laje nervurada armada em uma direção em concreto armado. Para atingir o objetivo proposto, o problema foi formulado tendo como variáveis as dimensões da nervura, a espessura da laje e a distância entre as nervuras, conforme Figura 1. A função objetivo é composta pelo custo de cada material componente (aço, concreto e madeira das formas).

Figura 1 Condições da NBR 6118:2007



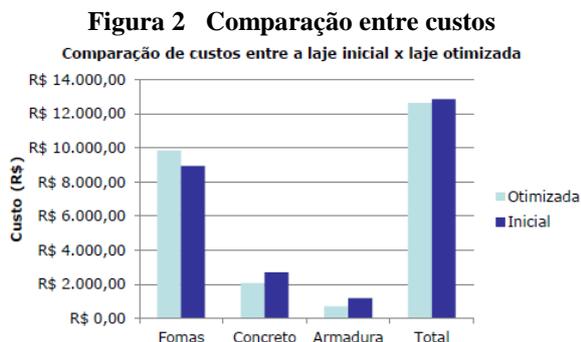
2. ANÁLISES NUMÉRICAS

A formulação desenvolvida foi implementada e otimizada com o auxílio do Solver Excel. Na sequência apresentam-se os resultados obtidos a partir da comparação com a literatura e com os custos otimizados de lajes maciças obtidos também através de técnica de otimização.

2.3 Otimização de laje nervurada

Otimização de laje nervurada, armada em uma direção, com valores iniciais referentes a carregamento acidental 2,0 kN/m², resistência do concreto 20 MPa e aço tipo CA-50.

No gráfico a seguir é mostrado os resultados obtidos na comparação da laje inicial não otimizada e a laje após otimização.



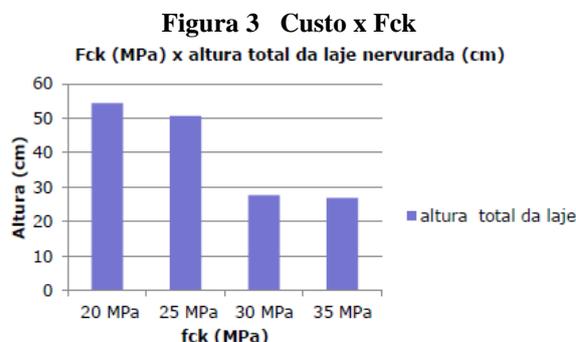
3.3 Comparação entre custos variando a resistência do concreto

Para avaliar se com o aumento da resistência do concreto alguma influência é causada na otimização, foram realizadas também algumas simulações da laje nervurada armada em uma direção, com o Fck sendo alterado para 20 MPa, 25 MPa, 30 MPa, 35 MPa, onde seus resultados são mostrados na Figura 3 e na Tabela 1:

Tabela 1 Custo x Resistência do concreto

Fck	Custo (R\$)	Vão
20 MPa	R\$ 12.617,37	580 cm
25 MPa	R\$ 12.276,11	580 cm
30 MPa	R\$ 10.509,11	580 cm
35 MPa	R\$ 10.377,25	580 cm

Observou-se que, com o aumento da resistência do concreto houve uma diminuição do custo total da laje nervurada, ocorre isto, pois com o aumento da resistência do concreto a laje tende a resistir mais os esforços aplicados nela, e há também uma diminuição da sua altura total diminuindo seu peso próprio como mostra a Figura 3, que também influencia nessa queda de custo.



3.4 Comparação entre custos otimizados de lajes maciças e lajes nervuradas armadas em uma direção

A espessura econômica para lajes está associada ao tamanho dos vãos. Os vãos econômicos para lajes maciças de concreto armado ficam em torno de 4 a 7m, resultando áreas de 15 a 20 m², (VASCONCELLOS et al., 2012).

Para a comparação entre custos otimizados de lajes nervuradas e lajes maciças foram utilizados carregamentos acidentais de 1,5 kN/m² à 5,0 kN/m², armadas em uma direção com proporção de vãos de $\lambda = l_y$ (lado maior)/ l_x (lado menor), $\lambda=2$

Observando a Figura 4 e Figura 5 abaixo, nota-se que as lajes maciças em um primeiro momento possuem menor custo e as lajes nervuradas maior custo, mas com o

aumento dos vãos essa diferença começa a cair, até que se torna nula e a partir de um momento a laje nervurada torna-se mais econômica que a laje maciça.

Figura 4 Custo lajes por metro otimizadas: nervuradas x maciça – Carga acidental 1,5kN/m²

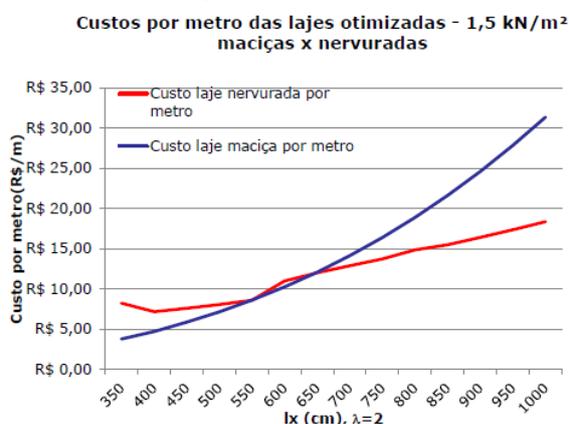
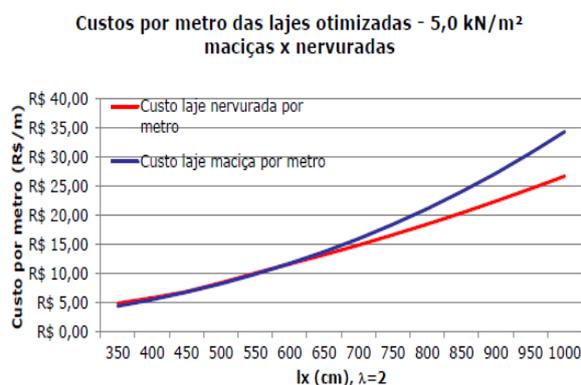


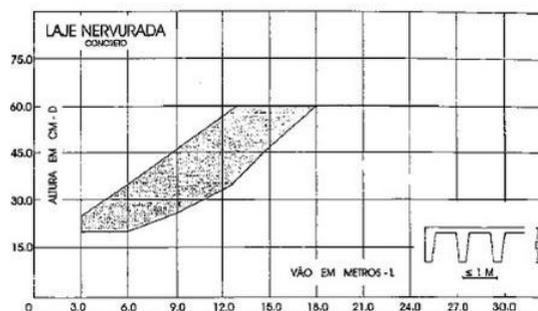
Figura 5 Custo lajes por metro otimizadas: nervuradas x maciça – Carga acidental 5,0 kN/m²



Com a comparação entre a Figura 6 que compreende o gráfico com os vãos e alturas teoricamente mais econômicas para lajes nervuradas, e Figura 7 que são os resultados das lajes nervuradas otimizadas armadas em uma direção, para vãos menores a otimização conseguiu resultados inferiores em relação à altura da laje. As lajes otimizadas com menor carga aplicada possuem alturas menores nos vãos inferiores em comparação à laje nervurada com maior carga aplicada, já nos vãos maiores esta situação se inverte. Como a otimização visou à minimização do custo da laje e a altura total desta não foi considerada uma restrição ao problema, a partir de vãos

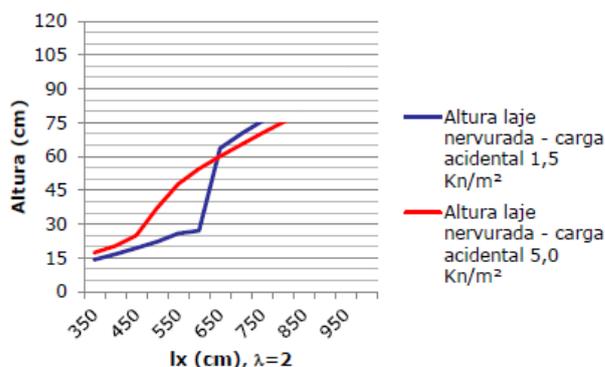
maiores as lajes otimizadas passam a ter uma altura maior do que as da Figura 6.

Figura 6 Relação teórica entre altura da laje e vão
Uso de gráficos



Fonte: Rebello (2007)

Figura 7 Comparativo entre alturas das lajes nervuradas otimizadas



3.5 Comparação entre os pesos das lajes otimizadas maciças e nervuradas

Na comparação entre os pesos das lajes foram utilizadas as mesmas lajes trabalhadas nos tópicos anteriores. Foi apenas considerado o peso do concreto armado, este com peso específico (γ_{CA}) de 25 kN/m³, as fôrmas não foram consideradas para a comparação entre pesos pois como após o concreto atingir certa resistência elas são retiradas da estrutura, permanecendo assim apenas o concreto armado. Para as cargas acidentais consideradas o mínimo 1,5 kN/m² e máximo 5,0 kN/m² disposto em norma.

Figura 8 Comparação entre pesos das lajes maciças e nervuradas – carga acidental de 1,5kN/m²

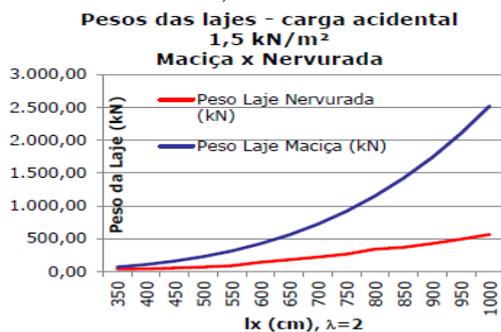
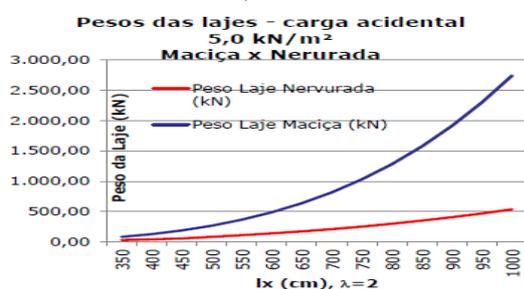


Figura 9 Comparação entre pesos das lajes maciças e nervuradas – carga acidental de 5,0kN/m²



Enquanto o peso da laje nervurada cresce num ritmo quase constante, o peso da laje maciça após certo momento cresce rapidamente.

Podemos apontar vantagem em relação ao peso da estrutura para as lajes nervurada, pois apresentam um peso menor, e isto pode influenciar no custo final da infraestrutura da construção, como por exemplo, as fundações.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Na otimização da laje nervurada, percebeu-se que a quantidade de formas envolvida aumentou, mas em contrapartida as quantidades de concreto e aço tiveram uma significativa diminuição.

Quando houve variação da resistência do concreto, o comportamento do custo das lajes nervuradas otimizadas teve uma queda, mostrando que o tipo de concreto utilizado tem grande influencia nos resultados de otimização.

Após o uso da otimização nas estruturas, percebeu-se que a mesa da laje, a espessura da nervura tendem as menores dimensões determinadas na NBR6118:2007, variando na otimização a altura da total da laje.

Ficou evidenciado que para grandes vãos a laje nervurada é mais econômica e mais leve.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, ABNT. *NBR 6118 – Projeto de Estruturas de Concreto Armado*. Rio de Janeiro, 221p., 2007.

CATÁLOGO DIGITAL DE DETALHAMENTO DA CONSTRUÇÃO, REALIZADO PELO CURSO DE ARQUITETURA E URBANISMO DA UNIVERSIDADE FEEVALE; *Lajes Maciças de Concreto Armado*. Disponível em: <http://cddcarqfeevale.wordpress.com/2012/04/03/lajes-macicas-de-concreto-armado/>. Acesso em : 01Jun 2013.

DIAS, M. M. *Otimização do Custo de Lajes Maciças de Concreto Armado*. Dissertação (Relatório de Trabalho de Conclusão de Curso, em Engenharia Civil), Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2010.