

## **ANÁLISE A PUNÇÃO EM LAJES LISAS NERVURADAS COM DIFERENTES ARMADURAS**

**Autor(es): Gustavo Sampaio Gomes<sup>1</sup>; Ricardo José Carvalho Silva<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Engenharia Civil, CCET, UVA; E-mail: gustavocoreau1998@gmail.com,  
<sup>2</sup> Docente/pesquisador, CCET, UVA. E-mail: ricardo.carvalho222@gmail.com.

**Resumo:** Esta pesquisa tem por objetivo examinar a capacidade de resistência à punção em lajes lisas nervuradas de concreto armado. As diretrizes estabelecidas pelas normas brasileira, americana e europeia tratam a punção em lajes lisas nervuradas da mesma forma que as lajes lisas maciças. No entanto, em algumas situações, as características geométricas, a disposição das armaduras e sua configuração na laje podem reduzir significativamente sua resistência à punção. Como resultado, foi proposto realizar uma análise não linear em 5 lajes lisas nervuradas, modeladas utilizando o software de elementos finitos ANSYS, com variações na bitola das armaduras de flexão. Com base nos resultados, verificou-se que os resultados obtidos pelas normas seguem uma linha de pensamento semelhante aos resultados computacionais, onde o aumento da taxa de armadura resulta em maior resistência à punção. Através desta pesquisa e dos resultados apresentados, esperamos contribuir para futuras publicações na área.

**Palavras-chave:** Punção, Normas, Lajes Nervuradas, Armaduras.

### **INTRODUÇÃO E OBJETIVO**

A laje lisa nervurada representa uma variante das lajes nervuradas que mescla características das lajes lisas com as nervuradas. Em outras palavras, ela é o termo usado para descrever uma laje nervurada sem vigas, em vez disso, apresentando uma pequena região maciça onde ocorre a ligação direta com o pilar. As lajes nervuradas são empregadas quando se busca abranger vãos mais amplos em estruturas, sendo um dos objetivos mais comuns a redução das cargas nos projetos estruturais. No entanto, essa escolha não se limita a grandes construções, pois elas também se mostram adequadas para edifícios residências multifamiliares e escritórios, frequentemente influenciada por considerações arquitetônicas. A seleção de uma laje maciça de concreto armado torna-se economicamente ineficiente em vãos mais extensos, resultando em desperdício de material sem uma função efetiva.

Contudo, a fragilidade em relação à ruptura por punção é a principal desvantagem desse sistema estrutural. A punção representa uma falha súbita que pode ocorrer em lajes lisas. Quando um pilar exerce pressão sobre a laje, isso gera tensões críticas que originam uma zona de ruptura em forma de cone por punção. Esse cone de falha pode resultar ao descolamento completo da laje do pilar, desencadeando uma redistribuição das cargas e, potencialmente, contribuindo para um colapso progressivo na estrutura. No contexto de lajes lisas nervuradas, as características geométricas, a disposição das armaduras e sua configuração na laje desempenham um papel vital na resistência à punção, uma vez que é essencial que a formação do cone de ruptura permaneça contida na região maciça da laje.

Hoje, as normas abordam a resistência à punção em lajes lisas nervuradas da mesma maneira que as lajes lisas maciça. No entanto, com base em resultados experimentais recentes que indicam que as características geométricas, a disposição das armaduras e sua configuração na



UNIVERSIDADE ESTADUAL  
VALE DO ACARAÚ

Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação - PRPPG



**CEARÁ**  
GOVERNO DO ESTADO  
SECRETARIA DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA  
E EDUCAÇÃO SUPERIOR

laje podem reduzir significativamente sua resistência à punção, essa divergência serviu de motivação e justificativa para a condução desta pesquisa. Dessa forma, este estudo foi proposto com a finalidade de examinar a resistência à punção em lajes lisas nervuradas, com variação das bitolas das armaduras de flexão, o que resulta em um aumento da área de aço e na taxa de armadura. Portanto, este estudo se apresenta de grande utilidade, especialmente considerando o crescimento econômico e populacional na cidade de Sobral, que tem visto o surgimento de inúmeras edificações de alto padrão. Nesse contexto, torna-se imperativo explorar métodos mais econômicos, como as lajes lisas nervuradas de concreto armado, com o propósito de realizar um correto dimensionamento e execução dos empreendimentos.

## MATERIAIS E MÉTODOS

No âmbito deste estudo, foram modeladas computacionalmente cinco lajes lisas nervuradas quadradas bidirecionais em concreto armado, utilizando o software de elementos finitos ANSYS Workbench. Estas lajes tinham dimensões de 1800 mm de lado, 140mm de espessura, uma capa de concreto de 60mm e nervuras de 50mm, espaçadas a cada 250mm. Os carregamentos foram aplicados de baixo para cima, no centro dos vãos, por meio de uma placa quadrada com 85mm de lado e 50mm de espessura, simulando a ação de um pilar. As propriedades do concreto e do aço foram as mesmas para todas as lajes, com uma resistência a compressão do concreto de 37 MPa, tensão de escoamento e módulo de elasticidade do aço de 601 MPa e 210 GPa, respectivamente. A armadura de flexão, localizada na superfície superior da laje, possuía a mesma disposição em todas as lajes simuladas, com 21 bitolas nas direções X e Y. A variável entre as cinco lajes modeladas computacionalmente foi a bitola da armadura de flexão, com bitolas de 8, 10, 12.5, 16 e 20mm adotadas para L1, L2, L3, L4 e L5, respectivamente.

A pesquisa foi dividida em três etapas principais, envolvendo uma análise numérica computacional das lajes no Ansys Workbench, utilizando o sistema de análise Static Structural. A primeira etapa compreendeu a modelagem da geometria das lajes, realizada no menu “Geometry”. Cada laje foi modelada de acordo com as dimensões predefinidas e subdivididas em quatro partes para otimizar o esforço computacional. Nesse estágio, as cinco lajes tiveram sua geometria modelada, incluindo a representação das armaduras, da placa de concreto que simulava o pilar e da viga de reação.

A segunda fase, uma das partes cruciais da pesquisa, está relacionada à análise computacional no menu “Model”. Nesse estágio, foram inseridas as propriedades do concreto e do aço, definidos os tipos de contato entre os elementos modelados e estabelecidas simetrias para o espelhamento e simulação da laje como um todo. Também, durante essa fase, foram definidas as malhas dos elementos em todos os objetos (laje, armaduras e pilar), o local de aplicação da carga e a função da viga de reação, cujo propósito é impedir o deslocamento no eixo Y.

A terceira etapa consistiu na interpretação dos resultados, realizada também no menu “Model”, onde ferramentas e comandos foram inseridos e ativados com o objetivo de ilustrar e mostrar os resultados da fase anterior. Para esta pesquisa, uma das principais análises foi conduzida por meio do gráfico carga-deformação no centro do vão. É importante mencionar que o programa não gera o gráfico em si, mas fornece os valores de carga e deformação para o número de etapas definidas nas configurações de análises. Após a coleta desses valores, o gráfico foi criado utilizando o software de planilhas eletrônicas, Excel.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES



UNIVERSIDADE ESTADUAL  
VALE DO ACARAÚ

Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação - PRPPG



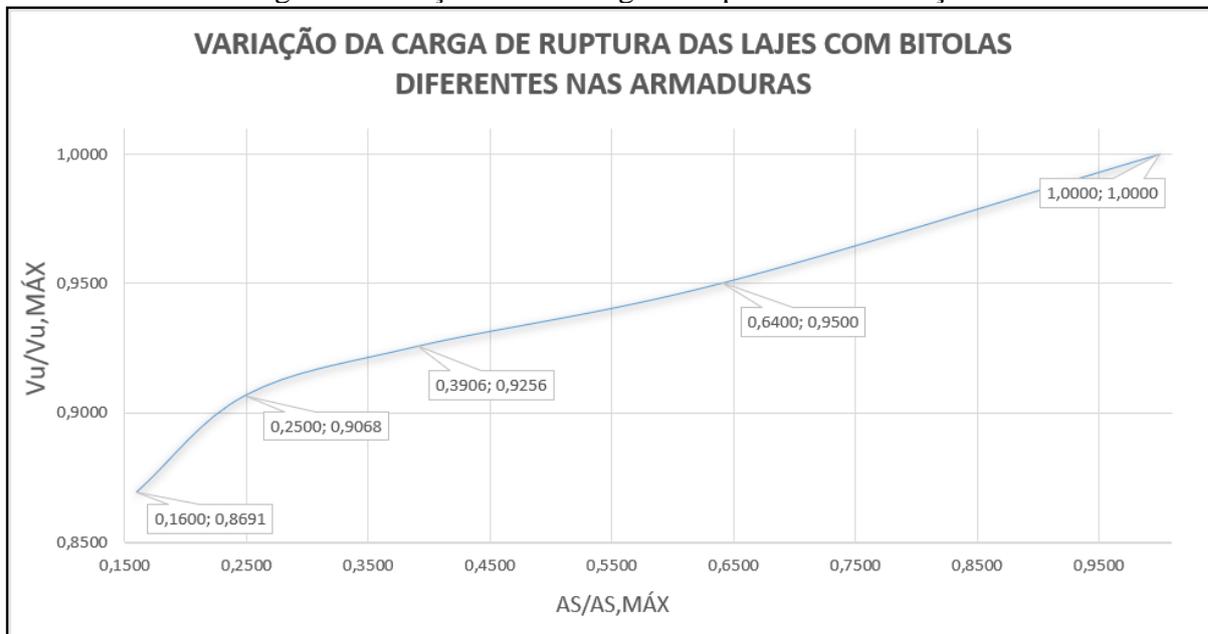
**CEARÁ**  
GOVERNO DO ESTADO  
SECRETARIA DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA  
E EDUCAÇÃO SUPERIOR

Por meio da modelagem computacional das lajes lisas nervuradas de concreto armado, foi possível observar, com base na quarta coluna da Tabela 1, a qual representa a carga de ruptura por punção, que o aumento da taxa de armadura resultou em uma maior resistência à punção. Conforme a bitola da armadura aumentava, a carga por punção foi consequentemente aumentando.

Tabela 1: Resultados.

Laje	Bitola (mm)	As (cm <sup>2</sup> )	As/As,Máx	Vu (KN)	Vu/Vu,Máx
L1	8	10,5558	0,1600	281,6	0,8691
L2	10	16,4934	0,2500	293,8	0,9068
L3	12,5	25,7709	0,3906	299,9	0,9256
L4	16	42,2230	0,6400	307,8	0,9500
L5	20	65,9734	1,0000	324,0	1,0000

Figura 1: Relação entre a carga de ruptura e área de aço.



Fonte: Autor (2023).

Ao examinar a Figura 1, que apresenta no eixo X a relação entre a área de aço estudada e a área de aço máxima entre as áreas de aço consideradas na pesquisa, e no eixo Y a relação entre a carga de ruptura estudada e a carga máxima de ruptura obtida entre as lajes ensaiadas, é possível notar o crescimento não linear da resistência à punção à medida que a área de aço aumenta.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste estudo, a análise da resistência à punção em lajes lisas nervuradas de concreto armado baseou-se na variação da bitola das armaduras de flexão. Com base nos resultados dos ensaios, verificou-se que, de acordo com as análises numéricas conduzidas nesta pesquisa, as formulações normativas demonstraram coerência, visto que o aumento da taxa de armadura resultou em uma maior resistência à punção.

No entanto, pode-se concluir que a carga de punção aumentou de maneira não linear, indicando que o incremento na área de aço das armaduras de flexão resulta em um



UNIVERSIDADE ESTADUAL  
VALE DO ACARAÚ

Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação - PRPPG



**CEARÁ**  
GOVERNO DO ESTADO  
SECRETARIA DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA  
E EDUCAÇÃO SUPERIOR

crescimento da resistência à punção também de forma não linear.

É relevante salientar que as conclusões apresentadas neste estudo se aplicam exclusivamente às lajes analisadas. Portanto, é necessário conduzir mais experimentos para corroborar os argumentos apresentados.

## AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar meu sincero agradecimento ao Programa de Bolsas de Permanência Universitária, à Universidade Estadual Vale do Acaraú e ao grupo de pesquisas-GEM.

## REFERÊNCIAS

Al-Bayati, A. F.; Lau, T. L.; Clark, L. A (2015). **Concentric punching shear of waffle slab**. ACI Structural Journal, v. 112, n. 5, p. 533, 2015.

Albuquerque, N. G. B. (2009). **Análise experimental de lajes lisas nervuradas de concreto armado com região maciça de geometria variável ao punçionamento**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Pará, Instituto de Tecnologia.

ANSYS Inc. ANSYS Composite PrepPost User's Guide [Manual], Release 15.0. Canonsburg, Pennsylvania, EUA, 2013a.

ANSYS Inc. ANSYS Mechanical APDL Material Reference [Manual], Release 15.0. Canonsburg, Pennsylvania, EUA, 2013b.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6118. (2014). **Projeto de estruturas de concreto - Procedimento**, Rio de Janeiro.

MUTTONI, A. Punching Shear Strength of Reinforced Concrete Slabs without Transverse Reinforcement. ACI Structural Journal, Farmington Hills, v. 105, n.4, p. 440-450, Julho/Agosto. 2008.

Souza, S. S. M.; Oliveira, D. R. C. (2011), **Reinforced Concrete Waffle Flat Slabs under Shearing**, IBRACON Structures and Materials Journal, V. 4, No. 4, 2011, pp. 610-625.

Souza, W. M., Caetano, T. R. G., Ferreira, M. P.; Oliveira, D. R. C. (2014). **Shear strength of reinforced concrete one-way ribbed slabs**. *Revista IBRACON de Estruturas e Materiais*, 7, 648-684.

Souza, S.; Shehata, I.; Shehata, L. (2015). **Shear resistance of reinforced concrete waffle flat slabs around the solid panel**. *Materials and Structures*. 1-14. 10.1617/s11527-015-0582-x.