

## ANÁLISE NUMÉRICA DA RESISTÊNCIA À PUNÇÃO EM LAJES LISAS DE CONCRETO COM AGREGADOS RECICLADOS

Nicole Gonzalez Cavalini (PIBIC/CNPq/FA/UEM), Elyson Andrew Pozo Liberati (Orientador). E-mail: ra119054@uem.br.

Universidade Estadual de Maringá, Departamento de Engenharia Civil, Maringá, PR.

**Engenharias, Engenharia Civil.**

**Palavras-chave:** Concreto armado; Lajes lisas; Punção; Agregados reciclados.

### RESUMO

O crescimento populacional e a urbanização nas últimas décadas impulsionaram a indústria da construção civil, levando ao aumento das construções, reformas e demolições. A utilização de agregados reciclados de concreto tem se tornado mais comum devido à busca por sustentabilidade e aos benefícios socioeconômicos. No entanto, a aplicação desses materiais ainda enfrenta desafios, principalmente no que diz respeito à resistência à punção em lajes de concreto armado. Embora existam normas internacionais para padronizar o uso de agregados reciclados, a resistência à punção pode ser afetada pela menor resistência mecânica dos agregados reciclados e pela melhor aderência entre a pasta de cimento e o agregado reciclado devido à sua porosidade e rugosidade. O objetivo desta pesquisa é investigar numericamente a resistência à punção de lajes de concreto armado com substituição de agregados naturais por reciclados, utilizando o *software* ABAQUS. Os resultados obtidos foram comparados com as estimativas das normas EUROCODE 2, ABNT NBR 6118 e ACI 318.

### INTRODUÇÃO

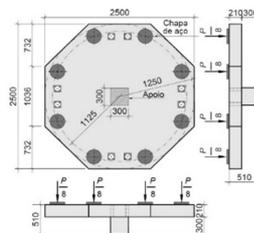
O fenômeno da punção é um modo de ruptura que ocorre por cisalhamento em elementos delgados submetidos a carga ou reação concentrada aplicada transversalmente que provoca elevadas tensões de cisalhamento em torno de regiões relativamente pequenas, podendo resultar em ruptura sem aviso. (ALBUQUERQUE, 2010).

A popularização da utilização de agregados reciclados de concreto no mundo tem aumentado em virtude de aspectos socioeconômicos, mas sobretudo, ao passo que se caminha em busca da sustentabilidade e, nesse contexto, algumas normas

internacionais foram publicadas com o intuito de viabilizar e padronizar o uso desse material. Apesar da constante evolução dos estudos sobre punção, há a necessidade de ajustes normativos nacionais e internacionais em relação à utilização de agregados reciclados de concreto em estruturas de concreto armado. Dessa forma, este trabalho tem como objetivo investigar numericamente via Método dos Elementos Finitos a resistência à punção de lajes lisas de concreto armado com substituição de agregados naturais por agregados reciclados de concreto. Além disso, pretende-se comparar os resultados obtidos com os estimados pelas principais normas de projeto.

## MATERIAIS E MÉTODOS

O *software* ABAQUS foi escolhido para o desenvolvimento das análises numéricas não lineares via Métodos dos Elementos Finitos a partir da calibração dos resultados de ensaios experimentais de carga de ruptura de lajes lisas de concreto com substituição de agregados graúdos naturais por reciclados de concreto (ARGO-G). O trabalho de Ribeiro Junior (2022) foi adotado como referência onde os modelos numéricos foram desenvolvidos para as lajes com taxa de armadura de flexão ( $\rho$ ) de 1,4% e com teor de ARGO-G de 0% (Laje S-1,4-0) e de 30% (Laje S-1,4-30).



**Figura 1** -Geometria das lajes.  
Fonte: Ribeiro Junior (2022).

Os resultados obtidos de carga de ruptura foram comparados com os resultados estimados pelas normas EUROCODE 2 (2004), ABNT NBR 6118 (2023) e ACI 318 (2019).

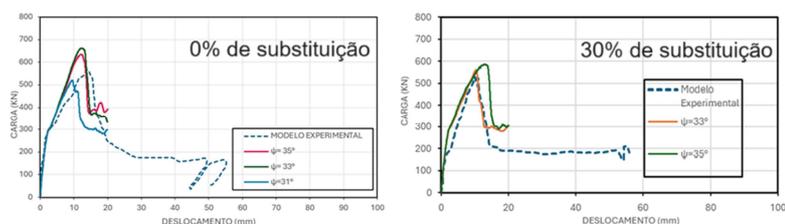
## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 1 apresenta os resultados obtidos dos modelos calibrados na pesquisa em comparação com os resultados experimentais para as lajes sem substituição de agregado e com 30% de substituição de agregado comum por agregado reciclado. Para ambos os modelos, variou-se o ângulo de dilatação, o qual influenciou a rigidez

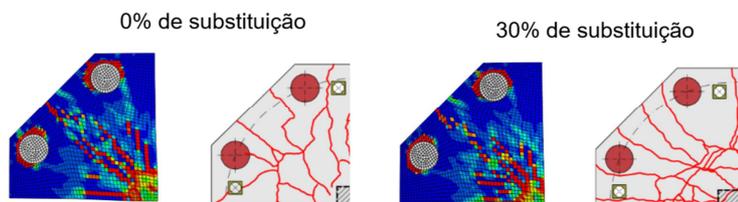
do modelo, tornando-o mais ou menos rígido. Com o aumento desse ângulo, o modelo apresenta maior rigidez, resultando em uma mudança na inclinação da região elástica da curva. O ângulo de dilatação foi ajustado entre 30° e 35.

A Figura 2 apresenta a fissuração da laje no modelo experimental para a laje com 0 e 30% de substituição de agregado reciclado, respectivamente. Verificou-se que os modelos numéricos conseguiram representar o padrão de fissuração das lajes estudadas.

Por fim, determinou-se o valor da carga de ruptura das rompidas no trabalho de Ribeiro Junior (2022) tendo como base os códigos normativos EUROCODE 2 (2004), ABNT NBR 6118 (2023) e ACI 318 (2019), comparando os resultados com o valor experimental de cada uma. Como exemplificado na Tabela 2.



**Figura 2** - Curva de Carga - Deslocamento para laje sem substituição de agregado e para laje com 30% de substituição de agregado comum por agregado reciclado, respectivamente.



**Figura 3** - Mapas de Fissurações dos modelos numérico e experimental com 0% e 30% de substituição de agregado comum por agregado reciclado.

**Tabela 1 – Comparação entre as cargas de ruptura experimental com as previstas pelas normas**

Laje	Carga de Ruptura Experimental $V_{exp}$ (KN)	$V_{exp/NBR}$ 6118-23	$V_{exp/ACI}$ 318-19	$V_{exp/EC}$ 2-04
S-1,4-0	562,52	1,20	1,16	0,91
S-1,4-30	518,42	1,13	1,11	0,86

## CONCLUSÕES

Os modelos numéricos apresentaram resultados próximos do modelo experimental, sendo que a laje com 30% de substituição por agregado reciclado apresentou uma

carga de rompimento aproximadamente 7,5% maior que valor experimental. Já o mapa de fissuração do modelo numérico apresentou um resultado semelhante ao observado no modelo experimental. Ambos mostram fissuras radiais e tangenciais se propagando na mesma direção uma em relação à outra, como evidenciado nas duas imagens comparativas.

A ABNT NBR 6118 (2023) e o ACI 318 (2019) mostraram previsões relativamente próximas entre si e o Eurocode-04 apresentou uma estimativa maior que o valor experimental. A maior variação entre as cargas de ruptura foi a prevista pela ABNT NBR 6118 (2023) para a laje S-1,4-0 com um valor 20% maior que o resultado experimental.

## AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio financeiro da Universidade Estadual de Maringá.

## REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, E. J. P. **Punção em lajes lisas com armadura de cisalhamento e pilares de centro retangulares**. 2010. 299f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade de Brasília. Brasília, DF, 2010.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. ACI 318-14. **Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary (ACI 318R-11)**. Farmington Hills, Michigan, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6118: Projeto de Estruturas de Concreto Armado**. Rio de Janeiro, 2023.

EUROCODE 2, **Design of Concrete Structures—Part 1-1: General Rules and Rules for Buildings**, CEN, EN 1992D1D1, Brussels, Belgium, 2004, 225 p.

RIBEIRO JUNIOR, J. A. **Análise experimental da resistência à punção em lajes lisas com substituição de agregados graúdos naturais por reciclados de concreto**. 2022, 86 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Infraestrutura e Desenvolvimento Energético) - Universidade Federal do Pará. Tucuruí, 2022.