

## **ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA VARIAÇÃO DO ESPAÇAMENTO DE ESTRIBOS NA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL DE PILARES CURTOS**

EMANOEL CUNHA ARAUJO<sup>1\*</sup>; RICARDO JOSÉ CARVALHO SILVA<sup>2</sup>;

<sup>1</sup>Engenheiro Civil, Mestrando em Construção Civil e Estruturas. Pesquisador CAPES, UEFS, Feira de Santana-BA, emanoel.cunha@hotmail.com;

<sup>2</sup>Professor Doutor, Curso de Engenharia Civil, UVA, Sobral-CE, Ricardo.carvalho222@gmail.com

Apresentado no  
Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC'2018  
21 a 24 de agosto de 2018 – Maceió-AL, Brasil

**RESUMO:** O desenvolvimento de materiais de construção cada vez mais resistentes tem proporcionado aos engenheiros calculistas a possibilidade do uso de estruturas mais resistentes e ousadas, aliado a isso os métodos de análises das mesmas necessitam de cautela, uma vez que o mau dimensionamento pode comprometer a estabilidade do ponto de vista global, fazendo com que as condições de serviço da estrutura não sejam atendidas. O estudo teórico-experimental aliado à indústria da construção civil é de extrema importância para o aperfeiçoamento de técnicas, comprovação de teorias e melhoramento de métodos de cálculo, sendo fator preponderante nas formas de dimensionamento e execução de peças estruturais. Nesse trabalho, foram analisados os efeitos causados pela variação do espaçamento de estribos em pilares curtos de concreto armado. Para tal, foram moldados 05 modelos reduzidos com 50 cm de comprimento e seção transversal de 10 x 10 cm, nomeados de pilar E1, E2, E3, E4 e E5. Os pilares foram analisados através de ensaio à compressão axial a fim de que fossem observados os efeitos da variação de estribos no comportamento e resistência. Observou-se através dos resultados formação de núcleo resistivo em alguns espécimes e que o aumento na quantidade de estribos não traz ganho significativo de resistência.

**PALAVRAS-CHAVE:** Pilares, Concreto Armado, Estribos.

### **MAPPING OF THE PEDOLOGICAL POTENTIAL OF THE PARAÍBA STATE FOR THE CULTIVATION OF SUGAR CANE (*Saccharum spp*)**

**ABSTRACT:** The development of increasingly resistant building materials has given structural engineers the possibility of using more resistant and daring structures, on the other hand methods of analysis need to be cautious, since poor design can compromise the global stability of the structure, causing the service conditions of the structure to not be met. The theoretical-experimental study, together with the civil construction industry, is of extreme importance for the improvement of techniques, proof of theories, and improvement of calculation methods, being it a preponderant factor in the dimensioning and execution of structural parts. In this work, the effects caused by variation of stirrups spacing in short columns of reinforced concrete were analyzed. For this purpose, 5 reduced models with a length of 50 cm and a cross section of 10 x 10 cm were molded, such were named pillar E1, E2, E3, E4, and E5. The pillars were analyzed by axial compression test in order to observe the effects of stirrups variation on behavior and resistance. Resistive core formation in some specimens was observed through the results, and that the increase in the number of stirrups did not bring significant gain to resistance.

**KEYWORDS:** Pillars, Reinforced Concrete, Stirrups.

### **INTRODUÇÃO**

A criação de novos tipos de concretos com resistências cada vez maiores tem proporcionado a realização de obras mais esbeltas, com vários pavimentos e grandes vãos, garantindo, desta forma, maiores áreas livres para a utilização. Contudo, o desenvolvimento de materiais e estruturas utilizados

é proporcional às precauções no momento de concepção do projeto e no controle tecnológico da execução, uma vez que os parâmetros de projeto devem ser seguidos para que a qualidade, resistência e durabilidade da estrutura sejam garantidas. A utilização de concretos com resistências maiores proporcionou também a redução da seção transversal em pilares de concreto armado. Apesar disso, os efeitos de segunda ordem devem ser tratados com cautela, pois dependendo da esbeltez do pilar, a teoria de primeira ordem passa a ser desconsiderada, considerando a partir de então a não linearidade do pilar de concreto armado.

Todavia em pilares de concreto armado com resistências elevadas, a ductilidade do mesmo é limitada e a ruína desses elementos ocorre com reduzidas deformações, isto é, a estrutura não “avisa” quando está próxima a ruptura. Uma das formas usualmente encontrada nos canteiros de obra para o aumento da ductilidade desses elementos é a diminuição do espaçamento entre estribos, uma vez que o pilar submetido à carga axial causa uma deformação lateral do concreto flambando as armaduras longitudinais, o estribo por sua vez causa o confinamento dessa armadura, gerando uma espécie de núcleo confinado.

Os pilares são elementos responsáveis por transferir os esforços atuantes em lajes, vigas e do vento para a fundação. A NBR 6118:2014 define pilar como “um elemento linear de eixo reto, usualmente disposto na vertical, em que as forças normais de compressão são preponderantes”. Para que o pilar possua a segurança em serviço para o qual foi projetado ele deve atender a três requisitos básicos: resistência, rigidez e estabilidade.

A quantidade de softwares comerciais disponíveis no mercado auxilia nas mudanças ocorridas nas formas das edificações. Os cálculos, que antes eram laborais, passaram a ser resolvidos de forma computadorizada, proporcionando análises mais refinadas em um curto espaço de tempo, com redução de custos e precisão nos resultados obtidos.

As pesquisas sobre pilares de concreto armado tem ganhado força pelo GEM (Grupo de Pesquisa em Estruturas e Materiais) da Universidade Estadual Vale do Acaraú – UVA. Nesse trabalho, foram analisados experimentalmente pilares curtos de concreto armado com resistência média característica de 24,95 MPa submetidos à compressão axial, variando entre si o espaçamento de armadura transversal (estribos) com o objetivo de analisar os efeitos causados na resistência de pilares de concreto armado.

## **PROGRAMA EXPERIMENTAL**

O programa experimental se realizou através de ensaios à compressão axial de cinco pilares de concreto armado até o valor de ruptura. Os pilares em análise classificam-se como pilares curtos, a carga axial à qual as estruturas foram submetidas foi centrada, sendo desconsiderado qualquer efeito de segunda ordem. Os cinco pilares analisados possuíam 03 estribos em cada extremidade para suavização das cargas aplicadas, a diferente entre eles se deu no espaçamento dos estribos. Os espécimes foram nomeados de E1, E2, E3, E4 e E5. Quanto à forma de abordagem a pesquisa foi do tipo qualitativo, conforme FONTELLES et al (2009) a pesquisa qualitativa é o tipo de pesquisa apropriada para quem busca o entendimento de fenômenos complexos específicos, mediante descrições, interpretações e comparações, sem considerar os seus aspectos numéricos em termos de regras matemáticas e estatísticas. Ou seja, nessa pesquisa os dados obtidos foram comparados entre si, uma vez que o modelo adotado foi um modelo com dimensões reduzidas, do qual não segue as dimensões mínimas de um pilar proposto pela NBR 6118:2014. Os experimentos foram realizados no Laboratório de Materiais e Estruturas da Universidade Estadual Vale do Acaraú - UVA. Na seção do programa experimental serão apresentadas características dos materiais utilizados e como foi realizado o ensaio de compressão axial.

### **• MATERIAIS:**

Concreto: O concreto utilizado na confecção dos pilares deste estudo foi do tipo usinado, obtido através de uma construtora parceira Grupo de Pesquisa de Estruturas e Materiais -GEM. O relatório com o valor das resistências dos corpos de prova foi disponibilizado por uma empresa terceirizada especializada, onde através do ensaio a compressão de corpos-de-prova cilíndricos de concreto, normatizado pela NBR 5739 (2007), constatou-se que o concreto possui uma resistência característica aos 28 dias de 24,95 MPa.

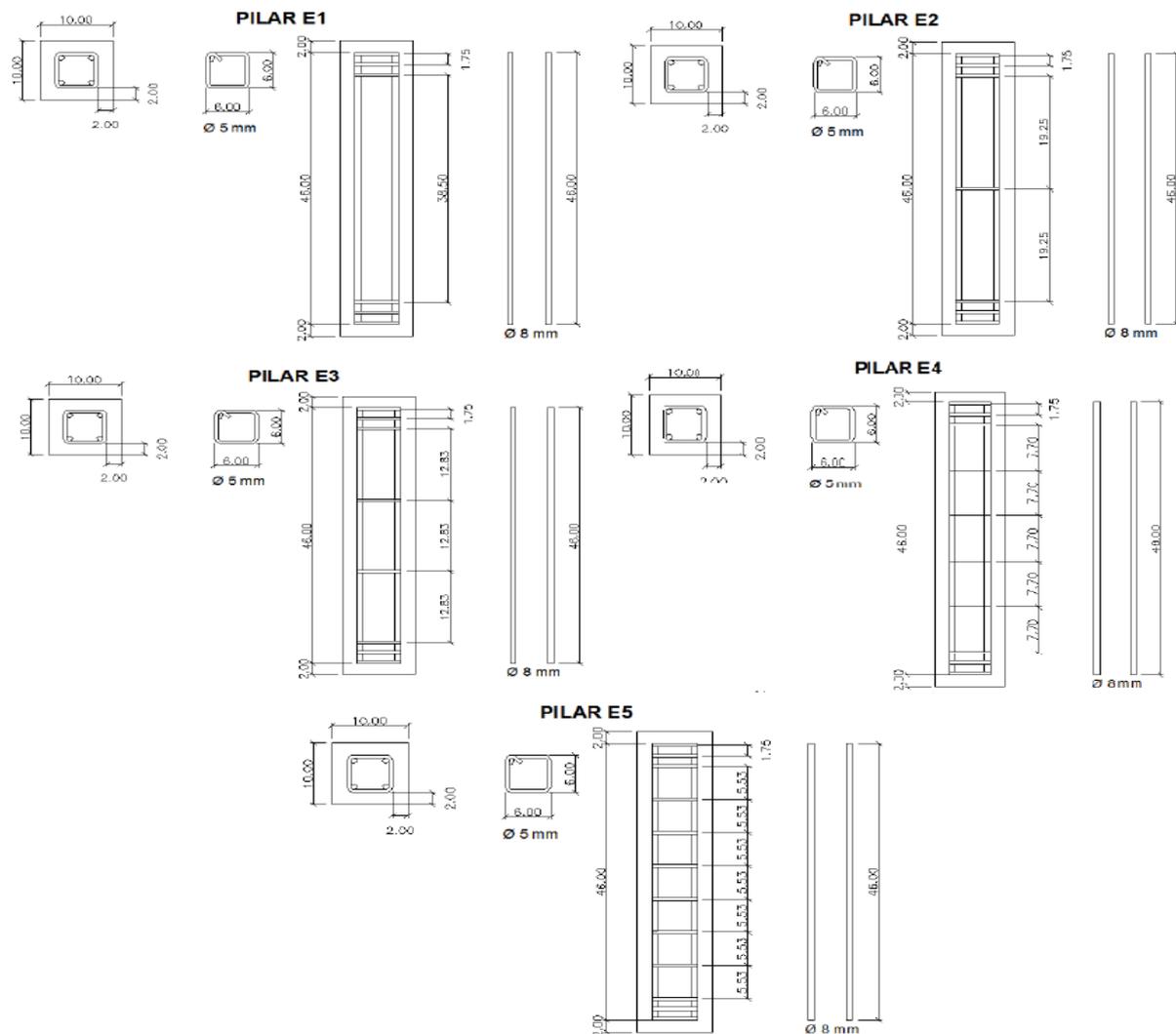
**Armaduras:** O aço utilizado na confecção das armaduras longitudinais foi o Vergalhão Gerdau GG 50 (categoria CA-50) com bitola de 8,0 mm e superfície nervurada para melhor aderência ao concreto. Nas armaduras transversais foi utilizado aço CA-60 com bitola de 5,0 mm e superfície nervurada. As especificações do aço segundo fabricante são apresentadas no quadro 3.1.

Tabela 1. Características dos aços utilizados na confecção dos pilares. Fonte: Gerdau (2017).

| Diâmetro Nominal (DN) (mm) | Massa Nominal (kg/m) | Ensaio de Tração (valores mínimos) |   |                             |                    |
|----------------------------|----------------------|------------------------------------|---|-----------------------------|--------------------|
|                            |                      | Tolerância Massa Linear (%)        | Resistência Característica de Escoamento (fy) (Mpa) | Limite de Resistência (Mpa) | Alongamento em 100 |
| 8,0                        | 0,395                | ± 7                                | 500   | 1,08 x fy                   | 8%                 |
| 5,0                        | 0,154                | ± 6                                | 600   | 660                         | 5%                 |

**Prensa:** Para a realização dos ensaios experimentais, utilizou-se uma prensa hidráulica manual servo-controlada que possui capacidade para cargas de até 120 tf, de marca Contenco e modelo I-3001-b, possuindo dois manômetros para leitura das cargas, um com escala de 0- 120 tf e divisão de 200 kgf (aproximadamente 2 kN), e outro com escala de 0 – 24 tf e divisão de 40 kgf.

Figura 1. Detalhamento dos pilares.



## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os pilares foram submetidos ao ensaio de compressão axial até que fosse atingida a carga de ruptura dos mesmos. Para isso, a aplicação de carga na prensa hidráulica foi realizada com o incremento de 10 em 10 kN, sendo registrados, durante os intervalos de aplicação das cargas, os deslocamentos através dos LVDT's e caso ocorressem fissuras as mesmas eram demarcadas com pincel. O valor registrado pelo LVDT superior é positivo e inferior é negativo, o resultado da soma é dividido pelo comprimento do pilar, resultando na deformação específica ( $\epsilon$ ).

$$\epsilon = \frac{\text{encurtamento LVDT superior} + \text{encurtamento LVDT inferior}}{\text{comprimento do pilar}} \quad (\text{Eq. 01})$$

**PILAR E1:** O pilar E1 não possui nenhum estribo em seu comprimento, apenas os estribos utilizados nas extremidades para absorção e distribuição das cargas aplicadas pela prensa. O pilar E1 rompeu com uma carga de 225 kN e sua primeira fissura visível se deu com uma carga de 210 kN. A ruína ocorreu com grande fissuração e fendilhamento do concreto nas extremidades.

**PILAR E2:** O pilar E2 diferentemente do pilar E1, possui um estribo em seu comprimento, além dos estribos das extremidades. A primeira fissura visível se deu com um valor de 160 kN e sua carga de ruptura foi de 218 kN, uma resistência 6,67% abaixo do alcançado pelo pilar E1, fugindo da tendência de ganho de resistência. Conclui-se que o acréscimo de um estribo para esse caso, não influenciou na resistência do pilar E2.

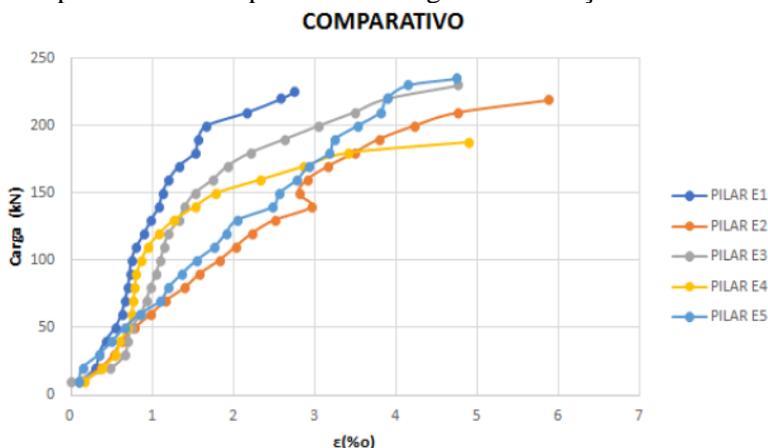
**PILAR E3:** O pilar E3 apresentava 2 estribos em seu comprimento, além dos localizados nas extremidades. A primeira fissura visível se manifestou com o valor de 170 kN e sua carga de ruptura foi de 230 kN, um valor de 5,02% maior que o do pilar E2. Assim como o modelo E2, o pilar E3 apresentou fissuras na zona de ligação do cobrimento com a armadura além de grande fissuração nas extremidades. Foi observado no ensaio que houve flambagem da armadura longitudinal, localizado na região do espaçamento dos estribos.

**PILAR E4:** O pilar E4 apresentava 04 estribos em seu comprimento, além dos localizados nas extremidades. A primeira fissura visível se manifestou com o valor de 130 kN e sua carga de ruptura foi de 188 kN, um valor de 16,44% menor que o do pilar E1 que não possuía nenhum estribo.

**PILAR E5:** O pilar E5 apresentava 06 estribos em seu comprimento, além dos localizados nas extremidades. A primeira fissura visível se manifestou com o valor de 140 kN e sua carga de ruptura foi de 235 kN, um valor de 4,44% maior que o do pilar E1.

O gráfico 4.6 apresenta o comparativo entre os comportamentos carga-deformação de todos os pilares ensaiados, foi constatado em todos os pilares grande incremento de encurtamento do concreto a partir da primeira fissura visível. Possivelmente a acomodação das placas da prensa tenha majorado os valores das deformações específicas ( $\epsilon$ ) dos pilares que não deveriam passar de 3,5%.

Gráfico 1. Gráfico comparativo do comportamento carga x deformação de todos os pilares analisados.



A tabela 2 apresenta as cargas de ruptura e encurtamento máximo do concreto de todos os pilares. Observa-se que nos pilares E1 e E2 há pouca diferença de resistência, uma vez que a adição de um estribo no pilar E2 não apresentou acréscimo no valor da carga de ruptura. Contudo, os pilares E3

e E5, apesar de modesto, apresentaram um crescimento no valor da resistência quando comparado ao pilar sem estribos (modelo E1).

Tabela 2. Resultados da carga de ruptura e deformação dos pilares.

| Pilar | Carga de ruptura (kN) | $\epsilon$ (%) |
|-------|-----------------------|----------------|
| E1    | 225                   | 2,74           |
| E2    | 219                   | 5,86           |
| E3    | 230                   | 4,76           |
| E4    | 188                   | 4,88           |
| E5    | 235                   | 4,74           |

## CONCLUSÃO

O modelo de pilar reduzido adotado nessa pesquisa não segue os valores de dimensão mínimos propostos pela NBR 6118:2014, uma vez que a abordagem da pesquisa é qualitativa, e a análise dos efeitos causados pela variação do espaçamento de estribo em pilares de concreto armado se deu pela comparação dos resultados obtidos entre os modelos analisados. As conclusões estão baseadas somente nos ensaios dos cinco pilares realizados no Laboratório de Estruturas e Materiais da Universidade Estadual Vale do Acaraú – UVA.

Observou-se através da análise experimental dos pilares curtos dessa pesquisa que a variação do espaçamento dos estribos não contribuiu de forma considerável no aumento da resistência. Para os pilares sem estribos e com um estribo, não houve diferença na resistência uma vez que o pilar com um estribo (E2) rompeu com uma carga menor que o pilar de referência sem nenhum estribo (E1). Para o pilar com dois estribos (E3) observou-se um ganho de 2,22% na resistência quando comparado ao pilar de referência (E1), dentre os modelos analisados, foi o único que apresentou flambagem da armadura longitudinal. O pilar E4 foi o modelo que rompeu com a menor carga 180 kN, um valor 16,44% menor quando comparado ao pilar de referência (E1), fugindo da tendência dos demais pilares. Esse resultado se deu por erros no momento da execução dos pilares. O pilar E5 rompeu com uma carga 4,44 % maior que o pilar de referência (E1).

Pode-se concluir que para o modelo reduzido de pilar analisado:

- O cobrimento se comportou como estribo confinando as armaduras, observou-se em apenas um dos pilares (E3) a flambagem da armadura longitudinal;
- Os incrementos na resistência para o modelo analisado não foram significativos uma vez que o maior percentual de ganho de resistência foi de 4,44%.
- Observou-se que a partir de dois estribos há um pequeno ganho de resistência;
- Em termos percentuais comparados ao pilar de referência E1, 50% dos pilares apresentaram ganho na resistência com o acréscimo da quantidade de estribos (E3 e E5), 25% não apresentou ganho na resistência (E2), provando que o aumento de um estribo não contribui necessariamente no ganho de resistência e 25% apresentou valores relativamente grandes de diferença na resistência por erros no momento da execução (E4).

## REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento**. ABNT: Rio de Janeiro, 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739: Concreto – Ensaios de compressão de corpos-de-prova cilíndricos**. ABNT: Rio de Janeiro, 2007.
- J. NĚMEČEK; J. PADEVĚT; P. BITTNAR, Z. **Effect of stirrups on behavior of normal and high strength concrete columns**. Acta Polytechnica, v. 44, p 158-164, no.5–6. Prague. 2004.
- RAMOS; R. F. **Análise experimental de pilares de concreto armado sob ação centrada com resistência do concreto de 25MPa**. Dissertação de Mestrado – Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. São Carlos, 2001.
- GERDAU. **Aço Para Construção Civil – Catálogo**. Disponível em:< <https://www.comercialgerdau.com.br/pt/productservices/products/Document%20Gallery/catalogo-construcao-civil.pdf>>. Acesso em 27 mai. 2018.
- FONTELLES, M. J. et al. Metodologia da Pesquisa Científica: Diretrizes para Elaboração de um Protocolo de Pesquisa. Revista Paraense de Medicina, v. 23, p.69-76, 2009.