

## **Estudo Analítico e Numérico da Armadura Longitudinal Retangular para Vigas de Concreto Armado**

**Juarez do Nascimento Barbosa Junior<sup>1</sup>, Hugo Ribeiro da Silva<sup>1</sup>; Pablo Juan Lopes e Silva Santos<sup>2</sup>;  
Rebeka Manuela Lobo Sousa<sup>2</sup>; Sávio Torres Melo<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> **Faculdade de Ensino Superior de Florianópolis (FAESF) / Departamento de Engenharia Civil /  
savio.melo@hotmail.com ; juarezjunin28@gmail.com; hugoribeyro7@outlook.com**

<sup>2</sup> **Instituto Federal do Piauí (IFPI) / Departamento de Engenharia Civil /  
pablojuan.engenhariacivil@gmail.com; rebekamanuela28@gmail.com**

### **Resumo:**

No presente trabalho, será apresentado um modelo de viga onde a armadura longitudinal terá seção transversal retangular sendo que a base sempre será menor que sua altura, para que seja atingido um maior momento de inércia nessa armadura aumentando consequentemente sua resistência à deformação da peça, quando uma tensão for aplicada. Antes de aplicar o experimento, será realizado um análise computacional e numérica da viga convencional (armadura com seção transversal circular) e da viga com armadura cuja seção transversal será retangular, sendo os dois modelos com as mesmas dimensões. Trabalhando os resultados da análise, o objetivo maior é que o novo modelo de viga obtenha uma maior resistência à deformação que o modelo convencional, podendo reduzir a área de concreto e também a quantidade de ferro utilizado na confecção de estribos de maneira que, mesmo com a redução de materiais a resistência de uma seja equivalente à outra, reduzindo custos na construção e indiretamente preservando o meio ambiente.

### **Palavra Chave:**

Concreto Armado, Viga, Armadura Retangular, Modelagem via MEF.

### **Abstract:**

In the present work, a beam model will be presented where the longitudinal reinforcement will have a rectangular cross section and the base will always be less than its height, so that a greater moment of inertia in this reinforcement is reached, consequently increasing its resistance to deformation of the part, when a voltage is applied. Before applying the experiment, a computational and numerical analysis of the conventional beam (reinforcement with circular cross-section) and the beam with reinforcement whose cross-section will be rectangular will be performed, both models having the same dimensions. Working with the results of the analysis, the main objective is that the new beam model obtains greater resistance to deformation than the conventional model, being able to reduce the concrete area and also the amount of iron used in making stirrups so that, even with the reduction of materials and the resistance of one is equivalent to the other, reducing construction costs and indirectly preserving the environment.

### **Keyword:**

Reinforced Concrete, Beam, Rectangular Armature, Modeling via MEF.

## 1 Introdução

As vigas de concreto armado fazem parte da sustentação de uma construção, conforme os cálculos mostrados na NBR 6118/2014. Ao projetar, a submissão de cargas transversais em uma viga consiste em difundir estes esforços recebidos da estrutura para o pilar ou para passar uma carga estrutural concentrada, caso sirva de apoio a um pilar, por isso devem ser dimensionadas por um engenheiro capacitado e constar no projeto estrutural, conforme pode ser visualizado no projeto a seguir:

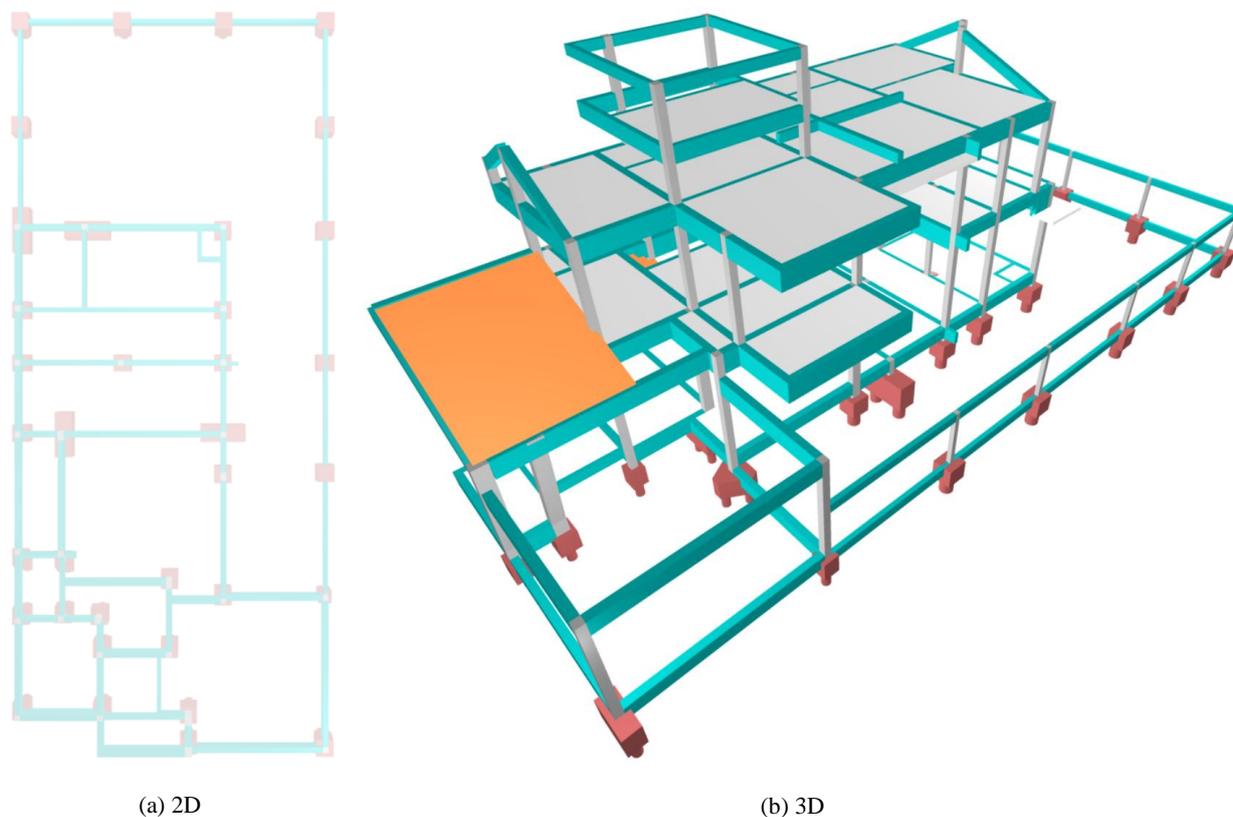


Figura 1 – Exemplo de Projeto Estrutural  
Fonte: Eberick

Diante disso, realizar a alteração da geometria da armadura apresenta algumas indagações, como: Quais os fatores significativos perante essa modificação no modelo convencional de armadura? A alteração propõe aspectos proporcionais ao modelo convencional? Primeiramente através de uma análise computacional por meio de um software, será observado o comportamento dos dois modelos e suas diferenças quanto à viabilidade para então realizar um comparativo entre as armaduras.

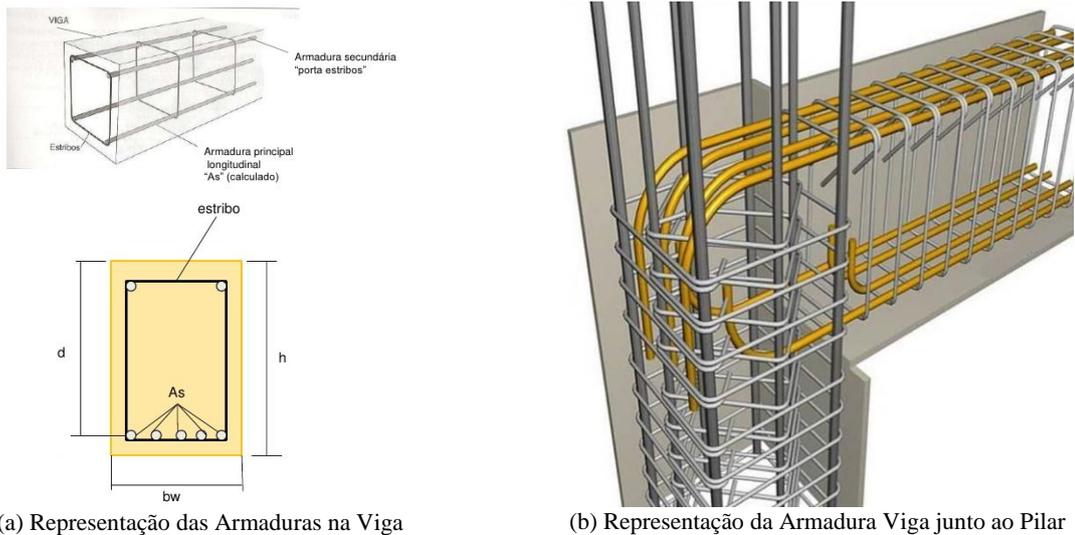
A presente pesquisa busca a realização de uma análise comparativa entre dois modelos de viga de concreto armado. Sendo a viga convencional de concreto armado com armadura longitudinal cuja seção transversal é circular, e o outro modelo será a proposta de inovação para a construção civil que apresenta seção transversal retangular da armadura longitudinal. Levando em conta que ambas as seções devem possuir a mesma área de aço, o objetivo é elevar o momento de inércia da armadura longitudinal retangular a fim de obter uma resistência superior para ser trabalhada a hipótese da redução do volume de concreto na confecção desse elemento estrutural, alcançando economia na obra. Para isso, inicialmente será realizada uma análise computacional do comportamento dos dois tipos de viga através do software ABAQUS CAE.

Este trabalho está organizado nas seguintes seções: a seção 2 apresenta uma análise do comportamento da armadura longitudinal juntamente com a ideia geral do Método dos Elementos Finitos através do software ABAQUS; a seção 3 mostra todos os procedimentos realizados para a etapa analítica e numérica; a seção 4 retrata os resultados deste estudo, mostrando o comparativo analítico e numérico e, por fim, na seção 5 apresentadas às conclusões.

## 2 Armadura Longitudinal

O padrão de armadura para estruturas de concreto armado é de seção transversal circular, no que diz respeito à capacidade operacional e manuseio e à sua resistência. Quando bem dimensionada, uma viga de concreto armado pode resistir aos esforços solicitantes, garantindo maior vida útil, um custo adequado e principalmente segurança.

Se tratando de armadura longitudinal da viga convencional ser de seção transversal circular (figura 2), espera-se um bom desempenho estrutural, mudando sua seção para retangular onde,  $b < h$ , sem alterar sua área de aço, pode-se atingir um maior momento de inércia na armadura de acordo com a resistência dos materiais, aumentando sua resistência à flexão, de forma análoga (Bastos, 2019).



(a) Representação das Armaduras na Viga

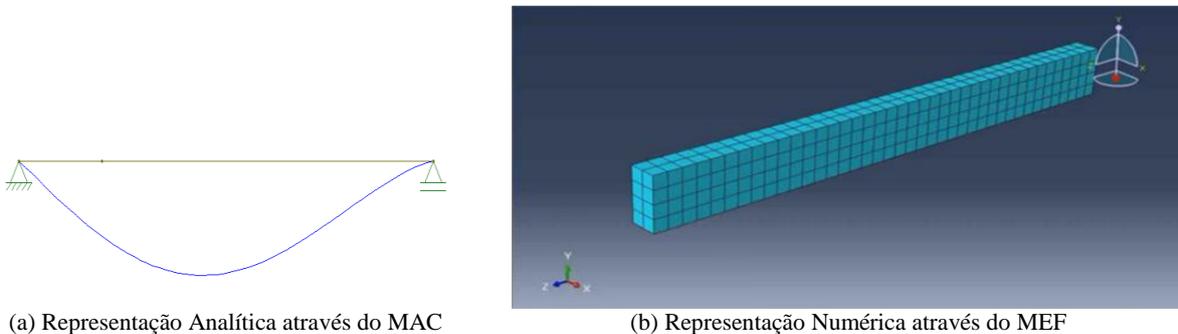
(b) Representação da Armadura Viga junto ao Pilar

Figura 2 – Viga Convencional

Fonte: Meirelles et al.

Por possuir muitas vantagens, o concreto é o material de construção mais utilizado no mundo, entre elas está o baixo custo em obras, se comparado a outros materiais, alta durabilidade, possui uma boa resistência à compressão e contra incêndios, entre outros. Porém possui uma grande desvantagem sobre a resistência à tração, o que pode ser resolvido quando combinado com armadura de aço, aumentando a ductilidade e resistência.

Os Métodos Analíticos Clássicos (MAC) permitem o cálculo da resposta exata dos deslocamentos, deformações e tensões em todos os pontos de uma estrutura, isto é, nos seus infinitos pontos. Porém estas soluções exatas são somente conhecidas para alguns poucos casos, que fogem da maioria das aplicações práticas, principalmente diante de alguns softwares como o FTOOL. O MEF é uma ferramenta numérica aplicada no desenvolvimento de procedimentos aproximados, através de equações diferenciais, que consiste na discretização de um meio contínuo em pequenos elementos, preservando as propriedades originais (Azevedo, 2003). Essas equações são resolvidas por modelos matemáticos, para que sejam obtidos os resultados desejados (deslocamentos, tensões, esforços, campo magnético, fluxo pressão, etc.), sendo facilitando a compreensão através de softwares como o ABAQUS que será utilizado nesta pesquisa.



(a) Representação Analítica através do MAC

(b) Representação Numérica através do MEF

Figura 3 – Comparativo entre os Métodos de Cálculo

Fonte: Autores, 2020

### 3 Método de Análise

Para o desenvolvimento da pesquisa e atendimento de todos os objetivos, tomou-se como fundamentação teórica uma pesquisa bibliográfica em normas técnicas, artigos científicos e livros especializados no assunto. A metodologia adotada neste trabalho consiste em modelar estruturas de Concreto Armado, especificamente Vigas com armadura de seção transversal retangular e circular, para efeito comparativo. Nesse contexto, a modelagem será dividida em duas etapas:

- **Análítica:** O foco do dimensionamento se baseia em Normas Brasileiras para Estruturas de Concreto Armado, também o uso do FTOOL para simples verificações;
- **Numérica:** Utilização do Método dos Elementos Finitos (MEF), por meio do *software* ABAQUS, para compreender com minuciosamente os efeitos encontrados.

A intenção de realizar as duas etapas, justamente para observar um comparativo entre os deslocamentos encontrados para a situação convencional (armadura cilíndrica) e armadura retangular (paralelepípedo).

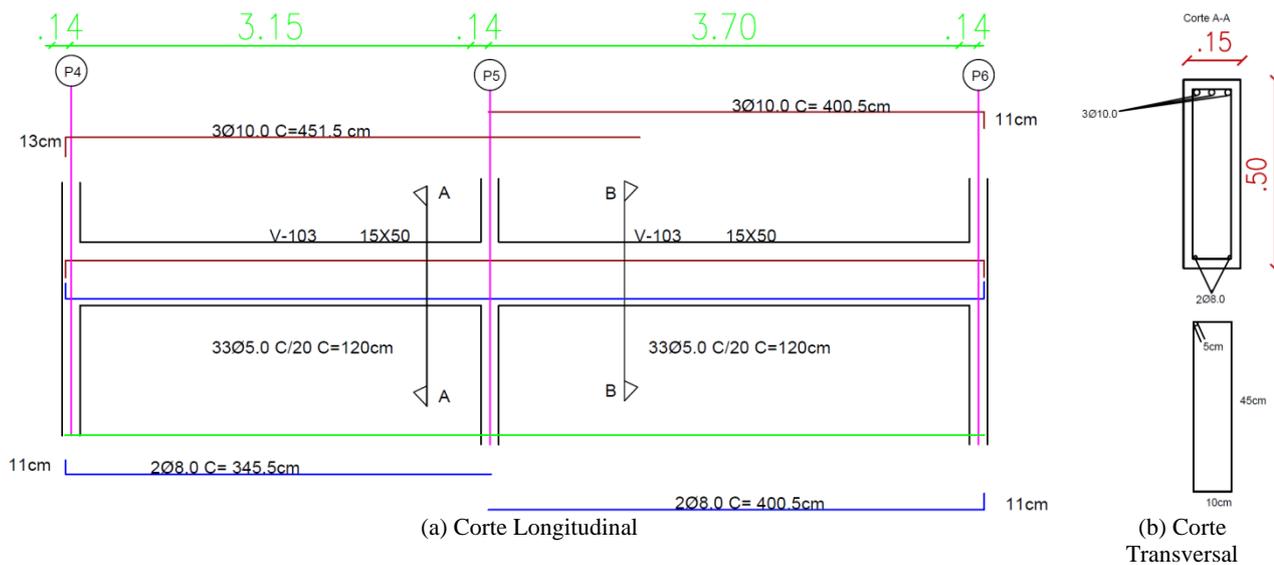


Figura 4 – Cortes da Viga do Estudo  
Fonte: Autores, 2020

### 4 Resultados e Discussões

Dessa forma, utilizando uma armadura longitudinal de 8 mm e 10 mm para a nova viga, será calculado o momento de inércia da seção transversal circular e retangular comparando os resultados em seguida. Para as seções e sabendo que a área de aço ( $A_s$ ) de ambas devem ser iguais, temos:

Tabela 1 – Dados das Diferentes Seções da Armadura

Seção	Dimensão da Armadura	Área (mm <sup>2</sup> )			Inércia (mm <sup>4</sup> )		
		Fórmula	8 mm	10 mm	Fórmula	8 mm	10 mm
Circular	Armadura Superior: 10mm	$\frac{\pi * D^2}{4}$	50,27	78,54	$\frac{\pi * D^4}{64}$	201,06	490,87
	Armadura Inferior: 8mm						
Retangular	Armadura Superior: 8 x 10mm	B * H	50,4	80	$\frac{B * H^3}{12}$	268,8	666,67
	Armadura Inferior: 6,3 x 8mm						

Legenda:

D (diâmetro da armadura circular), B (base da armadura retangular) e H (altura da armadura retangular)

Fonte: Autores, 2020

Comparando os valores dos resultados, observa-se que o momento de inércia da seção transversal retangular é muito maior do que o da circular obedecendo ao princípio de que ( $A_s$ ) circular  $\approx$  ( $A_s$ ) retangular. Tendo em vista que, aumentando o momento de inércia da viga, a mesma poderá estar superdimensionada pelo fato de que alterando a geometria da seção transversal nesse caso, a resistência aumentará significativamente.

Dessa forma, analogamente, podemos trabalhar a hipótese da redução do volume de concreto a fim de tentar igualar novamente à sua resistência original, buscando analisar fatores comparativos no qual a substituição da armadura convencional pela armadura de seção retangular possa gerar economia na execução de obras com esse tipo de material.

Na análise realizada pelo software, a fim de destacar o deslocamento final em ambas as vigas, pode observar o seguinte diante dos dados executados:

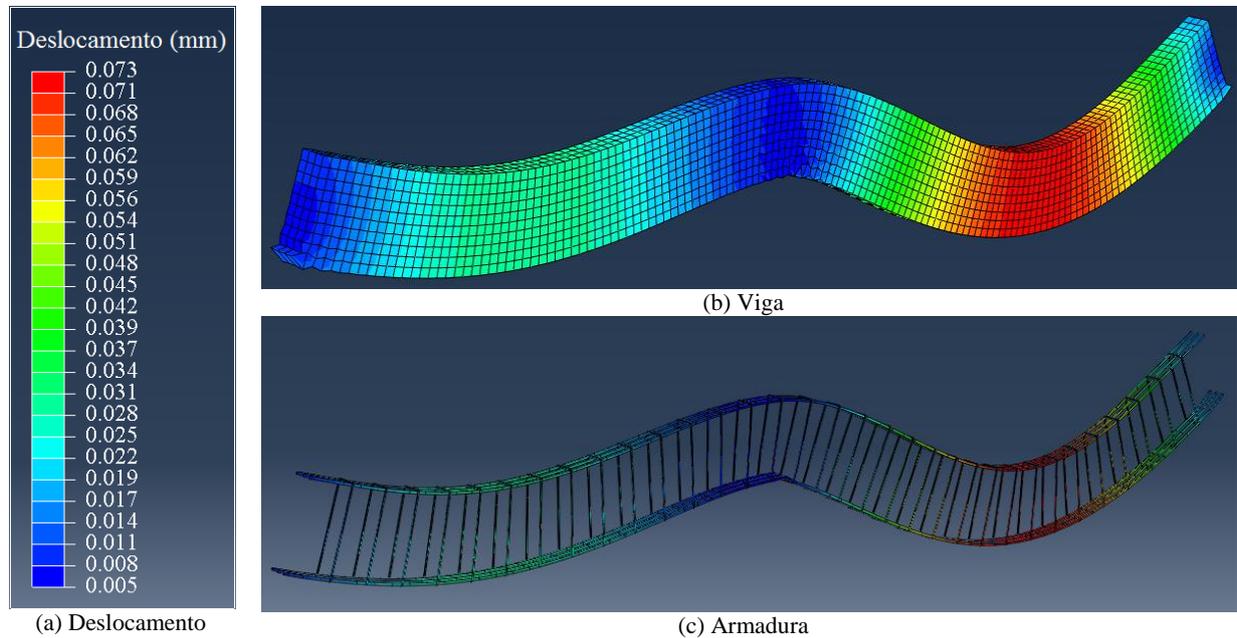


Figura 5 – Posicionamento da Viga com Armadura Circular

Fonte: Autores, 2020

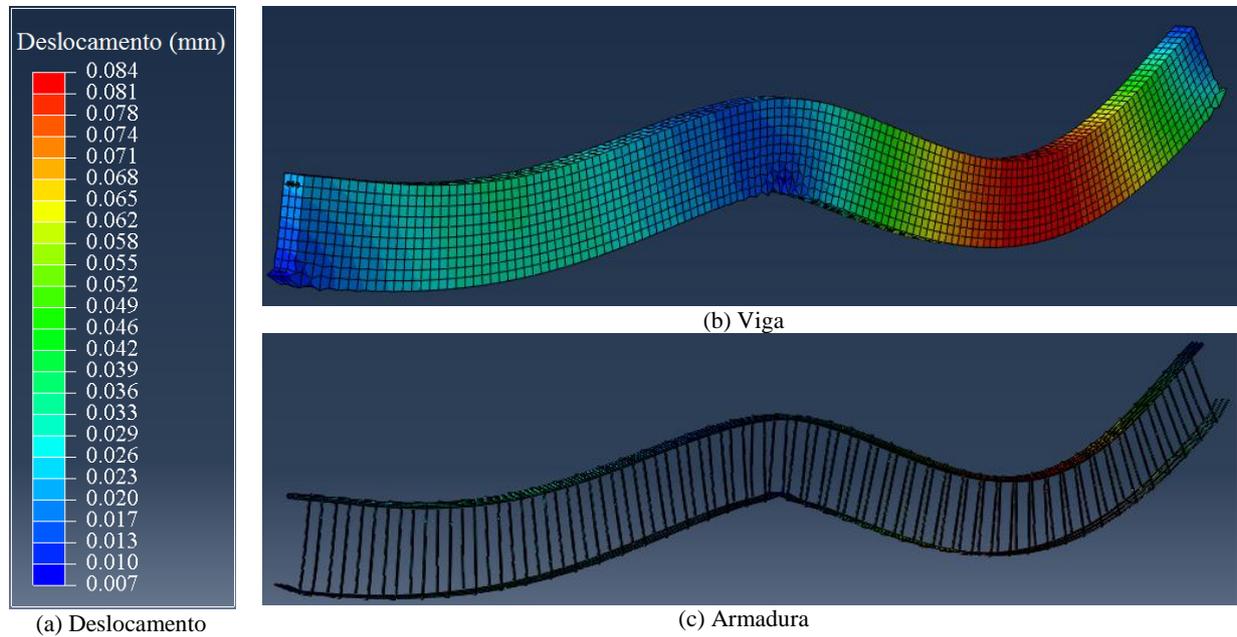


Figura 6 – Posicionamento da Viga com Armadura Retangular

Fonte: Autores, 2020

As vigas apresentaram deslocamentos bem próximos, porém a diferença mostrada nas figuras 5a e 6a correspondem exatamente ao formato da armadura juntamente com os esforços exercidos na peça, pois mesmo dispondo de áreas praticamente idênticas, o fato do contato entre a armadura longitudinal retangular e transversal circular proporciona dificuldade na amarração final possibilitando um maior deslocamento na peça, conforme pode ser visualizado nas figuras figura 5c e 6c.

A figura 5c mostra a armadura circular exibindo as cores de uma forma completamente nítida a fim de detalhar perfeitamente os deslocamentos existentes ao longo da peça, visto que toda a funcionalidade da armadura é apresentada com exatidão diante da viga, diferente da figura 6c no qual as cores praticamente não existem devido a falta de conexão presente entre duas armaduras de geometrias distintas ocasionando visto que a funcionalidade da armadura não está agindo de acordo com o estabelecido a peça.

## **5 Conclusão**

O fato de realizar uma análise analítica e numérica representa mostrar a precisão de cálculos realizados baseados em modelos matemáticos, a fim de comparar com um software, com a intenção de observar e provar a diferença final entre os tipos de métodos para deixar o comparativo mais eficiente.

Nesta pesquisa, a armadura retangular propiciou deslocamentos superiores à armadura convencional, pelo fato da pequena diferença entre áreas devido à utilização de bitolas comerciais, com isso torna inércias bem maiores para assim evidenciar a causa dos deslocamentos desiguais, além disso, outro fator corresponde a causa da amarração final possibilitando um contato com menor competência, pois esses dois fatores prejudicam a capacidade total da armadura. A principal avaliação desta pesquisa corresponde em informar que nas condições de armadura com geometrias diferentes atrapalha o deslocamento final da peça, podendo comprometer o elemento estrutural inteiro.

## **Referências Bibliográficas**

- [1] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118/2014: **Projeto e Execução de Obras de Concreto Armado**, Rio de Janeiro;
- [2] AZEVEDO, A. F. M. **Método dos Elementos Finitos**, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal, 2003;
- [3] Bastos, P. S. S. **Flexão Normal Simples - Vigas**. Universidade Estadual Paulista - UNESP. Departamento de Engenharia Civil, 2019;
- [4] MARIANO, M. A. C. **Aplicação e análise da utilização do software Eberick em um projeto residencial popular**. 80f (Trabalho de Conclusão de Curso). Guaratinguetá. UNESP, 2015;
- [5] SIMULIA. **ABAQUS 6.14** User Subroutines Reference Manual. [S.1.], 2014.