

ESTUDO DO CISALHAMENTO DE VIGAS DE CONCRETO ARMADO VIA MODELO DE BIELAS E TIRANTES

Autor(es): Francisco Gustavo Moreira¹ ; Ricardo José Carvalho Silva²

¹ Engenharia Civil, CCET, UVA; gustavomoreira2222@gmail.com, ²Docente/pesquisador, CCET, UVA. Ricardo.carvalho222@gmail.com

Resumo: O cisalhamento em vigas é causado por esforços cortantes, provenientes de forças que atuam perpendicularmente a superfície do material, provocando o aparecimento de fissuras e perda de resistência. Neste trabalho foi realizada modelagem computacional de vigas retangulares de concreto armado, variando o braço de alavanca, afim de analisar sua resistência a partir da relação braço de alavanca sobre altura útil (a/d). Em primeira situação, realizou-se uma pesquisa das principais referências bibliográficas sobre a resistência ao cisalhamento de vigas de concreto armado. Posteriormente, através do programa computacional ANSYS Workbench, foi modelada e validada a viga de referência (250mm x 500mm x 4350mm) com braço de alavanca de 1350mm. Com o modelo validado, foram modeladas mais quatro vigas, com 1000mm, 750mm, 500mm e 250mm respectivamente, analisando sua carga de ruptura. Por fim, conclui-se que, a resistência da viga diminui a partir do momento em que a relação (a/d) é aumentada.

Palavras-chave: Cisalhamento, Relação (a/d) e Modelagem Computacional.

INTRODUÇÃO E OBJETIVO(S)

O cisalhamento em vigas de concreto armado é causado por esforços cortantes, provenientes de forças que atuam perpendicularmente a superfície do material, onde as camadas deslizam umas sobre as outras, provocando o aparecimento de fissuras e perda de resistência. O comportamento das vigas de concreto armado as tensões de cisalhamento, depende do braço de alavanca (a) e da altura útil (d), sendo representada pela relação (a/d).

Segundo VOLLUM (2022), estudos experimentais de reforço de cisalhamento concentraram-se quase exclusivamente em vigas carregadas com cargas concentradas posicionado exclusivamente dentro de $2d$ de apoios com a grande maioria dos testes realizados sob carga de três ou quatro pontos. Relativamente poucos testes foram realizados para estudar a influência do arranjo de carregamento na capacidade de cisalhamento de membros de concreto armado.

No decorrer dos anos foram desenvolvidas várias pesquisas para analisar a atuação da força cortante nas vigas de concreto armado. Entre essas pesquisas, destacou-se o Modelo de Bielas e Tirantes (MBT), modelo este adotado pela NBR 6118 (2014). Esse modelo é fundamentado na “treliça clássica” de Ritter e Morsch, que estabelece uma analogia de uma viga de concreto armado em estágio avançado de fissuração e uma treliça isostática. Além disso, representa o percurso traçado da força aplicada até apoios, sendo similar a uma treliça, onde as bielas representam as tensões de compressão, que são resistidas pelo concreto e os tirantes as de tração, que são resistidas pelas armaduras e nós.

Neste trabalho foi realizado modelagem computacional para cinco modelos de vigas retangulares de concreto armado, variando o seu braço de alavanca, ou seja, a distância do ponto de aplicação da carga até o apoio, com o intuito de analisar sua resistência a partir da relação braço de alavanca sobre altura útil (a/d). Vale ressaltar que, Sobral por está em um constante processo de verticalização e com isso aumentando o número de novas edificações, é importante investigar o comportamento de vigas submetidas a diferentes arranjos de carregamento, com o intuito de torná-las econômicas, seguras e vantajosas para a infraestrutura da cidade.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para o presente estudo foram modeladas cinco vigas de concreto armado, as modelagens foram realizadas com dimensões padronizadas para todas as vigas, com seções transversais retangulares de 250 mm x 500 mm, altura útil (d) de 454,5 mm, com um comprimento de 4350 mm, sendo composta por armaduras longitudinais de 16 mm e 25 mm de diâmetro. O vão de cisalhamento que fica entre o ponto de aplicação da carga e o apoio (a), varia entre os cinco modelos de vigas, sendo 1350 mm para a viga de referência - VR, 1000 mm – V1, 750 mm – V2, 500 mm – V3 e 250 mm – V4.

As análises do comportamento das vigas foram feitas via Método dos Elementos Finitos (MEF), através de simulações computacionais utilizando o software ANSYS Workbench 17.1. Através do programa foi simulado uma aplicação de carga para cada viga, variando entre elas o seu ponto de aplicação em relação ao apoio esquerdo.

Para a modelagem do concreto, o elemento utilizado foi o SOLID65, cujo é definido pelo programa por oito nós com três graus de liberdade (translações nas direções nodais x, y e z), com f_{ck} de 42,2 Mpa para todas as vigas modeladas. Por se tratar de um elemento que simula o concreto, o comportamento acontece de modo não linear. Já para as armaduras, o aço adotado é o aço CA-50 que, por apresentar um patamar de escoamento bem definido, foi representado como um material elastoplástico perfeito, ou seja, apresenta o mesmo comportamento na tração e compressão.

Para os pontos de aplicação da carga e para os apoios, o material adotado foi o Structural Steel (material padrão do Ansys), uma vez que o comportamento não linear desses objetos pode ser desprezado no comportamento da estrutura é irrelevante a configuração de um material fiel para os apoios.

Uma das principais definições em uma análise por elementos finitos é o tamanho da malha. A precisão e a velocidade da obtenção dos resultados dependem basicamente do refinamento da malha, uma malha pouco refinada (com elementos grandes) conduzirá a resultados menos precisos, exigindo pouco esforço computacional e, conseqüentemente, uma maior velocidade no processamento dos resultados. Uma malha muito refinada conduzirá a resultados mais precisos, mas aumentará o esforço computacional, levando um maior tempo para se obter os resultados. O ideal é adotar um meio-termo entre uma malha grosseira e refinada (SILVA JÚNIOR, 2020).

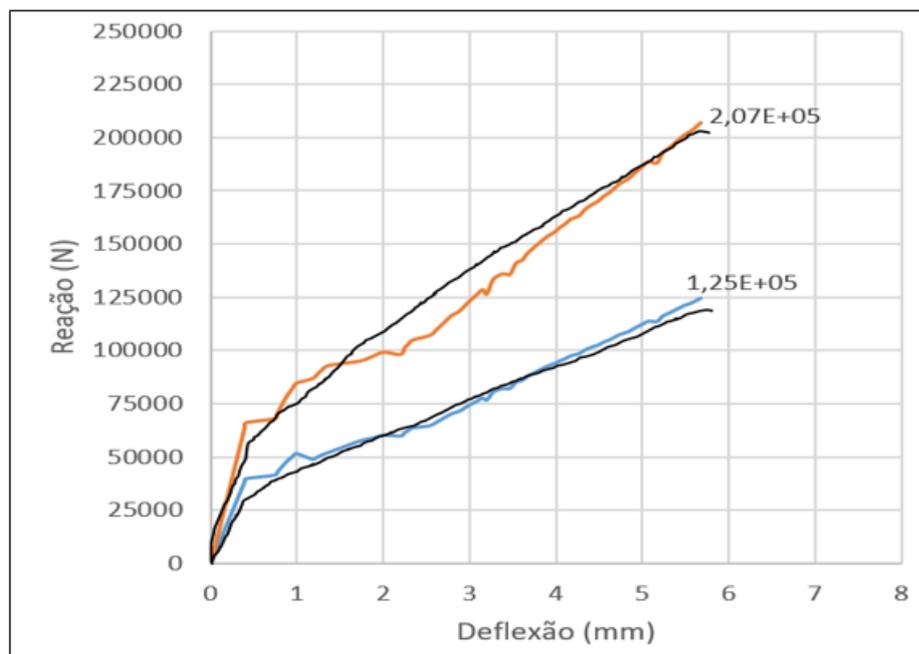
No Ansys é possível determinar o tamanho dos elementos inserindo um valor arbitrário ou indicando o número de subdivisões (quantidade de elementos). Adotou-se, para todas as vigas modeladas, as malhas: 100 mm na direção X e 12 elementos nas direções Y e 6 elementos na direção Z.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A fim de validar o modelo computacionalmente, foi utilizada uma viga experimental proposta por Vollum (2022), sendo ela a viga VR, com dimensões de 250mm x 500 mm x 4350mm, possuindo 2 armaduras longitudinais de compressão e tração de 16 mm e 25 mm de diâmetro respectivamente. Além disso, armaduras de cisalhamento de 8 mm de diâmetro posicionadas em determinadas regiões da viga.

Para fins de comparação e validação da análise numérica foram traçadas e sobrepostas as curvas do tipo reação-deslocamento para o apoio esquerdo (azul), reação-deslocamento total (laranja) para os resultados numéricos e o mesmo para os resultados experimentais (preto), da viga de referência, sendo mostrado na Figura 1.

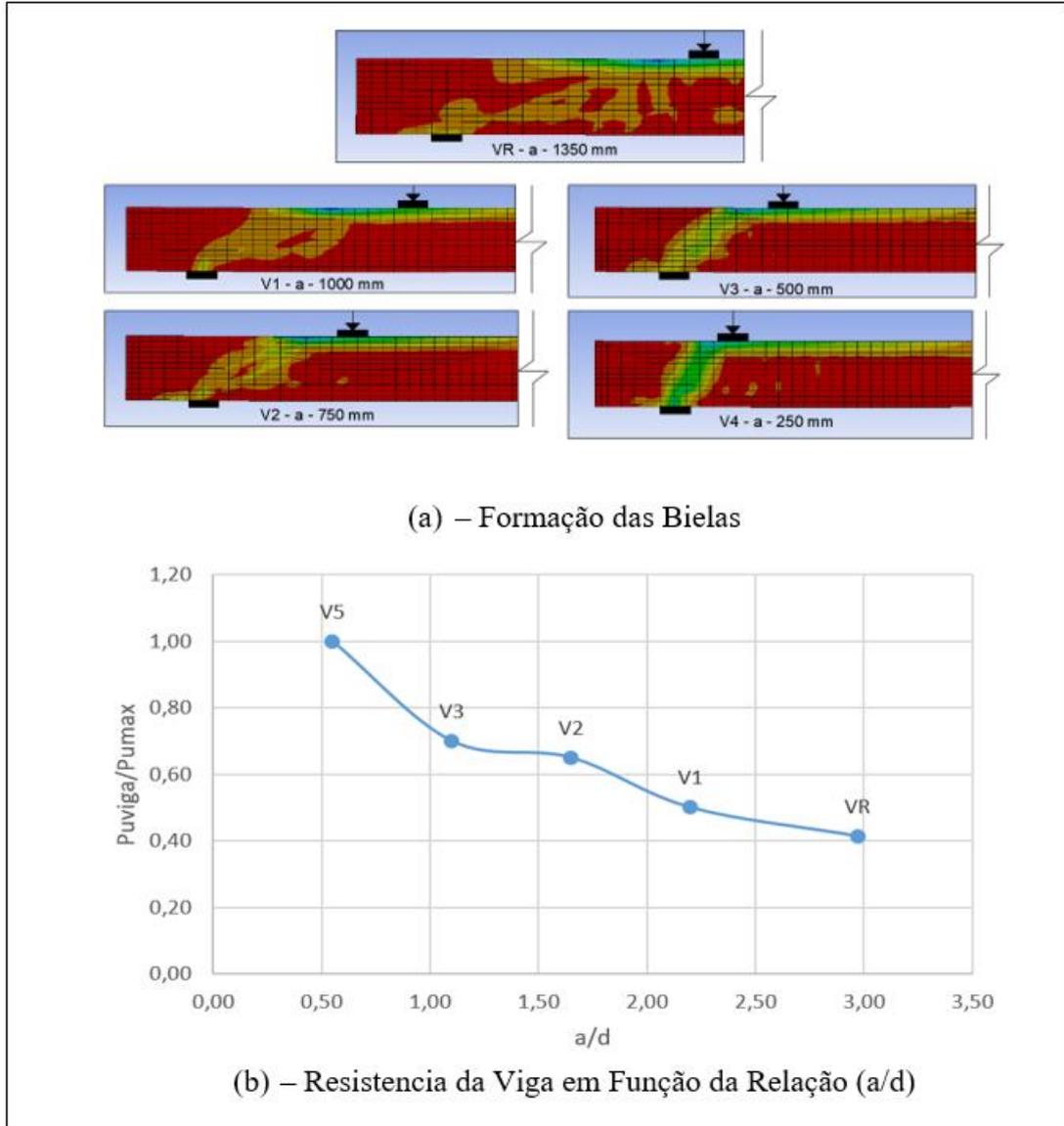
Figura 1 - Validação do Modelo Computacional



Fonte: Autor, 2023.

Analisando o gráfico da Figura 1, é possível observar que os resultados computacionais se assemelham com os resultados das vigas experimentais de Vollum. Porém, os gráficos não ficaram sobrepostos perfeitamente, em alguns trechos apresentam uma maior rigidez em relação ao experimental, essa divergência pode estar relacionada com alguns efeitos da não linearidade não considerada para este modelo. Comparando o valor da carga de ruptura obtido experimentalmente e computacionalmente, para viga VR, obteve-se através do software o valor da carga última (P_u) de 207,0 kN (207,2 kN no experimental) e deslocamento de 5,67 mm (5,8 mm no experimental), resultando em um erro percentual inferior a 1% para carga e para o deslocamento. Esses resultados indicam que o modelo numérico é válido e tem potencial para representar o comportamento próximo ao real deste tipo de elemento estrutural.

Figura 2 – Resultados das Vigas Analisadas



Fonte: Autor, 2023.

Com relação a formação das bielas, a Figura 2.a mostra que, quanto mais distante do apoio a carga for aplicada, menos visível é a formação das bielas, ou seja, quanto menor for a relação (a/d) maior será a visibilidade de formação das bielas.

Analisando o gráfico da Figura 2.b, que faz uma relação entre a carga de ruptura das vigas modeladas sobre carga máxima de ruptura obtida entre as vigas e a relação (a/d) de cada uma delas, é possível observar que quanto menor for a relação (a/d) mais resistente é a viga.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho analisa a resistência de vigas de concreto armado a partir da relação braço de alavanca sobre altura útil (a/d). Os resultados dos ensaios deste trabalho e de Vollum mostram que a resistência ao cisalhamento numa secção depende do arranjo de carregamento considerado. Com base nos resultados obtidos ressalta-se que, quanto maior for a relação (a/d), menor será a resistência da viga e menos visível é a formação das bielas.

Por fim, é importante ressaltar que as conclusões declaradas nesse trabalho se limitam somente as vigas apresentadas, sendo necessária a realização de mais experimentos para melhor defesa dos argumentos propostos.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer ao Programas de Bolsa de Iniciação Científica da Universidade Estadual Vale do Acaraú, ao CNPq e ao Grupo GEM.

REFERÊNCIAS

Ansys® Workbench, **Release 17.1, Help System, Coupled Field Analysis Guide**, ANSYS, Inc.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT), NBR 5738, **Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova**. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT), NBR 5739, **Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT), NBR 6118, **Projeto de estruturas de concreto – Procedimentos**. Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIACAO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS. NBR 7215: **Cimento Portland – Determinação da resistência à compressão**. ABNT: Rio de Janeiro, 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT), NBR 8681, **Ações e segurança nas estruturas – Procedimento**. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT), NBR 9062, **Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado**. Rio de Janeiro, 2017.

ASSOCIACAO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS. NBR 12142: **Concreto – Determinação da resistência à tração na flexão de corpos de prova prismáticos**. ABNT: Rio de Janeiro, 2010.

Pastore, M. V. F., & Vollum, R. L. (2022). **Shear enhancement in RC beams without shear reinforcement simultaneously loaded within 2d and at 3d from supports**. Structures, 42, 343–366. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2022.05.095>.

SILVA JÚNIOR, F. E. S. **Modelagem e análise de estruturas de concreto armado no software Ansys Workbench**. Sobral, 2020. (Apostila).

SILVA, Ricardo José Carvalho. **Shear in Beams**. Universidade Estadual Vale do Acaraú. Sobral, 2022. (Notas de Aula).