

## **Análise numérica via elementos finitos em vigas de concreto armado quando submetidas a descontinuidades não previstas na etapa de projeto**

### **Numerical analysis via finite elements in reinforced concrete beams when subjected to unplanned discontinuities in the design stage**

DOI:10.34117/bjdv7n2-608

Recebimento dos originais: 10/01/2021

Aceitação para publicação: 26/02/2021

#### **Renan Gustavo Pacheco Soares**

Doutorando em Engenharia Civil

Centro de Tecnologia e Geociências (CTG)

Universidade Federal de Pernambuco - UFPE

Endereço: Av. da Arquitetura, S/N – Cidade Universitária, Recife - PE, 50740-550

E-mail: renangpsoares@hotmail.com

#### **Jefferson José de Melo**

Bacharel em Engenharia Civil

Autarquia do Ensino Superior de Garanhuns (AESGA)

Endereço: Av. Caruaru, 508 – Heliópolis, Garanhuns - PE, 55295-380

E-mail: jeh.melo18@hotmail.com

#### **Romilde Almeida de Oliveira**

Doutor em Engenharia Civil

Universidade Católica de Pernambuco - UNICAP

Endereço: Rua do Príncipe, 526 – Boa Vista, Recife - PE, 50050-900

E-mail: romildealmeida@gmail.com

#### **Arnaldo Manoel Pereira Carneiro**

Doutor em Engenharia Civil

Centro de Tecnologia e Geociências (CTG)

Universidade Federal de Pernambuco - UFPE

Endereço: Av. da Arquitetura, S/N – Cidade Universitária, Recife - PE, 50740-550

E-mail: arnaldo2164@hotmail.com

#### **Gustavo Gutierrez de Oliveira Rodrigues**

Mestrando em Engenharia Civil

Centro de Ciências Tecnológicas (CCT)

Universidade Regional de Blumenau (FURB)

Endereço: Rua São Paulo, 3250 – Itoupava Seca, Blumenau - SC, 89030-000

E-mail: gustavogutierrez01@hotmail.com

#### **RESUMO**

Furos em elementos estruturais são alternativas de projeto para situações em que a compatibilização com outros sistemas se faz necessário. O problema surge quando furos são realizados em vigas que não foram inicialmente previstos na etapa de planejamento.

Isso tem sido identificado em várias edificações no Brasil. Um furo não previsto em um elemento estrutural pode modificar o comportamento global do mesmo e gerar sérios problemas. Isso pelo fato da redistribuição de esforços que ocorre no sistema quando da realização do furo. Desse modo, o objetivo desse trabalho foi analisar o desempenho estrutural de vigas de concreto armado quando submetidas a furos não previstos em projeto. Foi realizada uma análise numérica via método dos elementos finitos, com o uso de quatro amostras com mesmas características, variando-se as descontinuidades em posição, tamanho e forma. Os locais dos furos foram no meio do vão e próximo aos apoios. Foram analisadas as tensões e deformações das peças para verificar os parâmetros referentes aos esforços de flexão, cisalhamento, Estado Limite de Serviço (ELS) e Estado Limite Último (ELU). Os resultados encontrados permitiram caracterizar o novo desempenho das vigas quando submetidas às descontinuidades, de modo que houveram incrementos de deformação, flexão e cisalhamento. Fato que afeta o desempenho estrutural das vigas e, dependendo da situação, pode levar o sistema ao colapso.

**Palavras-chave:** Concreto armado, vigas, descontinuidades, análise numérica, elementos finitos.

## ABSTRACT

Holes in structural elements are design alternatives for situations in which compatibility with other systems is necessary. The problem arises when holes are made in beams that were not initially foreseen in the planning stage. This has been identified in several buildings in Brazil. An unforeseen bore in a structural element can modify its global behavior and cause serious problems. This is due to the redistribution of efforts that occurs in the system when drilling. Thus, the objective of this work was to analyze the structural performance of reinforced concrete beams when subjected to holes not foreseen in the project. A numerical analysis was performed using the finite element method, using four samples with the same characteristics, varying the discontinuities in position, size and shape. The hole locations were in the middle of the gap and close to the supports. The stresses and deformations of the parts were analyzed to verify the parameters related to the bending, shearing forces, Service Limit State (ELS) and Ultimate Limit State (ELU). The results found allowed to characterize the new performance of the beams when subjected to discontinuities, so that there were increases in deformation, flexion and shear. Fact that affects the structural performance of the beams and, depending on the situation, can cause the system to collapse.

**Keywords:** Reinforced concrete, beams, discontinuities, numerical analysis, finite elements.

## 1 INTRODUÇÃO

Com o demasiado crescimento populacional no Brasil, a necessidade de construir moradias tem exigido um aumento na velocidade no processo de construção. Isso aliada à ausência/ineficiência de controle por parte dos órgãos reguladores e/ou proprietários que ainda insistem em não contratar um profissional qualificado para realizar os projetos e acompanhar a execução das obras, têm gerado situações de redução do desempenho das edificações.

Essa ausência de um olhar técnico permitem a ocorrência de imprevistos durante o processo executivo, como exemplo da realização de furos em vigas sem seguir critérios estabelecidos por normas. Isso pode ocasionar manifestações patológicas, trazer graves consequências à estabilidade do elemento estrutural e, em último caso, o colapso do sistema.

A prática de construir sem projeto prévio tem-se tornado muito comum. A NBR 6118 (ABNT, 2014) especifica como deve ser a armadura complementar na região das descontinuidades de modo a garantir o desempenho da peça.

Quando não se seguem as recomendações normativas e se fazem furos imprevistos durante a execução da obra, uma redistribuição de tensões ocorre na região perimetral do furo, modificando o comportamento da peça. Isso pode gerar deformações imprevistas e fissuras que podem reduzir o desempenho da peça.

As causas para esses furos imprevistos podem ser desde a etapa de planejamento, pela ausência de compatibilização de projetos, ou por modificações durante o andamento da execução da obra sem consulta aos projetistas.

Desse modo, o objetivo desse trabalho foi analisar o desempenho estrutural de vigas de concreto armado quando submetidas a furos não previstos em projeto, realizados durante o processo construtivo. Como objetivos específicos, buscou-se definir o comportamento quanto a redistribuição de tensões no sistema ocasionados pelos furos, obter os novos parâmetros referentes ao ELS e ELU em função do incremento de deformações no elemento estrutural avaliado e alertar a sociedade geral sobre os efeitos causados por furos não previstos.

Para isso, uma análise numérica foi realizada, com auxílio de dois softwares. O Eberick (AltoQi, 2020) e o ANSYS® (SWANSON, 2013). O primeiro com foco no cálculo e detalhamento de uma viga de concreto armado e o segundo para fazer a análise via MEF. De início foi definido o tipo da viga, local do furo em cada amostra e os tipos de descontinuidades. Calculada e detalhada, sem descontinuidade, no Eberick. Após isso, foram implementadas as características físicas e geométricas da viga e dos furos no ANSYS® para análise mais aprofundada.

## **2 FUROS EM VIGAS**

A realização de furos nos elementos estruturais tem se tornado comum durante o processo executivo da obra, sem a realização prévia de um projeto adequado para a verificação desse furo. Ou mesmo quando há especificado algo nesse sentido na etapa de

planejamento, modificações posteriores descaracterizam isso. A realização de furos em elementos estruturais deve seguir alguns parâmetros que são estabelecidos em norma.

Em qualquer estrutura onde tem a necessidade de fazer furo, seja por necessidade de compatibilização de projetos ou restrições arquitetônicas, o mesmo deve estar previsto em cálculo, de modo a serem inseridas as armaduras complementares na região da descontinuidade e garantir o desempenho da peça em serviço.

A norma brasileira NBR 6118 (ABNT, 2014), dispõe sobre o assunto de furos nos itens 13.2.5 e 21.3, abordando os aspectos relacionados a furos em elementos de concreto armado. Conforme essa norma, a caracterização de um furo se dá, por definição, quando são inseridos na peça espaços de pequenas dimensões em relação ao elemento estrutural. Outra definição são as aberturas, que tem dimensões maiores, e são definidas por um conjunto de furos muito próximos.

A mesma norma estabelece ainda que a distância mínima de um furo à face da viga deve ser no mínimo 5 cm ou duas vezes a distância referente ao cobrimento nominal da peça. Esses furos ou aberturas podem ser realizados nas direções horizontal ou vertical (Figura 1).

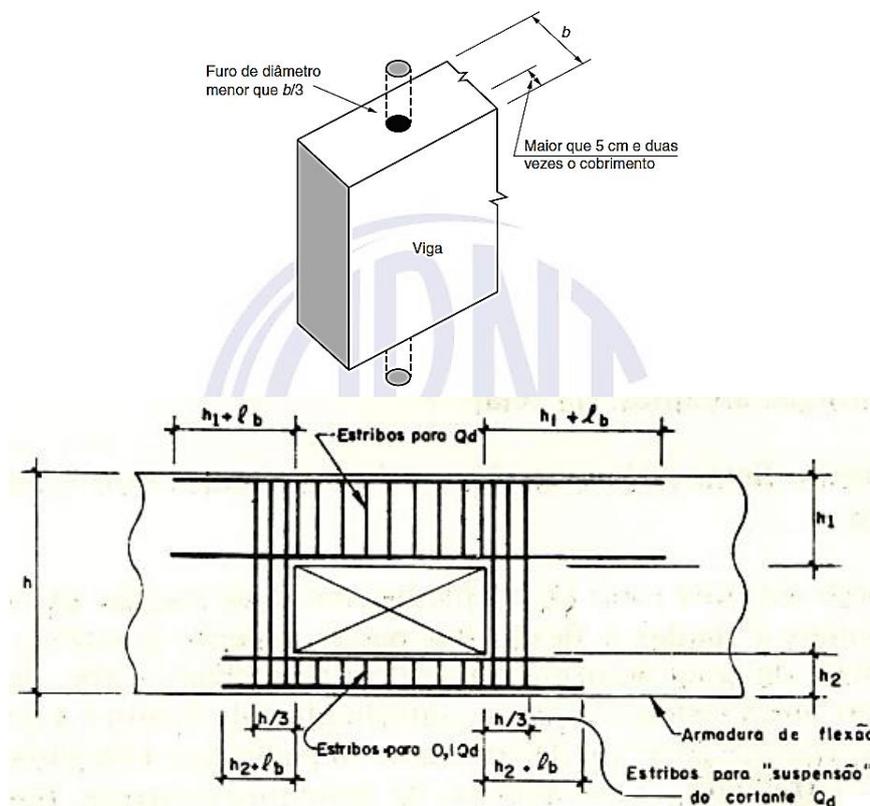


Figura 1 – Exemplos de furos em vigas (NBR 6118, ABNT, 2014 e Sussekind, 1987).

Os casos da figura acima são exemplos de furos na vertical (esquerda) e horizontal (direita). Em ambas situações, armaduras complementares devem ser instituídas de modo a suportar a redistribuição de tensões que ocorrem na peça, para que possam suportar de modo adequado o estado de carregamento.

Um furo que não segue as condições impostas pela norma brasileira é uma situação perigosa, por isso deve ser analisada para evitar possíveis problemas futuros. Portanto, toda e qualquer situação que venha a representar um risco para a estrutura deve ser eliminada.

Algumas situações podem ser consideradas quando se trata de descontinuidade em vigas. Há casos que são possíveis inserir furos em vigas sem prejudicá-las. O inverso também é verdadeiro. Na Figura 2, exemplos de furos em vigas que prejudicam e que não prejudicam o desempenho das vigas podem ser identificados.

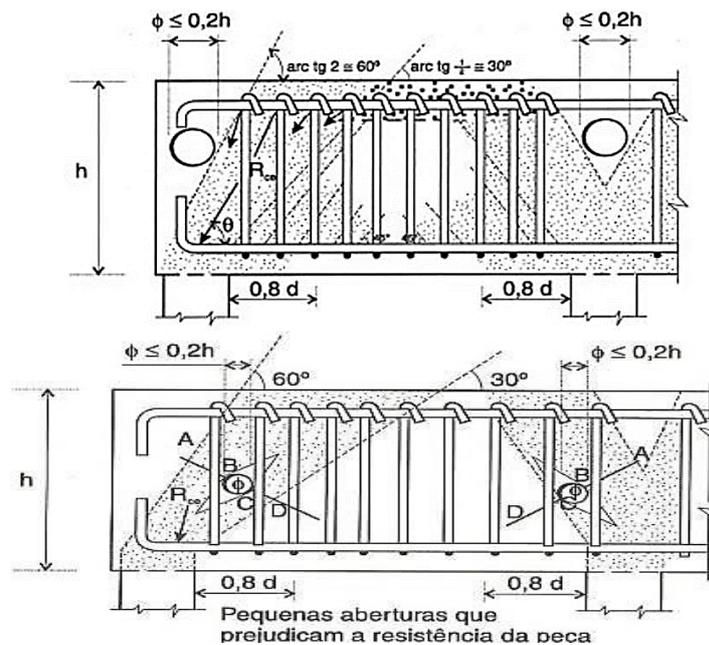


Figura 2 – Aberturas que prejudicam e que não prejudicam vigas (Adaptado de Fusco, 1995).

Na Figura 2, lado esquerdo, verifica-se que furos em regiões que não recebem tensões advindas da distribuição natural do estado de carregamento da viga aos apoios podem ser realizados sem danificar o bom desempenho da viga. No lado direito da mesma figura, um exemplo de furo que danifica o desempenho da viga pode ser verificado. Por estarem localizados em regiões que recebem tensões, armaduras complementares precisam ser inseridas para que haja um redirecionamento das forças internas.

Segundo Fusco (1995), quando as aberturas estão em locais críticos ou mais de uma abertura estão localizadas muito próximas, essas devem ser tratadas como uma abertura grande e devem ser verificadas de modo adequado quando do cálculo e detalhamento das armaduras complementares para combater a flexão e cisalhamento atuantes na região da descontinuidade.

Na Figura 3, uma situação prática e corriqueira de furo não previsto na região de alto cisalhamento pode ser identificado.



Figura 3 – Situação de furo não previsto em viga de concreto armado (Dos Autores, 2020).

Na Figura 3, é possível identificar um exemplo de um furo feito em uma viga na etapa de construção, sem seguir as condições propostas pela NBR 6118 (ABNT, 2014). No caso em tela, não houve previsão para o referido furo na etapa de projeto, onde foi apenas inserido durante o processo construtivo.

Uma das consequências de um furo não previsto é a fissuração. Como situação que pode gerar problemas posteriores, a fissuração não controlada permite que agentes nocivos penetrem na peça, reduzindo seu desempenho e vida útil.

Como o concreto não tem boas propriedades de resistência a tração, adiciona-se aço para resistir a esses esforços. Quando o mesmo está submetido constantemente a esforços de tração, as tensões internas do concreto tendem a fissurar. Para Soares (2017), fissuração é uma situação frequente e normal em estruturas de concreto em função da natureza do material concreto. Contudo, ele relata que o problema está na propagação excessiva das mesmas, onde sua propagação e reincidência pode comprometer o desempenho do elemento estrutural.

### 3 METODOLOGIA

Para o estudo, foi dimensionado uma viga com vão livre de 5,40 m, com a utilização do *software* AltoQi Eberick, em sua versão Plena 2020. Este foi utilizado para modelagem, análise, dimensionamento, e detalhamento da viga. Nessa etapa, não foram inseridos nos requisitos de cálculo, descontinuidades. Estas, só foram consideradas na segunda etapa de modelagem. A viga foi submetida a diferentes tipos de descontinuidades próxima ao apoio e no meio do vão, com dois tipos de furos, retangulares e circulares. Totalizando quatro amostras, as quais foram analisadas no *software* ANSYS® Workbench.

Após calculada a viga e conhecidas suas características, foi realizada uma análise numérica pelo método dos elementos finitos (MEF) com o *software* ANSYS® Workbench. O foco foi definir o comportamento quanto a redistribuição de tensões ocasionadas pelos furos, obtendo novos parâmetros no elemento estrutural referente aos Estados Limite de Serviço (ELS), e Estado de Limite Último (ELU).

Para a realização da análise na viga de concreto armado, foram caracterizados os materiais que a compõe. Na Tabela 1 é possível identificar as especificações dos materiais implementados.

Tabela 1 – Especificações dos materiais.

Especificações do concreto		Especificações do aço	
Resistência a compressão (Mpa)	25,0	Tensão de escoamento CA-50 (Mpa)	500
Resistência a tração na flexão (Mpa)	2,565	Tensão de escoamento CA-60 (Mpa)	600
Coefficiente de Poisson	0,2	Modulo de elasticidade (Gpa)	210
Massa específica (Kgf/m <sup>3</sup> )	2.500	Coefficiente de dilatação térmica (/°C)	10 <sup>-5</sup>
Coefficiente de dilatação térmica (/°C)	10 <sup>-5</sup>	Massa específica (Kgf/m <sup>3</sup> )	7850

Na Tabela 1 é possível identificar algumas propriedades mecânicas do concreto e aço implementados no ANSYS®. As características físicas como seção transversal, base, altura, vão, tipo de material e comprimento total da viga analisada estão definidas na Tabela 2.

Tabela 2 – Características da viga

Características da viga estudada	Especificações referentes as características
Seção transversal	Retangular
Base (Bw)	20 cm
Altura (H)	50 cm
Comprimento da viga (L)	6,00 m
Vão livre	5,40 m
Concreto armado	25 Mpa

Observam-se na Tabela 2 os comprimentos referentes a seção transversal e longitudinal da viga estudada. O modelo de viga apresentado anteriormente foi submetido a dois tipos de furos em diferentes lugares, caracterizando quatro amostras, como especificado na Tabela 3.

Tabela 3 – Caracterização das amostras com os furos

Amostra	Carregamento (Kgf/m)	Tipo de furo	Dimensões em (cm)		Local do furo	Altura do furo
1	978,0	Circular	Ø 10		Meio do vão	20 cm da base da viga
2		Circular	Ø 10		Próximo ao apoio	
3		Retangular	Base	Altura	Meio do vão	
4		Retangular	20	10	Próximo ao apoio	

Na Tabela 3, o estado de carregamento, tipo de furo, dimensões, locais e altura em relação a base da viga estão definidos. O estado de carregamento utilizado foi considerado uma carga usual de parede de alvenaria. As dimensões dos furos, consideradas para simular passagem de tubulação sanitária de 100mm de diâmetro.

#### 4 PROCEDIMENTO DE DISCRETIZAÇÃO E CÁLCULO

Inicialmente foram escolhidas as características e dimensões da viga. Definido os tipos de furos e locais onde foram colocados. A viga foi dimensionada de acordo com os critérios estabelecidos pela NBR 6118 (ABNT, 2014), com o auxílio do *software* Eberick, foi realizado o processo de dimensionamento e detalhamento estrutural. Onde todo o detalhamento do elemento estrutural, referente a quantidade de aço com suas espessuras, comprimentos, espaçamentos, dimensões da viga, engastes e escalonamento das barras de aço positivas e negativas, se encontra detalhado na Figura 4.

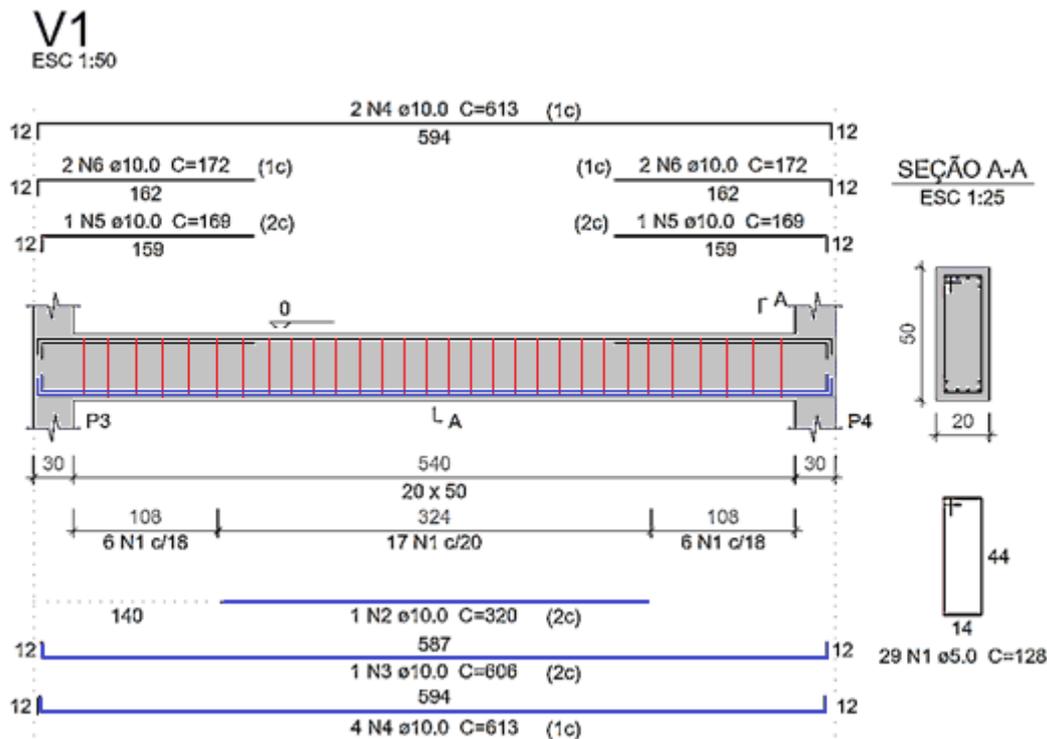


Figura 4 – Detalhamento da viga sem furo previsto (Dos Autores, 2020).

Na Figura 4, o detalhamento da viga dimensionada no *software* Eberick está definido. Os dados referentes ao dimensionamento das armaduras positivas e negativas estão dispostos na Tabela 4.

Tabela 4 – Armaduras positivas e negativas

Armadura	Flexão	Resultados
Positiva	Md = 8537 kgf.m, As = 4.72 cm <sup>2</sup> , y L.N.= 6.76 cm	As = 4.72 cm <sup>2</sup> , (6ø10.0 - 4.71 cm <sup>2</sup> ) d = 45.00 cm, % armad. = 0.47
Negativa	Md = 6702 kgf.m, As = 3.60 cm <sup>2</sup> , y L.N.= 5.16 cm	As = 3.60 cm <sup>2</sup> , (5ø10.0 - 3.93 cm <sup>2</sup> ) d = 45.40 cm, % armad. = 0.39

É possível identificar na Tabela 4 os valores correspondentes ao momento fletor, linha neutra, área de aço e taxas de armadura. Do mesmo modo, na Tabela 5 verificam-se os resultados do cálculo de armadura para combater os esforços de cisalhamento.

Tabela 5 – Cálculo das armaduras de cisalhamento

Cisalhamento	Armadura	Armadura mínima
d = 45.00 cm	Vc = 6.93 tf	V min. = 3.64 tf
Vc0 = 6.93 tf	Vsw = 3.90 tf	Asw min. = 2.05 cm <sup>2</sup>
k = 1.00	Asw = 2.22 cm <sup>2</sup>	(2 ramos)

O aço para combater os esforços de cisalhamento foram espaçados de duas formas distintas, onde próximo aos apoios os esforços são maiores que no meio do vão.

Em seguida, amostras foram modeladas no *software* ANSYS® Workbench. Os elementos finitos utilizados foram o SOLID65 (concreto), o LINK180 (aço) e o CONTA174 (contato entre os materiais). Essa utilização se deu em concordância com as pesquisas de Mostofinejad e Talaeitaba (2011), Soares (2017), Shaaban et al. (2020) e Balzan et al. (2021). Após definidas todas as características da viga e condição de contorno no ANSYS®, uma representação tridimensional da viga modelada pode ser verificada (Figura 5).

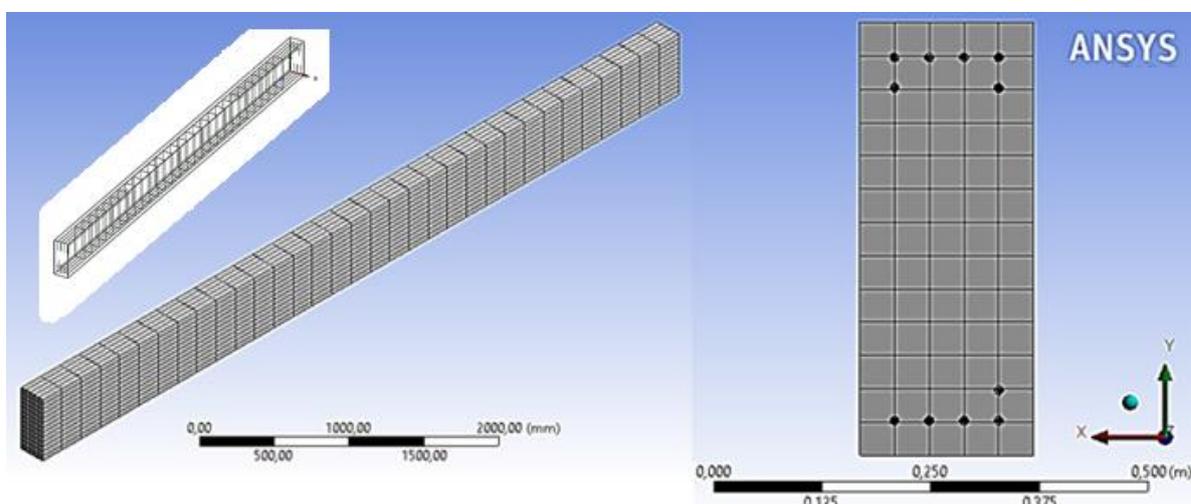


Figura 5 – Representação da malha da viga de referência analisada (Dos Autores, 2020).

Uma parte importante da análise foi a escolha das malhas, a qual teve que ser escolhida pensando no número de divisões ideal para a análise. Em adição, cuidados específicos em relação ao processo de refinação da malha foram tomados, de modo a otimizar a confiabilidade dos resultados ao processo de convergência do modelo. O caso acima representa a malha instituída para a viga de referência (sem furo).

De modo análogo, as malhas, definidas das amostras que possuem as descontinuidades estão representadas na Figura 6.

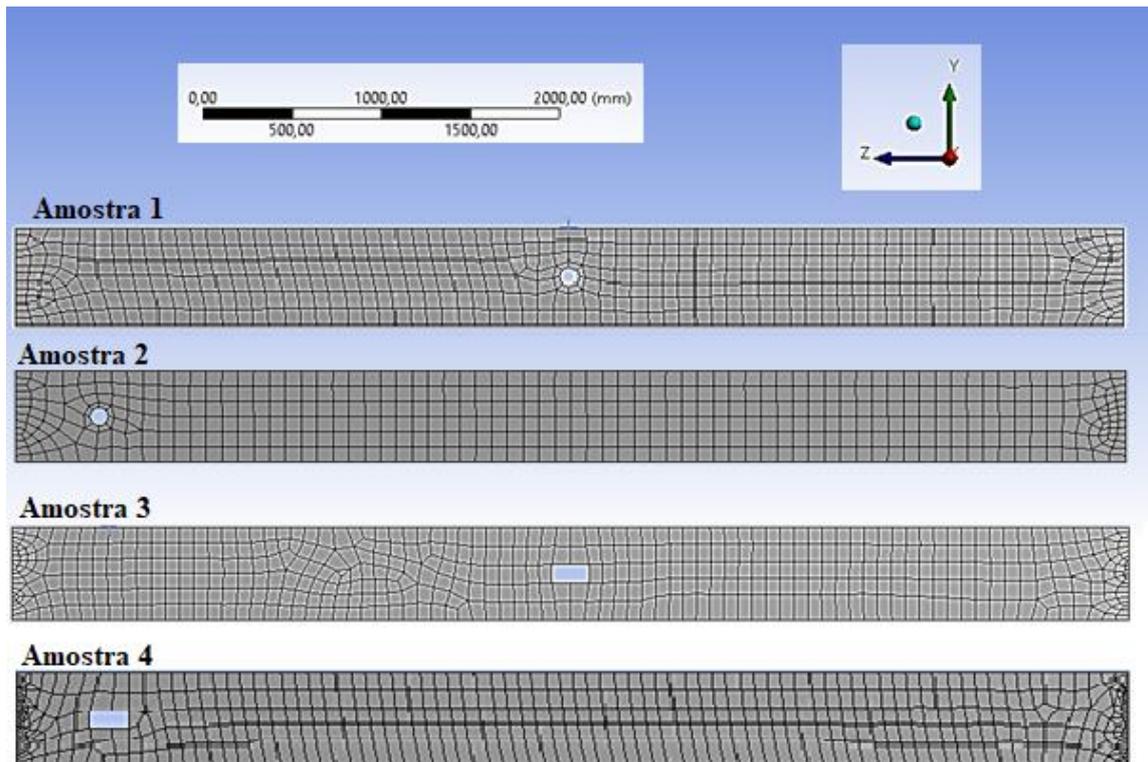
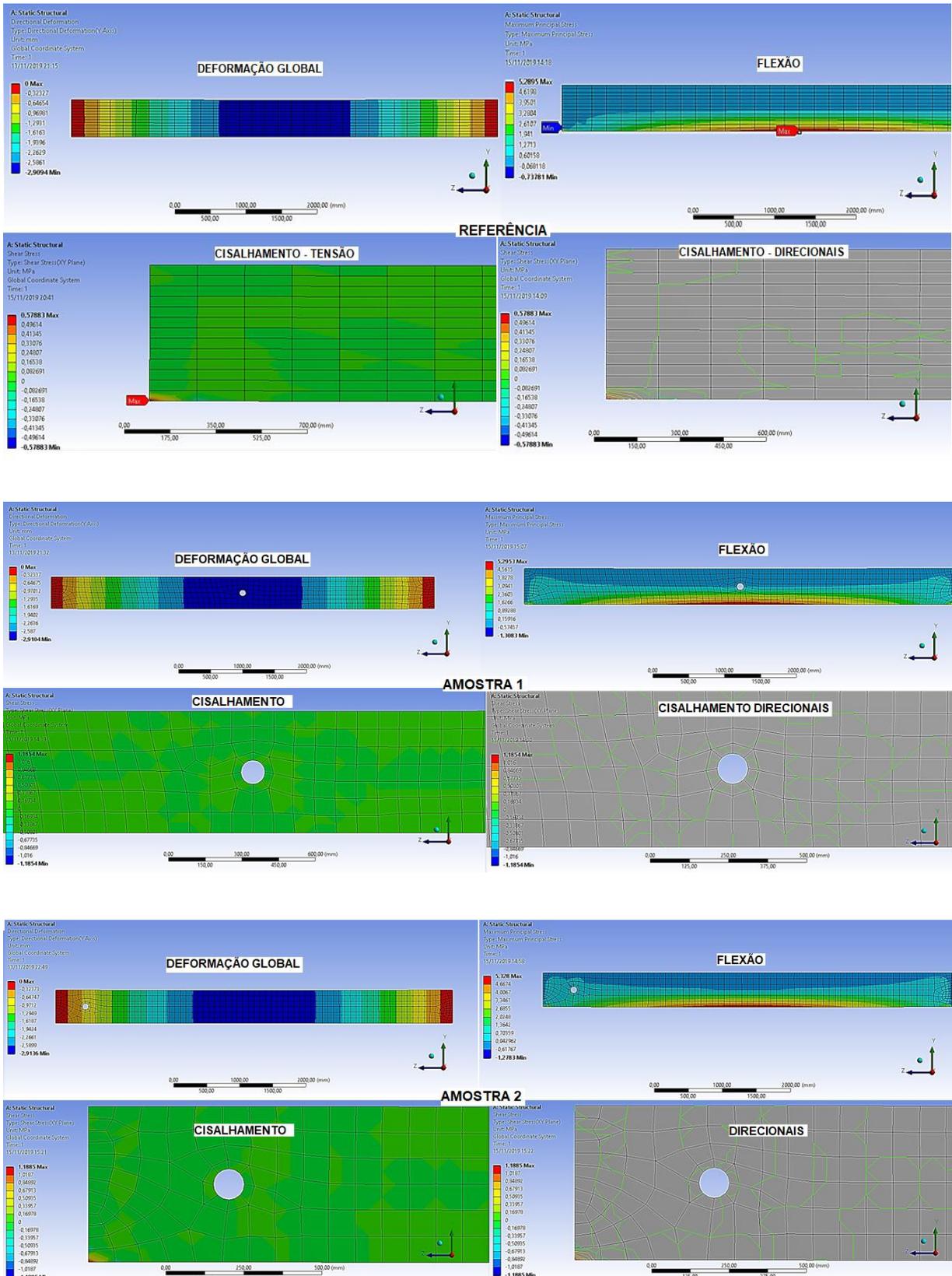


Figura 6 – Definição das malhas das vigas com descontinuidade (Dos Autores, 2020).

As amostras obtiveram número de elementos e nós distintos, em função das diferentes características dos furos. As geometrias dos elementos componentes da malha foram quadrangulares e triangulares.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 7 que segue, as representações das deformações globais, flexão e cisalhamento das amostras avaliadas podem ser identificadas.



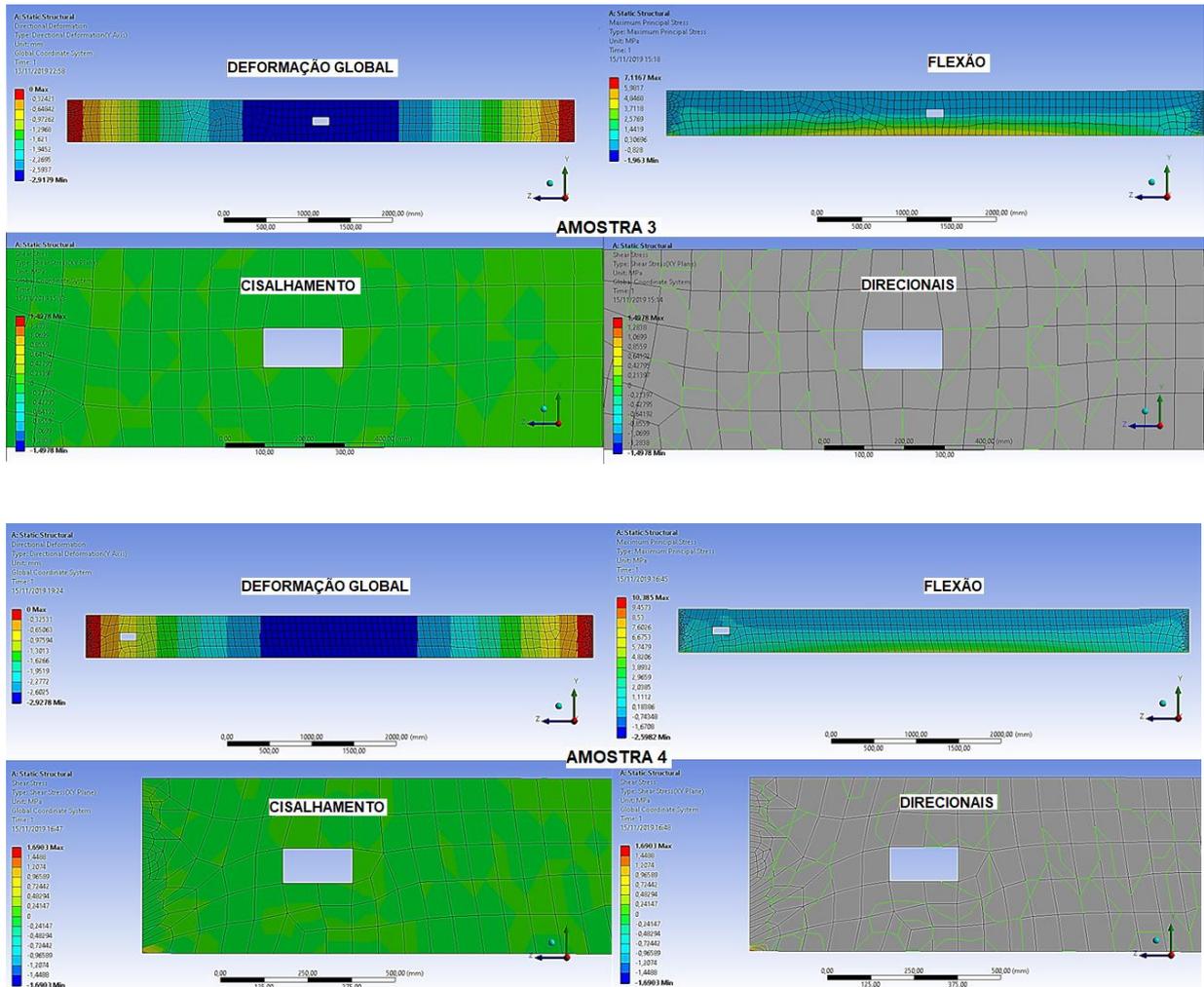


Figura 7 – Deformação global, flexão e cisalhamento das amostras (Dos Autores, 2020).

Os dados obtidos foram tabulados e identificaram-se situações de grande aumento dos parâmetros de flexão e cisalhamento, sendo este último de maior intensidade. Os dados referentes as deformações globais, flexão e cisalhamento estão descritos nas Figuras 8-10 e Tabela 6.

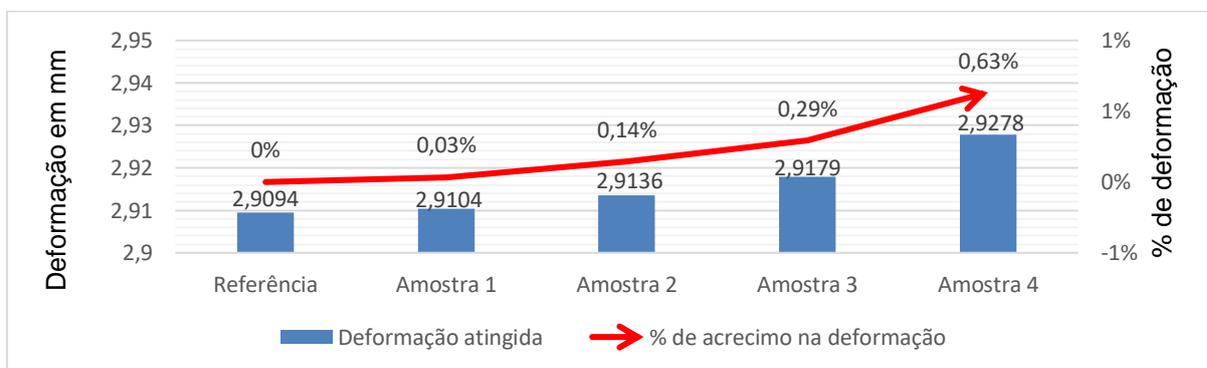


Figura 8 – Incremento de deformações pela redistribuição de tensões (Dos Autores, 2020).

É possível verificar na Figura 8 um incremento de deformação nas amostras, quando comparadas com a referência. A Amostra 4 foi a que mais se deformou após o furo. Sua deformação foi 0,63% a mais que a deformação na viga de referência. Esses pequenos incrementos de deformações se deram por ocasião da viga ter sido dimensionada com folga em relação ao ELS e ELU. No entanto, para situações em que a viga seja dimensionada no limite do ELS, esse incremento irá fazer com que a viga não passe na verificação quando a aceitabilidade sensorial definida na NBR 6118 (ABNT, 2014).

Com relação a esses estados limites, na Figura 9, os comparativos em percentuais dos dados obtidos aos limites permitidos por norma estão apresentados.

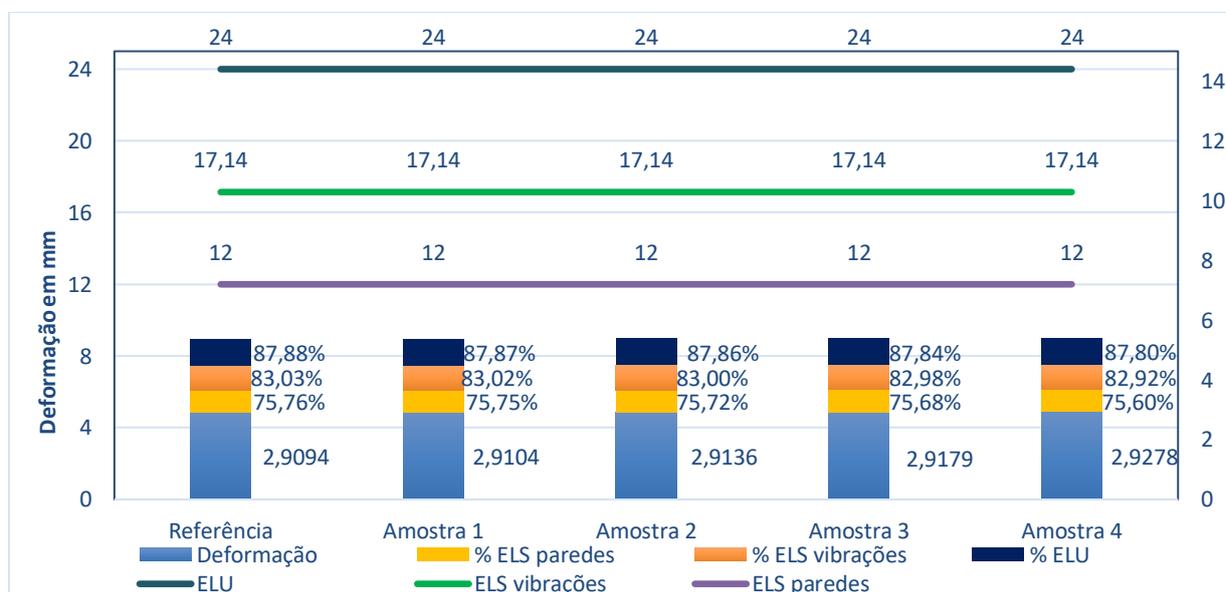


Figura 9 – Comparativo das deformações frente a ELS e ELU (Dos Autores, 2020).

Os limites referentes às deformações máximas permitidas pelos ELS e ELU estão definidos. Acima da barra de deformação de cada viga (cor azul), há algumas barras com os percentuais que faltam para que a deformação ultrapasse um dos estados limites destacados. Para ELS paredes, a cor da barra é a amarela. Para ELS vibrações no piso a cor é a verde e para ELU a cor é a preta. Todas as amostras tiveram um aumento na deformação com relação a viga de referência, sendo a Amostra 1 a que teve a menor diferença e a Amostra 4 a de maior diferença.

Na Tabela 6, os dados obtidos referentes às deformações, momento fletor e cisalhamento, de cada amostra, estão apresentados.

Tabela 6 – Esforços determinados nas amostras avaliadas.

Amostra	Deformação Global (mm)	Momento Fletor Máx. (Mpa)	Cisalhamento Máx. (Mpa)
Referência	2,9094	5,2895	0,57883
Amostra 1	2,9104	5,2953	1,1854
Amostra 2	2,9136	5,328	1,1885
Amostra 3	2,9179	7,1167	1,4978
Amostra 4	2,9278	10,385	1,6903

A Tabela 6 contém informações sobre os dados coletados das análises. O aumento do momento fletor em cada Amostra foi de, 0,11% da Amostra 1 comparada com a referência, 0,73% na Amostra 2, 34,54% na Amostra 3 e 96,33% na Amostra 4. O cisalhamento teve um aumento de, 104,79% na Amostra 1, 105,33% na Amostra 2, 158,76% na Amostra 3 e 192,02% na Amostra 4, comparados com a amostra de referência. Para ilustrar essas informações, na Figura 10, esses dados podem ser visualizados.

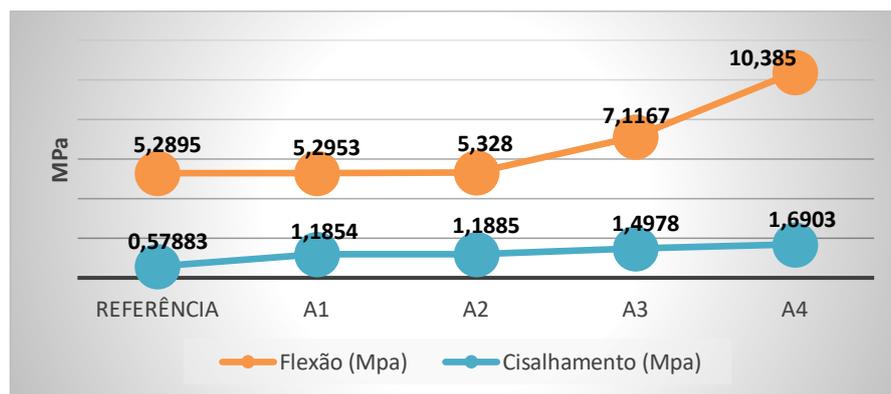


Figura 10 – Incremento de deformações em função das descontinuidades (Dos Autores, 2020).

Comparando as amostras com a viga de referência, nota-se que as maiores parcelas de aumento foram nas Amostras 3 e 4. Mesmo em amostras que o momento fletor não teve uma grande variação, o cisalhamento teve aumento de mais de 100%. O cisalhamento foi o esforço que mais sofreu alteração em todas as amostras.

Mesmo com esse aumento, as deformações não ultrapassaram os limites máximos permitidos para ELS e ELU nas amostras analisadas, considerando que a viga referência foi dimensionada com folga em relação às condições de contorno. Salienta-se que, para vigas dimensionadas no limite do ELS, com foco na otimização, essa modificação do comportamento do sistema pela inserção de furos não previstos torna-se perigoso, pois os limites normativos serão ultrapassados, fragilizando a segurança do sistema.

## 6 CONCLUSÕES

Com base nos resultados adquiridos nas análises, verifica-se que, devido à realização do furo, aumentos nos parâmetros de deformação, momento fletor e cisalhamento foram identificados.

Os furos retangulares apresentaram maior influência na redistribuição das tensões. Isso por ter maior área vazada comparada com o circular para o caso em estudo.

Aumentos de 96,33% e 192,02% ocorreram para momento fletor e cisalhamento, respectivamente, para a Amostra 4, com furo retangular próximo ao apoio. Essa amostra foi a que sofreu maior influência.

Para furos circulares, os maiores índices de aumento foram de 34,54%, para momento fletor e 158,76%, para cisalhamento.

Destaca-se a grande influência dos furos nos esforços de cisalhamento, onde houve um aumento de tensão em mais de 100% em todas as amostras avaliadas.

Com relação ao ELU e os ELS, nenhuma das amostras atingiram a deformação máxima para nenhum desses estados. Isso porque a viga de referência teve sua deformação muito abaixo do valor máximo para atingir esses estados limites. Contudo, para vigas dimensionadas no limite de deformações, qualquer aumento por ocasião dos furos pode acarretar problemas na estrutura.

Fica evidente a influência de um furo não previsto, na etapa de planejamento, no desempenho e durabilidade de uma viga de concreto armado.

## REFERÊNCIAS

ALTOQI. Base de conhecimento e software Eberick. Disponível em: <[www.altoqi.com.br](http://www.altoqi.com.br)>. Acesso em 25FEV2020.

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

BALSAN, A. R.; RAMIRES, F. B.; JUNIOR L., S., L. Interação solo-estrutura e sua influência na análise estrutural de silos graneleiros em aço. Brazilian Journal of Development. ISSN: 2525-8761. Vol. 7, No. 1, p. 2760-2779, 2021.

FUSCO, P. B. Técnicas de Armar as Estruturas de Concreto. São Paulo: Ed. Pini, 1995.

MOSTOFINEJAD, D.; TALAEITABA, S. B. Nonlinear Modeling of RC Beams Subjected to Torsion using the Smearred Crack Model. Procedia Engineering. Vol. 14, p. 1447-1454, Elsevier, 2011.

SHAABAN, I. G.; ZAHER, A. H.; SAID M.; MONTASER, W.; RAMADAM, M.; ELHAMEED, G. N. A. Effect of partial replacement of coarse aggregate by polystyrene balls on the shear behavior of deep beams with web openings. Case Studies in Construction Materials. Vol. 12, e00328, Elsevier, 2020.

SOARES, R. G. P. Análise dos fatores intervenientes da fissuração de placa de piso de concreto apoiada sobre lajes de concreto armado. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco – UFPE. Caruaru, 2017.

SUSSEKIND, J. C. Curso de Concreto Armado. 3. ed. Rio de Janeiro: Globo, v. 2, 1987.

SWANSON ANALYSIS SYSTEMS INC. ANSYS Mechanical User's Guide. Southpointe, 275 Technology Drive, PA 15317, Release 15.0, Canonsburg, USA, 2013.