

Faculdade Evangélica de Goianésia - FACEG Curso de Engenharia Civil

FELIPE AUGUSTO FERNANDES

CÁLCULO DAS FREQUÊNCIAS NATURAIS E MODOS DE VIBRAÇÃO DE UMA VIGA COM DIFERENTES CONDIÇÕES DE CONTORNO ATRAVÉS DO *SOFTWARE* ANSYS WORKBENCHT

Publicação Nº 03

Goianésia - GO 2023

FICHA CATALOGRÁFICA

FERNANDES, FELIPE AUGUSTO.

Cálculo das frequências naturais e modos de vibração de uma viga com diferentes condições de contorno através do *software* ansys workbench [Goiás] 2023, 36P, 297 mm (ENC/FACEG, Bacharel, Engenharia Civil, 2023).

ARTIGO – FACEG – FACULDADE EVANGÉLICA DE GOIANÉSIA

Curso de Engenharia Civil.

1. Dinâmica das Estruturas2. Vibração3. Vigas4. TecnologiaI. ENC/FACEGII. Cálculo das frequências naturais e modos de vibraçãode uma viga com diferentes condições de contorno através do *software* ansys workbench

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

FERNANDES, F. A. Cálculo das frequências naturais e modos de vibração de uma viga com diferentes condições de contorno através do *software* ansys workbench.Artigo, Publicação 03 2023/2 Curso de Engenharia Civil, Faculdade Evangélica de Goianésia - FACEG, Goianésia, GO, 36 p. 2023.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Felipe Augusto Fernandes

TÍTULO DO TRABALHO DO ARTIGO: Cálculo das frequências naturais e modos de vibração de uma viga com diferentes condições de contorno através do *software* ansys workbench

GRAU: Bacharel em Engenharia Civil ANO: 2023

É concedida à Faculdade Evangélica de Goianésia - FACEG a permissão para reproduzir cópias deste TCC e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste TCC pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

Jelipe Auguste Germandes

Felipe Augusto Fernandes Rua Mangabeira, nª 2575 76386-330 - Goianésia/GO – Brasil

FELIPE AUGUSTO FERNANDES

CÁLCULO DAS FREQUÊNCIAS NATURAIS E MODOS DE VIBRAÇÃO DE UMA VIGA COM DIFERENTES CONDIÇÕES DE CONTORNO ATRAVÉS DO SOFTWARE ANSYS WORKBENCHT

Publicação Nº 03

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO, EM FORMA DE ARTIGO, SUBMETIDO AO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DA FACEG

Aprovados por:

<u>Jan Gar J. Magar</u> Igor Cezar Silva Braga, Me. (Faculdade Evangélica de Goianésia)

(ORIENTADOR)

Eduardo Martins Foledo, Me. (Faculdade Evangélica de Goianésia) (EXAMINADOR INTERNO)

Robson de Oliveira Félix, Me. (Faculdade Evangélica de Goianésia) (EXAMINADOR INTERNO)

CÁLCULO DAS FREQUÊNCIAS NATURAIS E MODOS DE VIBRAÇÃO DE UMA VIGA COM DIFERENTES CONDIÇÕES DE CONTORNO ATRAVÉS DO *SOFTWARE* ANSYS WORKBENCHT

Felipe Augusto Fernandes¹ Igor Cezar Silva Braga²

RESUMO

Com o passar dos anos e a evolução da humanidade, ocorrem cada vez mais inovações e revoluções em todos os campos que circundam o cotidiano. A engenharia civil é uma área que está em constante evolução com o desenvolvimento. A criação de megaestruturas fez-se necessário um maior estudo no campo da análise dinâmica de estruturas, visto que essas se tornaram mais esbeltas e consequentemente vulneráveis as ações de cargas dinâmicas. Neste trabalho foi realizada a análise de duas estruturas com o auxílio do software Ansys workbench, a fim de obter suas frequências naturais e modos de vibração e fazer a comparação com os resultados obtidos através dos métodos numéricos e analítico. Para realizar o cálculo dos modos de vibração e das frequências naturais das vigas foi utilizado um software capaz de realizar estes cálculos de maneira automática através de inserção de dados. Por fim, os resultados obtidos demonstraram a eficiência e praticidade da utilização da tecnologia dentro do campo da engenharia civil, uma vez que foi possível obter frequências naturais com pouca variação e capazes de serem utilizadas na prática. Para os valores da primeira frequência foi observado uma variação de 0,64% para a condição de contorno engastada-livre em relação ao MDF e 0% nas demais comparações, já na frequência mais elevada a diferença subiu consideravelmente, ficando com 16,69% para o MA, 63,25% para o MDF e 18,47% para o MEF. A viga biengastada por sua vez apresentou resultados com maior variância, sendo 2,56% para o MDF na primeira frequência e 60,45% de diferença no último resultado para o mesmo método citado anteriormente, já o MA e MEF apresentaram variância mínima de 0,8% e máxima de 20,35% e 31,12% respectivamente. Os resultados obtidos demonstraram que em todas as frequências o ansys teve valores menores que o MA, mas que ainda são válidos para serem utilizados na prática, uma vez que sua variação é relativamente pequena.

Palavras-chave: Dinâmica das estruturas. Vibração. Vigas. Tecnologia. Módulo de vibração.

¹ Discente do curso de Engenharia Civil da Faculdade Evangélica de Goianésia (FACEG). E-mail: felipeaugusto-09@hotmail.com

² Mestre, professor do curso da Faculdade Evangélica de Goianésia (FACEG). E-mail: igorcezar14@hotmail.com

1 INTRODUÇÃO

A evolução no campo da construção civil trouxe consigo uma forte tendência voltada a estruturas mais esbeltas com seções transversais mais reduzidas, sejam por motivo de estética ou economia. Desta forma hoje têm-se estruturas mais sujeitas a sofrerem a ação de cargas não lineares, de modo que possam chegar ao ponto de falha se não forem calculadas corretamente. Como consequência destes novos modelos contrutivos a análise dinâmica está sendo mais discutida e estudada nas últimas décadas (GOULART; OLIVEIRA, 2020).

No Brasil existem dois pontos que colaboram para o negligenciamento da análise dinâmica das estruturas. O primeiro (natural), deve-se ao fato de o país estar localizado no centro de uma placa tectônica e por este motivo não sofrer com ocorrências frequentes de grandes terremotos, além de possuir um clima que não propicía grandes tempestades. Já do ponto de vista econômico, é mais vantajoso considerar as cargas em sua maioria como estáticas, porém muitas das vezes essa substituição pode não ser capaz de compensar, visto que essas cargas possuem características distintas (KÜSTER; SARTORTI, 2011).

Diferentemente das cargas estáticas, as cargas dinâmicas variam sua magnitude, direção e/ou posição a medida que o tempo passa. Alguns exemplos dessas cargas são as ações de impactos, ações sísmicas e as ações de fluidos. Estes por sua vez têm a capacidade de alterar tensões e deformar estruturas, ocasionando o surgimento de patologias, redução da vida útil e até mesmo o colapso da estrutura (CLOUGH, PENZIEN, 1995).

A frequência natural, corresponde ao nível de vibração em determinada estrutura, quando esta não está a sofrer influência de carregamentos externos. A rigidez, a massa do elemento e seus vínculos são os fatores responsáveis pela geração destas frequências (BOLINA et al., 2014).

Este artigo tem como objetivo exemplificar a integração do *software* ANSYS WORKBENCH (ANSYS STUDENT 2023 R1), versão estudantil, na análise e geração de resultados de frequências naturais e modo de vibração de um elemento estrutural do campo da engenharia civil. O programa em questão utiliza-se do método dos elementos finitos, o qual através de um método numérico de equações, divide o problema em partes menores, chamados de elementos finitos. Desta forma torna o problema mais fácil de ser analisado e garante a geração de resultados mais precisos.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 CARGAS DINÂMICAS

Cargas dinâmicas são carregamentos que possuem intensidade, direção e sentido variantes com o decorrer do tempo. Desta forma a estrutura apresenta diferentes formas de respostas em função dessa variação. Ações sísmicas, choques mecânicos e impactos, a ação de fluidos e também do vento são todas fontes geradoras de cargas dinâmicas. Por isso deve-se ter um conhecimento aprofundado nessa área, quando se fala em dimensionamento dessas cargas (KÜSTER; SARTORTI, 2011).

Existem dois tipos principais de comportamento em ações dinâmicas: periódico e não periódico. No comportamento periódico, as variações das cargas se repetem em ciclos sucessivos, como no caso da atividade humana de caminhar ou na vibração causada pelo movimento de trens em uma linha ferroviária. Já no comportamento não periódico, não há essa repetição, como nos eventos sísmicos e na ação do vento. Essas características delineiam a natureza das forças dinâmicas, demonstrando a regularidade ou a ausência dela em suas variações ao longo do tempo (KÜSTER; SARTORTI, 2011).

2.1.1 Ações de Fluidos

Fluidos são substâncias que tendem a escoar quando submetidos a pessão e podem ser subdivididos em líquidos e gasosos (Fox; McDonald; Pritchard, 2004).

As cargas do vento são dinâmicas, pois mudam devido às variações na velocidade do vento, vórtices e mudanças nas linhas de corrente causadas pela própria estrutura. No entanto, ao projetar estruturas, valores médios estáticos, que representam um "vento médio" com velocidade constante, são considerados suficientes para o projeto estrutural (BLESSMANN, 1989).

O comportamento vibracional de uma estrutura pode ser consideravelmente modificado pela presença de um fluido ao seu redor. Quando há um fluido estagnado, isso tende a reduzir as frequências naturais da estrutura e aumentar sua capacidade de amortecimento. Em contrapartida, um fluido mais denso tende a conectar as vibrações entre estruturas elásticas adjacentes. A circulação de um fluido pode gerar vibrações, especialmente quando esse fluxo é turbulento, resultando em pressões imprevisíveis na estrutura e, consequentemente, provocando respostas vibracionais também imprevisíveis (HARRIS; PIERSOL, 2002).

À medida que o comprimento vertical de uma estrutura aumenta, a influência exercida pelo vento também se intensifica. Isso se torna relativamente preocupante em edifícios altos com vários andares. O vento é um fenômeno natural caracterizado por sua natureza instável, com alterações distintas na velocidade ao redor de um valor intermediário. Essas flutuações são chamadas de rajadas, ocorrem de maneira sequencial e são breves em frequência e intensidade (CHAVEZ, 2006).

2.1.2 Impactos

A colisão de dois corpos, ocorrida em um pequeno intervalo de tempo, na qual um corpo exerça força sobre o outro e vice-versa é denominada impacto (BEER; STAAB, 2006).

Os carregamentos dinâmicos presentes na engenharia civil podem ser representados através dos impactos sofridos diretamente. As estruturas por sua vez estão sempre sujeitas a ações de impactos diretos, um fenômeno que afeta consideravelmente seu desempenho e segurança (ALEXANDRE, 2012).

Estruturas de transporte, tais como pilares de estacionamentos, suportes de pontes e postes elétricos, são focos principais de estudo em situações de impacto. Nos últimos anos, tem havido um aumento significativo nos incidentes envolvendo veículos colidindo com essas estruturas. Tais colisões podem ser acidentais, como resultado de um veículo desgovernado, ou intencionais, como parte de um ataque terrorista. Consequentemente, colisões de veículos representam uma das principais causas de falha em estruturas sujeitas a cargas dinâmicas (SHARMA, 2012).

2.1.3 Ações Sísmicas

Ações sísmicas são caracterizadas como eventos naturais que tem como causa principal o movimento das placas tectônicas e que também ocorre em falhas entre blocos rochosos ou podem ser ocasionados pela atividade humana (CUNHA; TELES; AMORIM, 2020).

No momento em que um terremoto atinge determinada estrutura, sua resposta depende não apenas de suas próprias características, mas também do tipo de terreno em que está construída, da distância ao epicentro, do espaçamento entre os pilares e das variações nas características geológicas entre eles. Em muitos casos, a aceleração sísmica que atinge o primeiro pilar ou ponto de contato é consideravelmente diferente daquela que afeta o restante da estrutura (HENRIQUE, 2009). Isso ocorre em função da propagação de ondas sísmicas, que são influenciadas pelas diferentes propriedades geológicas encontradas ao longo do percurso dos pilares, resultando em mudanças de período, frequência e velocidade, além de fenômenos de refração e reflexão. Como resultado, se houver uma diferença espacial significativa entre as fundações dos pilares, as acelerações sísmicas não serão sincronizadas (ou seja, não serão iguais em todos os elementos). Em um ambiente real, isso significa que as ações provocadas por um fenômeno sísmico são assíncronas: cada pilar sofrerá uma sequência de acelerações distintas do pilar antecessor e sucessor, variando o nível de interação entre essas ações sísmicas (HENRIQUE, 2009).

2.2 VIBRAÇÕES

As vibrações são caracterizadas como movimentos periódicos que um elemento realiza a partit de sua posição inicial de equilíbrio. As vibrações por sua vez possuem dois tipos distintos, sendo a primeira vibração livre, se mantendo apenas pelas forças de recuperação gravitacionais ou elásticas e as vibrações forçadas, nesta há a presença de uma força externa periódica sendo aplicada no sistema (HIBBELER, 2009).

De acordo com Beer, Johnston e Cornwell (2012), a vibração ocorre quando um sistema se move de sua posição de equilíbrio. As forças de restauração tentam trazer o sistema de volta a essa posição, mas a velocidade que ele adquire ao retornar o leva além desse ponto. Esse movimento pode se repetir indefinidamente. O período de vibração é o tempo necessário para o sistema completar um ciclo completo de movimento, enquanto a frequência representa quantos ciclos ocorrem em um determinado intervalo de tempo. A amplitude é a máxima distância percorrida pelo corpo em relação ao seu ponto inicial.

2.3 FREQUÊNCIA NATURAL

Frequência natural pode ser entendido como o movimento que um sistema realiza após sofrer uma perturbação e ser mantido sem demais interferências externas, gerando uma oscilação vibratória (RAO, 2018).

A amplitude da frequência de uma estrutura é maximizada quando a mesma possui valores semelhantes aos gerados pela carga dinâmica, uma vez que as duas se somam. A partir desse ponto, elas geram, resultados com um aumento significativo na amplitude de vibração, tal fenômeno é conhecido como ressonância. Dessa forma, há uma necessidade de se conhecer as frequências naturais dos elementos construtivos, afim de evitar possíveis incidentes relacionados a ressonância com as cargas as quais estão expostos. Com o auxílio de amortecedores é possível reduzir a atuação destas cargas e impedir estes fenômenos de ressonância (SERWAY; JEWETT, 2014).

2.4 ANSYS WORKBENCH

Em 1960, John Swanson foi responsável por "dar vida" ao ANSYS, enquanto ainda trabalhava no *Westinghouse Astronuclear Laboratory*. Neste período a análise de elementos finitos ainda era realizada manualmente pelos engenheiros. Após apresentar sua ideia para o desenvolvimento de um *software* capaz de realizar estes cálculos automaticamente e ter sido rejeitado, Swanson se retirou da empresa em 1969, fundou a Swanson Analysis Systems Inc e prosseguiu com o desenvolvimento de seu programa (FERNANDES, 2019).

O ANSYS é um programa que realiza o cálculo de diversos componentes de uma estrutura dentre as classes de problemas presentes na engenharia. Graças ao método dos elementos finitos, o ANSYS dispõem de uma gama de ferramentas que podem auxiliar no aprendizado e na resolução de problemas quanto a análise de estruturas (MARINHO, 2002).

O ANSYS apesar de ser um *software* disponível para a venda no mercado, possui também uma versão gratuita estudantil com algumas limitações, para alunos, professores e instituições de ensino que queiram utilizá-lo em sua didática, bem como o modelo que foi utilizado para a realização deste trabalho. Este modelo em questão por se tratar de uma versão gratuita possui algumas limitações, como a quantidade máxima de elementos que podem ser gerados em uma análise.

2.5 MÉTODO DAS DIFERENÇAS FINITAS (MDF)

O Método das Diferenças Finitas (MDF) é uma abordagem numérica direta e simples, substituindo derivadas de equações diferenciais por fórmulas predefinidas de diferenças finitas, e gerando soluções com precisão razoável. Este método já foi muito utilizado no passado, mas nos dias atuais deu lugar a métodos mais precisos como o Método dos Elementos Finitos, presente nas principais ferramentas (*softwares*) de análise de estruturas (DEUS et al., 2010).

2.6 MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS (MEF)

O Método dos Elementos Finitos (MEF), se caracteriza por ser um modelo de cálculo onde a peça de análise original é subdividida em diversas unidades menores, denominadas elementos finitos. Desta forma torna-se mais fácil o cálculo com precisão dos valores de cada elemento, que posteriormente dão os resultados da estrutura original. Este modelo pode ser utilizado para qualquer tipo de estrutura o que o torna muito versátil e faz com que ele seja utilizado pela maioria dos *softwares* presentes no mercado (CLOUGH; PENZIEN, 1995).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho tem como fonte para os valores do MA, MDF e MEF, bem como utilizase dos mesmos modelos de elementos construtivos oriundos do Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) com tema: "CÁLCULO DE FREQUÊNCIAS NATURAIS DE UMA VIGA COM DIFERENTES CONDIÇÕES DE CONTORNO POR MÉTODO ANALÍTICO E NUMÉRICO" das autoras Fabiane Heleny de Oliveira e Priscila Tallyta Reis Goulart, visto que trata-se de uma nova perspectiva de análise sobre o assunto. Todos os valores citados e relacionados ao Método Analítico (MA), Método dos Elementos Finitos (MEF) e Métodos das Diferenças Finitas (MDF) foram retirados integralmente do trabalho citado anteriormente.

A máquina utilizada para desenvolver as análises dentro do programa se trata de um Acer Aspire Nitro 5, modelo AN517-51-78YY, equipado com um processador Intel Core 9750H de 9^a geração, uma placa de vídeo NVIDIA GTX 1650 e 16 GB de memória RAM DDR4 2666 Mhz, tendo um excelente desempenho na geração dos resultados em média de 5 segundos para um total de 105 frequências.

3.1 CONDIÇÕES DE CONTORNO

Para este trabalho foi utilizado um perfil W 250 x 80 kg/m, descrito na tabela da Gerdau, seguindo as mesmas dimensões apresentadas na tabela em questão, mas com os valores de inércia e massa gerados pelo software, após o lançamento da geometria.

O primeiro modelo será uma viga engastada-livre, já o segundo modelo uma viga biengastada.

Diferentemente dos métodos analíticos e numéricos empregados no estudo anterior, a análise por *software* possui algumas diferenças para garantir a precisão e qualidade dos resultados. Neste caso foi necessário a adição de um apoio para travamento do perfil no eixo Z, uma vez que durante os testes, a viga sofra momentos de torção no sentido do eixo Z e ao redor do eixo X.

Abaixo está representado a vista frontal do perfil com algumas informações acerca de suas dimensões de acordo com a Figura 1.





Fonte: Autoria Própria, 2023.

O modelo utilizado segue as dimensões unitárias especificadas na tabela da Gerdau, por este motivo há uma diferença na altura total da peça, bem como seus valores de inércia. A massa e o volume são valores também gerados pelo *software* visto que ele possui seu próprio banco de dados interno de características de materias, sendo assim, alguns arredondamentos e valores diferem da tabela, como o volume e a massa da peça, conforme demonstrado na Tabela 1.

DADOS DO PERFIL GERADOS								
PELO ANS IS								
Área	10074,71 mm²							
Centroide X	-0,42 mm							
Centroide Y	-0,04 mm							
Ixx	124274773,19 mm^4							
Ixy	-89793,17 mm^4							
Іуу	43232009,17 mm^4							
Volume	0,10075 m ³							
Massa	790,86 Kg							

Tabela 1 – Dados do perfil gerados pelo software

Fonte: Autoria Própria, 2023.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados encontrados estão dispostos nas figuras 2, 3, 4 e 5 e correspondem aos valores encontrados na análise com *software* ansys worckbench do modelo proposto (perfil W 250 X 80), juntamente com os resultados do MA, MDF e MEF. Está apresentado também a diferença percentual dos valores de cada método em relação ao MA.

4.1 VIGA ENGASTADA-APOIADA

A seguir serão apresentados os resultados obtidos, em forma de gráfico, para exemplificar de forma visual a variação dos resultados dos métodos utilizados, para a viga engastada-apoiada bem como seus modos de vibrações, conforme Figura 2 até Figura 13.





Fonte: Autoria Própria, 2023.



Figura 3 – Erro das frequências naturais em relação ao método analítico

Fonte: Autoria Própria, 2023.

A Figura 4 apresenta o primeiro modo de vibração da viga engastada-livre, com a respectiva frequência de 3,13 Hz, onde é possível notar o início de um movimento na parte livre da viga. Esta simulação apresentou uma variação de 0% em relação ao MA e MEF, resultado não obtido em relação ao MDF, que apresentou uma diferença de 0,64%.



Figura 4 - Viga engastada-livre - Frequência 1 (3,13Hz)

Fonte: Autoria Própria, 2023.

A Figura 5 apresenta o segundo modo de vibração da viga engastada-livre, com a respectiva frequência de 19,52 Hz, que corresponde a aproximadamente 624% da frequência anterior, onde é possível notar a metade de um ciclo de deformação na viga. Esta simulação apresentou uma variação de 0,77% em relação ao MA, 0,61% em relação ao MEF e 3,55% em relação ao MDF, exemplificando já na segunda frequência a discrepância dos resultados de tal método. Esta é a única frequência na qual a diferença percentual entre o ansys e o MA é maior que a diferença entre o ansys e o MEF.



Figura 5 – Viga engastada-livre – Frequência 2 (19,52 Hz)

A Figura 6 apresenta o terceiro modo de vibração da viga engastada-livre, com a respectiva frequência de 54,13 Hz, que corresponde a aproximadamente 277% da frequência anterior, onde é possível notar a presença de um ciclo completo de deformação na viga. Esta simulação apresentou uma variação de 1,59% em relação ao MA, 1,63% em relação ao MEF e 7,02% em relação ao MDF.

Fonte: Autoria Própria, 2023.



Fonte: Autoria Própria, 2023.

A Figura 7 apresenta o quarto modo de vibração da viga engastada-livre, com a respectiva frequência de 104,63 Hz, que corresponde a aproximadamente 193% da frequência anterior, onde é possível notar a presença de um ciclo e meio de deformação na viga. Esta simulação apresentou uma variação de 2,97% em relação ao MA, 3,06% em relação ao MEF e 11,58% em relação ao MDF.





Fonte: Autoria Própria, 2023.

A Figura 8 apresenta o quinto modo de vibração da viga engastada-livre, com a respectiva frequência de 170,03 Hz, que corresponde a aproximadamente 163% da frequência anterior, onde é possível notar a presença de dois ciclos completos de deformação na viga. Esta simulação apresentou uma variação de 4,68% em relação ao MA, 4,93% em relação ao MEF e 17,16% em relação ao MDF.



Fonte: Autoria Própria, 2023.

A Figura 9 apresenta o sexto modo de vibração da viga engastada-livre, com a respectiva frequência de 248,96 Hz, que corresponde a aproximadamente 146% da frequência anterior, onde é possível notar a presença de dois ciclos e meio de deformação na viga. Esta simulação apresentou uma variação de 6,68% em relação ao MA, 7,21% em relação ao MEF e 23,85% em relação ao MDF.





Fonte: Autoria Própria, 2023.

A Figura 10 apresenta o sétimo modo de vibração da viga engastada-livre, com a respectiva frequência de 339,98 Hz, que corresponde a aproximadamente 137% da frequência anterior, onde é possível notar a presença de três ciclos completo de deformação na viga. Esta simulação apresentou uma variação de 8,92% em relação ao MA, 9,92% em relação ao MEF e

31,73% em relação ao MDF. Neste caso a diferença entre as duas primeiras comparações não chegou a 10%, mas a terceira já superou os 30%, provando a inviabilidade de tal método.



Figura 10 – Viga engastada-livre – Frequência 7 (339,98 Hz)

Fonte: Autoria Própria, 2023.

A Figura 11 apresenta o oitavo modo de vibração da viga engastada-livre, com a respectiva frequência de 441,67 Hz, que corresponde a aproximadamente 130% da frequência anterior, onde é possível notar a presença de três ciclos e meio de deformação na viga. Esta simulação apresentou uma variação de 11,37% em relação ao MA, 12,98% em relação ao MEF e 40,89% em relação ao MDF.



Figura 11 – Viga engastada-livre – Frequência 8 (441,67 Hz)

A Figura 12 apresenta o nono modo de vibração da viga engastada-livre, com a respectiva frequência de 552,68 Hz, que corresponde a aproximadamente 125% da frequência anterior, onde é possível notar a presença de quatro ciclos completos de deformação na viga.

Fonte: Autoria Própria, 2023.

Esta simulação apresentou uma variação de 13,97% em relação ao MA, 16,24% em relação ao MEF e 51,38% em relação ao MDF.



Figura 12 - Viga engastada-livre - Frequência 9 (552,68 Hz)

Fonte: Autoria Própria, 2023.

A Figura 13 apresenta o décimo modo de vibração da viga engastada-livre, com a respectiva frequência de 671,78 Hz, que corresponde a aproximadamente 122% da frequência anterior, onde é possível notar a presença de quatro ciclos e meio de deformação na viga. Esta simulação apresentou uma variação de 16,69% em relação ao MA, 18,47% em relação ao MEF e 63,25% em relação ao MDF.



Figura 13 – Viga engastada-livre – Frequência 10 (671,78 Hz)

Fonte: Autoria Própria, 2023.

4.2 VIGA ENGASTADA-ENGASTADA

A seguir serão apresentados os resultados obtidos, em forma de gráfico, para exemplificar de forma visual a variação dos resultados dos métodos utilizados, para a viga engastada-engastada bem como seus modos de vibrações, conforme Figura 14 até Figura 25.





Fonte: Autoria Própria, 2023



Figura 15 – Erro das frequências naturais em relação ao método analítico

Fonte: Autoria Própria, 2023.

A figura 14 apresenta o primeiro modo de vibração da viga engastada-engastada, com a respectiva frequência de 19,79 Hz, onde é possível notar a presença de meio ciclo de deformação na viga. Esta simulação apresentou uma variação de 0,80% em relação ao MA, 0,80% em relação ao MEF e 2,56% em relação ao MDF. Valores bem superiores aos apresentados na primeira frequência da viga engastada-livre.



Figura 16 – Viga engastada-engastada – Frequência 1 (19,79 Hz)

Fonte: Autoria Própria, 2023.

A figura 15 apresenta o segundo modo de vibração da viga engastada-engastada, com a respectiva frequência de 53,94 Hz, que corresponde a aproximadamente 273% da frequência anterior, onde é possível notar a presença de um ciclo completo de deformação na viga. Esta simulação apresentou uma variação de 1,91% em relação ao MA, 1,93% em relação ao MEF e 5,29% em relação ao MDF.





Fonte: Autoria Própria, 2023.

A figura 16 apresenta o terceiro modo de vibração da viga engastada-engastada, com a respectiva frequência de 104,21 Hz, que corresponde a aproximadamente 193% da frequência anterior, onde é possível notar a presença de um ciclo e meio de deformação na viga. Esta simulação apresentou uma variação de 3,37% em relação ao MA, 3,47% em relação ao MEF e 8,77% em relação ao MDF.



Figura 18 – Viga engastada-engastada – Frequência 3 (104,21 Hz)

Fonte: Autoria Própria, 2023.

A figura 17 apresenta o quarto modo de vibração da viga engastada-engastada, com a respectiva frequência de 169,17 Hz, que corresponde a aproximadamente 162% da frequência anterior, onde é possível notar a presença de dois ciclos completos de deformação na viga. Esta simulação apresentou uma variação de 5,18% em relação ao MA, 5,45% em relação ao MEF e 13,09% em relação ao MDF.





Fonte: Autoria Própria, 2023.

A figura 18 apresenta o quinto modo de vibração da viga engastada-engastada, com a respectiva frequência de 247,48 Hz, que corresponde a aproximadamente 146% da frequência anterior, onde é possível notar a presença de dois ciclos e meio de deformação na viga. Esta simulação apresentou uma variação de 7,27% em relação ao MA, 7,84% em relação ao MEF e 18,30% em relação ao MDF.



Figura 20 - Viga engastada-engastada - Frequência 5 (247,48 Hz)

Fonte: Autoria Própria, 2023.

A figura 19 apresenta o sexto modo de vibração da viga engastada-engastada, com a respectiva frequência de 337,69 Hz, que corresponde a aproximadamente 136% da frequência anterior, onde é possível notar a presença de três ciclos completos de deformação na viga. Esta simulação apresentou uma variação de 9,60% em relação ao MA, 10,66% em relação ao MEF e 24,48% em relação ao MDF.





Fonte: Autoria Própria, 2023.

A figura 20 apresenta o sétimo modo de vibração da viga engastada-engastada, com a respectiva frequência de 438,41 Hz, que corresponde a aproximadamente 130% da frequência anterior, onde é possível notar a presença de três ciclos e meio de deformação na viga. Esta simulação apresentou uma variação de 12,11% em relação ao MA, 13,87% em relação ao MEF e 31,73% em relação ao MDF.



Figura 22 – Viga engastada-engastada – Frequência 7 (438,41 Hz)

Fonte: Autoria Própria, 2023.

A figura 21 apresenta o oitavo modo de vibração da viga engastada-engastada, com a respectiva frequência de 548,30 Hz, que corresponde a aproximadamente 125% da frequência anterior, onde é possível notar a presença de quatro ciclos completos de deformação na viga. Esta simulação apresentou uma variação de 14,76% em relação ao MA, 17,28% em relação ao MEF e 40,10% em relação ao MDF.





Fonte: Autoria Própria, 2023.

A figura 22 apresenta o nono modo de vibração da viga engastada-engastada, com a respectiva frequência de 666,13 Hz, que corresponde a aproximadamente 121% da frequência anterior, onde é possível notar a presença de quatro ciclos e meio de deformação na viga. Esta simulação apresentou uma variação de 17,52% em relação ao MA, 19,63% em relação ao MEF e 49,66% em relação ao MDF.



Figura 24 – Viga engastada-engastada – Frequência 9 (666,13 Hz)

Fonte: Autoria Própria, 2023.

A figura 23 apresenta o décimo modo de vibração da viga engastada-engastada, com a respectiva frequência de 790,83 Hz, que corresponde a aproximadamente 119% da frequência anterior, onde é possível notar a presença de cinco ciclos completos de deformação na viga. Esta simulação apresentou uma variação de 20,35% em relação ao MA, 31,12% em relação ao MEF e 60,45% em relação ao MDF.





Fonte: Autoria Própria, 2023.

Através da análise dos dados encontrados foi possível chegar a conclusão que a geração de resultados do ansys é altamente capaz de ser utilizada na engenharia, uma vez que gerou valores bem próximos aos analíticos e também aos elementos finitos e que em todos os casos, apresentou valores menores que o método analítico, estando assim a favor da segurança.

Através destes resultados foi possível observar que conforme iam aumentando os valores das frequências, menores ficavam as razões entre a frequência atual e a frequência anterior. Logo esta progressão tende a zero futuramente.

Também foi possível perceber que as primeiras frequências possuem valores mais próximos do modelo analítico.

O número de ondas/ciclos também é gradual e aumenta em meio ciclo a cada frequência.

5 CONCLUSÕES

No trabalho apresentado foram determinadas as frequências naturais e os modos de vibração de vigas, com duas condições de contorno distintas, através da utilização do *software* Ansys Workbench em sua versão estudantil. Os resultados encontrados foram analisados e comparados aos resultados de outro trabalho realizado anteriormente.

Foi possível notar que em todas as simulações, as frequências naturais geradas pelo Ansys demonstraram valores próximos ao método analítico e método dos elementos finitos, sendo suas variações detentoras de valores menores que os apresentados pelo método analítico. Baseado nestas observações, os valores apresentados pelo *software* podem ser utilizados e aplicados nas atividades de dimensionamento de estruturas.

Durante as tentativas de dimensionamento foi possível notar que conforme refinavase a malha utilizada, mais próximo chegava-se dos resultados obtidos pelo método analítico. Sendo este refinamento de malha limitado pelo *software* em função de sua versão estudantil .

Notou-se que conforme aumentava a quantidade de frequências calculadas, maior se tornava a variação em relação ao Método Analítico.

Já nos módulos de vibração apresentados foi possível perceber que a condição de contorno mais restritiva (bi-engastado) apresentou amplitudes menores que a condição de contorno menos restritiva (engastada-livre).

Através dos modelos gerados foi notório que conforme a frequência aumenta, o número de ondas geradas também aumenta, sendo o modelo engastado-engastado sempre superior a uma onda em relação ao modelo engastado-livre.

1 CONTINUAÇÃO DA PESQUISA E TRABALHOS FUTUROS

No intuito de dar continuidade a este trabalho e buscar formas e modelos diferentes para análises dentro do campo das cargas dinâmicas, seria interessante buscar outros softwares capazes de realizar estas análises, bem como trazer outros modelos construtivos para serem analisados.

Partindo deste contexto fica como sugestão os seguintes estudos:

- Análise dinâmica de elementos submetidos a carregamentos;
- Análise das frequências naturais e modos de vibração de vigas com outras condições de contorno;
- A importância da análise dinâmica de estruturas dentro da engenharia civil.

REFERÊNCIAS

BLESSMANN, J. Ação do Vento em Edifícios. 2. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 1989.

CLOUGH, R. W.; PENZIEN, J. **Dynamics of Structures** – USA, University Ave. Berkeley, 1995.

CUNHA, Rafael Nunes da; TELES, Daniel Victor da Cunha; AMORIM, David Leonardo Nascimento de Figueiredo. Análise simplificada do efeito de ações sísmicas em edifícios de concreto armado dimensionados pela norma brasileira. **Revista Principia**, João Pessoa, v. 51, p. 205-213, abr. 2020.

DEUS, L. R.; MACHADO, F. C. S; SILVEIRA, R. A. M; NOGUEIRA, C. L. MDF: Conceitos Básicos e algumas Aplicações na Engenharia Estrutural. Nono Simpósio de Mecânica Computacional, Universidade Federal de São João Del-Rei – MG, 2010.

FERNANDES, LUCAS CINTRA. Técnicas de otimização utilizando o Ansys Workbench.59 p. Projeto de Graduação. Universidade de Brasília, Brasília, 2019.

FOX, R.W., MCDONALD, A.T. e PRITCHARD, P.J.; "Introdução à Mecânica dos Fluidos", LTC, 6a ed. (2004).

GOULART, P. T. R. OLIVEIRA, F. H. D. Cálculo De Frequências Naturais De Uma Viga Com Diferentes Condições De Contorno Por Método Analítico e Numérico. TCC, Publicação ENC. PF-001A/20, Curso de Engenharia Civil, Faculdade Evangélica de Goianésia, Goianésia, GO, 88p. 2020.

KÜSTER, L. D.; SARTORTI, A. L. Análise dinâmica de estruturas de concreto: Avaliação de três sistemas construtivos de lajes. Teoria e Prática na Engenharia Civil, v.18, 2011.

MARINHO, I. J. P. **Projeto ótimo de estruturas metálicas de arquibancadas reutilizáveis via ANSYS.** 198 p. Dissertação de Mestrado – PUC-RIO, Rio de Janeiro, 2002. RAO, SINGIRESU S. Mechanical Vibrations. 6th Ed., United Kingdom: Pearson Education, 2018.

SORIANO, H. L. Introdução à dinâmica das estruturas. 1ª ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2014.

APÊNDÍCE A – Passo a passo de como realizar o lançamento e geração de resultados no Ansys Workbench

Para iniciar o procedimento, primeiro faz-se a escolha do tipo de análise que será realizada. Neste caso uma análise modal, conforme Figura A.1.

W Note Note Note Note V V V	Munswed Project - Workbench					_	 ×
V V	File View Tools Units Extensions Jobs Help						
	The R R Constant						
When We way 1 we							
Image: Section Image	G Broport +9 Reconnect (2) Retresh Project (2) Update Project (2) ACT Start Page						_
Model Ansatz Noted analytic state of the	Toobox • 9 x Project Schematic • 9	X Proper	ties: No data				- ф X
Image: Control frammer: Image: Control frammer: Image: Control frammer: Image: Control frammer: <td>E Analysis Systems</td> <td></td> <td>A</td> <td></td> <td>8</td> <td></td> <td></td>	E Analysis Systems		A		8		
Code code from Model Code code from Model Code code from Model December of Model Code Code Model Code Code Model Code Code Code Code Code Code Code Code	E Coupled Field Harmonic	1	Property		Value		
Comparison	E Coupled Field Modal						
With With With With With With With With	E Coupled Field Static						
We with The States Image: States	Gupled Field Translent						
Wind Windtwick Pudd W	Eigenvalue Buckling						
Weak Weak <t< td=""><td>B Rodic Duranice</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></t<>	B Rodic Duranice						
W W W	Explose Systems S						
V Market Normalian Image: Market Normalian	S Fluid Flow (Fluent with Fluent Meshi						
Image: Marking Market Marke	Eluid Flow (Fluent)						
Concent Systems C	S Fluid Flow (Materials Processing)						
Wender Kausdar Wender Kausdar Wender Anseiden Wen	S Fluid Flow (Pelyflow)						
Versel for an office of the series of the s	Parmonic Acoustics						
We will forward	e Harmonic Response						
Sorting Servers S	Hydrodynamic Dimaction						
We style	I SERVINA						
Weak Weak <t< td=""><td>I IS-DIYNA Restart</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></t<>	I IS-DIYNA Restart						
Water Words Acoustic	Magnetostatic						
We dif Acastica Be dealw Weak Model analysis dring Mechanical APDC solver Be dealw Weak Be dealw Weak </td <td>W Modal</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td>	W Modal						
Modul analysis using Mechanical ADDL solver Syd Cyname Syd Cynamae Syd Cyname Syd Cyname Syd Cynamae Syd Cynamae	Modal Acoustics						
We way in the second of the	Random Vibration Modal analysis using Mechanical APDL solver						
Y Yes af /camea.	Response Spectrum						
We Write State Thermal State State Thermal Thermal State Thermal State Concent State	Regio Dynamics						
Water Stream Bestand Operation Description Description Transit Stream Description Martin V West of Comment.	Static Acoustics						
Yes Y	Static Structural						
Bruchscher Stellensteine Stellensteine Stellensteine Transuts Streament Transuts Transuts Streament Transuts	3 Steady-State Thermal						
Self-total Constants Terminal Self-total Constants Terminal Self-total Constants Terminal Self-total Self-tot	Structural Optimization						
Y Yes of Younget	Substructure Generation						
Tomoral Thempi Tomoral Thempi Tomoral Thempi Compose the second secon	Thermal-Electric						
Tetranuctions plant lique Composed by plants College Leptons Act	ransent Structural						
B Composed System Control System Co	S Turburgar high Fluid Flow						
R Cuttor Kystems R Cuttor Kystems R Act	Component Systems						
IR Design Exploration IR ACT	Custom Systems						
The ACT	Design Exploration						
Y We If /Calman.	B ACT						
Y We if (Calmon							
Y Ver A (Culture)							
Y We if (Calmon							
Y Ver # / Cuteron							
West # [Catalway							
Ven Al / Custonice							
	Vew Al / Custonize						

Figura A.1 – Menu Ansys Workbench

Fonte: Autoria Própria, 2023.

Já com o programa aberto, realizar um duplo clique em modal, no menu Analysis Systems, do lado esquerdo. Irá abrir um novo menu de opções, conforme Figura A.2.

Workbench

File View Tools Units Extensions Jobs	s Help							
107 B B O								
Project								
Support + Reconnect 🛃 Refresh Project	Update Project ACT Start Page							
Toobox 👻 🗸 🖻	roject Schematic	- 0 X	Proper					* # X
El Analysis Systems				A		8		
Coupled Field Harmonic			1	Property		Take.		
Coupled Field Modal	• A		2	E Notes				
E Coupled Field Static	1 HM Model		3	Notes				
Coupled Field Transient	2 @ Engineering Data		-	E Solution Process				
Eigenvalue Buckling	1 🖨 Country 🤤		5	Undate Ontion	Foregrand			
Electric	s go ceomory = _							
Explicit Dynamics	4 💓 Model 👕 🖌							
Fluid Flow (CFX)	5 🍓 Setup 🛛 👕 🦼							
Eluid Flow (Floent Weil Floent Plesini	6 👔 Solution 🛛 💡							
Fluid Flow (Materials Processing)	7 🐋 Results 📪 .							
Fluid Flow (Polyflow)								
Harmonic Acoustics	Piodal							
Harmonic Response								
Hydrodynamic Diffraction								
Hydrodynamic Response								
LS-DYNA								
Monstactatic								
Modal								
Modal Acoustics								
Random Vibration								
Response Spectrum								
Rigid Dynamics								
Speos								
Static Acoustics								
Static Structural								
Structural Ontenization								
Substructure Generation								
Thermal-Electric								
Transient Structural								
C Transient Thermal								
C Turbomachinery Fluid Flow								
Component Systems								
Custom Systems								
Design Exploration								
I ACT								
-								
T View All / Customize			1					
Ready						No D	PS Connection 😐 Show Progress 🔅	Show 0 Messages

Fonte: Autoria Própria, 2023.

- a ×

Após a abertura desta nova janela, deve-se adicionar uma geometria referente a estrutura que será analisada dentro do *software* para que possam ser feitos os cálculos. Para isto deve-se clicar em "*Geometry*" com o botão direito do *mouse* e selecionar a opção *New SpaceClaim Geometry*..., conforme Figura A.3.



Figura A.3 - Menu modal - inserção de geometria

Fonte: Autoria Própria, 2023.

Após selecionar, irá abrir outra janela, desta vez em outra ferramenta do pacote ansys, o SpaceClaim, uma ferramenta própria para fazer o desenho da peça que deseja-se analisar.

Após desenhar o modelo conforme dados da tabela Gerdau, deve-se fazer a extrusão do modelo, para que seja gerada uma única barra com as características da peça original. Desta forma facilita a resolução e garante a qualidade dos resultados a serem gerados. Este processo está demonstrado na Figura A.4.



Figura A.4 – SpaceClain – Extração das características da peça

Fonte: Autoria Própria, 2023.

É possível notar no canto inferior direito que a barra gerada possui todas as características do perfil apresentado anteriormente, conforme Figura A.5.

Figura A.5 – Barra (W 250X80)



Fonte: Autoria Própria, 2023.

Agora já é possível salvar o modelo, fechar o SpaceClain e retornar ao menu do workbench. Com a geometria já configurada agora dê um duplo clique em "Model" no menu A, para abrir a ferramenta Ansys Mechanical.

- & × Î 6 ī **1** R 0 T 1 Σ 2 4 Part AM Process Mesh Edit N 055 • 4 ⊡ × 🔍 🔍 😂 🚭 🐁 🗇 = 🔆 = 🔆 Q, Q, Q, Q, Q, Select 🤧 Mode= 📰 🛱 🛅 🛅 🛅 📾 🐨 🖤 🕾 rd + [Empty] 😜 Ext Ansys × 4 ⊡ ×

Figura A.6 – Mechanical

Fonte: Autoria Própria, 2023.

Próximo passo é fazer a conferência das características do modelo, por padrão o material da estrutura é o aço estrutural. Caso ele não esteja selecionado pode-se clicar em *materials* com o botão direito do mouse, no menu *outline* e em seguida em *insert* para configurar um novo material para o modelo, como demonstra a Figura A.7.

_				
Context		A : Modal - Mechanical [Ansys Mechanical Enterprise]		- 8 ×
File Home Materials Display Selecti	ion Automation Add-ons NVH Toolkit O	ffshore	Quick Launch	<u>~ ⊠ ⊙-</u>
Luplicate Q Solver Solvers Mamed Selection Outline Solvers Mamed Selection Solvers	Commands Images* Comment Section Plane Chart Annotation nsert	Material Combination		
Outline 👻 🖡 🗖 🗙	Engineering Data: Material View			→ ‡ ×
Name Search Outline V	Q Enter name, label, property	Structural Steel		
E- Model (A4)	🔶 Water Liquid	Fatigue Data at zero mean stress comes from 1998 ASME BPV Code, Section 8, Div 2, Te	ble 5-110.1	^
E Geometry Imports	🛉 Structural Steel 🕂	Develop	78600 b-/	
E → Q Geometry	Air Click to view details.	Densky	7630,0 kg/m	
PERFIL W250x80-1\Beam (Perfil extraido	Structural Steel	Structural	~	
Structural Steel	•	✓ Isotropic Elasticity		
Coordinate Systems		Derive from	Young's Modulus and Poisson's Ratio	
Mesh Modal (AS)		Young's Modulus	2e+11 Pa	
Tig Pre-Stress (None)		Poisson's Ratio	0,30000	
Analysis Settings		Bulk Modulus	1,6667e+11 Pa	
Solution Information		Shear Modulus	7,6923e+10 Pa	
		Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion	1,2e-05 1/*C	
		Compressive Ultimate Strength	0 Pa	
		Compressive Yield Strength	2,5e+08 Pa	
<		Strain-Life Parameters	650-1	~
	Geometry Engineering Data: Material View			
	Graphics Annotations			- 4 ×
	Type Value Note	Unit Leation X Leation Y Leation Z Hody ID	Association	Timestamp
Ready		Me	isages pane 🛛 No Selection 🛸 Metric (m, kg, N, s, V, A) 🛛	regrees rad/s Celsius

Figura A.7 – Seleção do material

Fonte: Autoria Própria, 2023.

Com a peça já configurada, deve-se gerar uma malha, a qual possibilitará o cálculo da estrutura. De volta ao menu *outline*, clique em *Mesh* com o botão direito, selecione *Insert* e em seguida *Sizing* para criar uma malha de elementos finitos para a estrutura, conforme Figura A.8.

												0					5											
o	!! =		Contex										A:1	Modal - N	Aechanical	(Ansys Me	chanical Er	terprise]								-	- 6	×
File		lome	Mesh	Display	Selectio	n	Automa	tion	Add-o	ns	NVH Tool	kit C	offshore												ick Launch		~ 2	0-
Dupl	icate	Cut Copy Paste utline	× Delete Q Find C Tree *	My Comput Distribu Cores 4	ter • uted Solv	Soh	Reso Predic	JH L urce tion	Analysis	图N 米C 4、R	amed Selecti oordinate Sy emote Point	ion E stem C Lie Inser	Command Comment Chart t	s 🖲 Ima C)III Sec III Ann	ges * tion Plane notation	t mft Units	Workshee	t Keyframe Animation	∾ Tags ⊘ Wizard ⊡ Show Erro	Manage Vie Selection In rs II Unit Conver Tools	tws iformation iter	📽 Print Previo 📽 Report Pre 🖾 Key Assign	ew Fi ments Scr		Manage* User Defined Reset Layout Layout	*		
Outli	ne concorr			•••••••••••••••••••••••••••••••••••••••	• 4 ⊡ ×				Q	Q		Pi () - 🔅 🛛	0.0		Select	k, Mode≁	# D C) 🖬 🖬 🕅 I	🖻 🖲 🔫 🖻	₽ <i>≃</i> [Clipboard -	[Empty]	Ext	end - 🤶 Se	lect By *	Convert	
	ame roject	el (A4 Geom Geom Mater Cross Coord M	Search (Search (e Mesh	•		Method Sizing Contact Si Refineme Face Mes Mesh Co	izing Sizing	Cont	trol siz	e-related set er of drivisio sector dri influ	ttings su ns along	ch as elem an edge, u inimum sit	ent se of												∧ ₅π	DSY 2023 I JDENT	S 21
		4	Clear Ge Rename Start Re	cording	F2		Match Co Pinch nflation Weld	① Pr	ess F1 fe	or help	, ,															Ì		
Detail	s of "Mes	sh" ···		•••••••••••••••••••••••••••••••••••••••	4 □ :	® 1	Mesh Edit																					
 Dis Del Phy Ele 	play play Style aults sics Prefe ment Ord	rence	Use Geon Mechanic Program (al	=		Mesh Nur Contact N Contact N	nbering latch G latch	roup							0,000	0,750	1,5	2,	3,00	0 (m)					z	×	
+ Sizi	Element S ng	Size	Default			8: I	Node Mer	ge ge	οµ.		Note			Unit	Locatio	n X	Location	Y L	ocation Z	Node ID	Associ	iation					↓ Țimestam	×
+ Infl	ation						Pull																					
+ Bat + Ad + Sta	ch Conne vanced listics	ntion	15			I				1																		
Cont	rol size-re	elated	d settings su	uch as element	t size, numl	ber of	divisions	along	an edge,	use o	f sphere or I	body of i	nfluence, r	ninimum	size, etc.					9 0 No 1	Messages	No Selection	n 🍝 Metr	ic (m, k	g, N, s, V, A)	Degrees	rad/s Cels	ius

Figura A.8 – Geração de malha

Fonte: Autoria Própria, 2023.

O menu de configuração de malha se abrirá no canto inferior esquerdo, conforme Figura

A.9.



Figura A.9 – Caracterização de malha

Fonte: Autoria Própria, 2023.

Selecione a estrutura, clique *No Selection*, em seguida em *Apply*, para aplicar a malha ao elemento, conforme Figura A.10.





A malha será gerada automaticamente e terá uma representação como disposta na Figura A.11.





Fonte: Autoria Própria, 2023.

Fonte: Autoria Própria, 2023.

Na opção *Element Size*, clique em *Default* e digite 0,05 para diminuir a malha para intervalos de 5 centímetros, conforme Figura A.12.



Figura A.12 - Caracterização de malha - III

Na aba *Enviroument*, procure pelo menu *Structural*, em seguida clique em *Fixed*, adicione um apoio fixo a extremidade da barra, em seguida clique em *Apply*.. Voltando ao menu *Structural*, clique em *Displacement* e clique no meio da barra para adicionar um travamento lateral em Z, em seguida clique em *Apply* novamente, conforme Figura A.13, Figura A.14 e Figura A.15.





Fonte: Autoria Própria, 2023

Fonte: Autoria Própria, 2023.

Context	action Automation Address MAH	A : Modal - Mechanical [Ansys Mechanical Ente	erprise]	- 6 X
Total Dimensional Display	Commands ⊕ Images* Comment ∰Section Plane Linctial Annotation sert	Quarticity Construction Q. Proce Q. Fixed Q. Moment Q. Fixed Supports Q. Displacement Structural Structural	15 Direct Edg With Inputs 16 Direct Edg With Input Engont Engo 17 Direct Input Engo 18 Direct Vision File Visio	Ki
Outline 👻 🕂 🗆 🗙	🔍 Q 🖉 🗑 😜 😵	🎦 🔿 ~ 💠 🔍 🔍 🔍 🍭 🔍 🛛 Select 🏞 Mode ~ 🗿	🕄 🔁 🖻 💼 📾 🖼 💘 🚏 🕾 🗠 🔚 Clipboard - 🛛 [Empty	👔 😨 Extend 🐐 🙎 Select By 🐐 📲 Convert 🐂
Name sech Outlie Project P	A blod Final Support Final Support OV07/220 01:11 Fixed Support			Ansys 2023 RI STUDENT
				†
Details of "Fixed Support" - 🖛 🛱 🗖 🗙				
Scope Scoping Method Geometry Selection Geometry Apply Cancel Definition		0,000	2,000 4,000 (m) 3,000	z
Suppressed No	Graphics Annotations	later la contra la contra a	laurin T. Just B. Januarita	↓ ↓ ×
Ready	nyr janue Note	, una , Location A (Location F	(valuent a revert a Allectricit) ©/1 Message - 1 Werter Selected Learnin n (10, 0.132,-0.120) m ● M	Theritans

Figura A.14 – Lançamento dos apoios - II

Fonte: Autoria Própria, 2023.

No canto direito inferior irá ter um quadro de opções, no campo "*Z Component*" mude para 0, para fazer o travamento da peça no eixo horizontal, como representado na Figura A.15.





Fonte: Autoria Própria, 2023.

Na aba *Solution*, vá ao menu *Results* e clique em *Deformation*, para adicionar o módulo de deformação a análise, como mostra a Figura A.16.

Image: Selection Context File Home Solution Display Selection	A: Model - Nechanical [Interprint] - + + + + + + + + + + + + + + + + + +
Duplicate Q Outline Cores 4 Solve Prediction	En Schwarzs Schwarzs Domugers Domugers Demografier (Section Fire Section Fire Se
Outline	🔍 Q, Q 🗑 💽 🖓 🍡 (C - 🔆 Q, Q Deformation Moder 📰 📅 🔂 🖄 着 👼 🕷 🖤 🕾 📈 🛄 Clipboard- [Empty] 😂 Extend- 🙎 Select By- 🖷 Convert-
Nume	Remain Constraint Substraint Constraint Preparing: IV/A Constraint Q007/2013 01:4 Constraint
Details of "Solution (A6)"	t t
Adaptive Mesh Refinement	
Max Refinement Loops 1, Refinement Depth 2	0,000 2,000 4,000 (m) 2- ×
- Information	1,000 3,000
Status Solve Required	
MAPDL Elapsed Time 2, s	Graph + U = X Tabular Data + U = X
MAPDL Memory Used 172, MB	
MAPDL Result File Size 896, KB	
Post Processing	
Beam Section Results No	
	Graphics Annotations Graph
Deformation results.	

Figura A.16 – Adicionando uma análise de deformação na estrutura

Fonte: Autoria Própria, 2023.

Para gerar os resultados basta clicar em *Solve*, que o *software* irá calcular as frequências naturais da estrutura e gerar os modos de vibração, conforme Figura A.17.



Figura A.17 – Analisando a estrutura

Fonte: Autoria Própria, 2023.

Na aba *Display*, vá até o menu *Style* e clique em *Cross Section*, para ativar a visualização do elemento em 3D, como mostrado na Figura A.18.



Figura A.18 - Modificando a aparência da estrutura para uma secção 3D

Fonte: Autoria Própria, 2023.

Por padrão o Ansys vem configurado para gerar apenas as 6 primeiras frequências da estrutura, portanto é necessário mudar a quantidade manualmente. Neste caso foi adicionado o valor de 105 frequências, como mostra a Figura A.19.



Figura A.19 – Modificando a quantidade de frequências a serem geradas

Fonte: Autoria Própria, 2023.

Novamente clica-se em *Solve*, para atualizar os resultados e gerar as novas frequências, conforme Figura A.20.



Figura A.20 – Modificando a quantidade de frequências a serem geradas

Fonte: Autoria Própria, 2023.

Com todas as frequências geradas é necessário selecionar todas elas, clicar com o botão direito do *mouse* sobre as mesmas e clicar em *Create Mode Shape Results*, para gerar os novos módulos de vibrações, como demonstra a Figura A.21.



Figura A.21 – Modificando a quantidade de frequências a serem geradas

Fonte: Autoria Própria, 2023.