

**ELEMENTOS FINITOS: análise em eixos de secadores rotativos por meio de elementos finitos utilizando o software ansys™**

**Diunay Zuliani Mantegazini**

**Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, Faculdade de Engenharia e  
Ciência de Guaratinguetá - Universidade Estadual Paulista - UNESP  
diunay.mantegazini@unesp.br**

**Thales Rodrigues Barboza**

**Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, Faculdade de Engenharia e  
Ciência de Guaratinguetá - Universidade Estadual Paulista - UNESP  
Thales.barboza@unesp.br**

**Andreas Nascimento**

**Programa de Pós-graduação em Engenharia, Faculdade de Engenharia e Ciência de  
Guaratinguetá - Universidade Estadual Paulista – UNESP  
Energy Group, Instituto de Engenharia Mecânica - Universidade Federal de Itajubá -  
UNIFEI.  
andreas.nascimento@unifei.edu.br**

**RESUMO**

O método dos elementos finitos (FEM) foi proposto como um método para analisar a distribuição de tensões em um secador rotativo para a secagem de grãos. Os eixos são usados principalmente para transmitir energia e movimento a outras partes mecânicas, sendo severamente castigados durante o processo de secagem. Dessa forma, um projeto de fixação do secador rotativo adequado é extremamente necessário, aumentando a confiabilidade e vida útil do equipamento, já que a formação de danos por fadiga mais complexa são observadas em situações de contato mecânico entre as superfícies dos componentes em conjunto com cargas repetidas em sistemas de deslizamento rotativo. A seleção de um processo apropriado requer a compreensão dos mecanismos de danos por fadiga em materiais e os fundamentos da mecânica. Dessa forma, o objetivo deste estudo foi realizar análises de elementos finitos com o auxílio do software ANSYS, com o intuito de conhecer as tensões em torno dos pontos mais vulneráveis em componentes dos secadores rotativos, utilizados na secagem de grãos.

**Palavras-chave:** Equipamentos rotativos; Concentração de tensões; Coeficientes de segurança; Resistência à fadiga.

**1 INTRODUÇÃO**

A análise de elementos finitos na engenharia teve início nas décadas de 1950 e 1960, tendo a engenharia aeroespacial como o ponto principal. No final da década de 1960, surgiram os primeiros programas comerciais de computador (ASKA, NASTRAN, Stardyne, etc.). Posteriormente, o método dos elementos finitos se espalhou para outras disciplinas científicas e de engenharia, e agora seu uso é generalizado e muitos programas comerciais estão disponíveis (HUGHES et al., 2005).

O método de elementos finitos é usado para analisar as distribuições de tensões e avaliar a vida em fadiga (LUO; WU, 2006). A previsão e as medições precisas e confiáveis de tensões são essenciais para a integridade estrutural e a avaliação da fadiga de componentes (BARSOUM; BARSOUM, 2009). O termo fadiga se tornou uma palavra amplamente aceitável na ciência dos materiais de engenharia para descrever um modo particular de falha. Os fenômenos de trinca por fadiga em metais são iniciados por nucleação em nano e microescalas, levando ao crescimento e propagação macroscópica da trinca e, finalmente, à falha completa de um componente ou estrutura (ZAMANZADEH et al., 2015).

Recentemente, graças as maiores capacidades de computação automática e ao desenvolvimento de testes experimentais precisos, é possível investigar a relação entre os parâmetros de tratamento, tensões residuais e a resistência à fadiga dos componentes (GUAGLIANO et al., 2002). Falhas em máquinas e equipamentos, estruturas soldadas, veículos e em vários outros sistemas mecânicos podem ocorrer sob cargas flutuantes e isso requer uma melhor compreensão dos mecanismos de formação de danos por fadiga para estratégias de planejamento em projeto de engenharia, seleção de materiais e processos de fabricação para melhorar o desempenho, prolongar a vida útil e aumentar a segurança dos produtos (ZAMANZADEH et al., 2015).

O método dos elementos finitos foi proposto como um método para analisar a distribuição de tensões em um secador rotativo para a secagem de grãos. Os secadores rotativos durante o período de funcionamento são submetidos à combinação de elevadas temperaturas, cargas, além da corrosão causada por alguns tipos de grãos. Dessa forma, característica do material empregado na fabricação desses equipamentos é de fundamental importância, com o intuito de evitar a formação de trincas e o eventual rompimento.

Em máquinas rotativas, o eixo acomoda as principais tensões de trabalho desenvolvidas durante a transmissão de força. Os eixos são usados principalmente para transmitir energia e movimento a outras partes mecânicas. Geralmente, esses componentes estão submetidos a complexos ciclos de carregamento dinâmico, principalmente consistindo

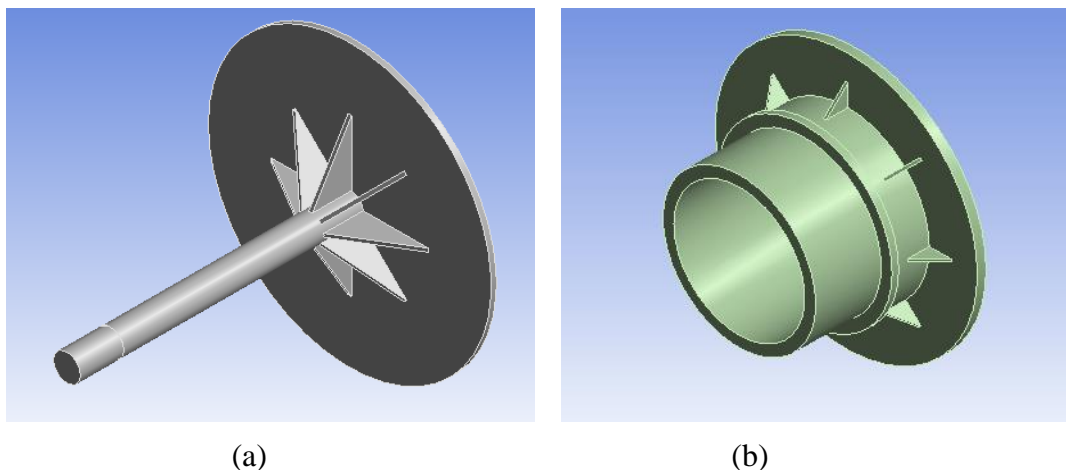
em uma combinação de cargas de torção e flexão que geralmente levam à falha por fadiga (PAPADOPOULOU et al., 2019).

Além disso, outros parâmetros, como o desalinhamento impróprio do eixo, adicionam mais tensão aos componentes mencionados, reduzindo drasticamente sua vida útil geral. Mesmo que o eixo esteja levemente desalinhado, devido à instalação incorreta ou desgaste prévio dos mancais, pode levar a um carregamento adicional durante a operação, levando a uma fratura prematura por fadiga (BERNDT; VAN BENNEKOM, 2001). Dessa forma, o objetivo deste estudo foi realizar análises de elementos finitos com o auxílio do software ANSYS, com o intuito de conhecer as tensões em torno dos pontos mais vulneráveis dos componentes mencionados em secadores rotativos, utilizados na secagem de grãos.

## 2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Inicialmente, os modelos geométricos foram criados utilizando o software ANSYS™ versão estudantil – no ambiente *SpaceClaim*. Para a criação desses modelos foram utilizados dados reais, os detalhes desses modelos podem ser vistos na Figura 1.

**Figura 1: Modelo geométrico: a) Eixo maciço; b) Eixo vazado.**



Fonte: Autor, 2022.

Posteriormente, para investigar a análise numérica de elementos finitos, os modelos foram inseridos no software ANSYS™ versão estudantil – no ambiente *Mechanical* e a partir da análise numérica realizada, foi investigado o fenômeno da concentração de tensões, deflexão linear máxima, deslocamentos nodais, reações no apoio, tensões atuantes, deformações, coeficientes de segurança e resistência à fadiga.

## 3 DISCUSSÃO E ANÁLISE DOS DADOS

### 3.1 CARREGAMENTO E PROPRIEDADE DOS MATERIAIS

Devido ao carregamento máximo do secador rotativo (5.000 litros) e ao seu peso, que é de aproximadamente de 1.284 kg (Peso cilindro vazio), uma carga de 49.367 N foi aplicada. Essa carga é uniformemente distribuída ao longo do seu eixo. O material mais comum usado para tais aplicações é o aço estrutural comum, que possui as propriedades necessárias, como aumento da resistência à tração e cisalhamento para suportar as cargas aplicadas (PAPADOPOULOU et al., 2019). A Tabela 1 exhibe as propriedades do material utilizado.

**Tabela 1: Propriedades do material.**

Propriedades do material (aço estrutural)	
Densidade (kg/m <sup>3</sup> )	7850
Módulo de Young (Pa)	2x10 <sup>11</sup>
Razão de Poisson	0,3
Limite de escoamento (Pa)	2,5x10 <sup>8</sup>
Limite de resistência à tração (Pa)	4,6x10 <sup>8</sup>

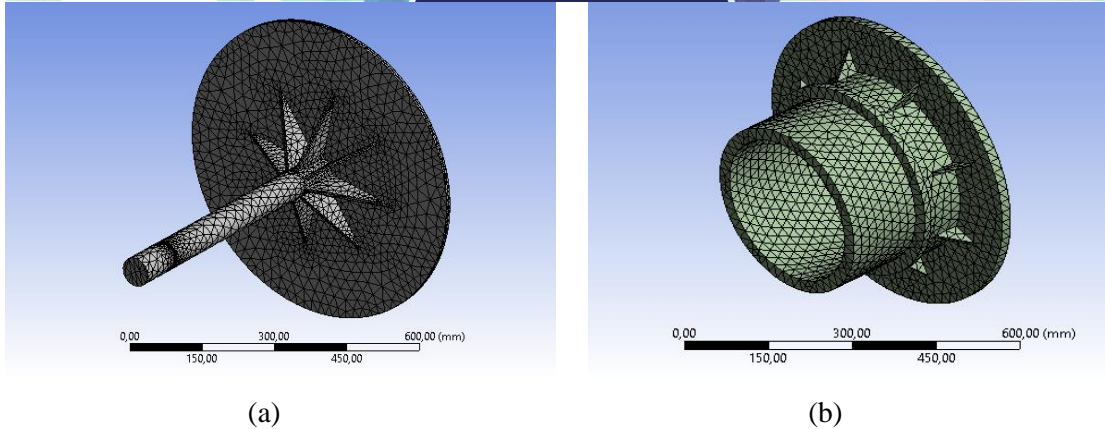
Fonte: Autor, 2022.

### 3.2 CRIAÇÃO DA MALHA DOS MODELOS

Após a criação dos modelos dos eixos maciço e vazado utilizados no secador rotativo, foram criadas as malhas dos mesmos. As condições de contorno e carregamento foram escolhidas de forma a simular o funcionamento real do secador, utilizando a sua capacidade máxima.

A malha da Figura 2-a possui 18.428 nós e 8.839 elementos, enquanto que a malha da Figura 2-b possui 18.068 nós e 9.700 elementos. Os estudos de convergência da malha são realizados em um modelo estático estrutural.

**Figura 2: Análise de malha: a) Eixo maciço; b) Eixo vazado.**



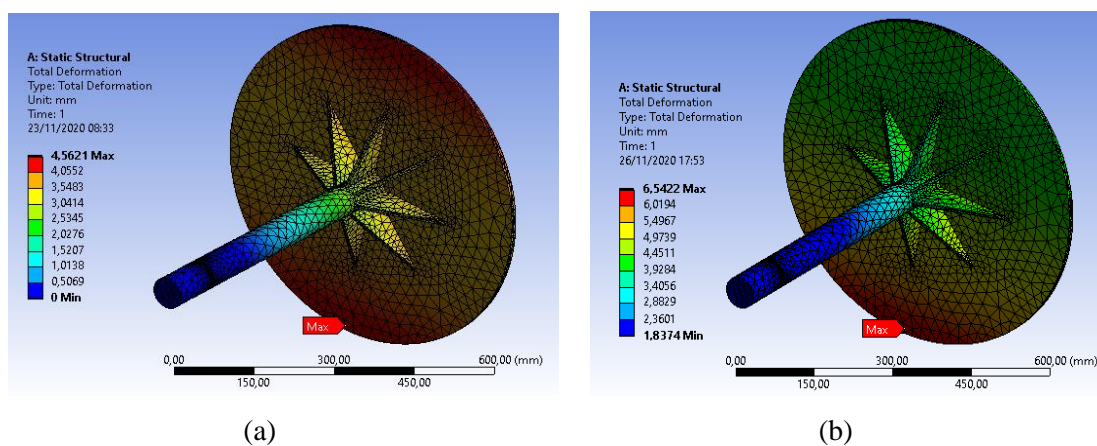
Fonte: Autor, 2022.

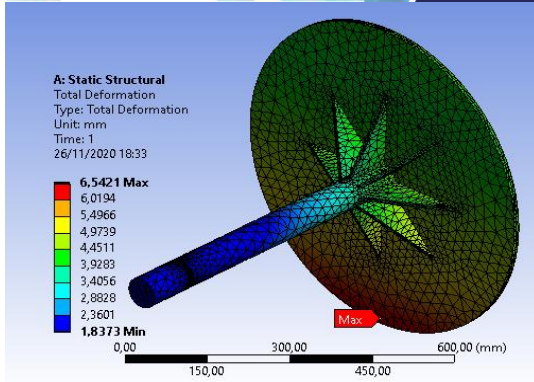
### 3.3 ANÁLISES DE ELEMENTOS FINITOS

#### 3.3.1 ANÁLISE DO DESLOCAMENTO TOTAL E DIRECIONAL (Y)

Os eixos são severamente castigados durante o processo de secagem. Dessa forma, um projeto de fixação do secador rotativo adequado é extremamente necessário, aumentando a confiabilidade e vida útil do equipamento. Nas Figuras 3 e 4 são exibidos os deslocamentos máximos sofridos pelos eixos (maciço e vazado), e nas Figuras 5 e 6 os deslocamentos direcionais (direção Y) utilizando diferentes condições de contorno.

**Figura 3: Análise do deslocamento total no eixo maciço: a) *Fixed support*; b) *Displacement*; c) *Cylindrical support*.**

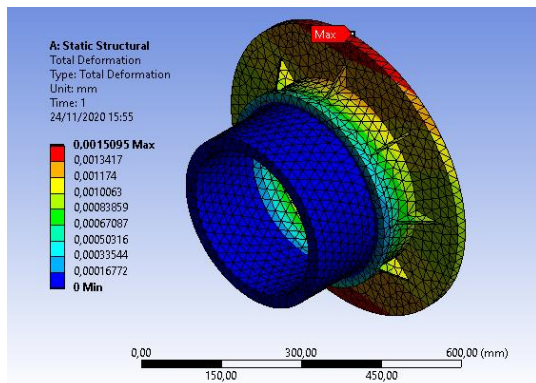




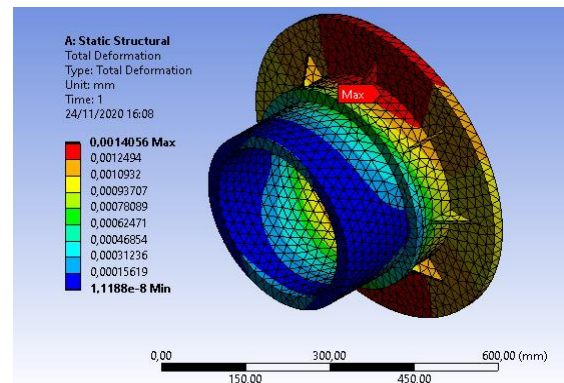
(c)

Fonte: Autor, 2022.

**Figura 4: Análise do deslocamento total no eixo vazado: a) Fixed support; b) Cylindrical support.**



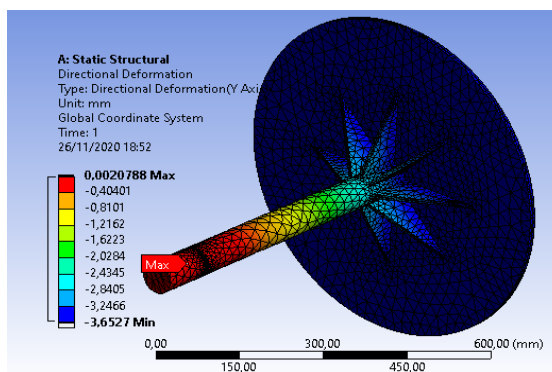
(a)



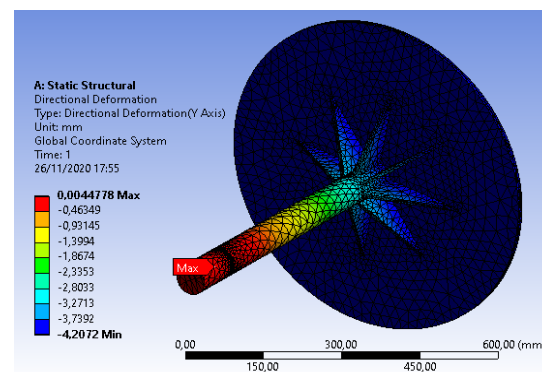
(b)

Fonte: Autor, 2022.

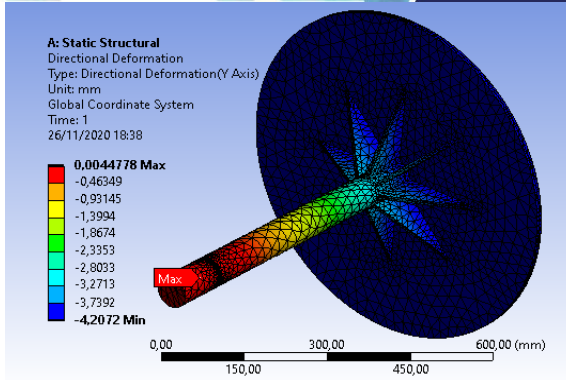
**Figura 5: Análise do deslocamento direcional (direção - Y) no eixo maciço: a) Fixed support; b) Displacement; c) Cylindrical support.**



(a)



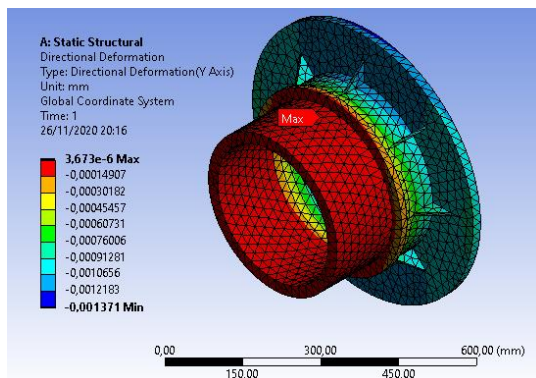
(b)



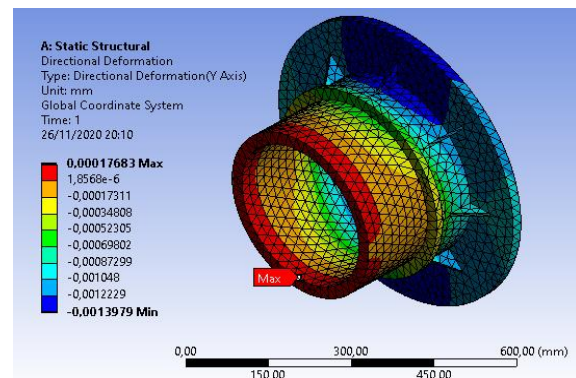
(c)

Fonte: Autor, 2022.

**Figura 6: Análise do deslocamento direcional (direção - Y) no eixo vazado: a) Fixed support; b) Cylindrical support.**



(a)



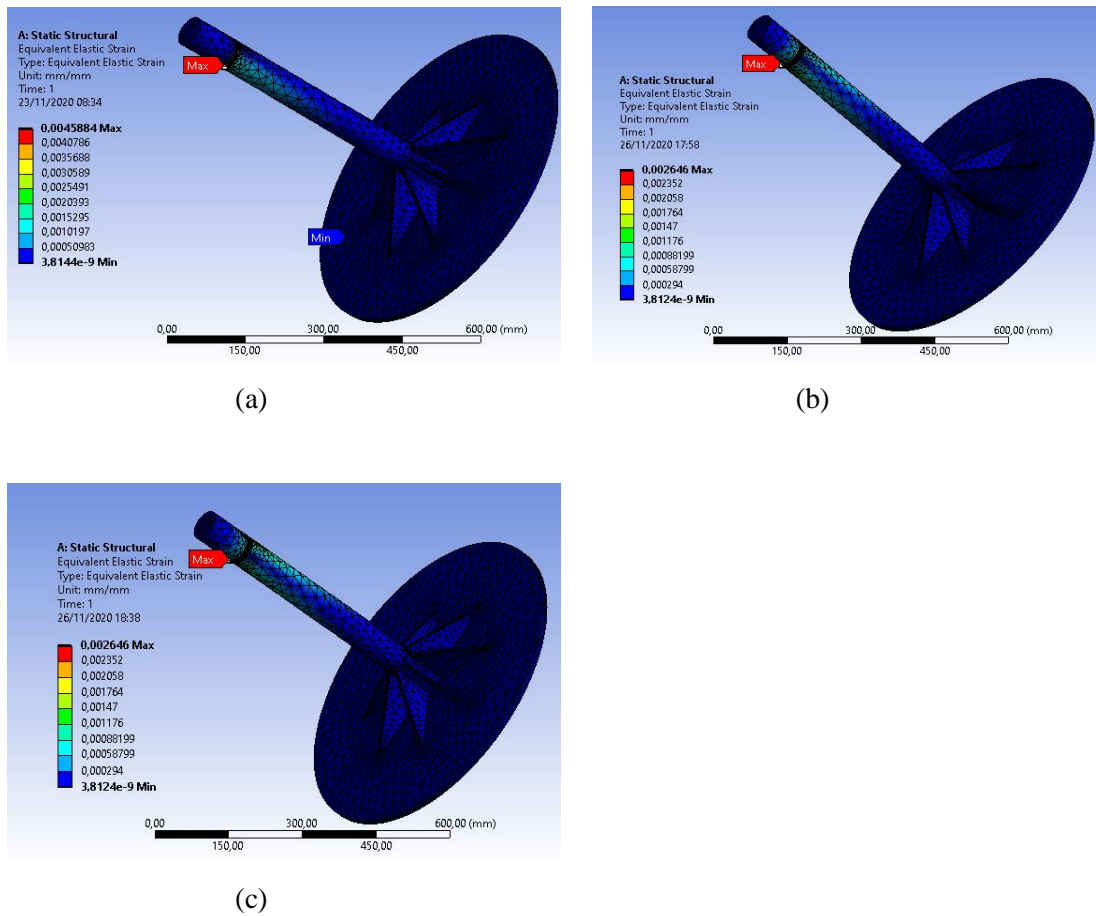
(b)

Fonte: Autor, 2022.

### 3.3.2 ANÁLISE DA DEFORMAÇÃO ELÁSTICA EQUIVALENTE

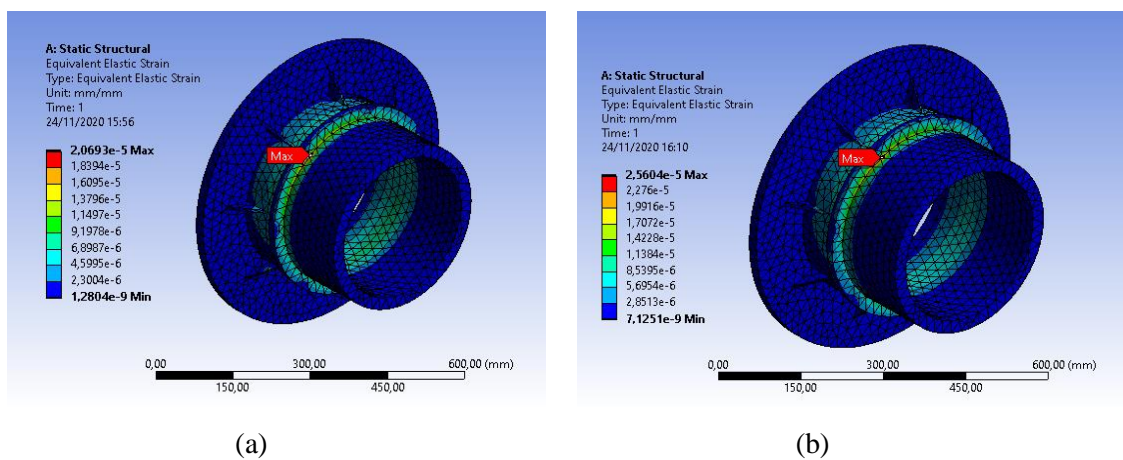
Com o intuito de avaliar a distribuição e a concentração das deformações elásticas equivalentes, foram realizadas análises de elementos finitos, novamente para os eixos que são as partes críticas do sistema. Nas Figuras 7 e 8 são exibidas as deformações elásticas equivalentes sofridas pelos eixos (maciço e vazado), utilizando diferentes condições de contorno.

**Figura 7: Análise da deformação elástica equivalente sofrida no eixo maciço: a) *Fixed support*; b) *Displacement*; c) *Cylindrical support*.**



Fonte: Autor, 2022.

**Figura 8: Análise da deformação elástica equivalente sofrida no eixo vazado: a) *Fixed support*; b) *Cylindrical support***



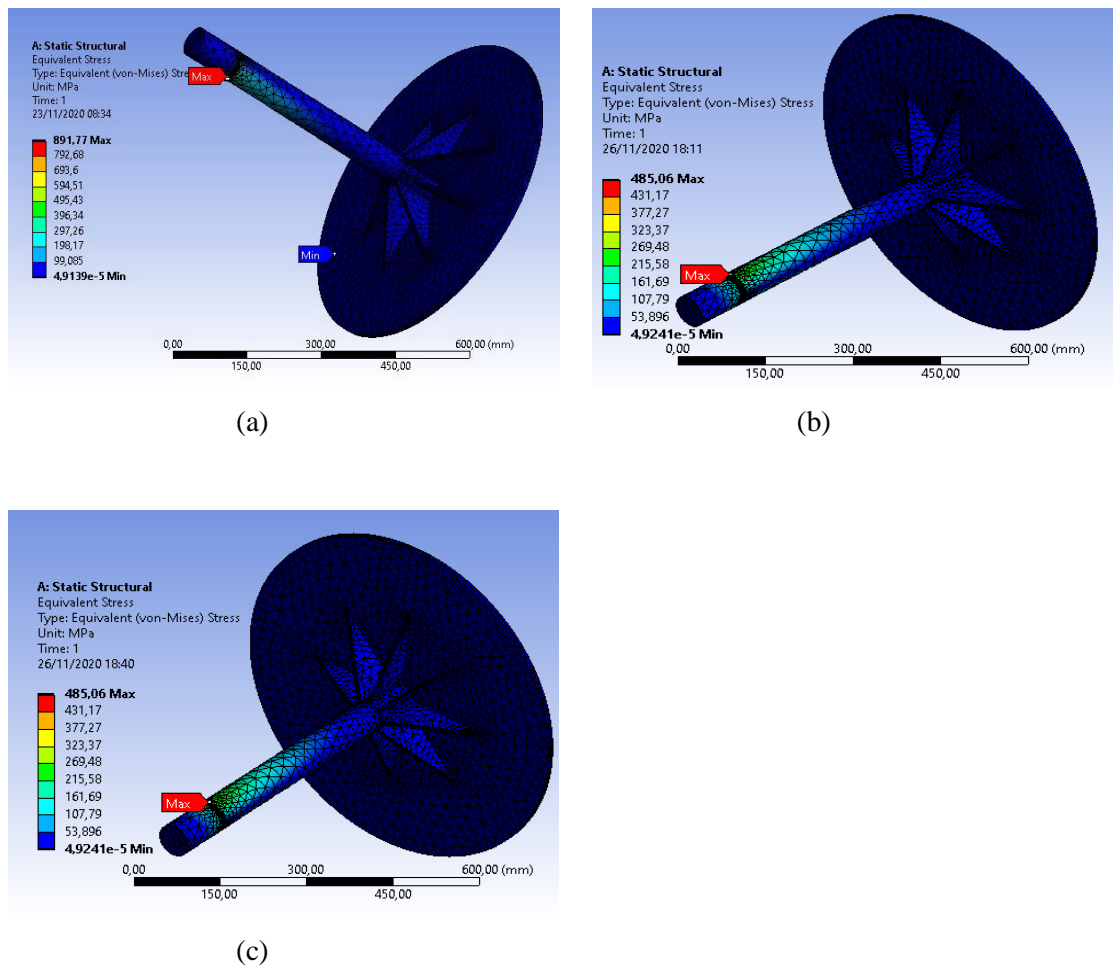
Fonte: Autor, 2022.



### 3.3.3 ANÁLISES DA TENSÃO VON-MISES E DA TENSÃO NORMAL

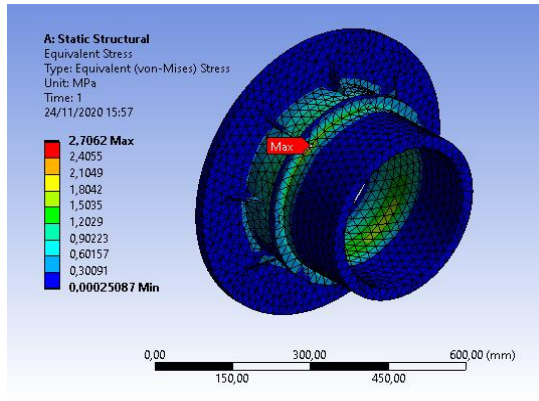
Um alto fator de concentração de tensão pode ser o resultado de uma transição acentuada da geometria do eixo, aumentando a tendência para o início da trinca por fadiga (PAPADOPOULOU et al., 2019). Foram realizadas as análises das tensões de von-Mises e das tensões normais a fim de revelar as regiões dos eixos mais sobrecarregadas como mostra as Figuras 9 e 10 e as Figuras 11 e 12, respectivamente.

**Figura 9:** Análise da tensão de von-Mises no eixo maciço: a) *Fixed support*; b) *Displacement*; c) *Cylindrical support*.

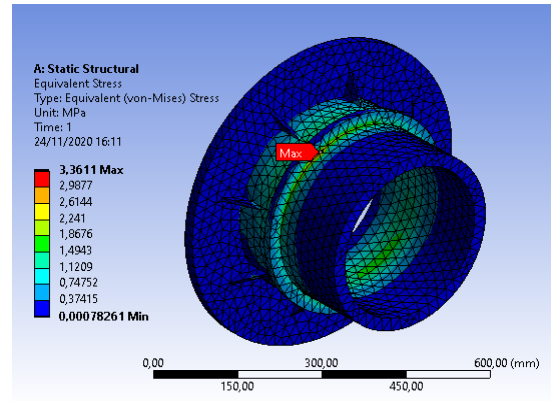


Fonte: Autor, 2022.

**Figura 10: Análise da tensão de von-Mises no eixo vazado: a) *Fixed support*; b) *Cylindrical support*.**



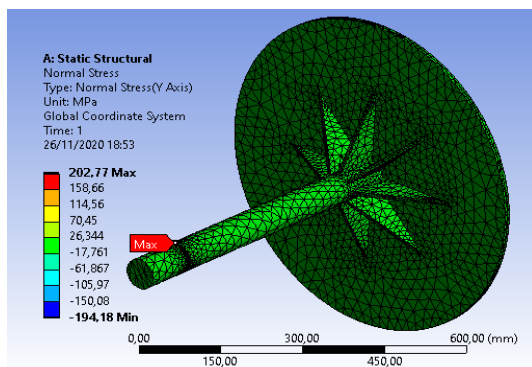
(a)



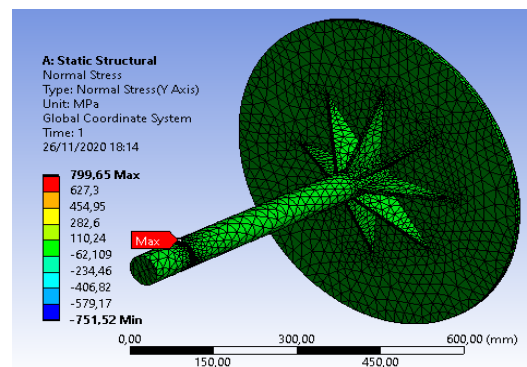
(b)

Fonte: Autor, 2022.

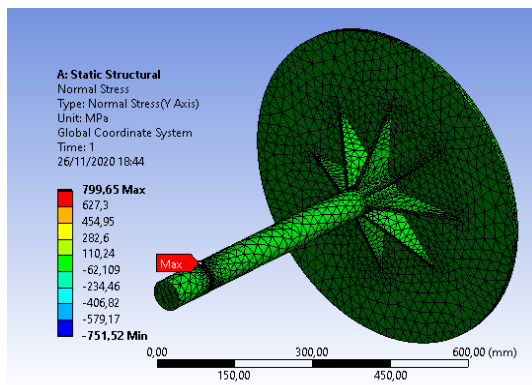
**Figura 11: Análise da tensão normal no eixo maciço: a) *Fixed support*; b) *Displacement*; c) *Cylindrical support*.**



(a)



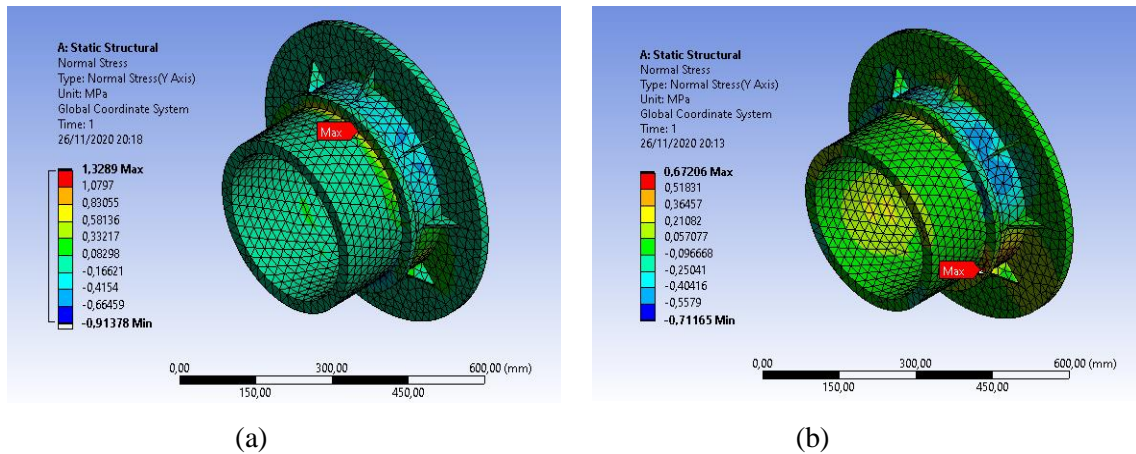
(b)



(c)

Fonte: Autor, 2022.

**Figura 12: Análise da tensão normal no eixo vazado: a) *Fixed support*; b) *Cylindrical support*.**

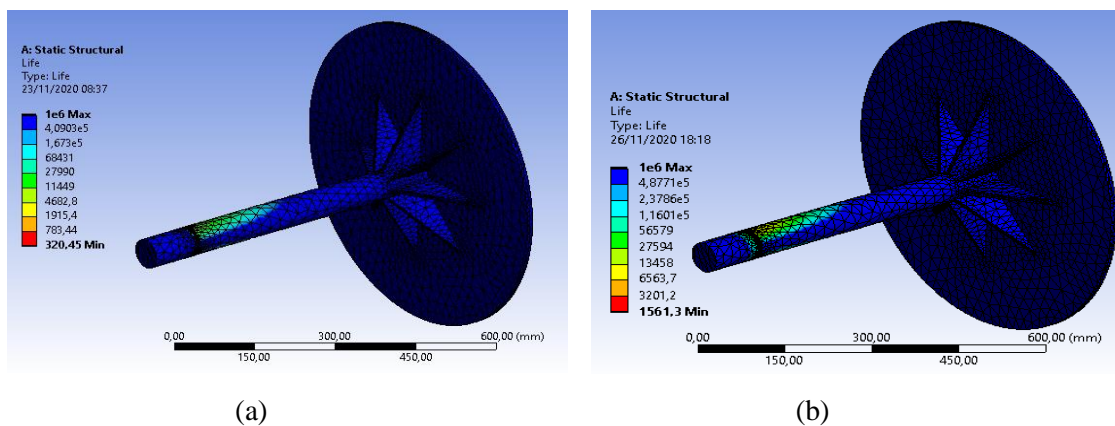


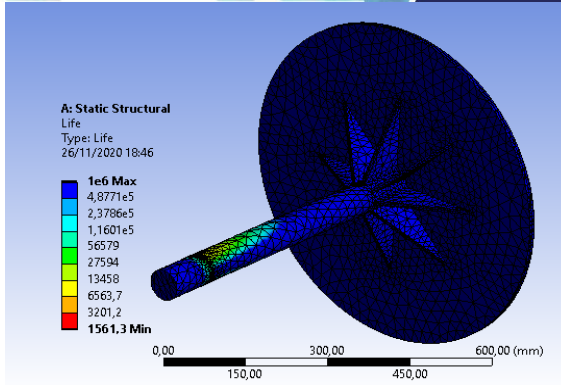
Fonte: Autor, 2022.

### 3.3.4 ANÁLISE DA VIDA EM FADIGA

Os dados da análise de fadiga são apresentados por uma curva  $\sigma - N$  (também conhecida como curva  $S - N$ ), que fornece o número de ciclos em que o componente irá falhar devido à fadiga do material para uma dada tensão máxima de flexão repetida. As Figuras 13 e 14 exibem os números de ciclos em que poderá ocorrer a falha dos componentes, caso ocorra.

**Figura 13: Análise da vida em fadiga no eixo maciço: a) *Fixed support*; b) *Displacement*; c) *Cylindrical support*.**

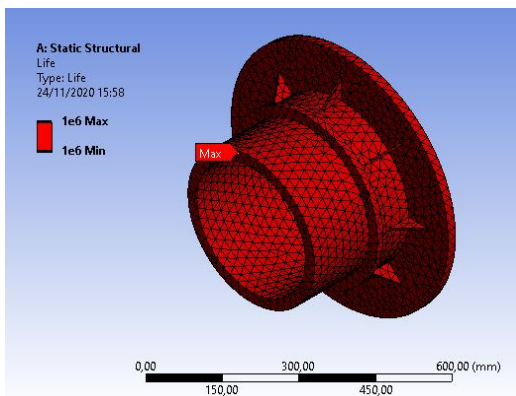




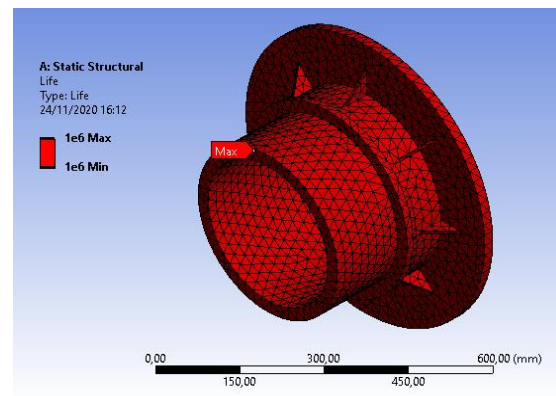
(c)

Fonte: Autor, 2022.

**Figura 14: Análise da vida em fadiga no eixo vazado: a) *Fixed support*; b) *Cylindrical support*.**



(a)



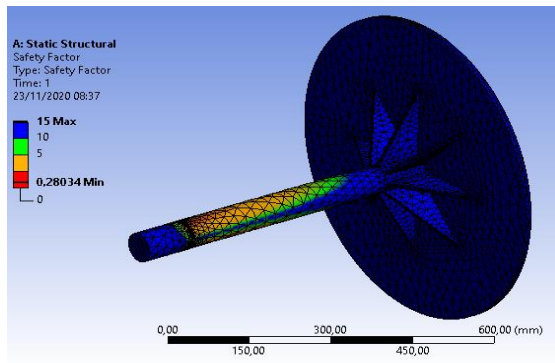
(b)

Fonte: Autor, 2022.

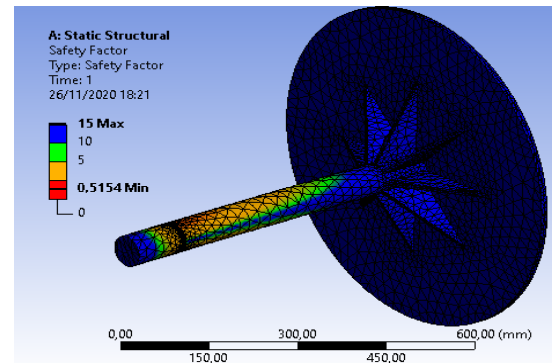
### 3.3.5 ANÁLISE DO FATOR DE SEGURANÇA

Os coeficientes de segurança estão relacionados a vida do componente, ou seja, Os menores coeficientes de segurança são relativos às menores vidas , sendo assim mais susceptíveis a falha. As Figuras 15 e 16 exibem os coeficientes de segurança para os eixos maciço e vazado, respectivamente.

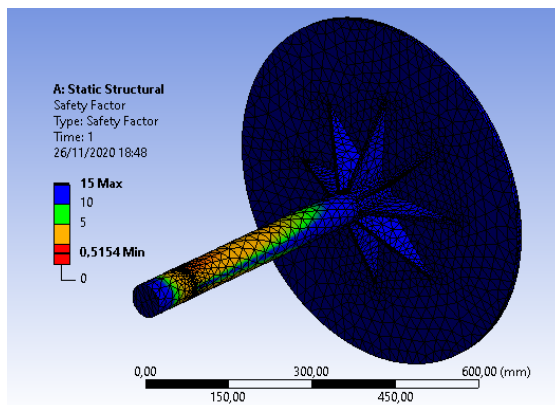
**Figura 15: Análise do fator de segurança no eixo maciço: a) Fixed support; b) Displacement; c) Cylindrical support.**



(a)



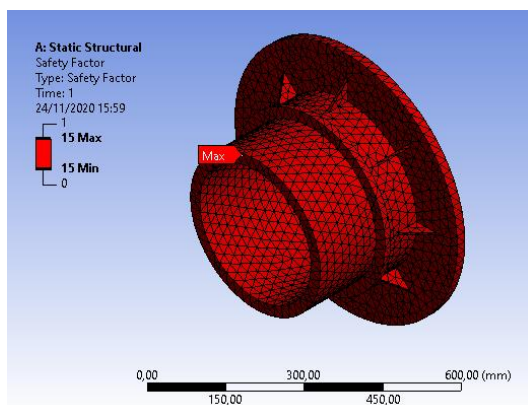
(b)



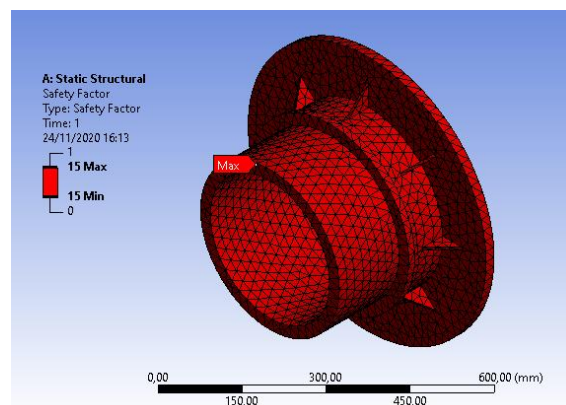
(b)

Fonte: Autor, 2022.

**Figura 16: Análise do fator de segurança no eixo vazado: a) Fixed support; b) Cylindrical support.**



(a)



(b)

Fonte: Autor, 2022.

## 4 CONCLUSÕES

Os eixos são componentes que estão submetidos a complexos ciclos de carregamento dinâmico, principalmente consistindo em uma combinação de cargas de torção e flexão que geralmente levam à falha por fadiga. O objetivo desse trabalho foi investigar o fenômeno da concentração de tensões, deflexão linear máxima, deslocamentos nodais, reações no apoio, tensões atuantes, deformações, coeficientes de segurança e resistência à fadiga nos eixos do secador rotativo, utilizando diferentes tipos de suporte.

- Em relação aos deslocamentos totais, percebe-se que as deformações obtidas para o eixo maciço são as mesmas utilizando como suporte o *displacement* e o *cylindrical support*. Porém os menores valores de deslocamento total foram obtidos utilizando o *fixed support*. Já para o eixo vazado, os menores valores de deslocamento total foram obtidos utilizando o *cylindrical support*, no entanto, esses valores foram próximos, quando comparado o *fixed support* com o *Cylindrical support*.
- Os valores dos deslocamentos direcionais na direção – Y foram maiores do que os valores dos deslocamentos totais como eram de se esperar. Tanto para o eixo maciço, quanto para o eixo vazado, os menores valores de deslocamentos foram obtidos para o *fixed support*.
- Os resultados das tensões de von-Mises equivalentes são extremamente maiores para o *fixed support*, quando comparados com os outros suportes para o eixo maciço. Enquanto que para o eixo vazado não há uma grande diferença, sendo que o menor valor também é obtido utilizando o *fixed support*.
- Os resultados das tensões normais obtidos, são basicamente inversos aos das tensões de von-Mises. Os valores obtidos com o *fixed support* são extremamente menores, quando comparados com os outros suportes para o eixo maciço. Enquanto que para o eixo vazado não há uma grande diferença, sendo que o menor valor é obtido utilizando o *cylindrical support*.
- A resistência à fadiga apresentou maiores números de ciclos utilizando como suporte o *displacement* e o *cylindrical support*. No entanto, esses valores não são satisfatórios para obter vida infinita no eixo maciço. No entanto, para o eixo vazado foram obtidos valores de vida infinita para ambos os métodos.
- Os resultados da análise relacionada ao fator de segurança mostraram valores não satisfatórios para o eixo maciço. Mostrando regiões com acúmulo que tensões onde o

fator de segurança ficou abaixo de 1. Porém não houve esse problema no eixo vazado, onde foi obtido um fator de segurança muito alto, mostrando que o componente não está sujeito a possíveis falhas por fadiga.

## **AGRADECIMENTOS**

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

## **REFERÊNCIAS**

- BARSOUM, Z.; BARSOUM, I. Residual stress effects on fatigue life of welded structures using LFM. **Engineering failure analysis**, v. 16, n. 1, p. 449-467, 2009.
- BERNDT, F.; VAN BENNEKOM, A. Pump shaft failures - a compendium of case studies. **Engineering Failure Analysis**, v. 8, n. 2, p. 135-144, 2001.
- GUAGLIANO, M.; RIVA, E.; GUIDETTI, M. Contact fatigue failure analysis of shot-peened gears. **Engineering Failure Analysis**, v. 9, n. 2, p. 147-158, 2002.
- Hughes, T.J.R.; Cottrell, J.A.; Bazilevs, Y. Isogeometric analysis: CAD, finite elements, NURBS, exact geometry and mesh refinement. **Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering**. v. 194, p. 4135-4195, 2005.
- LUO, R. K.; WU, W. X. Fatigue failure analysis of anti-vibration rubber spring. **Engineering Failure Analysis**, v. 13, n. 1, p. 110-116, 2006.
- Papadopoulou, S.; Pressas, I.; Vazdirvanidis, A.; Pantazopoulos, G. Fatigue failure analysis of roll steel pins from a chain assembly: Fracture mechanism and numerical modeling. **Engineering Failure Analysis**, v. 101, p. 320-328, 2019.
- Zamanzadeh, M., Larkin, E.; Mirshams, R. Fatigue Failure Analysis Case Studies. **Journal of Failure Analysis and Prevention**, v. 15, n. 6, p. 803-809, 2015.