

# **Análise de Resistência da Suspensão traseira de Gaiola pelo Método dos Elementos Finitos**

**Francine de Mello Leal**

Francineleal9811@gmail.com

**Hugo Garotti Ferreira Barreto**

Hugogfb@gmail.com

**Orientador: Prof. Me. Francisco Reginaldo da Rosa**

Coordenação de Curso de Engenharia Mecânica

## **Resumo**

Os sistemas mecânicos, mais especificamente o sistema de suspensão, onde contém as molas, é um dos sistemas que desempenham grande função nos veículos automotivos, sendo que o intuito do sistema mencionado é isolar as vibrações dos veículos, juntamente fazer com que mantenha o controle de aderência do veículo que entra em contato com o solo. Esse trabalho, a ser realizado por meio de estudos bibliográficos com estudo de caso e aplicação prática, irá abordar uma breve apresentação sobre os tipos de molas e suas funções, no qual será apresentado um estudo realizado em um software para análise dos dados. Buscando dessa forma comparar os materiais aplicados na mola, demonstrando qual seria o melhor para absorver o impacto do veículo quando entrar em contato com o solo irregular. Dessa forma, espera-se como resultado, a seleção correta de uma mola que suporta melhor o impacto e que tenha o melhor custo benefício de acordo com o material a ser selecionado para esta aplicação.,

**Palavras-chave:** Análise por FEA. Molas. Resistência Mecânica. Suspensão

## **1. Introdução**

Atualmente, há nos veículos várias peças que os compõem, no qual elas fazem parte de um sistema mecânico tendo como principal objetivo fazer com que eles se locomovem, com a melhoria dos sistemas mecânicos eles acabaram tornando-se mais eficientes e trazendo cada vez mais redução de custos (ALMEIDA,2022).

Partindo dos sistemas mecânicos, o sistema de suspensão é um dos sistemas que desempenha grande função nos veículos, sendo que o intuito do sistema mencionado é isolar as vibrações dos veículos, juntamente fazer com que mantenha o controle de aderência do veículo que entra em contato com o solo.

Dentro do sistema de suspensão dos veículos, temos as molas, cuja sua principal função é reduzir o impacto do veículo com o solo irregular, dessa forma o motorista e os passageiros não sentem todo o impacto. A ideia das molas nos

automóveis surgiu durante o Império Romano, por conta das carroças que eram rígidas, os seus passageiros sentiam o impacto causado toda vez que a carroça passava por um solo irregular.

As molas por sua vez podem ser constituídas de metais ou não metais, isso inclui que as molas devem ser elásticas, para que um determinado esforço sob ela, ela possa deformar-se e depois voltar ao seu estado original. No funcionamento das molas de compressão e tração, apresentam uma relação entre o deslocamento e a força aplicada sob ela (ALMEIDA,2022).

Os aços mais comuns aplicados nas molas são os que constituem carbono, sendo que os aços carbono são conhecidos também como aços molas, sendo que os mesmos possuem alta resistência à tração. A resistência do material é um grande fator neste caso, pois se o material não for resistente ele não suportará a compressão, não podendo ser utilizado para a função determinada de absorver o impacto no caso das molas.

Para a aplicação das molas, é necessário sempre analisar a resistência dos materiais aplicados, para que essa análise ocorra precisamos do conhecimento das propriedades do material, sendo que sua escolha deve-se levar em consideração os critérios de projeto estrutural, sendo eles: tecnológico, estético e econômico (PINHEIRO, 2021).

O tema escolhido foi o de sistemas de suspensão, basicamente as molas, já que a mesma tem um grande papel no sistema, tendo em vista como resultado uma mola que suporta melhor o impacto e que tenha o melhor custo benefício de acordo com os materiais escolhidos.

O principal objetivo da pesquisa, é encontrar um material para a mola com o melhor custo benefício que traga ao sistema de suspensão uma melhoria no impacto.

## **2. Desenvolvimento**

### **2.2 Tipos de Molas**

No sistema de suspensão existem diversos tipos de molas, sendo que as mais utilizadas são as helicoidais, por conta da sua leveza e por serem mais compactas. A Figura 1 abaixo mostra um par de molas helicoidais.

**Figura 1: Mola Helicoidal**



**Fonte:** Disponível em: <https://aco.com.br/aco/6150-aco-prata-cr-vanadio/>. Acesso: 10/10/2022.

As molas de torção, por sua vez, são aplicadas geralmente quando não existe um espaço e há conflitos que impedem a instalação das helicoidais. A Figura 2 a seguir mostra como são as molas de torção.

**Figura 2: Mola de Torção**



**Fonte:** Disponível em:

[https://www.rcmolas.com.br/molasmolas#:~:text=As%20Molas%20podem%20ter%20v%C3%A1rios,a%20rigidez%20e%20a%20flexibilidade](https://www.rcmolas.com.br/molasmolas#:~:text=As%20Molas%20podem%20ter%20v%C3%A1rios,a%20rigidez%20e%20a%20flexibilidade.). Acesso: 10/09/2022.

As molas de tração são geralmente de materiais metálicos e muito utilizadas nos casos de sistemas que são pequenos, já que elas precisam ficar mais compactadas no espaço. Abaixo, na Figura 3, segue exemplos de algumas delas:



depois quando vai retornando a seu estado original, ela realiza o processo de forma devagar, assim permitindo que as pessoas em um veículo por exemplo não sintam o impacto, já que o processo é lento e não rápido como costuma ser nas outras molas. Mesmo com a sua grande eficiência elas não são muito utilizadas por conta de seus custos, já que no mercado elas costumam ter preços mais elevados comparadas com as outras. Segue a Figura 5, molas de ar.

**Figura 5:** Molas de ar

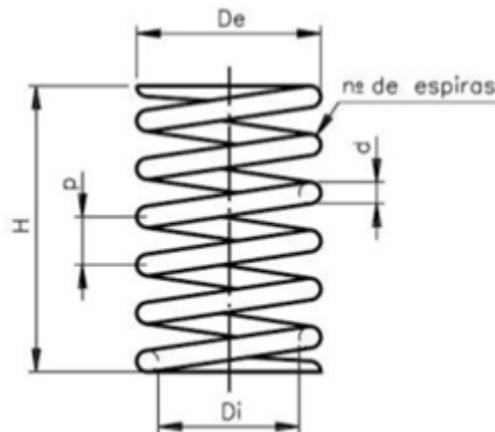


**Fonte:** Disponível em: <https://www.mecanicaindustrial.com.br/387-tipo-de-mola-de-ar/>. Acesso: 10/09/2022.

No trabalho em questão, a mola utilizada foi a helicoidal, portanto quando a suspensão entra em contato com o solo gera um impacto, no qual o mesmo faz com que a mola se comprimida gerando forças sobre ela, sendo elas de cisalhamento, de torque e de compressão, permitindo que a mesma exerça o movimento linear e realize a rotação da espira em volta do eixo da mola.

Segundo Hooke (1678), quanto maior a carga aplicada, maior será a deformação, partindo de sua definição temos que quanto mais força colocarmos na mola, mas ela irá deformar-se, para que a mola atenda a todos os seus requisitos, existem variáveis que são essenciais, sendo elas, mencionadas na Figura 6:

**Figura 6:** Especificações da Mola Helicoidal



**Fonte:** Disponível em:

<https://carabinasdear.com.br/caforum/index.php?/topic/15381-review-mola-helicoidal-quickshot-parte-i-cbc-b12/> Acesso em: 15/11/2022

**Onde:**

- Diâmetro Externo– De;
- Diâmetro interno – Di;
- Comprimento da mola – H;
- Diâmetro da seção da mola – d;
- Passo da mola - p;
- Número de espiras da mola - n°.

Sendo que o número de espiras é a variável chave para definir a constante que devemos utilizar, pois a partir delas conseguimos definir as espiras que estão em contato e as que não estão em contato com a extremidade da suspensão, dessa forma podendo ver seu comportamento no sistema.

Para que possa haver o equilíbrio de forças no sistema, parte-se para a segunda Lei de Newton, no qual ele define que uma massa submetida a uma força resultante possui aceleração na mesma direção e sentido da força resultante, tendo com módulo proporcional a esta força, demonstrado pela equação 1, a seguir:

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = 0 \quad (\text{eq.1})$$

onde:

m - é a massa total do sistema, pegando todos os componentes do sistema, como o veículo, os passageiros e a carga.

c- Coeficiente de amortecimento viscoso.

k- constante elástica da mola.

$\dot{x}$  e  $\ddot{x}$ – derivadas de primeira e segunda ordem da deformação em relação ao tempo.

Na mola, a geração da Tensão de Von Mises é necessária, já que a partir dela, pode-se ver o quanto a mola comprime e descomprime. Na matemática, ela pode ser demonstrada da seguinte forma na equação 2:

$$J2 = k^2 \quad (\text{eq.2})$$

**onde:**

k é a tensão de escoamento do material em cisalhamento puro.

## 2.2 Análise por FEA (Métodos dos Elementos Finitos)

A FEA tem como princípio dividir a estrutura em pequenas estruturas elásticas bem definidas. Por meio de funções polinomiais, junto com funções matriciais, pode ser analisado o comportamento elástico e contínuo de cada elemento, levando em consideração as propriedades geométricas e as propriedades do material. Podendo sempre que necessário aplicar cargas no elemento. Na sua análise existe o que pode ser chamado de nós, no qual é uma das entidades mais importantes, pois é neles que o elemento consegue se interligar com outros elementos, para que possa finalmente aplicar as forças (NISBETT, 2022).

É possível encontrar o grau de liberdade deles, no qual pode-se definir que que os graus de liberdade deles são os movimentos de rotação e translação independentes que existem em um nó. Em um único nó, pode existir no máximo três graus de liberdade translacionais e três rotacionais. Dessa forma, quando cada elemento da estrutura for definido localmente em forma de matriz e as cargas também, pode-se definir os graus de liberdade, para que então possa encontrar suas resistências e tensões a partir de equações de elasticidade constitutivas.

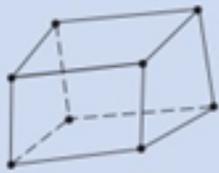
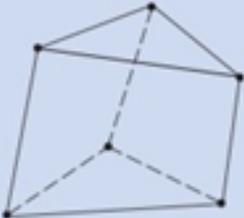
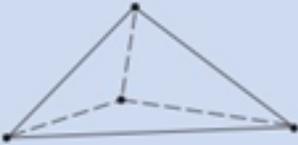
No método de elementos finitos pode ocorrer dois erros em uma estrutura contínua, no qual são inevitáveis. Os erros computacionais ocorrem devido ao arredondamento de cálculos, já que a maioria dos softwares para elementos finitos acontece de arredondar os valores encontrados, sendo que, a pessoa ao analisar os dados deve-se preocupar com este erro gerado. Já os erros de discretização, pode ocorrer o deslocamento da geometria, pois com a implementação de um número finitos de elementos para que possa modelar a estrutura pode levar ao erro, dessa

forma o deslocamento é gerado por conta das limitações matemáticas presentes nos elementos que são trabalhados.

Na geometria dos elementos pode ter elementos lineares, elementos de superfície, elementos sólidos e elementos especiais. O Quadro 1 abaixo mostra alguns dos tipos de elementos aplicados na análise de elementos finitos para problemas estruturais, porém não são todos que admitem todos os graus de liberdade.

**Quadro 1:** Tipo de elementos.

Tipo de elemento	Nenhum	Forma	Número de nós	Aplicações
Linear	Barra		2	Barra com uma extremidade pivota-tada sob tração ou compressão.
	Viga		2	Flexão.
	Armação		2	Axial, torção e flexão; com ou sem reforço de carga.
Tipo de elemento	Nenhum	Forma	Número de nós	Aplicações
Superfície	Quadrilate-ral de 4 nós		4	Tensão ou deformação plana, axissim-etria, painel em cisalhamento, chapa pla-na fina em flexão.
	Quadrilate-ral de 8 nós		8	Tensão ou deformação plana, chapa fina ou armação em flexão.
	Triangular de 3 nós		3	Tensão ou deformação plana, axissim-etria, painel em cisalhamento, chapa pla-na fina em flexão. Prefira elementos quadrilá-teros sempre que possível. Usa-do para transições de elementos quadri-láteros.
	Triangular de 6 nós		6	Tensão ou deformação plana, axissim-etria, painel em cisalhamento, chapa fina ou cas-ca em flexão. Prefira elementos quadrilá-teros sempre que possível. Usado para transições de elementos quadriláteros.

Sólido*	Hexagonal de 8 nós (tijolo)		8	Chapa grossa sólida.
	Pentagonal de 6 nós (cunha)		6	Chapa grossa sólida. Usada para transições.
	Tetraédrico de 4 nós (tetra)		4	Chapa grossa sólida. Usada para transições.
Finalidade especial	Intervalo		2	Deslocamento livre para intervalo de compressão prescrito.
	Gancho		2	Deslocamento livre para intervalo de compressão prescrito.
	Rígido		Variável	Restrições rígidas entre nós.

\*Estes elementos também estão disponíveis com nós intermediários.

Fonte: Disponível em: BUDYNAS, Richard; NISBETT, J K. **Elementos de Máquinas de Shigley**. <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788580555554/>. Acesso em: 02/11/2022.

Para as molas pode-se utilizar a seguinte equação 3:

$$k = \frac{AE}{l} \quad (\text{eq.3})$$

**Tem-se que :**

A é compressão com a área da seção transversal constante;

l é o comprimento;

E é o módulo de elasticidade;

k constante da mola.

Para a continuação dos cálculos os nós dos elementos são numerados e colocados entre parênteses para então a aplicação das forças e deslocamentos, dessa forma as forças podem ser descritas da maneira a seguir:

$$f_{i,e} = ke(u_i - u_j) = keu_i - keu_j \quad (\text{eq.4})$$

$$f_{j,e} = ke(u_j - u_i) = keu_j - keu_i \quad (\text{eq.5})$$

Sendo que as equações acima podem ser escritas na forma de matriz como mostrado abaixo:

$$\begin{Bmatrix} f_{i,e} \\ f_{i,e} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} k_e & -k_e \\ -k_e & k_e \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_i \\ u_j \end{Bmatrix} \quad (\text{eq.6})$$

Sendo que dependendo da quantidade de molas que há no sistema podemos fazer o cálculo para cada uma das molas do sistema separadamente (NISBETT, 2022).

Os nós dos elementos em uma região juntos são conhecidos como malhas, sendo que a densidade da malha aumenta a partir da quantidade de elementos colocados no interior da região. Na malha existe o refinamento, quando uma malha gerada a partir de uma análise visa trazer melhores resultados, com isso, tem-se que quanto maior a densidade da malha, geralmente significa que ela foi aumentada em áreas com gradientes de tensões elevados. As malhas podem ser geradas de forma manual ou semiautomática, sendo a semiautomática a mais utilizada atualmente por conta de utilizar algoritmos computacionais para a sua geração.

Na aplicação de cargas, elas são aplicadas nos nós, estão relacionadas com o princípio de Saint-Venant, no caso das molas, sendo necessário distribuir a carga de forma precisa por toda a estrutura. Cada software existe uma maneira de aplicar as cargas sob a superfície da estrutura, no qual na sua maioria, é apresentado os dados de forma visual.

### **2.3 Software utilizado no desenvolvimento do trabalho**

O software utilizado foi o Solidworks-versão educacional, onde permite-se que faça a modelagem de desenhos em três dimensões, no caso da mecânica sua aplicação inclui o desenho de ferramentas, motores e até mesmo peças de um sistema mecânico. O software em questão também permite a realização de análise por FEA (Elementos Finitos), obtendo os resultados de deformação de uma peça, a partir de uma força aplicada, sendo possível seleção um material adequado a sua aplicação de projeto.

Para as possíveis análises é necessário primeiramente entender o que é método de elementos finitos, ele nasce da necessidade de sistemas computacionais que ajudem a encontrar um equilíbrio entre custo e adequada resistência na aplicação, no projeto que será desenvolvido.

Este software de simulação, do solidworks-versão educacional, realiza a análise a partir de equações/matrizes matemáticas onde é possível identificar as condições limites de aplicação daquele elemento estrutural, ajudando a identificar possíveis erros e prevenir futuros problemas. Ainda é possível realizar a análise térmica e de vibrações.

A análise é feita por meio de uma discretização do elemento real, em forma de malhas, seleciona-se o material adequado e aplica-se uma solicitação mecânica, verifica-se sua deformação, tensão de von mises e deslocamento gerado. Partindo do objetivo definido, definindo as etapas para então a análise.

### **3. Metodologia**

Esse projeto tem como objetivo, fazer a análise comparativa do comportamento de uma mola em uma suspensão de gaiola para trilhas, sendo realizado pesquisas e estudos sobre os variados modelos de molas, chegando a escolha do formato helicoidal de aço mola, muito comum em suspensões automotivas de alta performance. Para o estudo foram executados testes utilizando o software SolidWorks Simulation para comparar o comportamento de dois tipos de aços, SAE 6150 e SAE 5160 para a aplicação da mola a ser utilizada no sistema de suspensão da gaiola. A análise, por sua vez, parte da necessidade de ter algo no real, ou seja, a peça do sistema em questão descrito tem seu modelo já existente, não sendo necessário a criação de uma nova peça para o sistema.

Para que a realização da análise possa ser feita é necessário entender e compreender as Leis da Física, principalmente a Lei de Hooke, pois dela parte que existe uma carga, onde ela é aplicada sob um corpo, que tende a deformar-se de acordo com a carga sendo aplicada, ou seja, quanto maior a carga, maior será sua deformação. Outra parte importante para o estudo, é o conhecimento da resistência dos materiais, onde podemos aplicar ele na resistência dos materiais escolhidos para a análise. Por definição, resistência dos materiais é onde é aplicado uma carga, verificando sua força de resistência, para que assim não possam ocorrer grandes deformações.

Seguindo, a força por sua vez, parte de que ela é muito importante para o sistema e a peça em questão, já que para que a mola possa comprimir-se precisa realizar uma força, sem ela não conseguimos realizar o movimento da mola de

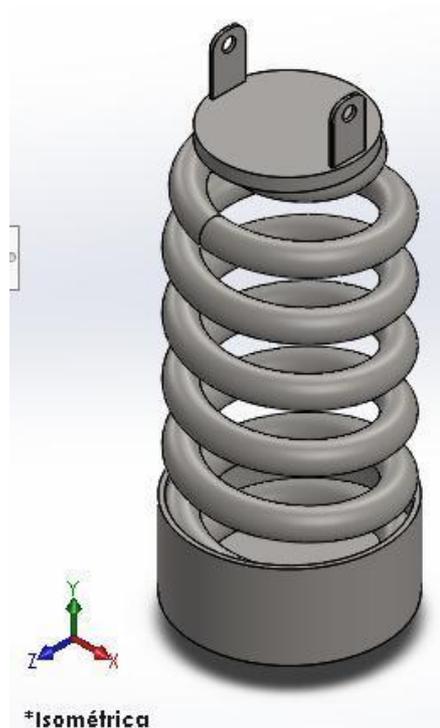
compressão e descompressão dela. A força está presente em praticamente todos os sistemas existentes da mecânica, sendo fundamental para que tudo funcione.

A tensão de Von Mises é a tensão gerada após análises com FEA, ou seja, a tensão gerada é uma comparação, no qual serve para estipular se haverá algum escoamento do material. Sendo ela muito empregada nas análises onde ocorre a falha, já que gera resultados muito precisos quando aplicado a materiais dúcteis, principalmente aços e ligas de alumínio.

#### 4. Resultados e Discussão

Foi desenvolvido um projeto em modelagem 3D, para melhor visualização do projeto físico no ambiente virtual, figura 7.

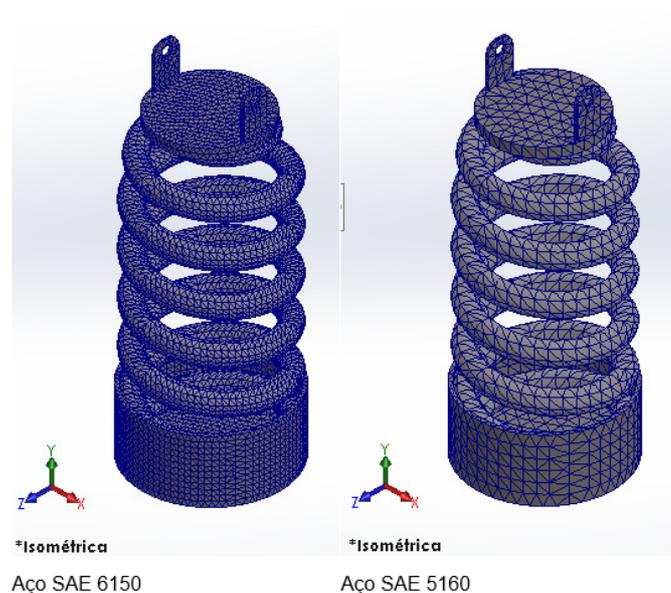
**Figura 7:** Modelagem 3D de Mola projetada



**Fonte:** Autores (2022).

Durante as simulações dentro do software foram encontrados erros de malha, sendo necessário uma alteração no refino da mesma, resultando em uma diferença da malha do aço SAE 6150 e SAE 5160 ilustrado na Figura 8.

**Figura 8:** Sistema de Malhas utilizadas

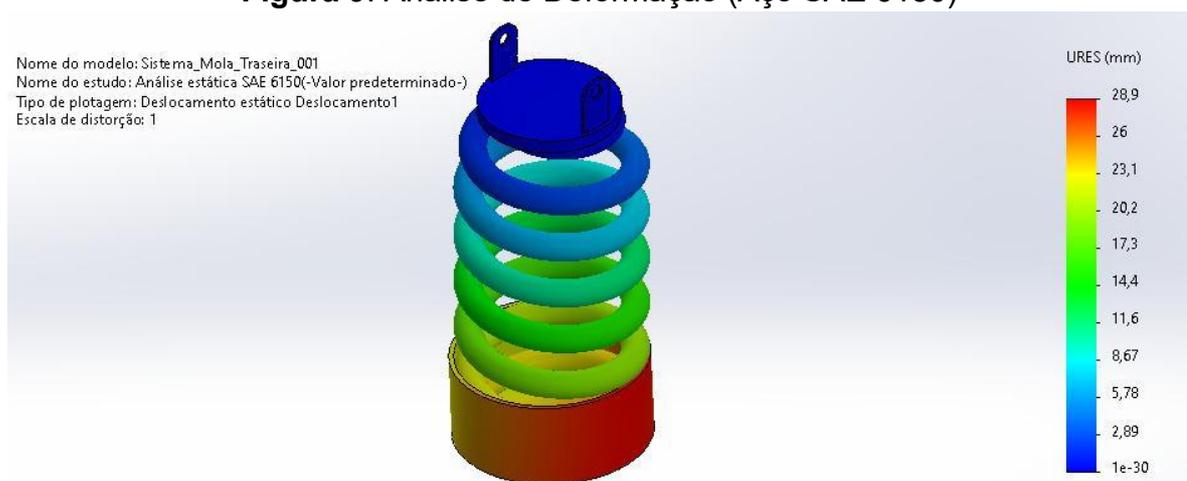


**Fonte:** Autores (2022)

Após os estudos realizados, concluiu-se que o Aço SAE 6150 é o mais indicado para uso em molas que exigem uma alta performance para absorver impactos causados pelo terreno irregular durante o desenvolvimento da gaiola, pois possui um limite de escoamento bem mais alto e houve uma deformação relativamente menor em relação ao SAE 5160.

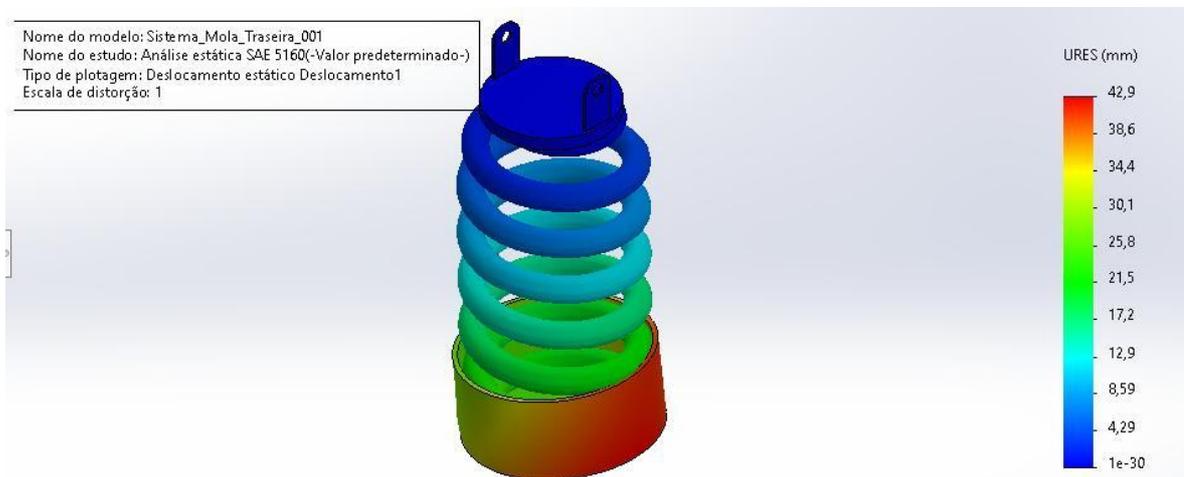
As figuras 9 e 10 a seguir (Anexo A e B), apresenta a comparação do estudo de deformação obtido através das simulações, levando em conta uma carga de 4 KN distribuída na face inferior e pontos fixos na furação para um parafuso de aço que não foi levado em conta para os testes do projeto modelado conforme mostrado na figura 7.

**Figura 9:** Análise de Deformação (Aço SAE 6150)



**Fonte:** Autores (2022)

**Figura 10:** Análise de Deformação (Aço SAE 5160)



Fonte: Autores (2022).

#### 4.1 Discussão

A partir da análise, obteve-se os valores de tensão, deslocamento, deformações e fator de segurança de cada um dos aços conforme Tabela 1, com base nos resultados obtidos pela análise FEA em cada um dos aços utilizados.(Anexos A e B).

**Tabelas 1: Resultados** obtidos por simulação FEA

AÇO SAE 6150			AÇO SAE 5160		
ESTUDO	VALOR	NÓ N	ESTUDO	VALOR	NÓ N
Tensão Min.	1,823 N/mm <sup>2</sup> (Mpa)	63741	Tensão Min.	1,63 N/mm <sup>2</sup> (Mpa)	11167
Tensão Max.	1854,4 N/mm <sup>2</sup> (Mpa)	27928	Tensão Max.	20317,2 N/mm <sup>2</sup> (Mpa)	2870
Deslocamento Max.	28,9 mm	70240	Deslocamento Max.	42,9 mm	16030
Deformação Eq. Min.	0,00000803	40151	Deformação Eq. Min.	0,000012	6299
Deformação Eq. Max.	0,00611	11417	Deformação Eq. Max.	0,0425	5104
Fator de Segurança	0,224	27928	Fator de Segurança	0,0135	11167

Fonte: Autores (2022)

A partir do resultado das simulações considerando a carga distribuída de 4 kN, obteve-se o resultado da amostra de Aço SAE 6150 se mostrou o melhor material para a aplicação das molas, apesar de seu módulo elástico ser quase idêntico ao do aço SAE 5160, existe uma grande diferença na sua tensão de escoamento, chegando a quase o dobro de seu valor, ocasionando uma deformação bem menor, tornando-o assim um material mais robusto que irá atender o esperado

devido a alta solicitação de esforços gerados por uma pista OFF-ROAD, durante o desenvolver da suspensão superando os obstáculos

## Conclusão

Conclui-se com a análise, que os elementos finitos e resistência dos materiais são conteúdos de extrema importância na Engenharia Mecânica, dessa forma tendo seu estudo em todas as áreas da engenharia. Com o conteúdo estudado permite-se a análise de uma mola no sistema de suspensão, obtendo valores e dados para que possa reduzir o impacto dos veículos quando reagem às imperfeições do solo.

Juntamente o software aplicado na análise, foi um dos mais fáceis e acessíveis para análises de tensões e deformações, já que possui uma boa interface, facilitando a modelagem da peça e análise da mesma.

A modelagem foi um dos conteúdos abordados nos semestres anteriores, sem ela não seria possível realizar a simulação da peça no software, portanto tornando-se de extrema importância para o trabalho em questão, já que foram aplicados todos os conhecimentos vistos ao longo dos semestres.

A partir da análise, pode-se escolher o melhor aço para ser feito as molas, já que o aço 6150 possui melhor resistência à tração, dessa forma ela tem uma menor taxa de deformação, que melhora a sua eficiência durante o funcionamento do sistema, além de ter uma longa durabilidade, não sendo necessário realizar a troca da mola com frequência por conta do seu material.

## Referências Bibliográficas

ALMEIDA, J. C. de. **Elementos de máquinas: projeto de sistemas mecânicos**. São Paulo: Blucher, 2022. ISBN 978655064971. Disponível em: <https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edsmib&AN=edsmib.000024064&lang=pt-br&site=eds-live>. Acesso em: 28 set. 2022.

BUDYNAS, Richard; NISBETT, J K. **Elementos de Máquinas de Shigley**. [Digite o Local da Editora]: Grupo A, 2016. E-book. ISBN 9788580555554. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#!/books/9788580555554/>. Acesso em: 16 nov. 2022.

PINHEIRO, A. C. da F. B. **Resistência dos materiais**. Rio de Janeiro: LTC, 2021. ISBN 9788521633907. Disponível em: <https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edsmib&AN=edsmib.000022366&lang=pt-br&site=eds-live>. Acesso em: 28 set. 2022.

RC Molas. São Paulo:RC, 2022.Tipos de Molas. Disponível em:<https://www.rcmolas.com.br/molas#:~:text=As%20Molas%20podem%20ter%20v%C3%A1rios,a%20rigidez%20e%20a%20flexibilidade>. Acesso em: 16 out.2022.

## ANEXO A - RELATÓRIO DE ANÁLISE FEA POR SOLIDWORKS SIMULATION AÇO 5160

### Informações do modelo



Nome do modelo: Sistema\_Mola\_Traseira\_001  
Configuração atual: Valor predeterminado

Corpos sólidos		
Nome e referência do documento	Tratado como	Propriedades volumétricas
Corte-extrusão1 	Corpo sólido	Massa:6,21453 kg Volume:0,000791656 m <sup>3</sup> Densidade:7.850,03 kg/m <sup>3</sup> Peso:60,9024 N
Casca4 	Corpo sólido	Massa:0,234981 kg Volume:2,97444e-05 m <sup>3</sup> Densidade:7.900 kg/m <sup>3</sup> Peso:2,30281 N
Casca1 	Corpo sólido	Massa:1,13706 kg Volume:0,000143932 m <sup>3</sup> Densidade:7.900 kg/m <sup>3</sup> Peso:11,1432 N

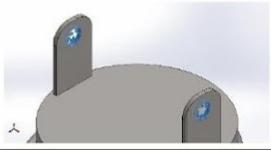
### Propriedades do estudo

Nome do estudo	Análise estática SAE 5160
Tipo de análise	Análise estática
Tipo de malha	Malha sólida
Efeito térmico:	Ativada
Opção térmica	Incluir cargas de temperatura
Temperatura de deformação zero	298 Kelvin
Inclui efeitos da pressão de fluidos do SOLIDWORKS Flow Simulation	Desativada
Tipo de Solver	Automático
Efeito no plano:	Desativada
Mola suave:	Desativada
Atenuação inercial:	Desativada
Opções de união incompatíveis	Simplificada
Grande deslocamento	Desativada
Calcular forças de corpo livre	Desativada
Atrito	Desativada
Usar método adaptável:	Desativada

### Propriedades do material

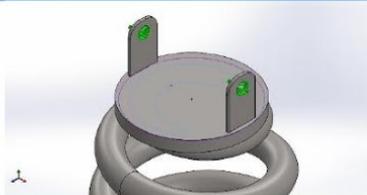
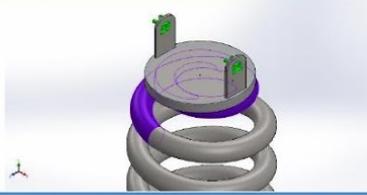
Referência do modelo	Propriedades	Componentes
	<p>Nome: Aço Mola (SAE 5160)</p> <p>Tipo de modelo: Isotrópico linear elástico</p> <p>Critério de falha predeterminado: Tensão de von Mises máxima</p> <p>Limite de escoamento: 2,75e+08 N/m<sup>2</sup></p> <p>Resistência à tração: 7,24e+08 N/m<sup>2</sup></p> <p>Módulo elástico: 2e+11 N/m<sup>2</sup></p> <p>Coefficiente de Poisson: 0,285</p> <p>Massa específica: 7.850 kg/m<sup>3</sup></p> <p>Módulo de cisalhamento: 8e+10 N/m<sup>2</sup></p> <p>Coefficiente de expansão térmica: 1,1e-05 /Kelvin</p>	Corpo sólido 1(Corte-extrusão1)(Mola Traseira-2)
Dados da curva:N/A		
	<p>Nome: AISI 1020</p> <p>Tipo de modelo: Isotrópico linear elástico</p> <p>Critério de falha predeterminado: Desconhecido</p> <p>Limite de escoamento: 3,51571e+08 N/m<sup>2</sup></p> <p>Resistência à tração: 4,20507e+08 N/m<sup>2</sup></p> <p>Módulo elástico: 2e+11 N/m<sup>2</sup></p> <p>Coefficiente de Poisson: 0,29</p> <p>Massa específica: 7.900 kg/m<sup>3</sup></p> <p>Módulo de cisalhamento: 7,7e+10 N/m<sup>2</sup></p> <p>Coefficiente de expansão térmica: 1,5e-05 /Kelvin</p>	Corpo sólido 1(Casca4)(Suporte_Inf_Mola_Traseira_001-3), Corpo sólido 1(Casca1)(Suporte_Sup_Mola_Traseira_001-1)
Dados da curva:N/A		

### Acessórios de fixação e Cargas

Nome do acessório de fixação	Imagem de acessório de fixação	Detalhes de acessório de fixação		
Fixo-1		Entidades: 2 face(s) Tipo: Geometria fixa		
<b>Forças resultantes</b>				
Componentes	X	Y	Z	Resultante
Força de reação(N)	-2,47955e-05	-4.000	4,57764e-05	4.000
Momento de reação(N.m)	0	0	0	0

Nome da carga	Carregar imagem	Detalhes de carga
Força-1		Entidades: 1 face(s) Tipo: Aplicar força normal Valor: 4.000 N

### Informações de contato

Contato	Imagem do contato	Propriedades de contato		
Conjunto de contato-1		Tipo: Par de contato Unido Entidades: 2 face(s)		
<b>Força de contato/atrito</b>				
Componentes	X	Y	Z	Resultante
Força de Contato(N)	-1,9117E+05	-0,097065	5,0535E+05	5,403E+05
Conjunto de contato-2		Tipo: Par de contato Unido Entidades: 2 face(s)		
Conjunto de contato-3		Tipo: Par de contato de ajuste por contração Entidades: 2 face(s) Avançado: Superfície-superfície		
<b>Força de contato/atrito</b>				
Componentes	X	Y	Z	Resultante
Força de Contato(N)	3,3648E-10	8,2399E-17	-3,326E-09	3,343E-09
Conjunto de contato-4		Tipo: Par de contato de ajuste por contração Entidades: 2 face(s) Avançado: Superfície-superfície		

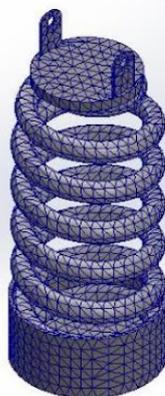
### Informações de malha

Tipo de malha	Malha sólida
Gerador de malhas usado:	Malha padrão
Transição automática:	Desativada
Incluir loops de malha automáticos:	Desativada
Pontos Jacobianos para malha de alta qualidade	16 Pontos
Tamanho do elemento	10,3916 mm
Tolerância	0,519582 mm
Qualidade da malha	Alta
Refazer malha de peças falhas com malha incompatível	Desativada

### Informações de malha - Detalhes

Total de nós	17895
Total de elementos	8682
Proporção máxima	26,542
% de elementos com Proporção < 3	73
% de elementos com Proporção < 10	0,438
% de elementos distorcidos(Jacobiana)	0
Tempo para conclusão da malha (hh:mm:ss):	00:00:06
Nome do computador:	HUGOG-ASUS

Nome do modelo: Sistema\_Mola\_Traseira\_001  
 Nome do estudo: Análise estática SAE 5160(-Valor predeterminado-)  
 Tipo de malha: Malha sólida



## Forças resultantes

### Forças de reação

Conjunto de seleção	Unidades	Soma X	Soma Y	Soma Z	Resultante
Modelo inteiro	N	-2,47955e-05	-4.000	4,57764e-05	4.000

### Momentos de reação

Conjunto de seleção	Unidades	Soma X	Soma Y	Soma Z	Resultante
Modelo inteiro	N.m	0	0	0	0

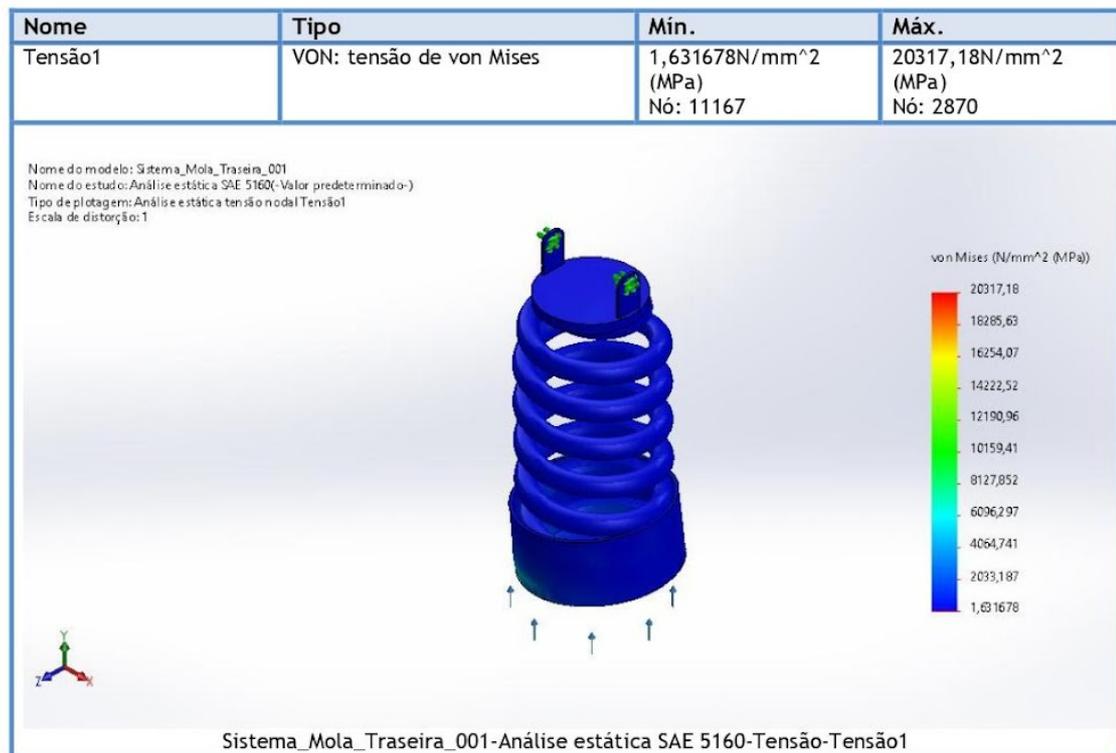
### Forças de corpo livre

Conjunto de seleção	Unidades	Soma X	Soma Y	Soma Z	Resultante
Modelo inteiro	N	0	0	0	0

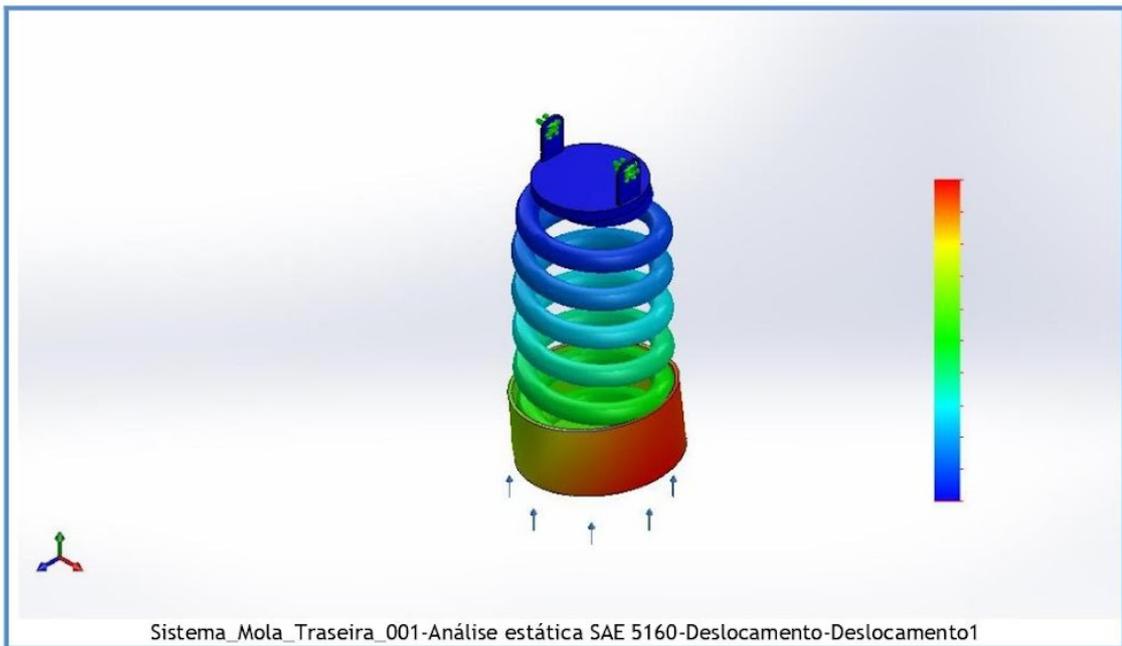
### Momentos de corpo livre

Conjunto de seleção	Unidades	Soma X	Soma Y	Soma Z	Resultante
Modelo inteiro	N.m	0	0	0	0

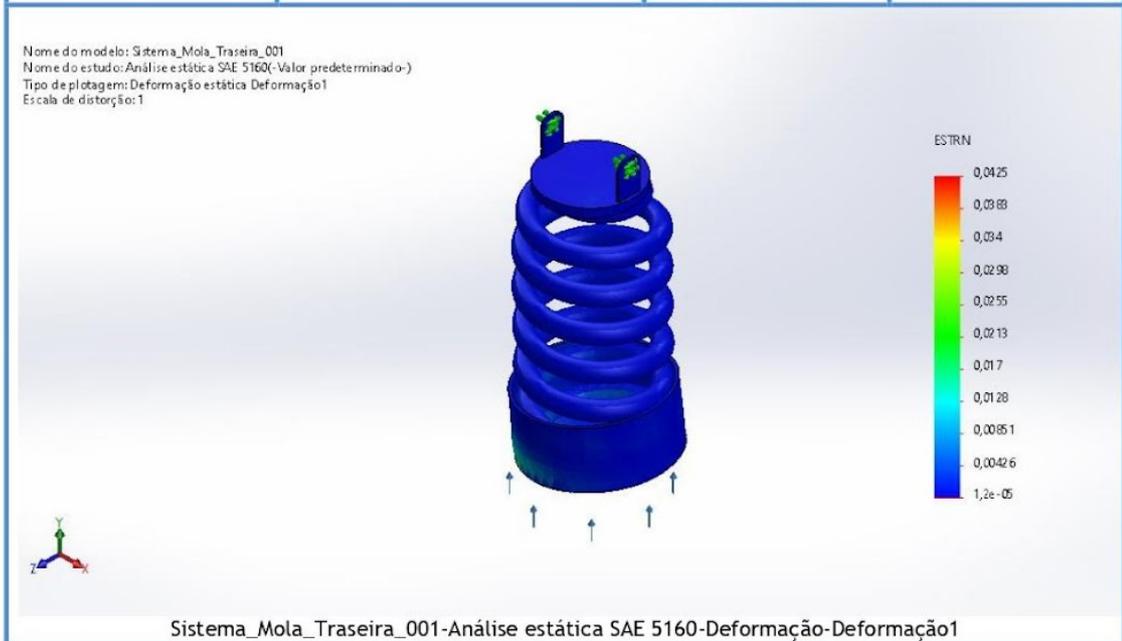
## Resultados do estudo



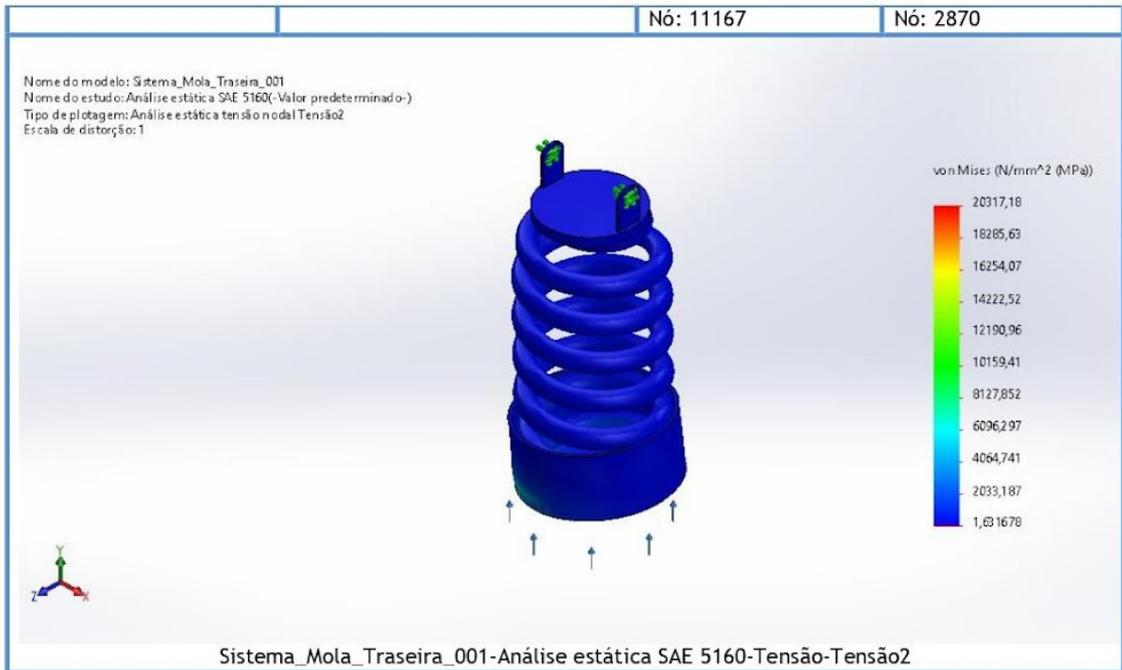
Nome	Tipo	Mín.	Máx.
Deslocamento1	URES: Deslocamento resultante	0mm Nó: 10952	42,9mm Nó: 16030



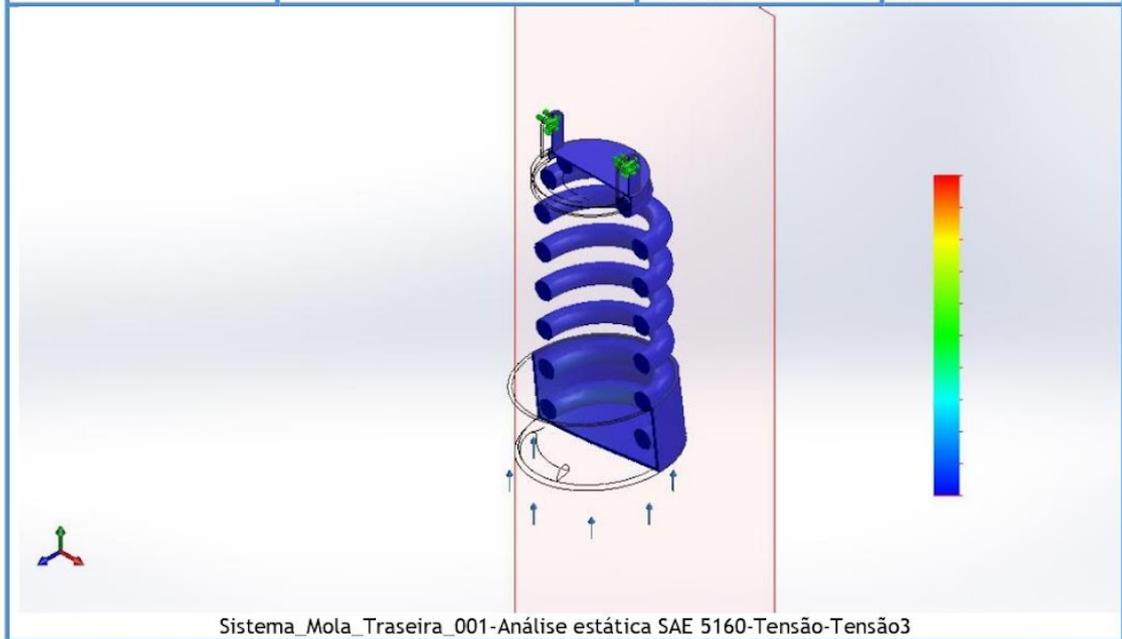
Nome	Tipo	Mín.	Máx.
Deformação1	ESTRN : Deformação equivalente	1,2e-05 Elemento: 6299	0,0425 Elemento: 5104

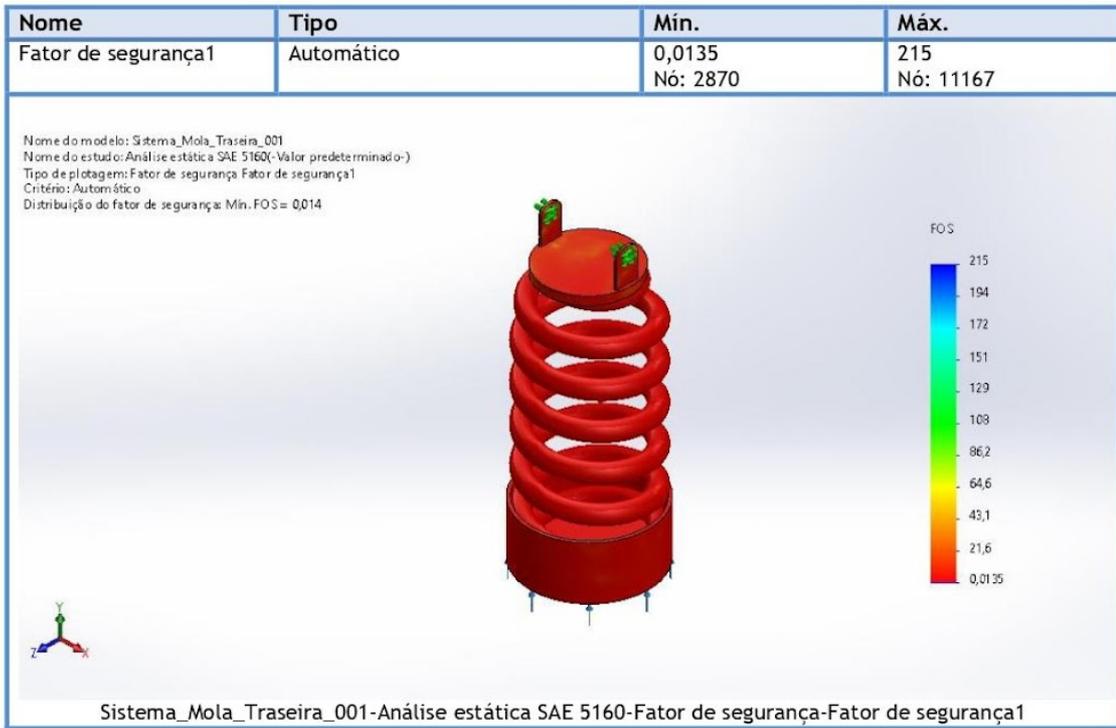


Nome	Tipo	Mín.	Máx.
Tensão2	VON: tensão de von Mises	1,631678N/mm <sup>2</sup> (MPa)	20317,18N/mm <sup>2</sup> (MPa)



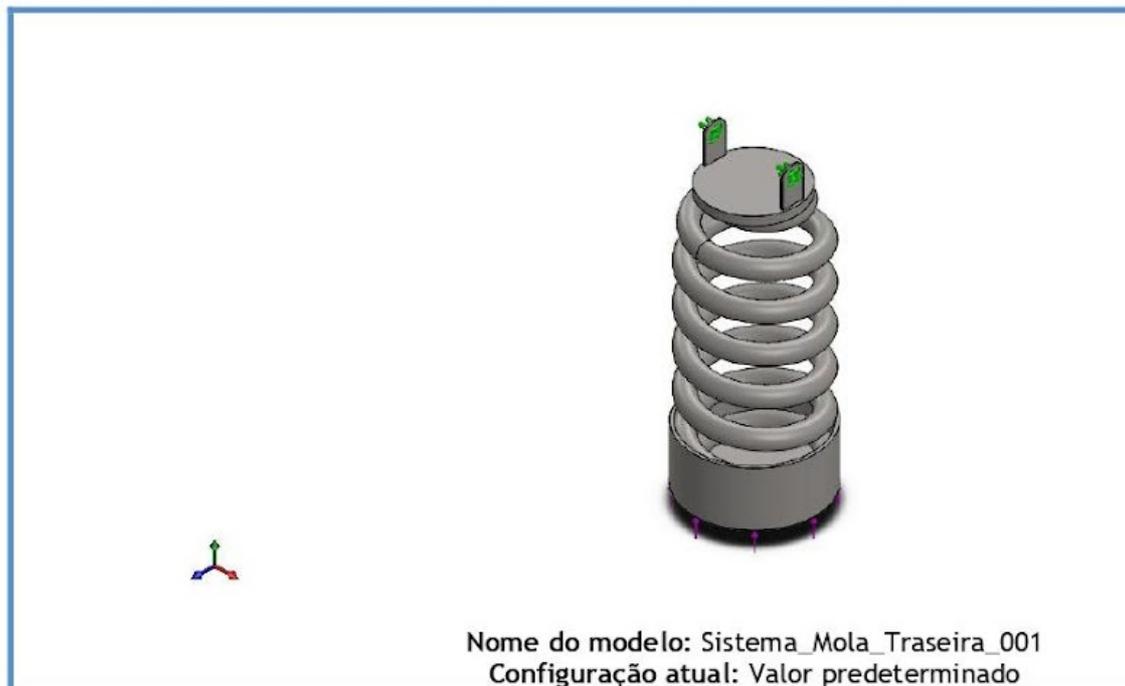
Nome	Tipo	Mín.	Máx.
Tensão3	VON: tensão de von Mises	1,631678N/mm <sup>2</sup> (MPa) Nó: 11167	20317,18N/mm <sup>2</sup> (MPa) Nó: 2870





**ANEXO B - RELATÓRIO DE ANÁLISE FEA POR SOLIDWORKS SIMULATION  
AÇO 6150**

**Informações do modelo**



Corpos sólidos		
Nome e referência do documento	Tratado como	Propriedades volumétricas
Corte-extrusão1 	Corpo sólido	Massa:6,21453 kg Volume:0,000791656 m <sup>3</sup> Densidade:7.850,03 kg/m <sup>3</sup> Peso:60,9024 N
Casca4 	Corpo sólido	Massa:0,234981 kg Volume:2,97444e-05 m <sup>3</sup> Densidade:7.900 kg/m <sup>3</sup> Peso:2,30281 N
Casca1 	Corpo sólido	Massa:1,13706 kg Volume:0,000143932 m <sup>3</sup> Densidade:7.900 kg/m <sup>3</sup> Peso:11,1432 N

### Propriedades do estudo

Nome do estudo	Análise estática SAE 6150
Tipo de análise	Análise estática
Tipo de malha	Malha sólida
Efeito térmico:	Ativada
Opção térmica	Incluir cargas de temperatura
Temperatura de deformação zero	298 Kelvin
Inclui efeitos da pressão de fluidos do SOLIDWORKS Flow Simulation	Desativada
Tipo de Solver	FFEPlus
Efeito no plano:	Desativada
Mola suave:	Desativada
Atenuação inercial:	Desativada
Opções de união incompatíveis	Automático
Grande deslocamento	Desativada
Calcular forças de corpo livre	Desativada
Atrito	Desativada
Usar método adaptável:	Desativada

### Propriedades do material

Referência do modelo	Propriedades	Componentes
	<p>Nome: Aço Mola (SAE 6150)</p> <p>Tipo de modelo: Isotrópico linear elástico</p> <p>Critério de falha predeterminado: Desconhecido</p> <p>Limite de escoamento: 4,15e+08 N/m<sup>2</sup></p> <p>Resistência à tração: 6,7e+08 N/m<sup>2</sup></p> <p>Módulo elástico: 2e+11 N/m<sup>2</sup></p> <p>Coefficiente de Poisson: 0,285</p> <p>Massa específica: 7.850 kg/m<sup>3</sup></p> <p>Módulo de cisalhamento: 8e+10 N/m<sup>2</sup></p> <p>Coefficiente de expansão térmica: 1,1e-05 /Kelvin</p>	Corpo sólido 1(Corte-extrusão1)(Mola Traseira-2)
Dados da curva:N/A		
	<p>Nome: AISI 1020</p> <p>Tipo de modelo: Isotrópico linear elástico</p> <p>Critério de falha predeterminado: Desconhecido</p> <p>Limite de escoamento: 3,51571e+08 N/m<sup>2</sup></p> <p>Resistência à tração: 4,20507e+08 N/m<sup>2</sup></p> <p>Módulo elástico: 2e+11 N/m<sup>2</sup></p> <p>Coefficiente de Poisson: 0,29</p> <p>Massa específica: 7.900 kg/m<sup>3</sup></p> <p>Módulo de cisalhamento: 7,7e+10 N/m<sup>2</sup></p> <p>Coefficiente de expansão térmica: 1,5e-05 /Kelvin</p>	Corpo sólido 1(Casca4)(Suporte_Inf_Mola_Traseira_001-3), Corpo sólido 1(Casca1)(Suporte_Sup_Mola_Traseira_001-1)
Dados da curva:N/A		

### Acessórios de fixação e Cargas

Nome do acessório de fixação	Imagem de acessório de fixação	Detalhes de acessório de fixação		
Fixo-1		Entidades: 2 face(s) Tipo: Geometria fixa		
<b>Forças resultantes</b>				
Componentes	X	Y	Z	Resultante
Força de reação(N)	-0,0171547	-4.000,01	-0,00304031	4.000,01
Momento de reação(N.m)	0	0	0	0

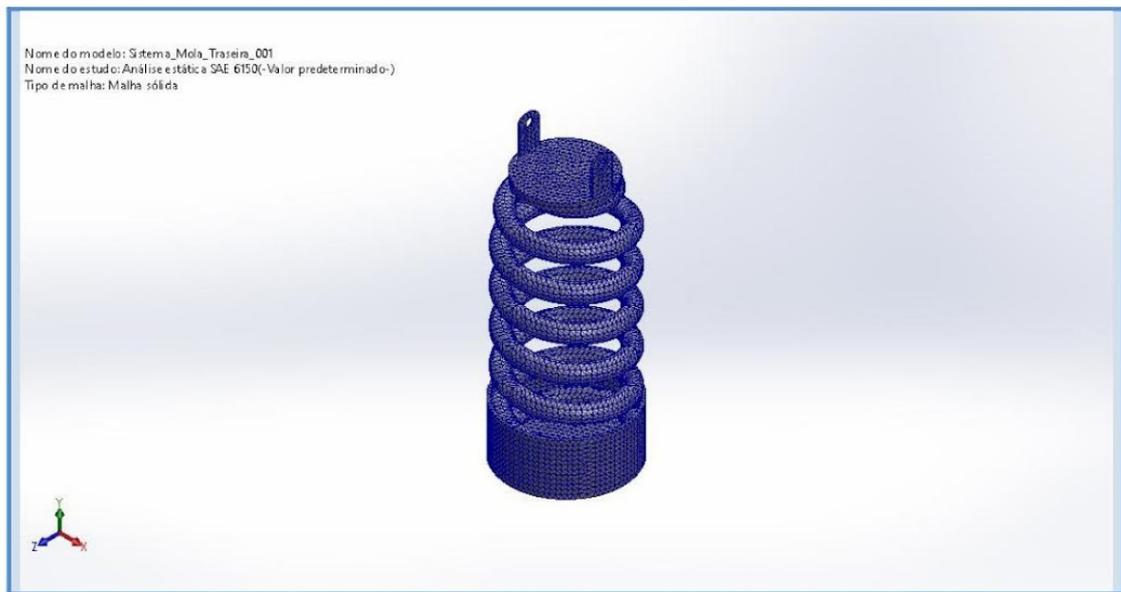
Nome da carga	Carregar imagem	Detalhes de carga
Força-1		Entidades: 1 face(s) Tipo: Aplicar força normal Valor: 4.000 N

### Informações de malha

Tipo de malha	Malha sólida
Gerador de malhas usado:	Malha padrão
Transição automática:	Desativada
Incluir loops de malha automáticos:	Desativada
Pontos Jacobianos para malha de alta qualidade	16 Pontos
Tamanho do elemento	5,19582 mm
Tolerância	0,259791 mm
Qualidade da malha	Alta
Refazer malha de peças falhas com malha incompatível	Desativada

### Informações de malha - Detalhes

Total de nós	87784
Total de elementos	49606
Proporção máxima	26,747
% de elementos com Proporção < 3	95,4
% de elementos com Proporção < 10	0,0101
% de elementos distorcidos(Jacobiana)	0
Tempo para conclusão da malha (hh:mm:ss):	00:00:14
Nome do computador:	HUGOG-ASUS



## Forças resultantes

### Forças de reação

Conjunto de seleção	Unidades	Soma X	Soma Y	Soma Z	Resultante
Modelo inteiro	N	-0,0171547	-4.000,01	-0,00304031	4.000,01

### Momentos de reação

Conjunto de seleção	Unidades	Soma X	Soma Y	Soma Z	Resultante
Modelo inteiro	N.m	0	0	0	0

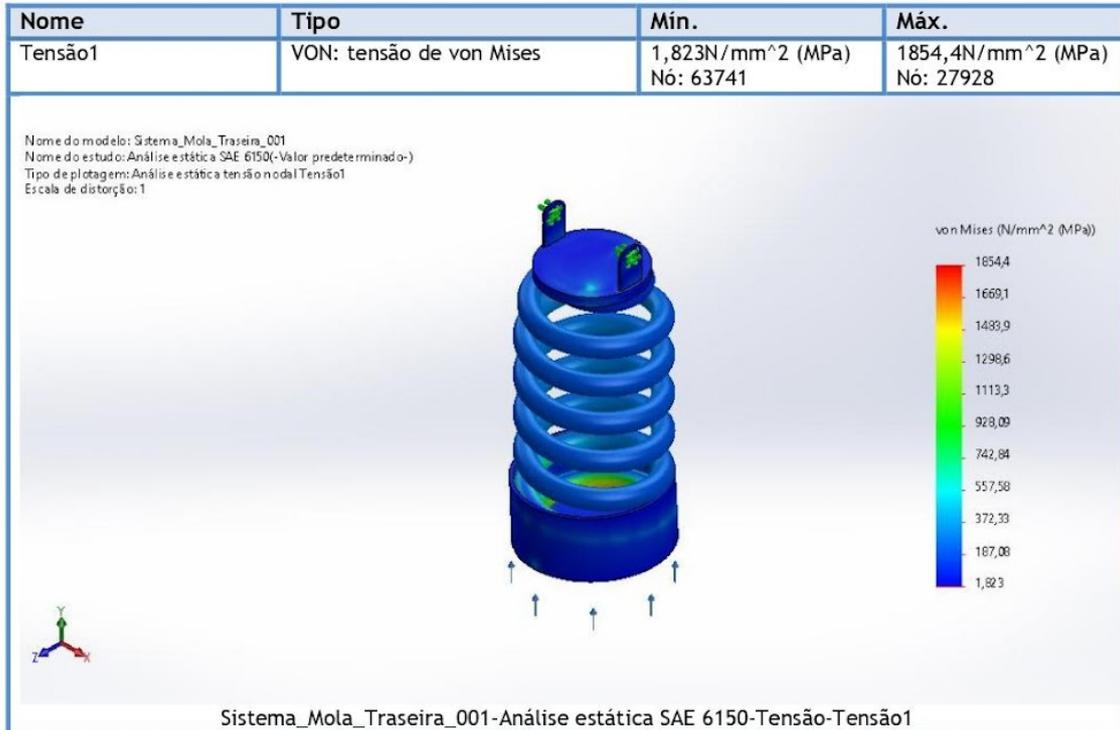
### Forças de corpo livre

Conjunto de seleção	Unidades	Soma X	Soma Y	Soma Z	Resultante
Modelo inteiro	N	0	0	0	0

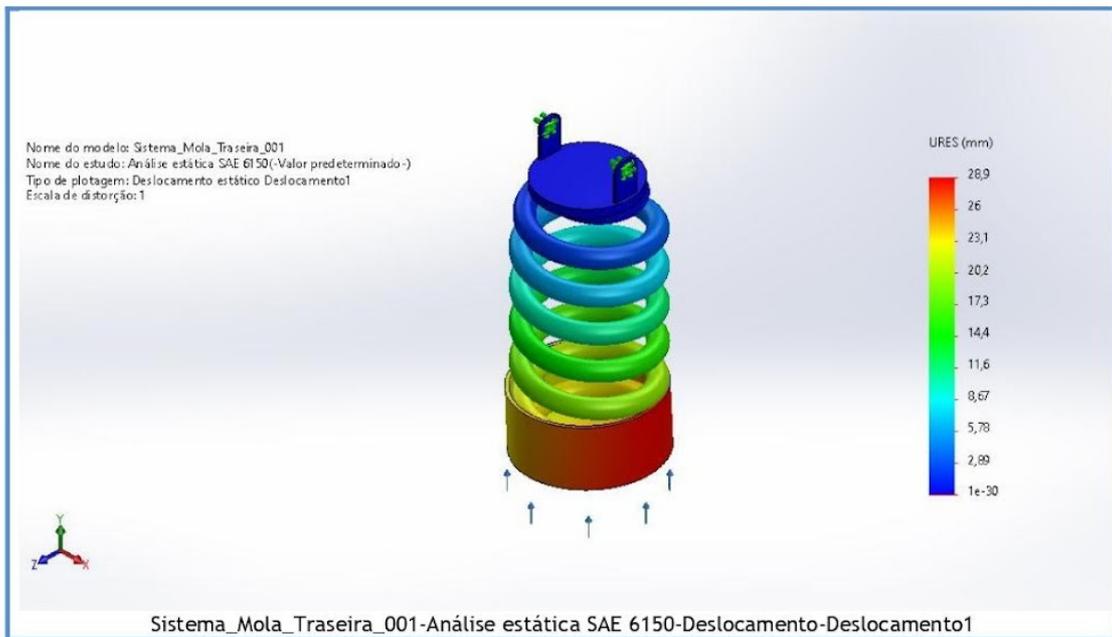
### Momentos de corpo livre

Conjunto de seleção	Unidades	Soma X	Soma Y	Soma Z	Resultante
Modelo inteiro	N.m	0	0	0	0

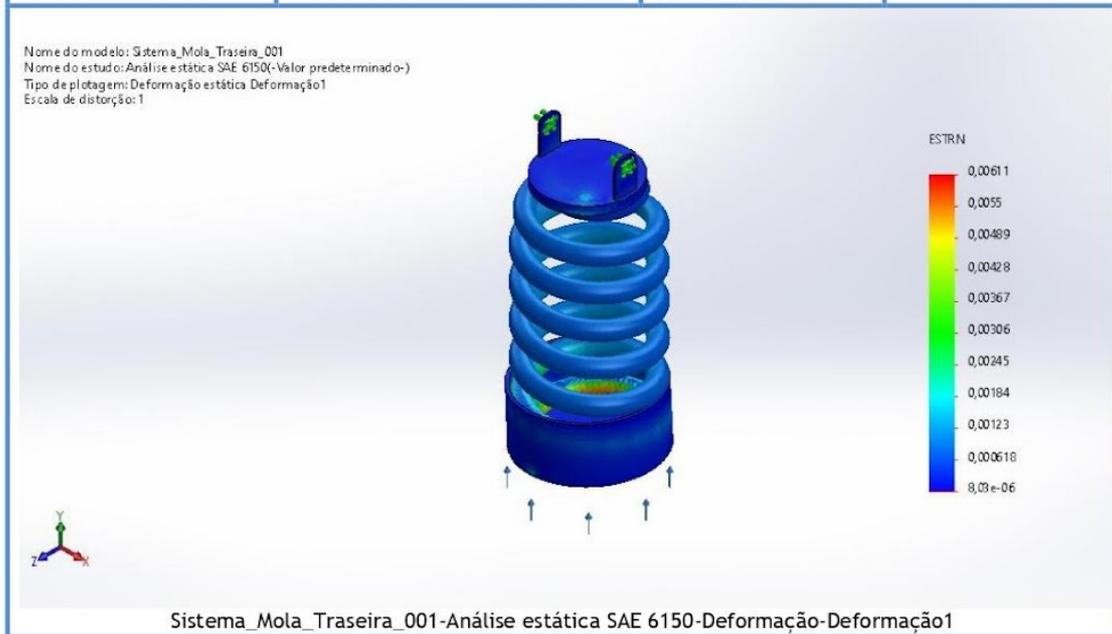
## Resultados do estudo

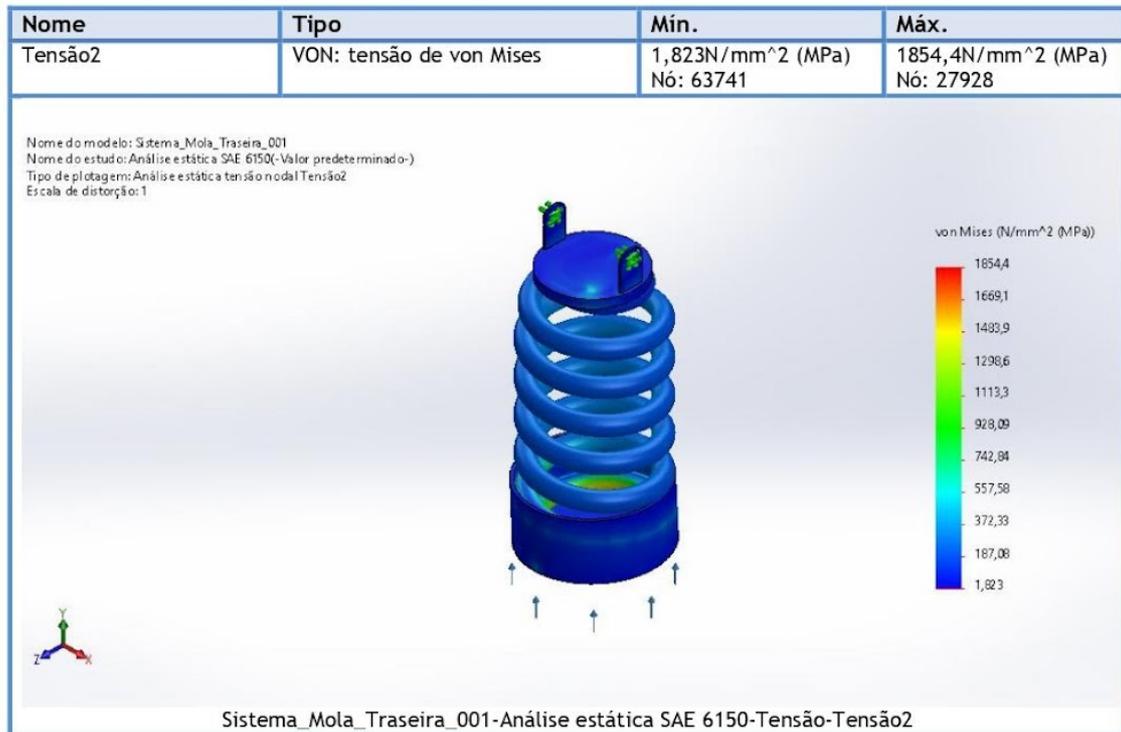


Nome	Tipo	Mín.	Máx.
Deslocamento1	URES: Deslocamento resultante	0mm Nó: 63161	28,9mm Nó: 70240

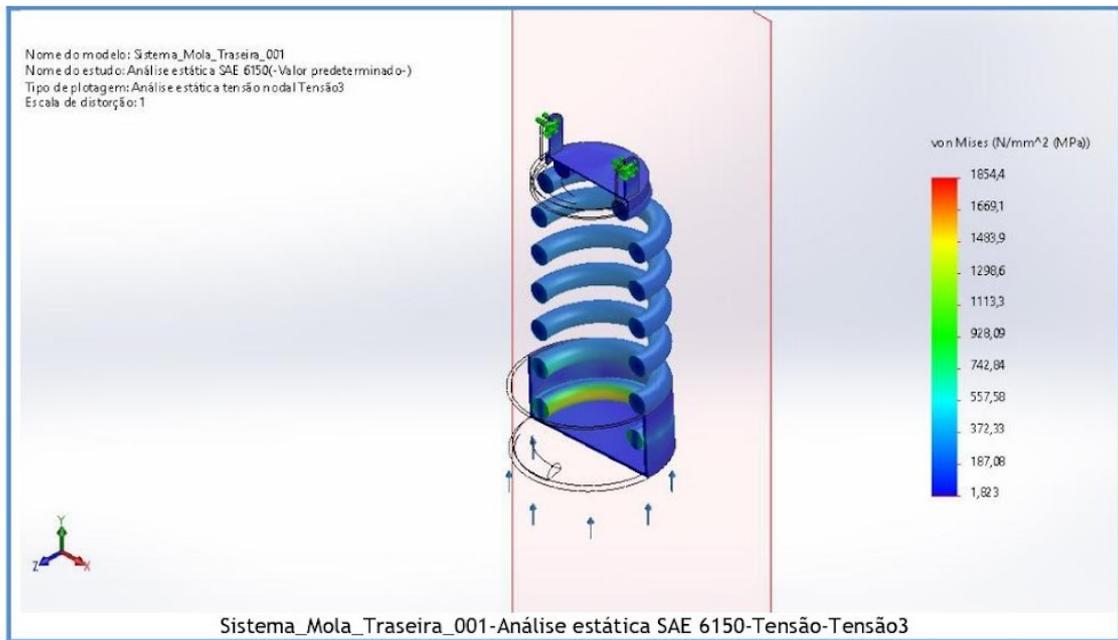


Nome	Tipo	Mín.	Máx.
Deformação1	ESTRN : Deformação equivalente	8,03e-06 Elemento: 40151	0,00611 Elemento: 11417





Nome	Tipo	Min.	Máx.
Tensão3	VON: tensão de von Mises	1,823N/mm <sup>2</sup> (MPa) Nó: 63741	1854,4N/mm <sup>2</sup> (MPa) Nó: 27928



Nome	Tipo	Mín.	Máx.
Fator de segurança1	Automático	0,224 Nó: 27928	193 Nó: 63741

