

Dimensionamento de um Limitador de Torque de Fricção em uma Esteira Transportadora por Roletes

Diego Siqueira¹, Roderley Camargo²

¹Diego Siqueira, Unisal, diegosiqueira@mail.com,

²Roderley Camargo, Unisal, roderlei.camargo@sj.unisal.br

Resumo – Nesse artigo é apresentado um estudo teórico de dimensionamento de um Limitador de Torque para um sistema específico de esteira transportadora por roletes, no entanto, o conceito adquirido por meio desse artigo, pode servir de auxílio para um dimensionamento desse equipamento (Limitador de Torque) para qualquer sistema de transmissão, onde seu uso seja adequado.

O Limitador de Torque escolhido é do tipo de Fricção (também conhecido como: Limitador de Torque tipo "T"), com acionamento por meio de molas prato, que permite regulagem na força de fricção. É destinado a sistemas de transmissão que requerem uma proteção contra sobrecargas no torque transmitido.

No sistema a ser transmitido, foi escolhido um Limitador de Torque "padrão", e para garantir teoricamente sua eficácia, também foi empregada uma validação teórica por meio de análises por elementos finitos.

Palavras-chave: Limitador de Torque tipo T, Dimensionamento de um Limitador de Torque, Limitador de Torque de mola prato.

Abstract – In this paper we present a theoretical study of designing a Torque Limiter for a specific system of transport rollers, however, the concept acquired through this article can serve as an aid for sizing of the equipment (Torque Limiter) for any transmission system, where its use is suitable.

The Torque Limiter chosen is the type of friction (also known as: Limiter Torque type "T"), with drive through disc springs, this type of equipment has adjustable sensitivity to friction, is intended for transmission systems require protection against overloads in the transmitted torque.

In the system to be transmitted was chosen a Torque Limiter "standard", and theoretically ensure its effectiveness, it was also employed a theoretical validation through analysis by finite element.

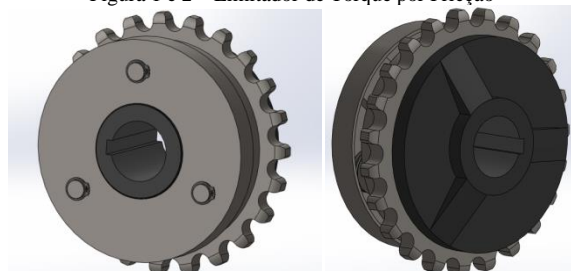
Keywords: Torque Limiter of friction type overload protection, Torque Limiter type T, Torque Limiter of spring disc.

I. INTRODUÇÃO

Ao dimensionar qualquer equipamento, que seja destinado a frenagem, redução, transmissão, alinhamento, etc.; em um sistema de transmissão, previamente deve se levar em consideração diversos pontos que no geral validem a escolha desse equipamento no sistema de transmissão.

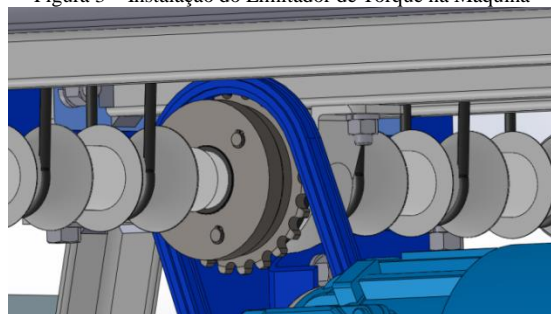
O Limitador de Torque por Fricção tipo "T" (componente abordado nesse artigo) foi escolhido, pois trata-se de um componente de boa qualidade e rendimento, baixo custo, fácil instalação e além do mais, a máquina à qual se destina esse componente, não demanda um torque excessivo. Esse componente trabalha com funcionamento à seco, ou seja, não utiliza óleo para sua lubrificação, e é instalado entre a máquina motora e acionada, protegendo-as contra sobrecargas que eventualmente podem ocorrer.

Figura 1 e 2 – Limitador de Torque por Fricção



Fonte: Acervo do autor

Figura 3 – Instalação do Limitador de Torque na Máquina

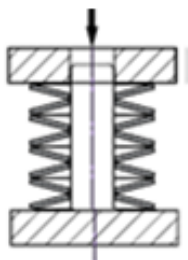


Fonte: Acervo do autor

Quando há um sobre-torque, ou seja, quando o pico de torque for superior ao torque regulado, há deslizamento entre os discos de fricção (de lona) e o elemento de transmissão (engrenagem de dentes externos), interrompendo a transmissão de torque e protegendo o equipamento.

Também possui ajuste, que normalmente, para esse modelo é realizado através da porca de regulagem, onde as molas prato são comprimidas, exercendo pressão sobre os discos de fricção, aumentando o atrito entre os Discos de fricção e o elemento de transmissão, possibilitando a transmissão do torque desejado, como mostra abaixo, o esquema de empilhamento das molas prato.

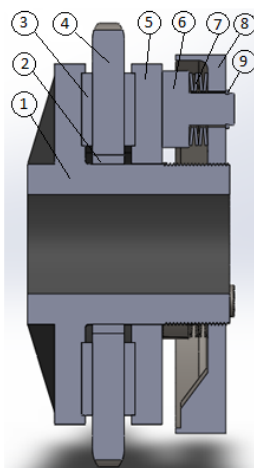
Figura 4 –Esquema de empilhamento de Molas Prato



Fonte: Catálogo de Molas Prato Spirol 2016 Rev.1

O Limitador de Torque geralmente é classificado da seguinte forma: 1) Cubo; 2) Bucha; 3) Lona de Fricção; 4) Disco de Engrenagem; 5) Placa Pressionadora; 6) Pino de Ajuste; 7) Mola Prato; 8) Capa de Regulagem; 9) Anel Elastico.

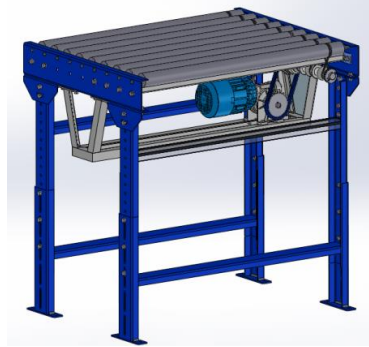
Figura 5 – Componentes do Limitador de Torque por Fricção



Fonte: Acervo do autor

Os limitadores de torque comumente são bastante empregados em máquinas, sendo essas: Rotuladoras, Extrusoras, Empacotadoras, Envasadoras, Embaladoras, processamento de papel dentre outras; neste caso, ele será aplicado sobre uma esteira transportadora por roletes, como mostram as figuras seguintes:

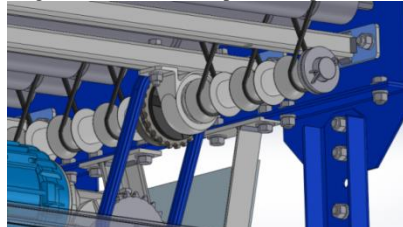
Figura 7 – Esteira Transportadora por roletes



Fonte: <https://grabcad.com/library/mini-conveyor-rollers>

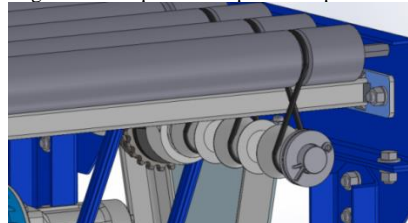
Dentre os vários benefícios proporcionados por suas características técnicas, eles permitem a montagem entre eixos/eixos; eixos/polias; e eixos/engrenagens, sendo o ultimo, o referencial de aplicação abordado. Nota-se que inferior à máquina há um eixo movido de transmissão:

Figura 8 – Esteira Transportadora por roletes



Fonte: <https://grabcad.com/library/mini-conveyor-rollers>

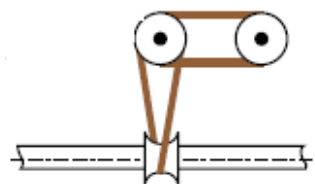
Figura 9 – Máquina Transportadora por roletes



Fonte: <https://grabcad.com/library/mini-conveyor-rollers>

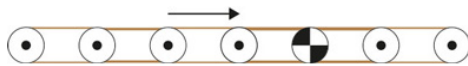
Geralmente, as Máquinas transportadoras por roletes podem ser transmitidas do eixo motor para somente m rolete, e este por sua vez, distribui para os demais. Também podem ser transmitidas por um sistema de árvore de roletes, fazendo com que cada rolete se torne um eixo movido partindo diretamente do eixo motor, como mostram a figura abaixo:

Figura 10 – Transmissão em um rolete



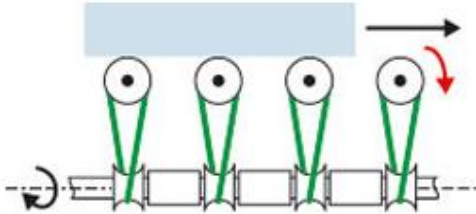
Fonte: Fonte: Catálogo do fabricante Mafdel-Belts, 2016

Figura 11 – Transmissão de rolos a rolos



Fonte: Catálogo do fabricante Mafdel-Belts, 2016

Figura 12 – Transmissão árvore de rolos



Fonte: Acervo do autor

Em um sistema de árvore cruzada, a transmissão entre o eixo motor e eixo movido pode ser por meio de corrente, correia dentada, trapezoidal, quadrada, redonda e etc; neste caso é feita através de uma correia redonda.

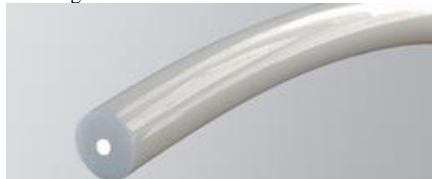
Essas correias redondas são constituídas desde poliuretano até uma variada gama de materiais sintéticos, sejam com ou sem alma, que geralmente são de fibras de aramida ou poliéster.

Figura 13 – Correia redonda



Fonte: Catálogo do fabricante Mafdel-Belts, 2016

Figura 14 – Correia redonda com alma



Fonte: Catálogo do fabricante Mafdel-Belts, 2016

A máquina transportadora, utilizada como objeto de pesquisa desse artigo, possui amarração independente entre o eixo movido em cada rolete, isso pois destina-se ao intuito de, caso um dos roletes escorregue, os demais mantêm o torque constante.

O objetivo desse transportador é de levar uma carga de elevado peso, isso faz com que seja requerido um torque constante, e em caso de parada brusca, ocasionada pelo

contado da carga nas laterais da esteira transportadora por rolos.

Figura 15 – Máquina Transportadora por roletes



Fonte: Catálogo do fabricante Mafdel-Belts, 2016

Figura 16 – Máquina Transportadora por roletes com carga



Fonte: vistamation.com/conveyor

Os dados da máquina transportadora de roletes são:

<i>Rotação do Redutor</i>	$N_1 = 130 \text{ rpm}$
<i>Rotação do Eixo do Limitador</i>	$N_2 = 120 \text{ rpm}$
<i>Torque nominal do Redutor</i>	$N_2 = 120 \text{ rpm}$
<i>Torque no Eixo do Redutor</i>	$T_1 = 14 \text{ Nm}$

II. PRÉ-SELEÇÃO DO LIMITADOR DE TORQUE

Inicialmente, para se calcular qualquer componente de transmissão (seja um Limitador de Torque, Freio, Embreagem e etc.), deve-se conhecer o torque do sistema de transmissão.

De acordo com a força e a carga da máquina para ser acionada, determina-se o torque de escorregamento ou limite de torque exercido na máquina. Neste caso, utiliza-se a "Equação 1":

$$\text{Torque de Escorregamento} = T_2 \cdot 1,5$$

Primeiramente, deve-se definir o torque no Eixo do Limitador (T_2):

$$T_2 = T_1 \cdot \frac{N_1}{N_2} = 14 \cdot \frac{130}{120} = 14 \text{ Nm}$$

Sendo assim, torna-se a "Equação 1":

$$\begin{aligned} \text{Torque de Escorregamento} &= T_2 \cdot 1,5 \\ &= 15,1 \cdot 1,5 = 22,65 \text{ Nm} \end{aligned}$$

O Torque de Escorregamento trabalha com um fator de 1,5. Ou seja, esse tipo de Limitador de Torque é calculado para suportar cerca de *uma vez e meia* o valor do torque nominal presente no eixo do Redutor. Após ultrapassar o torque calculado, a engrenagem do limitador começa a patinar.

III. SELEÇÃO DO LIMITADOR DE TORQUE

Portanto o conjunto escolhido foi o modelo LT 2,5 Kgf.m ou 24,5 N.m, atendendo corretamente o torque desejado, como mostra a figura abaixo:

Figura 17 – Características de Torque para cada modelo

Modelos	Torque (kgf.m) mín.-máx.
LT,LTA-1,0/2	0,49-1,0 / 0,98-2
LT,LTA-2,5/5	0,95-2,5 / 1,90-5
LT,LTA-7,5/15	2,83-7,5 / 5,65-15
LT,LTA-20/40	7,09-20 / 14,19-40
LT,LTA-80/160	29,44-80 / 58,88-160

Fonte: Catálogo do fabricante RingCone

A figura abaixo mostra que a rotação de trabalho está aceitável.

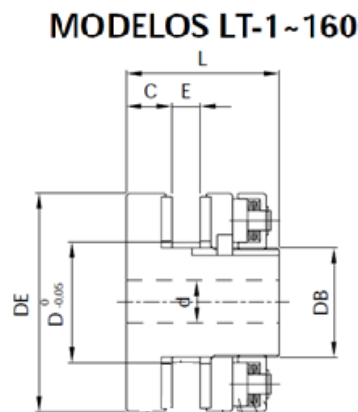
Figura 18 – Características de Rotação e Engrenagem de cada modelo

Modelos	Desloc. máx. permissível		Dados das engrenagens				Rotação rpm (máx.)
	Angular	Radial	Ref. da engr. 1	Ref. da engr. 2	Passo	N° de dentes mín.	
LTA-1,0/2	1°	0,25	14016	14016	12,7 (1/2")	16	1200
LTA-2,5/5	1°	0,25	14026	24026	12,7 (1/2")	26	1000
LTA-7,5/15	1°	0,25	15026	25026	15,8 (5/8")	26	800
LTA-20/40	1°	0,30	16028	-	19,05 (3/4")	28	500
LTA-80/160	1°	0,40	114020	214020	44,45 (1 3/4")	20	300

Fonte: Catálogo do fabricante RingCone

As figuras "19" e "20" indicam as medidas padronizadas da RingCone, referente ao respectivo modelo escolhido

Figura 19 – Características de dimensões padronizadas



Fonte: Catálogo do fabricante RingCone

Figura 20 – Características de dimensões padronizadas

Modelos	Dimensões									Peso aprox. (kg)
	L	E		C	DE	D	DB	d*		
		mín.	máx.					mín.	máx.	
LT-1	37	7	7	6,5	50	30	24	5	14	0,33
LT-2	37	7	7	6,5	50	30	24	5	14	0,35
LT-2,5	55	4,5	9	16,8	75	40	35	10	19	1,27
LT-5	55	4,5	9	16,8	75	40	35	10	19	1,30
LT-7,5	70	5	13	20,8	100	55	50	15	32	3,05
LT-15	70	5	13	20,8	100	55	50	15	32	3,05
LT-20	96	10	16	20,8	125	70	60	20	42	4,95
LT-40	96	10	16	20,8	125	70	60	20	42	5,10
LT-80	125	15	23	22,8	210	100	90	25	65	17,6
LT-160	125	15	23	22,8	210	100	90	25	65	18,2

Fonte: Catálogo do fabricante RingCone

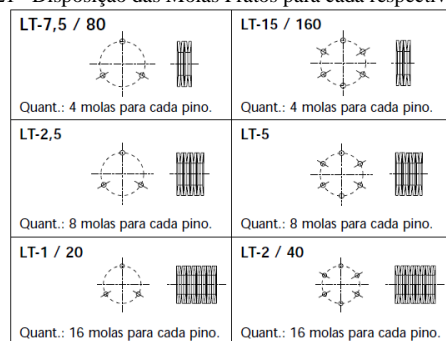
O diferencial desse conjunto de Limitador de Torque é justamente sua regulagem, e sendo esta por meio de sua Capa de Regulagem que geralmente possui uma rosca unindo-a ao Cubo.

Ao apertar a Capa de Regulagem, isso confere um aumento na carga das molas pratos que estão empilhadas.

IV. PRÉ-SELEÇÃO DA MOLLA PRATO

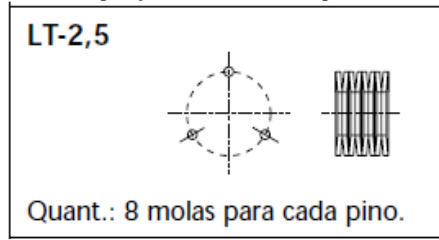
Nas figuras abaixo, são indicados segundo o catálogo do fabricante, que o Conjunto do Limitador de Torque 2,5 possui 3 guias de empilhamento de molas, sendo que cada uma guia possui 8 molas empilhadas.

Figura 21 – Disposição das Molas Pratos para cada respectivo modelo



Fonte: Catálogo do fabricante RingCone

Figura 22 – Disposição das Molas Pratos para o modelo 2,5



Fonte: Catálogo do fabricante RingCone

Porém, antes de saber qual o tamanho da mola está sendo utilizada, é preciso entender o funcionamento do conjunto e como se obtém o torque. Quando existe tal compressão das molas na Placa Pressionadora, que possui fixado um Disco de Lona, isso faz gerar uma enorme pressão sobre o Disco de da Embreagem, causando uma transferência de torque entre as superfícies em contato por intermédio do material de atrito do Disco de Embreagem e os Discos de Lona. A força aplicada multiplicada pelo coeficiente de atrito dos materiais em contato e também pelo raio médio de contato do Disco de Embreagem geram o torque de transmissão, conforme demonstrado na "Equação 3".

$$Mt = \mu \cdot F \cdot R \cdot Nf$$

Sendo:

Torque $Mt = 24,5 \text{ N.m}$
 Coef. de atrito (aço-lona s/ lubrif.) $\mu = 0,2$
 Força de atrito normal à superfície $F = _ \text{ N}$
 Raio de contato médio entre as faces $R = 0,028 \text{ m}$
 Número de faces de contato de fricção $Nf = 2$

A força necessária para transmitir esse torque é de:

$$F = \frac{24,5 \text{ [N.m]}}{0,2 \cdot 0,028 \text{ [m]} \cdot 2} = 2188 \text{ N}$$

Ao subdividir essa magnitude de força para cada mola, nota-se que será necessária uma mola-prato que confira uma carga de no mínimo 91 N, em sua condição ideal de trabalho, segundo indicação do fabricante.

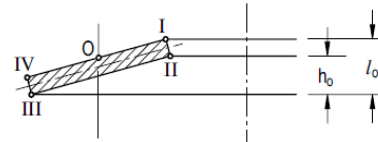
Nas figuras 23 e 24, é possível perceber as tensões de carregamento nas molas-prato.

Figura 23 – Pontos de tensão críticos

Quando a mola é carregada, tensões de compressão surgem nos Pontos I e IV. As tensões de compressão atuam tipicamente na superfície superior do disco.

No Ponto teórico (O) entre os Pontos I e IV, a tensão não deve exceder o limite de elasticidade do material (1400 – 1600 N/mm² para materiais especificados pela DIN 2093) para assegurar que não haverá deformação plástica.

As tensões de tração nos Pontos II e III são a base para os cálculos de vida útil. As tensões de tração atuam tipicamente na superfície inferior da mola.



Fonte: Catálogo do fabricante Spirol

Figura 24 – Carga Estática

A carga estática é definida como aquela que carrega uma carga constante ou com variação casual em intervalos de tempo relativamente longos, não excedendo dez mil ciclos de vida útil projetada. Nestes casos, a tensão mais alta calculada no Ponto O é mais crítica e não deve exceder 1400 – 1600 N/mm² na posição plana ($s = h_0$) para os materiais especificados pela DIN 2093.

A linha padrão de Molas Prato pode ser utilizada em condições de carga estática sem a necessidade de realizar cálculos teóricos de tensão. Sob estas condições, deformação não se torna uma preocupação para Forças que não ultrapassem $F = 0,75 h_0$.

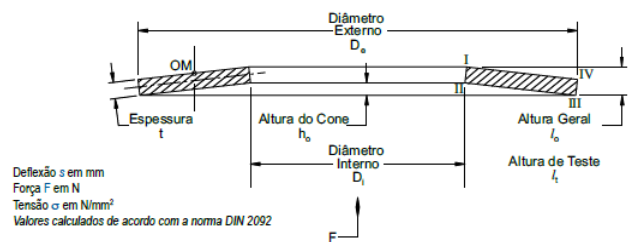
Fonte: Catálogo do fabricante Spirol

V. SELEÇÃO DA MOLA PRATO

Sabendo que as dimensões entre o alojamento das molas prato permite uma configuração de uma mola com medidas entre Ø8,2 x Ø12,5, então a mola escolhida foi a de Ø6,2 x Ø12,5 / Classe C

Figura 25 – Definição da Mola Prato

MOLAS PRATO PARA DIN 2093



Fonte: Catálogo do fabricante Spirol

Figura 26 – Definição da Mola Prato

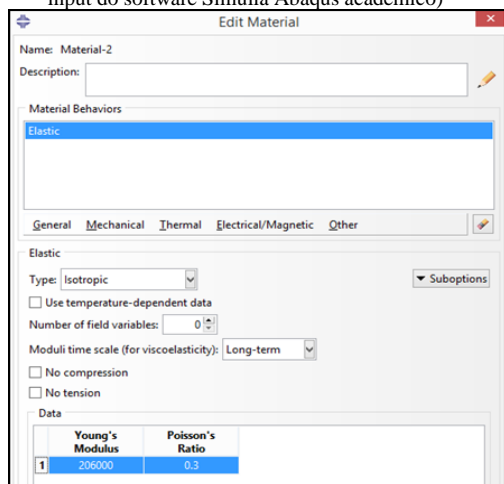
DIN Série	Dimensões						Forças, deflexões e tensões de projeto baseados em valores de $E = 206 \text{ kN/mm}^2$ e $\mu = 0,3$																						
							Pré-carga, $s = 0,15 h_0$				$s = 0,25 h_0$				$s = 0,5 h_0$				$s = 0,75 h_0$				$s = h_0$						
	D_e	D_i	t	l_0	h_0	h_0/t	s	l_t	F	σ_n	σ_m	s	l_t	F	σ_n	σ_m	S	l_t	F	σ_n	σ_m	S	l_t	F	σ_n	σ_m	s	F	σ_m
C	12,5	6,2	0,35	0,80	0,45	1,29	0,07	0,73	57	-14	325	0,11	0,69	82	1	496	0,23	0,57	131	142	949	0,34	0,46	152	401	1284	0,45	160	-1250
B	12,5	6,2	0,5	0,85	0,35	0,70	0,05	0,80	72	122	246	0,09	0,76	123	238	431	0,18	0,67	220	559	811	0,26	0,59	291	913	1105	0,35	363	-1388
A	12,5	6,2	0,7	1,00	0,30	0,43	0,05	0,95	162	263	287	0,08	0,92	255	432	452	0,15	0,85	457	864	814	0,23	0,77	673	1419	1189	0,30	855	-1666
C	14	7,2	0,35	0,80	0,45	1,29	0,07	0,73	46	-12	268	0,11	0,69	67	-2	409	0,23	0,57	107	109	784	0,34	0,46	123	315	1061	0,45	131	-1018
B	14	7,2	0,5	0,90	0,40	0,80	0,06	0,84	76	94	258	0,10	0,80	120	173	419	0,20	0,70	210	428	787	0,30	0,60	279	764	1101	0,40	338	-1293
A	14	7,2	0,8	1,10	0,30	0,38	0,05	1,05	192	255	261	0,08	1,02	302	418	411	0,15	0,95	547	826	743	0,23	0,87	813	1341	1092	0,30	1040	-1551

Fonte: Catálogo do fabricante Spirol

VI. MÉTODO DE MODELAMENTO PARA VALIDAÇÃO VIRTUAL

Como mostrado acima, o que garantirá o torque exercido pelo Limitador de Torque serão as molas prato, e segundo os cálculos, a pré-carga imposta nas molas deverão fazer com que cada uma exerça uma força resultante de aproximadamente 91N sob a Placa Pressionadora, que por sua vez empurra a Lona de Fricção contra as faces do Disco de Engrenagem. Em tese, não se sabe o quanto cada mola prato deverá avançar. Para isso, será recorrido à um estudo de análise computacional, via Método por Elementos Finitos, utilizando as mesmas propriedades mecânicas de $E = 206000 \text{ N/mm}^2$ e $\nu = 0,3$ (conforme indica a figura 26 e 27).

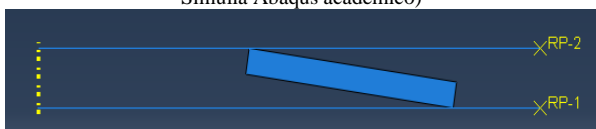
Figura 27 – Propriedades mecânicas da Mola Prato (utilizadas no input do software Simulia Abaqus acadêmico)



Fonte: Catálogo do fabricante Spirol

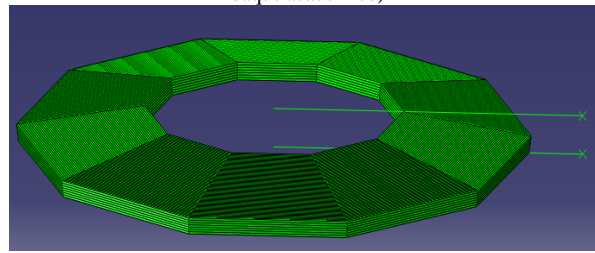
As figuras abaixo (28, 29 e 30) ilustram o recurso axissimétrico utilizado do software *Simulia Abaqus*. Esse recurso permite que o componente a ser analisado, o seja por meio de uma casca, as linhas fazem o papel de uma placa de apoio sobre a mola-prato. Ao visualizar a peça rotacionada a trezentos e sessenta graus em relação ao seu centro (indicada pela linha amarela tracejada), é possível notar que existe uma superfície invisível, denominada como *superfície de corpo rígido*, que ao aplicar uma carga, a peça se deforma de acordo com as condições reais de trabalho (como mostra a figura 30), além da representação dos esforços que a peça resiste em cada região (como mostra a figura 31).

Figura 28 – Modelamento CAD da Mola Prato (utilizando software Simulia Abaqus acadêmico)



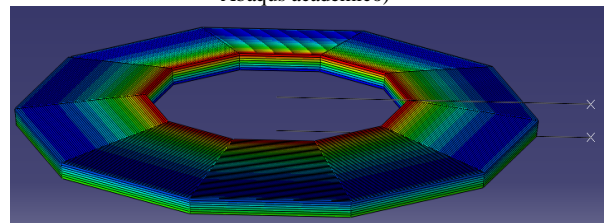
Fonte: Acervo do autor

Figura 29 – Modelamento CAE utilizando recurso axissimétrico da Mola Prato, sem deformação imposta (utilizando software Simulia Abaqus acadêmico)



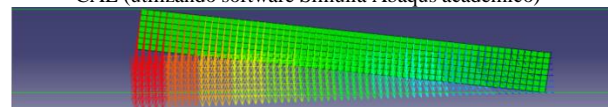
Fonte: Acervo do autor

Figura 30 – Modelamento CAE utilizando recurso axissimétrico da Mola Prato, com deformação imposta (utilizando software Simulia Abaqus acadêmico)



Fonte: Acervo do autor

Figura 31 – Direções das tensões resultantes da Mola Prato via CAE (utilizando software Simulia Abaqus acadêmico)



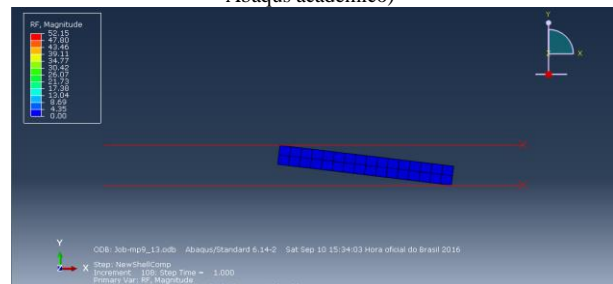
Fonte: Acervo do autor

VII. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Antes de saber a distancia que as molas devem ceder, foi preciso basicamente "calibrar" o recurso do software às condições reais de trabalho da mola, para isso foram feitos ensaios virtuais com malhas alternadas, a fim de se obter, através do refinamento das malhas, resultados mais próximos dos indicados pelo fabricante (conforme indica a figura 26).

No primeiro ensaio (figura 32), foi utilizada uma malha com 32 elementos quadrangulares. Aplicando uma deflexão de 0,07 mm, assim foi obtida a força resultante de 52,15N.

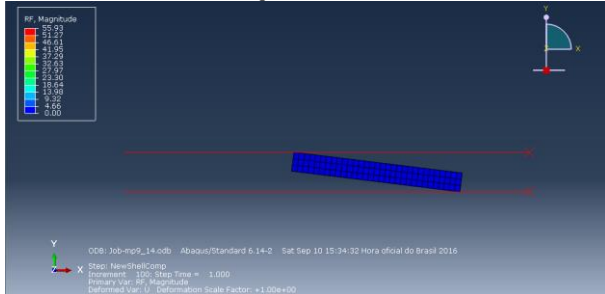
Figura 32 – Ensaio Virtual de uma Mola Prato com uma malha de 32 elementos quadrangulares lineares (utilizando software Simulia Abaqus acadêmico)



Fonte: Acervo do autor

No segundo caso (figura 33), com as mesmas condições anteriores, porém utilizando uma malha com 64 elementos quadrangulares, obteve-se uma força resultante de 55,93N.

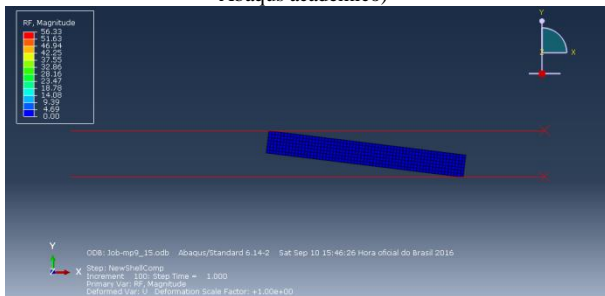
Figura 33 – Ensaio Virtual de uma Mola Prato com uma malha de 64 elementos quadrangulares lineares (utilizando software Simulia Abaqus acadêmico)



Fonte: Acervo do autor

No terceiro caso (figura 34), com as mesmas condições anteriores, porém utilizando uma malha com 441 elementos quadrangulares, obteve-se uma força resultante de 56,33N.

Figura 34 – Ensaio Virtual de uma Mola Prato com uma malha de 441 elementos quadrangulares lineares (utilizando software Simulia Abaqus acadêmico)

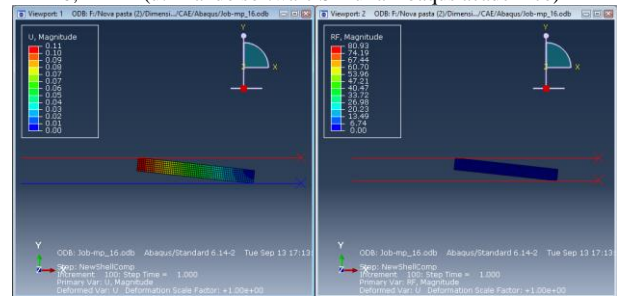


Fonte: Acervo do autor

Nos três casos apresentados acima (figuras 32, 33 e 34), é possível notar que conforme aumenta-se o refinamento da malha, obtêm-se um valor mais apurado da força resultante, chegando à uma força resultante (via método dos elementos finitos) de 56,33N. Levando em consideração a força proposta, segundo catálogo do fornecedor de Mola Prato, de 57N (conforme indica a figura 26), houve um erro de 0,7% comparando com a força resultante virtual, obtida via método dos elementos finitos.

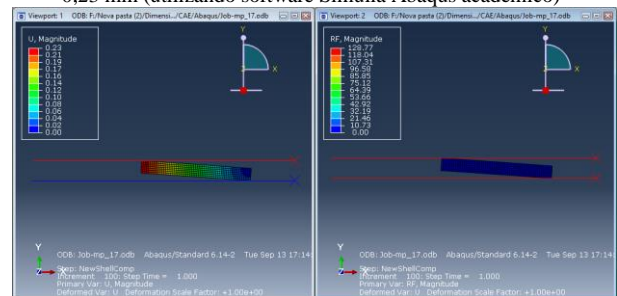
Dando sequência às demais deflexões impostas pelo fabricante de Mola Prato, abaixo seguem os demais estudos computacionais realizados de acordo com cada deflexão indicada na figura 26, utilizando a malha que apresentou melhores resultados anteriormente, com 441 elementos quadrangulares.

Figura 35 – Ensaio Virtual de uma Mola Prato com uma malha de 441 elementos quadrangulares lineares e deflexão de 0,11 mm (utilizando software Simulia Abaqus acadêmico)



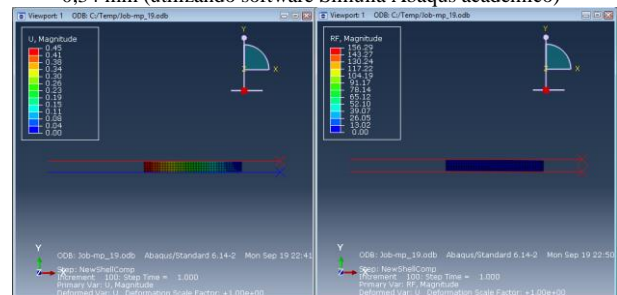
Fonte: Acervo do autor

Figura 36 – Ensaio Virtual de uma Mola Prato com uma malha de 441 elementos quadrangulares lineares e deflexão de 0,23 mm (utilizando software Simulia Abaqus acadêmico)



Fonte: Acervo do autor

Figura 37 – Ensaio Virtual de uma Mola Prato com uma malha de 441 elementos quadrangulares lineares e deflexão de 0,34 mm (utilizando software Simulia Abaqus acadêmico)



Fonte: Acervo do autor

Abaixo, a figura 38 ilustra o comparativo dos dados analisados entre os valores indicados pelo fabricante e valores encontrados no ensaio virtual de uma mola prato com a malha pré definida de 441 elementos quadrangulares, utilizando o software Simulia Abaqus acadêmico.

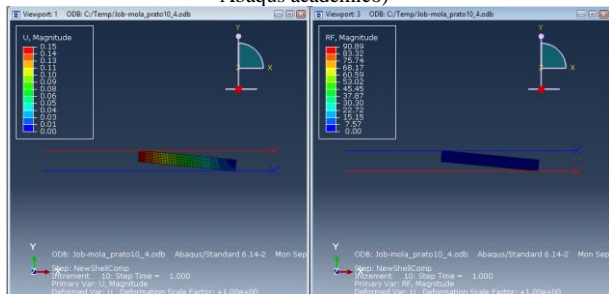
Figura 38 – Comparativo entre valores indicados pelo fabricante e valores encontrados no ensaio virtual e de uma Mola Prato

Nº do Estudo	Deslocamento do estudo (mm)	Nº de elementos do estudo	Carga especificada no Catálogo (N)	Força Resultante obtida via CAE (N)	Erro [entre Catálogo e CAE] (%)
1	0,07	441	57	56,33	1,19%
2	0,11	441	82	80,93	1,30%
3	0,23	441	131	128,77	1,73%
4	0,34	441	152	148,85	2,12%
5	0,45	441	160	156,29	2,32%

Fonte: Acervo do autor

Perante os valores encontrados, é notável que a taxa de erro proporcionada por via CAE é muito pequena, assim, há uma real garantia de confiança no valor obtido da deflexão resultante da mola, dessa vez obtida através da aplicação da carga inicialmente calculada de 91N.

Figura 39 – Ensaio Virtual de uma Mola Prato com uma malha de 441 elementos quadrangulares lineares (utilizando software Simulia Abaqus acadêmico)

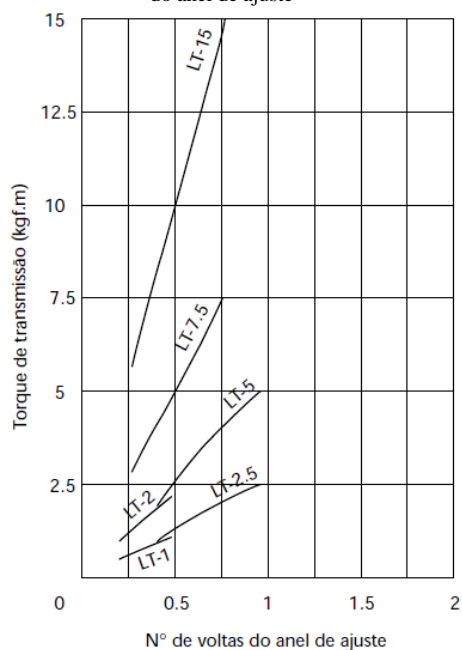


Fonte: Acervo do autor

Com a carga pré definida de 91N, a figura 39 apresenta um deslocamento resultante de 0,15 mm para cada mola, assim, subdividindo esse resultado para cada guia de empilhamento de molas, obtêm-se um valor de 1,2 mm. Esse valor total, representa a deflexão total de cada guia de empilhamento de molas prato, e também o quanto que a porca de regulagem deve avançar linearmente.

Como mostra a figura 40, de acordo com o aperto que é imposto pela Porca de Regulagem, é possível que haja uma variação na deflexão da mola prato, com isso, nota-se que o Limitador de Torque permite-se operar normalmente desde um torque pouco abaixo de 1 Kgf.m até seu limite, sendo este o torque de 2,5 Kgf.m ou 24,5 N.m (conforme selecionado anteriormente).

Figura 40 – Torque de transmissão em relação ao número de voltas do anel de ajuste



Fonte: Catálogo do fabricante RingCone

VIII. CONCLUSÕES

Conclui-se que o resultado obtido através da simulação computacional utilizando o recurso de método dos elementos finitos via CAE, valida a carga necessária de compressão das molas prato, através do aperto da Porca de Regulagem do conjunto. Com isso, garante-se que o torque nominal do Limitador de Torque esteja coerente com o especificado pelo fornecedor.

Além de que o teste virtual consegue reproduzir resultados esperados de maneira fiel, portanto conclui-se que o teste virtual, por meio de um software CAE utilizando o método por elementos finitos através do recurso axissimétrico é válido para o caso estudado de validação de uma Mola Prato.

IX. AGRADECIMENTOS

Agradeço ao querido professor Ms. Roderlei Camargo, que tem nos dado incentivo e nos conduzido à um nível de conhecimento científico, sempre de maneira didática, inovadora e eficaz.

Agradeço à minha família, à minha futura esposa Denise, aos colegas do curso de pós graduação, aos colegas de trabalho e também aos grandes homens e mulheres que nos ofereceram suas contribuições acadêmicas por meio de livros, teses, artigos e tantos outros materiais de ensino que tem nos atribuído conhecimento e despertado o desejo pela ciência até aqui.

REFERÊNCIAS

Norton, R. L., **Projeto de máquinas: uma abordagem integrada**. 4ª ed., Porto Alegre, Bookman, 2013

RINGCONE, **Redutores e Variadores de Velocidade**, São Paulo, disponível em: http://www.ringcone.com.br/limitador_torque_modelo_lt.html >. Acesso em: 10 agosto 2016.

COMPOMAC, **Friction Torque Limiter**, disponível em: http://www.compomac.it/pdf_cataloghi/pdf_pag_af_fiancate_e_sfogliabili/Cat_Limitatori_0516_LowRes_se_curex.pdf >. Acesso em: 10 agosto 2016.

Bestle, H., Winkler, S., **Manual for the Selection of the Correct Torque Limiting Clutch**, Mauerstetten, Alemanha, disponível em: http://www.mayr.com/images/documents/whitepaper_sk_en.pdf >. Acesso em: 10 agosto 2016.

MAFDEL-BELTS, **Correias Redondas e suas aplicações**, Saint Georges d'Esperanche, França, disponível em: <http://www.mafdel-belts.com/pt-pt/produto/correia-redonda/>>. Acesso em: 10 agosto 2016.

GRABCAD, **Mini Conveyor Rollers**, disponível em: <http://www.grabcad.com/library/mini-conveyor-rollers>>. Acesso em: 10 agosto 2016.

MUBEA, **Disc Springs Manual**, Altenkirchen, Alemanha, disponível em: https://www.mubea.com/fileadmin/migrated/content/uploads/Mubea_Disc_Springs_Manual_01.pdf.

Acesso em: 10 agosto 2016.

SPIROL, **Disc Springs Manual**, Connecticut, Estados Unidos, disponível em: https://www.spirol.com/library/main_catalogs/SPIROL-Disc-Springs-us.pdf. Acesso em: 10 agosto 2016.

TIMOSHENKO, S. P., **Resistência dos Materiais**, v.1, LTC, Rio de Janeiro, 1998

POPOV, E. P., **Introdução à Mecânica dos Sólidos**, Edgard Blücher, São Paulo, 2001

ZIENKIEWICZ, O.C., TAYLOR, R.L. **The finite element method - Solid and fluid mechanics, dynamics and non-linearity**, Vol. 2, 4th.ed., McGraw-Hill Int. Ed., 1991

Mikkelsen, L.P., **A numerical axisymmetric collapse analysis of viscoplastic cylindrical shells under axial compression**. Int. J. Solids and Structures 36, 643-668, DTU, 1999.

Mikkelsen, **Modelling and viewing in Abaqus/CAE**, Composite and Material Mechanics, DTU Wind Energy, 2015.

Abaqus 6.12 edition. **Abaqus/Cae Analysis User's Manual**. Providence, EUA: Simulia, 2012.

Daryl L. Logan, **A First Course in the Finite Elements Method**, Fourth edition, Thomson, 2007

Fish J., Belytschko T., **A First Course in Finite Elements**, Polytechnic Institute, USA, Northwestern University, USA, John Wiley & Sons, Ltd, 2007

Timoshenko, S., **Theory of Plates and Shells**, McGraw, London, 1940

Timoshenko, S. P. and Goodier, J. N., **Theory of Elasticity**, 3rd edition, McGraw-Hall, New York, 1970