



## ESTUDO PARA A MELHORIA NO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE ROLOS UTILIZADOS EM TRANSPORTADOR DE CORREIA

Gustavo Teodoro de Aguiar<sup>1</sup>

Anderson Daleffe<sup>2</sup>

Gilson de March<sup>3</sup>

Alexandre Milanez<sup>4</sup>

Luiz Carlos de Cesaro Cavaler<sup>5</sup>

**Resumo:** Os componentes que compõem os transportadores de correia são fundamentais serem fabricados com qualidade, pois são responsáveis por garantir um bom funcionamento e segurança durante a utilização desse equipamento, amplamente difundido em diversos setores. Os roletes, componentes essenciais desses sistemas, precisam atender a padrões rigorosos para garantir durabilidade e desempenho. A partir de um estudo que identificou oportunidades de melhoria na produção de rolos, focado na excentricidade e ângulo de deflexão dos rolamentos, fatores críticos para a qualidade. Nesse cenário, uma das principais literaturas é a norma de fabricação ABNT NBR 6678, que define folgas, tolerâncias do conjunto, vida útil das peças e os principais materiais a serem fabricados os rolos. Desse modo, o objetivo foi analisar o processo de fabricação dos rolos de carga, que foi comparado o método atual de soldagem dos flanges no tubo, com uma abordagem alternativa e validar o novo processo por meio de análises dos defeitos entre elas. Para validação do estudo, foram realizadas medições ao fim de cada etapa de fabricação, sendo elas a prensagem dos alojamentos nos tubos, a soldagem dos alojamentos, montagem dos rolos e comparado os dois métodos. Por fim, ao fixar por pontos de solda os flanges antes da soldagem, foi possível obter resultados positivos, havendo redução nas variações de excentricidade e melhora na deflexão dos rolamentos, apresentando maior conformidade com as especificações de projeto em comparação com as fabricadas de forma convencional.

**Palavras-chave:** Rolo. Soldagem. Excentricidade. Deflexão.

### 1 INTRODUÇÃO

Os transportadores de correia são amplamente utilizados para movimentar materiais a granel de um ponto a outro. Essa forma de transporte é comum nos setores agrícola, portuário e de mineração, devido ao seu custo mais baixo em comparação a

---

<sup>1</sup> Graduando em Engenharia Mecânica, 2023. E-mail: guuh-aguiar@hotmail.com

<sup>2</sup> Prof. do Centro Universitário UniSATC. E-mail: anderson.daleffe@satc.edu.br

<sup>3</sup> Mestrando Profissional em Engenharia Metalúrgica. Ano 2023-2 E-mail: gilson.march@satc.edu.br

<sup>4</sup> Prof. do Centro Universitário UniSATC. E-mail: alexandre.milanez@satc.edu.br

<sup>5</sup> Prof. do Centro Universitário UniSATC. E-mail: luiz.cavaler@satc.edu.br



outros métodos. Esses equipamentos são compostos por diversos elementos, incluindo os roletes, que têm a função de suportar a carga da correia e mantê-la alinhada. O conjunto inclui cavaletes, fabricados em aço, responsáveis por dar suporte aos rolos. Os rolos, peças cilíndricas com eixo e rolamentos que gira em torno do seu centro, desempenham diferentes funções, sendo os mais comuns os rolos de carga, impacto e retorno. A fabricação dos rolos segue a norma ABNT NBR 6678 para assegurar um padrão consistente, independentemente do fabricante, que estabeleceu tolerâncias dimensionais e critérios de aceitação (FAÇO, 2001).

Em um estudo realizado no processo de fabricação dos rolos de uma empresa de peças para transportadores de correia, identificou-se a oportunidade de aprimorar a produção devido a desvios relacionados à excentricidade e ao ângulo de deflexão dos rolamentos. Esses fatores são indicativos essenciais da qualidade desses componentes, pois uma diminuição nesses valores aumenta a vida útil dos rolamentos e das vedações, que assegurou uma distribuição uniforme de força.

A abordagem desse tema surgiu da necessidade da indústria e pela falta de referencial teórico na literatura relacionada à excentricidade e deflexão do eixo no rolamento durante a fabricação desses componentes. O propósito é reduzir a necessidade de retrabalho nas peças, o que resulta em custos adicionais e aumento no tempo de fabricação. O trabalho teve como objetivo analisar o processo de fabricação dos rolos, comparando o método atual de soldagem dos flanges no tubo com uma abordagem alternativa, que consiste no ponteamento desses componentes antes da soldagem. Por fim, buscou-se realizar análises dos defeitos com a finalidade de validar e justificar a implementação de um novo processo durante a fabricação.

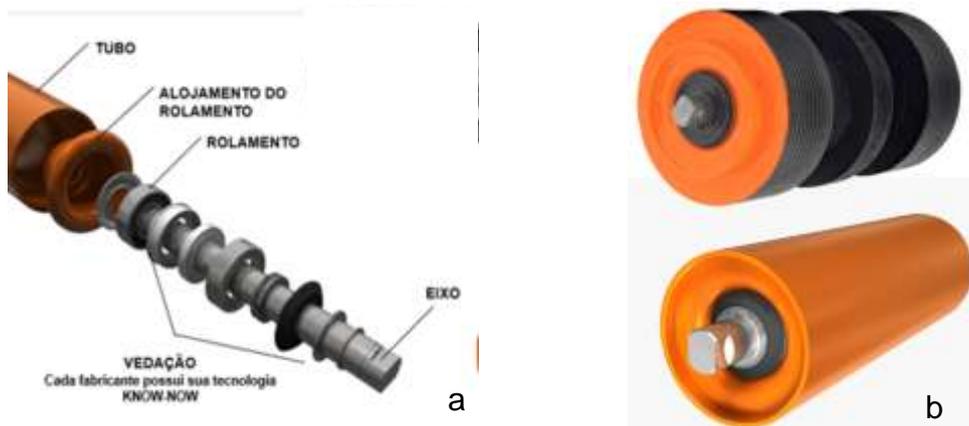
## **2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

Esta seção tem como finalidade exibir uma revisão de literatura descrevendo o que é um rolo de transportador de correia e a elaboração da construção dele. Além disso, abordará sobre a norma que deve ser elaborada e ser respeitada para a fabricação, assim como os processos de manufatura que se faz necessário para a produção desse tipo de componente.

## 2.1 ROLOS DE TRANSPORTADORES DE CORREIA

Os rolos possuem diversos tipos de aplicação dentro do mesmo transportador, entretanto, sua função principal é de sustentação da correia “podem ser lisos ou cobertos com anéis de borracha e sua construção típica é feita com um tubo de aço soldado em peças laterais estampadas que alojam mancais de rolamento e suas vedações e apoiados em eixos fixos” (GELAIS, 2016, p. 15). Também podem ser fabricados utilizando outros materiais, entre eles os polímeros, que são usados para fabricar rolos e alojamentos em casos que não exijam uma grande resistência. É possível observar na Fig. 1 (a) as partes que compõem o rolo em vista explodida; já na Fig. 1 (b) contêm a exemplificação de rolos de carga e o de impacto, sendo os mais comuns.

Figura 1: Rolos: a - vista explodida, b - de carga e impacto.



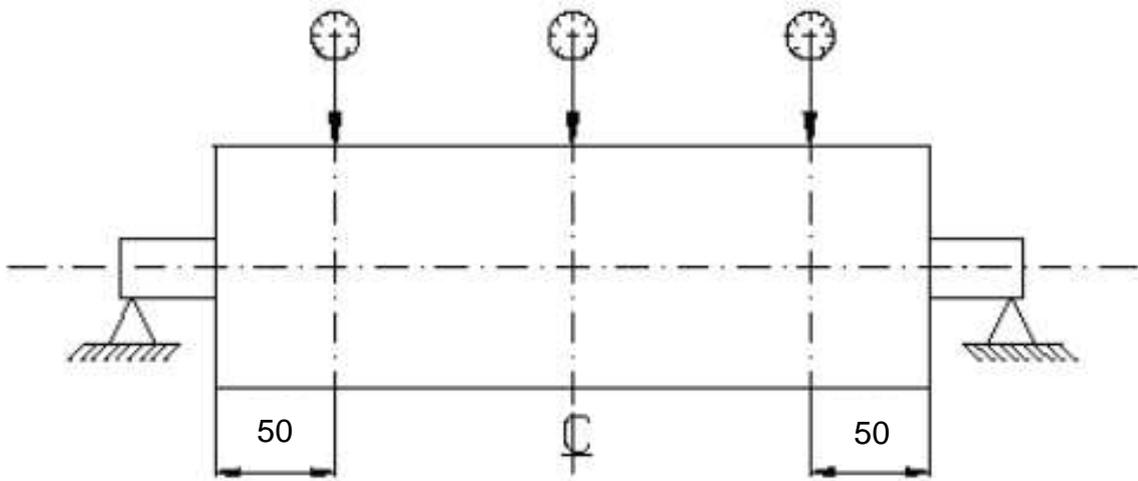
Fonte: Adaptado de Silva (2023)

## 2.2 NORMA DE FABRICAÇÃO DE ROLOS

A Norma ABNT NBR 6678 (2017) é adotada como referência para a fabricação de rolos e suportes de transportadores de correia com a finalidade de trazer uma padronização. Além disso, define folgas do conjunto, vida útil das peças e os principais materiais a serem fabricados os rolos. A norma estabelece que o tubo utilizado deve seguir a ABNT NBR 6591, e seu eixo deve ser produzido utilizando aço SAE 1020. Já os rolamentos, vedações e demais componentes, cabem ao fabricante definir, podendo ter ressalvas entre o usuário e o produtor conforme a necessidade e a aplicação.

Um dos critérios que deve ser levado em consideração durante a fabricação desse componente é o ângulo de deflexão do eixo no rolamento, o qual é definido como a soma da deflexão do eixo com a excentricidade entre os alojamentos dos rolamentos e não deve exceder 9' angulares. Outro ponto que deve ser levado em consideração é o batimento radial apresentado por um rolo quando girado a 360°, que deve ser dimensionado utilizando um relógio comparador, posicionado em três pontos distintos conforme é indicado na Fig. 2.

Figura 2: Medição excentricidade conforme indicação em norma.



Fonte: ABNT NBR 6678 (2017, p. 78)

Os relógios comparadores devem ser posicionados a 50 mm das extremidades e no centro. O maior valor obtido durante a medição da excentricidade não deve exceder os valores indicados na Tab. 1 que leva em consideração a velocidade da correia e o diâmetro do rolo.



Tabela 1: Tolerância de excentricidades para rolos de carga.

Velocidade da correia (m/s)	Diâmetro do rolo (mm)								
	63	75	100	127	152	165	178	203	219
0,5	1,0	1,0	1,0	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
1,0	1,0	1,0	1,0	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
1,5	1,0	1,0	1,0	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
2,0	1,0	1,0	1,0	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
2,5		1,0	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
3,0			0,8	0,6	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
3,5			0,8	0,6	0,6	0,6	0,8	0,8	0,8
4,0				0,6	0,6	0,6	0,6	0,8	0,8
4,5					0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
5,0					0,4	0,6	0,6	0,6	0,6
5,5						0,4	0,6	0,6	0,6
6,0							0,4	0,6	0,6
6,5								0,4	0,6
7,0									0,4

Fonte: Adaptação ABNT NBR 6678 (2017, p. 79)

### 2.2.1 TUBOS UTILIZADOS NA FABRICAÇÃO DOS ROLOS

O tubo é uma das principais matérias primas que compõem um rolo de correia transportadora, como indicado na Norma 6678, esse deve seguir a Norma ABNT NBR 6591 (2008), definindo as condições que os tubos de aço carbono com costura formados a frio devem seguir, bem como as tolerâncias dimensionais, composição química, erros de forma e critérios de aceitação. Essa norma estabelece que os tubos com costura devem ser formados a partir da lâmina de aço e soldados sem adição de material por meio de uma solda contínua, e um comprimento normal de fabricação de 6.000 mm. As chapas de aço utilizadas são de baixo carbono entre SAE 1006 podendo chegar até SAE 1026.

Um dos erros de forma que se destaca referente ao material fornecido conforme essa norma é a circularidade. A norma indica que a circularidade admissível deve-se compreender entre as tolerâncias indicadas para diâmetro externo, é possível observar na Tab. 2.



Tabela 2: Tolerância para diâmetro externas dos tubos.

Ø externas mm	Tolerâncias mm
≤ 15,0	±0,12
15 < Ø ≤ 40,0	±0,20
40,0 < Ø ≤ 63,0	±0,25
63,0 < Ø ≤ 90,0	±0,30
90,0 < Ø ≤ 100,0	±0,35
100,0 < Ø ≤ 127,0	±0,40
127,0 < Ø ≤ 168,3	±0,45
168,3 < Ø ≤ 203,2	±0,60
203,2 < Ø ≤ 219,1	±1,50

Fonte: Adaptação ABNT NBR 6591 (2008, p. 13)

Importante ressaltar que Tab. 2, serve como indicação para tubos com parede de até 3% do diâmetro externo, quando inferior a esse valor a tolerância de circularidade passa a ser 50 % maior do que a tolerância para diâmetro externo, entretanto o diâmetro externo médio deve se encontrar dentro das tolerâncias indicadas. Outros aspectos a serem considerados são as espessuras das paredes dos tubos e suas variações. A norma estabelece espessuras padrão, acompanhadas de tolerâncias específicas. Para tubos feitos com chapas de aço laminado a frio, a variação permitida é de  $\pm 10\%$ , enquanto para os laminados a quente é de  $\pm 12,5\%$  (ABNT NBR 6591, 2008).

### 2.3 PROCESSO DE SOLDAGEM

A soldagem é um método da união dos metais que acontece a partir da aproximação dos átomos e moléculas, além da fusão do material. Atualmente, com o avanço da tecnologia, existem tipos e métodos de soldagem, sendo eles: a soldagem por fricção, a TIG, a MIG/MAG, o eletrodo revestido, o arco submerso, entre outros. (MARQUES; MODENESI; SANTOS, 2012).

Quando são fabricados os rolos com alojamento de aço estampado, é feito a fixação nos tubos, em suas extremidades, por meio de soldagem tipo MIG/MAG. O processo de soldagem possui uma alta taxa de deposição de metal de solda, e é um dos mais indicados para produção em série, tendo como benefício a não geração de escórias como subproduto comparado a outros métodos. Para Ponomarev e Scotti (2008, p.121):



O processo de soldagem MIG/MAG, por ser um processo que utiliza eletrodo consumível, é caracterizado pela transferência de metal para a poça de fusão através do arco. Esta transferência ocorre por meio de gotas de metal fundido geradas na ponta do arame-eletrodo.

Esse tipo de soldagem possui diferentes modos de transferências principais, em que cada um apresenta um tipo diferente de comportamento para a gota em transferência. Pode ser agrupado em três modos principais: transferência metálica natural, controlada e intercambiáveis. Cada um apresenta vantagens dependendo da aplicação (PONOMAREV; SCOTTI, 2008).

De acordo Kim e Eagar 1993 (apud MENESES, 2013, p. 16), “as variáveis que determinam o modo de transferência metálica são: a corrente de soldagem, a composição do gás de proteção, o comprimento do eletrodo, a polaridade, o material da solda, entre outros.” Tendo isso em vista, vale ressaltar que cada modo de transferência implica em diferentes propriedades no final do processo de soldagem, os quais influenciam na distorção nas peças e no acúmulo de tensões residuais.

Na soldagem que utiliza a transferência por curto-circuito, é aplicado uma baixa corrente de tensão apresentando arcos curtos, e durante o processo, o arco tende a apagar, obtendo uma pequena poça de fusão e uma rápida solidificação, fazendo o calor ser transferido e a peça ser reduzida. Essa técnica se destaca das demais quando utilizada na união de matérias com pequenas espessuras, no enchimento de aberturas largas e quando se deseja uma distorção mínima das peças (PONOMAREV; SCOTTI, 2008).

## 2.4 CORTE DE MATERIA PRIMA

Tendo como referência a norma 6591, os tubos utilizados na fabricação dos rolos têm como comprimento mais comum 6.000 mm. Para que seja possível a construção de um rolo, o material deve ser cortado no comprimento específico indicado em projeto. Os métodos de cortes a serem utilizados dependem diretamente da espessura, acabamento e tolerâncias desejadas, além da temperatura que também influencia (ASM INTERNATIONAL, 1993). Segundo Souza (2001, p.51):

O fator determinante do processo de corte a ser utilizado na fabricação de um componente é a qualidade da região cortada, e processos que garantem uma melhor qualidade de corte são mais caros por necessitar de ferramentas e prensas mais sofisticadas. A pesquisa por métodos de otimização do processo de corte por cisalhamento pode portanto resultar em reduções de



custos dos equipamentos necessários à fabricação. Além disso, métodos de produção modernos exigem supervisão constante de todos os fatores que influenciem a qualidade do produto final.

O método que se destaca para corte de tubos é por meio de corte abrasivo, em que é realizado através da fricção de uma ferramenta sobre o material a ser cortado. Esse processo faz com que seja arrancada partículas do material a ser cortado, tendo como consequência um aumento na temperatura da região por conta do atrito da peça com a ferramenta. Um dos equipamentos que se destaca em um corte abrasivo é a serra devido ao fato dele ser mais utilizado para a produção de peças em série (DIAS, 2013).

## 2.5 MONTAGEM

Os rolamentos são um dos componentes que devem ser destacados para a montagem de um rolo, assim como utilizados em diversos equipamentos e máquinas que aplicam uma carga radial em rotação. Os componentes principais são: os anéis externos, o anel interno, as esferas e as porta-esferas. Além disso, eles sofrem variações em sua construção básica, podendo ser aberto, conter blindagens de aço ou vedações em borracha com a finalidade de evitar a saída de lubrificação e entrada de particulados (BUDYNAS; NISBETT, 2008).

Segundo Oliveira (2019, p.3) é importante seguir as orientações dos fabricantes. O método mais utilizado para montagem de rolamento é executado a frio:

A folga ou interferência utilizada é determinante para estabelecer o método mais adequado de montagem do rolamento em cada caso. A montagem se dá com inserção do anel externo do rolamento no alojamento, e a inserção de um eixo em seu anel interno (OLIVEIRA, 2019, p.3).

Com o rolamento já posicionado no alojamento, é feita a montagem, por meio da prensagem, dos demais componentes que podem ser observados na Fig. 1. Há também os elementos de vedação, em sequência ocorre o travamento do conjunto por meio de anéis elástico no eixo do rolo.

## 3 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Esta seção tem como objetivo apresentar os procedimentos experimentais utilizados na resolução deste trabalho. Primeiramente, serão apresentados os

materiais e ferramentas utilizados, para dimensionar as peças ao decorrer de seu processo produtivo, e pôr fim a sequência da coleta de dados para ser feitas análises posteriores em uma planilha utilizando o software Microsoft Excel®.

Figura 3: Fluxograma da pesquisa



Fonte: Do autor (2023).

### 3.1 PROCESSO DE FABRICAÇÃO ATUAL

O processo de fabricação dos rolos na empresa em estudo envolve a produção dos eixos, dos tubos e a montagem final dos rolos. Esse processo pode ser dividido em três etapas principais: fabricação do eixo, fabricação do tubo e montagem.

A linha de fabricação do eixo inicia com o seccionamento de uma barra de aço no comprimento desejado. Em seguida, é realizada a usinagem dos rasgos de anel e fresagem do encaixe do eixo. Por fim, é feita a retificação na região dos rolamentos.

Paralelamente, na linha de fabricação do tubo, é cortado no comprimento desejado e usinado os chanfros para facilitar a prensagem dos alojamentos. Os alojamentos são então usinados de acordo com o diâmetro interno do tubo, assegurando uma interferência mínima entre as peças. Após a usinagem, segue para a prensagem dos alojamentos no tubo e, em seguida a soldagem entre os dois. Em sequência segue para o acabamento da solda em que é feito para remover respingos



e carepas gerados durante o processo de soldagem. Em suma, é aplicada pintura eletroestática no tubo na cor desejada.

Na etapa de montagem final, é posicionado as vedações e rolamentos nos eixos e tubos, geralmente por meio de prensagem. Além disso, é inserido anéis elásticos para manter as vedações e rolamentos na posição desejada.

### 3.2 INSTRUMENTOS UTILIZADOS

Conforme as indicações das normas de fabricação descritas no referencial teórico, foi necessário determinar os erros de forma das peças durante o processo de fabricação. Para isso, foram empregados paquímetros e relógios comparadores, os quais foram utilizados para medir o comprimento das peças, a circularidade, a excentricidade, o esquadro, bem como os diâmetros interno e externo."

### 3.3 CÁLCULO ÂNGULO DE DEFLEXÃO DOS ROLAMENTOS

O ângulo de deflexão dos rolamentos no rolo é definido através da variação da perpendicularidade do anel externo do rolamento em relação ao eixo, o qual é medido utilizando um relógio comparador. Para se obter o ângulo foi calculado por meio da Eq (1):

$$\beta = 60 \times \left( \tan^{-1} \left( \frac{P_{rol}}{\varnothing E_{rol}} \right) \right) \quad (1)$$

$\beta$  = ângulo de deflexão do rolamento (°);

$P_{rol}$  = variação da planicidade do anel externo do rolamento (mm);

$\varnothing E_{rol}$  = Diâmetro do anel externo do rolamento (mm).

### 3.4 BANCADA DE MEDIÇÃO DE EXCENTRICIDADE

Foi necessário desenvolver uma bancada que possibilitasse a realização de medições durante a produção. Como não havia nenhuma literatura sobre o desenvolvimento de algo semelhante para o tema específico, transcorreu mapear as etapas do processo de fabricação das peças, sendo elas: corte da matéria-prima;



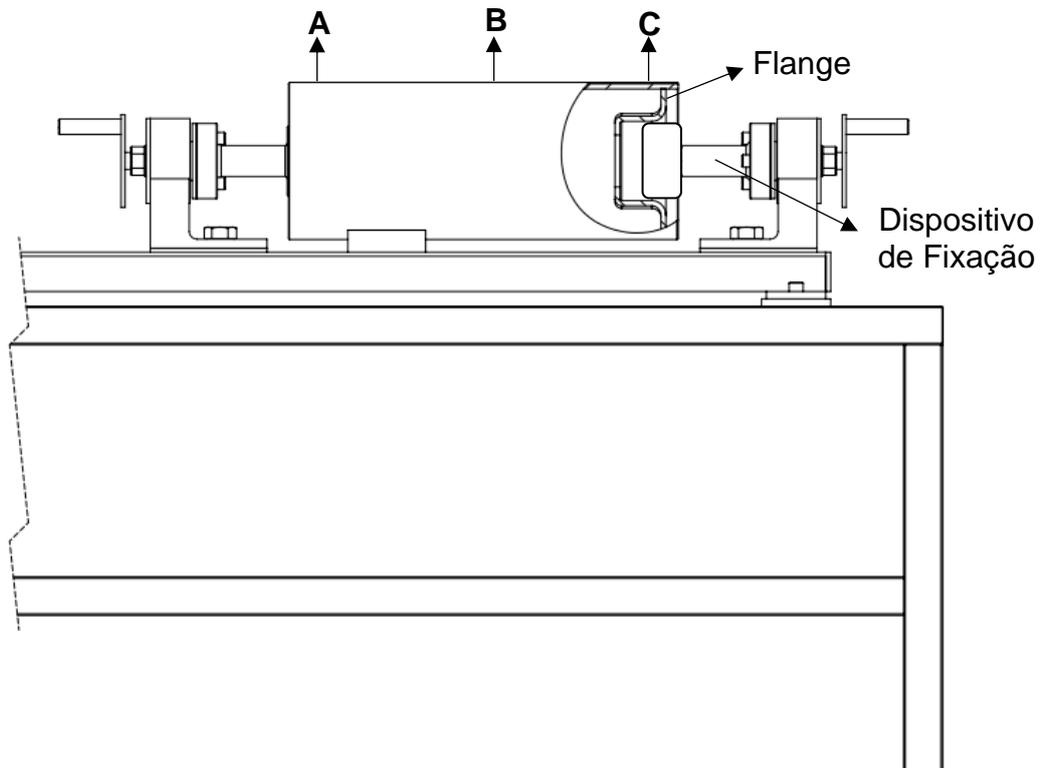
usinagem dos flanges; prensagem dos flanges; soldagem dos flanges; pintura; usinagem do eixo; e montagem final.

Com o levantamento dessas informações foi identificado que a medição de excentricidade dos rolos pode ser posterior a prensagem dos flanges, pois é possível definir um eixo central nas peças. Após a coleta de informações foi desenvolvido dois gabaritos capazes de fixar no centro dos flanges. Todos os componentes foram feitos em pares, e construídos de forma que fosse possível utilizar em peças com diferentes comprimentos e diâmetros.

### **3.4.1 Gabarito de medição de excentricidade pelo flange**

Foi projetado dois dispositivos capaz de medir a excentricidade das peças fixando pelo centro dos flanges. Conforme testes anteriores foi deixando folga de 0,05 mm em relação ao diâmetro do acoplamento, para ser feito o posicionamento das peças e a retirada das peças com maior facilidade, essa folga foi a que apresentou valores mais próximos do resultado quando medido com eixo já montado. Este gabarito foi utilizado na medição dos erros de forma depois da prensagem, e soldagem dos flanges nos tubos, Fig. 3 representa a bancada que foi utilizada para realizar as medições de excentricidade, e indica os pontos analisado durante os processos, sendo eles os pontos A, B e C.

Figura 4: Medição excentricidade pelo acoplamento dos rolamentos (flanges).

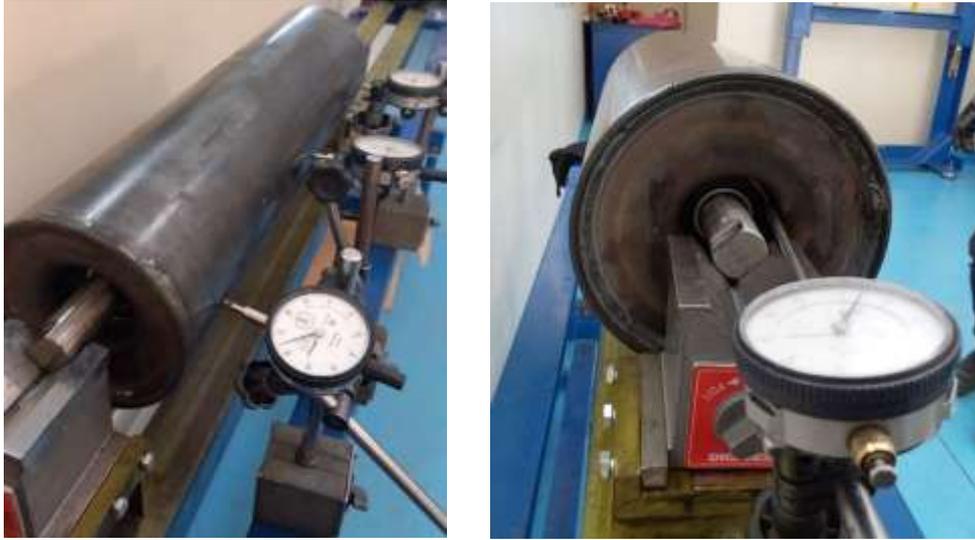


Fonte: Do autor (2023).

### 3.4.2 Dispositivo para medir excentricidade após montagem final dos rolos

Outro componente desenvolvido para a bancada foram dois suportes para bloco magnético em “V”. Os blocos magnéticos têm a função de servir como base de apoio para o eixo do rolo, assim se tornando possível fazer a revolução em 360°. Este suporte foi utilizado para medir excentricidade e o ângulo de deflexão do eixo no rolamento. Com isso, a Fig. 5 (a) representa a forma que foi realizada as medições de excentricidade; já na Fig. 5 (b) representa a forma que foi feito a medição da deflexão no rolamento.

Figura 5: Medição: a - excentricidade, b - deflexão do rolamento.



Fonte: Do autor (2023).

### 3.5 METODOLOGIA

Para realizar o estudo de excentricidade dos rolos e variação na deflexão dos rolamentos, foram realizados ensaios em 80 rolos de carga, utilizando os tubos mais comuns, tendo como diâmetro externo e espessura de parede respectivamente:

- $\varnothing$  101,6 mm x 3,75 mm;
- $\varnothing$  127,0 mm x 3,75 mm;
- $\varnothing$  152,4 mm x 4,50 mm;
- $\varnothing$  165,1 mm x 4,50 mm.

Todos os rolos foram fabricados com comprimentos de 500 mm e utilizados flanges para rolamento 6205, sendo 20 rolos de cada modelo e tendo como especificação de projeto excentricidade máxima de 0,6 mm e 9' angulares de deflexão no rolamento após montagem. Por fim, os ensaios foram realizados como objetivo entender e definir os processos responsáveis pelos defeitos durante a fabricação.

Para realização desse estudo foi feita identificação de todas as peças para observar o comportamento ao longo da fabricação. Além disso, foi proposto com que metade das amostras de cada modelo fosse incrementando o processo de pontear os flanges nos tubos, após a prensagem deles nos tubos. As medições realizadas podem ser observadas na Quad. 1, sendo que as análises mais criteriosas foram realizadas durante o processamento dos tubos.

Quadro 1: Medições realizadas durante processamento dos tubos

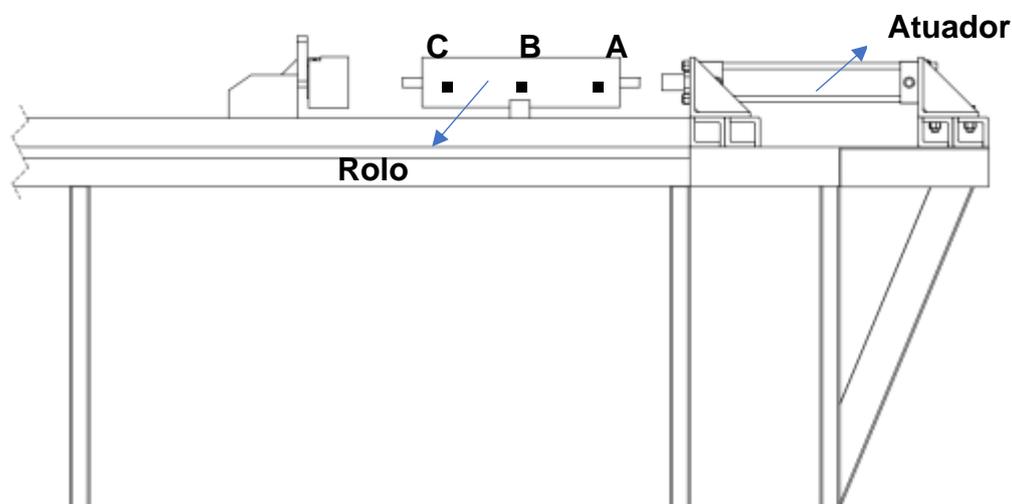
Processo	Medição			
Corte	Comprimento	Diâmetro	Circularidade	Diâmetro interno
Usinagem do flange		Diâmetro externo do flange		
Prensagem		Excentricidade ponto "A" "B" "C"		
Soldagem		Excentricidade ponto "A" "B" "C"		
Montagem	Excentricidade ponto "A" "B" "C"		Deflexão do rolamento lado "A" "C"	

Fonte: Do autor (2023)

### 3.5.1 Montagem final

Para as montagens dos rolos, foi estabelecido um protocolo específico. Nele, a posição “A” de cada rolo foi propositalmente direcionada para ficar ao lado do atuador da prensa de montagem. Essa abordagem tinha como objetivo compreender de forma mais precisa a influência da montagem nos parâmetros estudados. Esse posicionamento estratégico foi ilustrado na Figura 6, que representa a disposição do rolo na prensa de montagem.

Figura 6: Representação de posicionado dos rolos na prensa de montagem



Fonte: Do autor (2023)

## 4 RESULTADOS

Durante a análise dos erros de forma dos tubos, como circularidade, esquadro e variações dimensionais no diâmetro e comprimento, não foi estabelecida uma relação clara com as variações de excentricidade e deflexão do eixo no



rolamento. Devido a essa falta de correlação, as próximas análises deste estudo se concentrarão nos processos em que as medições de excentricidade e deflexão do eixo no rolamento foram viáveis.

#### 4.1 PROCESSO ATUAL

Para a amostras padrões dos rolos fabricados sem o incremento do ponteamto dos flanges, foi obtido os seguintes resultados indicados nas Tab. 3, como exemplo o rolo de carga fabricado com tubo 127 mm de diâmetro:

Tabela 3: Dimensionamento de excentricidade e deflexão do rolamento após montagem

Nº Peça	Excentricidade (mm)			Deflexão do rolamento (°)		
	Ponto A	Ponto B	Ponto C	Máx.	Ponto A	Ponto C
10	0,74	0,62	0,56	0,74	5	6
11	0,85	0,5	0,29	0,85	3	10
12	0,75	0,45	0,3	0,75	11	9
13	0,91	0,96	1,01	1,01	12	7
14	0,3	0,34	0,35	0,35	10	5
15	0,41	0,4	0,47	0,47	1	7
16	0,27	0,32	0,36	0,36	4	2
17	0,74	0,61	0,56	0,74	3	9
18	0,65	0,83	0,96	0,96	1	10
19	0,26	0,66	1,12	1,12	9	10
Média	0,59	0,57	0,60	0,74	6	8
Desv. Pad	0,25	0,21	0,32	0,27	4	3

Fonte: Do autor (2023)

Os valores encontrados acima de 0,6 mm não são capazes de atender as especificações de projeto, sendo que a excentricidade é definida pelo maior valor entre os três pontos. entretanto conforme indicado na Tab. 1, é aceitável valores de até 0,8 mm, embora acabe limitando a aplicação desse tipo de rolo a transportadores de correia com velocidades reduzidas, entre 0,5 e 2,5 m/s. Referente à deflexão dos rolamentos se obteve apenas três das 10 peças fabricadas com valores dentro do aceitável pela norma. Quanto os demais modelos de rolos utilizados como amostra padrão se obteve os resultados que podem ser observados no Tab. 4 os quais seguiram tendência semelhantes ao rolo usado como exemplo.



Tabela 4: Média dimensionamento das amostras padrões.

Ø Rolo (mm)	Excentricidade		Deflexão do rolamento	
	Média (mm)	Desvio-Padrão	Média lado A (°)	Média lado C (°)
101,6	0,71	0,20	9	6
152,4	0,82	0,23	7	8
165,1	0,76	0,10	12	4

Fonte: Do autor (2023)

Pode ser observado no Tab. 4 que o rolo com diâmetro 152,4 mm obteve uma média de excentricidade que não foi capaz de atender a norma após sua fabricação, bem como o rolo de diâmetro de 165,1 mm que obteve uma média de deflexão no ponto “A”, não sendo capaz de atender a norma.

#### 4.2 PROCESSO COM FLANGES PONTEADOS ANTES DA SOLDA

Os resultados de excentricidade e de deflexão em minutos angulares das peças, as quais foram ponteado os flanges com três pontos equidistantes, perpendicular entre flange e tubo, podem ser observados no Tab. 5 o qual analisa o mesmo rolo citado no Tab. 3.

Tabela 5: Dimensionamento de batimento radial e deflexão do rolamento após montagem do rolo ponteado de 127 mm.

Nº Peça	Excentricidade (mm)				Deflexão do rolamento (°)	
	Ponto A	Ponto B	Ponto C	Máx.	Ponto A	Ponto C
1	0,29	0,39	0,43	0,43	3	3
2	0,4	0,3	0,42	0,42	2	3
3	0,52	0,44	0,41	0,52	3	6
4	0,64	0,51	0,42	0,64	1	2
5	0,75	0,41	0,25	0,75	13	3
6	1,26	0,91	0,66	1,26	15	3
7	0,56	0,42	0,52	0,56	2	9
8	0,58	0,32	0,49	0,58	4	3
9	0,72	0,81	0,77	0,81	11	7
20	0,51	0,33	0,37	0,51	1	7
Média	0,62	0,48	0,47	0,65	5	4
Desv. Pad	0,263	0,209	0,148	0,249	5	2

Fonte: Do autor (2023)



Com o incremento do processo de ponteamto foi possível notar uma redução na quantidade de amostras fora do especificado, e que o valor máximo de excentricidade entre as peças foram semelhantes entre si. Outro ponto que se pode ser analisado que o ponto C o qual foi posicionado no lado contrário do atuador da prensa, pode-se observar que a deflexão do rolamento, ficaram dentro do especificado em projeto, ou seja, menores que 9 minutos angulares. Para os outros tipos de rolos que foram aplicados a mesma metodologia se adquiriu as seguintes médias que podem ser observadas no Tab. 6.

Tabela 6: Média dimensionamento das amostras ponteadas

Ø Rolo (mm)	Excentricidade		Deflexão do rolamento	
	Média (mm)	Desvio-Padrão	Média lado A (')	Média lado C (')
101,6	0,72	0,21	7	6
152,4	0,61	0,18	5	6
165,1	0,46	0,09	5	4

Fonte: Do autor (2023)

Já no Tab. 6 para o rolo de 101,6 mm não apresentou benefício em sua média de excentricidade devido a influência da temperatura da solda GMAW em relação ao perímetro do tubo. Contudo, para os rolos de diâmetro maior, a melhora na excentricidade foi muito mais expressiva. O ponto positivo que teve maior destaque foi a média das deflexões dos rolamentos, em que nenhuma das medias obtivas foram maiores do que indicado em norma.

#### 4.1 ANÁLISE

Para esse estudo foi calculado o percentual de amostras que atendeu o especificado para cada tipo de rolo, ao fim de cada etapa de fabricação e comparando entre as amostras ponteadas e amostras fabricadas de forma padrão, que está representado no Tab. 7.



Tabela 7: Média e percentual de amostras dentro do especificado em projeto entre processos

Ø Rolo (mm)	Atendimento ao projeto							
	Excentricidade Prensagem		Excentricidade Solda		Excentricidade Montagem		Deflexão rolamento	
	Média (mm)	Atendimento	Média (mm)	Atendimento	Média (mm)	Atendimento	Média (°)	Atendimento
101,6 Padrão	0,49	80%	0,64	40%	0,71	30%	10	20%
101,6 Ponteado	0,73	30%	0,72	40%	0,72	40%	9	70%
127,0 Padrão	0,65	50%	0,70	30%	0,74	30%	9	30%
127,0 Ponteado	0,61	50%	0,63	60%	0,65	60%	7	70%
152,4 Padrão	0,66	40%	0,77	40%	0,82	40%	11	20%
152,4 Ponteado	0,52	40%	0,59	60%	0,61	60%	7	60%
165,1 Padrão	0,30	100%	0,74	10%	0,76	0%	12	20%
165,1 Ponteado	0,30	100%	0,47	100%	0,46	100%	6	70%

Fonte: Do autor (2023)

Ao analisar as excentricidades no final de cada etapa, constatou-se que as peças fabricadas com o incremento do processo de ponteamento apresentaram menor variação nos valores coletados após a soldagem dos flanges. Esse resultado é particularmente notável no rolo fabricado com tubo de 165,1mm x 4,5mm, em que todas as amostras ponteadas atenderam às especificações do projeto.

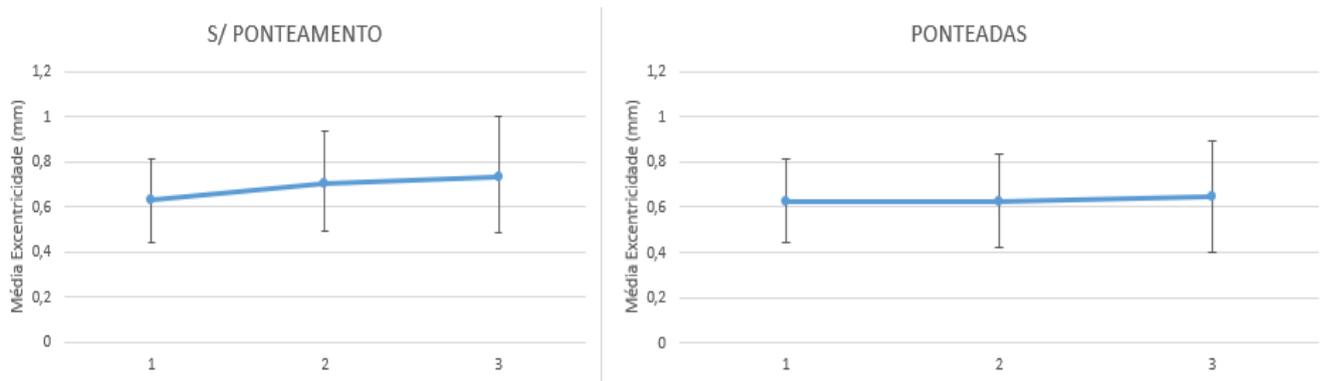
Ao comparar a excentricidades ao fim de cada processo, ficou claro que o incremento do ponteamento demonstrou ser superior em todos os tipos de rolos. A média das variações, para as peças ponteadas foi menor do que para as amostras que seguiram o processo convencional. Vale ressaltar que a redução nas excentricidades após cada processo ocorreu de forma aleatória, e a variação observada após a soldagem pode ter sido causada pelo método de fixação durante o processo de soldagem, ou pela deformação do flange, devido à influência da temperatura da solda GMAW. No entanto, a redução da excentricidade após a montagem foi mais significativa em peças com valores iniciais de excentricidade muito superiores ao indicado no projeto, mas não foi capaz de corrigir valores abaixo do máximo permitido.

Ao comparar os minutos angulares dos rolamentos nas amostras produzidas de forma convencional com as peças ponteadas, verificou-se que de 30% a 20% dos rolos fabricados de forma convencional atenderam às especificações,

enquanto com o incremento do ponteamento foi capaz de atingir para 70% a 60% dentro das especificações.

O gráfico apresentado na Fig. 6 representa a média de excentricidade ao fim de cada processo para o rolo de 127 mm, o qual foi utilizado como anteriormente como exemplo.

Figura 6: Gráfico de médias das amostras após processos.



Fonte: Do autor (2023).

Os gráficos representados na Fig. 6, apresentam três pontos, sendo o ponto “1” a excentricidade média das amostras após o processo de prensagem, ponto “2” a excentricidade média das amostras após a soldagem das peças e o ponto “3” a excentricidade média após a montagem final. Ao analisar os gráficos, conclui-se que a excentricidade das peças ponteadas segue uma tendência linear. Com base nas análises realizadas, pode-se afirmar que o ponteamento é um dos primeiros passos para garantir a qualidade das peças durante sua fabricação. Embora o processo não seja capaz de corrigir a excentricidade, ele é suficiente para manter a excêntrica pós a prensagem e proporciona melhorias significativas nos minutos angulares dos rolamentos após a montagem final.

## 5 CONCLUSÃO

Os resultados obtidos das amostras fabricadas de forma padrão revelaram limitações significativas, especialmente no que se refere ao batimento radial e à deflexão dos rolamentos. Esses valores fora do especificado nas normas restringem a aplicação desses rolos a transportadores de correia com velocidades reduzidas.



Contudo, ao implementar o processo de ponteamento dos flanges antes da solda, observou-se uma melhoria significativa nos resultados. A redução das amostras que não atendiam às especificações e a manutenção de valores máximos mais consistentes demonstraram os benefícios desse método. Nos casos em que as amostras seguiram esse processo, houve uma clara tendência de melhoria na excentricidade e na deflexão dos rolamentos após a montagem final.

Analisando os dados detalhadamente, constatou-se que a aplicação do ponteamento foi mais eficaz em rolos com diâmetros maiores, mostrando-se particularmente vantajoso para peças com 152,4 mm e 165,1 mm de diâmetro. Esses resultados positivos indicam que o ponteamento é um passo crucial na fabricação, não necessariamente corrigindo completamente a excentricidade, mas mantendo-a sob controle após a prensagem e garantindo melhorias significativas nos minutos angulares dos rolamentos na etapa final de montagem.

O percentual de amostras que atenderam às especificações do projeto também serve para demonstrar a superioridade do processo de ponteamento em comparação ao método convencional. Os gráficos de médias após cada processo, especialmente para o exemplo do rolo de 127 mm, reforçam essa tendência linear de melhoria, demonstrando a importância do ponteamento para garantir a qualidade das peças.

Os resultados indicam que o ponteamento dos flanges antes da solda é um método eficaz para melhorar a conformidade com as normas de fabricação, principalmente em relação à excentricidade e à deflexão dos rolamentos. Apesar de não ter corrigido completamente os desvios, esse processo se mostra fundamental para controlar e melhorar esses parâmetros ao longo das etapas de fabricação, contribuindo significativamente para a qualidade final dos rolos produzidos.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT – **NBR 6591**: Tubos de aço carbono com costura de seção circular, quadrada, retangular e especiais para fins industriais. 2. ed. Rio de Janeiro: 1981.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT – **NBR 6678**: Transportadores Contínuos - Transportadores de Correias – roletes – Projeto, seleção e padronização. 2. ed. Rio de Janeiro: 2017. 81 p. ISBN 978-85-07-07180-8.

BAUCCIO, M.; et al. **ASM Metals Reference Book**. ASM international, 1993



Budynas, R.G; Nisbett, J. K. **Shigley's Mechanical Engineering Design**. New York: McGraw Hill. 2008.

DIAS, W. V. **Influência dos procedimentos de corte sobre as distribuições de tensões residuais em barras redondas trefiladas de aço ABNT 1045**.

Dissertação de mestrado (pós-graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2013.

Disponível em < <https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/109170>>. Acesso em: 15 out. 2022.

FÁBRICA DE AÇO PAULISTA S. A. **Manual de Transportadores de Correias - FAÇO**. 4 ed. São Paulo: 2001. 412 p.

GELAIS, Alves Marcelo. **Cálculo dinâmico de transportadores de correia: uma análise comparativa ao cálculo estático corroborada por medições de campo**.

Dissertação de mestrado (pós-graduação em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, p.15. 2016. Disponível em <

<https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/BUBD-AC7GSZ>>. Acesso em: 04 nov. 2022.

MARQUES, P. V.; MODENESI, P. J.; SANTOS, D. B. **Introdução à Metalurgia da Soldagem**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2012.

MENESES, H. Y. L. **Modelagem e simulação da transferência metálica no processo gma-w em soldagem orbital**.

Dissertação (Mestrado em Sistemas Mecatrônicos) – Universidade de Brasília, Brasília, p. 16. 2013. Disponível em <

[https://repositorio.unb.br/bitstream/10482/15103/1/2013\\_LissyYojanaHurtadoMeneses.pdf](https://repositorio.unb.br/bitstream/10482/15103/1/2013_LissyYojanaHurtadoMeneses.pdf)>. Acesso em: 03 nov. 2022.

OLIVEIRA, B. G. **Análise do aquecimento de um rolamento de esferas para o processo de montagem em uma indústria do setor metalmeccânico**. Monografia

(Graduação em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2019. Disponível em <<https://lume.ufrgs.br/handle/10183/206368>>.

Acesso em: 29 set. 2022.

SCOTTI, A; PONOMAREV, V. **Soldagem MIG/MAG: melhor entendimento, melhor desempenho**. São Paulo: Artliber Editora. 2008.

SILVA, Giovane. **Principais falhas dos rolamentos em rolos para correia transportadora contínua**.

Minas Gerais, 02 jul. 2020. LinkedIn: Giovane Silva.

Disponível em: <https://pt.linkedin.com/pulse/principais-falhas-dos-rolamentos-em-rolos-para-correia-giovane-silva>. Acesso em: 08 dez. 2023.

SOUZA, C. H. J. **Estudo do processo de corte de chapas por cisalhamento**.

Dissertação de mestrado (pós-graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, p. 51. 2001.

Disponível em <<https://lume.ufrgs.br/handle/10183/2977>>. Acesso em: 23 out. 2022