



# ConBRepro

X CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO



02 a 04  
de dezembro 2020

## VERIFICAÇÃO DA PRECISÃO NAS MEDIÇÕES REALIZADAS POR UM MEDIDOR DE DISTÂNCIA A LASER

**Hamma Carolina de Lima Nogueira**  
Universidade Federal de Catalão - UFCAT  
**Lucas Pereira Silveira**  
Universidade Federal de Catalão - UFCAT  
**Lucas Carvalho Martins**  
Universidade Federal de Uberlândia - UFU  
**Bárbara Carolina Martins Teodoro**  
Projetos - DHL Supply Chain

**Resumo:** A metrologia tem evoluído consideravelmente nos últimos anos e os instrumentos de medição estão cada vez mais ágeis e precisos. Um instrumento bastante utilizado é a trena a *laser*, que permite medições instantâneas das dimensões desejadas. Sendo assim, o presente estudo tem como objetivo verificar a precisão das medições realizadas pela trena a *laser* comparando-as com um padrão, a trena de fita de aço. Para efeito comparativo, realizou-se medições de 4 dimensões aproximadas sendo feitas 10 medições com a trena a *laser* e 10 medições com a trena convencional, para cada dimensão. Posteriormente, foi realizado o balanço de incerteza para as 8 médias encontradas e obteve-se resultados que extrapolaram o intervalo de medição do padrão escolhido, tornando as medições feitas pela trena a *laser* como não confiáveis. Sugere-se evitar a situação 2 que foi a fonte de incerteza que mais contribuiu percentualmente para a incerteza global do sistema de medição.

**Palavras-chave:** Metrologia, trena a *laser*, precisão da medição, trena convencional, balanço de incertezas.

## VERIFICATION OF PRECISION IN MEASUREMENTS PERFORMED BY A LASER DISTANCE METER

**Abstract:** Metrology has evolved considerably in recent years and the instruments of use are becoming more and more precise and precise. A widely used instrument is a laser train, which allows instant measurements of desirable dimensions. Therefore, the present study aims to verify the accuracy of the measurements performed by the laser measuring tape by comparing them with a standard, a steel tape measuring tape. For comparative effect, carried out with measurements of 4 dimensions, being made 10 measurements with a laser measuring tape and 10 measurements with a conventional measuring tape, for each dimension. Subsequently, the uncertainty balance was carried out for 8 displayed media and the results were extrapolated or the standard use interval chosen, with the measurements made by the laser measuring tape as unused. It is suggested to

avoid a situation 2 that was the source of uncertainty that contributed most per cent to the global uncertainty of the system of use.

**Keywords:** Metrology, laser measuring tape, measurement accuracy, conventional measuring tape, uncertainty balance.

## 1 INTRODUÇÃO

A medição, passou por muitas transformações e melhorias. Nos primórdios da civilização, a necessidade de estimar quantidades levou a sociedade a adotar critérios que buscassem a padronização das medidas e permitissem a troca e o comércio de produtos. Padrões baseadas na anatomia humana (palmo, pé, passo, entre outros) foram utilizados por um longo tempo e após várias transformações viu-se a necessidade de usar a medição como uma linguagem comum entre as nações para que os padrões pudessem ser reconhecidos mundialmente (SILVA NETO, 2012).

Com isso, a metrologia foi sendo aprimorada e impulsionada pela evolução tecnológica e a padronização das unidades de medidas foi fundamental para a implementação das transações comerciais regionais, nacionais e internacionais. A importância da metrologia vem crescendo exponencialmente nos últimos anos por trazer padronização, confiabilidade, credibilidade e qualidade às medidas e a consequência disso é um investimento dos países industrializados de 4% a 6% do PIB (Produto Interno Bruto) nos processos de medição (SILVA NETO, 2012).

Mas o que envolve a palavra metrologia? Segundo o VIM 2008 (Vocabulário Internacional de Metrologia), a metrologia é a ciência da medição e suas aplicações, estando presente tanto nos aspectos teóricos quanto práticos da medição e evidenciando a dispersão dos valores envolvidos (incerteza de medição).

Todo processo de medição envolve critérios a serem seguidos para que os erros possam ser minimizados e obter-se um resultado mais confiável. A seleção de um sistema de medição adequado a tarefa de medição é um desses critérios e a grande diversidade de sistemas de medição no panorama tecnológico atual, torna essa escolha uma tarefa não muito simples. A escolha de um sistema de medição inadequado pode gerar resultados com incerteza de medição que não atendam as necessidades exigidas (ALBERTAZZI, 2008).

Um instrumento de medição muito conhecido e utilizado atualmente é a trena. Ela possui escala em milímetros e polegada, pode ser feita de aço, tecido ou fibra e de diversos tamanhos (geralmente de 3m a 50m), sendo montada em um estojo que a fita enrola e desenrola à medida que sua extremidade é puxada. Segundo Silva Neto (2012), a trena é utilizada em situações que não exigem muita exatidão, sejam peças pequenas ou grandes. Nos dias atuais, já existem trenas a *laser* que podem medir distâncias assim como a trena convencional, apenas apontando o *laser* para o ponto de referência.

Baseado neste contexto, o presente estudo apresenta como objetivo geral verificar a precisão das medições realizadas pela trena a *laser* comparando-as com um padrão, a trena de fita de aço. Como objetivos específicos, o experimento buscou realizar medições com o medidor de distância a laser em 4 dimensões diferentes, fazer o balanço de incertezas para as medidas encontradas e analisar a precisão da trena a *laser* comparando-a com um padrão.

## 2 METROLOGIA INDUSTRIAL

A metrologia pode ser conceituada como o domínio da ciência e da tecnologia que determina o processo de medição e suas respectivas incertezas, bem como todos os aspectos que podem influenciá-la, como sistema de medição, o operador, o ambiente, entre outros (GUEDES, 2011).

O ato de medir é cotidiano do ser humano e é empregado para diferentes necessidades, desde as mais simples até as mais complexas. A metrologia é uma atividade que se ocupa de quantificar um fenômeno de forma segura. E medir, pode ser entendido, como os atos técnicos que buscam identificar valores para as grandezas físicas de determinado objeto de medição, chamado de mensurando, especificado em um padrão que seja válido internacionalmente (ALBERTAZZI, 2008; SILVA NETO, 2012; SANTANA, 2012).

### 2.1 Medições diretas e indiretas

Albertazzi (2008), classifica as medições em 2 tipos: medições diretas, que são aquelas que apenas um sistema de medição está envolvido e ele indica diretamente o valor do mensurando, por exemplo a medição da espessura de uma lâmina com o micrômetro ou a medição do diâmetro de uma peça com o paquímetro; já as medições indiretas, definem o valor do mensurando utilizando uma equação que relaciona duas ou mais medidas associadas a diferentes grandezas, por exemplo a determinação da área de um terreno retangular (multiplicando o comprimento pela largura) ou velocidade média de um carro (dividindo a distância pelo tempo) (ALBERTAZZI, 2008).

### 2.2 Balanço de incertezas

Para ser calculado o resultado de uma medição com várias fontes incertezas que contribuem de forma considerável no processo de medição, pode ser considerado o seguinte caminho (ALBERTAZZI, 2008):

- Análise do processo de medição: definição do mensurando, procedimento de medição, condições ambientais, operador e sistema de medição;
- Identificação das fontes de incerteza: identificar as fontes de incerteza relevantes, atribuindo um símbolo e uma descrição de cada fonte;
- Quantificação dos efeitos sistemáticos: componente do erro de medição que permanece constante ou varia de maneira previsível, aplicar a correção na unidade de medida do mensurando;
- Quantificação dos efeitos aleatórios: analisar o procedimento de cada fonte de incerteza (tipo A ou tipo B), estimar a incerteza-padrão e os respectivos graus de liberdade. Caso a fonte de incerteza seja do tipo A, ou seja, um procedimento estatístico, a incerteza padrão pode ser estimada a partir do desvio-padrão ou quando a média de “m” medições é efetuada, utiliza-se a Equação (1). O número de graus de liberdade é sempre o número de medições para calcular o desvio padrão menos 1.

$$u(I_{\text{média}}) = \frac{u(I)}{\sqrt{m}} \quad (1)$$

onde,  $u(I_{\text{média}})$  é a incerteza-padrão média de “m” indicações,  $u(I)$  é a incerteza-padrão das indicações e  $m$  é o número de medições repetidas usadas para calcular a média.

Quando não há dados suficientes e outras informações devem ser utilizadas para estimar os limites da distribuição de probabilidade, tem-se um procedimento não estatístico, ou seja, uma fonte de incerteza do tipo B. Neste caso, a distribuição pode ser normal, retangular, triangular ou do tipo “U”, e a incerteza padrão deve ser calculada;

e) Cálculo da correção combinada: deve ser calculada a partir da soma algébrica das correções individuais de cada fonte de incerteza, conforme Equação (2).

$$C_C = C_1 + C_2 + C_3 + \dots + C_i \quad (2)$$

sendo  $C_C$  a correção combinada e  $C_i$  a correção da  $i$ -ésima fonte de incerteza;

f) Cálculo da incerteza combinada e do número de graus de liberdade efetivos: a incerteza combinada é calculada a partir da Equação (3) e os graus de liberdade efetivos pela Equação (4).

$$u_C^2 = u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + \dots + u_i^2 \quad (3)$$

onde,  $u_C$  é a incerteza combinada e  $u_i$  é a incerteza-padrão da  $i$ -ésima fonte de incerteza.

Para calcular os graus de liberdade efetivo, utiliza-se os números de grau de liberdade e a incerteza-padrão de cada fonte de incerteza pela equação de Welch-Satterthwaite.

$$\frac{u_C^4}{v_{ef}} = \frac{u_1^4}{v_1} + \frac{u_2^4}{v_2} + \dots + \frac{u_i^4}{v_i} \quad (4)$$

onde,  $u_C$  é a incerteza combinada,  $v_{ef}$  é o número de graus de liberdade efetivo,  $u_i$  é a incerteza-padrão da  $i$ -ésima fonte de incerteza e  $v_i$  é o número de graus de liberdade da  $i$ -ésima fonte de incerteza;

g) Cálculo da incerteza expandida: a incerteza expandida é calculada pela Equação (5).

$$U = t \cdot u_C \quad (5)$$

onde,  $U$  é a incerteza expandida do processo de medição,  $t$  é o coeficiente de *Student* para 95,45% de abrangência e a quantidade de graus de liberdade efetivos e  $u_C$  é a incerteza combinada;

h) Expressão do resultado da medição: o resultado de medição é expresso pela Equação (6).

$$RM = I_{média} + C_C \pm U \quad (6)$$

sendo, ( $RM$ ) o resultado medido,  $I_{média}$  é a média das indicações,  $C_C$  é a correção combinada e  $U$  é a incerteza expandida.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

Um dos instrumentos utilizados foi a trena convencional marca Starrett modelo KTS1-10ME-S, com as seguintes especificações técnicas: graduação em milímetro e polegadas; fita de aço de largura 25 mm e extensão 10 metros; resolução de 0,001 m ou 1 mm e erro máximo admissível, de acordo com a NBR 10123:1987 para trena de fita de aço com classe de exatidão II, é  $\pm (0,3 + 0,2 \times \text{valor do comprimento considerado})$ . O valor do comprimento considerado é arredondado para cima para o próximo número inteiro em metros.

Outro instrumento utilizado foi um medidor de distância a *laser* da marca Bosch modelo GLM 30 *professional* e nº 3 601 K72 500. Algumas especificações técnicas são mostradas a seguir: Faixa de medição de 0,15 a 30 m; Resolução de 0,001 m ou 1 mm; Precisão de medição de  $\pm 2,00$  mm; Temperatura de funcionamento de (-10 a +45) °C;

Situação 1: em caso de medição a partir do rebordo traseiro do instrumento de medição, válido para uma elevada capacidade de reflexão do destino (por exemplo, uma parede pintada de branco), fraca iluminação de fundo e temperatura de funcionamento de 25 °C. Ha ainda que contar com uma influência de  $\pm 0,05$  mm/m.

Situação 2: Em caso de medição a partir do rebordo traseiro do instrumento de medição, válido para uma capacidade de reflexão do destino reduzida (por exemplo um cartão preto), forte iluminação de fundo e temperatura de funcionamento – 10 °C a +45 °C. Há ainda que contar com uma influência de  $\pm 0,15$  mm/m.

A coleta de dados foi realizada na Universidade Federal de Goiás (UFG) – Regional Catalão no período vespertino (mais precisamente entre as 15:30 e 17:30 horas). O procedimento foi feito por duas pessoas, no Laboratório de Automação da Engenharia de Produção, e enquanto uma realizava as medições a outra anotava os dados e vice-versa. Cada pessoa realizou 5 medições para cada instrumento de medição para as 4 dimensões escolhidas da sala do laboratório (D1, D2, D3 e D4), essa decisão foi tomada para minimizar a influência do operador no resultado final.

Alguns cuidados foram tomados para minimizar os erros: as dimensões D1, D2, D3 e D4 foram medidas com a trena no chão para minimizar o erro por interferência da catenária (barriga); o medidor de distância a *laser* foi apoiada em uma base para que o ângulo vertical ficasse perpendicular ao solo e também evitasse o erro relacionado a linearidade do instrumento de medição e o feixe de luz; o medidor de distância a *laser* apoiado na base elimina o erro relacionado à movimentação da pessoa.

## 4 DESENVOLVIMENTO

### 4.1 Coleta de dados

Na Tabela 1 é apresentada os dados coletados pelo medidor de distância a *laser* e também pela trena convencional (D1L = dimensão 1 a *laser* e D1C = dimensão 1 pela trena convencional), para as 4 dimensões escolhidas com as suas respectivas médias e desvios-padrão e na Tabela 3 os dados coletados pela trena somente com as médias de cada dimensão.

**Tabela 1 – 10 medições das dimensões D1, D2, D3 e D4 com a medidor de distância a laser e convencional com suas respectivas médias**

Medidas dos instrumentos	D1L (mm)	D1C (mm)	D2L (mm)	D2C (mm)	D3L (mm)	D3C (mm)	D4L (mm)	D4C (mm)
Medida 1	4475	4474	9163	9158	14693	14691	15601	15600
Medida 2	4475	4474	9164	9160	14691	14690	15599	15600
Medida 3	4474	4475	9162	9159	14690	14691	15599	15599
Medida 4	4473	4474	9161	9159	14691	14692	15600	15600
Medida 5	4475	4474	9165	9158	14691	14691	15599	15600
Medida 6	4474	4473	9158	9157	14692	14690	15601	15600
Medida 7	4474	4474	9158	9158	14691	14691	15601	15600
Medida 8	4475	4474	9158	9158	14695	14690	15601	15599
Medida 9	4476	4474	9157	9157	14693	14691	15602	15600
Medida 10	4475	4474	9159	9158	14691	14690	15601	15600
Média	4474,375 00	4474,0 0000	9161,1 2500	9158,3 7500	14692, 75000	14690,75 000	15600,12 500	15599,75 000

Fonte: Autoria própria (2019)

## 4.2 Balanço de incertezas para o medidor de distância a *laser*

Para realizar os cálculos do balanço de incertezas e chegar ao resultado da medição com o medidor de distância, foi utilizado o caminho mostrado no tópico 2.2.

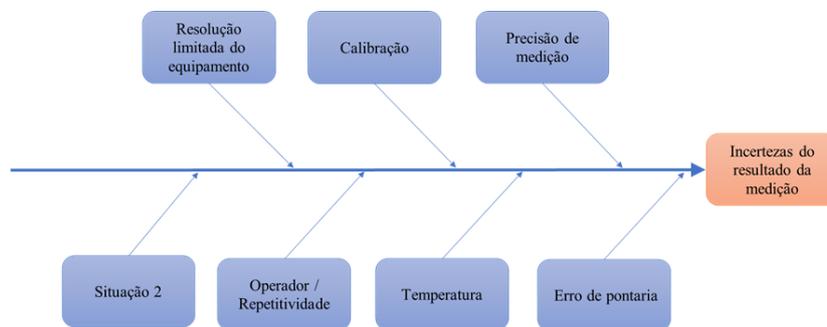
### 4.2.1 Análise do processo de medição a *laser*

A escolha das 4 dimensões foi feita buscando abranger grande parte da faixa de medição de instrumento e analisar o comportamento do erro conforme aumenta ou diminui a distância. Como já foi dito, realizou-se 10 medições com medidor de distância a *laser* e antes de começar, o instrumento foi colocado sob uma base de apoio. As medições foram realizadas no laboratório de automação da Universidade Federal de Goiás – Regional Catalão, com uma temperatura ambiente de  $(27,5 \pm 1,0)^\circ\text{C}$  medido com um termo higrômetro digital de resolução  $1,0^\circ\text{C}$ .

### 4.2.2 Identificação das fontes de incerteza

Para mostrar as fontes de incerteza identificadas durante o processo de medição, foi feito um diagrama de Ishikawa que está ilustrado na Figura 1.

Figura 1 – Diagrama de Ishikawa para as medições com o medidor de distância a *laser*



Fonte: Autoria própria (2019)

Posteriormente, as incertezas associadas ao resultado da medição foram numeradas e associadas a um símbolo de identificação.

a) Erro de pontaria (E): Como o medidor a *laser* foi colocado sob um apoio, diminui-se em grande escala o erro associado a pontaria e por isso essa fonte de incerteza não será considerada nos cálculos;

b) Operador/Repetitividade (Re): essa incerteza reflete nas indicações de medições repetidas não apresentarem sempre o mesmo valor e a influência do operador está embutida na própria repetitividade;

c) Temperatura (T): neste caso, como a especificação do instrumento de medição prevê uma temperatura de funcionamento de  $(-10 \text{ a } +45)^\circ\text{C}$  e a temperatura no dia do procedimento está dentro dessa faixa, será desconsiderado a influência dessa fonte de incerteza;

d) Resolução limitada da trena a *laser* (R): considera-se uma contribuição aleatório;

e) Calibração do equipamento de medição (C): de acordo com o certificado de calibração do equipamento é possível obter as correções da calibração (parcela sistemática) e a incerteza das calibrações (parcela aleatória);

f) Precisão da medição (P): o próprio instrumento de medição possui uma precisão relacionada a medição, porém como está sendo feito diversas medidas, a precisão utilizada será aquela relacionada a fonte de incerteza Re que considera todas as medições realizadas;

g) Características do equipamento (S): em caso de medição a partir do rebordo traseiro do instrumento de medição, a capacidade de reflexão do destino é reduzida (neste caso, o destino possui coloração cinza dificultando a reflexão), forte iluminação de fundo e temperatura de funcionamento – 10 °C a +45 °C, é considerada uma influência proporcional à distância medida. Como a influência pode ser positiva ou negativo, considera-se uma contribuição aleatória.

#### 4.2.3 Quantificação dos efeitos sistemáticos

Apenas uma das fontes de incerteza citadas no tópico anterior possui componente sistemática: a calibração do equipamento de medição (C).

Para a fonte de incerteza C, foi obtida a correção de acordo com a faixa de medição pelo certificado de calibração. Foi exposto na Tabela 2 o valor da medição de medição e o valor da correção correspondente:

**Tabela 2 – Valores da correção do certificado de calibração para cada dimensão**

<b>Dimensão</b>	<b>Correção C (mm)</b>
D1	+ 0,15
D2	+ 0,18
D3	+ 0,2
D4	+ 0,2

**Fonte: Aatoria própria (2019)**

#### 4.2.4 Quantificação dos efeitos aleatórios

As fontes de incerteza que possuem componente aleatória, são: Re, R, C, I e S.

A incerteza-padrão de Re para o medidor a *laser* pode ser estimada a partir da equação (1). Como já foi calculado o valor do desvio-padrão de cada dimensão e a informação do número de medições é conhecida, o resultado das incertezas-padrão de D1, D2, D3 e D4 são expostas na Tabela 3.

**Tabela 3 – Valores das incertezas-padrão de Re das dimensões D1, D2, D3 e D4**

<b>Dimensão</b>	<b>Incerteza-padrão Re (mm)</b>
D1	± 0,26667
D2	± 0,90982
D3	± 0,46667
D4	± 0,33993

**Fonte: Aatoria própria (2019)**

O número de graus de liberdade é igual ao número de medições menos um, portanto,  $v_{re} = 9$  para todas as dimensões.

Para calcular a incerteza-padrão de R, ou seja, o erro devido ao arredondamento provocado pela resolução do equipamento, utiliza-se a propriedade de distribuição de probabilidades retangular devido a simetria da distribuição. A fórmula utilizada para calcular a incerteza-padrão, nesse caso, é dada pela figura 1 (A). Sabendo que  $a = \frac{R}{2}$ , onde R é a resolução do equipamento utilizado na medição, foi obtido o valor de  $u_R = 0,28868 \text{ mm}$  para todas as

dimensões. O número de graus de liberdade efetivo para todos é infinito. A Tabela 4 resume os dados apresentados anteriormente.

**Tabela 4 – Valores das incertezas-padrão de R das dimensões D1, D2, D3 e D4**

<b>Dimensão</b>	<b>Incerteza-padrão R (mm)</b>
D1	$\pm 0,28868$
D2	$\pm 0,28868$
D3	$\pm 0,28868$
D4	$\pm 0,28868$

**Fonte: Autoria própria (2019)**

A incerteza-padrão de C é obtida pelo certificado de calibração e varia de acordo com a faixa de medição do instrumento. Portanto, a incerteza-padrão de C para cada dimensão que foi medida é apresentada na Tabela 5.

**Tabela 5 – Valores da incerteza-padrão do certificado de calibração de cada dimensão**

<b>Dimensão</b>	<b>Incerteza-padrão C (mm)</b>
D1	$\pm 0,015$
D2	$\pm 0,015$
D3	$\pm 0,02$
D4	$\pm 0,02$

**Fonte: Autoria própria (2019)**

A incerteza-padrão de S é de  $\pm 0,15$  mm por metro medido e como temos esta informação pelos dados de cada dimensão, foi feito o cálculo arredondado o número de metros sempre para cima por conveniência. O resultado dos cálculos foi exposto na Tabela 6.

**Tabela 6 – Valores da incerteza-padrão I de cada dimensão**

<b>Dimensão</b>	<b>Incerteza-padrão S (mm)</b>
D1	$\pm 0,75$
D2	$\pm 1,50$
D3	$\pm 2,25$
D4	$\pm 2,4$

**Fonte: Autoria própria (2019)**

#### **4.2.5 Cálculo da correção combinada**

A correção combinada é o mesmo valor da correção C, ou seja, os mesmos dados expostos na Tabela 4.

#### **4.2.6 Cálculo da incerteza combinada e do número de graus de liberdade efetivos**

Na Tabela 7, estão expostos os valores das incertezas combinadas e dos números de graus de liberdade efetivos para cada dimensão.

**Tabela 7 – Incerteza combinada e graus de liberdade efetivos para cada dimensão**

Dimensão	Incerteza combinada (mm)	Graus de liberdade efetivos
D1	0,84686	915
D2	1,77801	131
D3	2,31603	5459
D4	2,44117	23937

Fonte: Autoria própria (2019)

#### 4.2.7 Cálculo da incerteza expandida

Para o cálculo da incerteza expandida foi utilizada a Equação (5) e considerado o arredondamento para 2 algarismos significativos. Os resultados foram expostos na Tabela 8.

**Tabela 8 – Incerteza expandida e incerteza expandida arredondada com 2 algarismos significativos para as dimensões D1, D2, D3 e D4**

Dimensão	Incerteza expandida (mm)	Incerteza expandida arredondada (mm)
D1	± 1,69716	± 1,7
D2	± 3,59166	± 3,6
D3	± 4,63557	± 4,6
D4	± 4,88233	± 4,9

Fonte: Autoria própria (2019)

#### 4.3. Contribuição percentual das incertezas-padrão

A seguir, são apresentadas 4 tabelas (Tabela 9, 10, 11 e 12) que mostram a contribuição percentual de cada incerteza-padrão na incerteza global de cada dimensão medida.

**Tabela 9 – Contribuição percentual das incertezas na medição da dimensão D1.**

Incertezas de D1	% de contribuição
Incerteza Re	9,92
Incerteza R	11,62
Incerteza C	0,03
Incerteza S	78,43

Fonte: Autoria própria (2019)

**Tabela 10 – Contribuição percentual das incertezas na medição da dimensão D2**

Incerteza de D2	% de contribuição
Incerteza Re	26,18
Incerteza R	2,64
Incerteza C	0,01
Incerteza S	71,17

Fonte: Autoria própria (2019)

**Tabela 11 – Contribuição percentual das incertezas na medição da dimensão D3**

Incerteza de D3	% de contribuição
Incerteza Re	4,06
Incerteza R	1,55

Incerteza C	0,01
Incerteza S	94,38

Fonte: Autoria própria (2019)

**Tabela 12 – Contribuição percentual das incertezas na medição da dimensão D4**

Incerteza de D4	% de contribuição
Incerteza Re	1,94
Incerteza R	1,40
Incerteza C	0,01
Incerteza S	96,66

Fonte: Autoria própria (2019)

#### 4.4. Medição com a trena de fita de aço

Como obtive-se os resultados da medição com a trena a *laser*, agora é necessário estipular o intervalo de medição do instrumento padrão que será comparado, neste caso a trena de fita de aço da marca Starrett.

Segundo a ABNT NBR 10123:1987 o erro admissível para trena de fita de aço com classe de exatidão II é calculado pela Equação (7):

$$\text{Erro admissível} = \pm (0,3 + 0,2 \times L) \text{ mm} \quad (7)$$

Onde,  $L$  é o valor do comprimento considerado, que é arredondado para cima para o próximo número inteiro em metros.

Portanto, como o valor em metros pode ser obtido pela Tabela 1, os valores para os erros admissíveis de D1, D2, D3 e D4 foram expostos na Tabela 13.

**Tabela 13 – Erro admissível para D1, D2, D3 e D4 na medição com trena de fita de aço.**

Dimensão	Valor do comprimento - L (m)	Erro admissível (mm)
D1	5	1,3
D2	10	2,3
D3	15	3,3
D4	16	3,5

Fonte: Autoria própria (2019)

Após o cálculo do erro admissível da trena de fita de aço, foi encontrado o intervalo de medição que compreende cada distância e os dados são mostrados na Tabela 14.

**Tabela 14 – Intervalo de medição para D1, D2, D3 e D4 na medição com trena de fita de aço**

Dimensão	Média (mm)	Erro admissível (mm)	Limite inferior (mm)	Limite Superior (mm)
D1	4474,00000	1,3	4472,70000	4475,30000
D2	9158,37500	2,3	9156,07500	9160,67500
D3	14690,75000	3,3	14687,45000	14694,05000
D4	15599,75000	3,5	15596,25000	15603,25000

Fonte: Autoria própria (2019)

#### 4.5. Comparação dos resultados

Depois de feitos os balanços de incertezas para a trena a *laser* e calculado o intervalo de medição para a trena de fita de aço, é o momento de comparar os dois e verificar a precisão das medidas encontradas. Na Tabela 15 é apresentado o intervalo de medição para os resultados encontrados para a trena a *laser*.

Tabela 15 – Intervalo de medição para D1, D2, D3 e D4 na medição com trena a *laser*

Dimensão	Resultado medido (mm)	Limite inferior (mm)	Limite Superior (mm)
D1	4474,8 ± 1,7	4473,10000	4476,50000
D2	9161,3 ± 3,6	9157,70000	9164,90000
D3	14692,0 ± 4,6	14687,40000	14696,60000
D4	15600,6 ± 4,9	15595,70000	15605,50000

Fonte: Autoria própria (2019)

Quando comparado a tabela 10 com a Tabela 11 (padrão), percebe-se que o limite superior de D1 pode ser extrapolado, o limite superior de D2 pode ser extrapolado, o limite inferior e superior de D3 pode ser extrapolado e o limite inferior e superior de D4 pode ser extrapolado.

Ao confrontar os dados coletados pela trena a *laser* (Tabela 1) com o intervalo padrão (Tabela 14), os valores com preenchimento de fundo destacados na tabela 16 mostraram-se fora do intervalo padrão.

Tabela 16 – Valores da medição com a trena a *laser* destacando as medidas fora do intervalo padrão

Medidor a laser	D1 (mm)	D2 (mm)	D3 (mm)	D4 (mm)
Medida 1	4475	9163	14693	15601
Medida 2	4475	9164	14691	15599
Medida 3	4474	9162	14690	15599
Medida 4	4473	9161	14691	15600
Medida 5	4475	9165	14691	15599
Medida 6	4474	9158	14692	15601
Medida 7	4474	9158	14691	15601
Medida 8	4475	9158	14695	15601
Medida 9	4476	9157	14693	15602
Medida 10	4475	9159	14691	15601

Fonte: Autoria própria (2019)

#### 5. CONCLUSÃO

Neste trabalho, observa-se que o objetivo geral e os objetivos específicos foram atingidos e obteve-se um aprendizado maior com relação aos instrumentos de medição citados.

Percebe-se que os resultados obtidos com a trena a *laser* através do balanço de incertezas, extrapolaram o intervalo de medição da trena de fita de aço que foi denominada como padrão. Os fatores principais que contribuíram para as medições fora do padrão foram a situação 2 (S) e o operador/repetitividade (Re).

Para que haja uma melhora nas medições realizadas pela trena a *laser*, sugere-se evitar a situação 2 (mostrada no tópico 3) já que a sua incerteza foi a que mais contribuiu percentualmente para a incerteza global do sistema de medição das dimensões D1, D2, D3 e D4. Além disso, para a dimensão D2 é aconselhado que os operadores das trenas sejam treinados antes de realizar a operação, já que o erro da repetitividade teve percentual de contribuição considerável na incerteza de medição.

## Referências

Albertazzi, Armando. Sousa, André R. de. **Fundamentos de metrologia e industrial**. Barueri, SP: Manole, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10123:1987** Trena de fita de aço. Rio de Janeiro, 2004.

GUEDES, P. **Metrologia Industrial**. – Portugal: Etep: 2011.

**INMETRO**. Vocabulário Internacional de Metrologia: Conceitos fundamentais e gerais e termos associados (VIM 2008). Rio de Janeiro: INMETRO, 2009.

Medidor de Distância a Laser. Lojas Americanas, 2019. Disponível em: <<https://www.americanas.com.br/produto/45154005/trena-20m-laser-glm20-bosch>>. Acesso em: junho, 2019.

NETO, João Cirilo da Silva. **Metrologia e controle dimensional: conceitos, normas e aplicações**. Rio de Janeiro: Campus/Elsiever, 2012.

Trena Manual. LF Máquinas e Ferramentas, 2019. Disponível em: <[https://www.lfmaquinaseferramentas.com.br/trena-starret-10-metros/p?idsku=43171&gclid=CjwKCAjwtuLrBRAIEiwAPVcZBm3gD5tVWeb8LfHzeAWk\\_szN12nvTN2plxITGS5\\_ZdceF2kX751apBoCJqUQAvD\\_BwE](https://www.lfmaquinaseferramentas.com.br/trena-starret-10-metros/p?idsku=43171&gclid=CjwKCAjwtuLrBRAIEiwAPVcZBm3gD5tVWeb8LfHzeAWk_szN12nvTN2plxITGS5_ZdceF2kX751apBoCJqUQAvD_BwE)>. Acesso em: junho, 2019.