



**Universidade Federal de Minas Gerais**  
**Instituto de Ciências Exatas**  
**Departamento de Estatística**



**Otimização do Processo de Encruamento para Materiais  
com exigência de Rugosidade através do uso de  
Ferramentas da Qualidade**

**ANDERSON SANTOS LEITE**

**Belo Horizonte – MG**  
**2014**

**ANDERSON SANTOS LEITE**

**Otimização do Processo de Encruamento para Materiais  
com exigência de Rugosidade através do uso de  
Ferramentas da Qualidade**

**Monografia apresentada ao Departamento de  
Estatística do Instituto de Ciências Exatas da  
Universidade Federal de Minas Gerais como  
requisito para obtenção do grau de  
Especialização em Estatística.**

**Orientador: Prof. Dr. Roberto Quinino**

**Belo Horizonte – MG  
2014**

ANDERSON SANTOS LEITE

**Otimização do Processo de Encruamento para Materiais  
com exigência de Rugosidade através do uso de  
Ferramentas da Qualidade**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS  
DEPARTAMENTO DE ESTATISTICA  
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM ESTATISTICA**

Monografia de Especialização aprovada pela banca avaliadora, constituída pelos seguintes membros:

---

**Prof. Dr. Roberto Quinino**

---

**Prof. Dr. Roberto Quinino**

---

**Prof. Dr. Roberto Quinino**

**Belo Horizonte, 16 de junho de 2014**

## **AGRADECIMENTOS**

Inicialmente agradeço a Deus, a minha mãe e meu irmão pelo carinho e compreensão, a minha filha razão da minha caminhada, ao meu professor orientador Roberto Quinino, as secretarias do programa de pós-graduação, aos meus velhos e novos amigos, a todos os professores e colegas pelos conhecimentos adquiridos e convivência durante o curso de especialização em estatística.

## RESUMO

Diante dos desafios atuais e futuros da siderurgia nacional, se faz necessário uma contínua busca pela excelência em cada etapa do processo produtivo. Para isso, é necessário a utilização de ferramentas da qualidade a fim de otimizar e garantir uma maior produtividade, com eficiência e eficácia.

Dentre as etapas de produção, o processo de encruamento, tem a responsabilidade de fornecer aos clientes do setor automobilístico propriedades metalúrgicas e superficiais como: eliminação do patamar de escoamento, acerto de forma, impressão de rugosidade dentro dos parâmetros adequados a cada tipo de aplicação.

Dessa forma, o presente trabalho demonstra as alterações na condição do processo de encruamento da Laminação a Frio, através do uso de ferramentas estatísticas para melhoria contínua, com foco na redução dos custos operacionais, aumento de produtividade com a garantia assegurada dos produtos para os clientes.

**Palavras-chave:** Ferramentas da qualidade; Encruamento; Rugosidade.

## LISTA DE FIGURAS E TABELAS

FIGURA 1 – FLUXOGRAMA SIMPLIFICADO DO PROCESSO SIDERÚRGICO (ADAPTADO DE MOURÃO ET AL., 2007)... 1	1
FIGURA 2 – FLUXOGRAMA DE PRODUÇÃO DOS LAMINADOS A FRIO. .... 3	3
FIGURA 3 – MEDIÇÃO DA RUGOSIDADE MÉDIA (RA). .... 5	5
FIGURA 4 – VISÃO ESQUEMÁTICA DO FLUXO DE PROCESSO PARA LINHA DE ENCRUAMENTO. .... 8	8
FIGURA 5 – DIAGRAMA CAUSA-EFEITO PARA GARANTIA DA FAIXA DE RUGOSIDADE ENTRE 1,3 E 2,1 $\mu\text{m}$ . .... 9	9
FIGURA 6 – HISTOGRAMA DO PROCESSO ATUAL. .... 10	10
FIGURA 7 – HISTOGRAMA DO PROCESSO PROPOSTO. .... 11	11
FIGURA 8 – BOXPLOT COMPARATIVO ENTRE O CILINDRO A2 E A8. .... 12	12
FIGURA 9 – GRÁFICO COMPARATIVO DE CARTA DE CONTROLE DO PROCESSO PROPOSTO E ATUAL. .... 14	14
FIGURA 10 – GRÁFICO COMPARATIVO DE CAPABILIDADE DO PROCESSO PROPOSTO E ATUAL. .... 16	16

## LISTA DE TABELAS

<b>TABELA 1:</b> ESPECIFICAÇÃO BÁSICA DAS LINHAS DE ENCRUAMENTO. ....	2
<b>TABELA 2:</b> REFERÊNCIA DE RUGOSIDADE. ....	6
<b>TABELA 3:</b> RESULTADO DAS VARIÁVEIS DA ESTATÍSTICA DESCRITIVA PARA CADA CILINDRO. ....	9
<b>TABELA 4:</b> RESULTADO DO TESTE DE HIPÓTESE ENTRE CILINDRO A2 E A8. ....	12
<b>TABELA 5:</b> REFERÊNCIA DOS VALORES DE CP, CPK, PP E PPK. ....	15

# SUMÁRIO

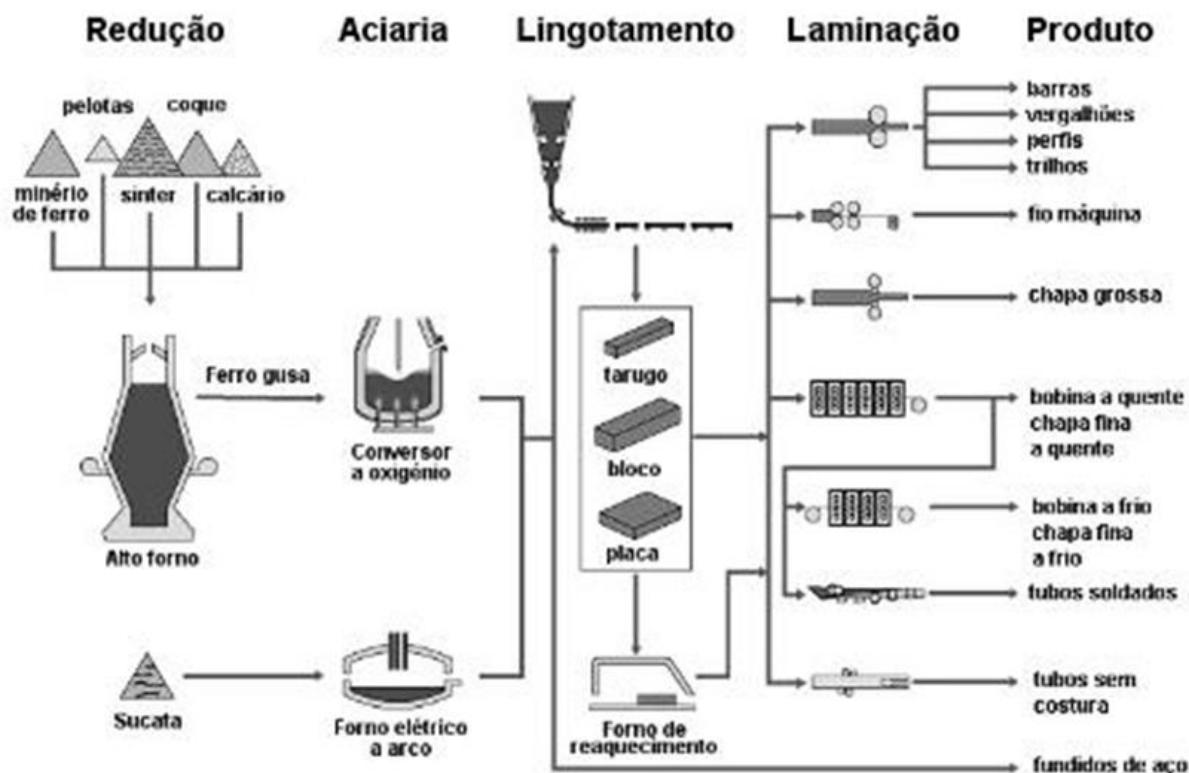
<b>LISTA DE FIGURAS E TABELAS .....</b>	<b>VI</b>
<b>LISTA DE TABELAS .....</b>	<b>VII</b>
<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>2 OBJETIVOS .....</b>	<b>4</b>
2.1 OBJETIVO GERAL .....	4
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	4
<b>3 METODOLOGIA.....</b>	<b>5</b>
3.1 RUGOSIDADE (RA).....	5
3.2 AMOSTRAS.....	6
3.3 CILINDROS DE TRABALHO (TW) .....	6
3.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	7
3.4.1 <i>Análise Descritiva</i> .....	7
3.4.2 <i>Teste de hipótese</i> .....	7
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>8</b>
4.1 CONTROLE DE ENTRADA E SAÍDA DO PROCESSO .....	8
4.2 DIAGRAMA CAUSA-EFEITO.....	8
4.3 ESTATÍSTICA DESCRITIVA .....	9
4.4 HISTOGRAMA .....	9
4.5 TESTE DE HIPÓTESE.....	12
4.6 CARTA DE CONTROLE.....	13
4.7 CAPABILIDADE DO PROCESSO.....	14
<b>5 CONCLUSÃO.....</b>	<b>17</b>
<b>6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>18</b>



# 1 INTRODUÇÃO

Para produção de produtos com foco no setor automobilístico é necessário que a matéria prima (minério de ferro), seja transformada em gusa, através do alto forno e em aço posteriormente, por meio de ajustes na composição química na etapa da aciaria. O aço líquido nesse processo é solidificado em placa e enviada para laminação a quente onde é tratado termicamente para atingir as propriedades metalúrgicas e conformado em bobina laminada a quente.

A etapa subsequente é a laminação a frio, onde esse produto será transformado em bobina ou chapas a frio, conforme pode ser visto na figura 1. Nessa fase do processo siderúrgico garanti-se a qualidade superficial do material e as propriedades mecânicas de acordo com as aplicações e exigências de cada cliente.



**Figura 1** – Fluxograma simplificado do processo siderúrgico (adaptado de Mourão et al., 2007).

Na Etapa de laminação a frio a uma sequencia de processos que são compostas das seguintes linhas: Decapagem, Laminador a Frio, Limpeza Eletrolítica, Recozimento, Laminador de Encruamento e Acabamento. Durante a fabricação, a bobina quente é processada na Decapagem para retirada do óxido de ferro para que o mesmo possa ser processado no Laminador de Tiras a Frio. Nesta fase o material

tem sua espessura reduzida. O próximo passo é tratar termicamente a bobina a frio através do recozimento, para que as propriedades mecânicas perdidas durante a laminação sejam restauradas.

O passo seguinte é enviar a BF para o laminador de encruamento ou *skinpass*<sup>1</sup> que tem como finalidade eliminar o patamar de escoamento decorrente dos aços baixo carbono, garantir planicidade sem geração de defeitos superficiais, garantir o limite de escoamento e resistência dentro dos padrões exigidos e imprimir rugosidade média (Ra) e densidade de pico (Pc), de acordo com faixa especificada de cada cliente. Na tabela 1 é demonstrado um modelo de equipamento típico para execução dessa atividade.

**Tabela 1:** Especificação Básica de uma linha de encruamento.

<b>LINHA</b>	<b>HCM</b>
<b>Fabricante</b>	Hitachi
<b>Tipo</b>	1 Cadeira x 6
<b>Capacidade de Produção [ton/mês]</b>	60.000
<b>Peso máximo de bobina [ton]</b>	30
<b>Faixa de espessura [mm]</b>	0,20 a 2,00
<b>Faixa de largura [mm]</b>	700 a 1.620
<b>Velocidade máxima [rpm]</b>	1.200
<b>Dimensões do cilindro de trabalho [mm]</b>	490 a 538
<b>Dimensões do cilindro intermediário [mm]</b>	508 a 538
<b>Dimensões do cilindro de encosto [mm]</b>	1.270 a 1.420

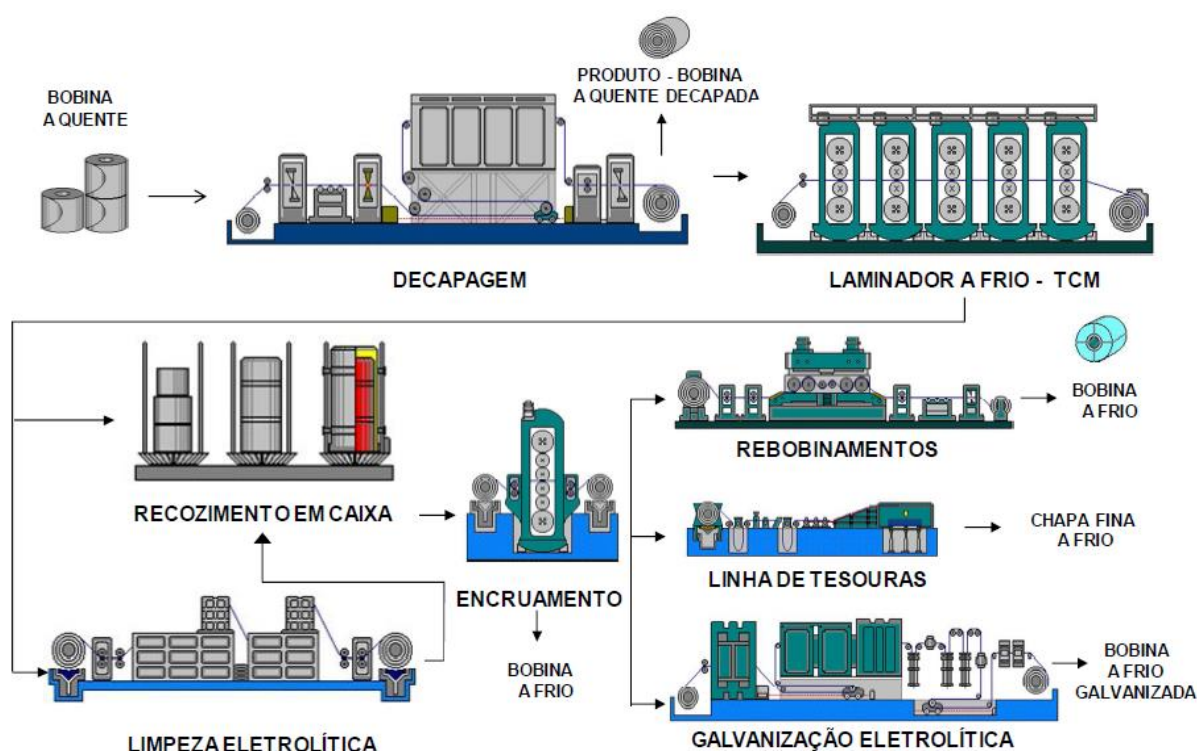
A BF encruada é inspecionada nas linhas de acabamento, para avaliação superficial, verificação do peso, largura e espessura e retirada amostra e enviada para o Laboratório de Teste Mecânico, onde são realizados ensaios de rugosidade, dureza, limite de escoamento entre outros. Depois de testado e aprovado, o produto acabado é despachado para o cliente, dentro dos prazos estabelecidos, conforme fluxograma da figura 2.

A linha de encruamento possui demanda de vários produtos que necessitam de atenção especial a variável rugosidade (Ra), pois tal parâmetro é definido pelos clientes, de acordo com aplicação do material. Isto faz com que, durante esta fase, é necessário atentar para um insumo bastante importante e utilizado no processo que

<sup>1</sup> *Skinpass*: Termo em inglês utilizado para descrever o processo de encruamento em laminados a frio.

são os cilindros de laminação. Esses insumos passam pelo processo de texturização, pois cada par de cilindros será utilizado para imprimir a rugosidade exigida por cada cliente, nas chapas laminadas. Dessa forma, fazem-se necessárias várias trocas de cilindros no mês, impactando diretamente no índice de utilização do equipamento, além de gerar aumento nos custos operacionais.

Então o presente trabalho demonstra as alterações na condição do processo de *skinpass*, através do uso de ferramentas estatísticas para melhoria contínua, com foco na redução dos custos operacionais, aumento de produtividade com a garantia assegurada dos produtos, para os cliente, para otimizar o processo de encruamento em materiais com exigência de rugosidade entre 1,30 e 2,10  $\mu\text{m}$ .



**Figura 2** – Fluxograma de produção dos laminados a frio.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 Objetivo Geral

Comparar a rugosidade obtida em bobinas laminadas a frio, obtidas no processo de *skinpass*, que utiliza atualmente pares de cilindros com Ra de 4,20  $\mu\text{m}$  com pares de cilindros com Ra de 3,30  $\mu\text{m}$ . Esta comparação se faz necessária, pois a condição proposta (Ra 3,30  $\mu\text{m}$ ) tem custo de processo mais baixo, tempo de texturização menor e atende a exigência de uma gama maior de clientes. Para tanto, seus resultados foram empregados nas técnicas de estatística descritiva e teste de hipótese, utilizando também as ferramentas da qualidade.

### 2.2 Objetivos Específicos

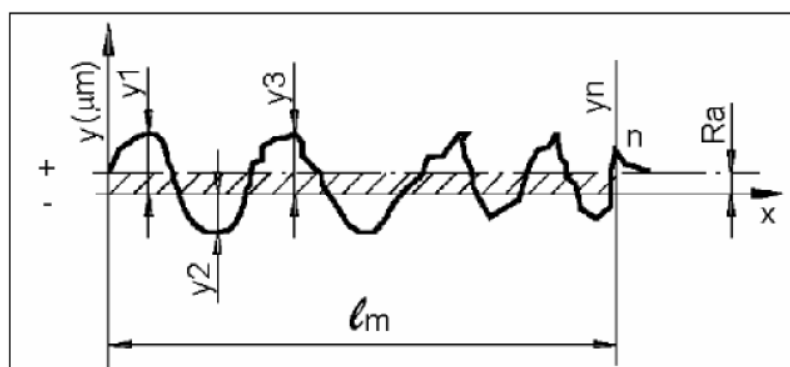
- Avaliar o resultado da impressão da rugosidade nas chapas produzidas com o par de cilindros atual e proposto, considerando as técnicas de estatística descritiva e teste de hipótese;
- Avaliar o comportamento dos resultados através da carta de controle e capacidade do processo da situação atual e proposta;
- Verificar o custo operacional com a situação atual e proposta.

### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 Rugosidade (Ra)

O Ra é a média aritmética dos valores absolutos das ordenadas de afastamento ( $y_i$ ), dos pontos do perfil de rugosidade em relação à linha média, dentro do percurso de medição ( $l_m$ ). Essa grandeza pode corresponder à altura de um retângulo, cuja área é igual à soma absoluta das áreas delimitadas pelo perfil, conforme equação [1] e figura 3.

$$Ra = \frac{\sum_{i=0}^n y_i}{n} \quad [1]$$



**Figura 3** – Medição da rugosidade média (Ra).

Tal parâmetro influencia na qualidade de deslizamento, resistência ao desgaste, resistência oferecida pela superfície ao escoamento dos fluidos e lubrificantes, qualidade de aderência que é oferecida às camadas protetoras, aparência e outros. Por esse motivo existe uma demanda de vários produtos com exigências de rugosidades distintas e a necessidade de criação de varias faixas com diferentes tipos de códigos de rugosidade para os cilindros de trabalho, conforme baseado na tabela 2 de referência. Este parâmetro deve ser bem controlado, pois valores fora da tolerância dos clientes podem acarretar transtornos ao processo que são: Repasse de bobinas a frio, ou seja, geração de retrabalho e reclamação de cliente, caso o material seja enviado fora da especificação.

**Tabela 2:** Referência de rugosidade.

<b>Código de Rugosidade</b>	<b>Rugosidade Visada do Cilindro [<math>\mu\text{m}</math>]</b>
A2	4,20
A8	3,30
A1	2,60
A4	2,50
A6	2,00
A3	1,80
A7	-

### 3.2 Amostras

Foi avaliado no período de 4 meses 80 bobinas a frio, sendo 40 para o processo atual utilizando cilindro A2 e o restante para o processo proposto utilizando cilindro A8, sendo processado 8 lotes com 5 bobinas, de acordo com o procedimento interno da empresa. As análises de rugosidade são baseadas na norma JIS-B-0601-2001 e os dados coletados são obtidos do Laboratório de Teste Mecânico, através da utilização do equipamento SJ-201P, para medição de rugosidade, forma e perfil.

### 3.3 Cilindros de Trabalho

Os cilindros de trabalhos são peças fundamentais para o processo de encruamento na laminação a frio, pois é através dele que se faz a redução da bobina a frio mantendo ou melhorando a sua planicidade sem geração de defeitos superficiais, além de imprimir a rugosidade nas chapas de aço.

Para otimizar o processo de encruamento, reduzir os custos operacionais, aumentar a produtividade e garantir a qualidade do produto, foi verificado a possibilidade de ganho através da alteração do código de rugosidade A2 para A8 nos cilindros de trabalho, em materiais com exigência de Ra entre 1,3 e 2,1  $\mu\text{m}$ , devido aos seguintes pontos:

- Redução em uma hora no tempo de texturização, de 1h30min (Ra=4,2) pra 30 min (Ra=3,3);
- Custo maior com processo de texturização por descarga elétrica (EDT) em cilindro anterior maior em comparação ao cilindro atual.

### 3.4 Análise Estatística

As análises estatísticas foram realizadas nos softwares Minitab® 16 e EXCEL 2007®, sendo organizados em análises descritivas, teste de hipótese, carta de controle, gráfico de capacidade, histograma e boxplot.

#### 3.4.1 Análise Descritiva

As análises descritivas das amostras correspondem à obtenção da média, mediana, desvio-padrão, valor máximo, amplitude e coeficiente de variação (CV). Por sua vez, os gráficos empregados foram: histograma e boxplot (MONTGOMERY e RUNGER, 2012).

#### 3.4.2 Teste de hipótese

O teste de hipótese foi empregado para avaliar a normalidade, das distribuições, a igualdade entre as medianas, entre os desvios-padrão, entre os valores médios e, por fim, se os coeficientes de correlação dos resultados das amostras de rugosidade eram iguais à zero. Sendo que a igualdade entre as médias das amostras foram avaliadas pelo teste ANOVA (MONTGOMERY e RUNGER, 2012).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Controle de Entrada e Saída do Processo

Com base na norma NBR ISO 9000:2005, define-se processo como um conjunto de atividades inter-relacionadas ou interativas, que transformam insumos (entradas) em produtos (saídas). A Figura 4 exemplifica a situação esquemática do processo de encruamento com suas entradas, seus fatores controláveis, seus fatores incontroláveis (ruídos) e suas saídas.

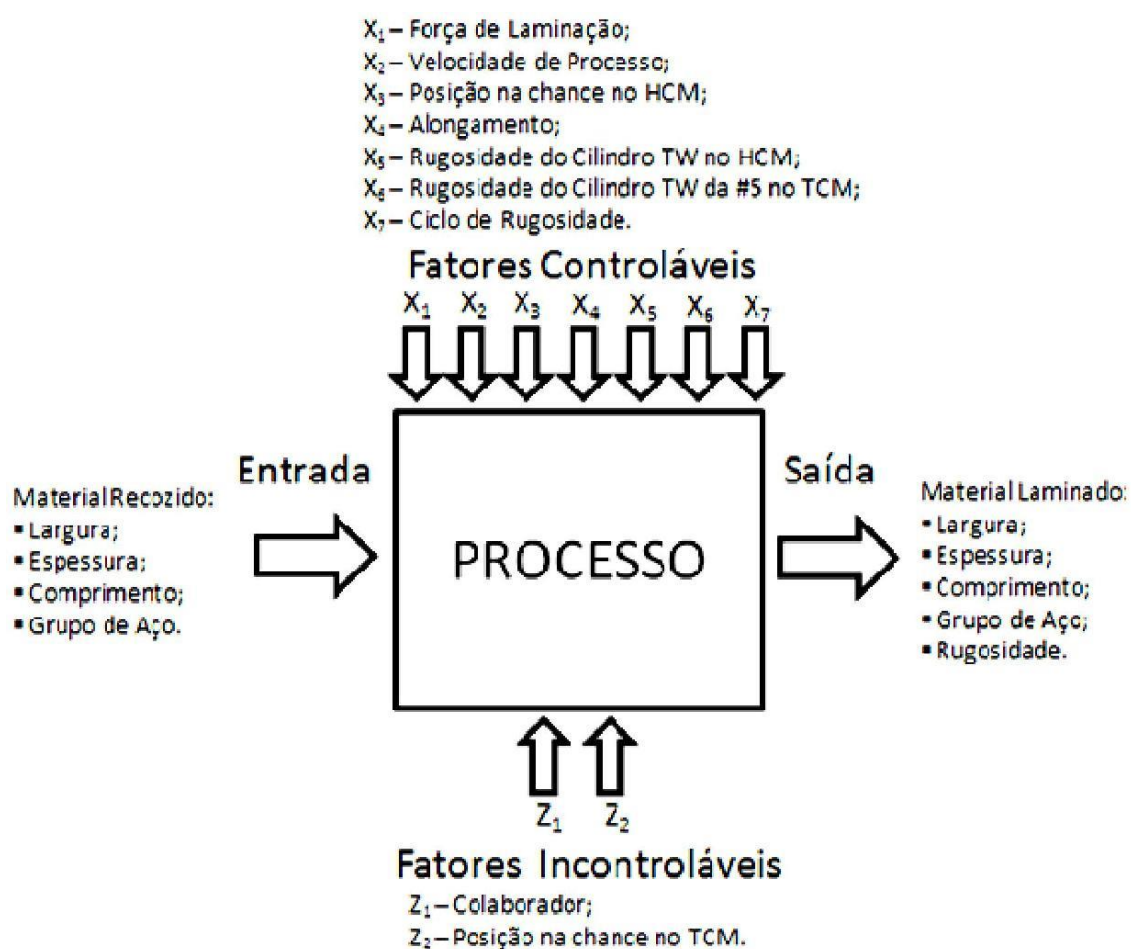
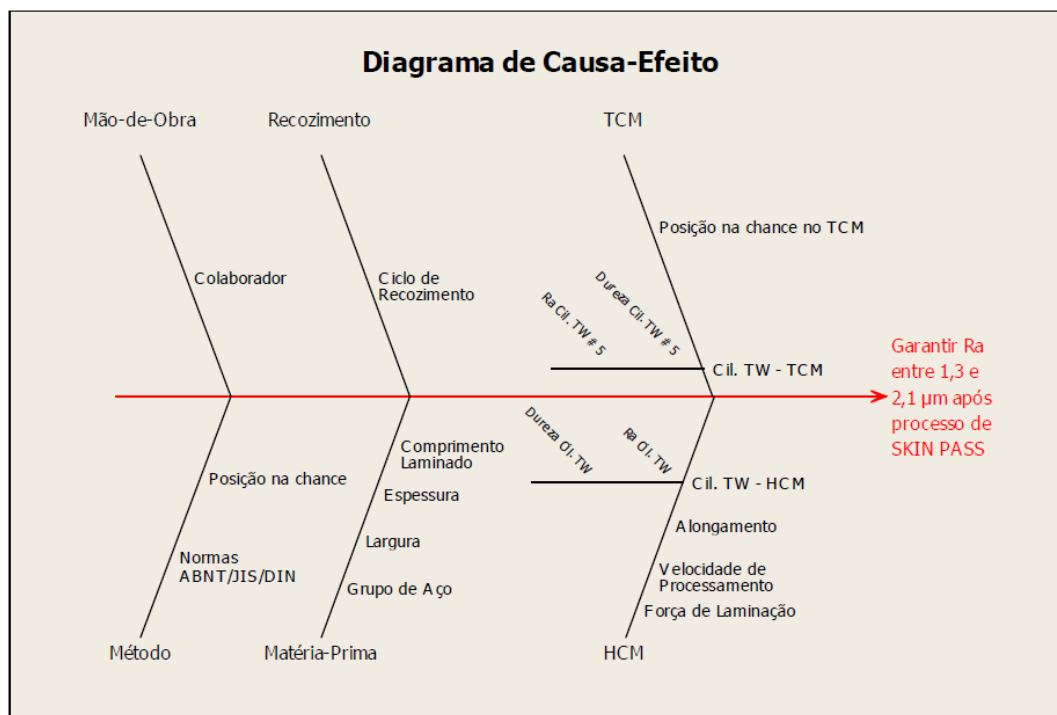


Figura 4 – Visão esquemática do fluxo de processo para linha de encruamento.

### 4.2 Diagrama Causa-Efeito

Conforme pode ser visto na figura 5, o diagrama de causa-efeito foi utilizado para demonstrar as variáveis que influenciam no resultado final da rugosidade para o produto acabado. Com a finalidade de atuar o mínimo possível nos processos optou-se por analisar somente a variável, código de rugosidade do cilindro de trabalho no laminador de encruamento, para a obtenção da faixa exigida entre 1,3 e 2,1  $\mu\text{m}$ , evitando assim mudanças em outras variáveis com um possível aumento nos custos operacionais.





**Figura 5** – Diagrama Causa-Efeito para garantia da faixa de rugosidade entre 1,3 e 2,1 µm.

### 4.3 Estatística Descritiva

Na tabela 3, verifica-se o resultado da estatística descritiva referente aos dados obtidos com valor de rugosidade do processado com cilindros A2 e A8.

**Tabela 3:** Resultado das variáveis da estatística descritiva para cada cilindro.

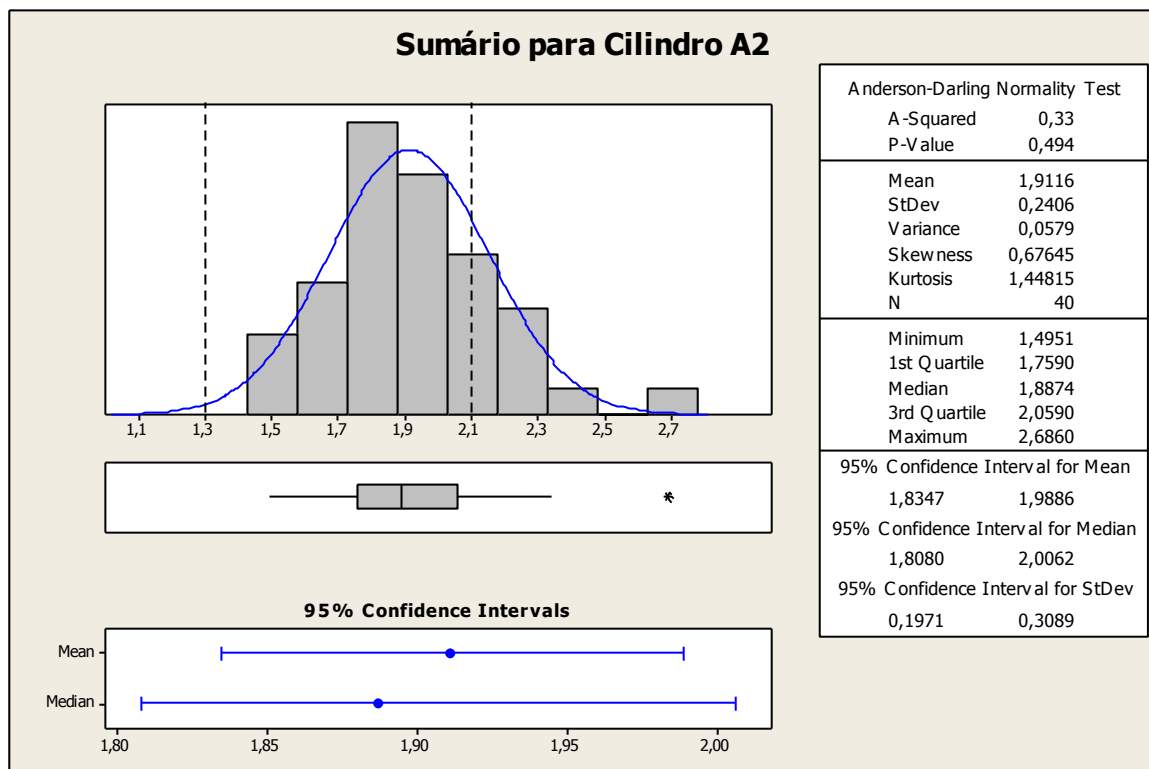
<b>Variáveis</b>	<b>A2</b>	<b>A8</b>
Média	1,912	1,751
Desvio padrão	0,241	0,107
Variância da amostra	0,058	0,011
Mínimo	1,495	1,517
Mediana	1,887	1,748
Máximo	2,686	2,001
Coefficiente de Variância	12,590	6,100
Amplitude	1,190	0,484
Contagem	40	40

### 4.4 Histograma

O histograma é uma ferramenta da qualidade utilizada para verificar a frequência dos dados coletados e como se encontram distribuídas dentro da faixa mínima e máxima dos valores limites. Conforme pode ser verificado na figura 6, o histograma representa o resultado médio dos ensaios realizados no laboratório de testes mecânicos de 40 bobinas acabadas, de acordo com os parâmetros atuais de processo.

Pode-se verificar que nem todos os resultados obtidos encontram-se dentro

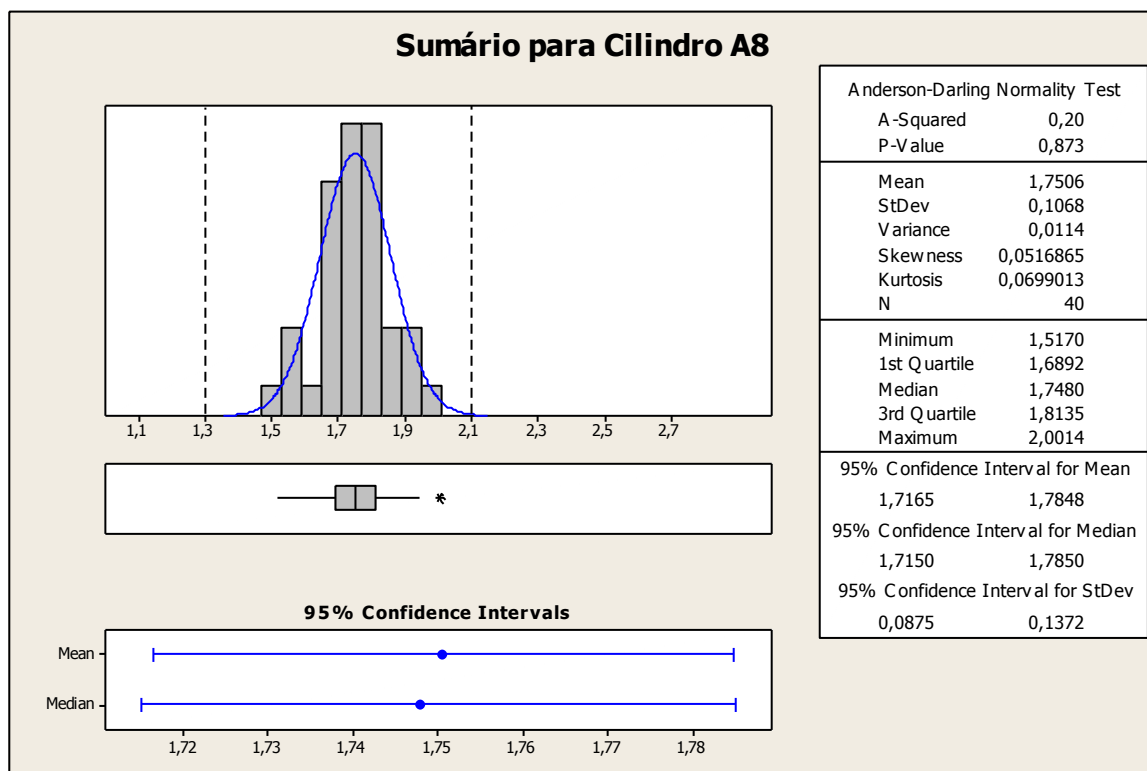
dos valores mínimos e máximos exigidos pelo cliente, para um intervalo de confiança de 95%, gerando assim, retrabalhos por rugosidade alta, aumento nos custos de processo, conseqüentemente diminuição na margem de lucro do produto final.



**Figura 6** – Histograma do processo atual.

Com a mudança no parâmetro de processo (código de rugosidade), pôde-se verificar para um intervalo de confiança de 95% conforme figura 7, que os resultados obtidos no laboratório de testes mecânicos para o processo proposto, das 40 bobinas acabadas, ficaram dentro dos limites: máximo e mínimo de controle. Pôde-se verificar também um desvio-padrão menor no processo proposto indicando variabilidade menor nos dados.

Outro fator importante é a forma e localização dos dados, onde os mesmos encontram-se distribuídos entre 1,5 e 2,0  $\mu\text{m}$ , ao contrário da figura 6, em que os resultados dos testes laboratoriais estão distribuídos com maior frequência entre 1,40 e 2,3  $\mu\text{m}$ .



**Figura 7** – Histograma do processo proposto.

Na figura 8, no gráfico boxplot, os resultados obtidos para o cilindro A8, encontra-se dentro da faixa exigida pelos clientes, ao contrário do que acontece com o processamento com cilindro A2. Apresenta uma menor variabilidade em comparação com processo atual, podendo inferir que os dados são mais homogêneos. Estas condições sugerem uma situação estável de processo.

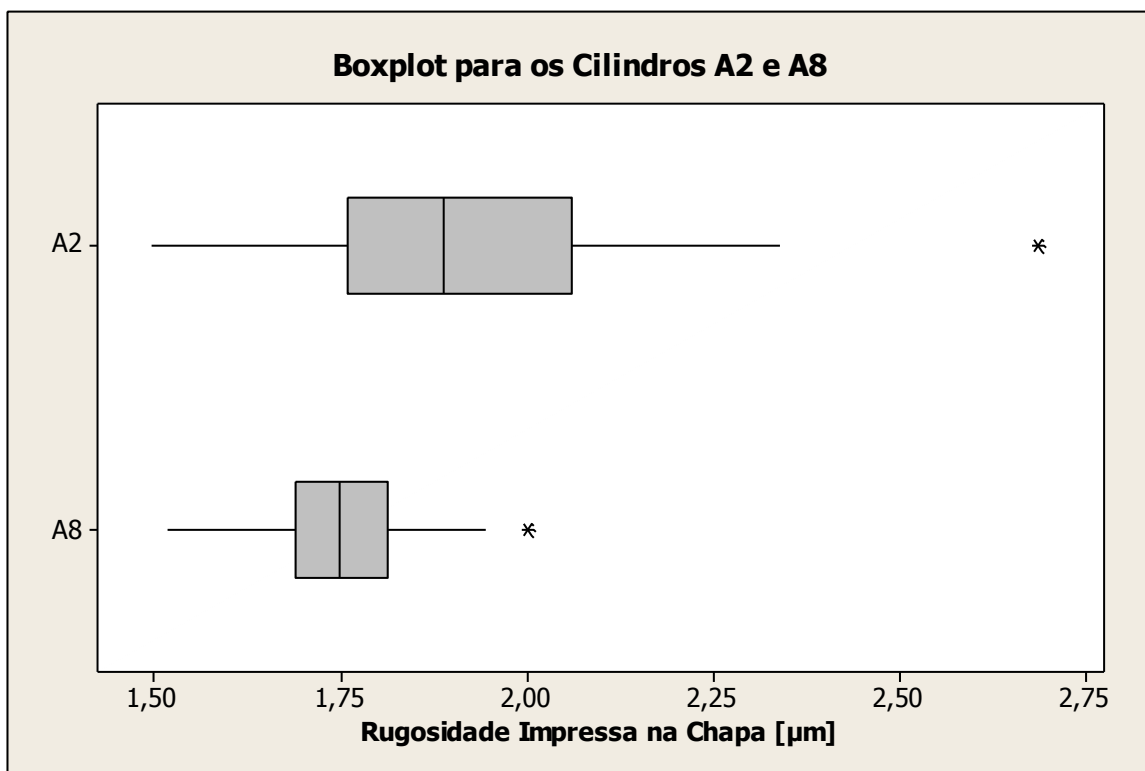


Figura 8 – Boxplot comparativo entre o cilindro A2 e A8.

#### 4.5 Teste de Hipótese

De acordo com a tabela 4, verifica-se através do teste ANOVA que as condições de processo com diferentes cilindros, tem diferentes resultados em termos de Ra na chapa laminada.

Tabela 4: Resultado do Teste de Hipótese entre cilindro A2 e A8.

##### RESUMO

Tipo de Cilindro	Contagem	Soma	Média	DP	Variância
A2	40	76	1,912	0,241	0,058
A8	40	70	1,751	0,107	0,011

##### ANOVA

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	0,518392	1	0,518392	14,95898	0,000226	3,963472
Dentro dos grupos	2,703033	78	0,034654			
Total	3,221425	79				

Outro fator importante a ser destacado com esta alteração é a diminuição na possibilidade de reprocessamento do material laminado, devido a falhas na impressão de Ra.

#### 4.6 Carta de Controle

A análise dos gráficos de controle permite determinar se um dado processo é estável, ou seja, se não há presença de causas especiais de variação atuando sobre o mesmo. Para um processo ser considerado estatisticamente estável, os pontos nos gráficos de controle devem distribuir-se aleatoriamente em torno da linha média sem que haja presença de causas especiais do tipo:

- Tendências crescentes ou decrescentes;
- Padrões Ciclos;
- Estratificações ou misturas (pontos muito próximos dos limites de controle);
- Pontos fora dos limites de controle.

Optou-se por utilizar os gráficos de controle para medidas individuais, pois as amostras utilizadas na construção dos gráficos de controle têm tamanhos unitários, sendo empregado em inspeção em que toda unidade produzida é avaliada, além disto, o processo de avaliação é muito moroso. Neste caso, o gráfico de controle para medidas individuais se torna viável. Sendo que nas figuras 9, a **Carta I** baseia-se nos cálculos dos parâmetros das equações [2], [3], [4].

$$LSC = \bar{x} + 3 \frac{\overline{am}}{d_2} \quad [2]$$

$$LC = \bar{x} \quad [3]$$

$$LIC = \bar{x} - 3 \frac{\overline{am}}{d_2} \quad [4]$$

e para a **Carta MR** os cálculos dos parâmetros das equações [5], [6] e [7].

$$LSC = D_4 \cdot \overline{am} \quad [5]$$

$$LC = \overline{am} \quad [6]$$

$$LIC = D_3 \cdot \overline{am} \quad [7]$$

onde: LSC = Limite superior de controle; LIC = Limite inferior de controle; LC = Limite Central;  $\bar{x}$  = Média do processo;  $\overline{am}$  = Amplitude móvel de duas observações sucessivas;  $d_2$  = Amplitude relativa;  $D_3$  e  $D_4$  = Constantes.

A figura 9 mostra os resultados de rugosidade obtidos no processo atual. Observa-se que a média dos valores é 1,912  $\mu\text{m}$  encontrando-se descentralizado do

valor nominal 1,70  $\mu\text{m}$ . Há também uma amostra fora dos limites da carta de controle, condição característica de instabilidade do processo.

Outro fator são os valores limites mínimo e máximo acima das especificações exigidas entre 1,30 e 2,10  $\mu\text{m}$  respectivamente.

Para os resultados de rugosidade obtidos para o processo proposto, conforme figura 9, é possível verificar uma carta de controle com a variabilidade menor entre os dados. A média dos valores obtida é de 1,75  $\mu\text{m}$ , medida mais próxima do valor nominal, além disso os pontos de limite de controle encontra-se dentro dos limites de especificação do cliente, podendo concluir uma maior estabilidade no processo.

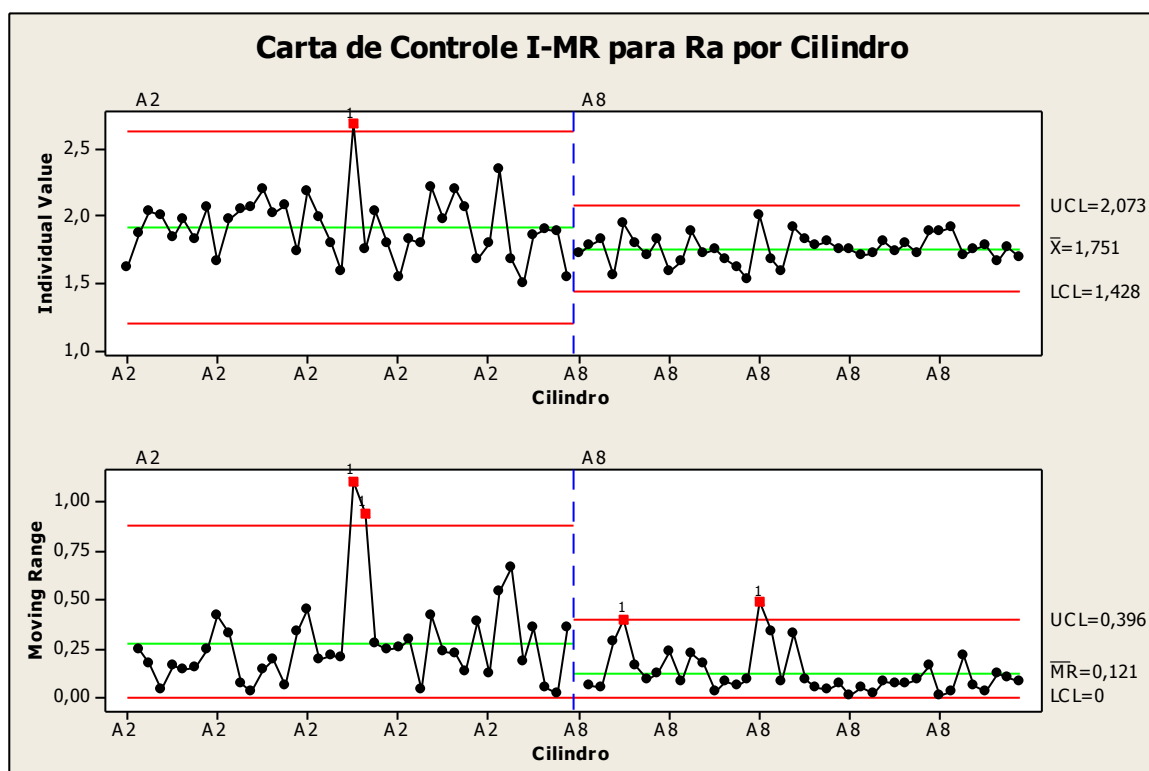


Figura 9 – Gráfico comparativo de carta de controle do processo proposto e atual.

#### 4.7 Capacidade do Processo

De acordo com a norma NBR ISO 9000:2005, capacidade é definida como a aptidão de uma organização, sistema ou processo de realizar um produto, que irá atender aos requisitos especificados para esse produto. Em termos estatísticos, a capacidade e o desempenho de um processo são representados por meio dos cálculos dos parâmetros, definidos pelas equações [8], [9], [10], [11]. Tais parâmetros representam a taxa de tolerância total da variação do processo e a distância da média do processo aos limites da especificação gerados dos resultados amostrais, respectivamente.

$$C_p = \frac{LSE - LIE}{6\sigma} \quad [8]$$

$$C_{pk} = \min\left(\frac{\bar{x} - LIE}{3\sigma}, \frac{LSE - \bar{x}}{3\sigma}\right) \quad [9]$$

$$P_p = \frac{LSE - LIE}{6S} \quad [10]$$

$$P_{pk} = \min\left(\frac{\bar{x} - LIE}{3S}, \frac{LSE - \bar{x}}{3S}\right) \quad [11]$$

onde:  $C_p$  = Índice de capacidade potencial (processo centrado na média das especificações);  $C_{pk}$  = Índice de capacidade real (processo não centrado na média das especificações);  $P_p$  = Índice de desempenho potencial (processo centrado na média dos dados);  $P_{pk}$  = Índice de desempenho real (processo não centrado na média dos dados); LSE = Limite superior de especificação; LIE = Limite inferior de especificação;  $\bar{x}$  = Média do processo; S = Desvio-padrão (amostra);  $\sigma$  = Desvio-padrão do processo (população).

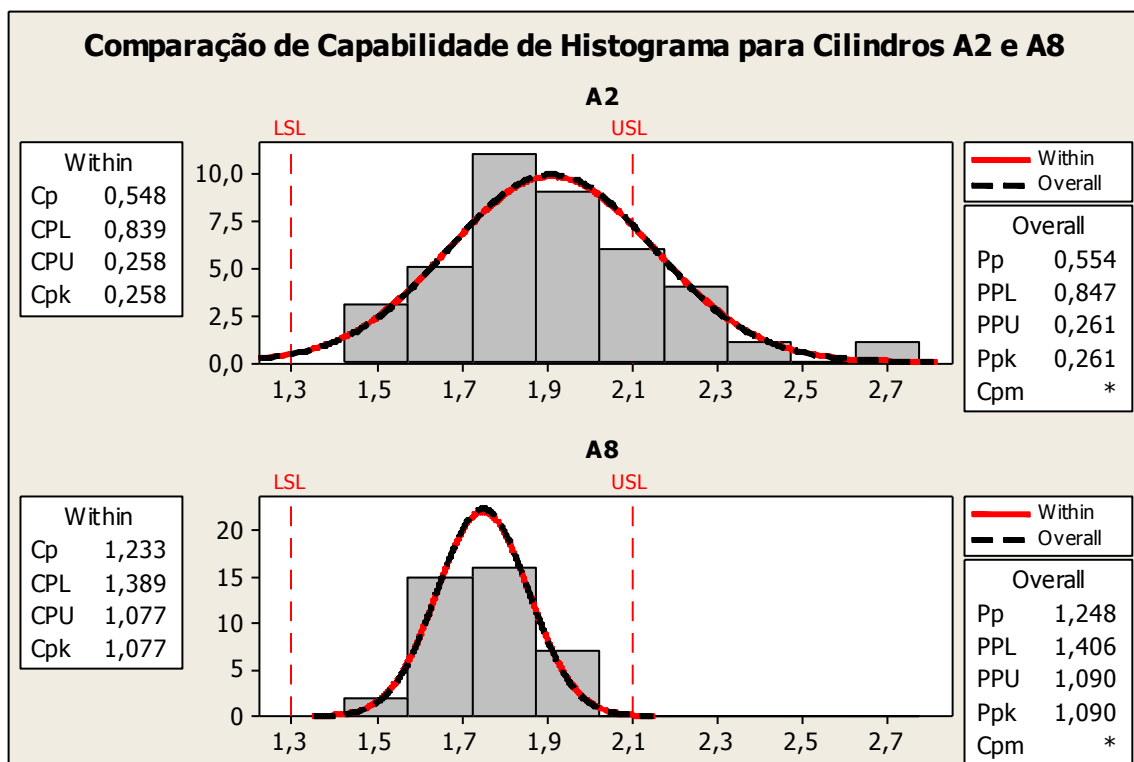
Para verificar se o processo é capaz de produzir produtos com nível de qualidade satisfatório para uma empresa competitiva, foi utilizado como referência a tabela 5, que mostra os valores padrões de  $C_p$ ,  $C_{pk}$ ,  $P_p$  e  $P_{pk}$ .

**Tabela 5:** Referência dos valores de  $C_p$ ,  $C_{pk}$ ,  $P_p$  e  $P_{pk}$ .

<i>Variáveis de Controle</i>				<i>Condição de Processo</i>
<i>C<sub>p</sub></i>	<i>C<sub>pk</sub></i>	<i>P<sub>p</sub></i>	<i>P<sub>pk</sub></i>	
	$\geq 1,33$			Capaz
	$1 < X < 1,33$			Aceitável
	$\leq 1$			Incapaz

Na figura 10 o processo atual encontra-se com os valores das variáveis de controle menor que um, indicando um processo incapaz. Apontando uma incapacidade no desempenho atual.

Para o processo proposto, os resultados obtidos, demonstra uma melhoria significativa, passando de uma condição de processo incapaz, para uma condição satisfatória, ou melhor, aceitável uma vez que os valores das variáveis de controle apresentaram resultados conforme apresentado na tabela 5.



**Figura 10** – Gráfico comparativo de capacidade do processo proposto e atual.



## 5 CONCLUSÃO

Através do estudo utilizando as ferramentas da qualidade, pôde-se constatar que o processo atual é incapaz de produzir material com exigência de rugosidade entre 1,3 e 2,1  $\mu\text{m}$ , sem gerar retrabalho e conseqüentemente aumento de custo ao processo. Com alteração no código de rugosidade proposto para o cilindro de trabalho verificou que o processo passa a ter uma confiabilidade maior de acordo com os gráficos apresentados. Isso é comprovado pelo teste de hipótese que conclui uma diferença significativa entre as amostras coletados com os valores de rugosidade obtidos pelo laboratório.

Para essa nova condição de processo, passa-se a ter menor custo de produção com:

- Redução no tempo de texturização do cilindro A2 (1h30min) para o cilindro A8 (30min);
- Redução no transporte de cilindros, pois o cilindro A8 pode ser utilizado para outros materiais;
- Eliminação no tempo de estocagem das bobinas por espera de cilindro A2, evitando problemas de oxidação;
- Redução em retrabalho, pois o processo passa a ter estabilidade operacional;
- Aumento no índice de utilização da linha;

Dessa forma, é gerado uma redução nos custos operacionais, para produtos com faixa de rugosidade entre 1,3 e 2,1  $\mu\text{m}$ .

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

MONTGOMERY, D.C.; RUNGER, G.C. *Estatística aplicada e probabilidade para engenheiros*. LTC, Rio de Janeiro, RJ, 4ª edição, p. 402-490, 2009.

TRIOLA, M. F. *Introdução a Estatística*. LTC, Rio de Janeiro, RJ, 10ª edição, p. 560-600, 2008.

BALESTRASSI, P. P.; FERREIRA, J. R.; MORAES C. F.. *Análise crítica da aplicação de métodos estatísticos em processos definidos por dados que não apresentam distribuição normal*. GEPROS- ANO 1, nº2, abr/2006, . 7-18.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR ISO 9000:2005 Sistema de Gestão da Qualidade – Fundamentos e Vocabulário, Rio de Janeiro, 2000.

HARRY, M.J. *Six Sigma: A Breakthrough Strategy for Profitability*. New York: Quality Progress, 31, 5, p.60-64, May 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 6023: informação e documentação: referências: elaboração*. Rio de Janeiro, 2002. 24 p.

COSTA, Belkiz Inez Rezende; FERNANDES, Wesley Rodrigo. *Normas para publicação de monografias, dissertações e teses para o curso de pós-graduação departamento de Ciência da Computação UFMG*. Disponível em <[www.dcc.ufmg.br/especializacao/cei/EngSoft/manualMonografiaDisertTeses.pdf](http://www.dcc.ufmg.br/especializacao/cei/EngSoft/manualMonografiaDisertTeses.pdf)> . Acesso em 08 abr. 2014.