



Universidade de Brasília
Faculdade de Tecnologia
Departamento de Engenharia Mecânica

Relatório de Torno e Fresa

Giovanna Nogueira - 200018710

TRABALHO FINAL
TECNOLOGIA DE COMANDO NUMÉRICO

Brasília
2025

Universidade de Brasília
Faculdade de Tecnologia
Departamento de Engenharia Mecânica

Relatório de Torno e Fresa

Giovanna Nogueira - 200018710

Trabalho final da matéria de Tecnologia de
Comando Numérico.

Docente: Prof. Pós-Dr. Alberto José Alvares

Brasília
2025

Resumo

Este documento contempla toda a análise, tanto geométrica quanto de capacidade, das peças usinadas durante o semestre da matéria Tecnologia de Comando Numérico (TCN). O documento apresenta também os desenhos técnicos e simulações das peças, bem como os respectivos G-code desenvolvidos.

Palavras-chave: torneamento; fresamento; usinagem; comando numérico.

Sumário

1	Introdução	4
2	Objetivos	5
3	Torneamento	6
3.1	Torneamento: Definição e Características	6
3.1.1	Principais características	6
3.1.2	Parâmetros de usinagem	6
3.2	Materiais e parâmetros de usinagem	6
3.3	Projeto	7
3.4	Planejamento de Usinagem	7
3.5	G-code, simulação e usinagem	8
3.5.1	G-code	8
3.5.2	Simulação	9
3.5.3	Usinagem	9
3.6	Dados obtidos, análises e resultados	10
3.6.1	Análise de Capabilidade	11
3.6.2	Análise de erros geométricos	20
4	Fresamento	21
4.1	Fresamento: Definição e Características	21
4.1.1	Classificação do fresamento	21
4.1.2	Parâmetros de corte	21
4.2	Materiais e parâmetros de usinagem	22
4.3	Projeto	22
4.4	Planejamento de Usinagem	23
4.5	G-code, simulação e usinagem	25
4.5.1	G-code	25
4.5.2	Simulação	25
4.5.3	Usinagem	26
4.6	Dados obtidos, análises e resultados	27
4.6.1	Análise de Capabilidade	27
4.6.2	Análise de erros geométricos	31
5	Conclusões	32
	Referências	33

1 Introdução

Este trabalho visa analisar a capacidade de duas peças produzidas por meio da usinagem subtrativa, ou seja, naquela em que há produção de cavaco devido à remoção de material. A primeira peça é resultado no processo de torneamento e a segunda do processo de fresamento.

Ambas as peças foram medidas, conforme seu tipo de usinagem. Os dados obtidos foram analisados pelo software Minitab, a fim de verificar se as peças e o processos de usinagem estão dentro dos limites de qualidade requeridos, ou seja, realizar a capacidade do projeto.

A capacidade consiste do seguinte cálculo:

$$C_p = \frac{LTS - LTI}{6\sigma} \quad (1.1)$$

Onde LTS é a tolerância superior, LTI é a tolerância inferior e σ é o desvio padrão. Para encontrar as tolerâncias é necessário o seguinte cálculo:

$$LT = 3 \times \pm\sigma \quad (1.2)$$

Em que LTS é $+\sigma$ e LTI é $-\sigma$

A partir do C_p pode-se avaliar a qualidade do projeto:

C_p	Qualidade do Processo
$< 1,0$	Incapaz
$1,0 \leq C_p < 1,33$	Aceitável
$\geq 1,33$	Capaz

Tabela 1.1 – Qualidade do projeto a partir do C_p

Fonte: Elaborada pelo autora

2 Objetivos

Esse relatório tem por objetivo realizar a análise de qualidade das peças projetadas e fabricadas ao longo da matéria de Tecnologias de Comando Numérico. A primeira é advinda do processo de Torneamento e a segunda do processo de Fresamento. Ambas foram submetidas a análise de capabilidade e a análise de tolerância dimensional e geométricas.

3 Torneamento

3.1 Torneamento: Definição e Características

O torneamento é um processo de usinagem no qual uma peça cilíndrica ou cônica é rotacionada enquanto uma ferramenta de corte realiza movimentos controlados, removendo material para obtenção de geometrias precisas. Segundo [Diniz, Marcondes e Coppini \(2014\)](#), este processo é classificado como uma operação de usinagem de **superfícies de revolução**, sendo fundamental na fabricação de componentes mecânicos como eixos, pinos e roscas.

3.1.1 Principais características

De acordo com [Costa e Machado \(2018\)](#), o torneamento apresenta as seguintes características:

- Pode ser realizado em tornos convencionais ou CNC
- Utiliza ferramentas de corte com pastilhas intercambiáveis
- Permite operações externas e internas
- Gera superfícies com diferentes graus de acabamento

3.1.2 Parâmetros de usinagem

Conforme [Groover \(2016\)](#), os principais parâmetros que influenciam o torneamento são:

Parâmetro	Descrição
Velocidade de corte (Vc)	Velocidade relativa entre peça e ferramenta
Avanço (f)	Deslocamento da ferramenta por revolução
Profundidade de corte (ap)	Penetração da ferramenta no material

Tabela 3.1 – Principais parâmetros do torneamento

3.2 Materiais e parâmetros de usinagem

Para a realização do projeto foi utilizado uma vela com 150mm de comprimento e com diâmetro de 50mm, tal vela é popularmente conhecida como vela de 7 dias, não podendo ser da cor branca. 50mm da vela foi reservado para a fixação na castanha da máquina e margem de segurança, sendo aproximadamente 25mm cada.

O torno utilizado foi o torno didático do laboratório GRACO, localizado na Faculdade de Tecnologia da Universidade de Brasília, Brasília/DF. Ele foi configurado para uma velocidade de avanço de 450mm/min e foi utilizado uma ferramenta de 2.5mm de espessura.

O zeramento da máquina foi realizado manualmente, a fim de coincidir com o zero da peça, localizado no centro da extremidade contrária a utilizada na fixação da peça. Além disso, foi definido um plano de segurança nos eixos utilizados, X e Z , em que $X = 30$ e $Z = 5$.

3.3 Projeto

A partir dos requisitos de projeto, em que o diâmetro mínimo não poderia ser menor do que 20mm e que deveria ter, no mínimo, 5 diâmetros diferentes e a partir dos dados acima, foi definido a geometria desejada da peça. Abaixo, na figura 3.1, encontra-se o desenho técnico da peça, feito em papel milimetrado.

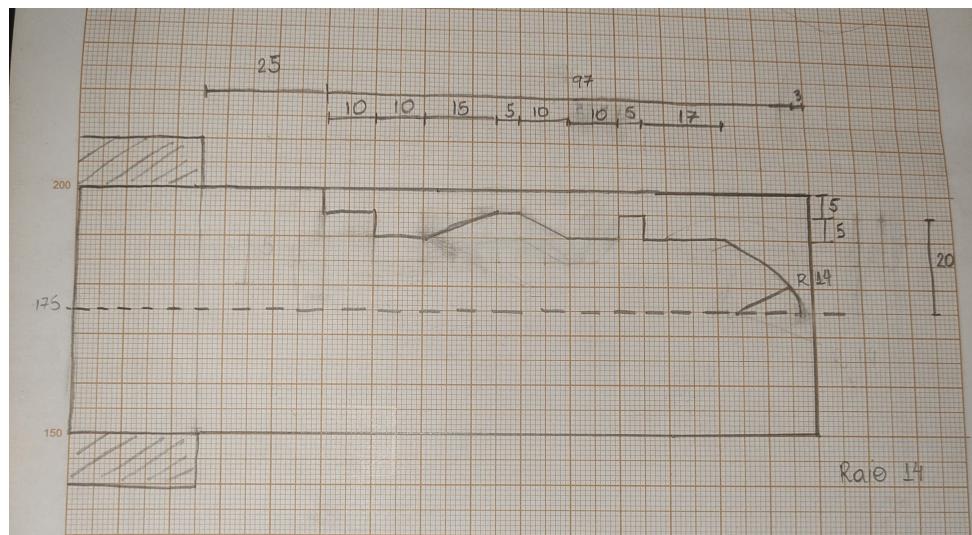


Figura 3.1 – Desenho técnico da peça - torneamento.

Fonte: Elaborada pela autora

O eixo X corresponde ao eixo axial e o eixo Z corresponde ao eixo longitudinal, que coincide com o eixo de avanço do carro da máquina.

3.4 Planejamento de Usinagem

O primeiro passo do torneamento consiste no balanceamento da peça. Tal passo consiste na remoção de 5mm de material da peça, de forma longitudinal. O material foi removido com três passadas, em que as duas primeiras removeram 2mm do material cada passada e a terceira removeu 1mm.

Após o balanceamento, foi feito a remoção do material necessário para que a peça final fosse obtida. Por último, foi realizado o acabamento da peça, que consistiu na remoção de qualquer material que não tenha sido removido nos passos anteriores, mas sem alterar na geometria da peça.

Para as operações necessárias para o desbaste da peça foram utilizados os comandos *G01*, que realiza movimentos lineares, e *G03*, que realiza movimentos circulares no sentido anti-horário. O comando *G00* foi utilizado exclusivamente para colocar a ferramenta no plano de segurança. Em geral, foi retirado 2mm de material em cada passada, mas em alguns momentos foi necessário retirar apenas 1mm.

Abaixo encontra-se a parte do código referente ao acabamento. O código completo está disponível no [Github](#).

Código 3.1 – Código de acabamento da peça - Torno

```

1 X-1 Z-3
2 G03 X15 Z-18 R14
3 X15
4 G01 Z-35
5 X20
6 G01 Z-40
7 X15
8 G01 Z-50
9 G01 X20 Z-60
10 G01 Z-65
11 G01 X15 Z-80
12 G01 Z-90
13 X20
14 G01 Z-100

```

3.5 G-code, simulação e usinagem

3.5.1 G-code

Como citado anteriormente, todo o código referente a usinagem no torno encontra-se disponível no [Github](#). É válido ressaltar que o código disponível é o utilizado na simulação no software CNC Simulator, para usinar na máquina do laboratório foi necessário algumas alterações no código.

Tais alterações consistem na remoção de comentários e na remoção do G92 (função que realiza o zeramento da máquina). A remoção do G92 decorre do fato de que o zeramento da máquina foi feito de modo manual.

3.5.2 Simulação

Ao realizar a simulação 3D no CNC Simulator é possível verificar que a geometria resultante da usinagem condiz com o esperado do projeto. Abaixo, na [figura 3.2](#), encontra-se a figura referente a simulação 3D.

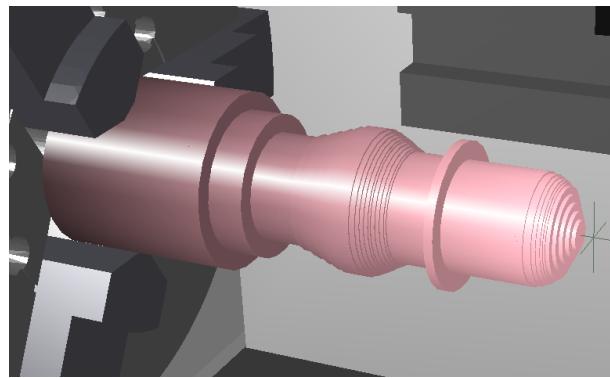


Figura 3.2 – Simulação 3D da usinagem - torneamento.

Fonte: Elaborada pela autora

3.5.3 Usinagem

A partir das etapas anteriores, ou seja, do desenho técnico, G-code e simulações validadas, a peça pode ser usinada em laboratório. Após a finalização da usinagem, pode-se concluir que o processo ocorreu conforme o esperado, visto que condiz com o projeto inicial. Abaixo, na [figura 3.3](#), encontra-se a peça finalizada.



Figura 3.3 – Peça finalizada - torneamento.

Fonte: Elaborada pela autora

3.6 Dados obtidos, análises e resultados

Com a peça usinada, foram feitas 25 medições com uma revolução completa para cada diâmetro (D1, D2, D3, D4 e D5) escolhido com o auxílio de um micrômetro laser com precisão de $\pm 0,001$.

Para as medições foi preciso duas pessoas, uma segurando a vela posicionada de forma perpendicular ao medidor e a outra registrando as medições que apareciam no visor do equipamento. Devido as flutuações causadas pela vibração da mão da pessoa que segurava a vela, foram considerados valores apenas até a segunda casa decimal, para que essa flutuação nos valores medidos não tenham tanto impacto. Os valores obtidos podem ser encontrados na tabela 3.2.

Tabela 3.2 – Medições experimentais da peça usinada no torno (valores em mm)

D1	D2	D3	D4	D5
29.68	29.57	39.05	28.66	38.34
29.66	29.69	38.99	28.73	38.30
29.70	29.85	38.96	28.71	38.45
29.73	30.02	39.09	28.60	38.58
29.75	29.94	38.99	28.74	38.63
29.69	29.50	39.15	28.66	38.34
29.70	29.49	39.16	28.62	38.29
29.64	29.56	39.03	28.52	38.35
29.66	29.64	38.91	28.43	38.43
29.58	29.60	39.13	28.48	38.38
29.72	30.06	39.05	28.47	38.32
29.59	29.91	39.07	28.53	38.35
29.82	29.45	39.03	28.49	38.26
29.69	29.47	39.06	28.52	38.21
29.75	29.44	39.12	28.57	38.37
29.65	29.38	39.14	28.44	38.23
29.68	29.27	39.14	28.46	38.19
30.03	29.25	39.08	28.51	38.33
29.92	29.28	38.99	28.44	38.38
29.65	29.30	38.65	28.47	38.41
29.63	29.47	38.59	28.56	38.36
29.74	29.40	38.31	28.60	38.80
29.67	29.53	37.90	28.50	38.52
29.63	29.58	39.04	28.46	38.39
29.58	29.64	39.08	28.48	38.42

Fonte: Elaborada pela autora

3.6.1 Análise de Capabilidade

Para a realização da análise de capabilidade, foi utilizado o software Minitab. Foi feito uma análise para cada diâmetro a partir dos dados da [tabela 3.2](#). Abaixo, da [figura 3.4](#) a [figura 3.18](#), encontram-se os resultados obtidos para cada diâmetro.

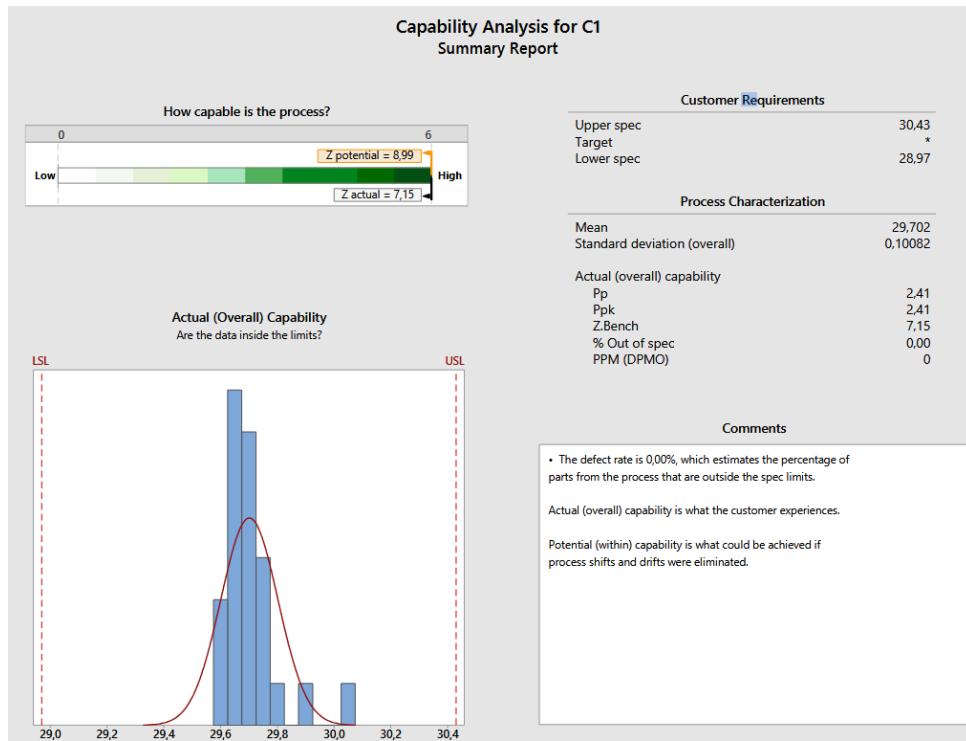


Figura 3.4 – Resumo da análise de capacidade - D1.

Fonte: Elaborada pela autora

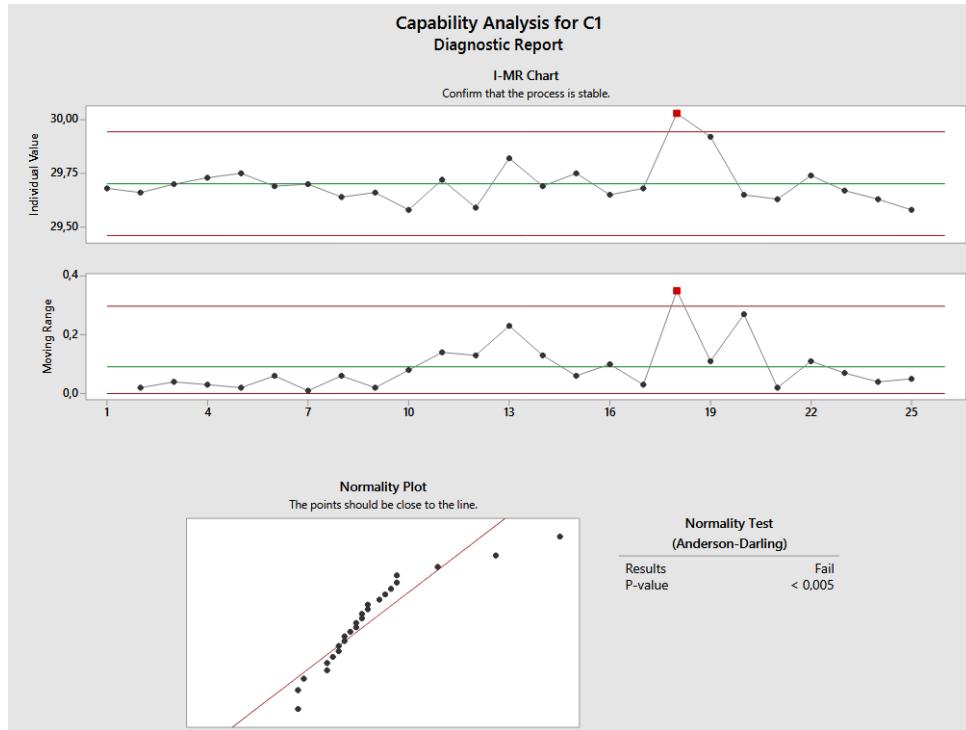


Figura 3.5 – Diagnóstico da análise de capacidade - D1.

Fonte: Elaborada pela autora

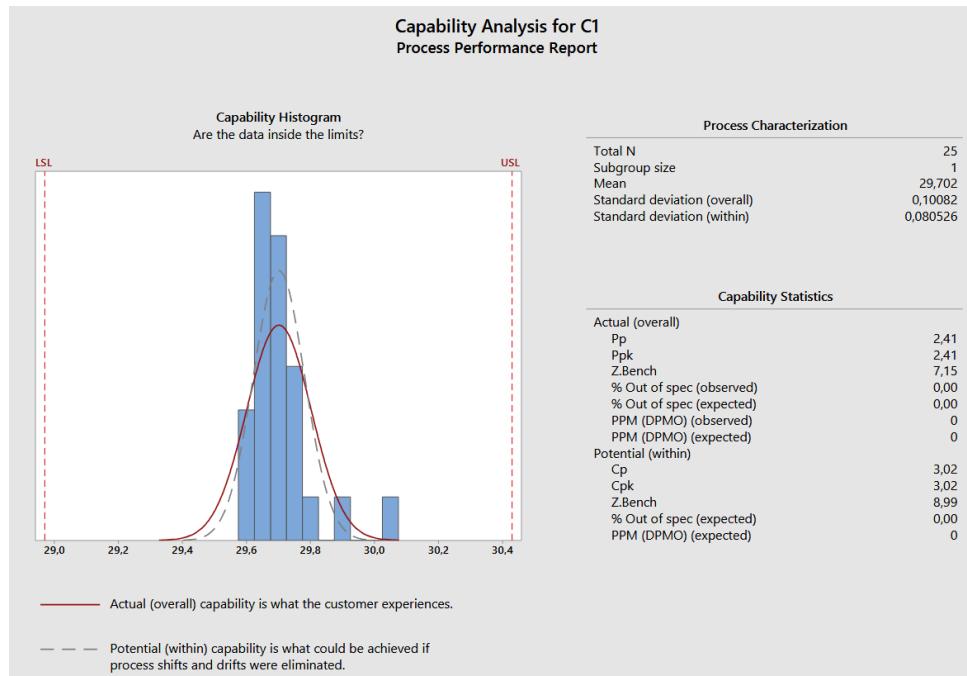


Figura 3.6 – Performance - D1.

Fonte: Elaborada pela autora

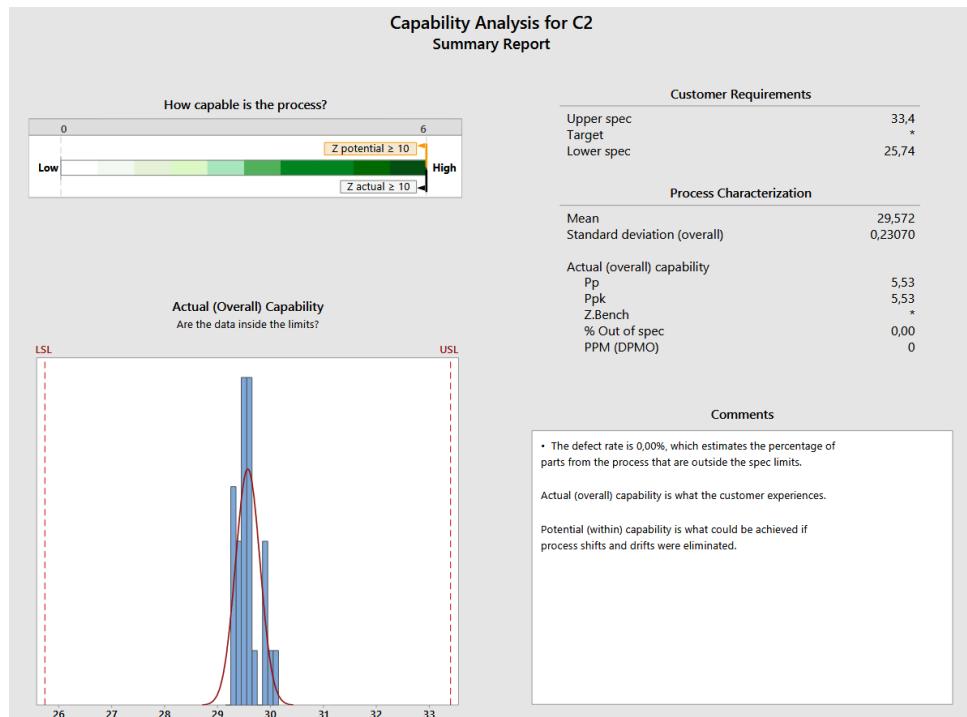


Figura 3.7 – Resumo da análise de capabilidade - D2.

Fonte: Elaborada pela autora

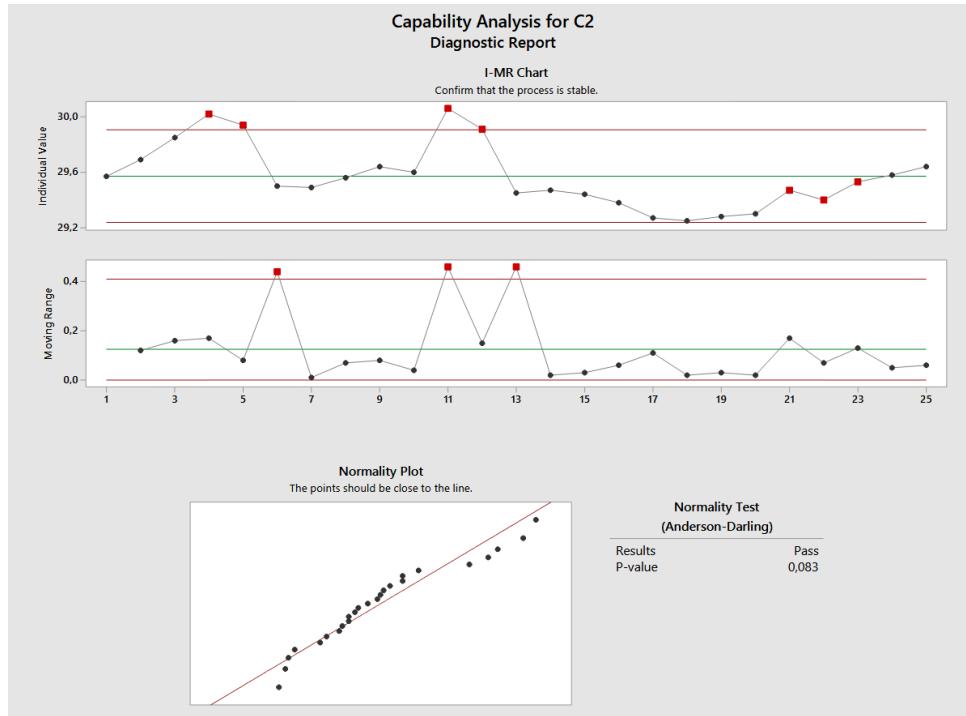


Figura 3.8 – Diagnóstico da análise de capacidade - D2.

Fonte: Elaborada pela autora

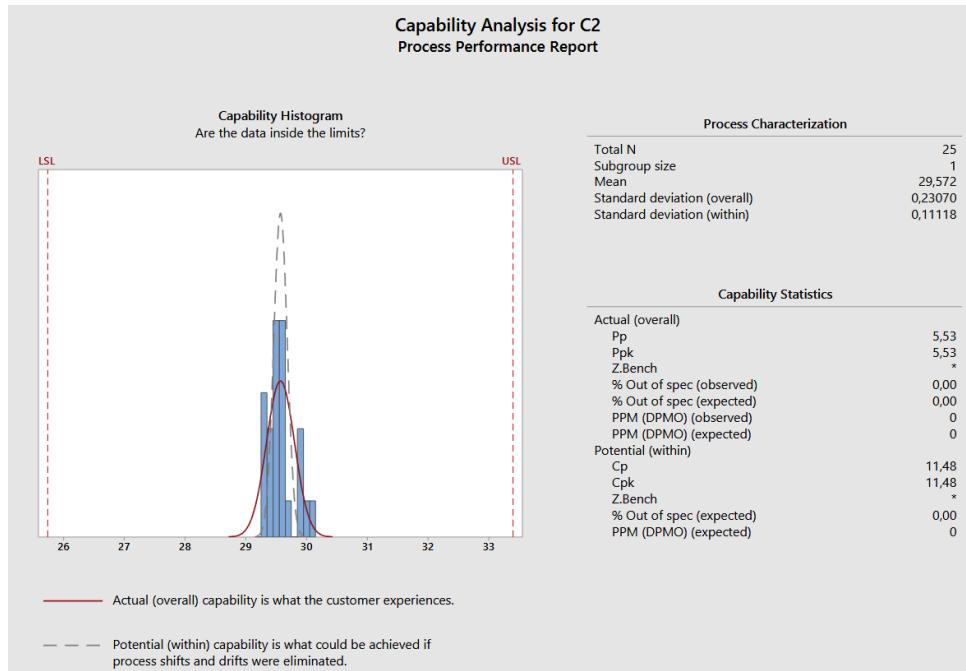


Figura 3.9 – Performance - D2.

Fonte: Elaborada pela autora

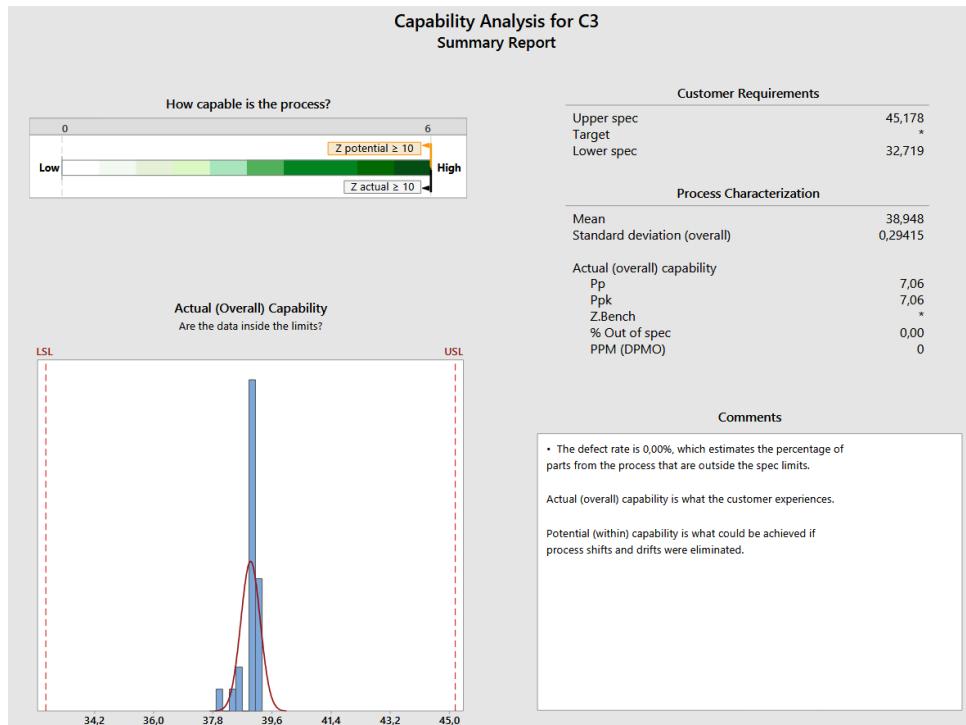


Figura 3.10 – Resumo da análise de capacidade - D3.

Fonte: Elaborada pela autora

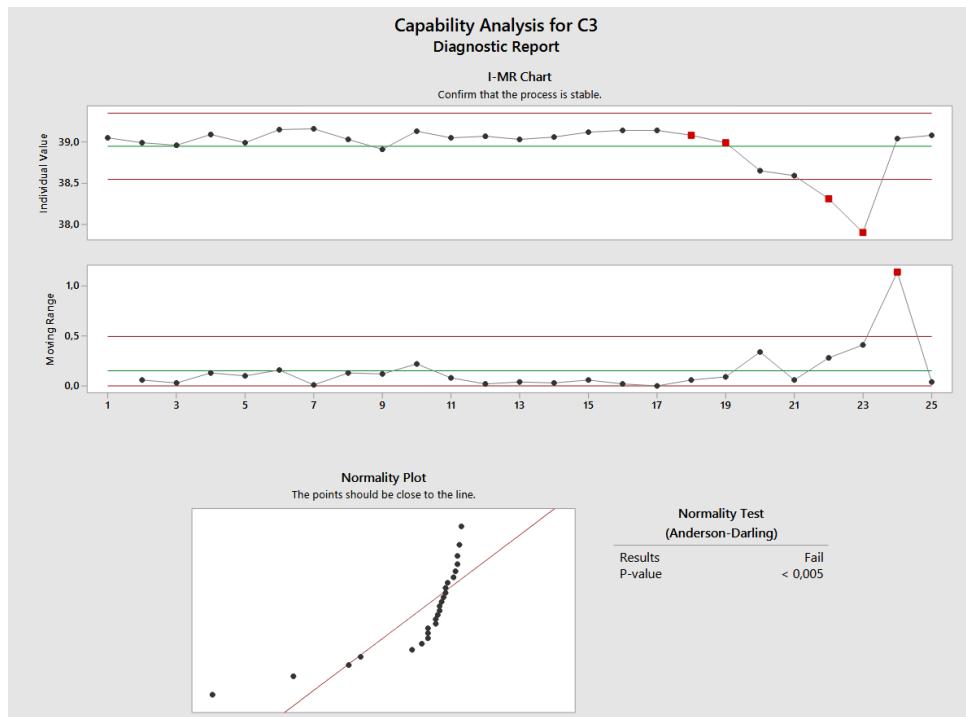


Figura 3.11 – Diagnóstico da análise de capacidade - D3.

Fonte: Elaborada pela autora

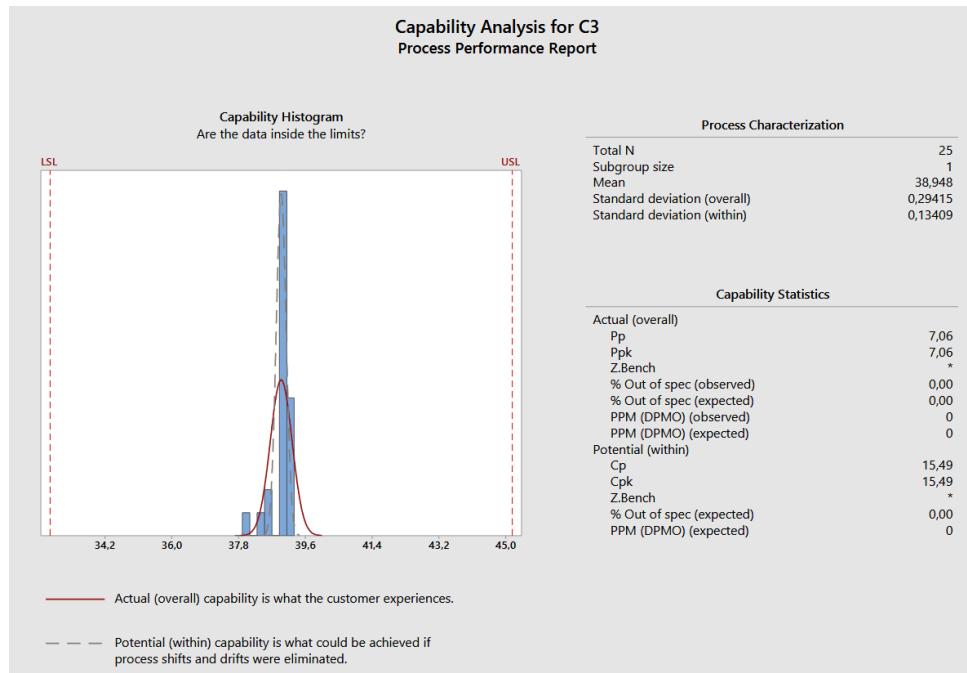


Figura 3.12 – Performance - D3.

Fonte: Elaborada pela autora

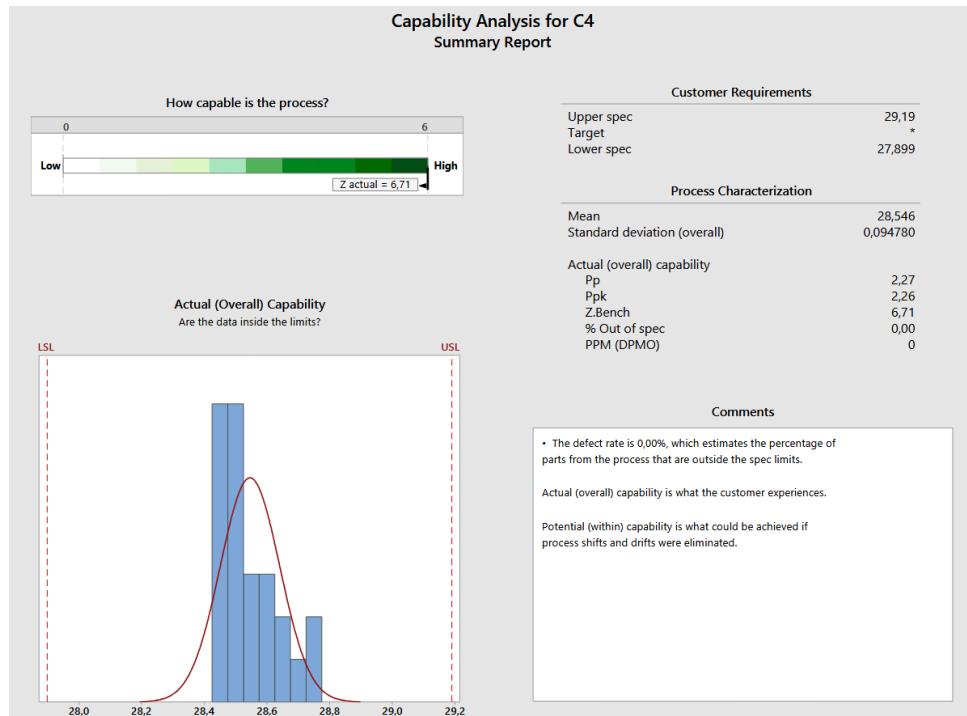


Figura 3.13 – Resumo da análise de capabilidade - D4.

Fonte: Elaborada pela autora

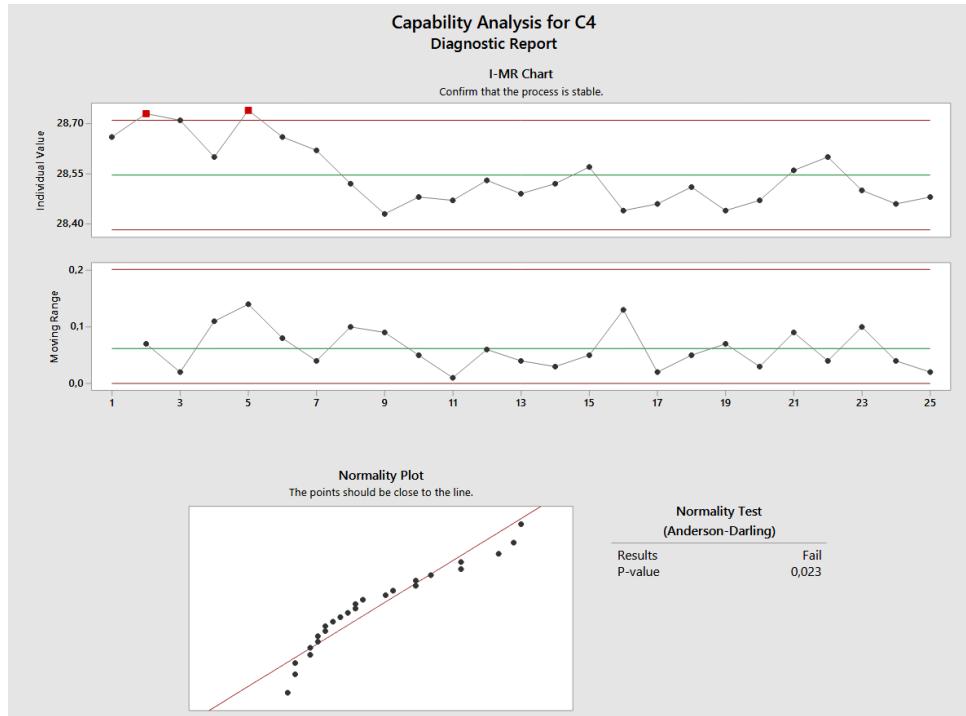


Figura 3.14 – Diagnóstico da análise de capacidade - D4.

Fonte: Elaborada pela autora

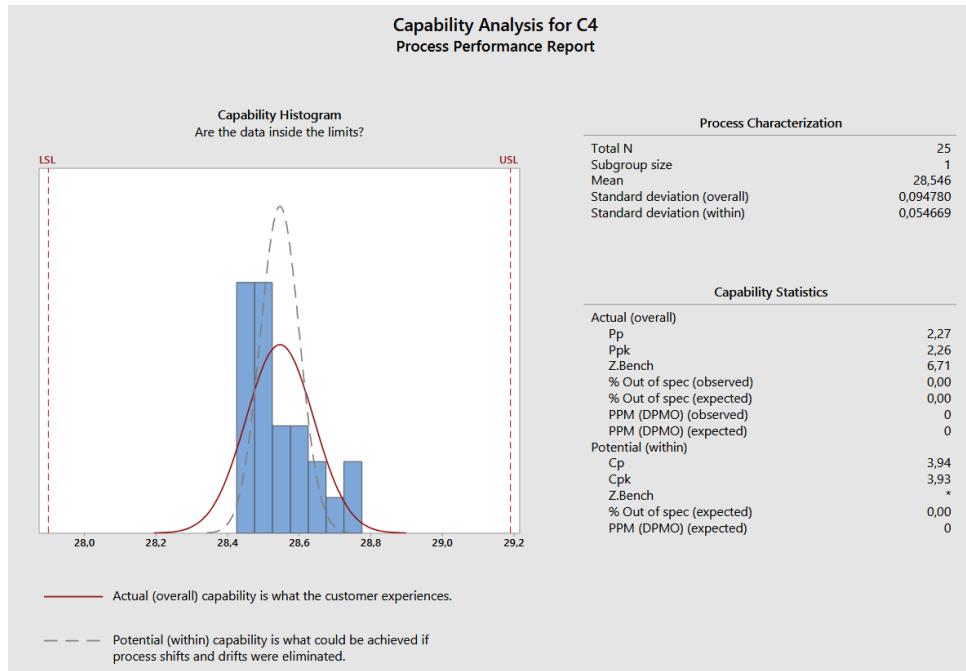


Figura 3.15 – Performance - D4.

Fonte: Elaborada pela autora

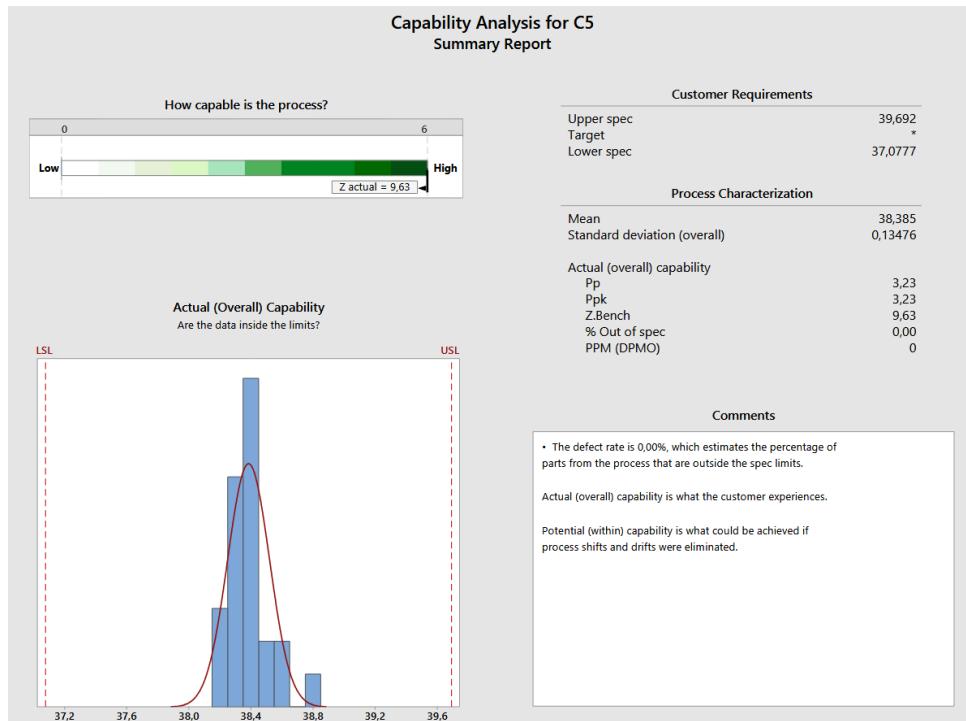


Figura 3.16 – Resumo da análise de capacidade - D5.

Fonte: Elaborada pela autora

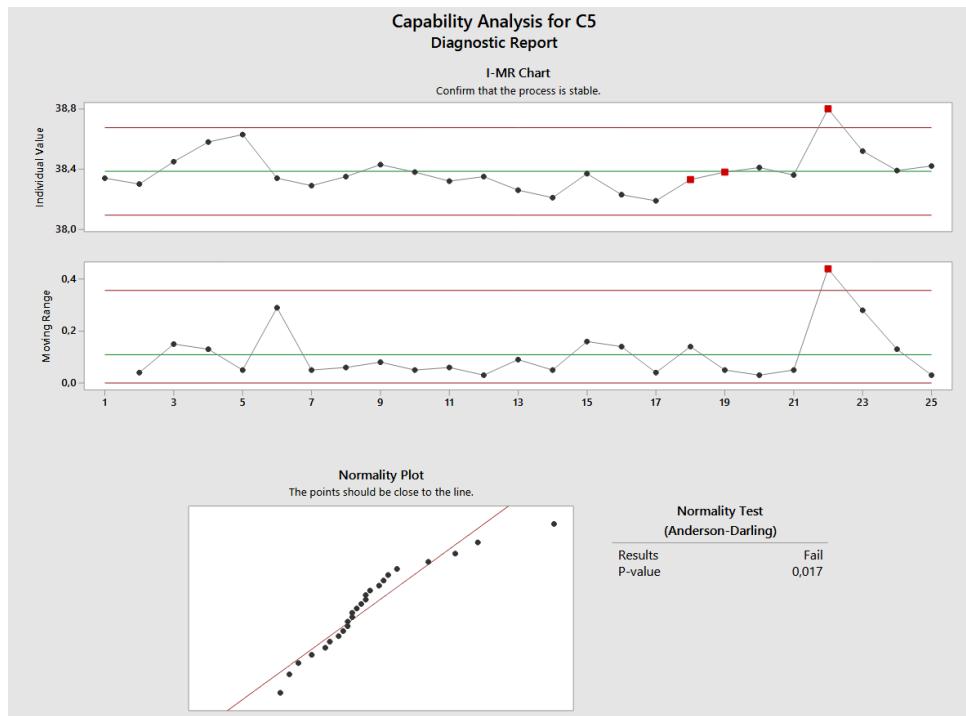


Figura 3.17 – Diagnóstico da análise de capacidade - D5.

Fonte: Elaborada pela autora

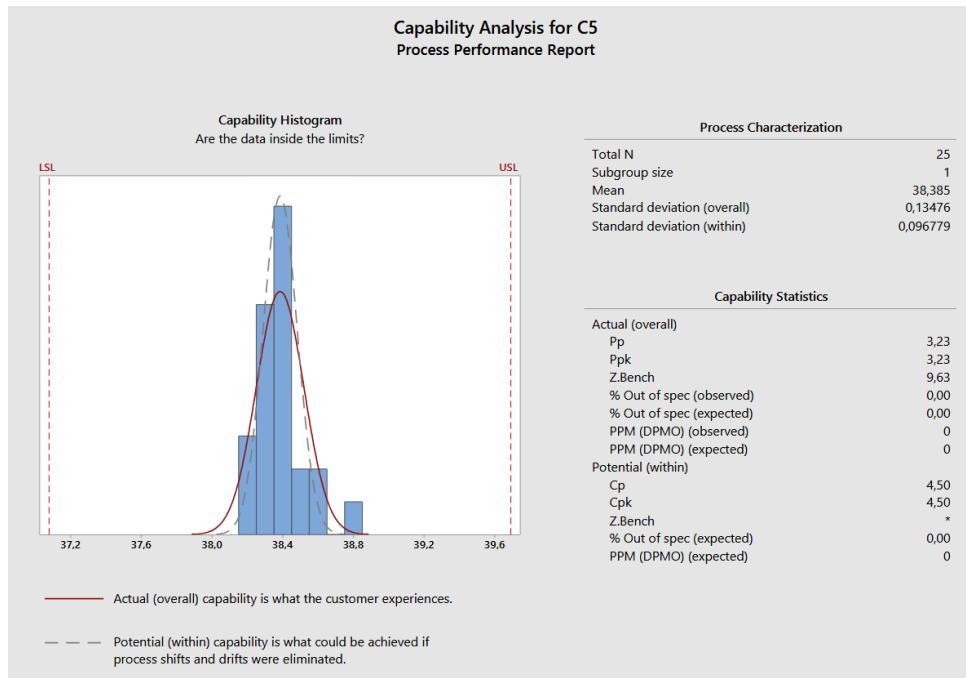


Figura 3.18 – Performance - D5.

Fonte: Elaborada pela autora

A tolerância máxima e mínima utilizada para a análise foi encontrada a partir da [equação \(1.2\)](#), onde os valores medidos de cada diâmetro foram utilizados para encontrar o respectivo desvio padrão (σ). Os valores encontrados estão na [tabela 3.3](#).

Tabela 3.3 – Desvio padrão das medições (valores em mm) e C_p

	Medida 1	Medida 2	Medida 3	Medida 4	Medida 5
Desvio padrão (σ)	0.243 94	1.277 34	2.076 536	0.2156	0.435 824
C_p	2.41	5.53	7.06	2.27	3.23

Fonte: Elaborada pela autora

A partir dos C_p obtidos na análise de capacidade, pode-se concluir que o projeto atende as especificações desejadas. De forma geral, pode-se calcular o C_p geral da peça utilizando um estimador quadrático, conforme [equação \(3.1\)](#).

$$C'_p = \sqrt{\frac{C_{p1}^2 + C_{p2}^2 + C_{p3}^2 + C_{p4}^2 + C_{p5}^2}{5}} \quad (3.1)$$

Com isso, encontra-se que $C'_p \approx 4,51 > 1,3$, corroborando para a conclusão citada anteriormente.

3.6.2 Análise de erros geométricos

Por último, foi feito a análise de erros geométricos a partir do valor nominal (V_n) e da média das medidas (M), de cada diâmetro. Tais valores, bem como os respectivos erros geométricos (E_g), podem ser encontrados na [tabela 3.4](#).

Tabela 3.4 – Valores nominais, média dos diâmetros e erros geométricos (em mm)

Diâmetro	Valor Nominal	Média	Erro Geométrico
1	30.0	29.7016	-0.2984
2	30.0	29.5716	-0.4284
3	39.0	38.9484	-0.0516
4	29.0	28.5460	-0.4540
5	39.0	38.3852	-0.6148

Por sua vez, o erro geométrico é calculado a partir da diferença do valor nominal pela média, ou seja:

$$E_g = V_n - M \quad (3.2)$$

4 Fresamento

4.1 Fresamento: Definição e Características

O fresamento é um processo de usinagem por arranque de cavaco no qual uma ferramenta multifacetada rotativa (fresa) remove material de uma peça fixada na mesa da máquina. Segundo [Diniz, Marcondes e Coppini \(2014\)](#), este processo se caracteriza por:

- Movimento rotacional da ferramenta (eixo principal)
- Movimentos lineares de avanço da peça (eixos X, Y, Z)
- Capacidade de produzir superfícies planas, ranhuras, engrenagens e contornos complexos

4.1.1 Classificação do fresamento

Conforme [Costa e Machado \(2018\)](#), o fresamento pode ser classificado em:

Tabela 4.1 – Tipos de fresamento

Tipo	Descrição
Fresamento tangencial	Corte com periferia da fresa
Fresamento frontal	Corte com face da fresa
Fresamento concorrente	Direção de avanço igual à rotação
Fresamento contraconcorrente	Direções opostas

4.1.2 Parâmetros de corte

De acordo com [Groover \(2016\)](#), os principais parâmetros são:

- Velocidade de corte (V_c): $V_c = \frac{\pi \times D \times N}{1000}$ (m/min)
- Avanço por dente (f_z): $f_z = \frac{V_f}{N \times Z}$
- Profundidade de corte (a_p)

Onde:

D Diâmetro da fresa (mm)

N Rotação (rpm)

Z Número de dentes

V_f Velocidade de avanço (mm/min)

4.2 Materiais e parâmetros de usinagem

Para a realização do projeto foi utilizado uma peça bruta de MDF com 250mm de comprimento e de largura e com altura de 15mm. Foi definido também um frame de 175mm×175mm, com 4mm de profundidade, frame esse no qual deveria ser feito com 2 passes de 2mm cada.

A fresa utilizada foi a fresa didática do laboratório GRACO, localizado na Faculdade de Tecnologia da Universidade de Brasília, Brasília/DF. Ela foi configurada para uma velocidade de avanço de 450mm/min e foi utilizado uma ferramenta de 3.5mm de diâmetro.

O zeramento da máquina foi realizado manualmente, a fim de coincidir com o zero da peça, localizado no canto inferior esquerdo no ponto 12,5mm×12,5mm, ponto esse no qual corresponde ao ponto inicial do frame. Além disso, foi definido um plano de segurança no eixo Z, onde $Z = 5$.

4.3 Projeto

A partir dos requisitos de projeto, que exigiam a presença de contornos e cavidades, e com base nos dados apresentados, foi definido a geometria desejada da peça. Abaixo, na figura 4.1, encontra-se o desenho técnico da peça, feito em papel milimetrado.

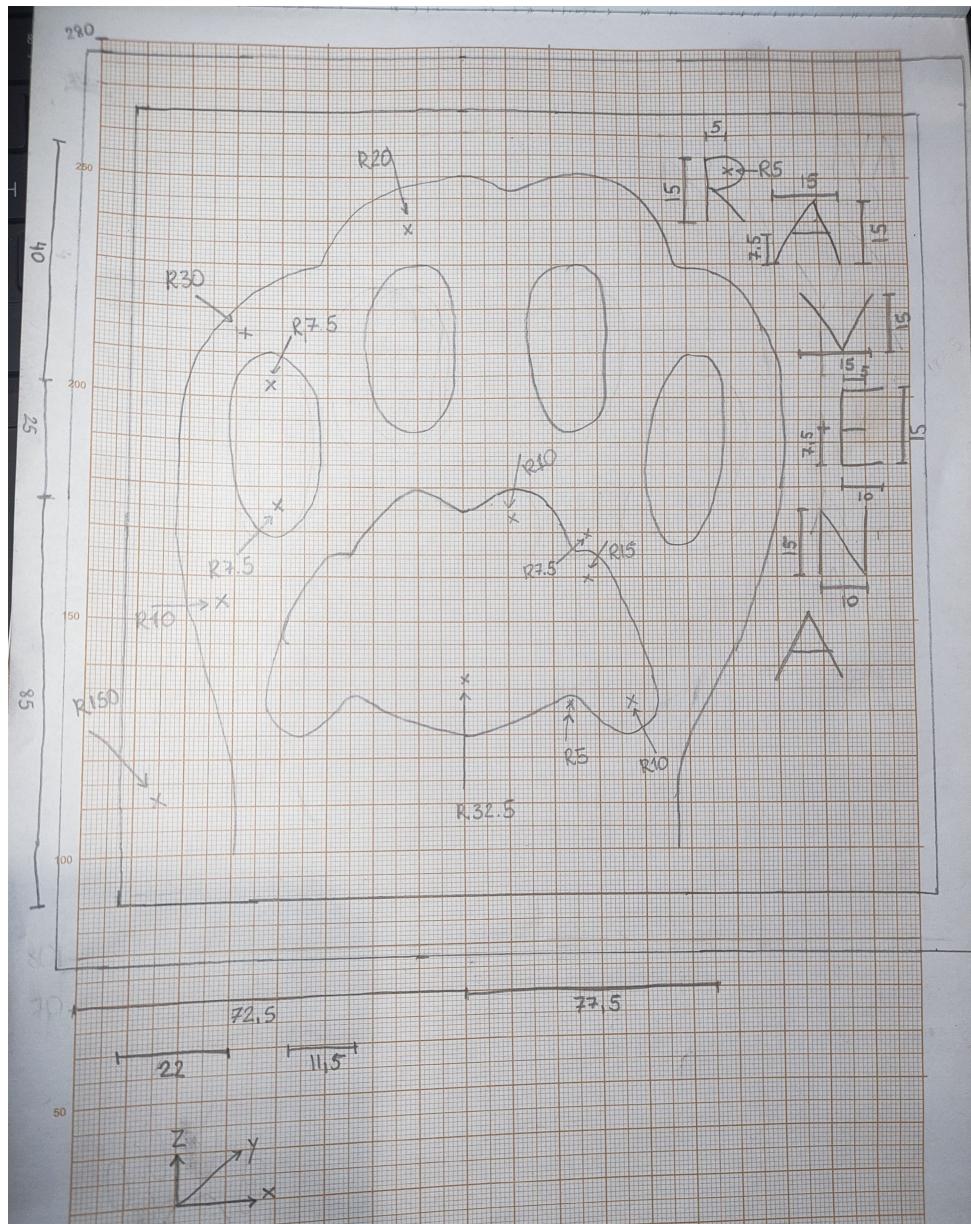


Figura 4.1 – Desenho técnico da peça - fresamento.

Fonte: Elaborada pela autora

Devido a limitação do tamanho da folha, não foi possível realizar perfeitamente o desenho com a peça bruta.

4.4 Planejamento de Usinagem

O primeiro passo do fresamento consiste na realização do contorno do frame. As ranhuras do frame foram feitas em 2 passes, com a remoção de 2mm cada, totalizando 4mm no total.

Posteriormente, foi feito a remoção do material necessário para que a peça final fosse

obtida. Por último, foi realizado o acabamento da cavidade, que consistiu na remoção de qualquer material que não tenha sido removido nos passos anteriores, mas sem alterar a sua geometria.

Para as operações necessárias para o desbaste da peça foram utilizados os comandos G01, que realiza movimentos lineares, G03, que realiza movimentos circulares no sentido anti-horário, e G02, que realiza movimentos circulares no sentido horário. O comando G00 não foi utilizado devido à restrições da máquina. Em geral, foi retirado 2mm de material em cada passada.

Abaixo encontra-se a parte do código referente ao primeiro passe da cavidade. O código completo está disponível no [Github](#).

Código 4.1 – Código do primeiro passe da cavidade - Fresa

```

1 G01 Z5
2 X83 Y130
3 Z-2
4 G02 X91 Y132 R5
5 G02 X96 Y130 R5
6 G01 Y110
7 G02 X91 Y105 R5
8 G02 X83 Y110 R5
9 G01 Y130
10 Z5
11
12 G01 Z5
13 X86 Y130
14 Z-2
15 G02 X91 Y132 R5
16 G02 X93 Y130 R5
17 G01 Y110
18 G02 X91 Y105 R5
19 G02 X86 Y110 R5
20 G01 Y130
21 Z5
22
23 G01 Z5
24 X86 Y130 Z-2
25 G01 X93
26 Y127
27 X86
28 Y124
29 X93
30 Y121
31 X86
32 Y119
33 X93
34 Y116
35 X86
36 Y113
37 X93

```

```
38 Y110
39 X86
40 Y107
41 X93
42 Y105
43 X86
44
45 G01 Z5
46 X80 Y130
47 Z-2
48 G02 X91 Y135 R7.5
49 G02 X98.5 Y130 R7.5
50 G01 Y110
51 G02 X91 Y102.5 R7.5
52 G02 X80 Y110 R7.5
53 G01 Y130
54 Z5
```

4.5 G-code, simulação e usinagem

4.5.1 G-code

Como citado anteriormente, todo o código referente a usinagem no torno encontra-se disponível no [Github](#). É válido ressaltar que o código disponível é o utilizado na simulação no software CNC Simulator, para usinar na máquina do laboratório foi necessário algumas alterações no código.

Tais alterações consistem na remoção de comentários e na remoção do G92 (função que realiza o zeramento da máquina). A remoção do G92 decorre do fato de que o zeramento da máquina foi feito de modo manual.

4.5.2 Simulação

Ao realizar a simulação 3D no CNC Simulator é possível verificar que a geometria resultante da usinagem condiz com o esperado do projeto. Abaixo, na [figura 4.2](#), encontra-se a figura referente a simulação 3D.

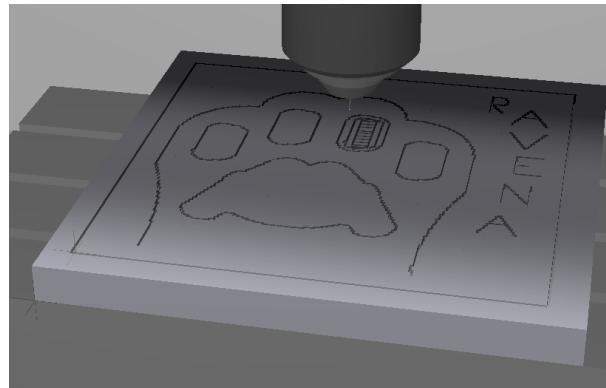


Figura 4.2 – Simulação 3D da usinagem - fresamento.

Fonte: Elaborada pela autora

4.5.3 Usinagem

A partir das etapas anteriores, ou seja, do desenho técnico, G-code e simulações validadas, a peça pôde ser usinada em laboratório. Após a finalização da usinagem, pôde-se concluir que o processo ocorreu conforme o esperado, visto que condiz com o projeto inicial. Abaixo, na [figura 4.3](#), encontra-se a peça finalizada.



Figura 4.3 – Peça finalizada - fresamento.

Fonte: Elaborada pela autora

Durante a usinagem, fez-se necessário a utilização de um aspirador de pó para a remoção dos cavacos gerados. Fez-se também necessário uma etapa de acabamento manual, através do lixamento das ranhuras.

4.6 Dados obtidos, análises e resultados

Com a peça usinada, foram feitas 15 medições entre as paredes externas do frame, para cada eixo (X e Y) com o auxílio de um paquímetro manual. Os valores obtidos podem ser encontrados na [tabela 4.2](#).

Tabela 4.2 – Medições experimentais da peça usinada na fresa (valores em mm)

X (mm)	Y (mm)
177	176
178	177
178	177
178	177
178	177
178	177
178	177
178	177
178	177
178	177
178	177
178	177
178	177
177	176

Fonte: Elaborada pela autora

4.6.1 Análise de Capabilidade

Para a realização da análise de capabilidade, foi utilizado o software Minitab. Foi feito uma análise para cada eixo a partir dos dados da [tabela 4.2](#). Abaixo, da [figura 4.4](#) a [figura 4.9](#), encontram-se os resultados obtidos para cada eixo.

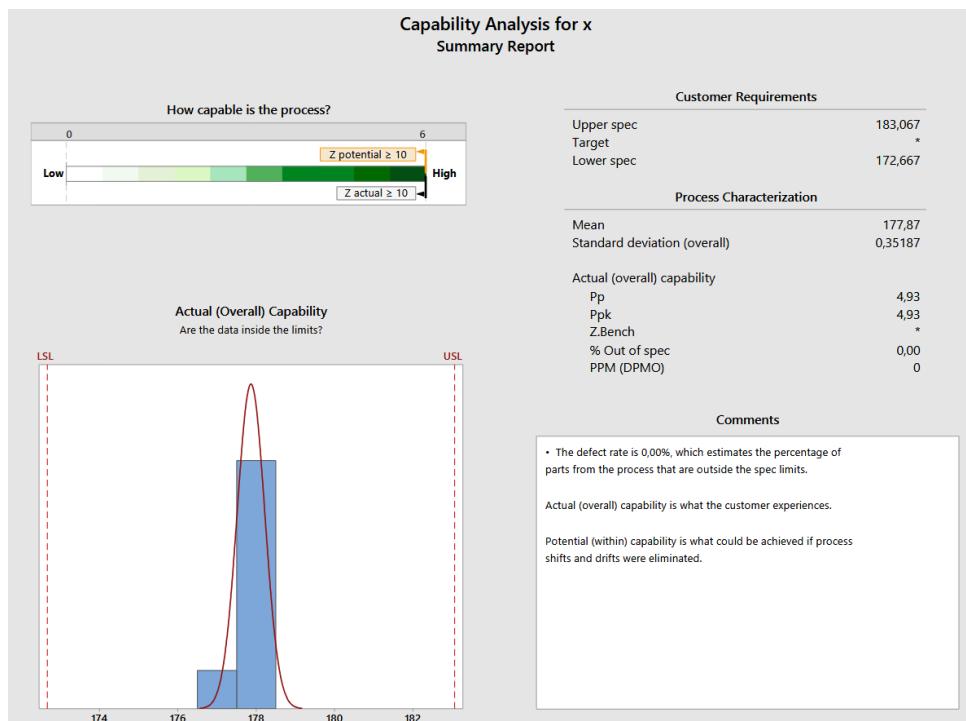


Figura 4.4 – Resumo da análise de capacidade - X.

Fonte: Elaborada pela autora

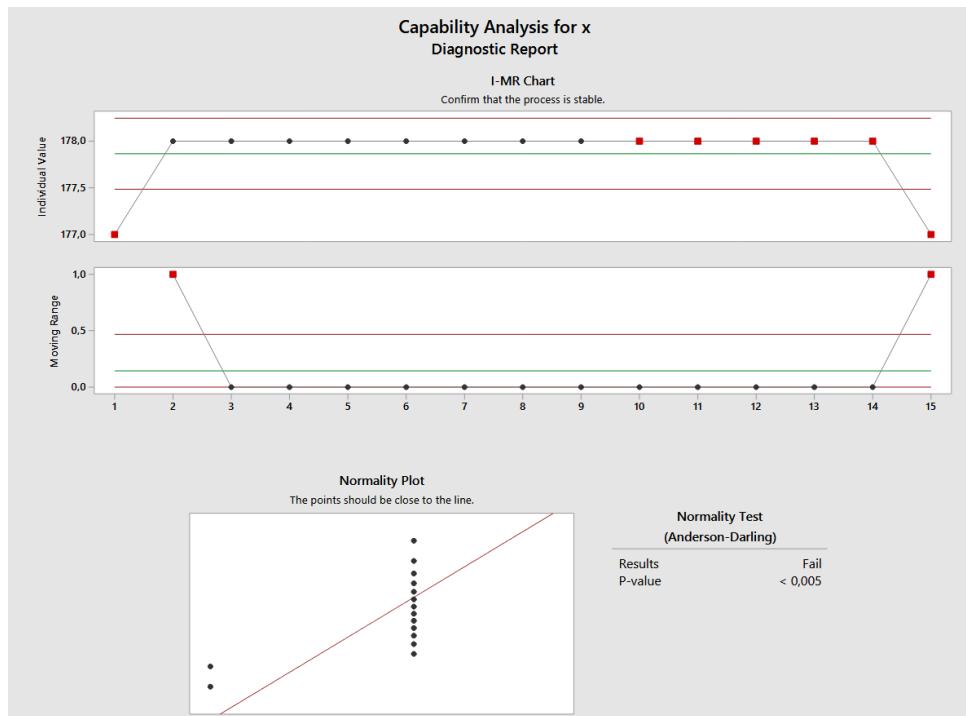


Figura 4.5 – Diagnóstico da análise de capacidade - X.

Fonte: Elaborada pela autora

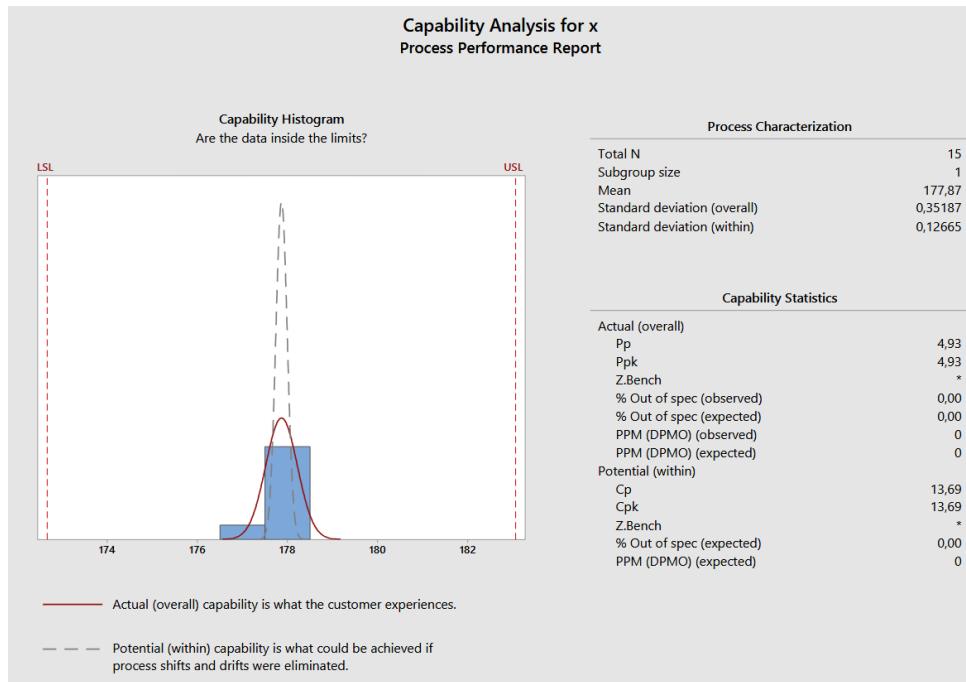


Figura 4.6 – Performance - X.

Fonte: Elaborada pela autora

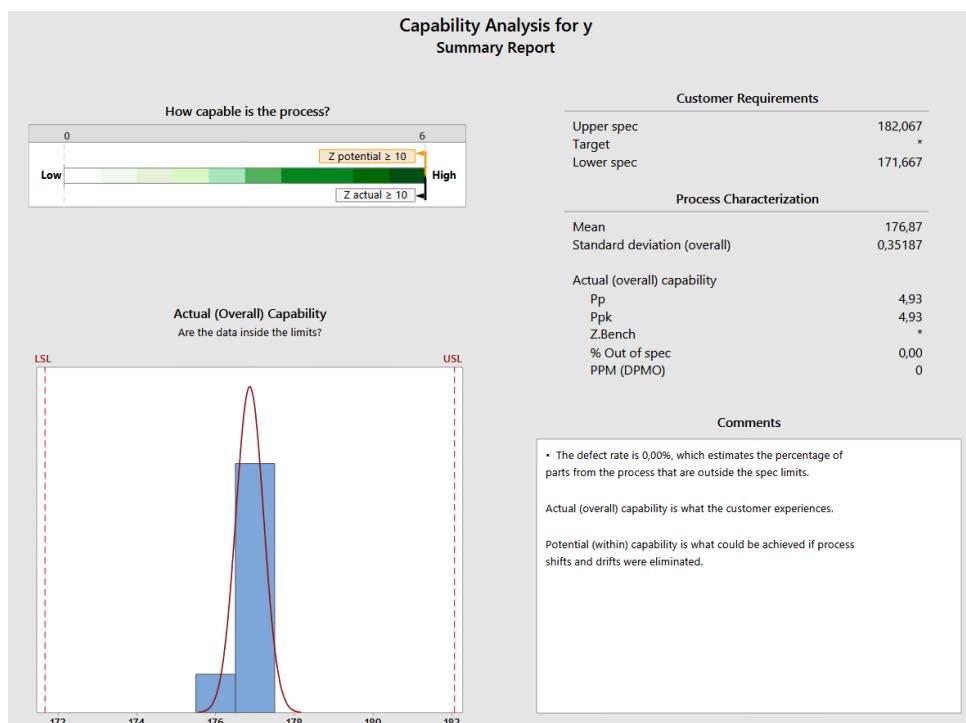


Figura 4.7 – Resumo da análise de capacidade - Y.

Fonte: Elaborada pela autora

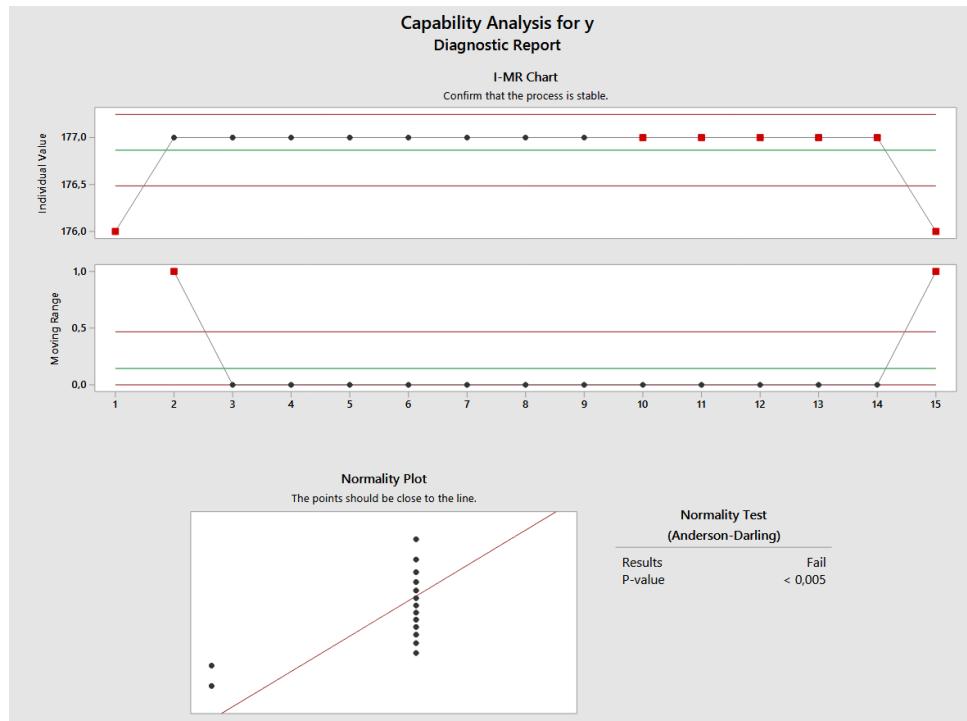


Figura 4.8 – Diagnóstico da análise de capacidade - Y.

Fonte: Elaborada pela autora

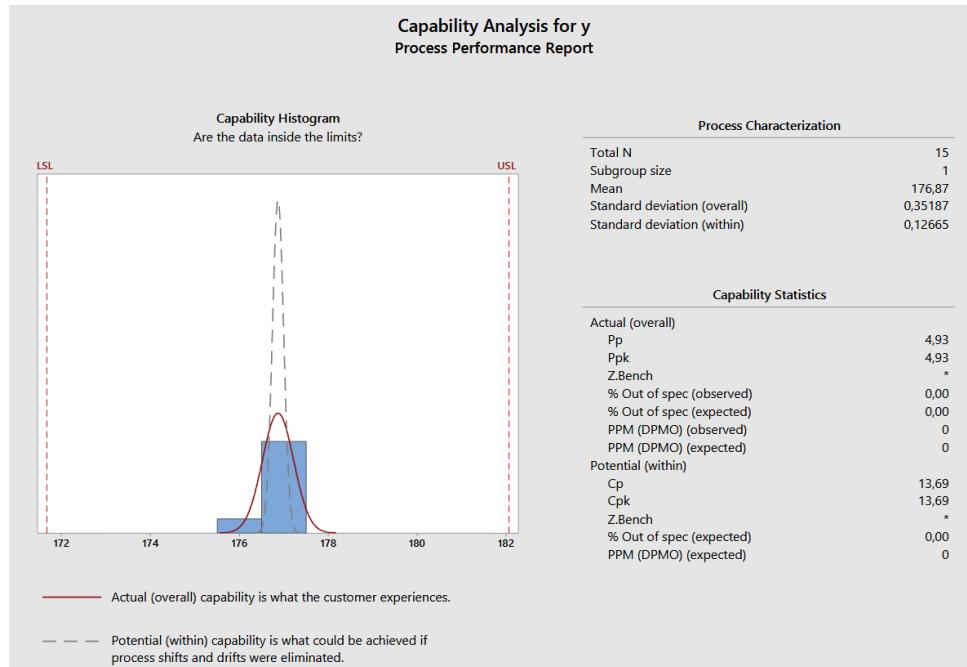


Figura 4.9 – Performance - Y.

Fonte: Elaborada pela autora

A tolerância máxima e mínima utilizada para a análise foi encontrada a partir da equação (1.2), onde os valores medidos de cada eixo foram utilizados para encontrar o respectivo desvio padrão (σ). Os valores encontrados estão na tabela 4.3.

Tabela 4.3 – Desvio padrão das medições (valores em mm) e C_p

	X	Y
Desvio padrão (σ)	1.733 33	1.733 33
C_p	4.93	4.93

Fonte: Elaborada pela autora

A partir dos C_p obtidos na análise de capacidade, pode-se concluir que o projeto atende as especificações desejadas. De forma geral, pode-se calcular o C_p geral da peça utilizando um estimador quadrático, conforme [equação \(4.1\)](#).

$$C'_p = \sqrt{\frac{C_{pX}^2 + C_{pY}^2}{2}} \quad (4.1)$$

Com isso, encontra-se que $C'_p \approx 4,93 > 1,3$, corroborando para a conclusão citada anteriormente.

4.6.2 Análise de erros geométricos

Por último, foi feito a análise de erros geométricos a partir do valor nominal (V_n) e da média das medidas (M), de cada diâmetro. Tais valores, bem como os respectivos erros geométricos (E_g), podem ser encontrados na [tabela 4.4](#).

Tabela 4.4 – Valores nominais, média dos diâmetros e erros geométricos (em mm)

Eixo	Valor Nominal	Média	Diferença
X	175	177.866 666 7	2.866 666 7
Y	175	176.866 666 7	1.866 666 7

Por sua vez, o erro geométrico é calculado a partir da diferença do valor nominal pela média, ou seja:

$$E_g = V_n - M \quad (4.2)$$

5 Conclusões

Baseado nos resultados obtidos pelas análises de capacidade e pelas análises de erros geométricos, conclui-se que as peças possuem qualidade suficiente, uma vez que ambos os C_p encontrados foram maior do que 1,3. Pode-se concluir também que as máquinas didáticas utilizadas eram satisfatórias.

Referências

- COSTA, E. S.; MACHADO, R. **Tecnologia da Usinagem dos Materiais**. 9. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2018. Citado nas pp. [6](#) e [21](#).
- DINIZ, A. E.; MARCONDES, F. C.; COPPINI, N. L. **Tecnologia da Usinagem dos Materiais**. 7. ed. São Paulo: Artliber, 2014. Citado nas pp. [6](#) e [21](#).
- GROOVER, M. P. **Fundamentos de Manufatura Moderna: Materiais, Processos e Sistemas**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2016. Citado nas pp. [6](#) e [21](#).

