

**UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA TECNOLOGIA
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

FABIO LUIS ARGENTA

**AVALIAÇÃO DA USINABILIDADE DOS AÇOS DIN 1.2711 E UDDEHOLM NIMAX
ATRAVÉS DA USINAGEM COM FERRAMENTAS PEQUENAS**

**CAXIAS DO SUL
2015**

FABIO LUIS ARGENTA

**AVALIAÇÃO DA USINABILIDADE DOS AÇOS DIN 1.2711 E UDDEHOLM NIMAX
ATRAVÉS DA USINAGEM COM FERRAMENTAS PEQUENAS**

Trabalho de conclusão da disciplina de Estágio 2 (MEC0258D) apresentado à Universidade de Caxias do Sul como pré-requisito para a obtenção do título de Engenheiro Mecânico.

Área de concentração: Fabricação
Supervisor: Prof. MSc. Juliano Marcon Oliveira

**CAXIAS DO SUL
2015**

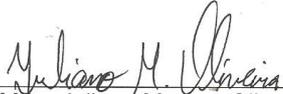
FABIO LUIS ARGENTA

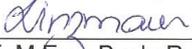
**AVALIAÇÃO DA USINABILIDADE DOS AÇOS DIN 1.2711 E UDDEHOLM NIMAX
ATRAVÉS DA USINAGEM COM FERRAMENTAS PEQUENAS**

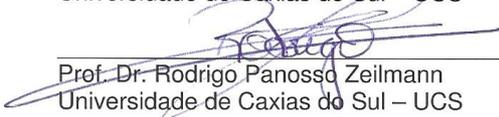
Trabalho de conclusão da disciplina de estágio 2 (MEC0258D) apresentado à Universidade de Caxias do Sul como pré-requisito para a obtenção do título de Engenheiro Mecânico.

Aprovado em: 25/11/2015

Banca Examinadora


Prof. M.Sc. Juliano Marcon Oliveira
Universidade de Caxias do Sul – UCS


Prof. M.Eng. Paulo Roberto Linzmaier
Universidade de Caxias do Sul – UCS


Prof. Dr. Rodrigo Panosso Zeilmann
Universidade de Caxias do Sul – UCS

AGRADECIMENTOS

A pessoa que mais me ajudou neste trabalho de estágio, meu orientador Professor Msc. Juliano Marcon Oliveira, pelos seus ensinamentos, disponibilidade e paciência.

A JR Oliveira, pela disponibilidade de recursos sem os quais a execução deste trabalho seria muito difícil.

Aos professores do curso de Engenharia Mecânica, os quais foram fundamentais na minha formação.

Aos meus familiares, em especial minha mãe Dinamar, a quem dedico este sonho realizado.

A minha esposa Fabrícia, por tudo o que fez nos momentos que precisei de ajuda. Obrigado por sonhar e voar comigo.

A todos aqueles que, de uma forma ou outra, me ajudaram para esta conquista.

RESUMO

O estudo deste projeto teve como foco analisar e avaliar a usinabilidade dos aços Din1.2711 e Uddeholm NIMAX através da usinagem com ferramentas pequenas. Foram realizados ensaios comparativos entre os materiais e com aplicação de fluido lubrificante na forma MQL e usinando-se a seco. Posteriormente foram avaliados os diferentes tipos de desgaste, e a presença de avarias nas doze ferramentas, bem como a qualidade superficial dos corpos de prova. Dentre os resultados obtidos o aço Nimax proporcionou uma melhor integridade nas ferramentas utilizadas para usinagem à seco, visto que o lascamento ocorreu apenas na ferramenta 3 enquanto as três ferramentas que usinaram DIN 1.2771 apresentaram lascamento em seus gumes. Quanto à usinagem MQL ambos aços comportaram-se de forma semelhante visto que, ocorreu o lascamento de uma ferramenta em cada corpo de prova, sendo a fresa 2 no NIMAX e a fresa 1 no DIN 1.2711. Em ambos os casos os valores de desgaste de flanco situaram-se muito próximos, sendo o uso de parâmetros de corte maximizados a principal limitação para um resultado com maior precisão. Observando os resultados em relação aos desgastes e avarias, percebe-se uma vantagem do aço NIMAX na usinagem a seco. Nos ensaios de rugosidade realizados nos corpos de prova usinados à seco, observou-se valores de Ra próximos para ambos os materiais sendo, $1,35\mu\text{m}$ para o NIMAX e $1,208\mu\text{m}$ para o DIN 1.2711. Quanto aos valores de $R_{\text{máx}}$, o DIN 1,2711 obteve o menor valor, $8,308\mu\text{m}$, versus $9,01\mu\text{m}$ encontrados no NIMAX. para ambos os casos considerou-se os valores no final da usinagem. Devido as propriedades lubrificantes do fluido lubrificante, os valores de Ra e $R_{\text{máx}}$ encontrados na usinagem MQL foram inferiores aos encontrados na usinagem a seco porém muito próximos entre os materiais. Deste modo concluiu-se que a usinagem do aço NIMAX apresentou um melhor desempenho, visto que, foi o material que acarretou menos danos às ferramentas de corte.

Palavras-chave: Usinagem. Fresamento. DIN 1.2711. NIMAX

Áreas do conhecimento: Fabricação. Moldes Plásticos.

ABSTRACT

The study of this project was focused on analyzing and to evaluate the usinabilidade of the steels Din1.2711 and Uddeholm NIMAX through the milling with small tools. Comparative tests were performed among the materials and with application of cutting fluid in the form MQL and dry milling. Later they were evaluated the different wear and tear types, and the presence of damages in the twelve tools, as well as the superficial quality of the test bodies. Among the obtained results the steel Nimax provided a better integrity in the tools used for dry milling, because the chipping just happened in the tool 3 while the three tools that milling DIN 1.2771 presented chipping in their edges. As for the MQL milling, both steels behaved in a seen similar way that, it happened the chipping of one tool in each proof body, being the tool 2 in NIMAX and the tool 1 in DIN 1.2711. In both cases the values of flank wear located very close, being the use of cut parameters maximized the main limitation for a result with larger precision. Observing the results in relation to wear and damage and, it is noticed an advantage of the steel NIMAX in the dry milling. In the roughness tests accomplished in the test bodies with dry milling, it was observed close values of Ra for both materials being, $1,35\mu\text{m}$ for NIMAX and $1,208\mu\text{m}$ for DIN 1.2711. as for the values of Rmáx, DIN 1,2711 obtained the smallest value, $8,308\mu\text{m}$, versus $9,01\mu\text{m}$ found in NIMAX. for both cases was considered the values in the end of the milling. Owed the lubricating properties of the cutting fluid, the values of Ra and Rmáx found in the MQL milling were inferior to the found in the dry milling, however very close among the materials. This way it ended her that the milling of the steel NIMAX presented a better acting, because, it was the material that it resulted in less damages to the cut tools.

Keywords: Machining. Milling. DIN 1.2711. NIMAX

Areas of expertise: Manufacturing. Plastic molds.

Lista de Figuras

Figura 1 – Consumo de polímeros no Brasil em reais	15
Figura 2 – Macho de um molde de injeção com rasgos de nervuras	16
Figura 3 – Molde do convergedor frontal FIAT	17
Figura 4 – Formas de fresamento frontal	18
Figura 5 – Fresamento tangencial discordante	20
Figura 6 – Fresamento tangencial concordante	21
Figura 7 – Evolução na fabricação de moldes e matrizes	22
Figura 8 – Profundidade de corte entre a usinagem convencional e HSM	23
Figura 9 – Incerto de metal duro multi-revestimento GC 4035	26
Figura 10 – Desgaste frontal ou de flanco	27
Figura 11 – Mecanismo de difusão na saída da ferramenta	28
Figura 12 – Lascamento na aresta de uma ferramenta de corte.....	28
Figura 13 – Deformação plástica na aresta de corte.....	29
Figura 14 –Aresta de corte com presença de trincas.....	29
Figura 15 – Ferramenta com aresta de corte postiça (APC).....	30
Figura 16 – Quebra da ferramenta.....	30
Figura 17 – Desgaste de flanco em inserto.....	34
Figura 18 – Variação da força de usinagem	34
Figura 19 – Método do desvio médio aritmético (Ra)	35
Figura 20 – Método das irregularidades dos 10 pontos (Rz).....	36
Figura 21 – Método da altura máxima das irregularidades (Rmax).....	36
Figura 22 – Molde de Injeção e seus componentes	37
Figura 23 – Microestrutura do aço DIN 1.2711 em seu estado de fornecimento, atacado com Böhler Picral	40
Figura 24 – Microestrutura do aço NIMAX em seu estado de fornecimento, atacado com Böhler Picral.....	40
Figura 25 – Influência da espessura na peça injetada	42
Figura 26 – Base com nervuras	43
Figura 27 – Fluxograma para execução do experimento	44
Figura 28 – Corpo de prova fixo por morsa na mesa da fresadora	45
Figura 29 – Fresa de topo dois cortes Dormer S922-5RG1376728	46
Figura 30 – Estratégia de usinagem.....	47

Figura 31 – Trajetória da ferramenta (detalhe).....	47
Figura 32 – Centro de usinagem vertical AWEA AF 610.....	48
Figura 33 – Cabeçote multiplicador Mandaula modelo MV-8C	48
Figura 34 – Ensaio no corpo de provas preliminar	49
Figura 35 – Corpo de provas cortado para medição da rugosidade.....	50
Figura 36– Medição de ferramenta utilizando estereoscópio trinocular	50
Figura 37– Desgaste de flanco. Fresa 1 usinando NIMAX à seco, ampliada 45x.....	53
Figura 38– Desgaste de flanco. Fresa 2 usinando NIMAX à seco, ampliada 45x.....	54
Figura 39– Lascamento. Fresa 3 usinando NIMAX à seco, ampliada 45x.....	54
Figura 40– Lascamento. Fresa 1 usinando DIN 1.2711 à seco, ampliada 45x	55
Figura 41– Lascamento. Fresa 2 usinando DIN 1.2711 à seco, ampliada 45x	55
Figura 42– Lascamento. Fresa 3 usinando DIN 1.2711 à seco, ampliada 45x	56
Figura 43– Desgaste de flanco. Fresa 1 usinando NIMAX, utilizando MQL, ampliada 45x.....	56
Figura 44– Desgaste de flanco. Fresa 2 usinando NIMAX, utilizando MQL, ampliada 45x.....	57
Figura 45– Desgaste de flanco. Fresa 3 usinando NIMAX, utilizando MQL, ampliada 45x.....	57
Figura 46– Lascamento. Fresa 1 usinando DIN 1.2711, utilizando MQL, ampliada 45x.....	58
Figura 47– Desgaste de flanco. Fresa 2 usinando DIN 1.2711, utilizando MQL, ampliada 45x.....	58
Figura 48– Desgaste de flanco. Fresa 3 usinando DIN 1.2711, utilizando MQL, ampliada 45x.....	59
Figura 49– Gráfico comparativo da rugosidade no início e fim da usinagem para o NIMAX usinado a seco.....	60
Figura 50– Gráfico comparativo da rugosidade no início e fim da usinagem para o DIN 1.2711 usinado a seco	60
Figura 51– Gráfico comparativo da rugosidade no início e fim da usinagem para o NIMAX com MQL.....	61
Figura 52– Gráfico comparativo da rugosidade no início e fim da usinagem para o DIN 1.2711 com MQL.....	62
Figura 53– Gráfico comparativo da rugosidade no início e fim da usinagem para o DIN 1.2711 com MQL e à seco	62

Figura 54– Gráfico comparativo da rugosidade no início e fim da usinagem para o Nimax e com MQL e à seco	63
Figura 55– Gráfico comparativo da rugosidade no início e fim da usinagem entre Nimax e DIN 1.2711 usinados à seco	63
Figura 56– Gráfico comparativo da rugosidade no início e fim da usinagem entre Nimax e DIN 1.2711 com MQL.....	64

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Velocidades de corte para diversas condições de utilização	23
Tabela 2 – Avanço por dente para diversas condições de utilização	24
Tabela 3 – Profundidades de corte para diversas condições de utilização	24
Tabela 4 – Composição química dos aços ferramenta	39
Tabela 5 – Composição química do aço Nimax	41
Tabela 6 – Parâmetros de corte recomendados	46
Tabela 7 – Desgaste e avarias nas ferramentas de corte	52

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CBN	Nitreto de Bóro Cúbico
D	Diâmetro da fresa
DIN	<i>Deutsches Institut für Normung</i>
EDM	<i>Electrical Discharge Machining</i>
Fz	Avanço por dente
HSM	<i>High Speed Machining</i>
MQL	Mínima quantidade de lubrificante
n	rotação do eixo árvore
TiC	Carboneto de Titânio
TiN	Nitreto de Titânio
TiCN	Carbonitreto de Titânio
TiAlN	Nitreto de Titânio Alumínio
Vc	Velocidade de corte
Vf	Avanço da mesa ou velocidade de avanço
Z	Número de dentes da ferramenta
μm	Micrometro
λ	Ângulo de cunha da ferramenta
γ	Ângulo de incidência da ferramenta

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO	15
1.2	JUSTIFICATIVA DO ESTÁGIO	17
1.3	ÁREA DE ATUAÇÃO	18
1.4	OBJETIVOS	18
1.4.1	Objetivo geral	18
1.4.2	Objetivos específicos	18
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	19
2.1	USINAGEM	19
2.2	FRESAMENTO	19
2.3	PARÂMETROS DE CORTE	22
2.4	CARACTERÍSTICAS DAS FERRAMENTAS NO FRESAMENTO HSM	25
2.4.1	Usinagem HSM com ferramentas de pequeno diâmetro	26
2.5	TIPOS DE DESGASTE E AVARIAS DA FERRAMENTA	27
2.6	FLUIDOS LUBRIFRIGERANTES NA USINAGEM HSM	31
2.6.1	Tipos de Fluido Lubrificante	31
2.7	USINABILIDADE	32
2.7.1	Crítérios de Usinabilidade	33
2.7.2	Ensaio de Rugosidade	35
2.7.3	Parâmetros da Rugosidade	35
2.8	MOLDES	37
2.8.1	Materiais para Moldes	38
2.9	PRODUTOS PLÁSTICOS	41
3	MÉTODOS E MATERIAIS	44
3.1	ENSAIO DE USINAGEM	44
3.1.1	Procedimento experimental	45
3.2	CORPO DE PROVA	46
3.3	FERRAMENTA	47
3.4	ESTRATÉGIA DE USINAGEM E PARÂMETROS DE CORTE	46
3.5	FLUIDO LUBRIFRIGERANTE	47
3.6	MÁQUINA	47
3.7	SPINDLE	48

3.8	RUGOSÍMETRO.....	48
3.9	MICROSCÓPIO ÓTICO	49
3.10	DESCRIÇÃO DOS ENSAIOS DE USINAGEM.....	49
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	52
4.1	AVALIAÇÃO DAS FERRAMENTAS UTILIZADAS NA USINAGEM À SECO	53
4.1.1	NIMAX	53
4.1.2	DIN 1.2711	55
4.2	AVALIAÇÃO DAS FERRAMENTAS UTILIZADAS NA USINAGEM MQL.....	56
4.2.1	NIMAX.....	56
4.2.2	DIM 1.2711	58
4.3	AVALIAÇÃO DA RUGOSIDADE GERADA NA USINAGEM À SECO.....	59
4.3.1	NIMAX	59
4.3.2	DIN 1.2711	60
4.4	AVALIAÇÃO DA RUGOSIDADE GERADA NA USINAGEM MQL.....	61
4.4.1	NIMAX.....	61
4.4.2	DIN 1.2711	61
4.5	AVALIAÇÃO DA RUGOSIDADE GERADA ENTRE A USINAGEM À SECO E MQL.....	62
4.5.1	DIN1.2711	62
4.5.2	NIMAX	63
4.6	AVALIAÇÃO DA RUGOSIDADE GERADA ENTRE OS MATERIAIS.....	63
4.6.1	USINAGEM À SECO.....	64
4.6.2	USINAGEM MQL	64
5	CONCLUSÃO	63
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	65
	ANEXO 01- INFORMATIVO TÉCNICO NIMAX.....	68
	ANEXO 02- INFORMATIVO TÉCNICO DIN 1.2711	70
	ANEXO 03- FERRAMENTA DE CORTE	71
	ANEXO 04- FLUIDO LUBRIFRIGERANTE	72
	APÊNDICE A - MEDIÇÕES AÇO NIMAX USINADO À SECO	73
	APÊNDICE B - MEDIÇÕES AÇO DIN 1.2711 USINADO À SECO.....	74
	APÊNDICE C - MEDIÇÕES AÇO NIMAX USINADO COM MQL.....	75

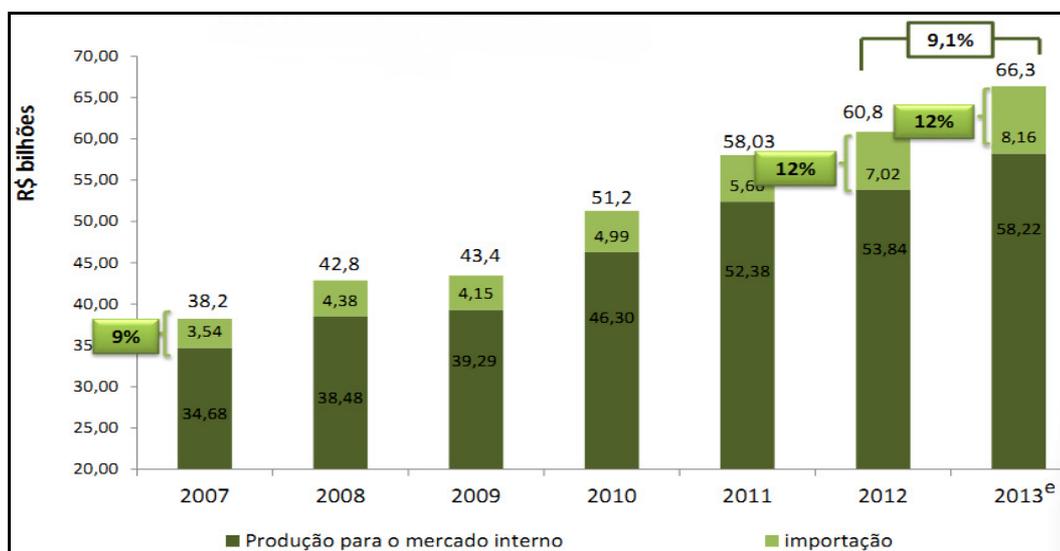
APÊNDICE D - MEDIÇÕES AÇO DIN 1.2711 USINADO COM MQL	76
APÊNDICE E - PERFIS DE RUGOSIDADE- AÇO NIMAX USINADO À SECO	77
APÊNDICE F - PERFIS DE RUGOSIDADE- AÇO DIN 1.2711 USINADO À SECO	83
APÊNDICE G - PERFIS DE RUGOSIDADE- AÇO NIMAX USINADO COM MQL ..	89
APÊNDICE H - PERFIS DE RUGOSIDADE- AÇO DIN 1.2711 USINADO COM MQL	95

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

Com a crescente utilização dos polímeros, cada vez mais, torna-se comum sua aplicação em diversos segmentos industriais. Para que sua utilização seja possível, estes componentes poliméricos necessitam utilizar-se de nervuras internas para reforço estrutural, e assim permitir que os mesmos tenham condições de suportar os carregamentos para os quais foram projetados. A figura 1 ilustra o consumo de polímeros no Brasil no Ano de 2013.

Figura 1 – Consumo de polímeros no Brasil em reais



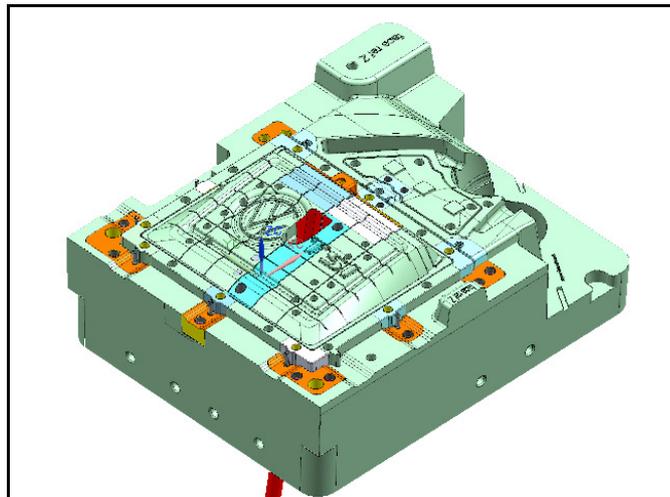
Fonte: IBGE:PIM-PF/ PIA empresa (2013).

Segundo Harada (2004), com a evolução dos polímeros também houve uma grande evolução no segmento dos aços especiais. Cada vez mais, estão sendo desenvolvidas novas ligas, a fim de, proporcionarem melhorias nas propriedades referentes a fadiga térmica, transferência de calor e resistência ao desgaste, propriedades estas com vital importância na indústria de moldes. Outra propriedade não menos importante, pelo fato de não ter influência direta na vida útil do molde, mas sim, no custo de fabricação do mesmo, é a usinabilidade. Esta propriedade compara a facilidade na usinagem de um material em relação a outro tomado como referência.

Para a confecção de um molde utilizam-se vários processos de fabricação, dentre os quais merecem destaque o fresamento HSM e o processo EDM. Sua utilização é vital, devido as grandes complexidades geométricas e a demanda de tempo recorrente na usinagem de cavidades.

Para o fresamento de ranhuras através do processo HSM, como no macho apresentado na figura 2, são utilizadas ferramentas de diâmetros pequenos, geralmente (1 mm a 4 mm), trabalhando-se com grandes velocidades de corte. Isto permite a usinagem de aços endurecidos com avanços entre quatro e seis vezes maiores do que em processos convencionais. Essa condição permite que os tempos de usinagem sejam reduzidos em grande quantidade, bem como elimina-se por completo a necessidade da remoção de material por meio do processo EDM. Esta redução de tempo tem influência direta nos custos de fabricação do ferramental (Sandvik 2004).

Figura 2 – Macho de um molde de injeção com rasgos de nervuras



Fonte: INOVA INDÚSTRIA DE MATRIZES (2014).

A proposta deste trabalho é avaliar a usinabilidade entre os aços DIN 1.2711 e *Uddeholm NIMAX*. Ambos materiais pertencem ao grupo dos aços ferramenta pré-endurecidos, porém através de processos distintos. A têmpera, (DIN 1.2711), e o forjamento com resfriamento contínuo, (NIMAX), proporcionam características particulares à cada material. Através da usinagem de ranhuras, será feita uma análise do desgaste e avarias na ferramenta e do acabamento superficial, a fim de, determinar qual o material mais adequado para o processo.

1.2 JUSTIFICATIVA DO ESTÁGIO

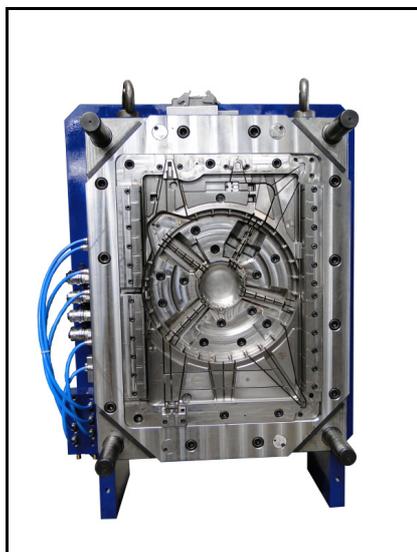
Grande parte da usinagem em moldes é realizada utilizando-se ferramentas de pequenos diâmetros, para permitir a geração de geometrias com grande complexidade. Por conseqüência deste e de outros fatores a *Uddeholm* apresenta o aço Nimax como uma evolução ao DIN 1.2711, com usinabilidade e propriedades mecânicas melhoradas.

A idéia que motivou este estudo foi o fato de ambos os aços serem fornecidos pré-endurecidos, visto que o aço P20 anteriormente utilizado como alternativa ao DIN 1.2711 possui usinabilidade superior, porém dureza e resistência mecânica inferiores, características estas que reduzem significativamente a vida do molde e por conseqüência a qualidade do produto injetado.

1.3 ÁREA DE ATUAÇÃO

Com quase trinta anos de atuação no mercado de moldes a JR Oliveira Indústria Metalúrgica iniciou suas atividades no segmento de produção no ramo metal mecânico. Em virtude do conhecimento e experiência de seu proprietário, a empresa passou a atuar no segmento de moldes para injeção de plásticos, onde especializou-se, tornando-se fornecedora de grandes empresas do ramo automobilístico. Na figura 3 observa-se um molde do segmento automotivo.

Figura 3 – Molde do convergedor frontal FIAT



Fonte: JR OLIVEIRA (2015).

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo geral

Avaliar a usinabilidade entre os aços DIN 1.2711 e *Uddeholm Nimax* na usinagem de ranhuras, através da análise do desgaste e avarias na ferramenta de corte, bem como avaliar a qualidade do acabamento superficial e comparar também a forma de aplicação de fluido lubrificante, MQL e a seco.

1.4.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos do trabalho são:

- a) comparar as aplicações de fluido MQL e a seco durante a usinagem em ambos os materiais;
- b) avaliar o desgaste da ferramenta e a qualidade superficial;

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 USINAGEM

Usinagem é um conjunto de operações destinadas a conferir forma, dimensões ou acabamento a uma peça através da remoção de material e formação de cavaco (FERRARESI, 1970).

2.2 FRESAMENTO

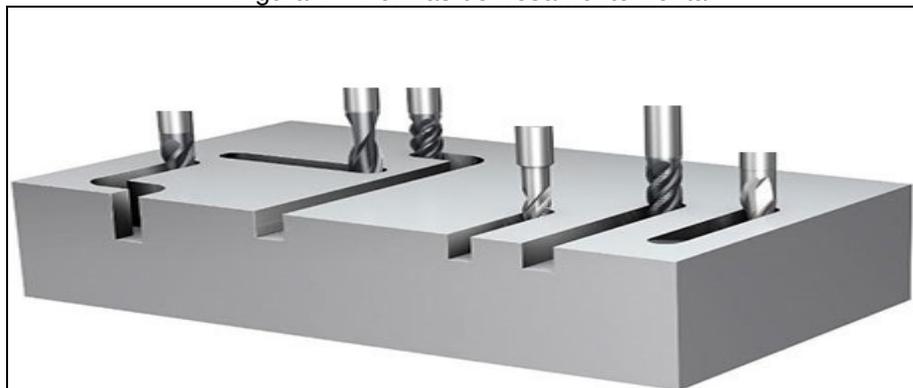
No processo de fresamento, a remoção de material é efetuada de forma intermitente, pelo movimento rotativo de uma ferramenta geralmente multicortante. Esta característica confere a possibilidade de criação das mais variadas formas de geometrias superficiais e tipos de acabamento na peça.

Os tipos fundamentais de fresamento segundo a disposição dos gumes ativos da ferramenta são:

- a) Fresamento Frontal (*face milling*); e
- b) Fresamento Tangencial (*slab milling*).

O fresamento frontal, é realizado através da combinação entre os gumes localizados na periferia e na parte frontal da ferramenta. Neste caso a superfície obtida geralmente encontra-se em um ângulo reto em relação ao eixo da ferramenta. Devido as suas características o fresamento frontal proporciona alta produtividade e deve ser escolhido sempre que possível, figura 4 (STEMMER, 2005).

Figura 4 – Formas de fresamento frontal



Fonte: SANDVIK (2014).

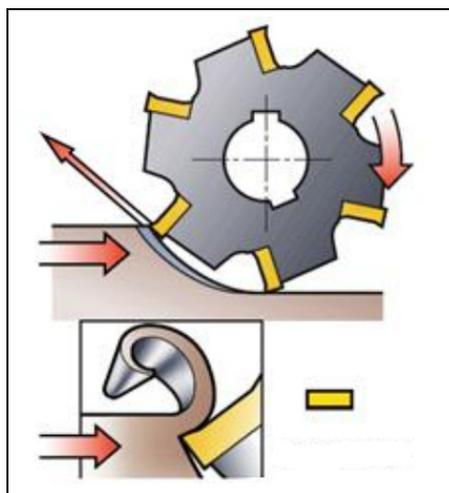
No fresamento tangencial a superfície é obtida através dos gumes quando estes encontram-se em uma posição lateral em relação ao deslocamento da peça. Em consequência, a superfície produzida encontra-se geralmente em um ângulo paralelo em relação ao eixo da ferramenta. O fresamento tangencial, pode ser realizado através de duas formas distintas:

- a) fresamento Tangencial Discordante; e
- b) fresamento Tangencial Concordante (STEMMER, 2005).

Durante o processo de fresamento tangencial discordante, o avanço de corte e o sentido de rotação da ferramenta ocorrem em sentidos opostos. A componente vertical da força de usinagem cresce de zero até um valor máximo. Como o gume da ferramenta é forçado para dentro da peça, ocorre grande aumento na força de atrito entre o gume e o material. Como consequência, ocorre a presença de deformações plásticas e encruamento na superfície de corte, reduzindo a vida útil do molde.

Outra situação apresentada no fresamento tangencial discordante, diz respeito componente vertical da força de usinagem, a qual, em seu instante inicial, empurram a peça contra a mesa da fresadora, e no momento final do corte encontra-se em uma direção a qual que tende a arrancar o material de sua fixação. Tal situação é apresentada na figura 5, e causa vibrações que afetam diretamente o acabamento superficial (DINIZ et al., 2000).

Figura 5 – Fresamento tangencial discordante



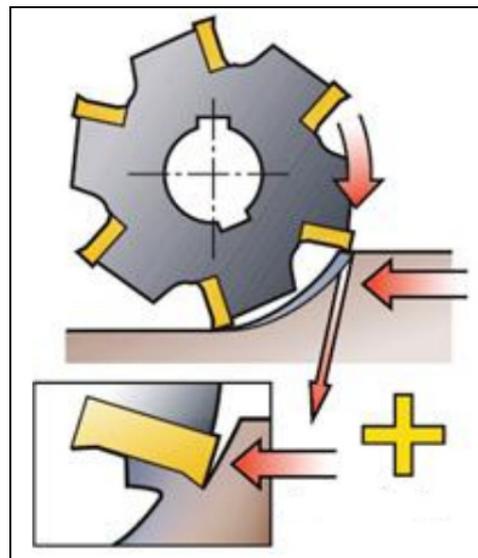
Fonte: MIRRES (2013).

Durante o processo de fresamento tangencial concordante, o avanço de corte e o sentido de rotação da ferramenta ocorrem na mesma direção. Os esforços

de corte iniciam em um valor máximo e decrescem até zero. Isto é desfavorável em peças que possuam a camada superficial endurecida, pois o contato inicial do gume ocorre em condições desfavoráveis causando redução na vida útil da ferramenta.

No que diz respeito a componente vertical da força de usinagem, ela permanece no mesmo sentido, minimizando as vibrações e o excesso de atrito presente no fresamento discordante, tal situação é apresentada na figura 6 (DINIZ et al., 2003).

Figura 6 – Fresamento tangencial concordante



Fonte: MIRRES (2013).

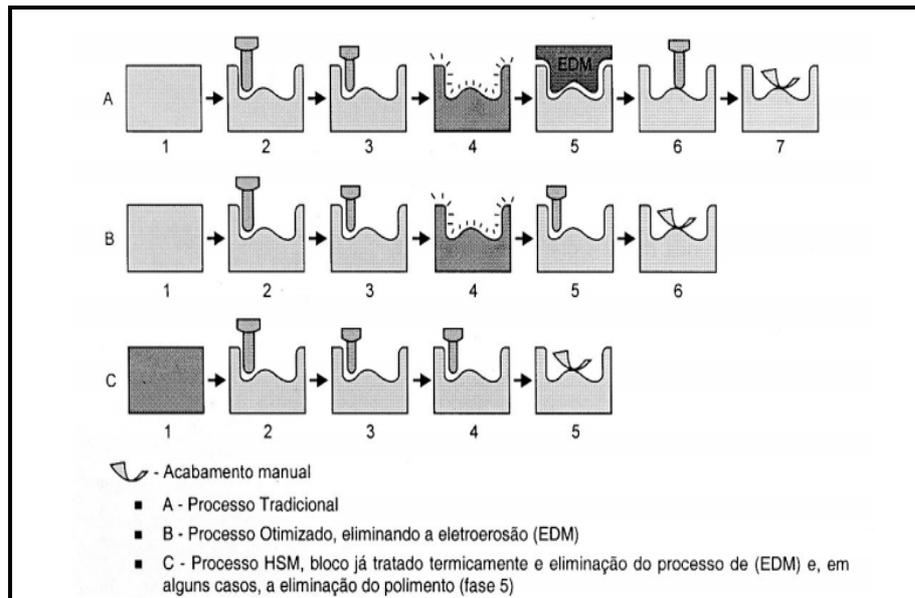
Outra abordagem referente ao processo de fresamento, a modalidade HSM, consiste na utilização de altas velocidades de corte, cerca de cinco a dez vezes maiores do que as utilizadas em máquinas convencionais, com avanços por dente e profundidades de corte menores que os utilizados em processos convencionais. Apesar do avanço por dente e a profundidade de corte serem reduzidos, em função das grandes velocidades de corte utilizadas, é possível atingir até trinta metros por minuto em velocidades de avanço (OLIVEIRA, 2007).

O processo de fresamento HSM é amplamente utilizado na indústria de moldes e matrizes para a confecção de cavidades. É realizado através de uma ferramenta chamada fresa, a qual pode apresentar-se em diversos formatos geométricos de acordo com a aplicação utilizada.

Embora a usinagem HSM possa ser utilizada para desbaste, é mais utilizada nos processos de semi-acabamento e acabamento. Permite a usinagem de pequenos detalhes com ferramentas de pequenos diâmetros, geralmente entre um a

quatro milímetros, e paredes finas com grande precisão, devido as forças de corte reduzidas, bem como eliminando assim, a necessidade posterior de utilizar-se o processo EDM (OLIVEIRA, 2003). Na figura 7 é demonstrado a redução de processos intermediários durante a fabricação de um molde.

Figura 7 – Evolução na fabricação de moldes e matrizes



Fonte: SANDVIK (2002).

Outra característica do processo HSM, é o fato de proporcionar uma melhor resistência mecânica na superfície usinada quando comparada ao processo EDM, devido a ausência de choques térmicos na superfície usinada, presentes no processo de eletro erosão (OLIVEIRA, 2003).

2.3 PARÂMETROS DE CORTE

Nas operações de fresamento a velocidade de corte é a velocidade tangencial instantânea resultante da rotação da ferramenta em torno da peça onde os movimentos de corte e de avanço ocorrem concomitantemente (DINIZ, 2001), a dependência linear entre a velocidade de corte e o avanço resulta em altos avanços com altas velocidades. O avanço se torna até mais alto se for usada uma fresa de diâmetro menor, contanto que o numero de dentes fique inalterado. Para compensar um diâmetro menor, a RPM deve ser elevada, afim de manter a mesma velocidade de corte, e assim proporcionar uma velocidade de avanço maior (BAUCO, 2003). As

equações 1 e 2 são utilizadas para a definição da velocidade de corte e o número de rotações da ferramenta respectivamente (SANDVIK, 2002):

$$V_c = (D \times \pi \times n) / 1000 \quad (1)$$

$$n = (V_c \times 1000 / \pi \times D) \quad (2)$$

Onde:

V_c : velocidade de corte, [m/min];

D : diâmetro da fresa, [mm]; e

n : rotação [rpm].

Na tabela 1 são apresentados valores típicos referentes a velocidades de corte (V_c), para a utilização de fresas inteiriças de metal duro com cobertura TiC, N ou TiAlN em aço endurecido (54-58 HRC) utilizadas na usinagem HSM (SANDVIK, 2002):

Tabela 1 – Velocidades de corte para diversas condições de utilização

Desbaste	Semi-acabamento	Acabamento
100 m/min	150-200 m/min	200-250 m/min

Fonte: SANDVIK (2002).

A velocidade de avanço(f) pode ser definida como o valor da velocidade instantânea da ferramenta segundo a direção e o sentido de avanço (FERRARESI, 1970). A partir dela podem ser obtidos os valores para o avanço por gume bem como para o fuso da máquina. As equações referentes às velocidades de avanço por gume e avanço do fuso da máquina podem ser observadas nas equações 3 e 4 respectivamente (SANDVIK, 2002):

$$F_z = V_f / (n \times Z) \quad (3)$$

$$V_f = F_z \times n \times z \quad (4)$$

Onde:

V_f : avanço da mesa ou velocidade de avanço, [m/min];

- n : rotações do fuso, [rpm];
 F_z : avanço por dente, [mm]; e
 Z : número de dentes da ferramenta.

Na tabela 2, são apresentados valores típicos referentes ao avanço por dente (F_z), para a utilização de fresas inteiriças de metal duro com cobertura TiC, N ou TiAlN em aço endurecido (54-58 HRC) utilizadas na usinagem HSM (SANDVIK, 2002):

Tabela 2 – Avanço por dente para diversas condições de utilização

Desbaste	Semi-acabamento	Acabamento
0,05-0,1 mm/z	0,05-0,15 mm/z	0,02-0,2 mm/z

Fonte: SANDVIK (2002).

A usinagem HSM nos possibilita a utilização de altos valores de velocidade de corte e avanço, contudo existem algumas considerações referentes a profundidade de corte que devem ser levadas em consideração.

Nas aplicações HSM, é fundamental que as profundidades de corte sejam mantidas muito baixas quando comparadas com o processo convencional. As profundidades de corte reduzidas tem por finalidade, proporcionar uma importante redução nas forças de corte.

Para que tal condição aconteça, torna-se necessário um método de programação avançado, a fim de proporcionar um sobremetal constante para cada operação e ferramenta.

Na tabela 3 estão apresentados os valores típicos referentes as profundidades de corte axial (A_p) e (A_e), para a utilização de fresas inteiriças de metal duro com cobertura TiC,N ou TiAlN em aço endurecido (54-58 HRC) utilizadas na usinagem HSM.

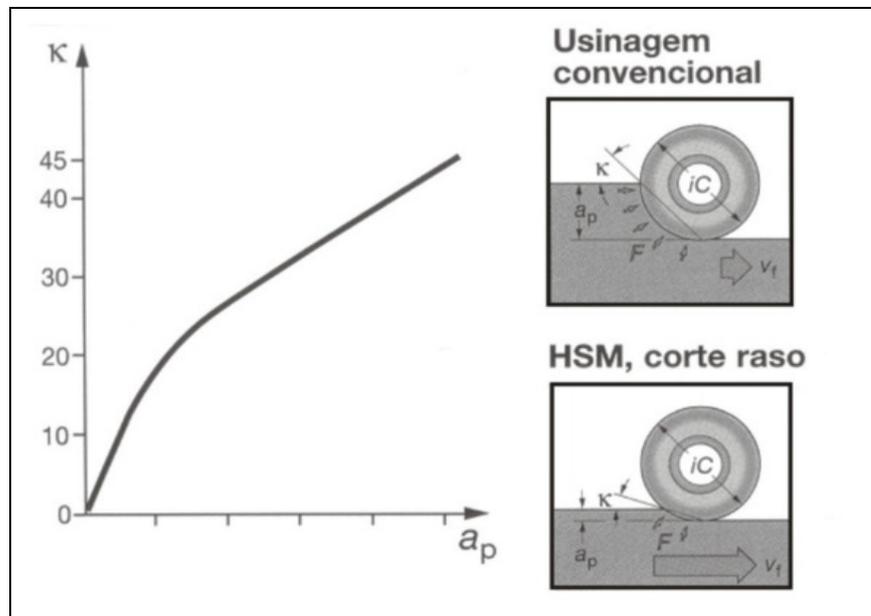
Tabela 3 – Profundidades de corte para diversas condições de utilização

	Desbaste	Semi-acabamento	Acabamento
A_p	6 – 8%	3 – 4%	0,1 – 0,2mm
A_e	35 – 40%	20 – 40%	0,1 – 0,2mm

Fonte: SANDVIK (2002).

A figura 8 ilustra a diferença do processo HSM em relação ao processo convencional (SANDVIK, 2002):

Figura 8 – Profundidades de corte utilizadas nas usinagens convencional e HSM



Fonte: SANDVIK (2002).

2.4 CARACTERÍSTICAS DAS FERRAMENTAS NO FRESAMENTO HSM

A usinagem HSM também faz exigências sobre as ferramentas devido a grande quantidade de cargas térmicas envolvidas no processo. Isso traz a necessidade de termos uma ferramenta resistente ao calor, mas extremamente tenaz. Com o crescente desenvolvimento na área do metal duro, as pesquisas têm se voltado para a redução dos grãos nas diversas classes de metais. Com a redução do tamanho do grão ocorre um aumento no coeficiente de ruptura bem como na dureza da ferramenta.

Com isso tem-se um extraordinário aumento da resistência ao desgaste e da tenacidade, principalmente para tamanho de grão com aproximadamente 1 *mícron* ou menor (GAMARRA, 2003).

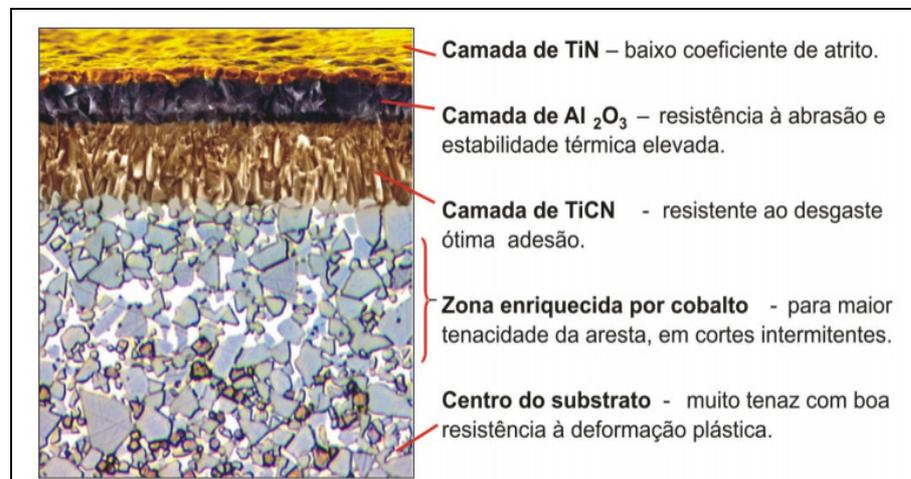
Outra tecnologia de extrema importância na fabricação de ferramentas para HSM refere-se aos revestimentos para metal duro. Entre os revestimentos utilizados podemos destacar o **óxido de alumínio** (Al_2O_3), que tem por finalidade aumentar a resistência da aresta de corte a altas temperaturas (GAMARRA, 2003).

O **carboneto de titânio** (TiC) possui grande resistência ao desgaste por abrasão, e funciona como promotor de aderência entre as camadas mais externas e o núcleo de metal duro em um revestimento multi-camadas.

Carbonitreto de titânio semelhante ao (TiC), possui maior resistência ao desgaste.

Nitreto de Titânio (TiN), revestimento com melhor estabilidade química em relação ao TiC, possui maior resistência à difusão e é a primeira escolha para operações de furação (DINIZ et al., 2003). Na figura 9 apresenta um exemplo de inserto de metal duro e seus revestimentos.

Figura 9 – Inseto de metal duro multi-revestimento GC 4035



Fonte: SANDVIK (2008).

2.4.1 Usinagem HSM com ferramentas de pequeno diâmetro

A ferramenta é um fator importante na usinagem HSM. O substrato, o tamanho do grão e o revestimento, influenciam diretamente nas severidades à quais a ferramenta pode ser submetida. Suas geometrias são concebidas de tal forma, que a maioria do calor é dissipada juntamente com o cavaco, e que seu núcleo tenha uma espessura maior em relação as ferramentas convencionais. Este aumento na espessura do seu núcleo é possível, porque os cavacos menores derivados da usinagem HSM, são expelidos com maior facilidade para fora da região de corte (FIELD, 2002).

Durante a usinagem com ferramentas de pequeno diâmetro, entre 1,0 e 4,0mm, o principal requisito é um porta ferramentas adequado, que possa garantir

um batimento máximo em torno de 0,00127mm. Um batimento excessivo conduz a uma quebra prematura da ferramenta e a um acabamento inadequado. Normalmente as pessoas tendem a tentar minimizar estes dois problemas reduzindo o avanço por dente e a profundidade de corte, diminuindo assim, sua produtividade (BRADFORD, 2009).

No que refere-se a material e revestimentos, recomenda-se que sejam constituídas de metal duro e revestidas com TICN ou AITIN, tendo dois cortes, para assim proporcionar uma remoção do cavaco mais eficiente entre os gumes (BRADFORD, 2009).

2.5 TIPOS DE DESGASTE E AVARIAS DA FERRAMENTA

"É considerado como mecanismo de desgaste todo fenômeno distinto capaz de provocar ou causar um desgaste de uma ferramenta de corte. A difusão, abrasão, oxidação e adesão são mecanismos que promovem desgastes através de deformação plástica por cisalhamento, ocorridos na usinagem de metais com alto ponto de fusão em ferramentas de aço rápido. Ocorre também a deformação por altas tensões de compressão ou entalhe, cujo processo ocorre na usinagem dos materiais de alta dureza" (MAIA DE SÁ, 2010).

Apesar de sempre trabalharem em conjunto sempre ocorrerá a predominância de um mecanismo de desgaste de acordo com a dureza do material e as condições de usinagem utilizadas. (FERRAESI, 1970).

O desgaste frontal ou de flanco (figura 10), é o tipo de desgaste mais comum. Normalmente é causado por um ou mais fatores como, velocidade de corte inadequada, resistência ao desgaste insuficiente da ferramenta, abrasão ou aresta postiza de corte (DINIZ et al., 2003).

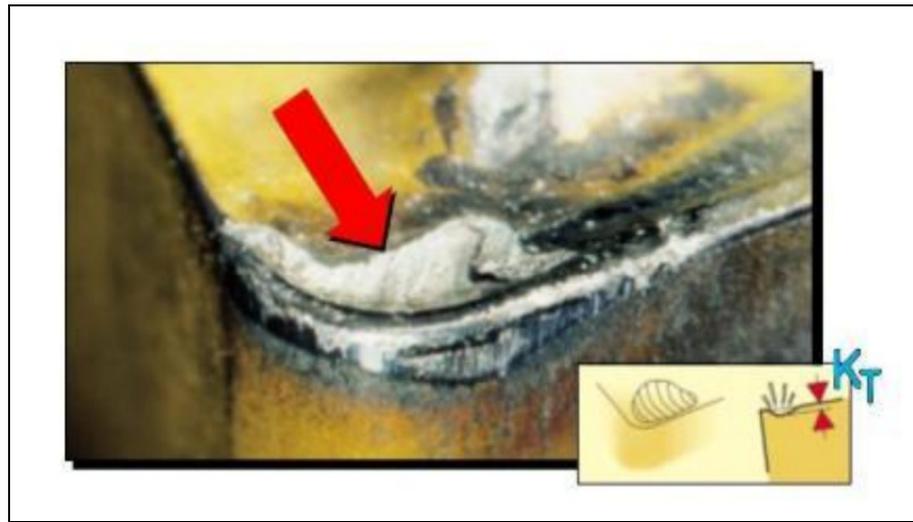
Figura 10 – Desgaste frontal ou de flanco



Fonte: MAIA DE SÁ (2010)

Um processo ativado pela alta temperatura na zona de corte é o de difusão (figura11). Consiste basicamente da transferência de átomos de um material a outro em virtude da temperatura na região de corte bem como da afinidade química entre ferramenta e peça. É um mecanismo presente nas usinagens a altas velocidades, responsável pelo desgaste em cratera (MAIA DE SÁ, 2010).

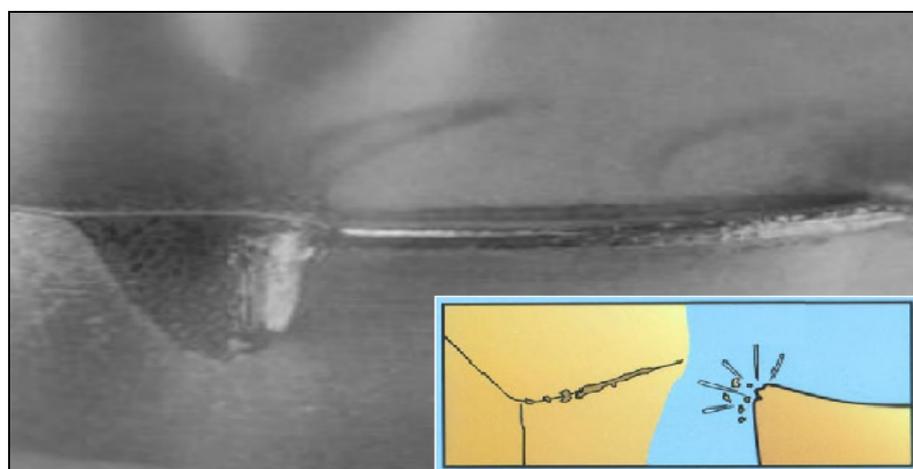
Figura 11 – Mecanismo de difusão na saída da ferramenta



Fonte: MAIA DE SÁ (2010).

Já o lascamento (figura12), ocorre principalmente em ferramentas com material frágil ou com arestas de corte pouco reforçadas. Ao contrário do desgaste de flanco onde são removidas partículas microscópicas, no lascamento são removidas porções maiores de material da ferramenta (DINIZ et al., 2003).

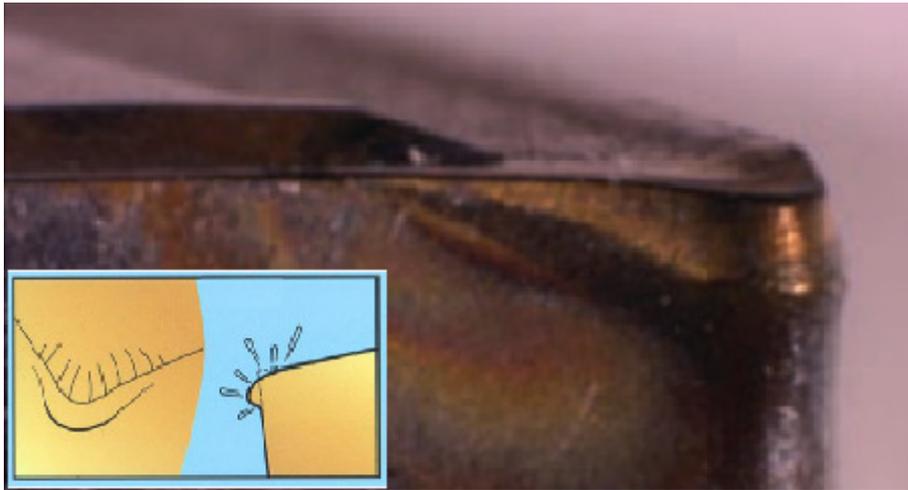
Figura 12 –Lascamento na aresta de uma ferramenta de corte.



Fonte: MAIA DE SÁ (2010).

A deformação plástica da aresta de corte (figura13), não é considerada desgaste, mas sim uma avaria, causada pela pressão aplicada ao gume da ferramenta somada a alta temperatura na região de corte geram distorções no perfil do gume, comprometendo a geometria da ferramenta (DINIZ et al., 2003).

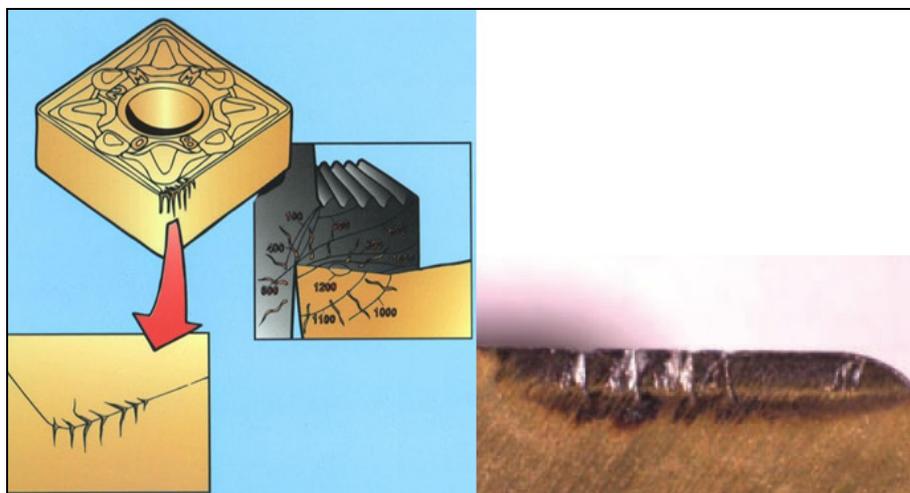
Figura 13 – Deformação plástica na aresta de corte .



Fonte: MAIA DE SÁ (2010).

Trincas (figura14), são causadas por variação de temperatura e/ou pela variação de esforços mecânicos. Como fatores que influenciam diretamente na variação de temperatura temos, aplicação irregular do fluido de corte, corte interrompido e variação da espessura de corte. O crescimento de trincas leva ao colapso da ferramenta (DINIZ et al., 2003).

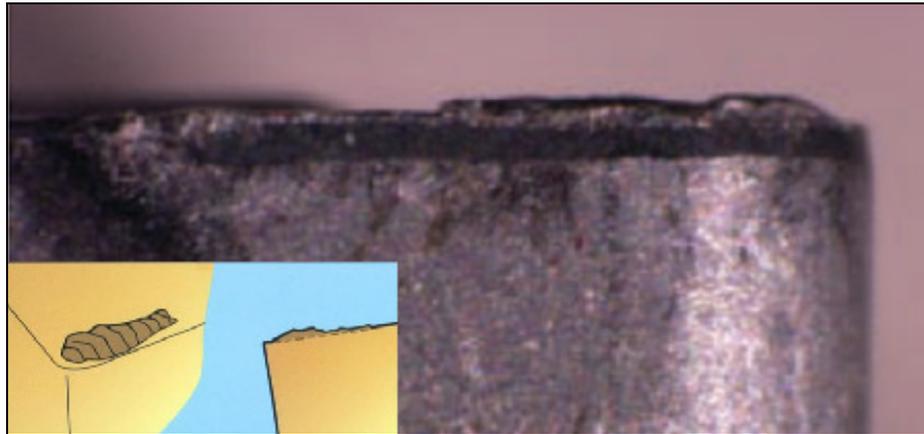
Figura 14 – Aresta de corte com presença de trincas.



Fonte: MAIA DE SÁ (2010)

O mecanismo da adesão (figura15) é ativado pelo uso de velocidades de corte relativamente baixas, onde a ferramenta e o material são colocados em contato sob cargas moderadas e baixas temperaturas, com isso forma-se entre elas um extrato metálico que provoca a aderência, formando assim a aresta postiça de corte(APC) (DINIZ et al., 2003).

Figura 15– Ferramenta com aresta de corte postiça (APC)



Fonte: MAIA DE SÁ (2010).

Quebra da ferramenta (figura16), todos os desgastes descritos anteriormente combinados ou não, podem gerar a quebra da ferramenta, porém existem outros fatores que podem causar o mesmo efeito como, carga excessiva sobre a ferramenta, raio de ponta e ângulo de cunha inadequados, corte interrompido, parada instantânea do movimento de corte entre outros. A quebra da ferramenta não causa danos somente à ferramenta, mas também ao porta ferramenta, à máquina e à peça(DINIZ et al., 2003).

Figura 16– Quebra da ferramenta



Fonte: MAIA DE SÁ (2010).

Em experimentos realizados por, Zhengwen Pu, Anshul Singh, foram comparados os mecanismos de desgaste e a integridade superficial em uma ferramenta com ponta esférica na usinagem do aço A2, endurecido a 64 HRc. Foram utilizados dois tipos de incerto, um composto de carboneto de tungstênio revestido com TiAlN, e outro de CBN. Como resultado dos experimentos no primeiro incerto foram encontradas crateras características de desgaste por difusão. No incerto de CBN os modos de falha observados foram lascamento e flacking devido a falta de tenacidade do material e ao desgaste do flanco de saída.

2.6 FLUIDOS LUBRIFRIGERANTES NA USINAGEM HSM

Com a evolução das ferramentas de corte, a tendência nos processos de usinagem é aplicação de fluidos lubrificantes na forma MQL , e usinagem a seco. Mas existem condições onde estes fluidos ainda exercem papel importante, devido as suas características de lubrificação, arrefecimento, limpeza e proteção contra a corrosão. Quando utilizados devem ser aplicados o mais próximo possível da aresta de corte, a fim de que suas propriedades de dissipação térmica e lubrificação possam atuar de forma adequada, e desta forma proporcionar um aumento na vida útil da ferramenta (PEI YAN, et al, 2014).

2.6.1 Tipos de Fluido Lubrificante

Segundo (MACHADO; SILVA., 2003) os fluidos de corte são classificados por diversas formas, mas a classificação mais utilizada se faz da seguinte forma:

- a) ar;
- b) aquosos; e
- c) óleos.

Dentre os fluidos aquosos dividem-se em:

- a) água;
- b) emulsões (óleos solúveis); e
- c) soluções químicas.

Dentre óleos dividem-se em:

- a) óleos minerais;

- b) óleos graxos;
- c) óleos compostos;
- d) óleos de extrema pressão; e
- e) óleos de usos múltiplos.

Os principais métodos de aplicação do fluido de corte são três:

- a) aplicação de fluido a baixa pressão (registro na máquina);
- b) névoa (MQL); e
- c) aplicação á alta pressão.

A utilização de fluidos a baixa pressão trás muitos inconvenientes como, choques térmicos nos gumes de corte e sujeira no equipamento. A aplicação através de névoa minimiza estes problemas. As aplicações à alta pressão, apesar de mais caras minimizam o problema do choque térmico, mas não eliminam os problemas de sujeira no equipamento. (MACHADO; SILVA, 2003).

2.7 USINABILIDADE

Usinabilidade pode ser definida como uma grandeza tecnológica que expressa, por meio de um valor numérico comparativo, um conjunto de propriedades de usinagem de um material em relação a outro (DINIZ; MARCONDES; COPINNI, 2004).

Mas a usinabilidade não depende somente das propriedades do material, mas também as condições nas quais é realizada a usinagem. Todas as variáveis envolvidas no processo tem influência sobre ele. Neste grupo de variáveis encontramos as condições de refrigeração, de fixação do material e rigidez da máquina. Desta forma um material pode ter boa usinabilidade sob determinadas condições e fora delas não (DINIZ; MARCONDES; COPINNI, 2004).

O fator metalúrgico dos aços predominante com respeito a usinabilidade é a dureza. Em termos da influência da dureza do aço na usinabilidade, pode - de admitir 200HB como um valor médio. Além da dureza existem outros fatores metalúrgicos que possuem influência direta na usinabilidade, são eles:

- a) teor de carbono;
- b) microestrutura;

- c) presença de inclusões; e
- d) adição de elementos de liga .

2.7.1 Critérios de Usinabilidade

Os critérios normalmente utilizados para comparar duas condições de usinabilidade, podem ser divididos em:

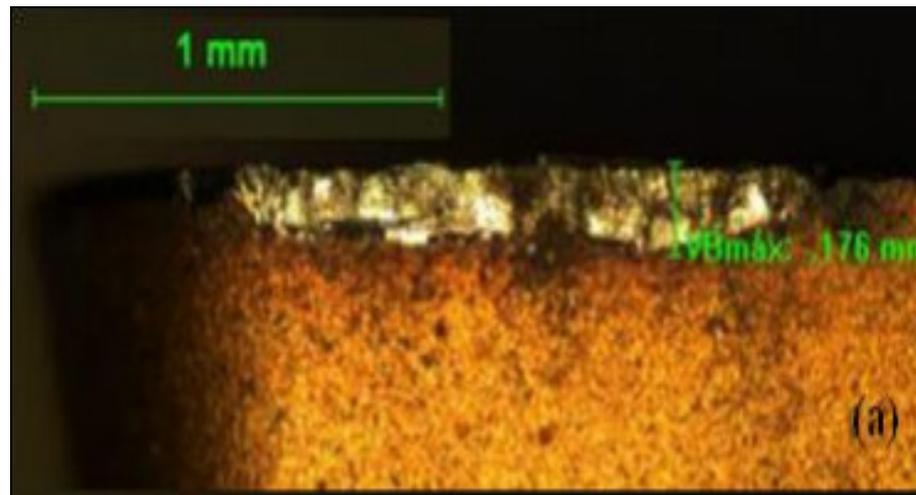
- a) critérios baseados na vida da ferramenta;
- b) critérios baseados na força de usinagem;
- c) critério baseado no acabamento superficial; e
- d) critério baseado na formação de cavacos (DINIZ; MARCONDES; COPINNI, 2004).

O critério mais aceito para os ensaios de usinabilidade é o baseado na vida da ferramenta. Neste modelo o material ensaiado e o material tomado como padrão são usinados até o fim da ferramenta, ou até um determinado valor de desgaste da mesma, em diversas velocidades de corte diferentes (DINIZ; MARCONDES; COPINNI, 2004).

Outros ensaios, considerados de curta duração, levam em conta a rugosidade superficial a formação do cavaco e a força de usinagem. São realizados em condições forçadas, a fim de que a vida da ferramenta acabe em um curto espaço de tempo. Quando os ensaios não são baseados na vida da ferramenta, como, por exemplo, de esforço de corte, esses podem ser realizados em poucas passadas pois não necessitam desgastar a ferramenta até seu fim de vida (DINIZ; MARCONDES; COPINNI, 2004).

Meideiros realizou ensaios referentes a usinabilidade entre dois aços VP 100 com dureza de 30 HRc e diferentes teores de titânio na micro estrutura. O critério utilizado para avaliação foi o de desgaste de flanco na ferramenta. No ensaio foram utilizados insertos revestidos com camada tripla Tin TiCN TiN. O valor adotado para o fim de vida da ferramenta foi, $V_f=0.5\text{mm}$, além disso foi mensurado o volume de material ao final do ensaio. Na figura 17 é apresentada a avaliação do desgaste de flanco em uma ferramenta de corte (MEIDEIROS et al., 2013).

Figura 17 – Desgaste de flanco em inserto

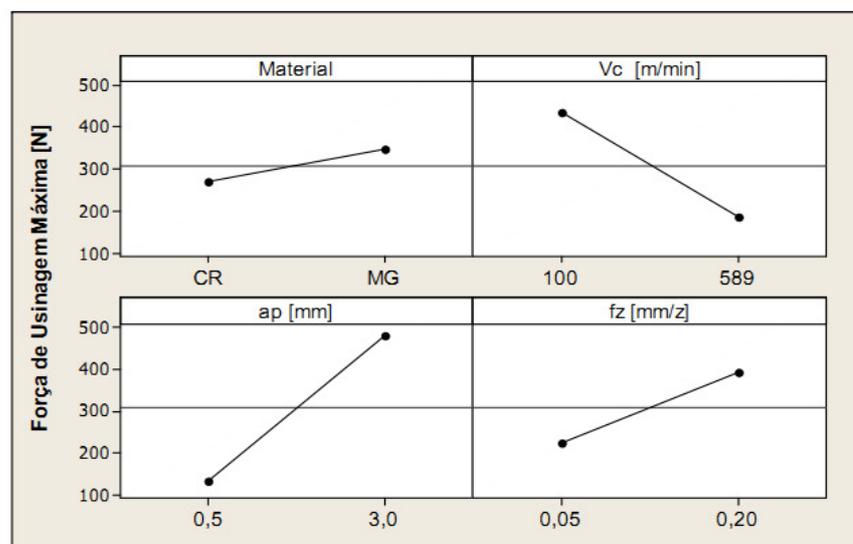


Fonte: MEIDEIROS. (2008).

Os resultados obtidos indicam que uma menor concentração de titânio na microestrutura resultaram em um maior volume de material removido, indicando uma melhor usinabilidade (MEIDEIROS et al., 2013).

Em ensaios, utilizando como critério para avaliação de usinabilidade a força de usinagem e a energia específica de corte, Rigatti, quantificou o comportamento da força de corte em função de variáveis envolvidas no processo como é demonstrado na figura 18:

Figura 18 – Variação da força de usinagem



Fonte: RIGATTI. (2010).

2.7.2 Ensaio de rugosidade

A qualidade das superfícies usinadas, é quantificada pelo acabamento obtido no processo de usinagem e pelas propriedades mecânicas e físicas na camada superficial da peça.

Experimentalmente verifica-se que vários materiais usinados nas mesmas condições, utilizando a mesma máquina e a mesma ferramenta apresentam diferentes acabamentos superficiais. Logo esta grandeza constitui uma propriedade que contribui na avaliação do índice de usinabilidade dos materiais (FERRARESI, 1970).

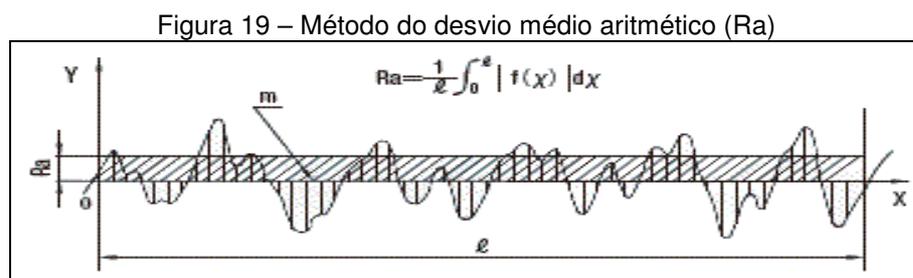
No Brasil a norma utilizada para definir os procedimentos utilizados nos ensaios de usinagem é a ABNT-NB 93-1964 que utiliza o sistema da linha média (Ra), sendo este o mais utilizado mundialmente (OLIVEIRA, 2006). Dentre os fatores que influenciam a condição superficial da peça destacam-se:

- utilização de fluido de corte;
- geometria da ferramenta;
- microestrutura do material;
- velocidade de corte; e
- velocidade de avanço (OLIVEIRA, 2006).

2.7.3 Parâmetros da rugosidade

Dentre os parâmetros utilizados para avaliação da rugosidade podemos destacar:

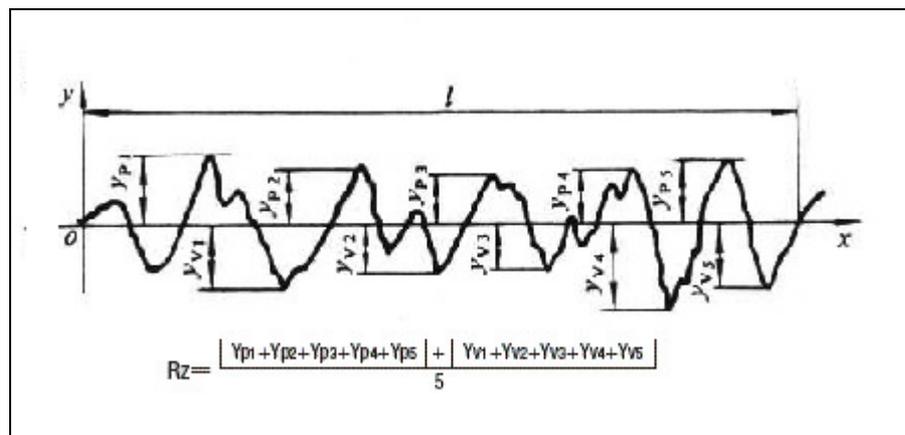
- Método do desvio médio aritmético (Ra) ,média dos valores absolutos da ordenadas do perfil efetivo em relação à linha média, em um comprimento de amostragem,demonstrado na figura 19;



Fonte: OLIVEIRA (2006)

- b) Método da altura das irregularidades dos 10 pontos (R_z), mede a diferença entre o valor médio das ordenadas dos cinco pontos mais salientes, e o valor médio das ordenadas dos cinco pontos mais reentrantes, medidas a partir de uma linha paralela a uma linha média, não interceptando o perfil no comprimento de amostragem. Demonstrado na figura 20; e

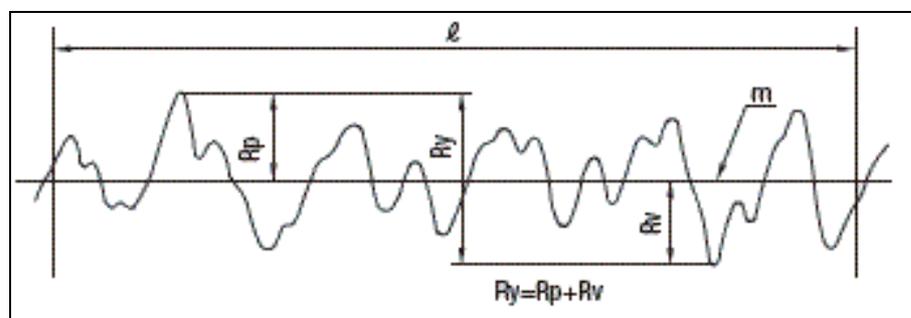
Figura 20 – Método da altura das irregularidades dos 10 pontos (R_z).



Fonte: OLIVEIRA (2006).

- c) Método da altura máxima das irregularidades (R_{max}), mede a distância entre duas linhas paralelas a linha média e que tangencia, à saliência mais pronunciada e a reentrância mais profunda, no comprimento de amostragem demonstrado na figura 21.

Figura 21 – Método da altura máxima das irregularidades (R_{max})



Fonte: OLIVEIRA (2006)

Para a execução de um ensaio de rugosidade também é necessário ter-se conhecimento de como a superfície é formada, visto que em processos como o

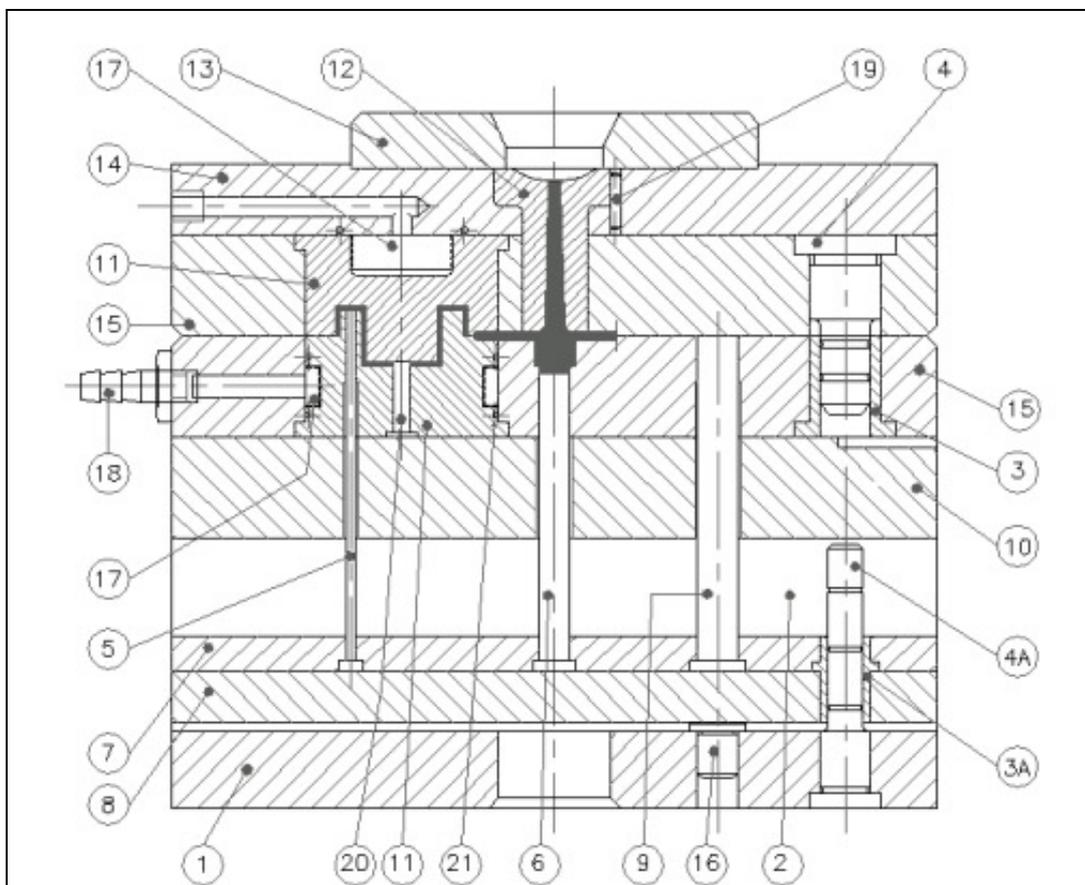
fresamento e no torneamento, a rugosidade transversal se apresenta diferente da longitudinal (OLIVEIRA, 2006).

2.8 MOLDES

O processo de injeção é o processo mais comumente usado na produção de peças plásticas. É um processo conhecido pela sua grande versatilidade, que permite a produção desde pequenos componentes eletrônicos ou hospitalares, até grandes peças na área automotiva como, por exemplo, pára-choques e painéis automotivos (MALLORY, 1994).

Contudo, a utilização de materiais poliméricos pode tornar-se extremamente difícil, devido a grande complexidade geométrica nos produtos e as limitações existentes nos processos de injeção. Essas limitações são causa de grandes avanços em pesquisa nas tecnologias envolvidas na fabricação dos moldes e no dimensionamento dos produtos (MALLORY, 1994). Na figura 22 é apresentado um molde de injeção com seus diversos componentes.

Figura 22 – Molde de Injeção e seus componentes



Fonte: O AUTOR (2015)

O molde apresentado na figura 22 é composto pelos seguintes componentes:

1. placa de fixação inferior;
2. espaçadores;
3. bucha principal;
4. coluna principal;
5. pino extrator;
6. extrator do canal;
7. placa porta extratores;
8. placa impulsora;
9. pino de retorno;
10. placa suporte;
11. postiços;
12. bucha de injeção;
13. anel de centragem;
14. placa de fixação superior;
15. placa porta cavidades
16. batente da placa extratora;
17. placa divisória da refrigeração;
18. nipple;
19. pino posicionador;
20. postiço; e
21. anel para vedação.

2.8.1 Materiais para Moldes

Devido a grande variedade de solicitações térmicas, mecânicas, químicas, requisitos de polibilidade, tratamento térmico e superficial, definir o material para um molde de injeção não é uma tarefa fácil. O resultado da escolha errada dos materiais pode acarretar em vários defeitos que reduzem a vida útil do molde assim como podem proporcionar diferentes defeitos à peça injetada. Dentre estes defeitos estão:

- a) rachaduras nas cavidades;

- b) uma micro estrutura com grãos grossos pode sofrer deformações plásticas devido a força de fechamento, e assim causar distorções nas superfícies do molde; e
- c) o cloro presente na composição química do PVC causa oxidação em aços não inoxidáveis (SORS; BARDÓCZ; RADNÓTI, 2002);

Geralmente os aços utilizados na fabricação de moldes são ligados a elementos que melhoram suas propriedades mecânicas, como o Cr, Ni ou Mo. Como exemplo destes aços:

- a) aços pré-endurecidos: DIN 1.2311, 1.2312, 1.2711, 1.2738. São aços fornecidos em condição pré- endurecida (28 a 42HRc), que dispensam tratamento térmico (ARIETA; SILVA, 1998);
- b) aços temperáveis: DIN 1.2343, 1.2344, AISI O1 , A3, A6, A8. São aços que requerem uma operação de desbaste anterior ao tratamento térmico, e posterior acabamento (SORS; BARDÓCZ; RADNÓTI, 2002); e
- c) aço inoxidável martensítico: AISI 51420, utilizado em moldes para o processamento de PVC, por causa de sua resistência contra a corrosão (SORS; BARDÓCZ; RADNÓTI, 2002).

Na tabela 4 é possível observar a composição química de diversos aços utilizados na fabricação de moldes e suas composições químicas, indicando a presença de diversos elementos de liga:

Tabela 4 – Composição química dos aços ferramenta

DIN	AISI	C	Mn	Si	Cr	Mo	Ni	V	S
1.1730	1045	0,45	0,7	0,3	0	0	0	0	0
1.2162	-	0,21	1,3	0,3	0	0	0	0	0
1.2311	P20	0,4	1,5	0,3	1,9	0,2	0	0	+Ca
1.1312	P20+S	0,4	1,5	0,3	1,9	0,2	0	0	0.05
1.2738	P20+NI	0,4	1,5	0,3	1,9	0,2	1	0	+Ca
1.2711	P20+C+Ni	0,55	0,7	0,3	1,1	0,3	1,7	0,1	+Ca
1.2344	H-13	0,4	1	1	5,3	1,4	0	1	0

Fonte: THYSENKRUPP. (1998).

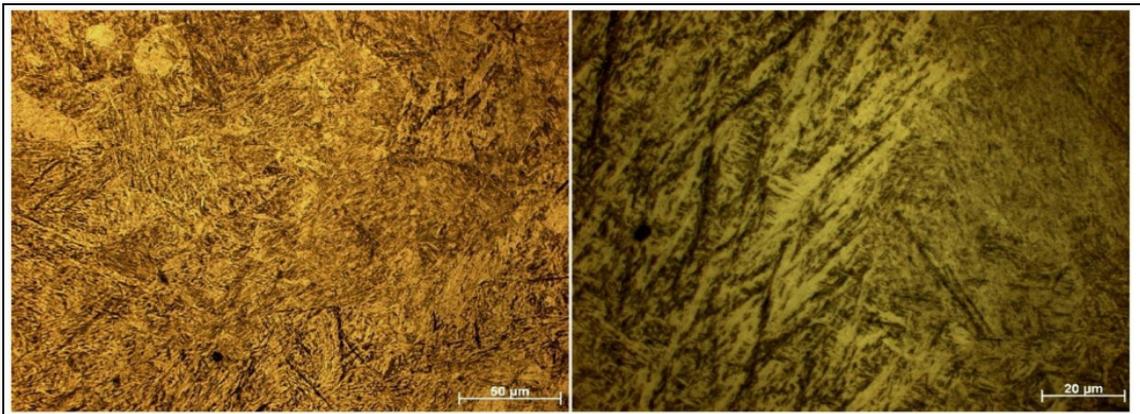
Os aços pré endurecidos utilizados neste experimento são obtidos através de dois processos distintos:

- a) têmpera e revenimento (DIN 1.2711); e
- b) forjamento com resfriamento contínuo NQP, (NIMAX).

Cada processo de fabricação proporciona ao aço uma micro estrutura própria, a qual é determinante em suas propriedades mecânicas.

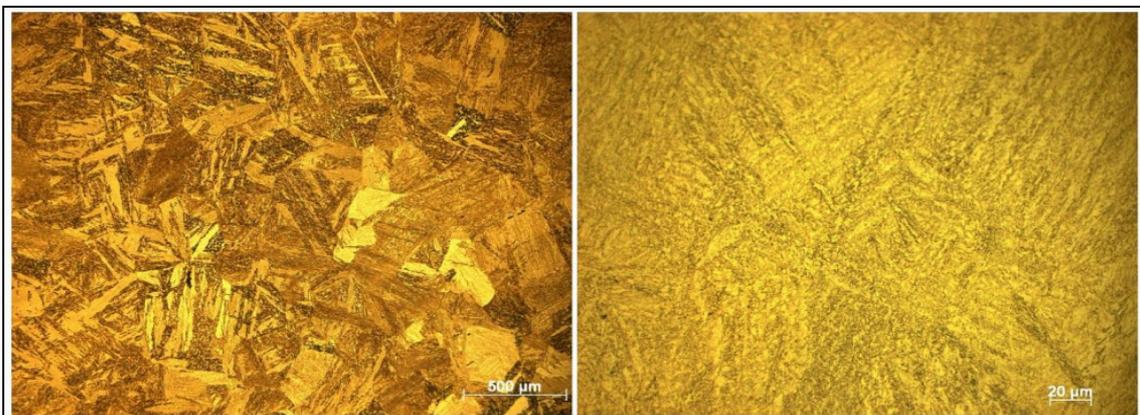
O aço DIN 1.2711 tem sua estrutura formada essencialmente por martensita revenida e bainita, enquanto o NIMAX é constituído por bainita, 2 a 7% de austenita residual, precipitados de cementita e cerca de 5 a 10% de martensita auto-revenida. Nas figuras 23 e 24 são apresentadas as microestruturas de ambos materiais em sua condição de fornecimento (MIRANDA, 2014).

Figura 23 – Microestrutura do aço DIN 1.2711 em seu estado de fornecimento, atacado com *Böhler Picral*



Fonte: MIRANDA (2014).

Figura 24 – Microestrutura do aço NIMAX em seu estado de fornecimento, atacado com *Böhler Picral*



Fonte: MIRANDA (201

Entre as principais características encontradas no Nimax destacam-se:

- a) excelente usinabilidade;
- b) ótima soldabilidade;
- c) boa resposta a texturização e polimento;
- d) alta tenacidade ao impacto e a fratura; e
- e) boa resistência ao lascamento e trincas.

Além das propriedades descritas anteriormente, pelo fato de ser um aço de baixo carbono, possui uma baixa quantidade de carbonetos. Sua composição química pode ser observada na tabela 5:

Tabela 5 – Composição química do aço Nimax

C	Mn	Si	Cr	Mo	Ni	V	S
0,1	2,5	0,3	3,0	0,3	1,0	0	0

Fonte: UDDEHOM, (2015).

As propriedades mecânicas do Nimax no seu estado de fornecimento tornam-no adequado para as seguintes aplicações:

- a) moldes para injeção de polímeros na indústria automobilística, (peças de grandes dimensões, refletores), utilidades domésticas (painéis e manoplas); e
- b) bases para matrizes de fundição sobre pressão;
- c) bases para matrizes para forjamento;
- d) manifolds para alimentadores quentes; e
- e) componentes estruturais (UDDEHOM 2014).

2.9 PRODUTOS PLÁSTICOS

No projeto de um componente plástico alguns fatores devem ser levados em conta:

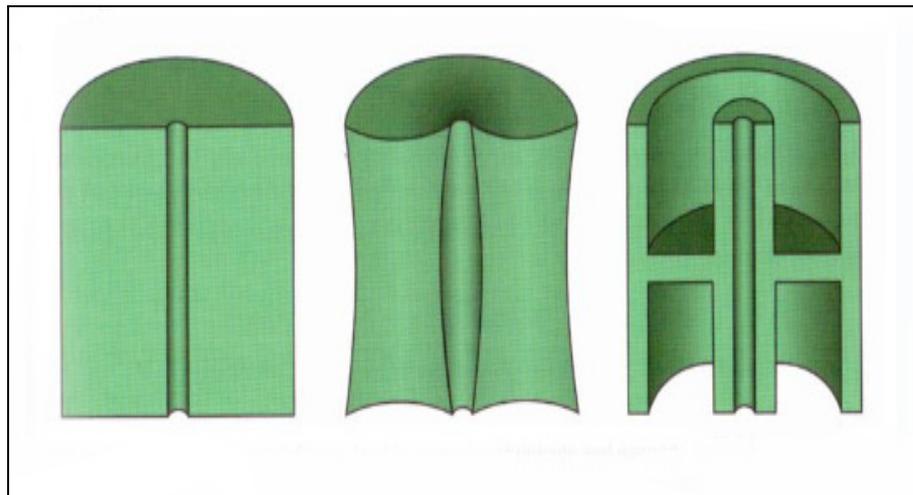
- a) requisitos dimensionais e funcionais;
- b) tolerâncias;
- c) aparência estética;

- d) custos de fabricação;
- e) impactos ambientais; e
- f) operações de retrabalho manual (SHOEMAKER, 2006).

Os componentes injetados necessitam ser resfriados de forma adequada, antes de serem extraídos de dentro dos moldes. Isto evita a ocorrência de deformações na peça durante o procedimento de extração. No caso de componentes com grandes espessuras, o tempo de resfriamento cresce consideravelmente aumentando o tempo de ciclo e o custo por peça. (SHOEMAKER, 2006).

Parede com grandes espessuras tendem a sofrer empenamento, distorções, e contrações não uniformes que as afastam do *desing* original do produto como mostra a figura 25.

Figura 25 – Influência da espessura na peça injetada

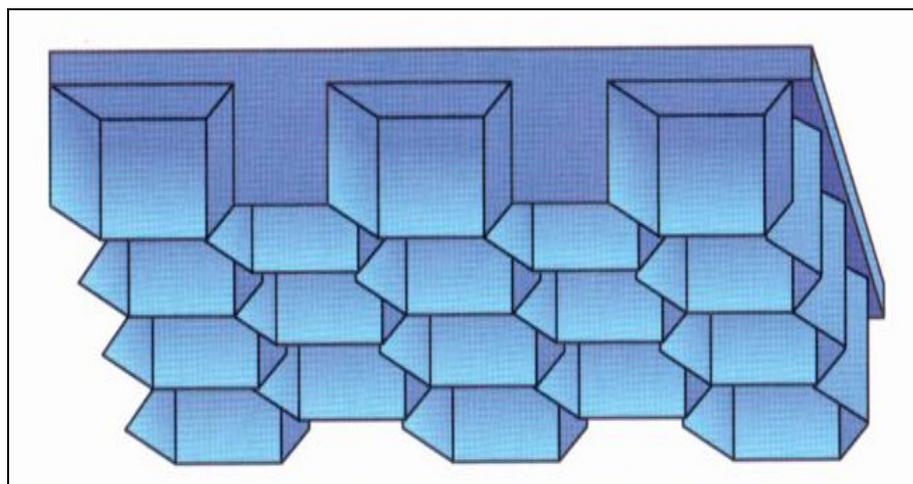


Fonte: SHOEMAKER (2006).

A utilização de paredes grossas ainda pode ocasionar problemas referentes a acúmulo de gases bem como rechupes (SHOEMAKER, 2006).

A fim de encurtar o tempo de ciclo e melhorar a estabilidade dimensional o critério utilizado é o de manter a espessura mais fina e uniforme possível. O uso de nervuras é uma maneira de manter-se a rigidez e a resistência quando se evita paredes de grandes espessuras (SHOEMAKER, 2006). Na figura 26, observa-se uma base plana com nervuras, dispostas de forma a reduzir sua espessura, mantendo suas características de rigidez e resistência.

Figura 26 – Base com nervuras



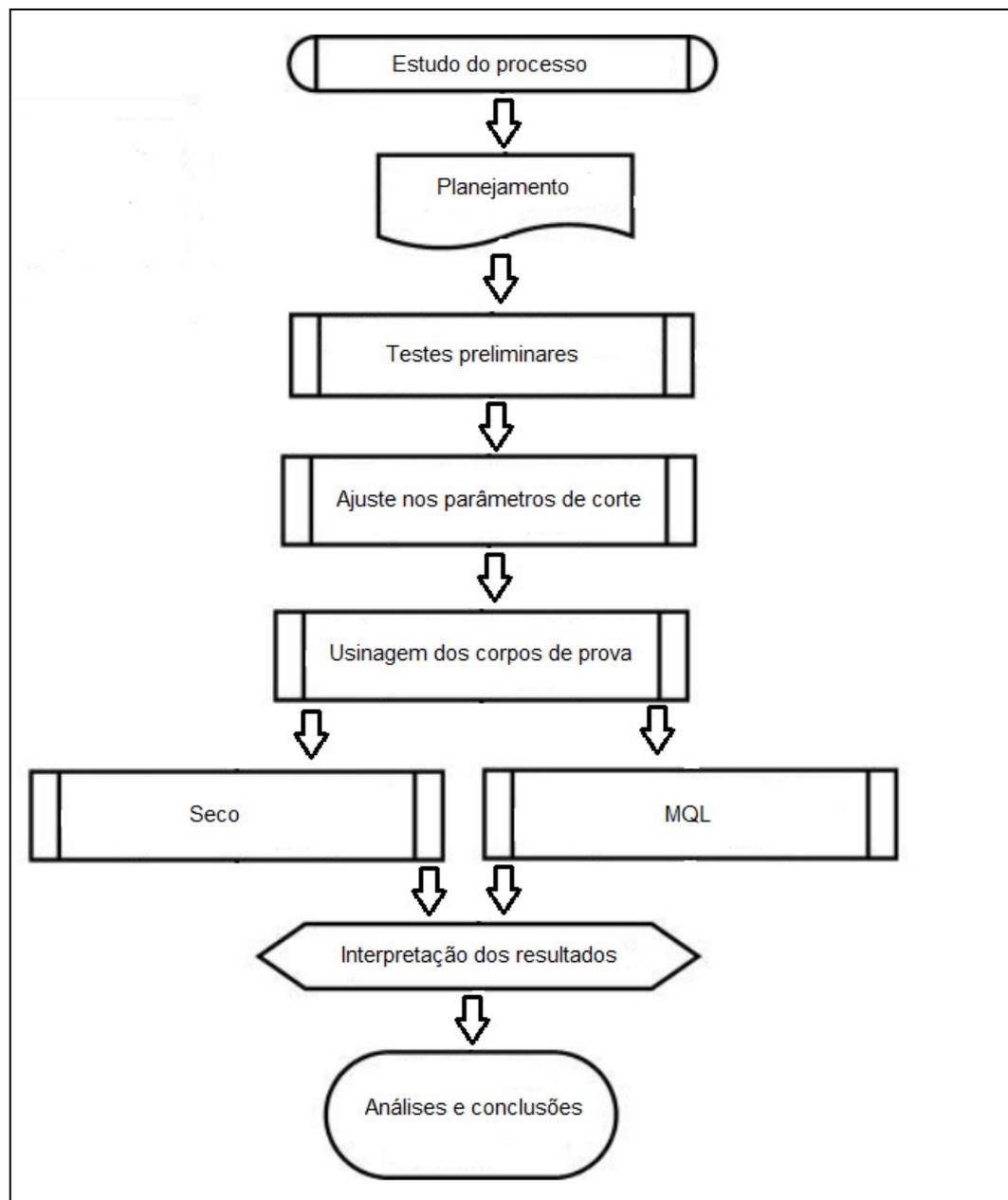
Fonte: SHOEMAKER (2006).

3 MÉTODOS E MATERIAIS

3.1 ENSAIO DE USINAGEM

Para o estudo do processo de fresamento de nervuras utilizando-se fresas pequenas, foram elaborados experimentos conforme o fluxograma apresentado na figura 27. Todos equipamentos, corpos de prova, ferramentas, e procedimentos utilizados, estão descritos ao longo deste capítulo.

Figura 27 – Fluxograma para execução do experimento



Fonte: O AUTOR, (2015)

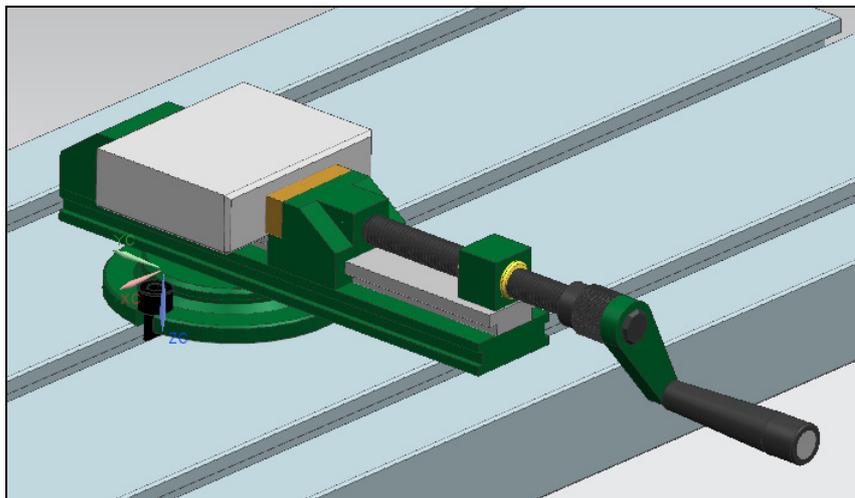
3.1.1 Procedimento experimental

O experimento foi realizado com o objetivo de comparar a usinabilidade dos aços DIN 1.2711 e Nimax, avaliando-se o desgaste de flanco da ferramenta e o acabamento superficial na região usinada. A norma que trata sobre ensaios de usinagem é a norma DIN 6581, porém devido a disponibilidade financeira reduzida o ensaio foi realizado utilizando-se apenas uma ferramenta por ranhura, para tal, foram realizados testes preliminares a fim de estabelecer condições que acelerassem o desgaste da ferramenta. Em seguida foram realizados os ensaios propriamente ditos para a coleta de resultados e conclusão do experimento.

3.2 CORPO DE PROVA

Os corpos de prova utilizados neste experimento foram fabricados em aço DIN 1.2711 e Nimax. Foram utilizados um corpo de prova de cada material, com medidas de 30 x 80 x 100mm. Os corpos de prova encontram-se fixados em uma morsa, a qual esta fixa à mesa da máquina através de parafusos, figura 28.

Figura 28 – Corpo de prova fixo por morsa na mesa da fresadora .



Fonte: O AUTOR, (2015).

3.3 FERRAMENTA

A ferramenta utilizada durante ensaios foi uma fresa de topo de dois cortes com diâmetro (D)=4 mm, apresentada na figura 29. Não encontrou-se uma classe ISO correspondente, a norma Dormer S922- 5RG1376728. A mesma pertence a classe P4, possui revestimento PVD – TiAlN e tamanho de grão de carboneto de tungstênio (fino), apropriada para a usinagem de materiais com dureza até 40 HRc. Quanto a geometria, a ferramenta conta com ângulos λ e γ com valores de 30° e 12° respectivamente. A ferramenta foi fixada utilizando-se pinça e foi observado um batimento de 0.02mm.

Figura 29 – Fresa de topo dois cortes Dormer S922- 5RG1376728



Fonte: O AUTOR, (2015).

3.4 ESTRATÉGIA DE USINAGEM E PARÂMETROS DE CORTE

Os parâmetros de corte obtidos no ensaio preliminar e posteriormente utilizados nos experimentos, encontram se demonstrados na tabela 6.

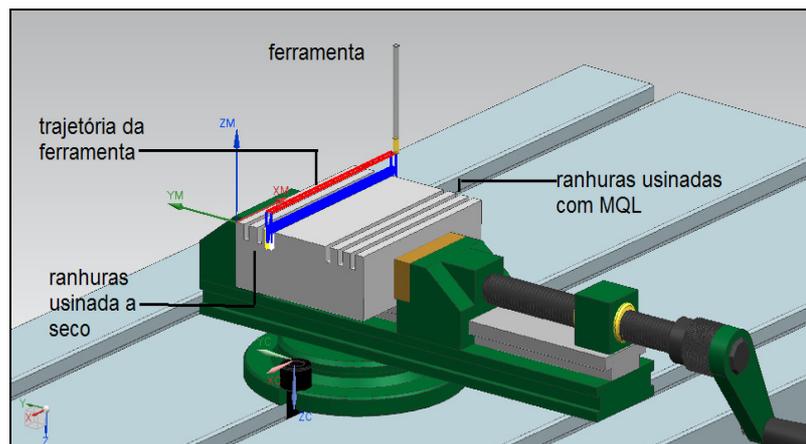
Tabela 6 – Parâmetros de corte

Ferramenta	Vc (m/min)	Ap (mm)	máx. Fz (mm/z)	Spindle (RPM)	F (mm/min)
4	250	0,03	0,05	19.785	1987,5

Fonte: JR OLIVEIRA, (2015).

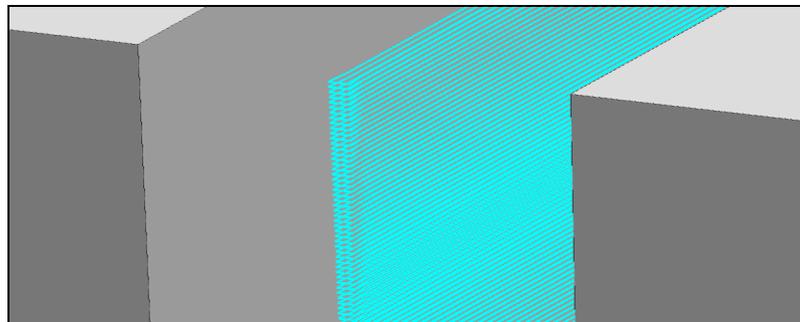
A estratégia utilizada para a usinagem possui corte discordante, Z constante e incremento em rampa sobre a peça, a mesma encontra-se apresentada na figura 30 e em detalhe na figura 31.

Figura 30 – Estratégia de usinagem



Fonte: O AUTOR, (2015).

Figura 31 – Trajetória da ferramenta (detalhe)



Fonte: O AUTOR, (2015).

3.5 FLUIDO LUBRIFRIGERANTE

O fluido utilizado possui base mineral, fabricado por Blases Swissslube, sob o nome de Vascomill 22. A emulsão será aplicada a uma taxa de aproximadamente 10 ml/h diretamente sobre a ferramenta.

3.6 MÁQUINA

Os ensaios para aquisição de dados referentes a usinabilidade dos aços DIN 1.2711 e Nimax ocorreram nas dependências da empresa JR Oliveira.

Os mesmos foram conduzidos em um centro de usinagem vertical CNC marca AWEA, modelo AF-610, com 15000 rpm, potência de 20 kW, cursos nos eixos X, Y, Z de respectivamente 610mm, 450mm, 450mm, porta ferramentas ISO 40 e tensão de funcionamento 380V/60Hz e a mesma encontra-se ilustrada na figura 32.

Figura 32 – Centro de usinagem vertical AWEA AF 610



Fonte: JR OLIVEIRA (2015).

3.7 SPINDLE

Para atingir a velocidade de corte necessária, foi utilizado um *spindle* multiplicador marca Mandaula modelo MV-8C com razão de multiplicação de 1:5 e rotação máxima de 30.000 RPM, apresentado na figura 33.

Figura 33 – Cabeçote multiplicador Mandaula modelo MV-8C



Fonte: O AUTOR, (2015).

3.8 RUGOSÍMETRO

Para as medições da rugosidade dos corpos de prova, foi utilizado um rugosímetro Mitutoyo modelo SJ-301, com resolução de 0,001mm, e apalpador de diamante com raio de 5 μm , de propriedade da Universidade de Caxias do Sul.

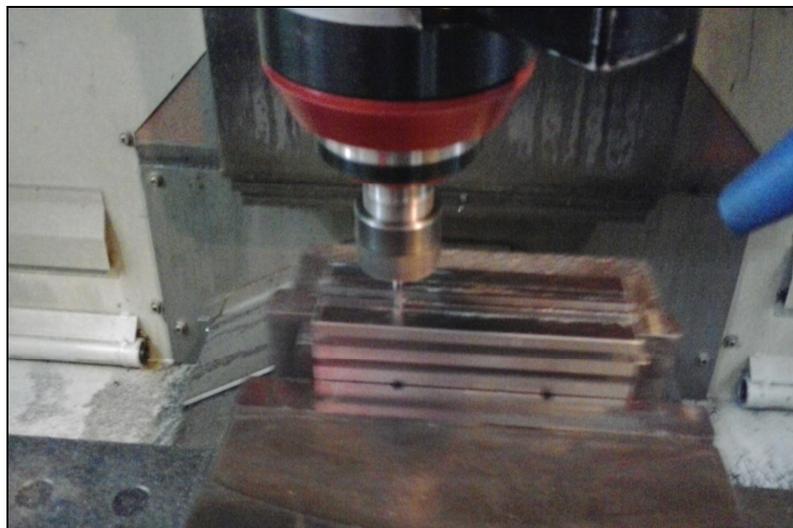
3.9 MICROSCÓPIO ÓTICO

As medições referentes ao desgaste de flanco na ferramenta foram realizadas em um estereoscópio trinocular de medição universal, marca Entex, modelo TNE-10B, com resolução de 600 x 480 e ampliação máxima de 90x, de propriedade da Universidade de Caxias do Sul.

3.10 DESCRIÇÃO DOS ENSAIOS DE USINAGEM

Os testes preliminares foram realizados através da usinagem em um corpo de prova , em aço DIN 1.2711, realizando-se usinagem a seco, a fim de, estabelecer valores para a velocidade de corte (V_c) e avanço por dente (f_z) que viabilizem o desgaste acelerado da ferramenta. Para tal utilizou-se uma fresa de topo com dois cortes e diâmetro de 4mm e uma estratégia de corte com Z constante, ambas idênticas as aplicadas no ensaio real. O ensaio experimental encontra-se ilustrado na figura 34.

Figura 34 – Ensaio no corpo de prova preliminar.

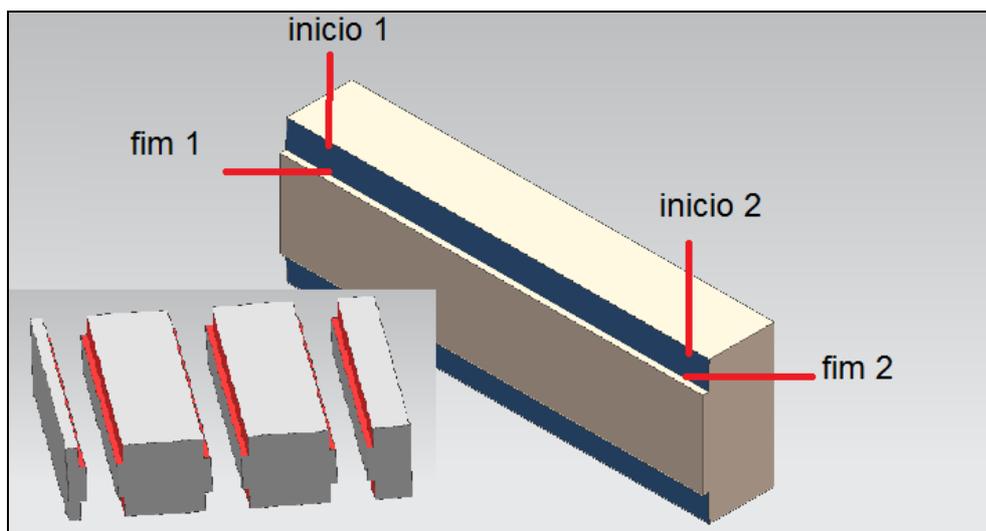


Fonte: O AUTOR, (2015).

De posse dos parâmetros obtidos no teste preliminar, foram usinados os corpos de prova. Para tal foram utilizadas doze ferramentas novas, três para usinagem à seco e três para usinagem MQI em cada corpo de prova, usinando-se uma ranhura por ferramenta, como descrito na secção 3.4.

Logo após as usinagens os corpos de prova foram cortados pelo processo de EDM a fio, a fim de, permitir a medição dos valores da rugosidade. As medições foram realizadas no início e fim da usinagem nas profundidades de 3mm e 6 mm em dois pontos diferentes de cada ranhura usinada. O *cut-off* utilizado foi de 0,8mm. Os pontos de coleta de dados encontram-se ilustrados na figura 35.

Figura 35 – Corpo de provas cortado para medição da rugosidade.



Fonte: O AUTOR, (2015).

De posse das ferramentas utilizadas nos ensaios foram realizadas as medições de desgaste e identificação de avarias utilizando-se o estereoscópio trinocular pertencente a Universidade de Caxias do Sul. A figura 36 apresenta o processo de medição de uma das ferramentas.

Figura 36 – Medição de ferramenta utilizando estereoscópio trinocular.



Fonte: UCS-Universidade de Caxias do Sul, (2015).

O desgaste de flanco e as avarias presentes na ferramenta foram medidos e avaliados. Relacionando-se a condição final da ferramenta com o volume de aço removido, determinou-se qual material e processo de usinagem mostrou-se economicamente mais adequado, para ser utilizado em peças que possuam grande número de ranhuras em sua geometria.

Para avaliação da rugosidade foram avaliados, R_a , R_z e $R_{máx}$. Foram realizadas medições profundidades de 3mm e 6mm, e um *cut-off* no valor de 0,8mm. As medições foram realizadas em dois locais diferentes em cada ranhura, a fim de, proporcionar uma coleta de dados mais precisa. De posse dos dados referentes a rugosidade, elaborou-se uma tabela visando o entendimento de qual processo proporcionou um acabamento de qualidade superior.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos e as discussões sobre os mecanismos de desgastes presentes nas ferramentas de corte e a qualidade superficial dos corpos de provas. Os resultados estão apresentados em duas partes distintas, sendo a primeira referente as ferramentas de corte e a segunda à análise da rugosidade.

Na tabela 7 é demonstrado de uma forma geral os resultados encontrados durante o procedimento experimental.

Tabela 7 – Desgastes e avarias nas ferramentas de corte

Corpo	Condição	ferramenta	Desgaste (mm)	Rugosidade (um)		
				Ra	Rrz	Rmax
Nimax	à seco	1	0,445	1,61	8,6	10,955
		2	0,438	1,035	5,37	7,58
		3	lascamento	1,415	7,275	8,505
	MQL	1	0,493	0,93	4,87	5,61
		2	lascamento	0,97	5,155	6,57
		3	0,471	0,75	3,995	5,335
DIN 1.2711	à seco	1	lascamento	1,46	7,66	9,86
		2	lascamento	1,15	5,79	7,86
		3	lascamento	1,02	5,93	7,21
	MQL	1	lascamento	0,845	4,685	6,805
		2	0,461	1,045	5,4	7,425
		3	0,448	0,785	3,995	4,92

Fonte: O autor, (2015).

Observando os resultados percebe-se a presença de lascamentos no gume de corte. Estes lascamentos podem ter origem nos elevados parâmetros de corte utilizados, a fim de, obter-se um ensaio de curta duração. Outros fatores que podem contribuir para o surgimento de lascamento são:

- a) martelamento causado pelos cavacos;
- b) alinhamento de carbonetos

- c) dureza excessiva do substrato da ferramenta;
- d) batimento excessivo da ferramenta de corte; e
- e) geometria da aresta de corte da ferramenta frágil (SANDVIK, 2002).

Outro fator a se levado em consideração no que refere-se ao aço DIN 1.2711, diz respeito ao seu maior teor de carbono quando comparado ao NIMAX. Esse carbono se transforma em carbonetos como a cementita. Estes elementos possuem elevada dureza, cerca de 70 HRc, e podem acelerar o desgaste e causar avarias na ferramenta, (UDDEHOM, 2014).

Com relação a ferramenta, os experimentos foram realizados de forma que desbaste e acabamento são realizados na mesma operação, similarmente a forma utilizada pela empresa. Por este motivo utilizou-se uma ferramenta com ângulos λ e γ com valores de 30° e 12° respectivamente. Essa geometria proporciona à ferramenta um perfil adequado para acabamento, porém acarreta em um gume de corte com maior fragilidade.

4.1 AVALIAÇÃO DAS FERRAMENTAS UTILIZADAS NA USINAGEM A SECO

4.1.1 Nimax

No processo de usinagem referente ao aço NIMAX a seco o mecanismo de desgaste predominante nas fresas 1 e 2 foi o de abrasão, e na fresa 3 a avaria encontrada foi o lascamento. Vale a pena destacar que os parâmetros de corte permaneceram inalterados durante as réplicas. Na figura 37 é demonstrado em detalhe o desgaste de gume decorrente da abrasão, (em amarelo) no valor de 0,445mm, e provavelmente um microlascamento, (em preto).

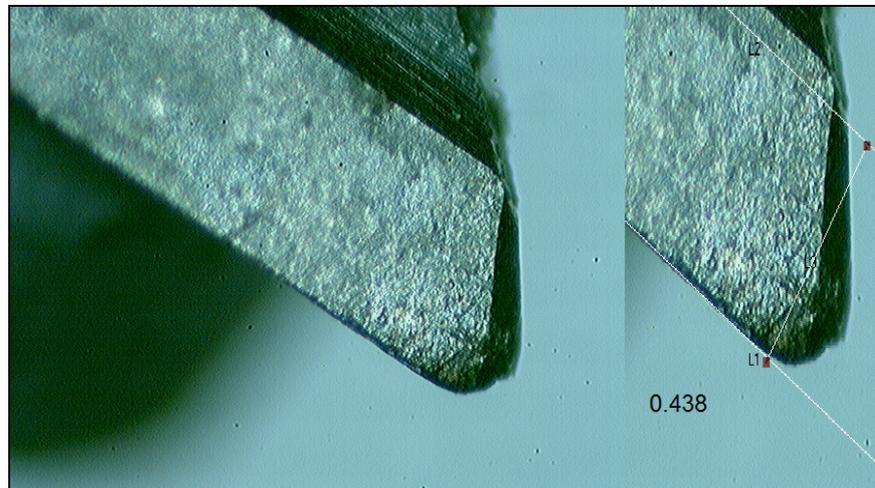
Figura 37 – Desgaste no gume. Fresa 1 usinando NIMAX a seco ampliada 45x.



Fonte: O AUTOR, (2015).

O mesmo desgaste de flanco pode ser observado na ferramenta utilizada na primeira réplica, com valor de 0,438mm, e demonstrado na figura 38.

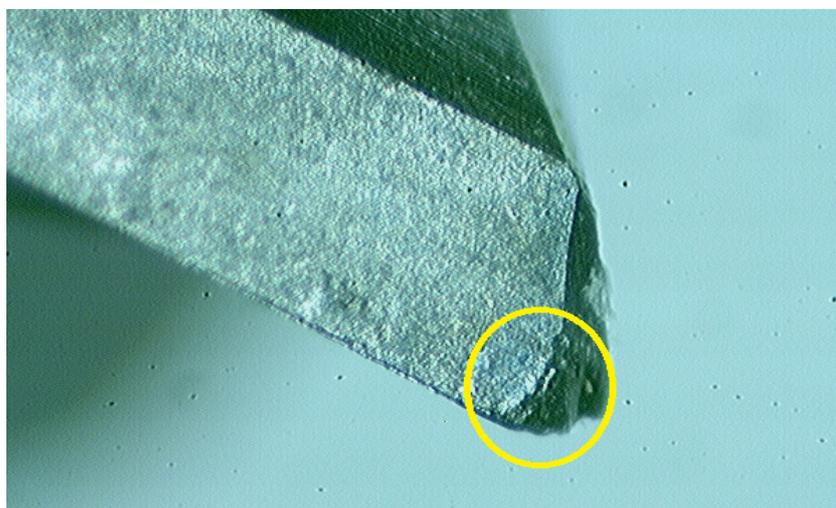
Figura 38 – Desgaste no gume. Fresa 2 usinando NIMAX a seco ampliada 45x.



Fonte: O AUTOR, (2015).

O lascamento também mostrou-se presente na ferramenta utilizada na segunda réplica. O fenômeno pode ser proveniente do martelamento causado pelo cavaco, tendo em vista a geometria do corpo de provas, bem como a utilização de parâmetros de corte maximizados. (SANVIK,2002). Outro fator que tem influência sobre o lascamento é o batimento excessivo da ferramenta. Na figura 39 é demonstrado o gume da ferramenta utilizada na segunda réplica.

Figura 39 – Lascamento. Fresa 3 usinando NIMAX a seco ampliada 45x.

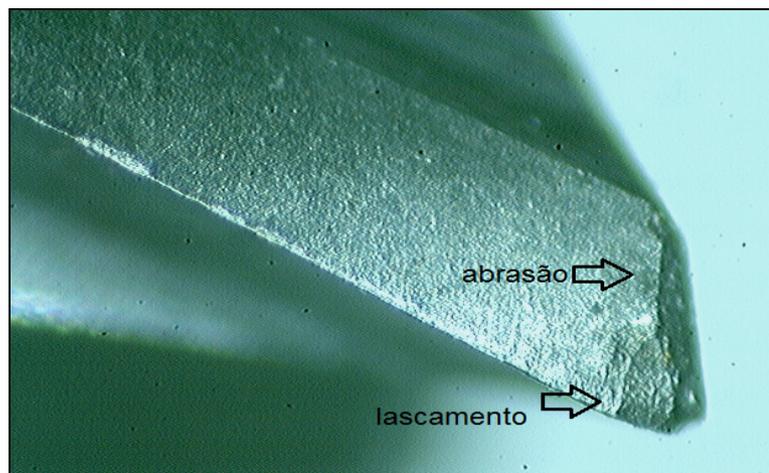


Fonte: O AUTOR, (2015)

4.1.2 DIN 1.2711

No processo de usinagem referente ao aço DIN 1.2711 a seco, além do desgaste de flanco, o mecanismo de desgaste predominante encontrados em todas as ferramentas foi o lascamento o que caracterizou o fim de vida da ferramenta. Na figura 40 pode-se observar o gume da primeira ferramenta utilizada no experimento.

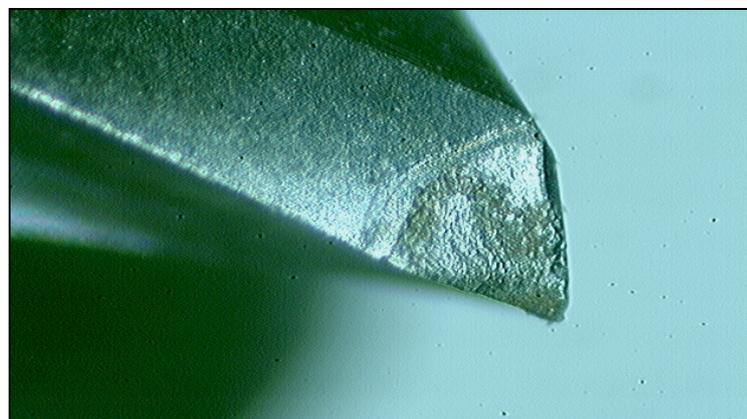
Figura 40 – Lascamento . Fresa 1 usinando DIN 1.2711 a seco, ampliada 45x.



Fonte: O AUTOR, (2015).

Na primeira réplica, (figura 41), pode-se notar que o lascamento praticamente inutilizou o gume. Este tipo de lascamento é característico da presença de carbonetos na micro estrutura do material.

Figura 41 – Lascamento . Fresa 2 usinando DIN 1.2711 a seco, ampliada 45x.

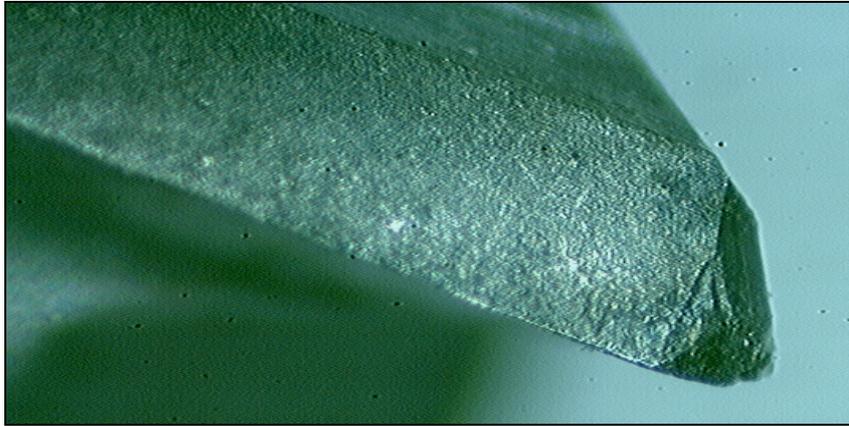


Fonte: O AUTOR, (2015).

Corno o lascamento apresentou-se em todas as ferramentas, estima-se que isso tenha ocorrido em consequência do alinhamento de carbonetos durante a

laminação do material. Este fenômeno acarreta em durezas elevadas em regiões isoladas no corpo de provas.

Figura 42 – Lascamento . Fresa 3 usinando DIN 1.2711 a seco, ampliada 45x.



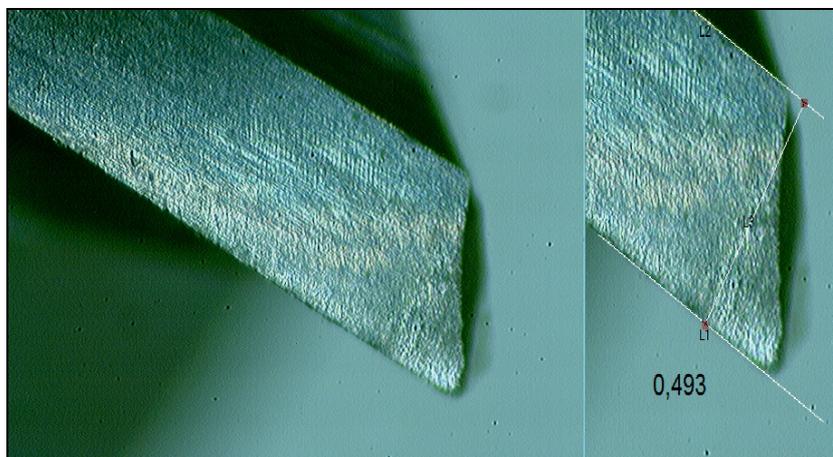
Fonte: O AUTOR, (2015).

4.2 AVALIAÇÃO DAS FERRAMENTAS UTILIZADAS NA USINAGEM MQL

4.2.1 Nimax

No processo de usinagem referente ao aço NIMAX com utilização de MQL, o mecanismo predominante nas ferramentas 1 e 3 foi o de abrasão, gerando desgaste na aresta de corte. Na ferramenta 3 observou-se lascamento. Na figura 43 observa-se um desgaste de 0,493 mm encontrado na fresa1.

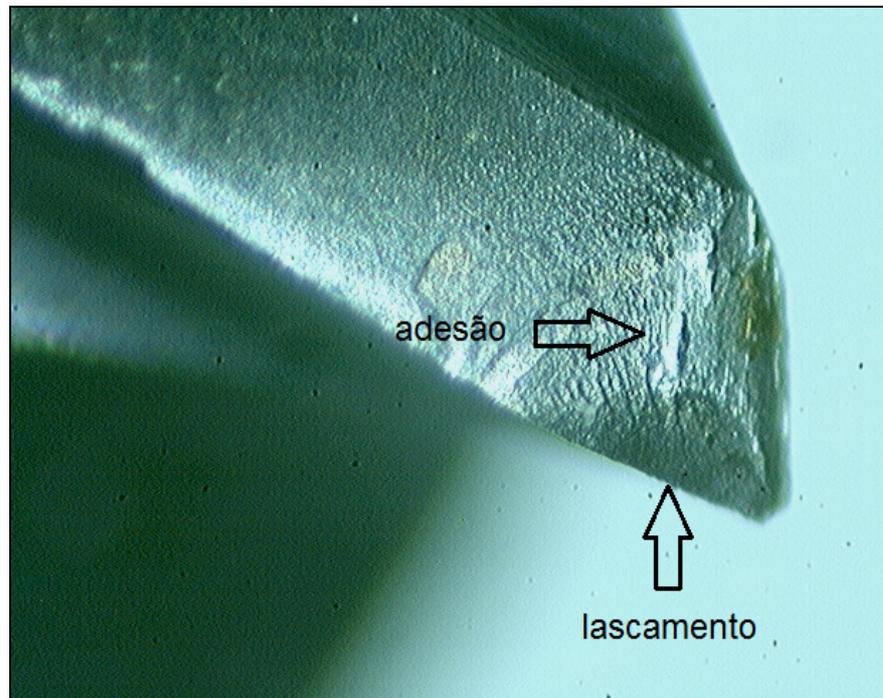
Figura 43 – Desgaste no gume. Fresa 1 usinando NIMAX, utilizando MQL, ampliada 45x.



Fonte: O AUTOR, (2015).

Na primeira réplica, (figura 44), ocorreu abrasão, lascamento e adesão em algumas regiões de forma que este lascamento tenha ocorrido provavelmente por martelamento exercido pelo cavaco.

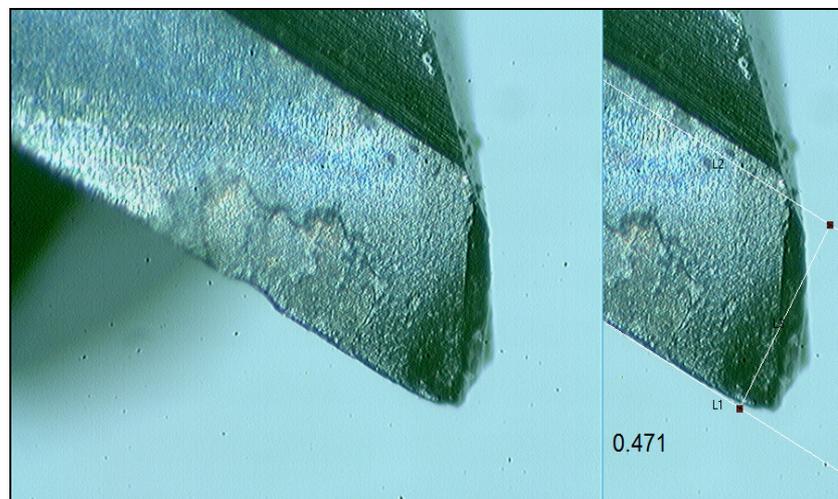
Figura 44 – Lascamento. Fresa 2 usinando NIMAX, utilizando MQL, ampliada 45x.



Fonte: O AUTOR, (2015).

Na segunda réplica foi constatado desgaste de flanco no valor de 0,471mm o qual encontra-se exposto na figura 45.

Figura 45- Desgaste no gume observado na fresa 3 usinando NIMAX utilizando MQL, ampliada 45x.

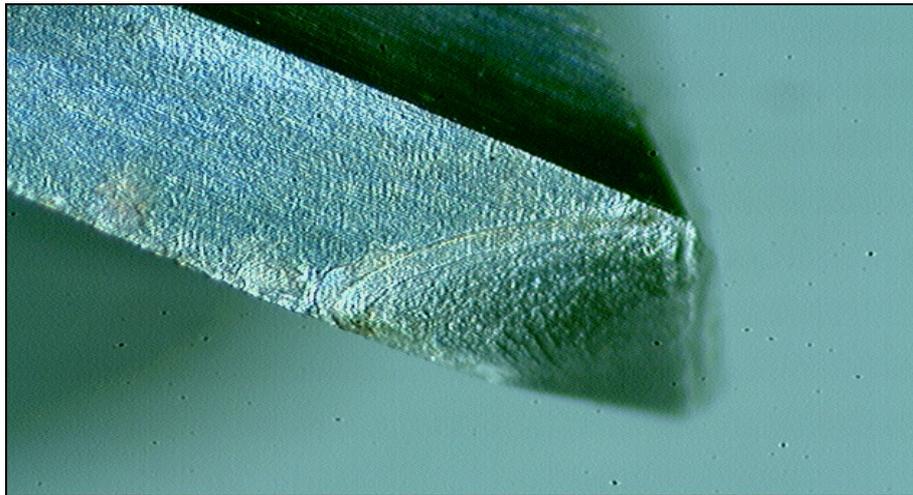


Fonte: O AUTOR, (2015)

4.2.2 DIN 1.2711

No processo de usinagem realizado com utilização de MQL, o mecanismo predominante nas ferramentas 2 e 3 foi o de abrasão, gerando desgaste na aresta de corte. Na ferramenta 1 observou-se lascamento proveniente da presença de carbonetos, (figura46).

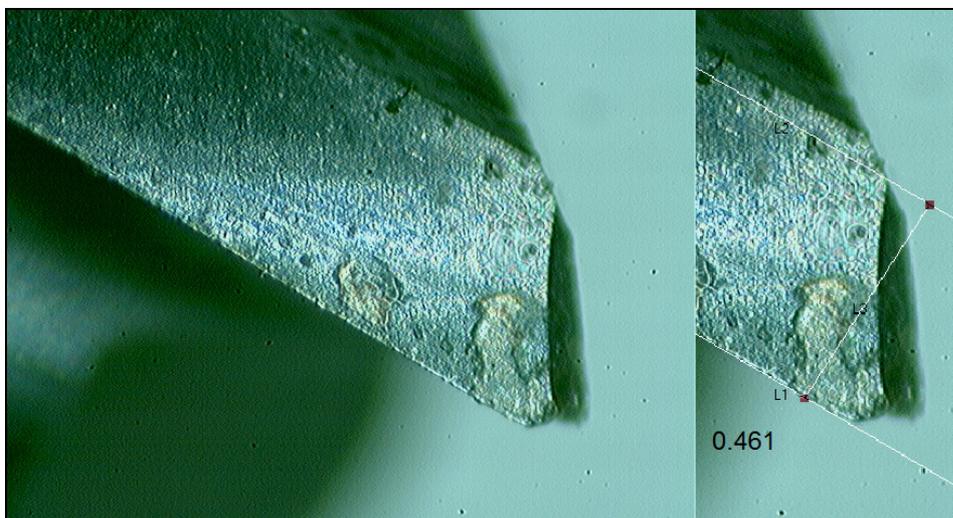
Figura 46- Lascamento. Fresa 1 usinando DIN 1.2711, utilizando MQL, ampliada 45x.



Fonte: O AUTOR, (2015).

Na primeira réplica, (figura 47), o mecanismo de desgaste presente foi o de abrasão, gerando um desgaste de flanco no valor de 0,461mm, ilustrado na figura 47.

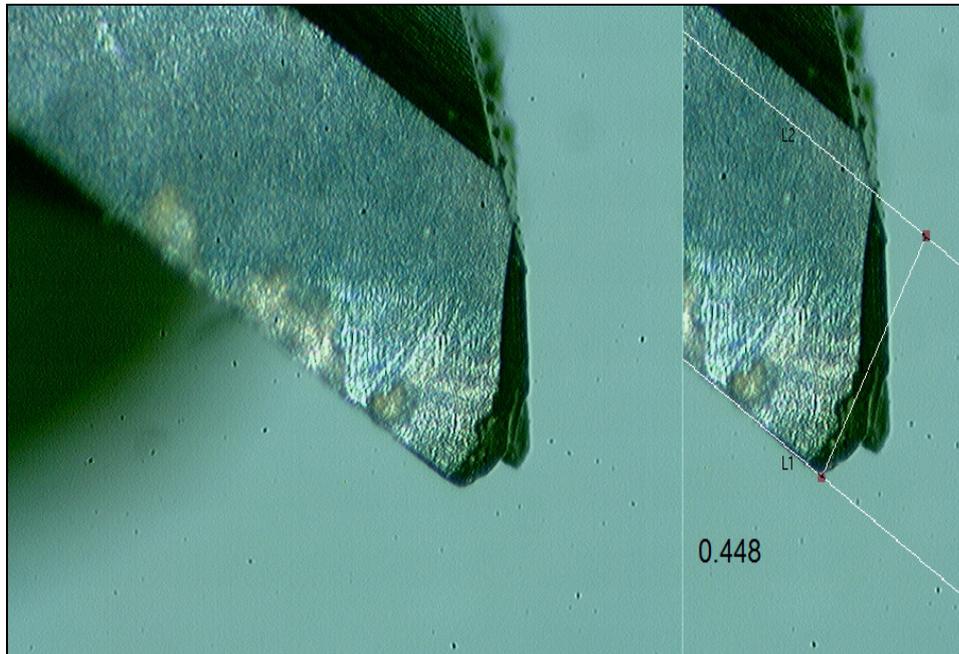
Figura 47 Desgaste no gume. Fresa 2 usinando DIN 1.2711 utilizando MQL, ampliada 45x.



Fonte: O AUTOR, (2015).

A exemplo do ocorrido anteriormente, o mecanismo de desgaste presente na segunda réplica, (figura 48) foi o de abrasão, gerando um desgaste de flanco no valor de 0,448mm, demonstrado na figura 48.

Figura 48- Desgaste de flanco. Fresa 3 usinando DIN 1.2711 utilizando MQL, ampliada 45x.



Fonte: O AUTOR, (2015).

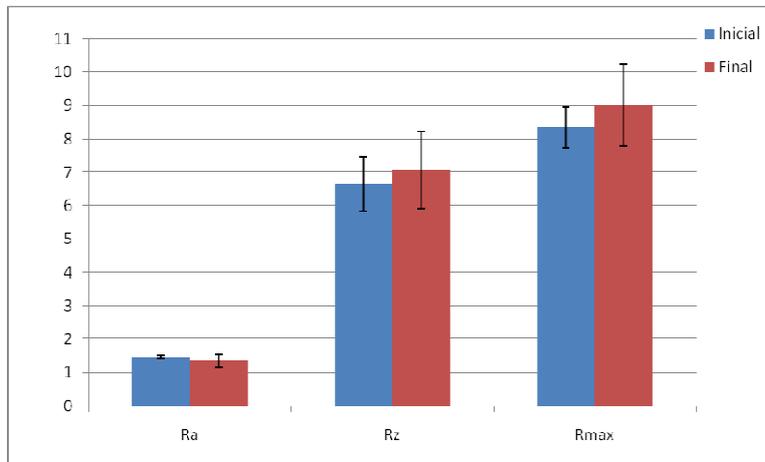
4.3 AVALIAÇÃO DA RUGOSIDADE GERADA PELA USINAGEM A SECO

4.3.1 Nimax

Segundo (Oliveira 2006), os valores de Ra típicos para o processo de fresamento encontram-se entre 1 a 6 μm . Os valores de Ra médios obtidos foram 1,48 μm no início e 1,35 μm no final da usinagem. No entanto, vale a pena ressaltar a existências de discordâncias geométricas quando avalia-se o Rmáx, com valores médios de 8,35 μm no início e 9,01 μm no final .

O desgaste da ferramenta de corte, pode ter acarretado no aumento dos valores de Rz e Rmáx na parte final da usinagem. Os valores médios encontrados encontram-se apresentados através do gráfico apresentado na figura 49.

Figura 49- Gráfico comparativo da rugosidade no início e fim da usinagem para o NIMAX a seco.



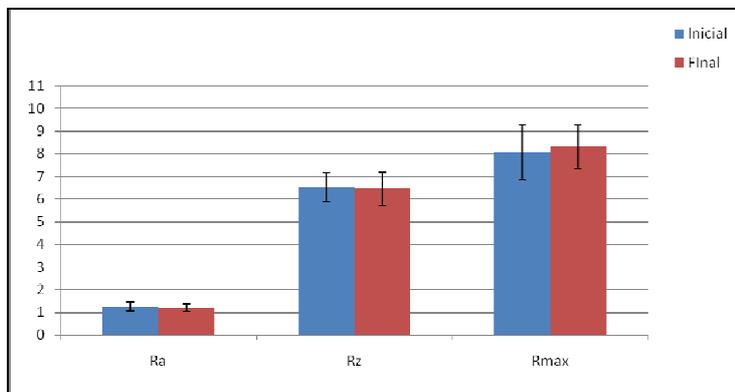
Fonte: O AUTOR, (2015).

Como podemos observar no gráfico acima os valores de Rz e Rmáx encontram-se próximos, o que indica que não ocorreram vibrações durante a usinagem.

4.3.2 DIN 2711

Os valores de Ra médios obtidos foram $1,25\mu\text{m}$ no início e $1,20\mu\text{m}$ no final da usinagem. A princípio o lascamento da ferramenta não exerceu grande influência sobre a rugosidade visto que os resultados encontrados são bem semelhantes aos obtidos com o aço NIMAX. Isso pode ser explicado pelo fato do uso de uma profundidade de corte pequena, (0.05mm). A figura 50 apresenta o gráfico com os valores médios encontrados.

Figura 50- Gráfico comparativo da rugosidade no início e fim da usinagem para o DIN 1.2711 a seco.



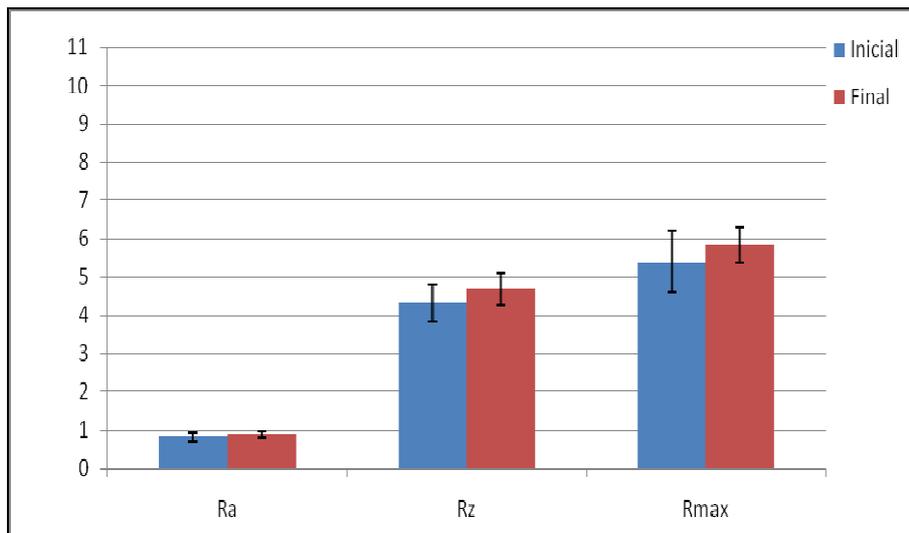
Fonte: O AUTOR, (2015).

4.4 AVALIAÇÃO DA RUGOSIDADE GERADA COM A UTILIZAÇÃO DE MQL

4.4.1 Nimax

Os valores de Ra médios obtidos foram $0,82\mu\text{m}$ no início e $0,88\mu\text{m}$ no final da usinagem. Estes valores quando comparados aos valores obtidos na usinagem a seco mostram-se cerca de 30% menores. Isso ocorre pelo fato do fluido lubrificante atuar com lubrificante diminuindo o atrito entre a ferramenta e a peça no instante do corte (SANDVIK, 2003). É possível perceber também redução nos valores de Rz e Rmax o que proporciona maior integridade na superfície quando sujeita a esforços de compressão. Os valores obtidos estão apresentados no gráfico pertencente a figura 51.

Figura 51- Gráfico comparativo da rugosidade no início e fim da usinagem para o NIMAX com MQL.

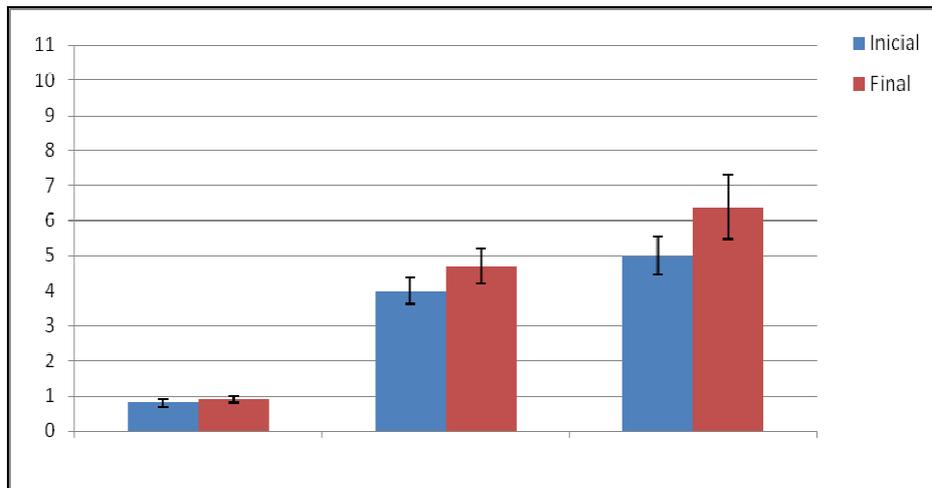


Fonte: O AUTOR, (2015).

4.4.2 DIN 1.2711

Os valores de Ra médios obtidos foram $0,78\mu\text{m}$ no início e $0,91\mu\text{m}$ no final da usinagem. Houve também uma redução nos valores de Rmax que podem ser decorrentes da menor quantidade de lascamento presente nas ferramentas, bem como, pela ação lubrificante do fluido de corte. A figura 52 apresenta o gráfico com os valores observados no experimento.

Figura 52- Gráfico comparativo da rugosidade no início e fim da usinagem para o DIN 1.2711 com MQL.



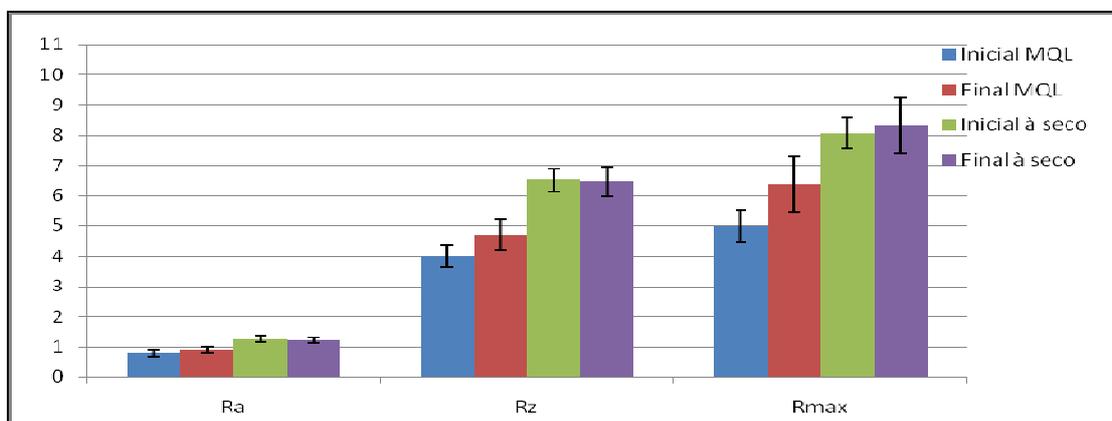
Fonte: O AUTOR, (2015).

4.5 AVALIAÇÃO DA RUGOSIDADE ENTRE AS USINAGEMS A SECO E MQL

4.5.1 DIN 1.2711

Pode-se observar valores de rugosidade menores para a condição com utilização de MQL, isso ocorre devido as propriedades lubrificantes do fluido lubrificante que auxiliam no corte, bem como pelo fato das três ferramentas utilizadas na usinagem a seco apresentarem lascamento em seus gumes. A figura 53 apresenta os dados referentes ao aço DIN 1.2711.

Figura 53- Gráfico comparativo da rugosidade no início e fim da usinagem para o DIN 1.2711 com MQL e à seco

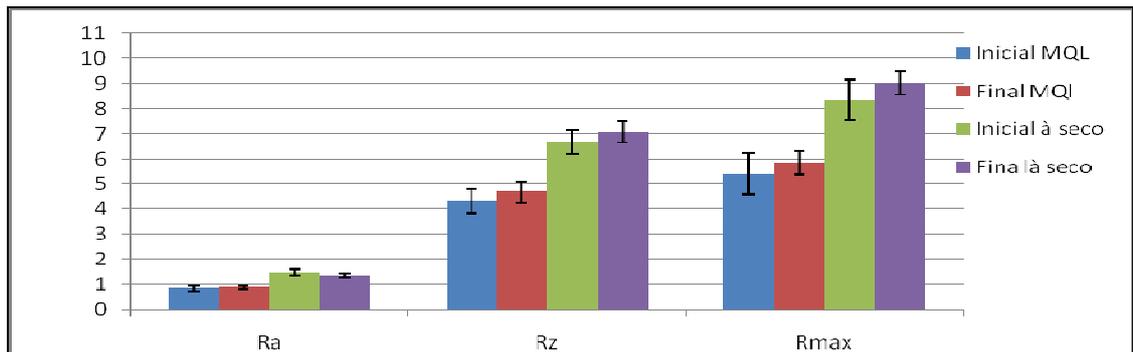


Fonte: O AUTOR, (2015).

4.5.2 Nimax

Novamente a utilização de fluido lubrificante garantiu menores valores de rugosidade para a condição Mql. Os valores de Ra e Rz indicam a ausência de vibrações durante o processo. A figura 54 apresenta os dados referentes ao aço Nimax.

Figura 54- Gráfico comparativo da rugosidade no início e fim da usinagem para o Nimax com MQL e à seco



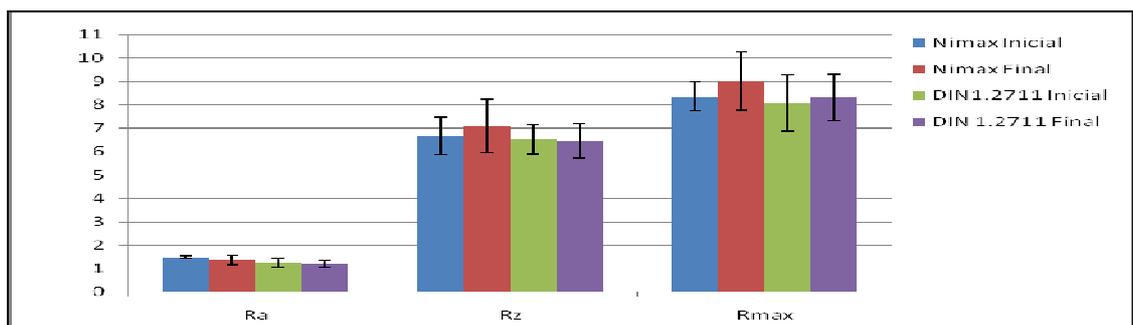
Fonte: O AUTOR, (2015).

4.6 AVALIAÇÃO DA RUGOSIDADE ENTRE OS MATERIAS

4.6.1 Usinagem à seco

Ambos materiais obtiveram resultados semelhantes e se considerarmos a incerteza com valores de RZ e R máx próximos indicando a baixa quantidade de vibração no processo. Outro detalhe a ser observado é que os lascamentos não tiveram grande influência sobre o acabamento superficial. A figura 55 apresenta os dados referentes ao processo de usinagem à seco.

Figura 55- Gráfico comparativo da rugosidade no início e fim da usinagem entre Nimax e Din 1.2711 usinados à seco.

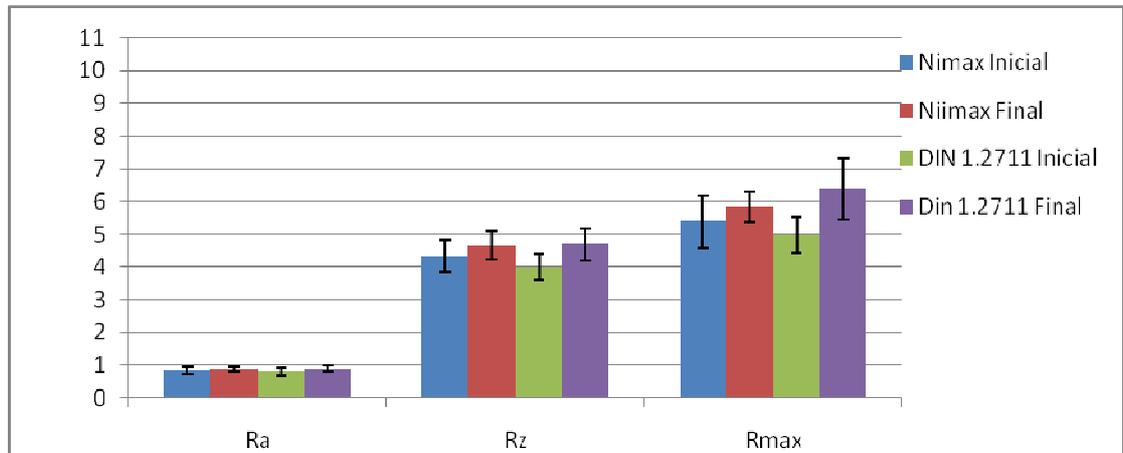


Fonte: O AUTOR, (2015).

4.6.2 Usinagem MQL

Na usinagem MQL os valores obtidos foram menores que na usinagem à seco, contudo novamente o campo da incerteza não nos permite avaliar qual o material que obteve melhor desempenho. A figura 56 apresenta os dados referentes ao processo de usinagem à seco.

Figura 56- Gráfico comparativo da rugosidade no início e fim da usinagem entre Nimax e DIN1.2711 com MQL.



Fonte: O AUTOR, (2015).

5 CONCLUSÃO

Após a análise das doze fresas algumas considerações podem ser feitas com relação aos itens avaliados. No quesito integridade da aresta de corte da ferramenta, foram observados desgaste do tipo: desgaste de flanco, lascamento, e em alguns casos adesão. Não foram observadas grandes diferenças para os valores referentes ao desgaste de flanco.

Quanto ao lascamento, o aço Nimax proporcionou uma melhor integridade nas ferramentas utilizadas para usinagem à seco, visto que o lascamento ocorreu apenas na ferramenta 3 enquanto as três ferramentas que usinaram DIN 1.2771 apresentaram lascamento em seus gumes.

Durante a usinagem MQL ambos aços comportaram-se de forma semelhante, visto que, ocorreu lascamento de uma ferramenta em cada corpo de prova, fresa 2 no NIMAX e fresa 1 no DIN 1.2711. Em ambos os casos os valores de desgaste de flanco situaram-se muito próximos, 0,493mm e 0,471mm para as fresas 1 e 2 que usinaram NIMAX e 0,461mm e 0,448mm para as fresas 2 e 3 que usinaram DIN 1.2711.

Observando os resultados em relação os desgastes e avarias, percebe-se uma vantagem do aço NIMAX na usinagem a seco. Com relação a usinagem MQL ambos se comportaram de forma semelhante.

Nos ensaios de rugosidade realizados nos corpos de prova usinados à seco observou-se valores de R_a próximos para ambos os materiais sendo, $1,35\mu\text{m}$ para o NIMAX e $1,208\mu\text{m}$ para o DIN 1.2711. Quanto aos valores de $R_{\text{máx}}$, o DIN 1,2711 obteve o menor valor, $8,308\mu\text{m}$, versus $9,01\mu\text{m}$ encontrados no NIMAX. Os valores de R_z na usinagem a seco foram de $7,0816\mu\text{m}$ para o NIMAX e $6,46\mu\text{m}$ no DIN 1.2711. Para ambos os casos considerou-se os valores no final da usinagem.

Devido as propriedades lubrificantes do fluido lubrificante, os valores de R_a , R_z e $R_{\text{máx}}$ encontrados na usinagem MQL foram inferiores aos encontrados na usinagem a seco. O corpo de provas de NIMAX apresentou $R_a=0,883\mu\text{m}$ e $R_{\text{máx}}=5,83\mu\text{m}$ enquanto o aço DIN1.2711 apresentou valores de $R_a=0,89\mu\text{m}$ e $R_{\text{máx}}=6,38\mu\text{m}$. Os valores de R_z na usinagem MQL foram de $4,67\mu\text{m}$ para o NIMAX e $4,69\mu\text{m}$ no DIN 1.2711, com isso a resistência da superfície em função do

perfil de rugosidade é similar em ambos os casos e superior quando comparada a usinagem a seco.

Deste modo concluiu-se que a usinagem do aço NIMAX apresentou um melhor desempenho, visto que, foi o material que acarretou menos danos às ferramentas de corte. Na empresa isso se traduz em menos tempo de máquina parada para troca de ferramentas, bem como uma menor quantidade de ferramentas utilizadas para realizar o mesmo trabalho.

Como sugestão para futuros projetos, pode-se relacionar:

- a) realizar a metodologia aqui apresentada avaliando-se ferramentas com diferentes revestimentos;
- b) a influência de diferentes geometrias de ferramentas na qualidade superficial durante a usinagem de ranhuras utilizando NIMAX;
- c) a redução da resistência superficial em ranhuras obtidas através do processo EDM

REFERÊNCIAS

- ARIETA, Francisco; SILVA, Douglas P. **Seleção de aços para moldes plásticos: passado presente e futuro**. TyssenKrup, 1998.
- BAUCO, Silvio Antonio. **High Speed Machining na Indústria de Matrizes**. São Paulo: Érica, p.111-121, 2003.
- BRADFORD, John. **How Do You Get The Cutting Parameters For Small End Mills?**. Modern Machine Shop, ed. 24/07/ 2009, p. 11-12 .
- DINIZ, Anselmo Eduardo; MARCONDES, Francisco Carlos; COPPIN, Nivaldo Lemos. **Tecnologia da usinagem dos materiais**. 4. ed. São Paulo: Altibler, 2003.
- DINIZ, Anselmo Eduardo; HIOKI, Daniel; SINATORA, Amilton. **Influence of HSM cutting parameters on the surface integrity characteristics of hardened AISI H13 steel**. The Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering, 2013.
- FERRARESI, Dino. **Fundamentos da usinagem dos metais**. São Paulo: Blucher, 1970.
- FIELD, Ron. **High Speed Machining of Dies And Molds**. Modern Machine Shop,ed. 15/09/2002, p. 1-3 .
- GAMARRA, José Roberto. **Características das ferramentas em HSM: fresamento, furação e faceamento**. São Paulo: Érica, p. 90-107, 2003.
- HARADA, Júlio. **Moldes para a Injeção de termoplásticos**. São Paulo: Artirber, 2004.
- MACHADO, Alisson Rocha; SILVA, Marcio Bacci. **Fluidos de corte para HSM**. Uberlândia: Universidade Federal de Uberlandia, 2003.
- MAIA DE SÁ, Vinícius. **Avaliação do desgaste da ferramenta de metal duro revestida com TiN no fresamento do aço ABNT4140 temperado e revenido, utilizando duas ferramentas de diâmetros diferentes**. Dissertação (Mestrado)-Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica 2010.
- MALLORY, Robert A. **Plastic part desing for injection molding: an introduction**. Hanser, 1994.
- MATSUMURA, Takashi; MIYAHARA, Yasuaki, ONO, Takenori. **Dynamic Characteristics in The Cutting Operations with Small Diameters End Mills**. Departament of Mechanical Engineering, Tokyo Denky University, 2008.
- MEIDEIROS, Mauro Araújo; SILVA, Flávia Cristina Souza e; SILVA, Mário Bacci da; MACHADO, Álisson Rocha; BARBOSA, Ceslo Antônio. **Estudo da usinabilidade do aço VP 100 com diferentes teores de titânio a partir da análise da influência**

dos aspectos microestruturais do material no desgaste de flanco da ferramenta de corte. 7º Congresso Brasileiro da Fabricação 2013 .

MENNING, Günter; Stoeckhert, K. **Mold Making Handbook.** 2. ed. Hanser/Gardner Publications ,1998.

MIRANDA, Ana Paula Fernandes. **Estudo de Aços ferramenta pré-endurecidos.** Dissertação (Mestrado)-Universidade do Porto, Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, 2014.

MIRRES, Sandro Pimentel. **Identificação experimental do chatter no fresamento de topo.** Dissertação (Mestrado)-Centro federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca-CEFET/RJ, Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica e Tecnologia dos Materiais 2013.

OLIVEIRA, Juliano, Marcon. **Caracterização da integridade de superfícies usinadas para produção de moldes e matrizes.** Dissertação (Mestrado)-Universidade de Caxias do Sul, Programa de Pós Graduação em Materiais, 2006.

OLIVEIRA, Adilson, José. **Análise do desgaste de ferramentas no fresamento com Alta Velocidade de aços endurecidos.** Tese (Doutorado)-Universidades Estadual de Campinas, Comissão de Pós Graduação em Engenharia Mecânica, 2007.

Pei Yan; Xiang Su; Gang Wang; Yiming Rong. **Preliminary experimental study on effect of cutting fluid on milled surface quality of iron-base superalloy.** Department of mechanical Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, PR China.

RIGATTI, Aldo Marcel, Yoshida. **Avaliação das forças de usinagem e energia específica de corte no fresamento com alta velocidade de corte.** Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, 2010.

SANDVIK. **Usinagem em altíssimas velocidades.** São Paulo: Érica, 2003.

SANDVIK. **Fabricação de moldes e matrizes.** C-1102:2-Por/01 Ab Sandvik Coromant, 2002.

SHOEMAKER, Jay. **Moldflow desing guide: a resource for plastics engineers.** 1º ed. Hanser, 2006.

SORS, László; BARDÓCZ, László; RADNOTTI, István. **Plásticos:** moldes e matrizes. Hemus, 2002.

PU, Zhengwen; SINGH, Anshul. **High speed ball nose end milling of hardened AISI A2 tool steel with PCBN and coated carbide tools.** Journal of Manufacturing Process 2013, pg. 467-473.

ZELINSKI, Peter. **Hard Milling By The Numbers**. Modern Machine Shop, 4/01/2008, p. 23-24.

ANEXO 01 - INFORMATIVO TÉCNICO NIMAX

INFORMATIVO
TÉCNICO

UDDEHOLM
NIMAX
O que é NIMAX

É um aço ligado ao Cr-Ni-Mo pré-endurecido desenvolvido para aplicações em moldes para plásticos com elevada dureza e tenacidade. Essas propriedades são obtidas já em seu processo de fabricação sem qualquer tratamento térmico durante a sua produção.

Propriedades que solucionam

- Ótima usinabilidade, similar ao aço AISI P20
- Excelente polibilidade
- Imune a efeitos indesejados na eletro-erosão (sem formação de camada branca e dura)
- Elevada dureza superficial após nitretação (> 1.000 HV)
- Excelente soldabilidade
- Excelente tenacidade, dobro do aço AISI P20
- Excelente pureza, é quase inexistente a possibilidade de ocorrência de porosidade e/ou segregações.
- Superfície fina após usinagem com CNC

Composição Química, %	C	Mn	Cr	Mo	Ni
	0,10	1,80	3,00	0,30	1,00

Condição de Fornecimento

Pré-endurecido, ~ 40 HRC

Similaridades

AISI */*, W.Nr. */*

Aplicações

Especialmente desenvolvido para aplicações em moldes que exijam dureza elevada, em substituição ao aço AISI P20 e W.Nr. 1.2711, substitui em alguns casos o aço AISI H13. O aço Nimax é testado 100% ultrasonicamente.

Aplicações Típicas

- Indicado onde o mecanismo de falha dominante e a trinca dos modos/bases não relacionados com o ajuste
- Insertos de grande porte
- Peças técnicas injetadas com carga
- Moldes para injeção de termoplástico
- Moldes de sopro
- Bases de ferramentas de alta solicitação
- Componentes estruturais
- Moldes para borracha não agressiva
- Matrizes para fundição de ligas de Zinco (Nitretadas)

Tabela Comparativa de propriedades e mecanismos de falha

Produto UDDEHOLM	Resistência ao Desgaste	Tenacidade	Resistência a Compressão	Resistência a Corrosão	Usinabilidade	Polimento	Estabilidade Dimensional
CORRAX	■	■	■	■	■	■	■
ELMAX	■	■	■	■	■	■	■
IMPAX SUPREME	■	■	■	■	■	■	PRÉ-TEMPERADO
NIMAX	■	■	■	■	■	■	PRÉ-ENDURECIDO
RAMAX 2	■	■	■	■	■	■	PRÉ-TEMPERADO
STAVAX ESR	■	■	■	■	■	■	■
STAVAX SUPREME	■	■	■	■	■	■	■
UNIMAX	■	■	■	■	■	■	■

A mais alta
tecnologia em
aços especiais

UDDEHOLM

ANEXO 01 - INFORMATIVO TÉCNICO NIMAX

INFORMATIVO
TÉCNICO



Polimento

A resposta ao polimento é única, sendo superior ao 1.2711, devido ao baixo carbono e enxofre, a inexistência de cálcio e a adição de outros elementos, a resistência à corrosão é melhorada refletindo em uma maior durabilidade do polimento.

Tenacidade

Devido à fina granulação, a composição química singular e os tratamentos de homogeneização executados durante o processo de produção na usina em Hagfors na Suécia, a resistência ao impacto do Nimax (média 40 J) chega ao dobro do P20 Premium (20 J) e quase ao triplo do 1.2711 (15 J). Nas mesmas condições.

Pureza / Limpeza

Em função dos baixíssimos teores de enxofre, carbono e fósforo a possibilidade de ocorrência de porosidade e ou segregações é praticamente inexistente, sendo todos os blocos submetidos a ensaio de ultrassom conforme norma ASTM A 388 e inclusões ASTM E 45

Solda

Baixo carbono é uma condição essencial para boa soldabilidade sendo este aço martensítico de baixo carbono a resposta à solda e a uniformidade entre o material de adição, o substrato e a zona de transição e em todos os aspectos superior aos concorrentes.

Obs.: Inicialmente não dispomos de vareta específica, aconselhamos a utilização do próprio material em forma de cavaco como material de adição ou do Impax Supreme que dispomos para pronta entrega.

Nitretação

Excepcional resposta a nitretação, por qualquer processo, seja iônica, gasosa a camada nitretada supera os 1.000 HV, o que corresponderia a 70 HRC.

Favor consulta nosso departamento técnico.

Eletro erosão

Tanto no corte a fio como no mergulho ou penetração, não há formação de camada branca frágil.

Dureza Final

Tanto no corte a fio como no mergulho ou penetração, não há formação de camada branca frágil.

Trabalho 40 HRC

Para maiores informações, consulte nosso departamento técnico

UDDEHOLM

A mais alta
tecnologia em
aços especiais

UDDEHOLM

Est. Yae Massumoto, 353 + 09842-160 + S.B.C + SP

☎ (11) 4393 4560 + Fax.: (11) 4393 4561

uddeholm vendas@steelcenter.com.br + www.uddeholm.com.br



Edição 1, 2007

ANEXO 02 - INFORMATIVO TÉCNICO DIN 1.2711

AÇO ESPECIAL**AÇO 2711****Propriedades Químicas:**

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	V
0.52	0.20	0.70	0.020	0.002	0.75	1.75	0.30	0.10

Similares: WNr 1.2711**Características:**

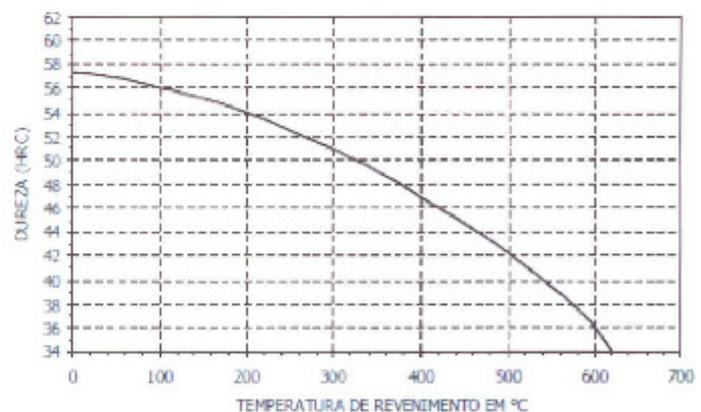
Aço pré-beneficiado da família P20 (dureza próxima a 40 HRC), com teores de C e Ni elevados, que propiciam sua utilização tanto em moldes de grandes dimensões, como na necessidade do aumento da resistência ao desgaste e resistência mecânica, quando comparado a outras ligas da família P20.

Estado de Fornecimento:

Fornecimento temperado e revenido - dureza de 350 a 390HB (38 a 42 HRC). Pode também ser fornecido sob consulta, no estado recozido ou com outros valores de dureza.

Tratamento Térmico:

Recozimento: 650 - 700°C, resfriamento no forno, dureza máxima 240HB.
 Temperatura: 830 - 870°C, resfriamento a óleo ou banho de sal 180-220°C, dureza 57HRC.
 Revenimento (°C): 100 | 300 | 500 | 650
 Dureza (HRC): 56 | 51 | 42 | 30

Curva de Revenimento:

Rua do Bosque, 1729/1747 - Barra Funda
 Tel:55 (11) 3392.6700 - São Paulo, SP
 vendas@aco especial.com.br
 www.acoespecial.com.br

AÇO ESPECIAL
SENTINELA DE EXCELÊNCIA
AÇO PARA O MUNDO
O MELHOR DO AÇO MUNDIAL AO SEU ALCANCE

ANEXO 03 - FERRAMENTA DE CORTE

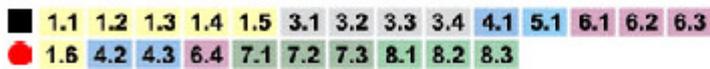
Seletor de Produtos DORMER



Catálogo

S922

Fresa de Topo

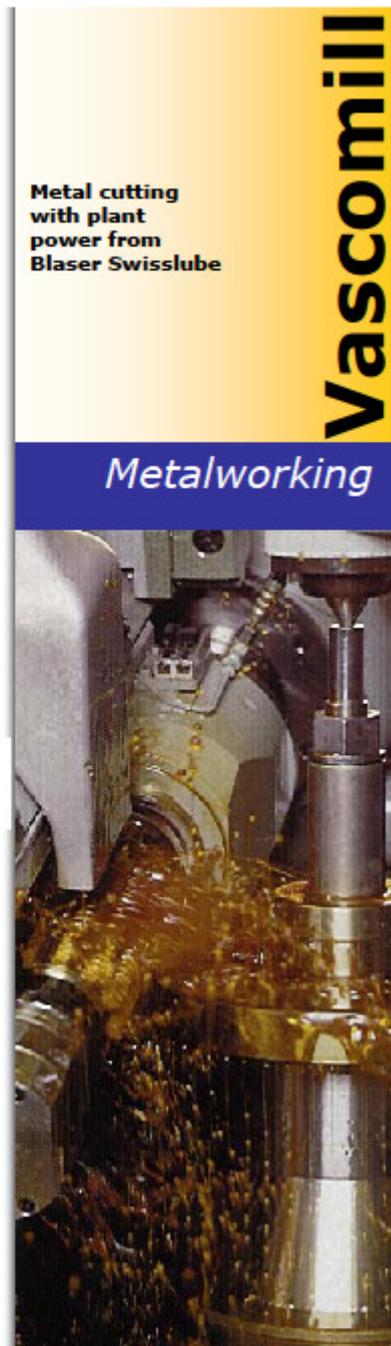


d ₁ Ø mm	d ₂ Ø _{hs} mm	l ₂ mm	l ₁ mm	z	e-code	BRL
2.00	3	6	38	2	S9222.0	85,50
2.50	3	9	38	2	S9222.5	85,50
3.00	3	12	38	2	S9223.0	85,50
4.00	4	14	50	2	S9224.0	95,00
5.00	5	16	50	2	S9225.0	95,00
6.00	6	19	57	2	S9226.0	118,00
7.00	8	19	63	2	S9227.0	165,00
8.00	8	19	63	2	S9228.0	165,00
9.00	10	21	72	2	S9229.0	208,00
10.00	10	22	72	2	S92210.0	208,00
12.00	12	25	73	2	S92212.0	281,00
14.00	14	30	83	2	S92214.0	338,00
16.00	16	32	92	2	S92216.0	449,00
18.00	18	32	92	2	S92218.0	536,00
20.00	20	38	104	2	S92220.0	668,00

¹⁾Haste cilíndrica

ANEXO 4 - FLUIDO LUBRIFRIGERANTE

Vascomill	High performance cutting oils based on vegetable esters	
Advantages	<p>Vascomill</p> <ul style="list-style-type: none"> • out performs mineral oil-based and chlorinated mineral oil-based oils in many applications • increases tool life • reduces cycle time • improves surface quality • suitable for all materials and tools • clean workplace environment • good compatibility with human skin • renewable raw materials • reduces risk of fire vs. mineral oil based products • low misting • reduces drag out – less usage <p>Vascomill HD</p> <ul style="list-style-type: none"> • heavy duty version of Vascomill with chlorinated EP-additives for superior wear protection • universal and especially suitable for heavy duty operations with low cutting speeds 	
Product range	Vascomill 10	<p>cutting and punching oil</p> <ul style="list-style-type: none"> • optimum removal and chip removal rates • very high flash point (208°C)
	Vascomill 22	<p>cutting, grinding and punching oil</p> <ul style="list-style-type: none"> • milling, turning, threading, grinding
	Vascomill 35	<p>cutting and punching oil</p> <ul style="list-style-type: none"> • cutting oil with a very wide range of applications • Universal viscosity
	Vascomill 42	<p>cutting and punching oil</p> <ul style="list-style-type: none"> • cutting oil with a very wide range of applications • best suited for gear hobbing
	Vascomill HD 20	<p>heavy duty metalworking oil</p> <ul style="list-style-type: none"> • heavy duty broaching • slotting • automatic turning (Swiss style CNC lathe)



High performance cutting oils based on vegetable esters

Vascomill

Blaser.
SWISSLUBE

APÊNDICE A - MEDIÇÕES AÇO NIMAX USINADO À SECO

tabela de dados referentes as medições realizadas no aço NIMAX usinado seco.

ferramenta		Início 1			Início 2			Fim 1			Fim 2			Média inicial			Média final		
		Ra	Rz	Rmax	Ra	Rz	Rmax	Ra	Rz	Rmax	Ra	Rz	Rmax	Ra	Rz	Rmax	Ra	Rz	Rmax
1		1,65	8,1	9,5	1,43	7,71	9,21	1,6	8,54	11,92	1,62	8,66	9,99	1,54	7,905	9,355	1,61	8,6	10,955
2		1,18	5,63	6,92	1,78	7,22	8,95	1,04	5,41	8,3	1,03	5,33	6,86	1,48	6,425	7,935	1,035	5,37	7,58
3		1,14	5,89	6,77	1,707	5,42	8,75	1,33	6,91	7,89	1,5	7,64	9,12	1,4235	5,655	7,76	1,415	7,275	8,505
											MÉDIA TOTAL			1,481	6,661	8,35	1,3533	7,0816	9,0133

Fonte: O AUTOR (2015)

Tabela de desvio padrão e incertezas referentes ao NIMAX, usinado seco.

Desvio padrão inicial			Desvio padrão final		
Ra	Rz	Rmax	Ra	Rz	Rmax
0,058259	1,143518	0,874743	0,292418	1,623656	1,743978
Incerteza			Incerteza		
Ra	Rz	Rmax	Ra	Rz	Rmax
0,041195	0,808591	0,618538	0,206771	1,148101	1,233182

Fonte: O AUTOR (2015)

APÊNDICE B - MEDIÇÕES AÇO DIN 1.2711 USINADO À SECO

tabela de dados referentes as medições realizadas no aço DIN 1.2711, usinado seco.

ferramenta	Início 1			Início 2			Fim 1			Fim 2			Média inicial			Média final		
	Ra	Rz	Rmax	Ra	Rz	Rmax	Ra	Rz	Rmax	Ra	Rz	Rmax	Ra	Rz	Rmax	Ra	Rz	Rmax
1	1,52	7,55	10,80	1,53	7,32	9,05	1,54	8,18	10,59	1,37	7,14	9,12	1,53	7,44	9,93	1,46	7,66	9,86
2	0,95	4,61	5,79	1,08	6,68	7,33	1,22	6,15	8,35	1,08	5,43	7,37	1,02	5,65	6,56	1,15	5,79	7,86
3	1,18	5,85	6,96	1,24	7,07	8,48	1,10	6,25	7,11	0,94	5,61	7,31	1,21	6,46	7,72	1,02	5,93	7,21
										MÉDIA TOTAL			1,25	6,513	8,0683	1,20833	6,46	8,30833

Fonte: O AUTOR (2015)

Tabela de desvio padrão e incertezas referentes ao DIN 1.2711, usinado seco.

Desvio padrão inicial			Desvio padrão final		
Ra	Rz	Rmax	Ra	Rz	Rmax
0,257342	0,896191	1,70933	0,22329	1,041585	1,378317
Incerteza			Incerteza		
Ra	Rz	Rmax	Ra	Rz	Rmax
0,181969	0,633704	1,208682	0,15789	0,736514	0,97462

Fonte: O AUTOR (2015)

APÊNDICE C - MEDIÇÕES AÇO NIMAX USINADO COM MQL

tabela de dados referentes as medições realizadas no aço NIMAX, usinado com MQL.

ferramenta	Início 1			Início 2			Fim 1			Fim 2			Média inicial			Média final		
	Ra	Rz	Rmax	Ra	Rz	Rmax	Ra	Rz	Rmax	Ra	Rz	Rmax	Ra	Rz	Rmax	Ra	Rz	Rmax
1	1,03	4,74	5,94	0,94	4,99	6,47	0,95	4,96	5,55	0,91	4,78	5,67	0,985	4,865	6,205	0,93	4,87	5,61
2	0,8	4,12	5,69	0,84	5,04	6,08	0,92	4,78	7,14	1,02	5,53	6	0,82	4,58	5,885	0,97	5,155	6,57
3	0,67	3,64	4,39	0,66	3,43	3,77	0,82	4,52	5,54	0,68	3,47	5,13	0,665	3,535	4,08	0,75	3,995	5,335
										MÉDIA TOTAL			0,8233	4,326	5,39	0,883	4,673	5,8383

Fonte: O AUTOR (2015)

Tabela de desvio padrão e incertezas referentes ao DIN 1.2711, usinado seco.

Desvio padrão inicial			Desvio padrão final		
Ra	Rz	Rmax	Ra	Rz	Rmax
0,160026	0,700256	1,14572	0,117189	0,60449	0,648389
Incerteza			Incerteza		
Ra	Rz	Rmax	Ra	Rz	Rmax
0,113156	0,495157	0,810149	0,082866	0,42744	0,458481

Fonte: O AUTOR (2015)

APÊNDICE D - MEDIÇÕES AÇO DIN 1.2711 USINADO COM MQL

Tabela de dados referentes as medições realizadas no aço NIMAX, usinado com MQL.

ferramenta	Início 1			Início 2			Fim 1			Fim 2			Média inicial			Média final		
	Ra	Rz	Rmax	Ra	Rz	Rmax	Ra	Rz	Rmax	Ra	Rz	Rmax	Ra	Rz	Rmax	Ra	Rz	Rmax
1	0,79	3,58	4,22	0,71	3,71	4,29	0,88	4,83	6,57	0,81	4,54	7,04	0,75	3,645	4,255	0,845	4,685	6,805
2	1,01	4,63	5,98	0,91	4,59	5,56	0,96	4,87	6,44	1,13	5,93	8,41	0,96	4,61	5,77	1,045	5,4	7,425
3	0,67	3,56	4,77	0,7	3,88	5,09	0,89	4,38	5,66	0,68	3,61	4,18	0,685	3,72	4,93	0,785	3,995	4,92
										MÉDIA TOTAL			0,7983	3,9916	4,985	0,8916	4,693	6,383

Fonte: O AUTOR (2015)

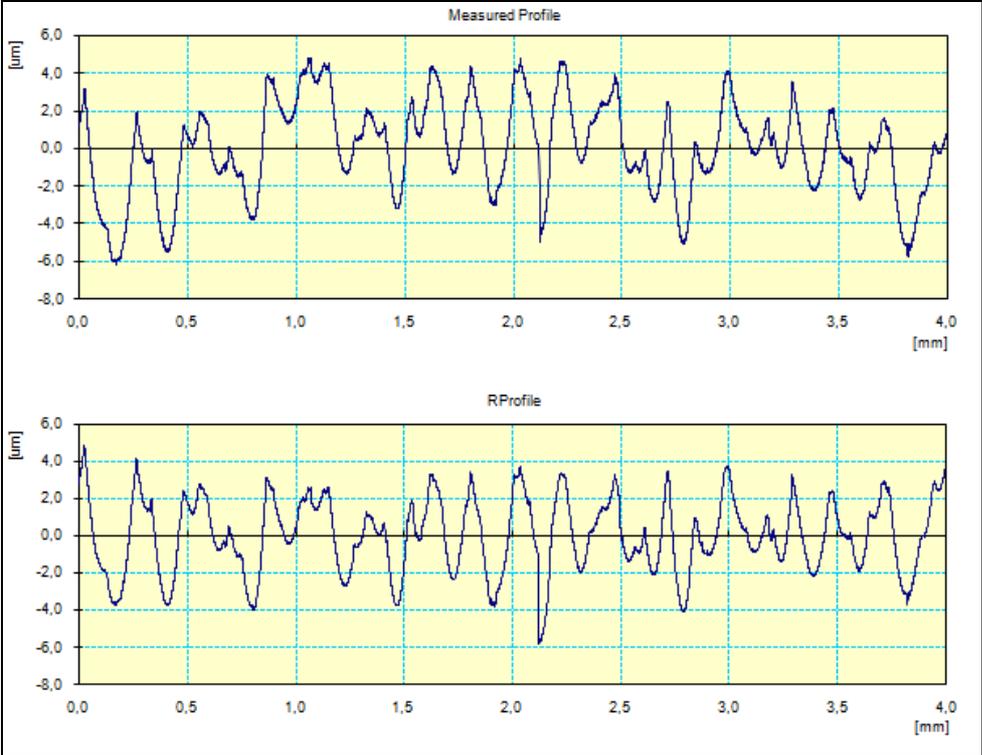
Tabela de desvio padrão e incertezas referentes ao DIN 1.2711, usinado com MQL.

Desvio padrão inicial			Desvio padrão final		
Ra	Rz	Rmax	Ra	Rz	Rmax
0,14373	0,536804	0,758996	0,136137	0,702537	1,304649
Incerteza			Incerteza		
Ra	Rz	Rmax	Ra	Rz	Rmax
0,101633	0,379579	0,536693	0,096264	0,49677	0,922528

Fonte: O AUTOR (2015)

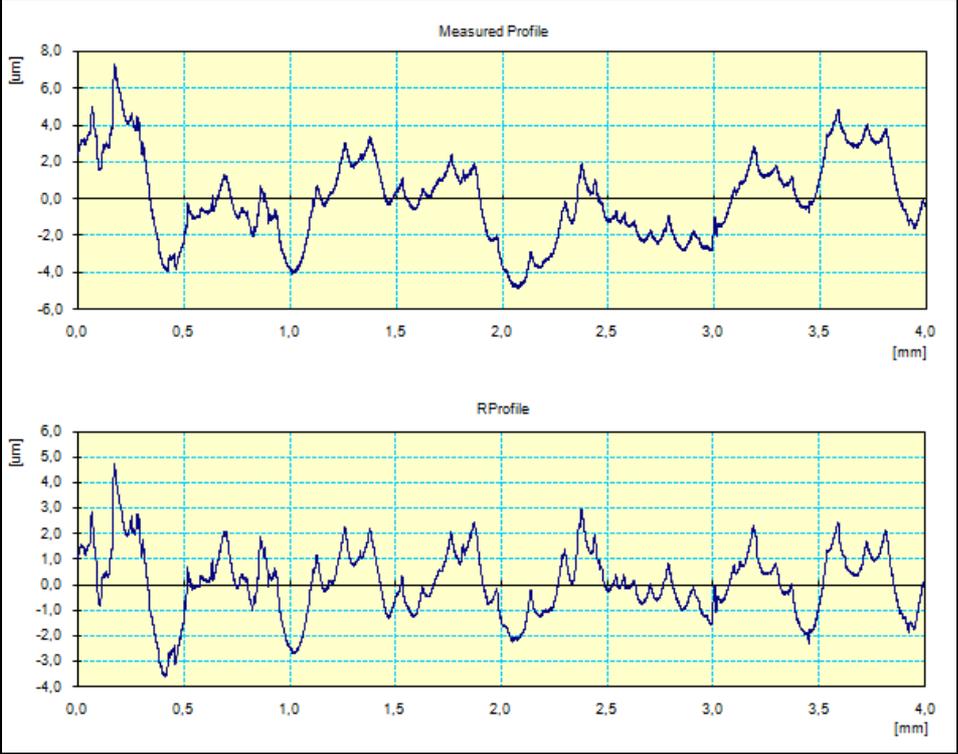
APÊNDICE E- PERFIS DE RUGOSIDADE - AÇO NIMAX USINADO A SECO

Ferramenta 1 ponto inicial 1.



Fonte: O AUTOR (2015)

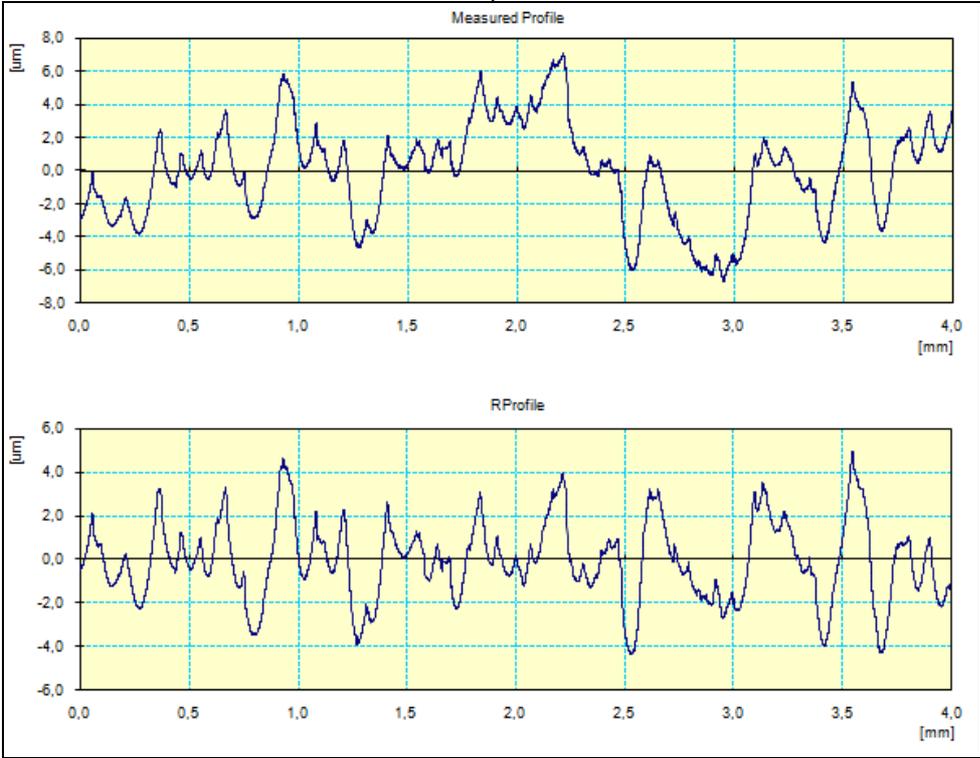
Ferramenta 1 ponto final 1.



Fonte: O AUTOR (2015)

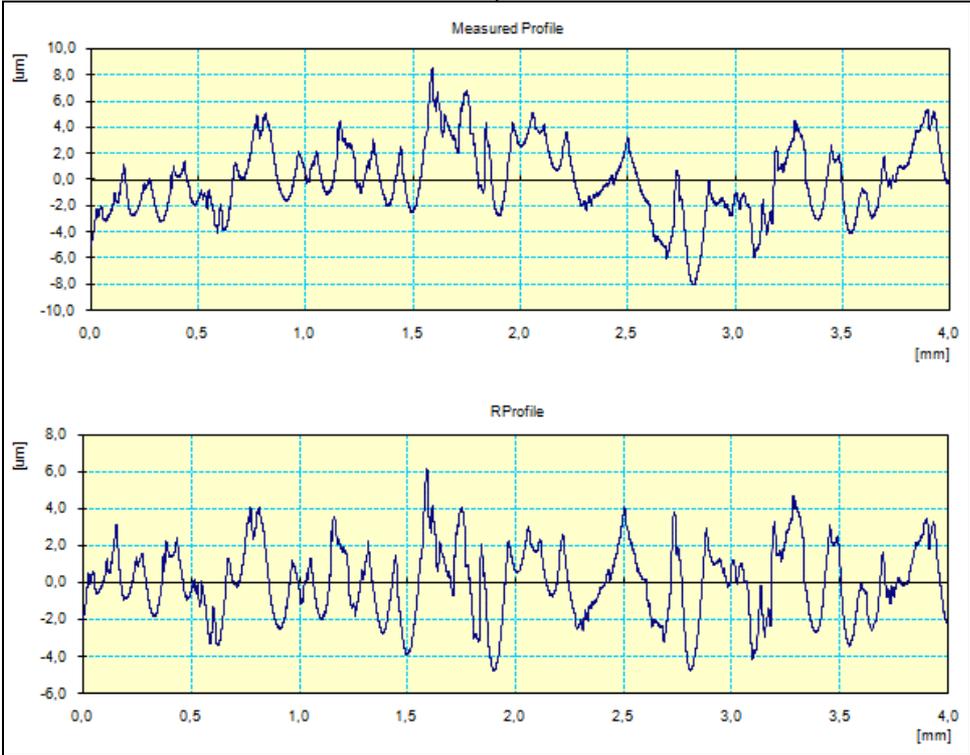
APÊNDICE E- PERFIS DE RUGOSIDADE - AÇO NIMAX USINADO A SECO

Ferramenta 1 ponto inicial 2.



Fonte: O AUTOR (2015)

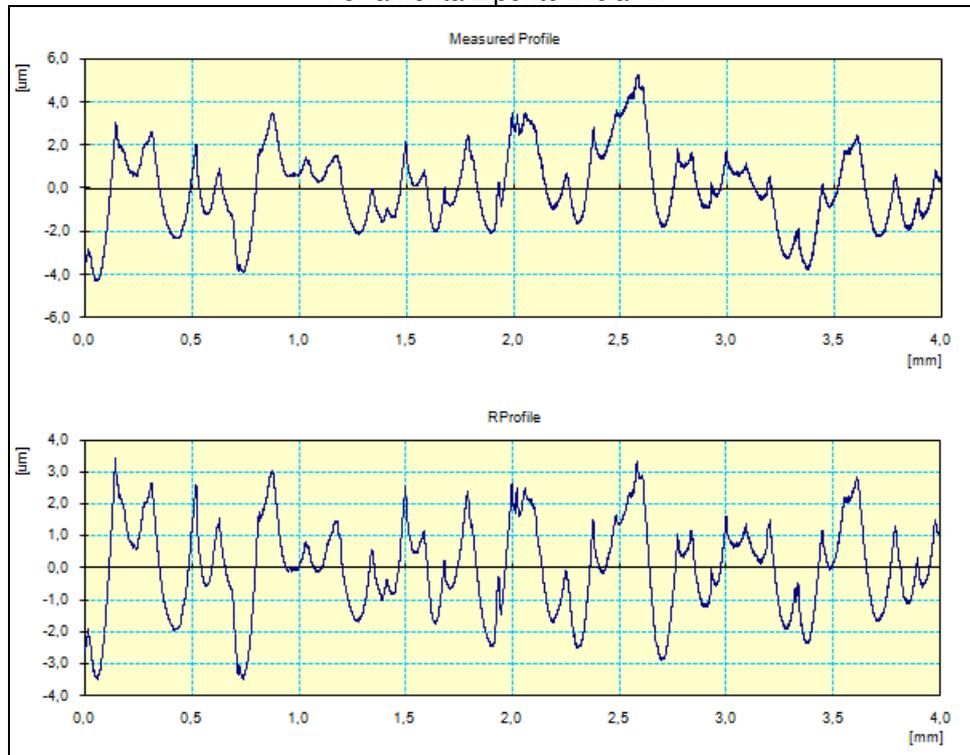
Ferramenta 1 ponto final 2.



Fonte: O AUTOR (2015)

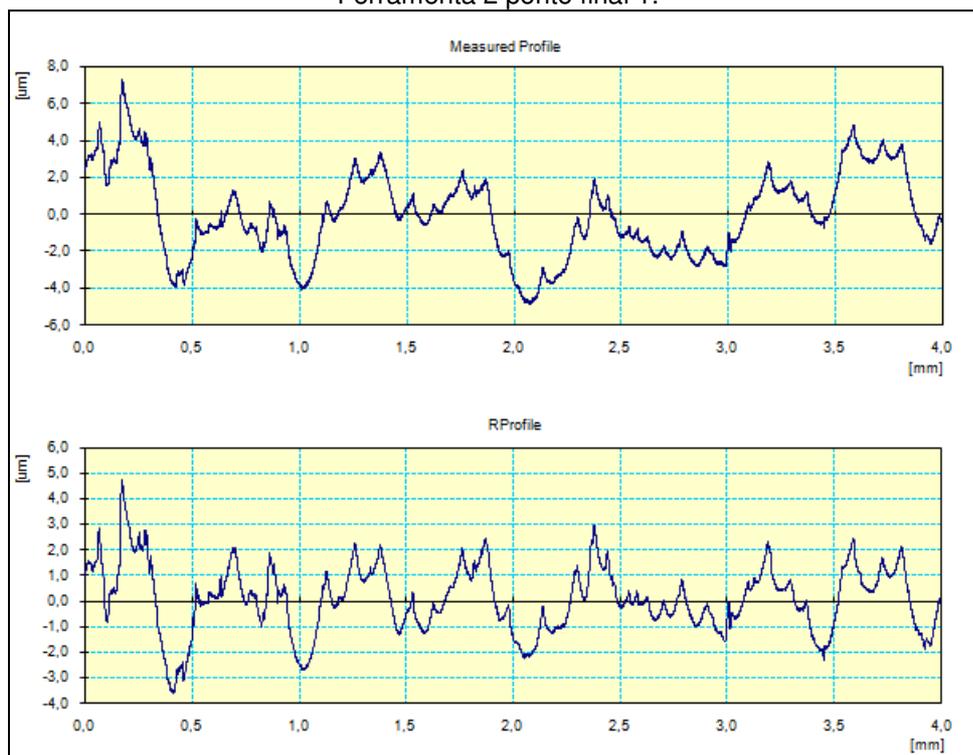
APÊNDICE E- PERFIS DE RUGOSIDADE - AÇO NIMAX USINADO A SECO

Ferramenta 2 ponto inicial 1.



Fonte: O AUTOR (2015)

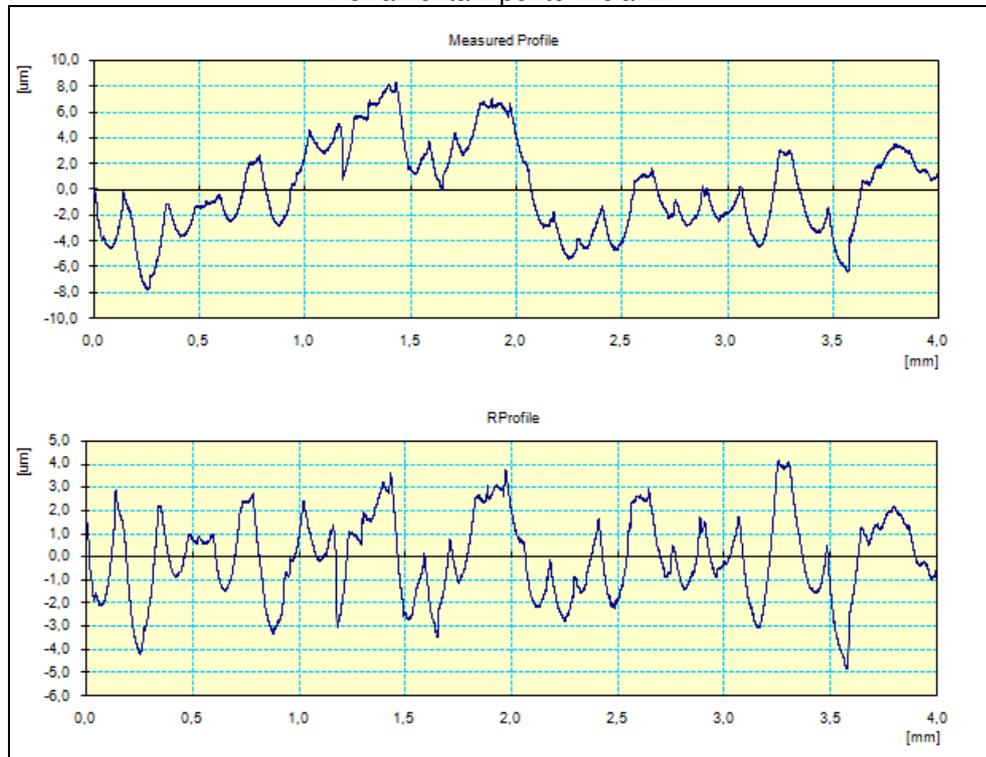
Ferramenta 2 ponto final 1.



Fonte: O AUTOR (2015)

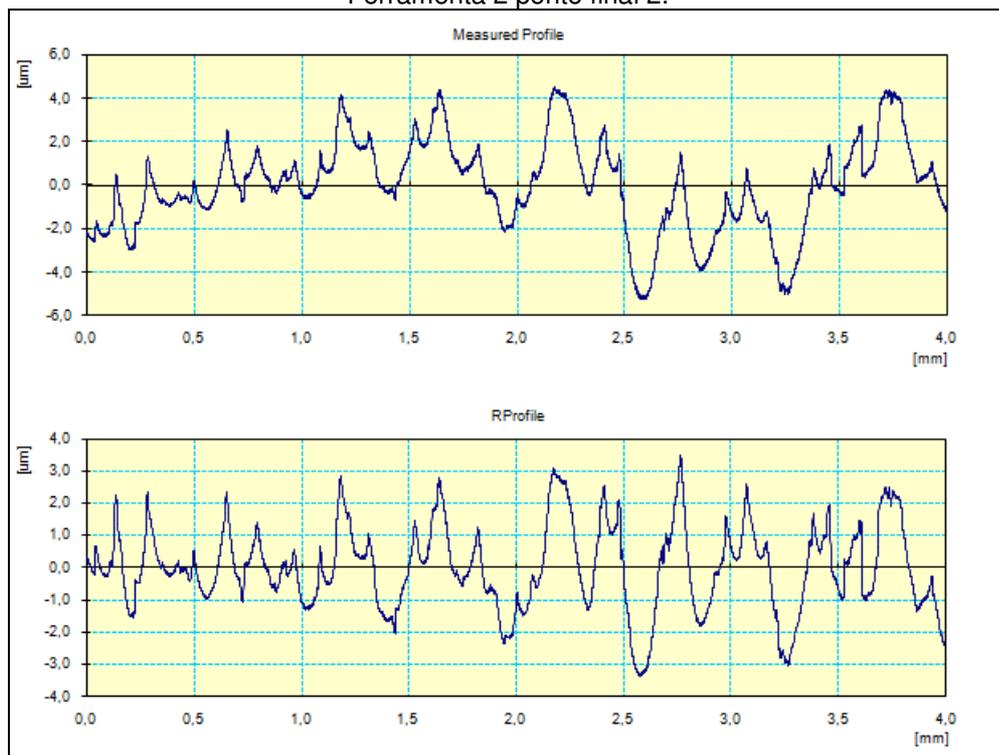
APÊNDICE E- PERFIS DE RUGOSIDADE - AÇO NIMAX USINADO A SECO

Ferramenta 2 ponto inicial 2.



Fonte: O AUTOR (2015)

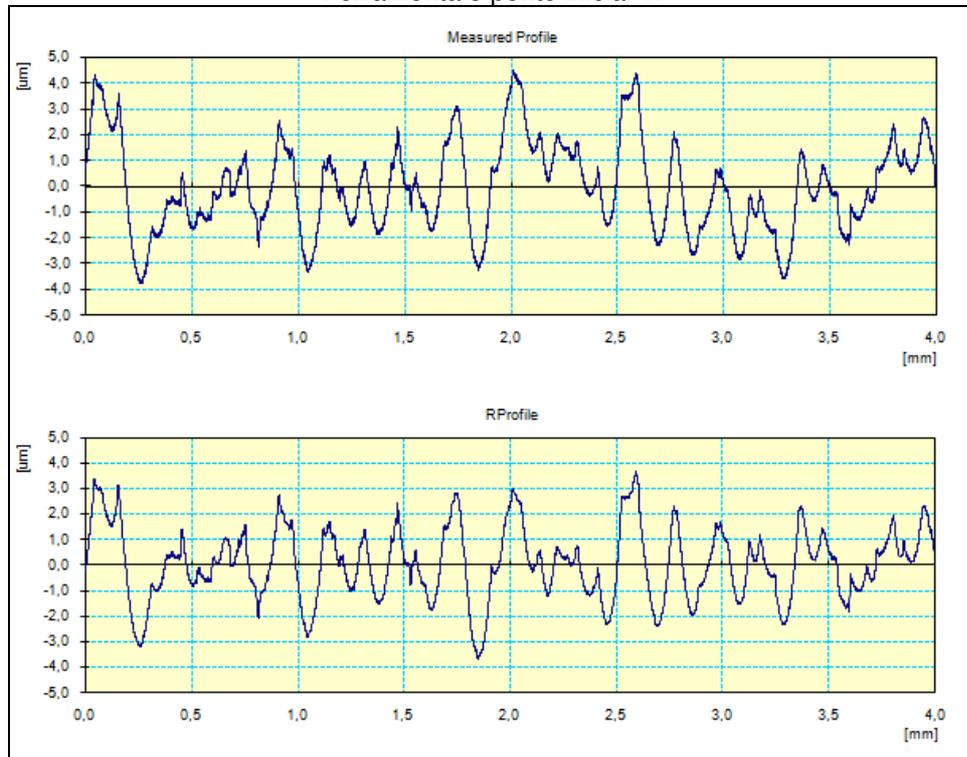
Ferramenta 2 ponto final 2.



Fonte: O AUTOR (2015)

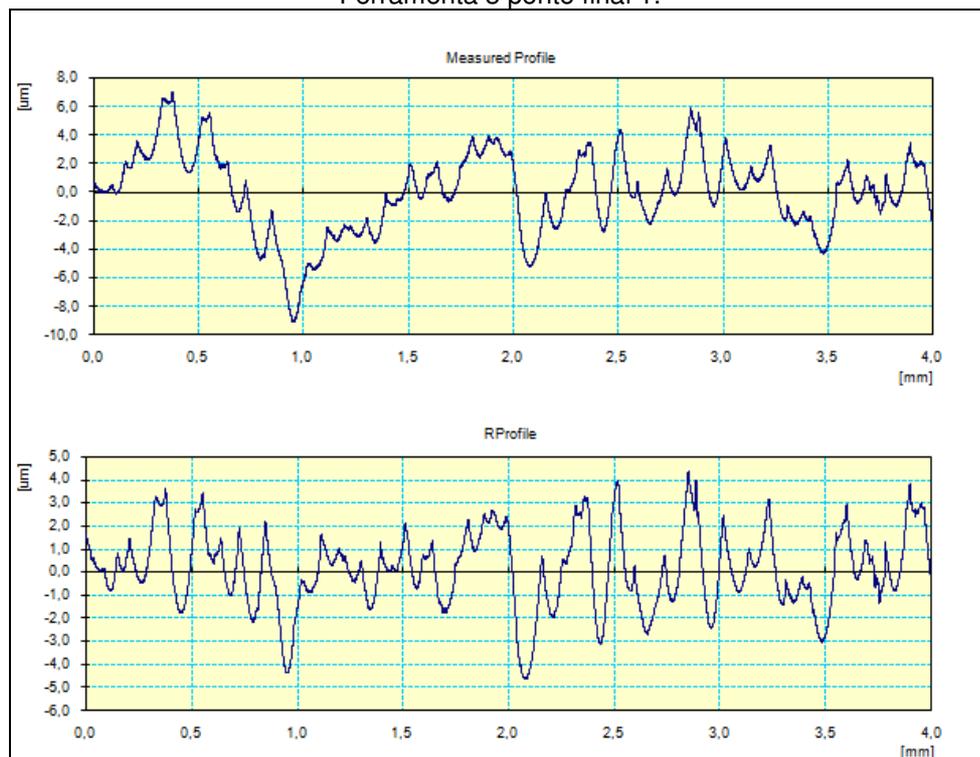
APÊNDICE E- PERFIS DE RUGOSIDADE - AÇO NIMAX USINADO A SECO

Ferramenta 3 ponto inicial 1.



Fonte: O AUTOR (2015)

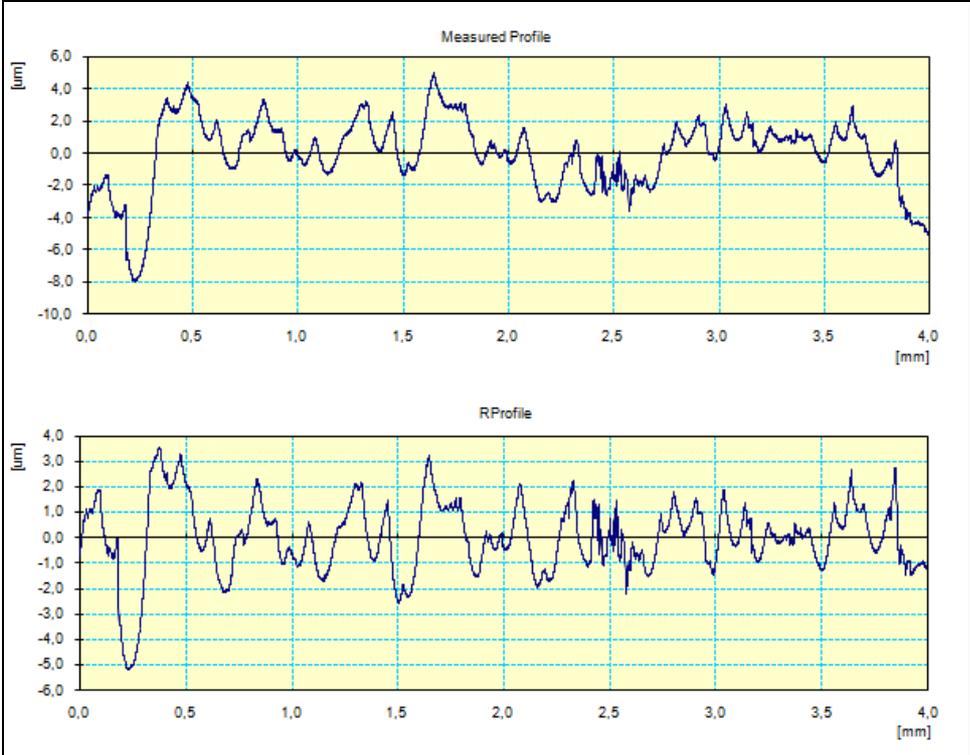
Ferramenta 3 ponto final 1.



Fonte: O AUTOR (2015)

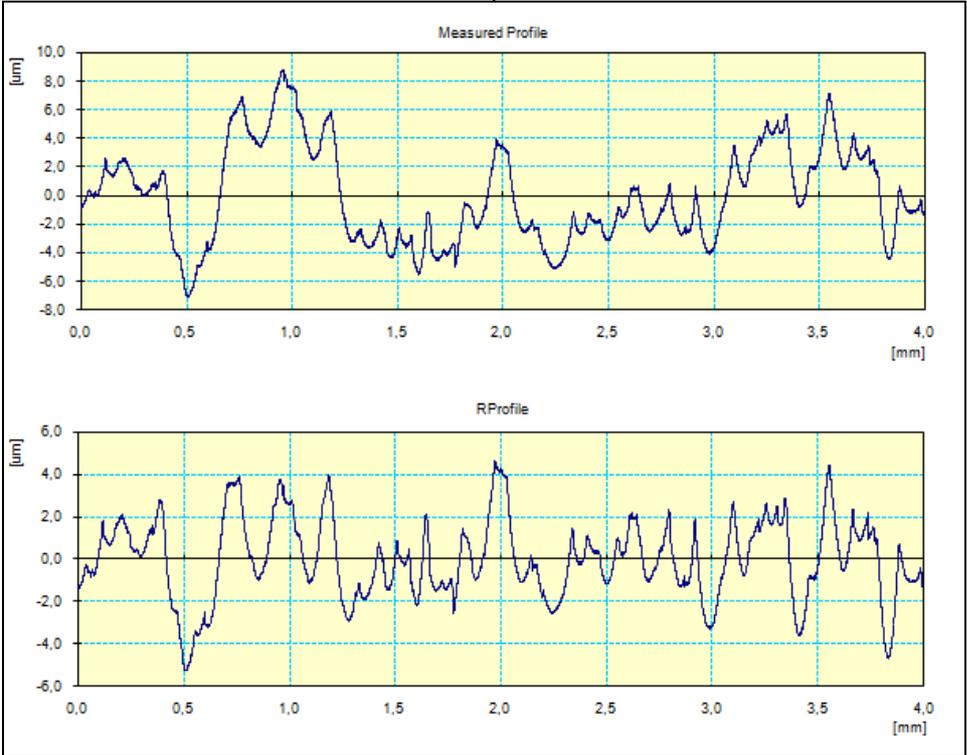
APÊNDICE E- PERFIS DE RUGOSIDADE - AÇO NIMAX USINADO A SECO

Ferramenta 3 ponto inicial 2.



Fonte: O AUTOR (2015)

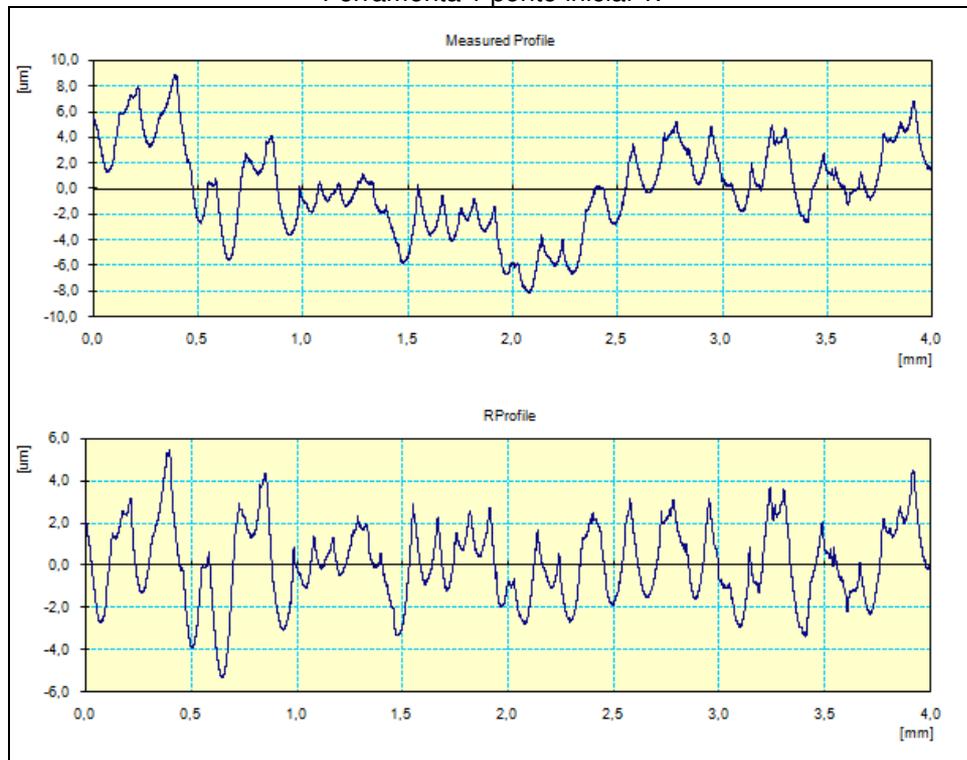
Ferramenta 3 ponto final 2.



Fonte: O AUTOR (2015)

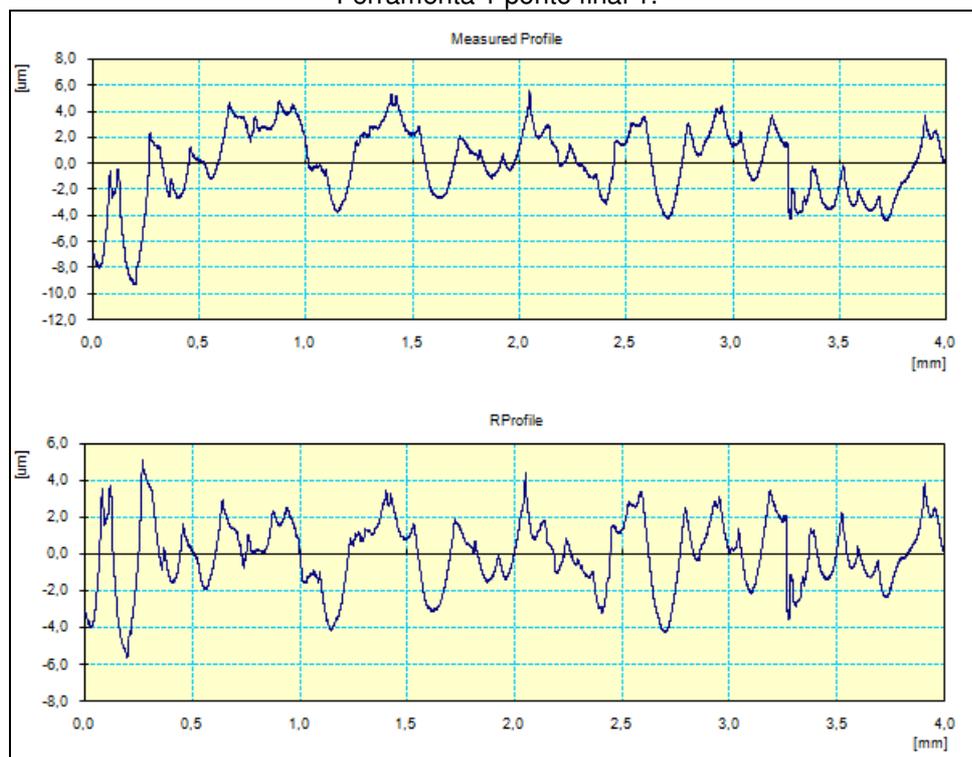
APÊNDICE F- PERFIS DE RUGOSIDADE - DIN 1.2711 USINADO A SECO

Ferramenta 1 ponto inicial 1.



Fonte: O AUTOR (2015)

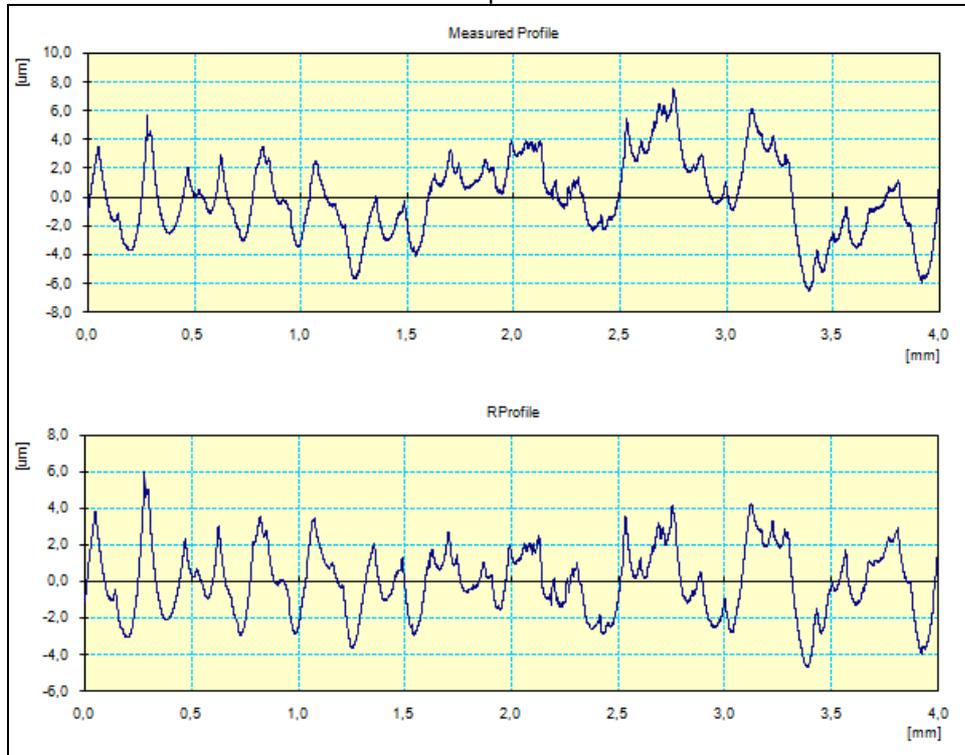
Ferramenta 1 ponto final 1.



Fonte: O AUTOR (2015)

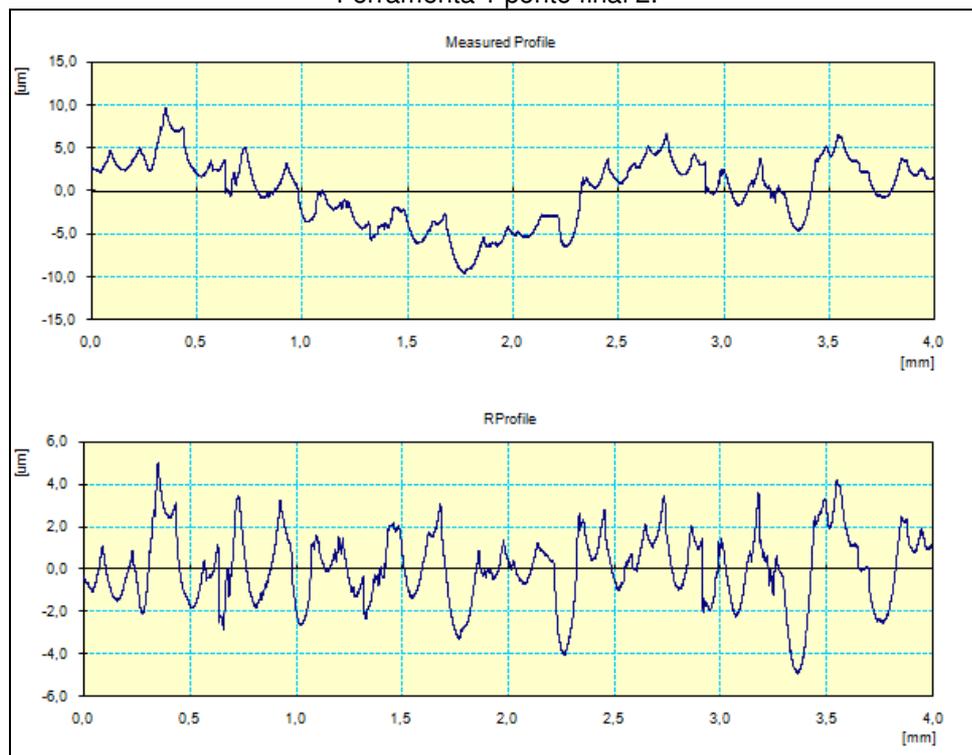
APÊNDICE F- PERFIS DE RUGOSIDADE - DIN 1.2711 USINADO A SECO

Ferramenta 1 ponto inicial 2.



Fonte: O AUTOR (2015)

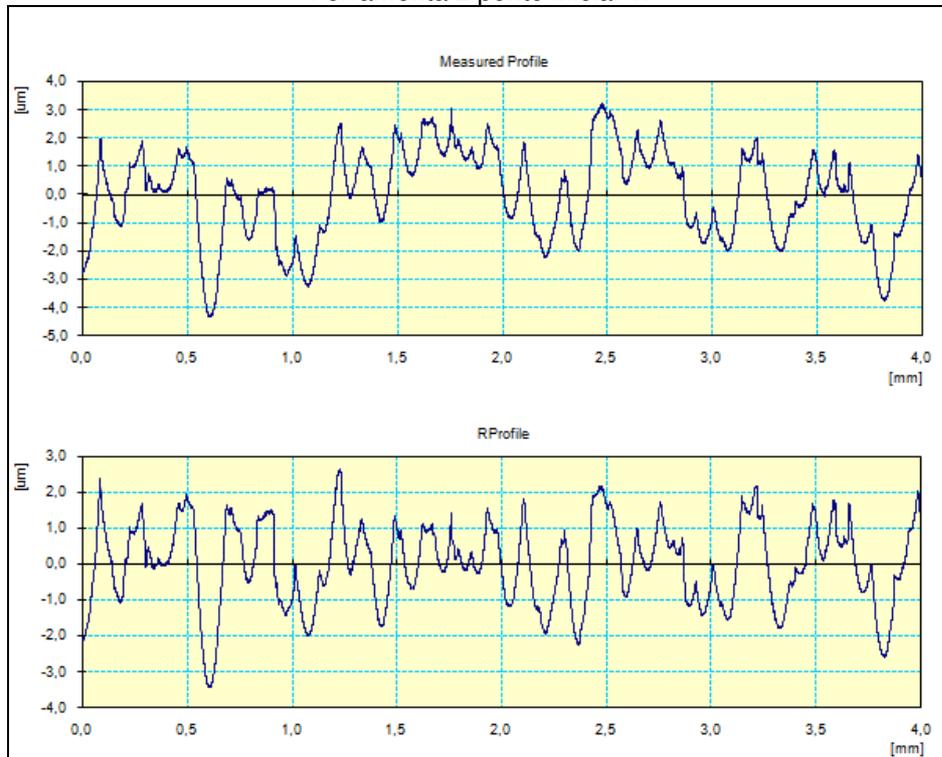
Ferramenta 1 ponto final 2.



Fonte: O AUTOR (2015)

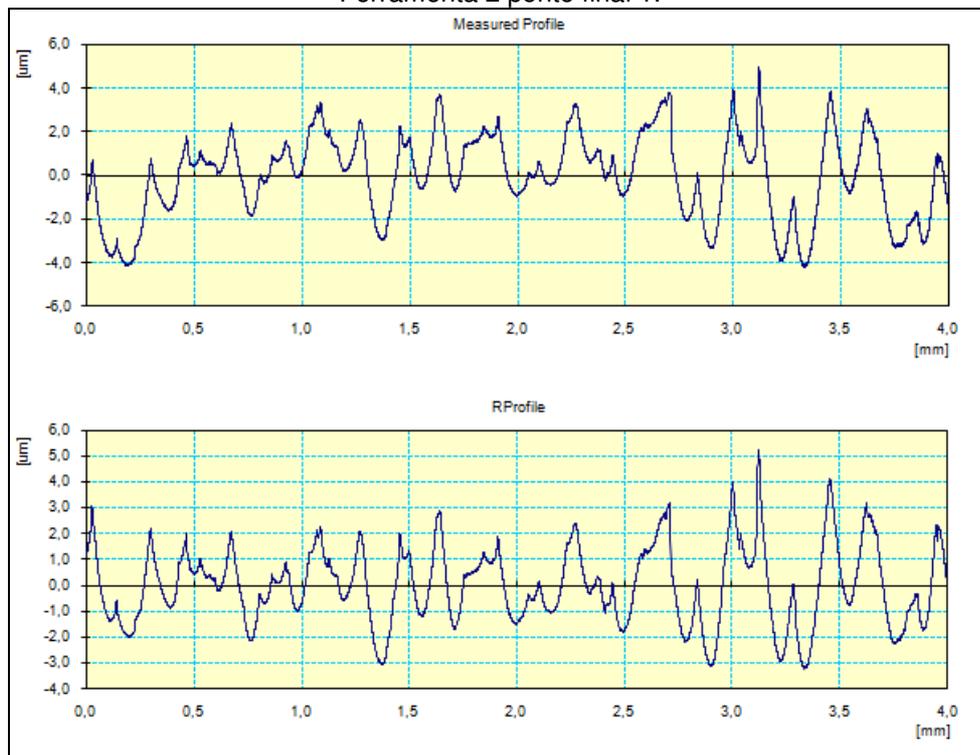
APÊNDICE F- PERFIS DE RUGOSIDADE - DIN 1.2711 USINADO A SECO

Ferramenta 2 ponto inicial 1.



Fonte: O AUTOR (2015)

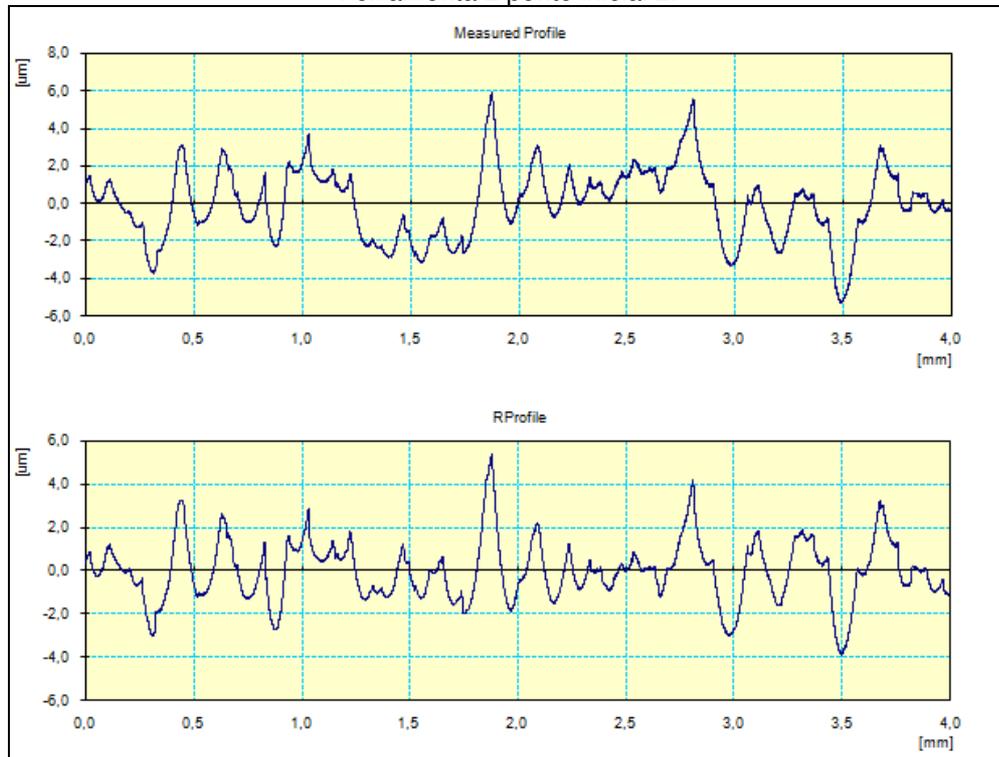
Ferramenta 2 ponto final 1.



Fonte: O AUTOR (2015)

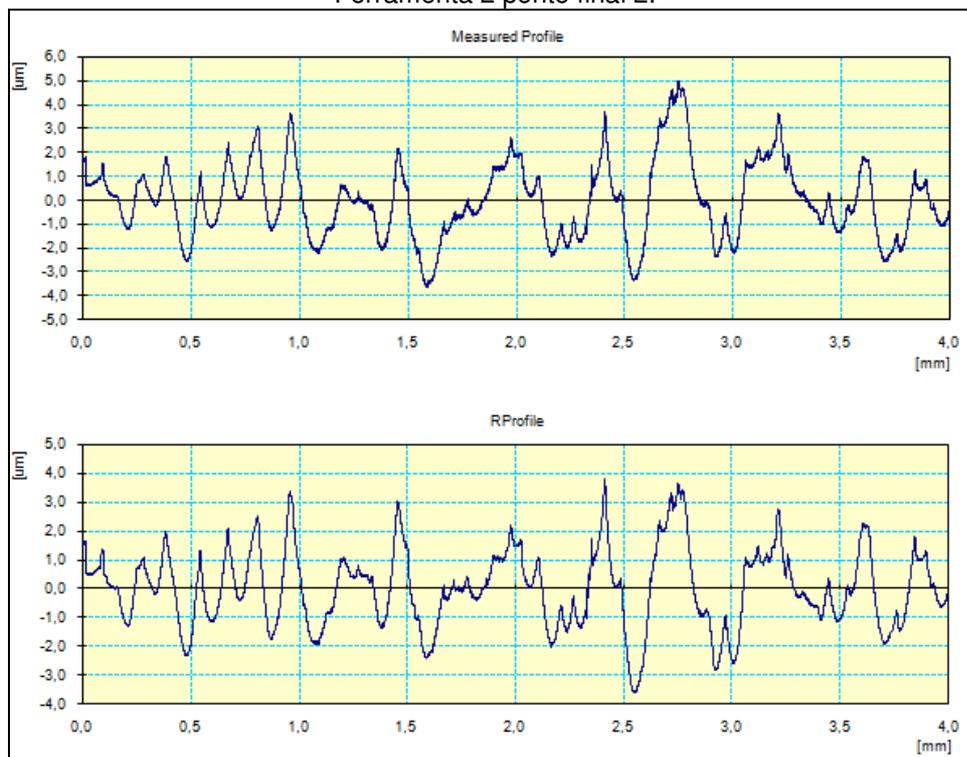
APÊNDICE F- PERFIS DE RUGOSIDADE - DIN 1.2711 USINADO A SECO

Ferramenta 2 ponto inicial 2.



Fonte: O AUTOR (2015)

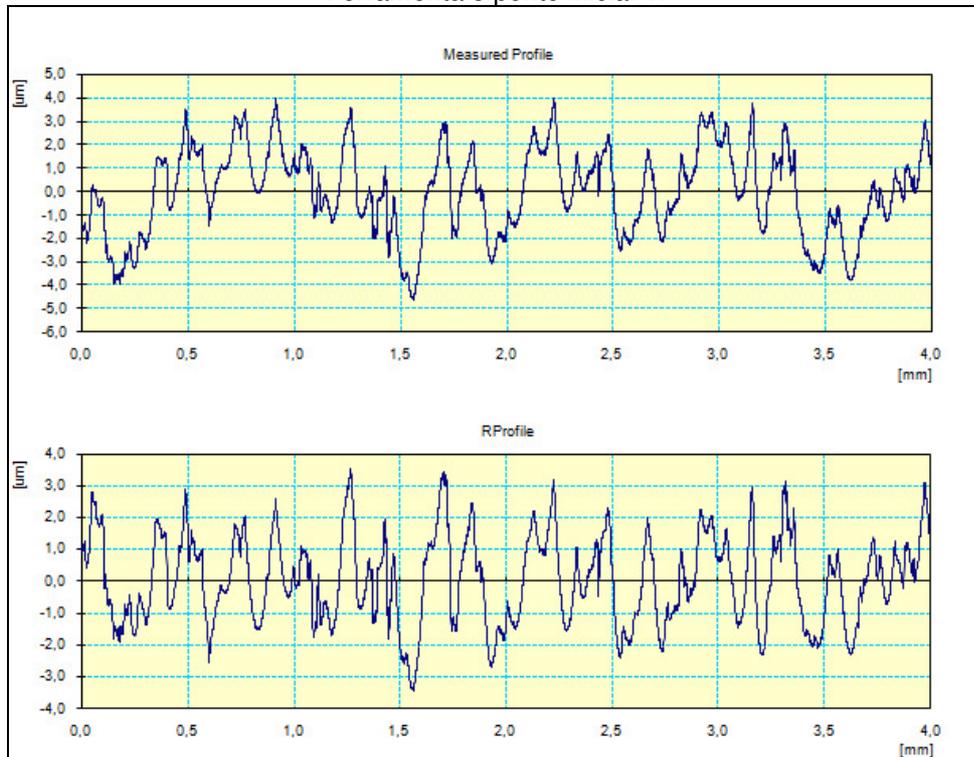
Ferramenta 2 ponto final 2.



Fonte: O AUTOR (2015)

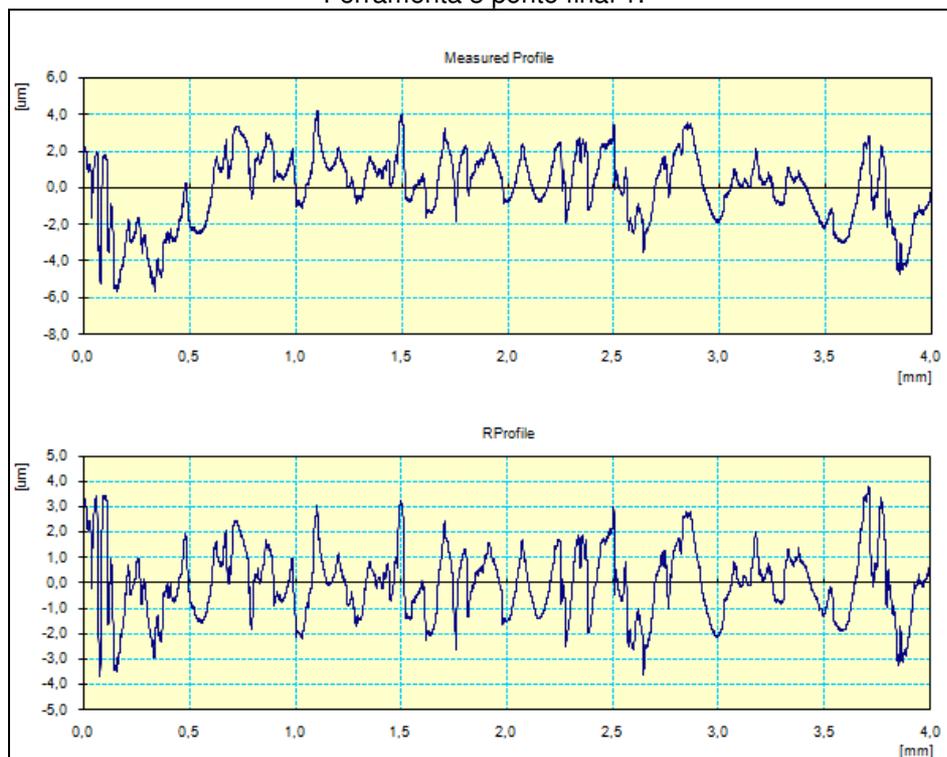
APÊNDICE F- PERFIS DE RUGOSIDADE - DIN 1.2711 USINADO A SECO

Ferramenta 3 ponto inicial 1.



Fonte: O AUTOR (2015)

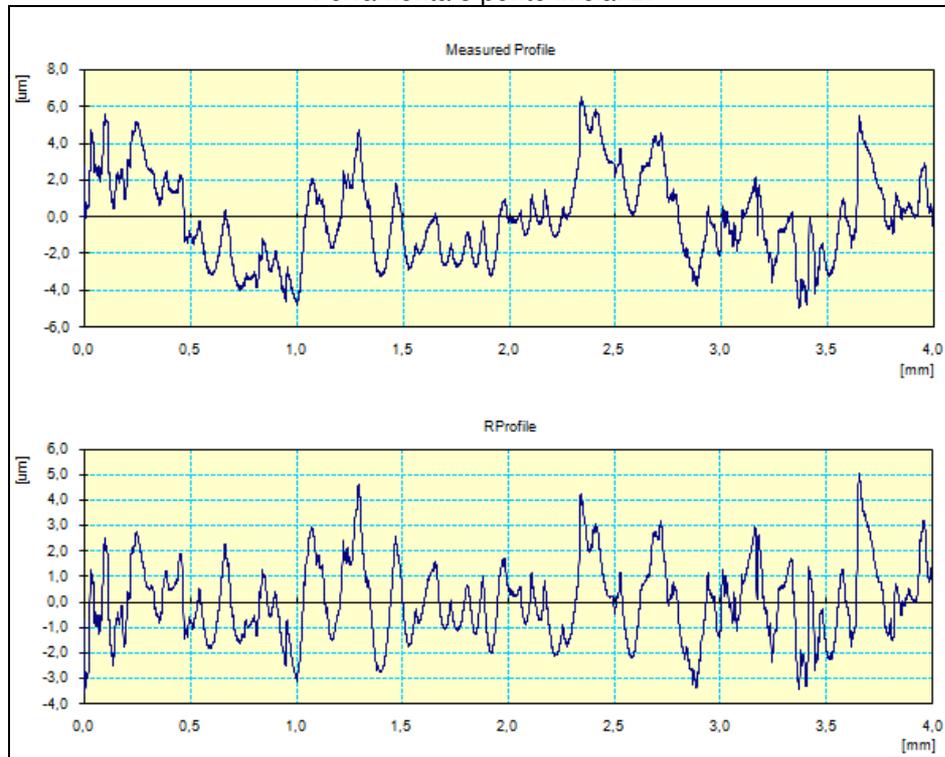
Ferramenta 3 ponto final 1.



Fonte: O AUTOR (2015)

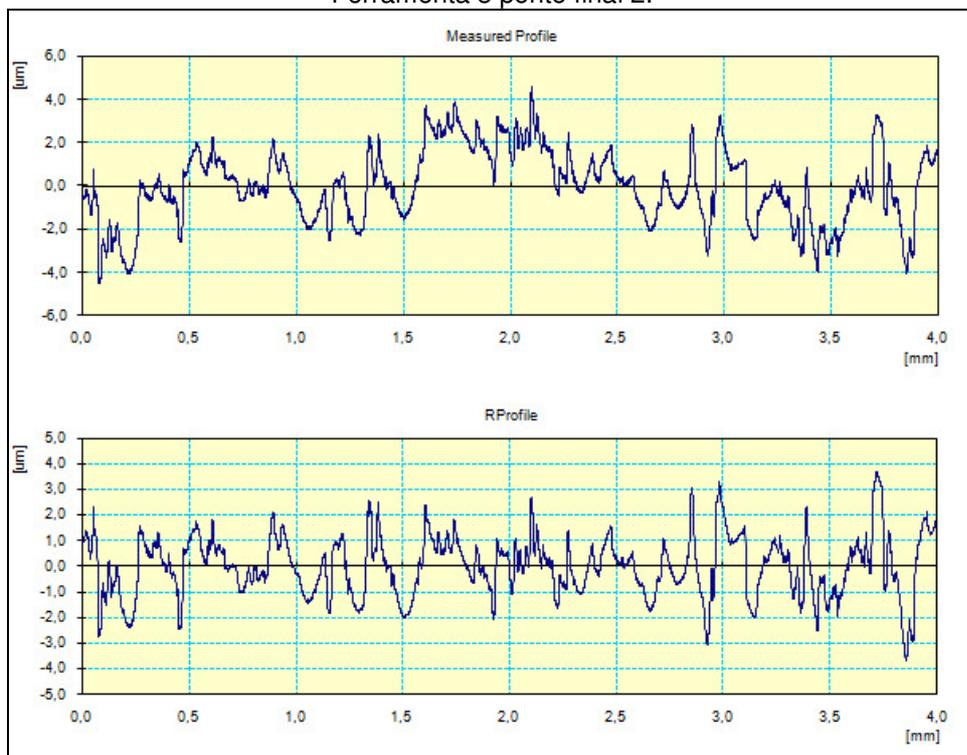
APÊNDICE F- PERFIS DE RUGOSIDADE - DIN 1.2711 USINADO A SECO

Ferramenta 3 ponto inicial 2.



Fonte: O AUTOR (2015)

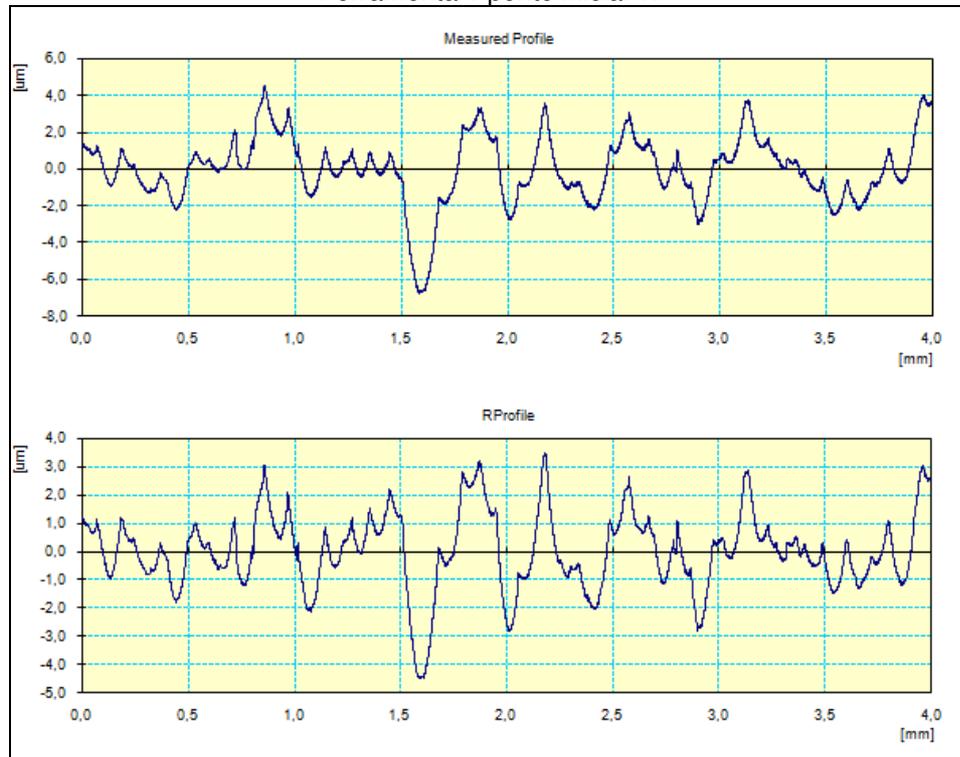
Ferramenta 3 ponto final 2.



Fonte: O AUTOR (2015)

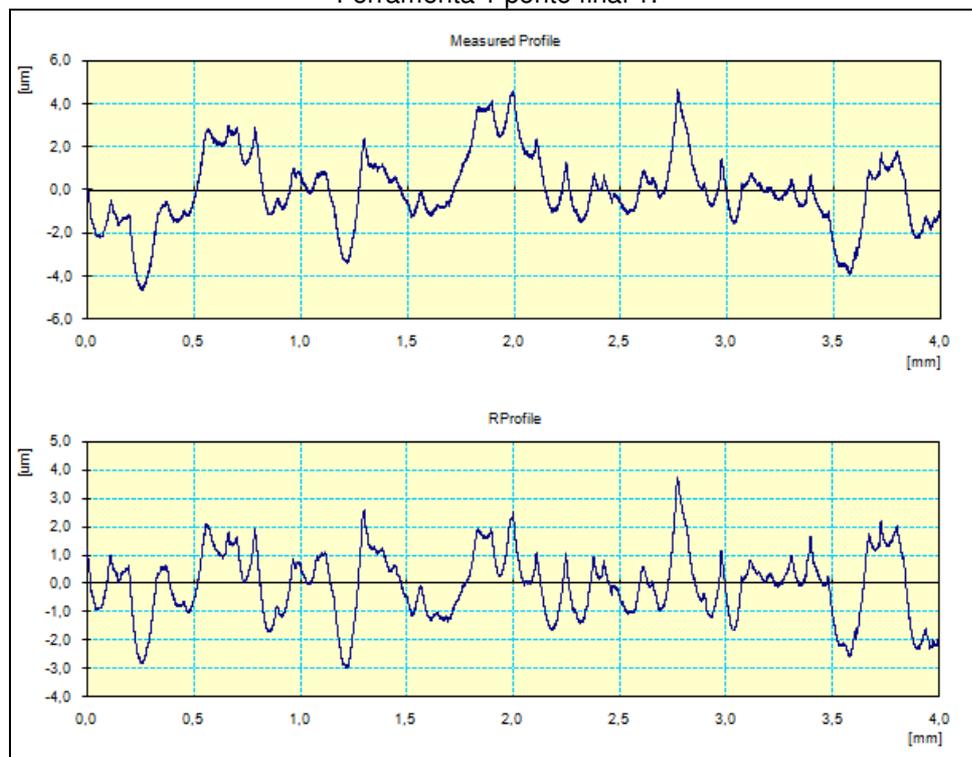
APÊNDICE G- PERFIS DE RUGOSIDADE - NIMAX USINADO MQL

Ferramenta 1 ponto inicial 1.



Fonte: O AUTOR (2015)

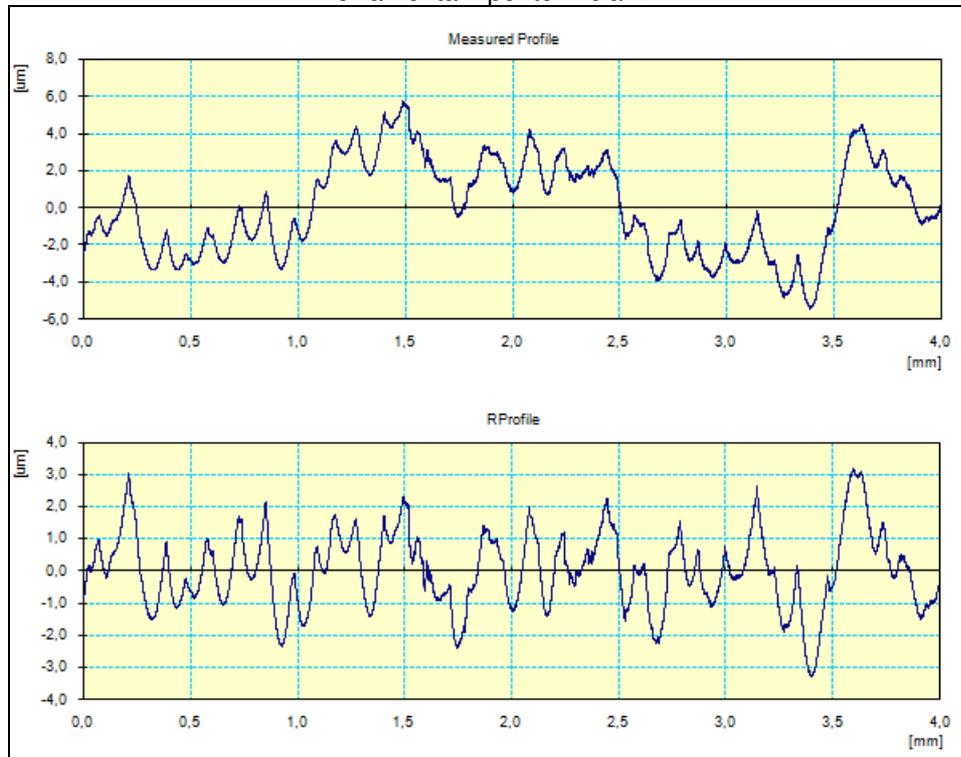
Ferramenta 1 ponto final 1.



Fonte: O AUTOR (2015)

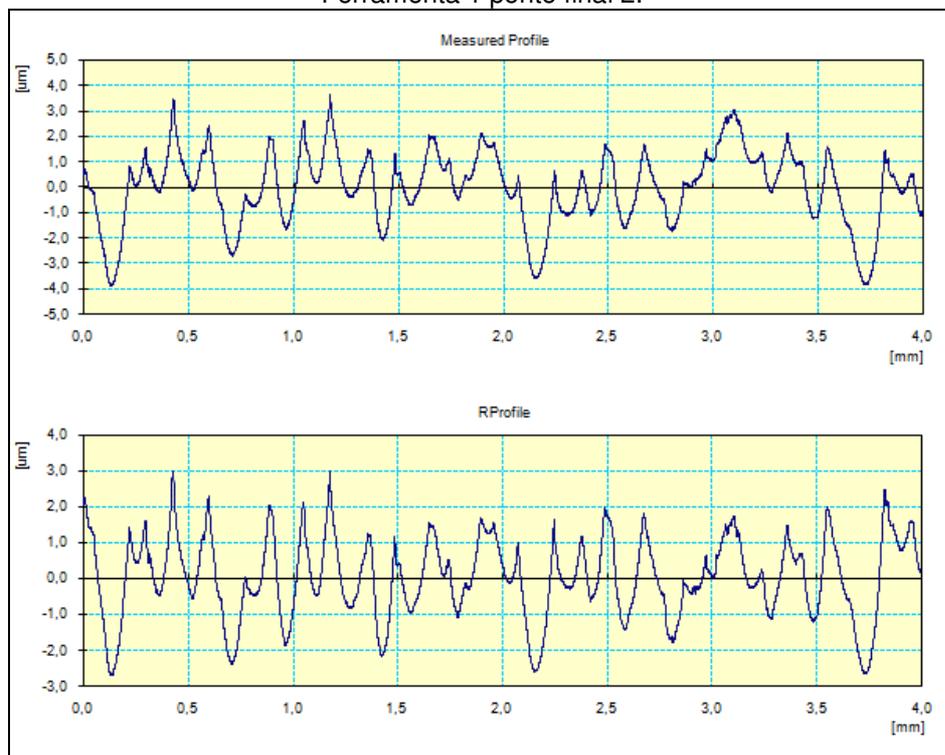
APÊNDICE G- PERFIS DE RUGOSIDADE - NIMAX USINADO MQL

Ferramenta 1 ponto inicial 2.



Fonte: O AUTOR (2015)

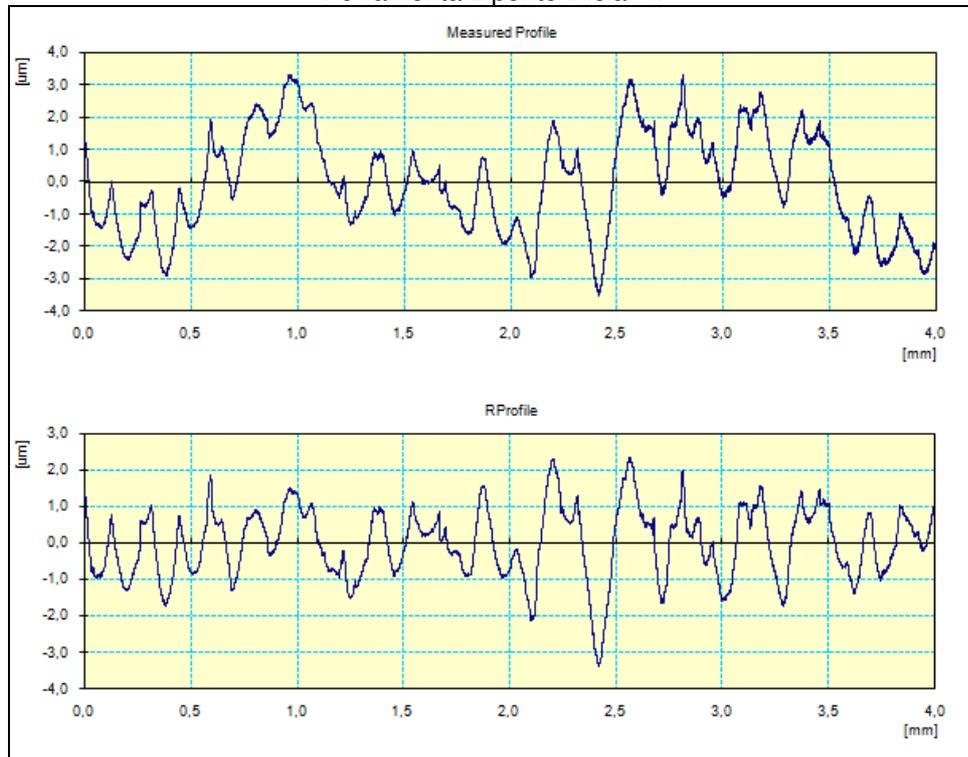
Ferramenta 1 ponto final 2.



Fonte: O AUTOR (2015)

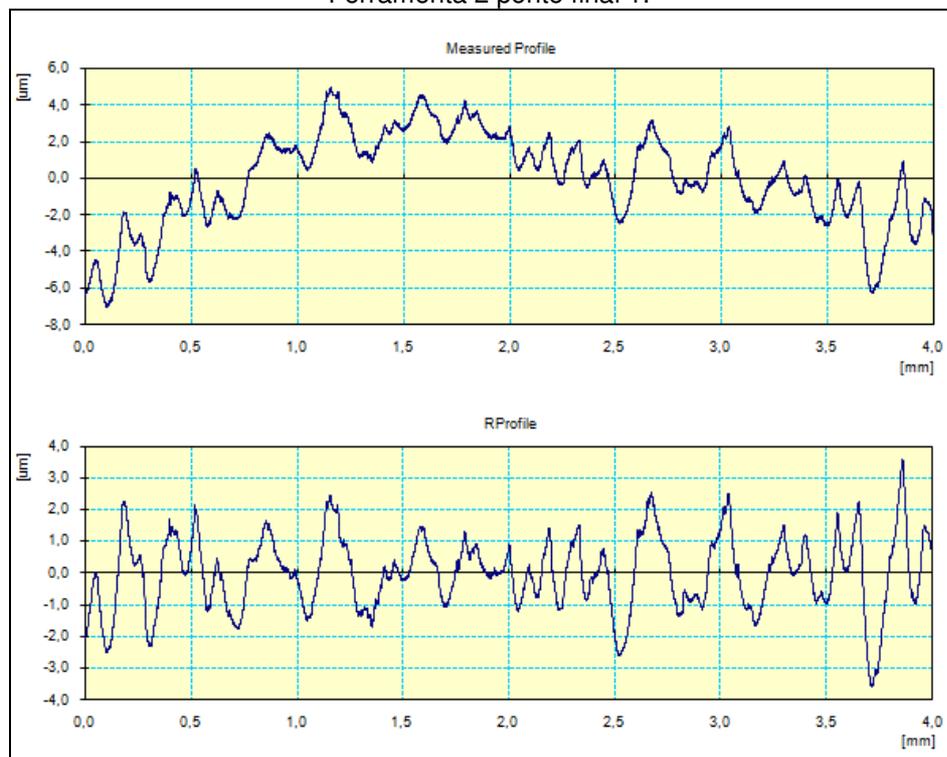
APÊNDICE G- PERFIS DE RUGOSIDADE - NIMAX USINADO MQL

Ferramenta 2 ponto inicial 1.



Fonte: O AUTOR (2015)

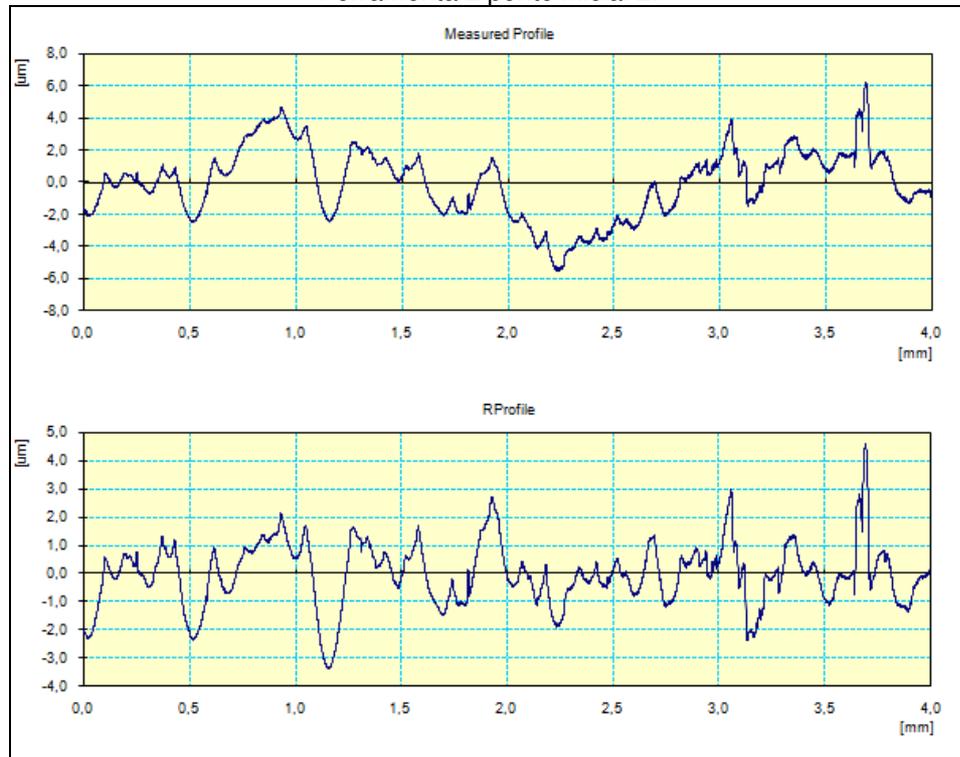
Ferramenta 2 ponto final 1.



Fonte: O AUTOR (2015)

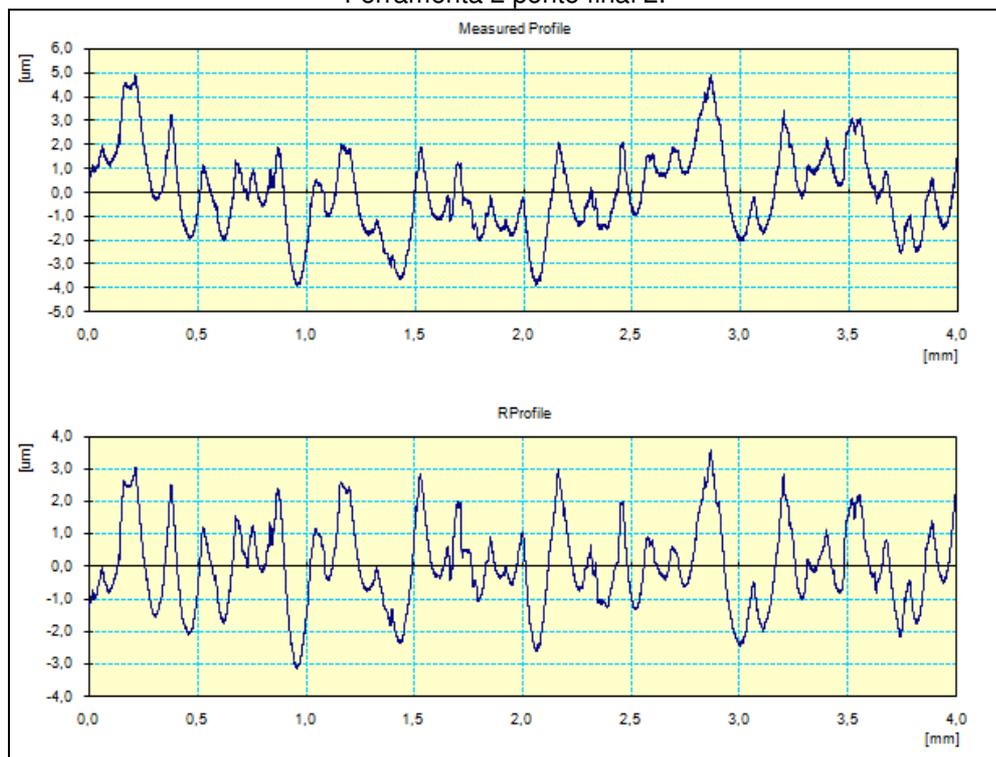
APÊNDICE G- PERFIS DE RUGOSIDADE - NIMAX USINADO MQL

Ferramenta 2 ponto inicial 2.



Fonte: O AUTOR (2015)

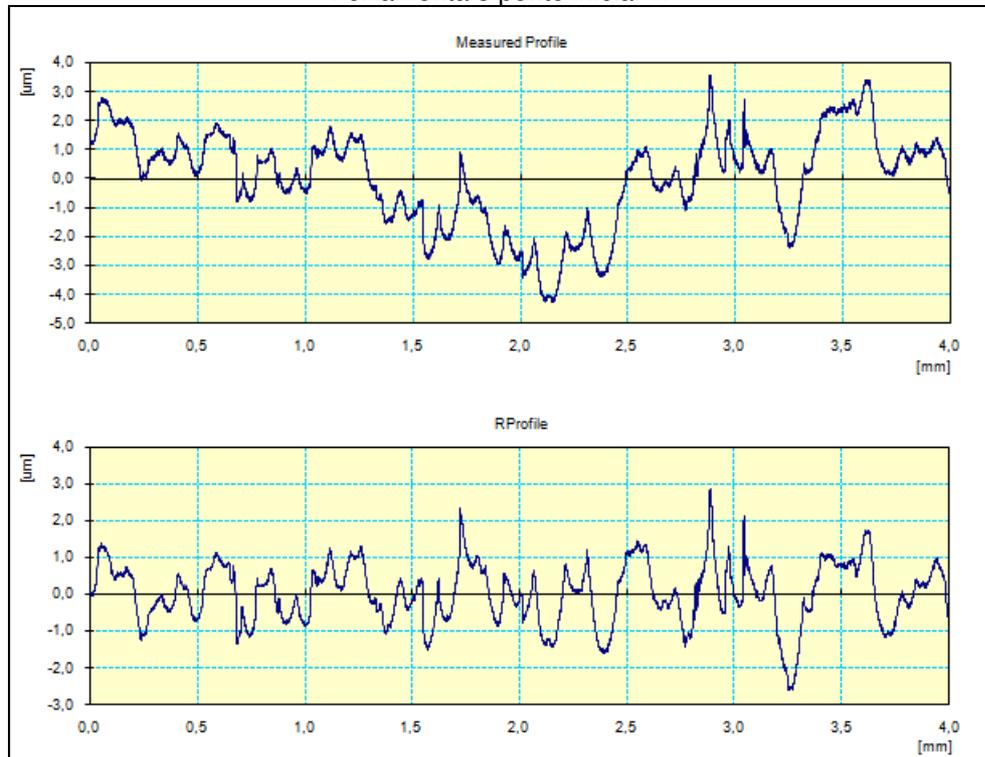
Ferramenta 2 ponto final 2.



Fonte: O AUTOR (2015)

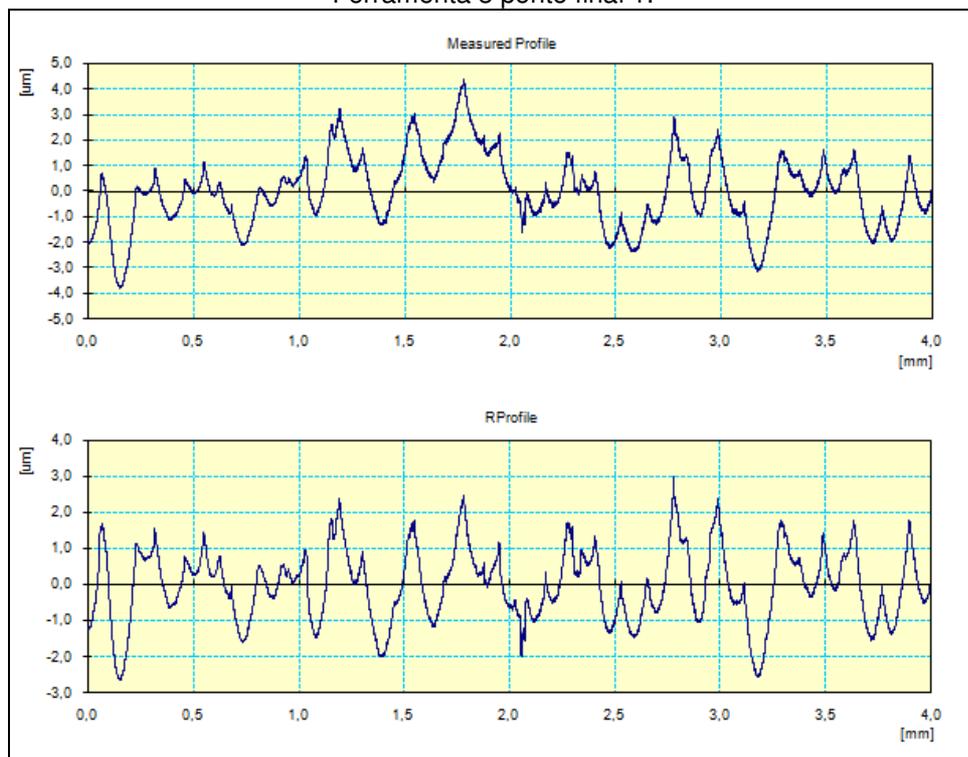
APÊNDICE G- PERFIS DE RUGOSIDADE - NIMAX USINADO MQL

Ferramenta 3 ponto inicial 1.



Fonte: O AUTOR (2015)

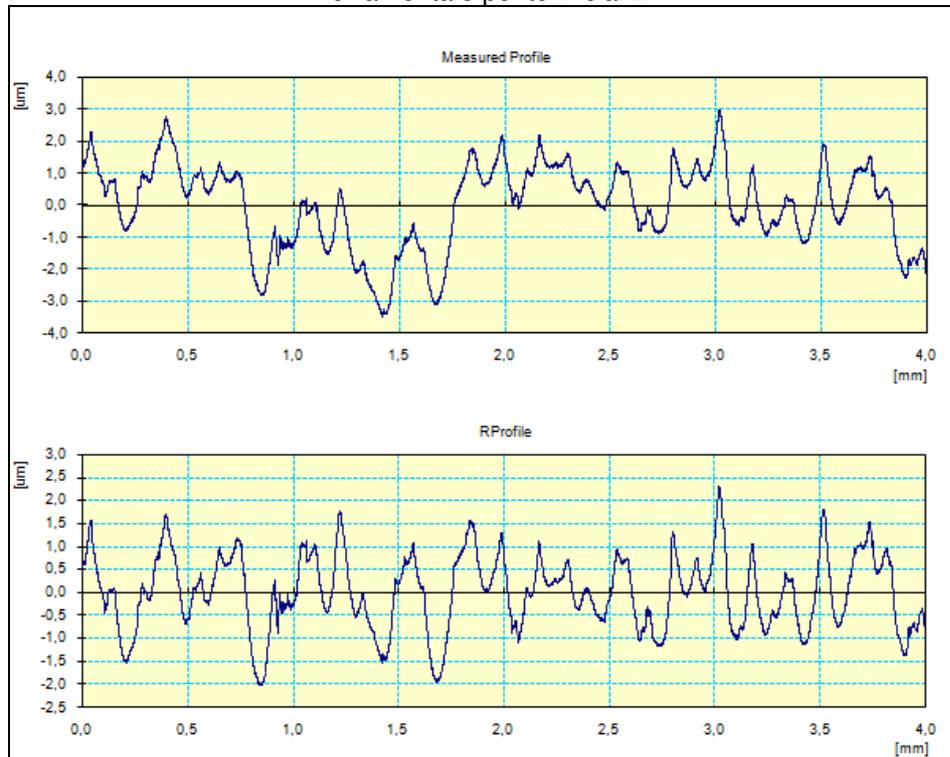
Ferramenta 3 ponto final 1.



Fonte: O AUTOR (2015)

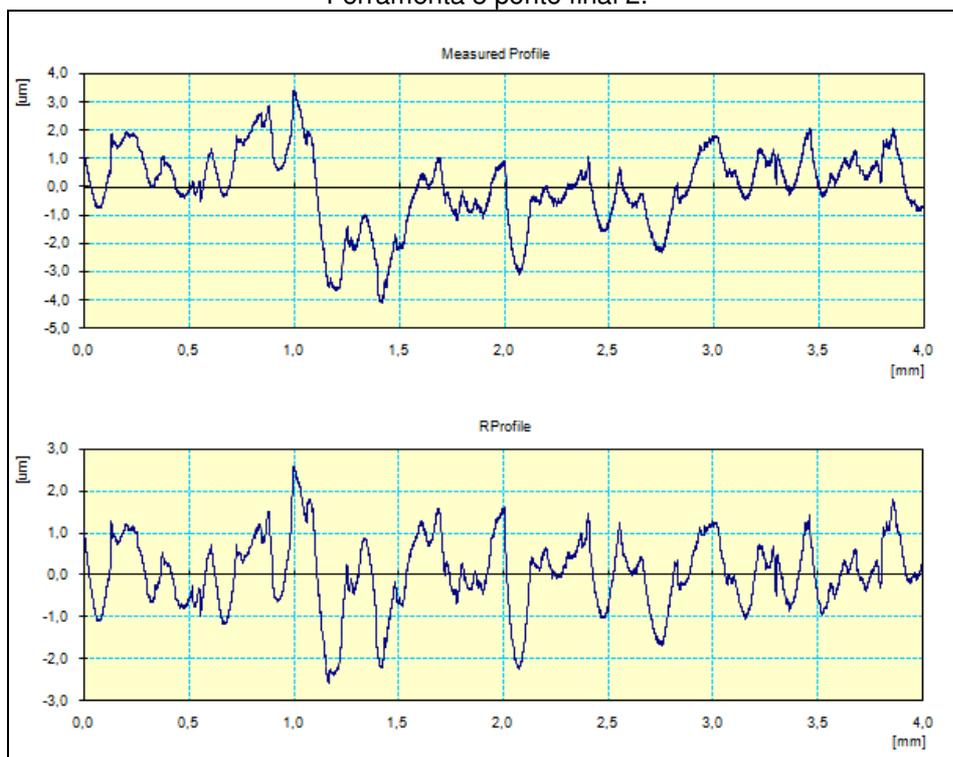
APÊNDICE G- PERFIS DE RUGOSIDADE - NIMAX USINADO MQL

Ferramenta 3 ponto inicial 2.



Fonte: O AUTOR (2015)

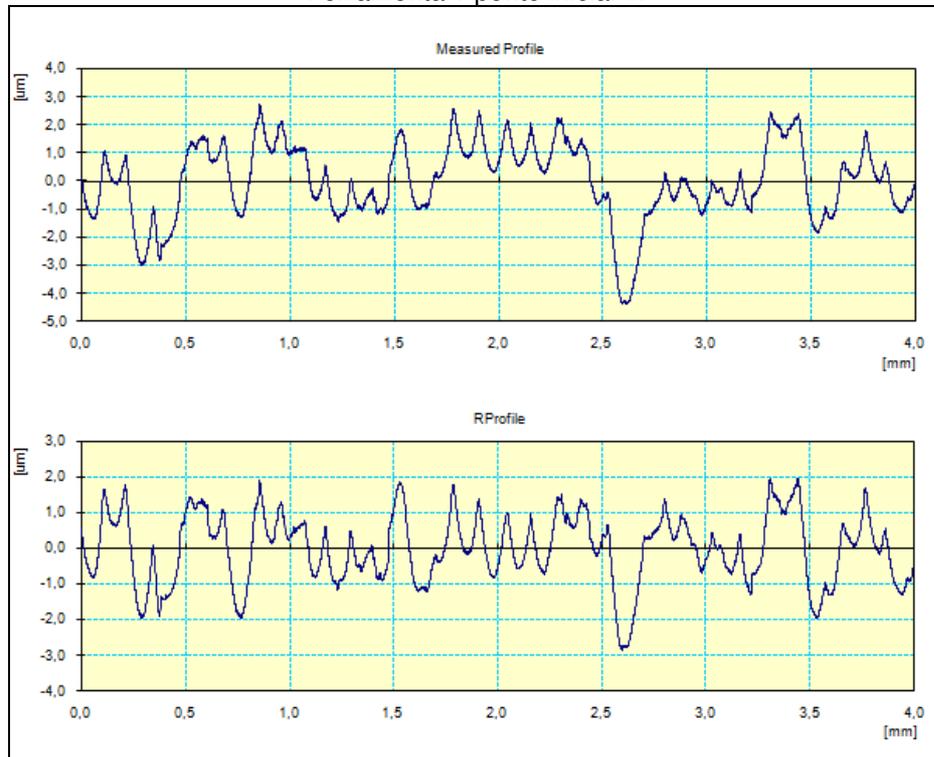
Ferramenta 3 ponto final 2.



Fonte: O AUTOR (2015)

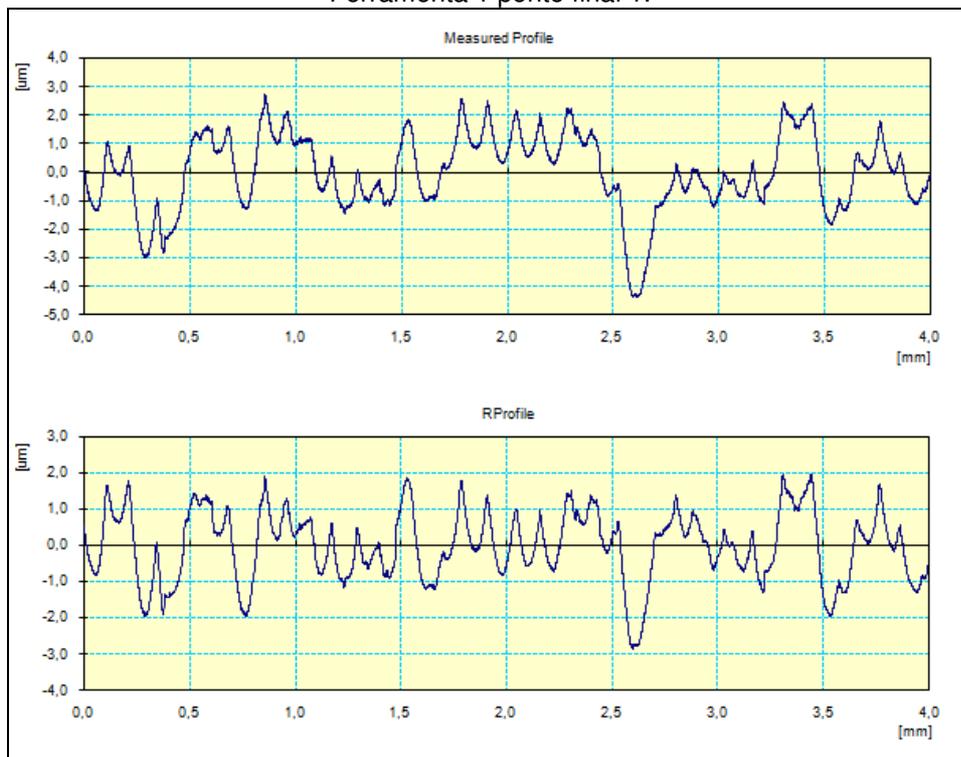
APÊNDICE H- PERFIS DE RUGOSIDADE - DIN 1.2711 USINADO MQL

Ferramenta 1 ponto inicial 1.



Fonte: O AUTOR (2015)

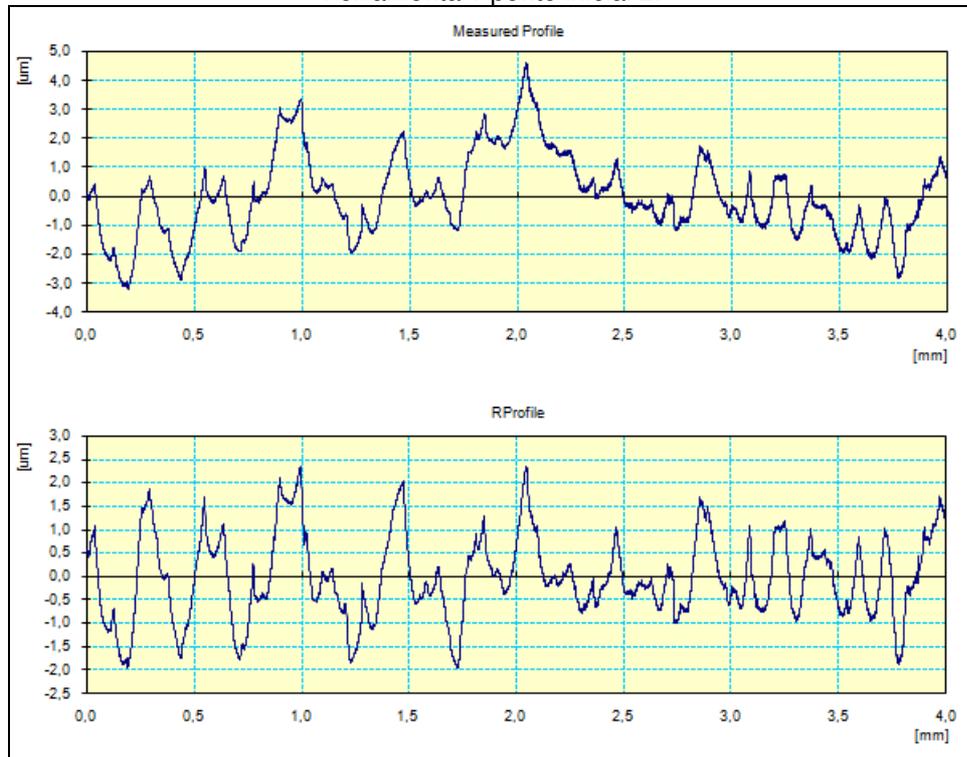
Ferramenta 1 ponto final 1.



Fonte: O AUTOR (2015)

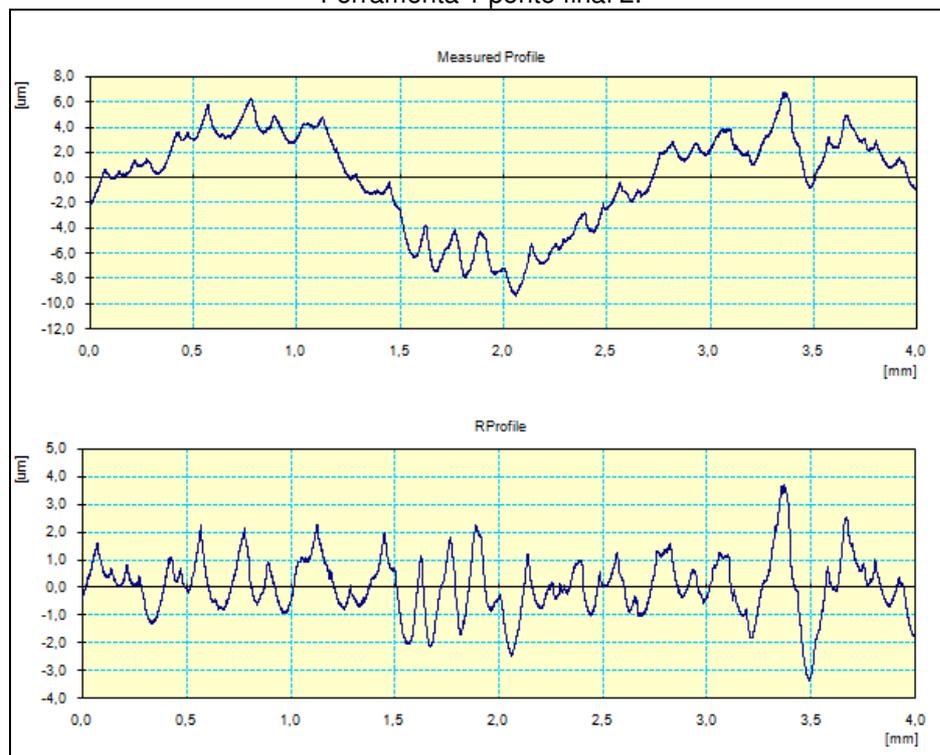
APÊNDICE H- PERFIS DE RUGOSIDADE - DIN 1.2711 USINADO MQL

Ferramenta 1 ponto inicial 2.



Fonte: O AUTOR (2015)

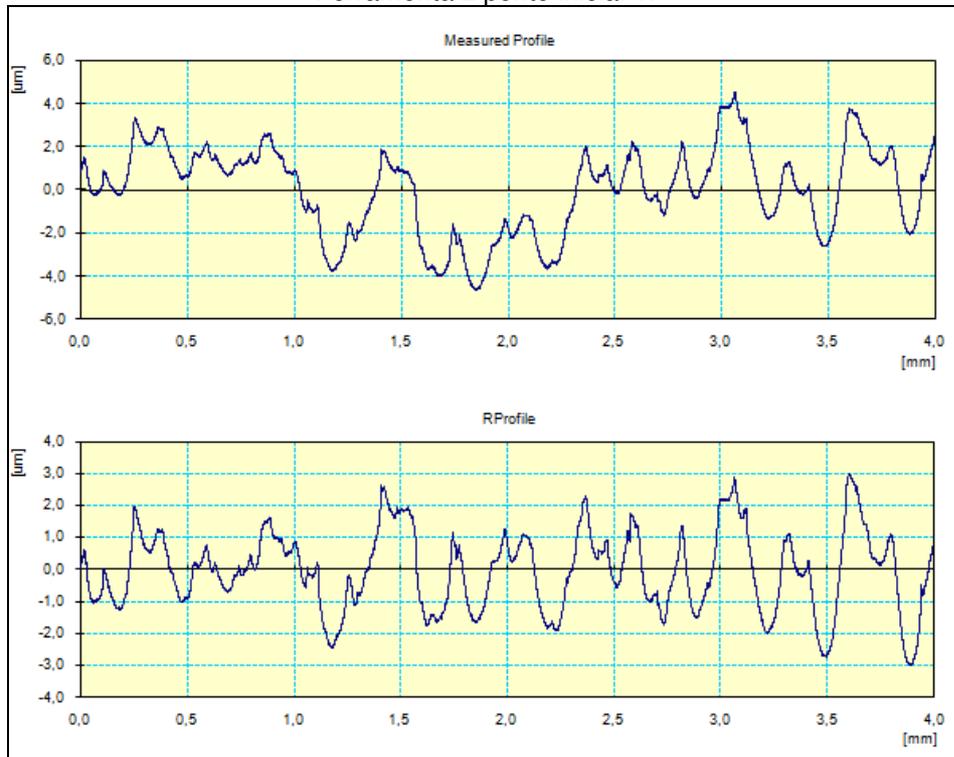
Ferramenta 1 ponto final 2.



Fonte: O AUTOR (2015)

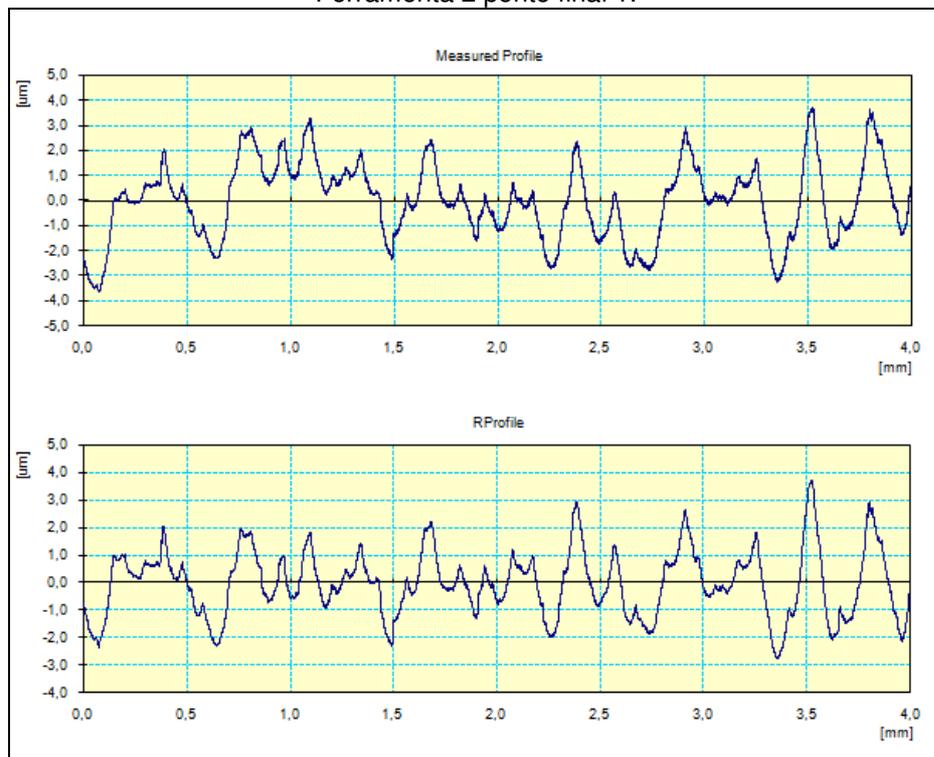
APÊNDICE H- PERFIS DE RUGOSIDADE - DIN 1.2711 USINADO MQL

Ferramenta 2 ponto inicial 1.



Fonte: O AUTOR (2015)

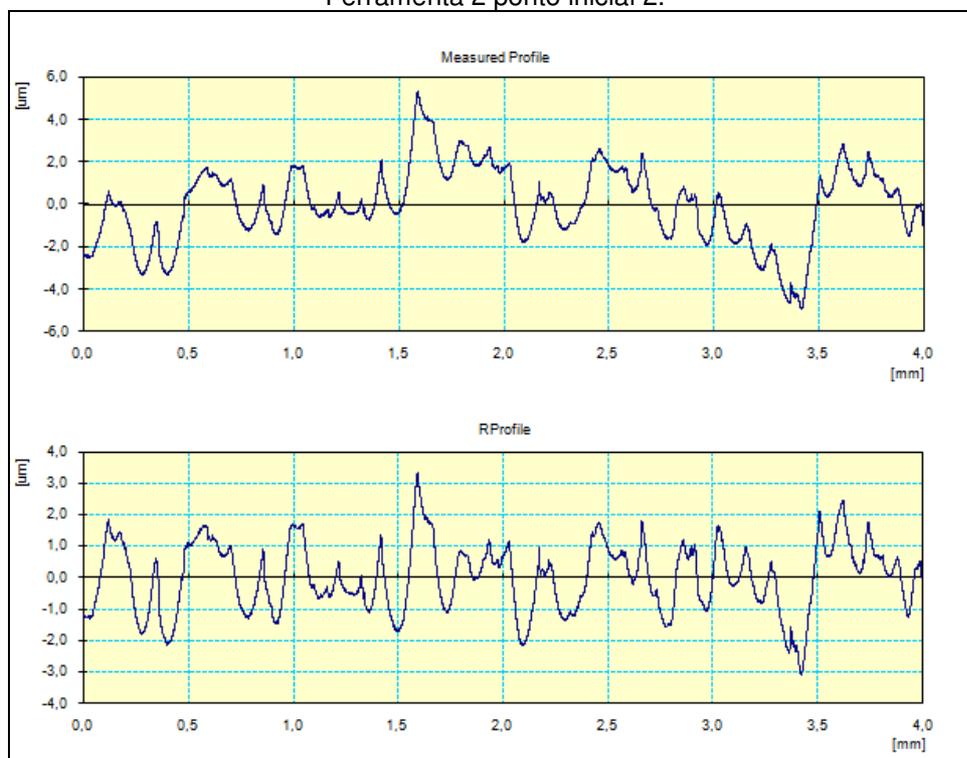
Ferramenta 2 ponto final 1.



Fonte: O AUTOR (2015)

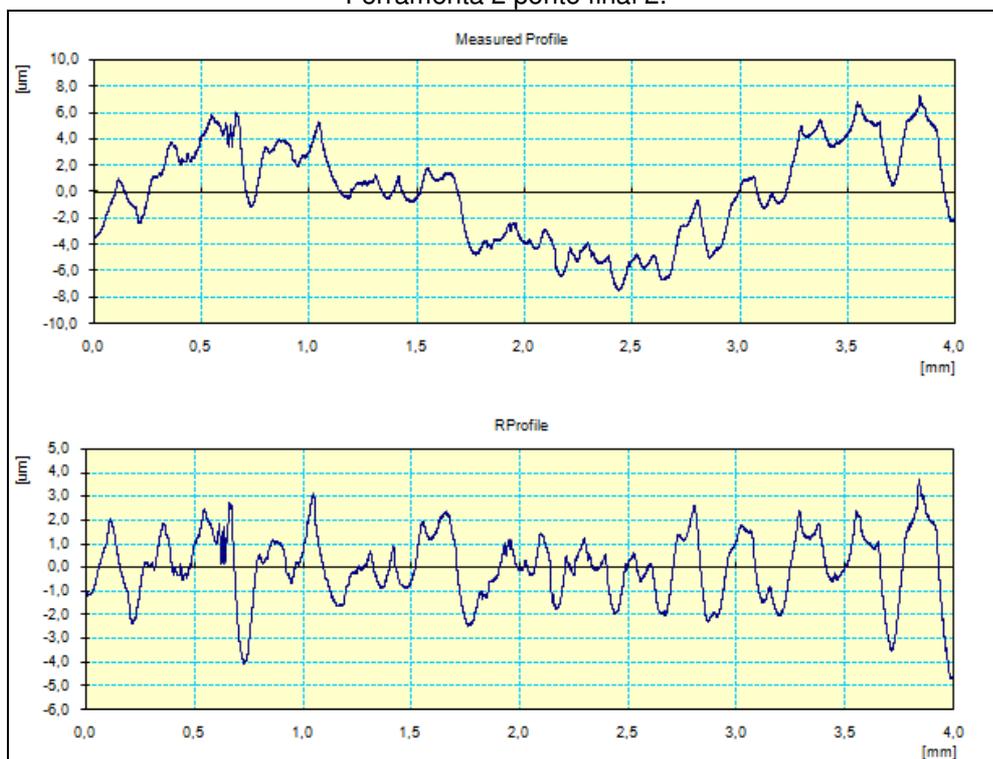
APÊNDICE H- PERFIS DE RUGOSIDADE - DIN 1.2711 USINADO MQL

Ferramenta 2 ponto inicial 2.



Fonte: O AUTOR (2015)

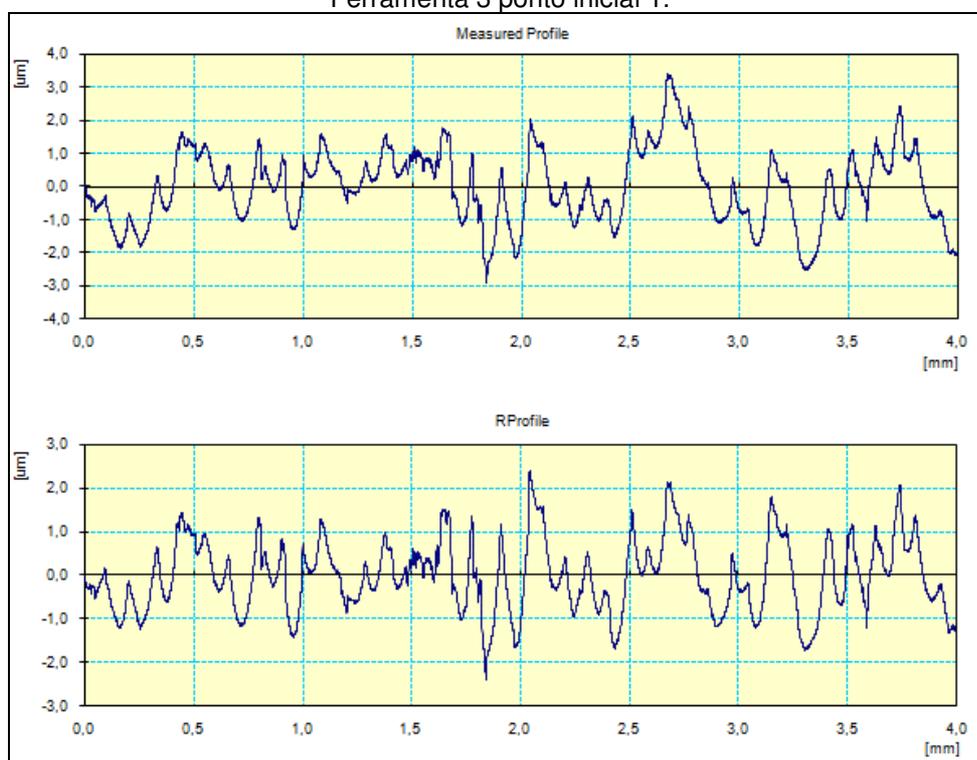
Ferramenta 2 ponto final 2.



Fonte: O AUTOR (2015)

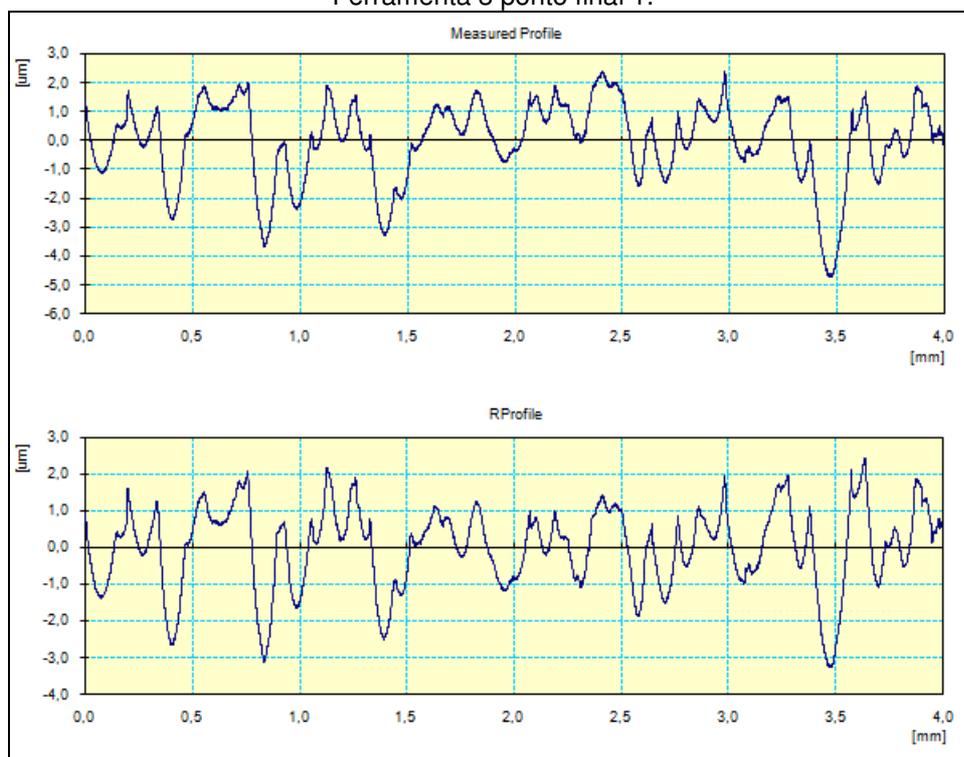
APÊNDICE H- PERFIS DE RUGOSIDADE - DIN 1.2711 USINADO MQL

Ferramenta 3 ponto inicial 1.



Fonte: O AUTOR (2015)

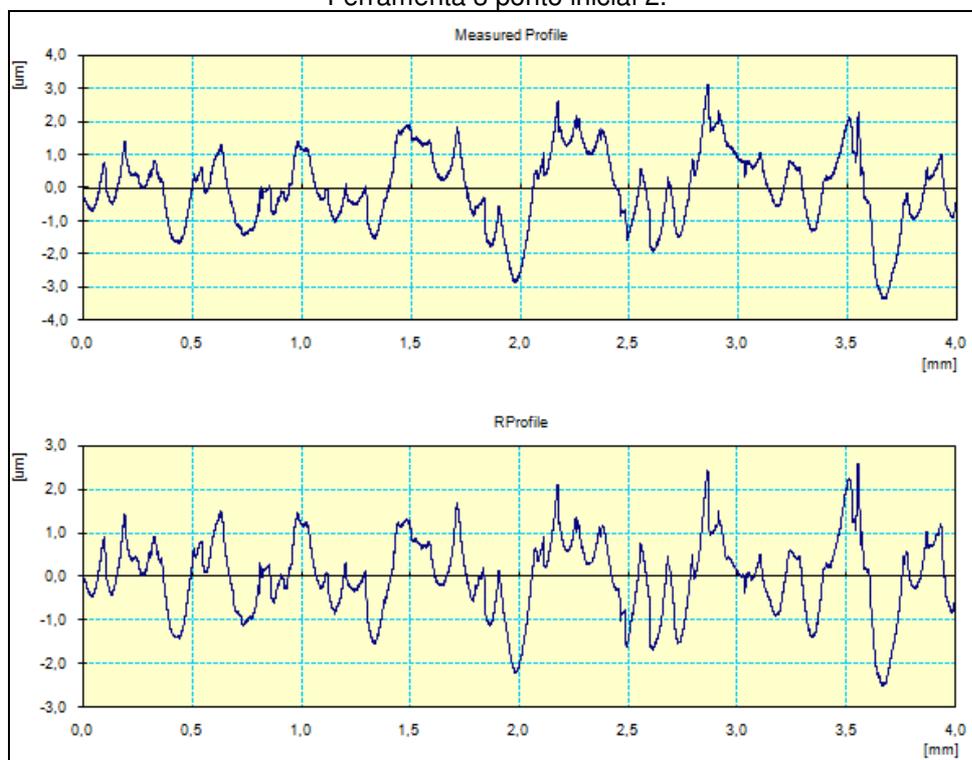
Ferramenta 3 ponto final 1.



Fonte: O AUTOR (2015)

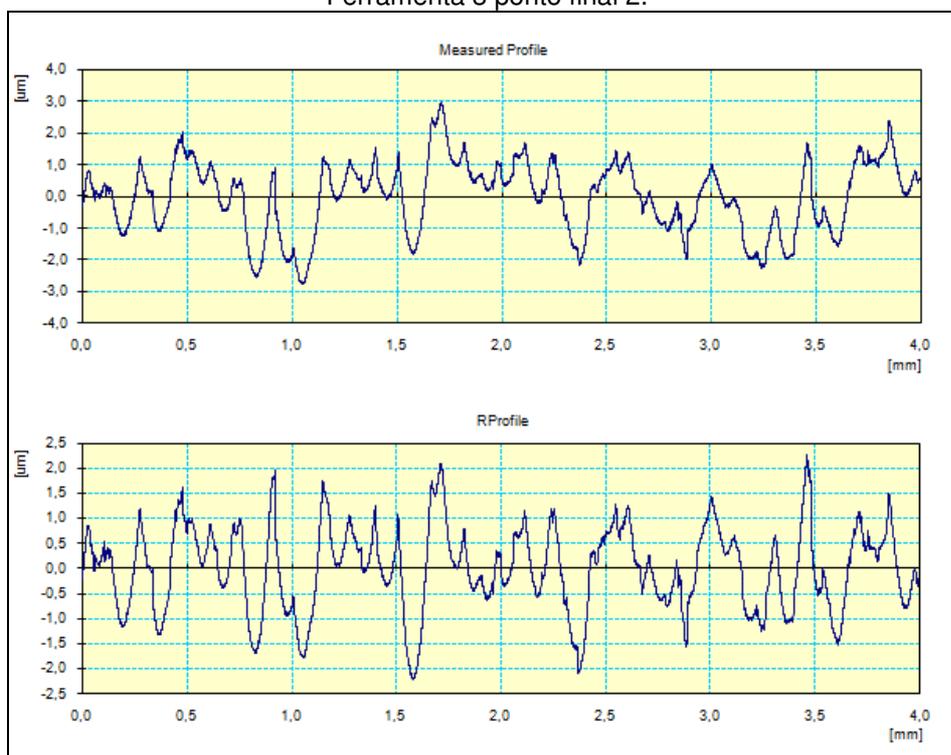
APÊNDICE H- PERFIS DE RUGOSIDADE - DIN 1.2711 USINADO MQL

Ferramenta 3 ponto inicial 2.



Fonte: O AUTOR (2015)

Ferramenta 3 ponto final 2.



Fonte: O AUTOR (2015)