

IMPACTO DO ACABAMENTO SUPERFICIAL DE MOLDES DE INJEÇÃO DE PLÁSTICO NO TEMPO DE POLIMENTO

*Adriane Machado*¹, *Sueli Fischer Beckert*², *Adriano Fagali de Souza*³

¹ Sociedade Educacional de Santa Catarina, Joinville, Brasil, adrianem@sociesc.org.br

² Sociedade Educacional de Santa Catarina, Joinville, Brasil, sueli@sociesc.org.br

³ Sociedade Educacional de Santa Catarina, Joinville, Brasil, adriano.fagali@sociesc.org.br

Resumo: Este artigo apresenta uma comparação de acabamentos superficiais resultantes da aplicação de cinco estratégias de usinagem distintas no processo de fresamento de um perfil de forma complexa. As medições foram realizadas em um rugosímetro de bancada, do fabricante Taylor Hobson, sendo analisados diferentes parâmetros de rugosidade e associado os mesmos ao tempo de polimento necessário a cada estratégia.

Palavras chave: Rugosidade, textura superficial, estratégia de usinagem.

1. INTRODUÇÃO

Na tentativa de diminuir as etapas de fabricação das cavidades dos moldes, as ferramentarias têm buscado aprimorar seu parque fabril, com a inclusão de máquinas e processos de usinagem que permitam reduzir a rugosidade deixada pelas ferramentas. Tendo em vista a questão da funcionalidade, um dos aspectos destacados pelas ferramentarias seria a avaliação da superfície para redução no tempo de fabricação dos moldes. Um melhor acabamento superficial na usinagem diminuiria o tempo de polimento e reduziria o custo total de produção. Normalmente, no que diz respeito à produção de moldes, as exigências por produtos injetados de melhor qualidade superficial têm provocado um aumento na dificuldade do monitoramento do acabamento superficial (Ramos e Machado, 2002). Nesta situação encontram-se os produtos fornecidos para a indústria automotiva e para outras áreas que trabalham com peças de aparência.

É necessário aprimorar a avaliação da superfície de acabamento de moldes e matrizes, permitindo quantificar a rugosidade superficial. Muitas vezes essa “avaliação é efetuada a olho nu e eventualmente é feita a comparação com imagens padrão” (RIBEIRO, 2007). Tais métodos podem não garantir valores absolutos para a superfície porque não traduzem em números os desvios obtidos.

Este trabalho está relacionado apenas com um processo de usinagem e o fator alterado é a estratégia de usinagem utilizada em cada parte da peça estudada. O objetivo é buscar estabelecer uma relação entre a estratégia de usinagem e o valor da rugosidade.

O artigo está organizado de forma a apresentar

inicialmente as principais definições relacionadas a medição e rugosidade. Na sequência, estão apresentados os métodos de avaliação de rugosidade, levando em consideração a condição da superfície usinada, como também as características que podem influenciar nos resultados de medição, tais como: parâmetros de rugosidade, remoção de forma executada pelo instrumento de medição, filtro aplicado ao perfil medido, comprimentos de medição em condições normalizadas e posições de medição. Por último, são apresentados os resultados obtidos e a discussão dos mesmos.

2. PARÂMETROS DE RUGOSIDADE

A diferença entre uma superfície áspera e outra polida pode ser distinguida por contato ou pela aparência. O problema é que a determinação dessa diferença é subjetiva, podendo levar a diferentes opiniões de observadores. Na engenharia, o grau de aspereza ou polimento da superfície de uma peça tem uma importância considerável, podendo afetar as funções de um produto ou seu custo de fabricação.

Devido à complexidade da textura superficial, esse assunto requer um conhecimento dos aspectos que influenciam a sua caracterização, envolvendo o entendimento da diferença entre as irregularidades e os instrumentos de medição de perfis. Por sua vez, este último aspecto requer o conhecimento do mecanismo de aquisição de perfis e as condições de operação em função do objetivo da caracterização da superfície. Atualmente, esses aspectos são definidos em referências específicas de fornecedores e em normas internacionais, as quais apresentam as características dos equipamentos de medição, bem como as definições dos parâmetros usados nesta caracterização.

A norma alemã DIN 4760:1982 classifica a superfície em seis categorias e essas irregularidades (erros de forma, ondulação e rugosidade) são designadas nesta sequência como de primeira até sexta ordem de desvio de perfil. A rugosidade é considerada como desvio de 3ª ordem ou desvio de 4ª ordem. Os desvios de 3ª ordem são desvios cíclicos ou não, nos quais a relação entre a distância entre cristas e a profundidade é da ordem de 100:1 a 5:1. Como desvios de 4ª ordem, Batista (2006) exemplifica que são estrias ou escamas originadas de fenômenos específicos durante o processo de formação do cavaco, o que

efetivamente caracteriza-se como objeto deste artigo.

A análise da rugosidade é realizada através de parâmetros, sendo que os parâmetros de amplitude foram os primeiros a serem desenvolvidos devido a sua facilidade de obtenção. Com o processamento eletrônico, outros parâmetros surgiram, permitindo que também o espaçamento e inclinação das irregularidades pudessem ser analisados. A necessidade de desenvolvimento de novos parâmetros foi motivada pelo fato de ser impossível caracterizar uma superfície adequadamente apenas com um tipo de parâmetro.

Entre os parâmetros abordados neste trabalho, destacam-se: R_t , R_z , R_p , R_a e $Rmr(c)$, sendo as definições dos parâmetros extraídas da norma NBR ISO 4287:2002.

O parâmetro R_t (Amplitude total de perfil) corresponde ao somatório do mais alto pico com o mais profundo vale, dentro de um comprimento de avaliação.

O parâmetro R_z (Amplitude máxima de perfil por comprimento de medição) corresponde ao somatório dos maiores picos e dos mais profundos vales, não necessariamente adjacentes, dentro de um comprimento de amostragem de um perfil filtrado (Figura 1). Quando o percurso de medição contemplar mais de um comprimento de amostragem, R_z corresponde a média dos valores obtidos em cada *cut-off*.

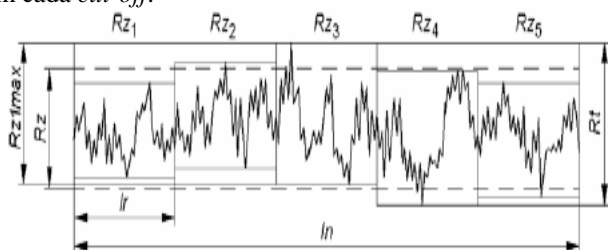


Figura 1 – Caracterização do R_z e R_t
Fonte: Mitutoyo

O parâmetro R_p (Amplitude máxima de picos) corresponde ao valor de maior altura de pico (Z_{pi}) de um perfil filtrado, dentro de um comprimento de amostragem.

O parâmetro R_a (Amplitude média de perfil) corresponde à área entre o perfil de rugosidade e a linha média, ou ainda, a integral dos valores absolutos das amplitudes do perfil de rugosidade dentro de um comprimento de amostragem (Figura 2). Essa grandeza pode ser representada como sendo a altura de um retângulo, cuja área é igual à soma absoluta das áreas delimitadas entre o perfil e a linha média, dentro de um comprimento de amostragem.

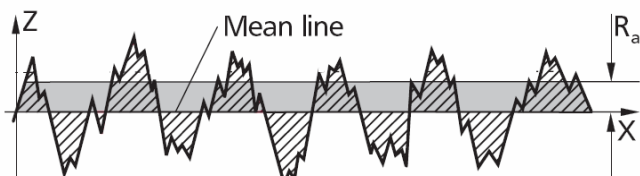


Figura 2 – Caracterização do R_a
Fonte: Mahr, 2008

Na avaliação da rugosidade também podem ser obtidos parâmetros denominados híbridos, que combinam as características de espaçamento e amplitude dos elementos de um perfil. O parâmetro $Rmr(c)$ considera o percentual de

material encontrado a uma profundidade c do perfil (Figura 3).

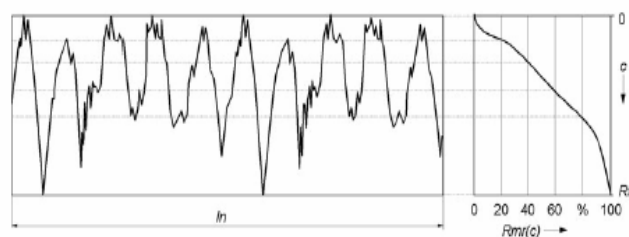


Figura 3 – Caracterização do parâmetro $Rmr(c)$
Fonte: NBR ISO 4287:2002

A análise combinada de largura e altura da rugosidade auxilia na caracterização da marca deixada pela ferramenta. A limitação no uso deste parâmetro está relacionada ao instrumento de medição utilizado.

3. MÉTODOS

Para a avaliação superficial das cavidades de um molde, utilizou-se como amostras as cavidades com forma livre, conforme apresentado na Figura 4.

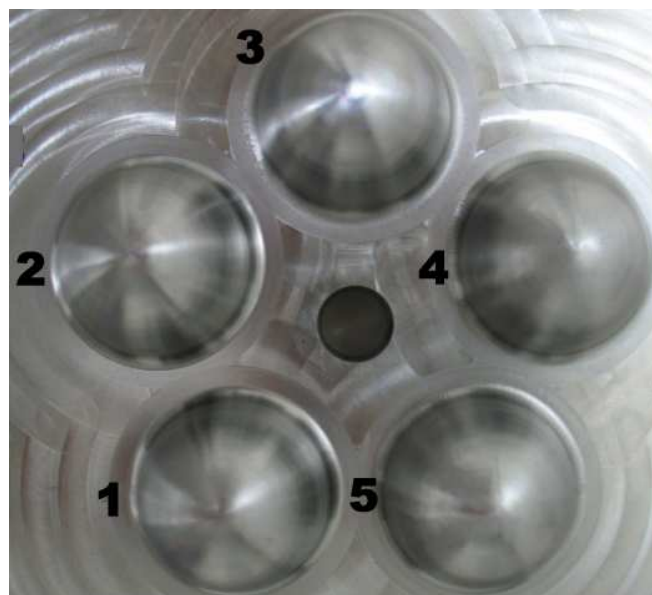


Figura 4 – Representação das cavidades usadas

Cada cavidade foi fabricada com uma estratégia de usinagem distinta, tendo como consequência diferentes marcas deixadas pela mesma ferramenta.

As medições foram realizadas com um rugosímetro do fabricante Taylor Hobson, modelo Talysurf Plus (Figura 5).

Devido à curvatura existente no perfil da cavidade do molde, as medições de rugosidade foram realizadas sem a utilização da sapata. E para a determinação da linha média, os rugosímetros com mais recursos permitem a remoção da forma geométrica do perfil que está sendo medido. Como a cavidade não possui nenhum tipo de forma geométrica específica (como reta ou circunferência), a opção de forma selecionada foi do tipo *Datum*, sendo uma linha média estabelecida a partir dos pontos coletados. O tipo de filtro selecionado foi o de *Gauss*. O *cut-off* foi selecionado conforme recomendado na norma ISO 4288 (1998).



Figura 5 – Rugosímetro utilizado para medição

Sendo visível a diferença de acabamento no topo e na lateral das cavidades para as cinco estratégias avaliadas, as medições foram realizadas nas duas alturas definidas conforme Figura 6.

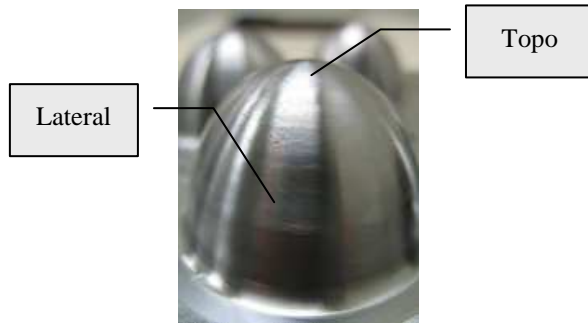


Figura 6 – Alturas medidas

Os resultados apresentados neste trabalho correspondem à média de 3 medições realizadas em posições distintas em cada altura. Para este trabalho, foram determinados os parâmetros Ra , Rp , Rz e Rt .

Também foram obtidos os parâmetros híbridos $Rmr(c)$ (2 μm) e a determinação do nível c para razão de 50% e 75%, considerando como referência o pico mais alto do perfil avaliado (MAHR, 2008).

4. RESULTADOS

A tabela 1 apresenta os resultados de medição obtidos no topo das cavidades identificando a estratégia de usinagem utilizada, sendo possível visualizar os acabamentos obtidos na Figura 7.

Tabela 1 – Medidas obtidas no topo das cavidades

Estratégia de usinagem	1 Passes em 3D Offset	2 Passes em espiral Z Constante Otimizado	3 Passe Radial para cima	4 Passe Radial para baixo	5 Passes Paralelos Raster
Ra (μm)	0,72	0,66	0,35	7,05	1,85
Rt (μm)	4,56	5,38	2,04	34,98	13,57
Rp (μm)	2,2	2,11	0,95	14,44	6,46
Rz (μm)	4,3	5,1	2,04	33,57	13,21
$Rmr(c) - 2 \mu m$	37%	28%	99%	3%	3%
$c - 50\%$ (μm)	2,35	2,5	0,91	17,75	9,05
$c - 75\%$ (μm)	2,89	2,96	1,25	24,09	10,48

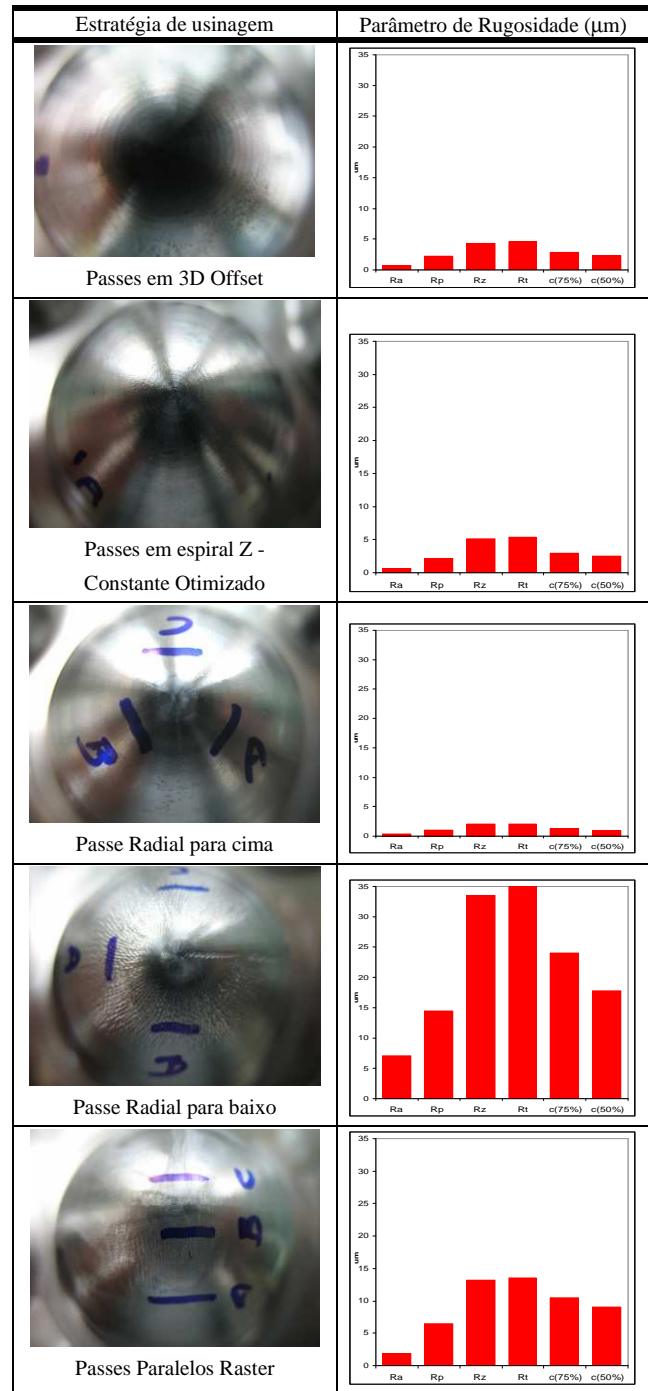


Figura 7 – Representação da rugosidade no topo

O valor de Ra apresentou-se significativamente igual para as estratégias 1 e 2, sendo que a estratégia 3 apresentou um valor baixo para Ra , provavelmente proveniente da baixa força de usinagem requerida antes da saída da ferramenta da peça.

O maior valor de Ra foi obtido para a estratégia 4 devido a maior força de usinagem utilizada na entrada da ferramenta na peça.

Também se observou que não existem diferenças significativas entre Rt e Rz , demonstrando que o perfil manteve-se na extensão medida. A rugosidade mais alta das estratégias 4 e 5 é facilmente verificada pela razão do

material do perfil, quando o $Rmr(c)$ de 75% é obtido a 24,09 μm e a 10,48 μm do topo do perfil, respectivamente. Para as estratégias 1, 2 e 3 a razão do material do perfil é obtida para valores inferiores a 3 μm , o que implica em menor tempo de polimento.

A Tabela 2 apresenta os resultados de medição obtidos na lateral das cavidades de acordo com as estratégias de usinagem utilizadas. Referente a estratégia 5, as medições foram subdivididas em dois grupos, devido a marca deixada pela ferramenta ser distinta nestas duas posições.

Tabela 2 – Medidas obtidas na lateral das cavidades

Estratégia de usinagem	1 Passes em 3D Offset	2 Passes em espiral Z Constante Otimizado	3 Passe Radial para cima	4 Passe Radial para baixo	5 Passes Paralelos – Raster	
					A/B	C/D
Ra (μm)	0,9	0,88	0,99	1,45	2,51	0,71
Rt (μm)	6,29	7,17	6,19	8,11	17,05	4,62
Rp (μm)	2,64	3,3	2,87	4,21	7,54	1,94
Rz (μm)	6,2	7,09	5,64	8,11	13,29	3,42
$Rmr(c) - 2 \mu\text{m}$	9	4	13	10	1,85	17,1
c – 50% (μm)	3,48	4,55	3,57	4,98	9,71	2,89
c – 75% (μm)	4,24	5,21	4,45	6,17	11,75	3,68

A Figura 8 apresenta os acabamentos obtidos com cada estratégia de usinagem nas laterais das cavidades.

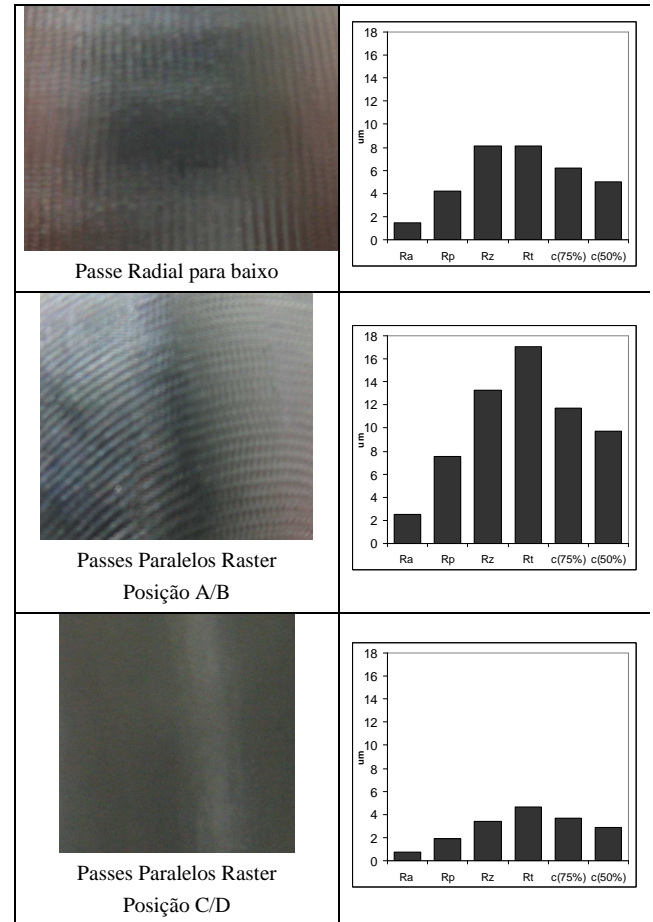
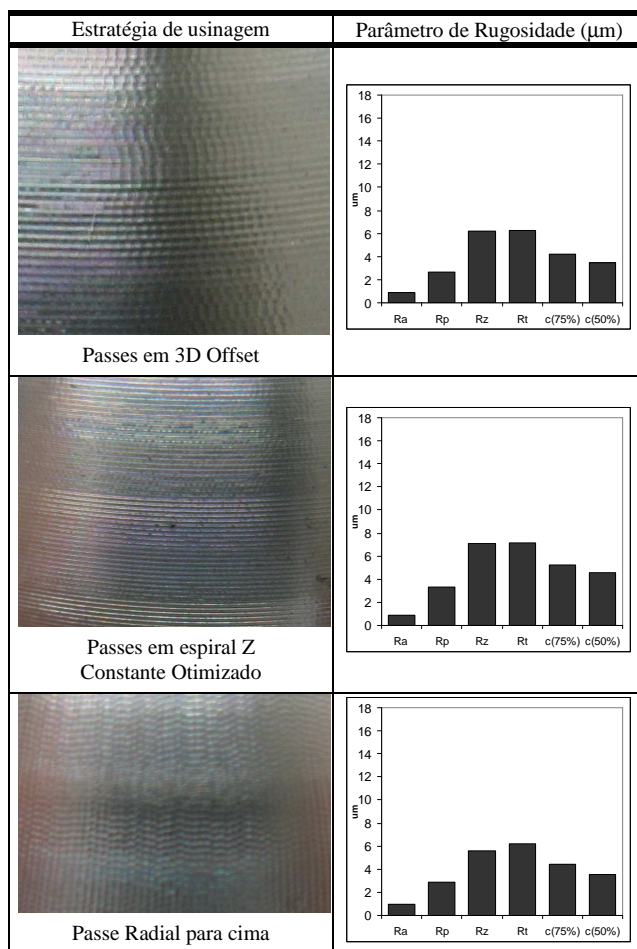


Figura 8 – Representação da rugosidade na lateral

Independente da marca deixada pela ferramenta, pode-se verificar que as 3 primeiras estratégias mantiveram-se similares, apresentando valores de Ra inferiores a 1 μm , sendo um valor aceitável para acabamento proveniente de um processo de fresamento (especificado de 0,4 – 3,2 μm). Devido à estratégia aplicada no experimento 5, houve uma diferença significativa entre as posições A/B e C/D, sendo que as posições de entrada e saída da ferramenta apresentaram valores maiores para o Ra .

5. DISCUSSÃO

Com base nos dados obtidos nos ensaios, pode-se verificar que existe uma correlação entre os parâmetros Ra , Rp , Rt e Rz , mantendo uma proporcionalidade entre eles.

Os tempos de polimento despendidos em cada cavidade pode ser observada na Tabela 3, sendo associado ao mesmo os parâmetros de rugosidade Ra e Rz , obtidos no topo e lateral respectivamente.

Tabela 3 – Tempo de polimento x rugosidade

Estratégia de usinagem	1 Passes em 3D Offset	2 Passes em espiral Z Constante Otimizado	3 Passe Radial para cima	4 Passe Radial para baixo	5 Passes Paralelos Raster	
Tempo de polimento (min)	96	113	121	181	176	
Ra (µm) topo	0,72	0,66	0,35	7,05	1,85	
Rz (µm) topo	4,3	5,1	2,04	33,57	13,21	
Ra (µm) lateral	0,9	0,88	0,99	1,45	2,51	0,71
Rz (µm) lateral	6,2	7,09	5,64	8,11	13,29	3,42

Pode-se verificar que o tempo de polimento está diretamente associado ao valor da rugosidade.

Através do parâmetro $Rmr(c)$, é possível verificar a fração de material existente em diferentes profundidades do perfil. Através das Figuras 7 e 8, é possível verificar a razão de material encontrada a 50%, 75% e 100% da profundidade do perfil. A avaliação da proporcionalidade dos valores de c em 50% e 100% da profundidade do perfil permite concluir sobre a ocorrência ou não de picos extremos.

4. CONCLUSÃO

O parâmetro $Rmr(c)$ é citado como importante, mas dependendo do caso não pode ser avaliado isoladamente. Para o estudo apresentado como o da comparação das rugosidades encontradas para cada uma das 5 estratégias de usinagem versus o tempo de polimento, o parâmetro $Rmr(c)$ se mostrou de maior importância, uma vez que determina a quantidade de material presente em alturas pré-definidas.

Mas é indispensável à avaliação de parâmetros de profundidade. Os parâmetros Ra e Rz podem ser utilizados para monitoramento, pois é possível estabelecer uma correlação entre o tempo de polimento e o valor absoluto obtido pelos mesmos.

REFERÊNCIAS

- [1] RAMOS, C. A. D.; MACHADO, A. R., “Usinagem de Moldes e Matrizes”, 8º Colóquio de Usinagem, PUC-MG, Belo Horizonte, 2002.
- [2] RIBEIRO, Dante. Fundamentos do Polimento em Aços Ferramenta. Revista Ferramental, Janeiro/Fevereiro. 2007.
- [3] DEUTSCHES INSTITUT FUER NORMUNG E. V.. DIN 4760:1982. Form deviations, concepts; classification system. Berlin, Germany. 1982.
- [4] BATISTA, M. F. Estudo da rugosidade de superfícies planas usinadas por fresas de topo esférico. USP/SC. Dissertação de mestrado, 2006.
- [5] Associação Brasileira de Normas Técnicas, “ABNT NBR ISO 4287:2002 – Especificações geométricas do produto (GPS) – Rugosidade: método do perfil –

Termos, definições e parâmetros de rugosidade”, São Paulo: ABNT, 2002. Norma equivalente à ISO 4287:1997.

- [6] Mahr GmbH, “Surface texture Parameters”, Germany: Mahr, 1999. Disponível em: <http://www.mahr.com/index.php?NodeID=8718&SourceID=8718>. Acesso em Abril 2008.
- [7] International Organization for Standardization, “ISO 4288:1996 – Geometrical Product Specifications (GPS) – Surface texture: Profile method – Rules and procedures for the assessment of surface texture”, Switzerland: ISO, 1998.