

## **POLIBILIDADE DE AÇOS PARA MOLDES DE PLÁSTICOS**

**Gilberto Domingues Junior, gilberto.domingues.junior@gmail.com<sup>1</sup>**

**Gabriel Miranda Costa, gmc\_eng\_mec@hotmail.com<sup>2</sup>**

**Márcio Bacci da Silva, mbacci@mecanica.ufu.br<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia, Campus Santa Mônica, CEP 38400-089, Uberlândia.

<sup>2</sup>Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia, Campus Santa Mônica, CEP 38400-089, Uberlândia.

<sup>3</sup>Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia, Campus Santa Mônica, CEP 38400-089, Uberlândia.

**Resumo:** *A polibilidade é uma característica fundamental para seleção do material para fabricação de moldes e matrizes para plásticos. Esta característica está associada, principalmente à necessidade do acabamento superficial final da peça fabricada, como por exemplo lente de óculos ou faróis de carros. Este trabalho tem o objetivo de caracterizar a polibilidade de materiais e comparar o resultado para três diferentes tipos de aços utilizados na fabricação de moldes de injeção de plásticos. A caracterização da polibilidade foi feita através da avaliação da rugosidade da superfície medida através de diferentes procedimentos. Os materiais avaliados foram os aços VP20 ISO, VP80 e 304 UF, produzidos pela Villares Metals. Foram preparadas 45 amostras para cada um dos três aços. As amostras foram submetidas a diferentes níveis de acabamento utilizando lixamento e polimento. Medidas de rugosidade foram realizadas utilizando interferômetro a laser, rugosímetro com apalpador mecânico e medidas de refletividade pela técnica de fotoluminescência. Diante dos resultados fez-se uma comparação e avaliação dos três métodos de medição do acabamento superficial. Nesta comparação, tentou-se mostrar a relação entre a rugosidade e refletividade da técnica de fotoluminescência. Os resultados obtidos na comparação dos métodos demonstraram uma boa correlação para o aço VP80. Quanto maior a rugosidade medida pelo rugosímetro e interferômetro, menor foi o índice de refletividade alcançado. Os aços VP20 ISO e 304 UF não demonstraram uma boa relação. Foi realizado também testes para avaliação da rugosidade em função do tempo de polimento. Os resultados mostram que, novamente o aço VP80 demonstrou ter a rugosidade mais baixa em comparação aos demais aços analisados.*

**Palavras-chave:** *Aços para Moldes de Plástico, Polimento, Medição de Refletividade. Rugosidade.*

### **1. INTRODUÇÃO**

O Polimento é um fator cada vez mais importante no processo de fabricação de moldes. Além do aspecto final da peça ele ainda pode colaborar na diminuição da corrosão (em peças de PVC, por exemplo), facilitar a extração de peças, reduzindo o risco de quebra das mesmas. Em geral, o polimento é avaliado a olho nu, sendo que as superfícies analisadas devem estar totalmente livres de riscos e porosidades.

Em polimentos espelhados, a avaliação final poderá ser realizada através da utilização de instrumentos ópticos, muitas vezes um polimento, visto através destes instrumentos, mostrará riscos que, entretanto poderão ser aceitáveis a olho nu. Na verdade uma análise final da quantidade do polimento dependerá muito da experiência do polidor.

O acabamento superficial é bastante rigoroso em moldes e matrizes ( $R_a$  normalmente menor que  $0,1 \mu m$ ) e bastante crítico principalmente no molde para injeção. A qualidade do acabamento requerida nas superfícies de moldes para injeção é maior que aquelas requeridas nas matrizes de forjamento e estampagem, além disso, sua geometria complexa impede a aplicação do polimento automático. Somente a geração de superfícies convexas e ligeiramente curvas, além de furos na matriz, permite o uso de equipamento automático de polimento (Ramos & Machado).

Existem poucos trabalhos relacionados com o processo de polimento para moldes e matrizes. Em um levantamento realizado pela empresa Sandvik (2002), mostrou-se que o principal processo de fabricação é a usinagem. Caracterizando-se pela remoção de material, este processo é responsável por aproximadamente 65% do custo de um molde.

Segundo Fallbohmer et al (1996) as combinações do polimento manual com o polimento automático têm sido muito utilizadas, chegando a 70% das oficinas de moldes e matrizes dos Estados Unidos e Japão.

Com isso, verifica-se a importância econômica do polimento na fabricação de moldes e matrizes, ainda sem considerar o acabamento. Segundo Machado (2003), o acabamento pode influenciar no desempenho de um componente, como por exemplo, alterar a resistência à fadiga. A rugosidade pode ocasionar mudanças micro estruturais e por consequência, a existência de tensões residuais vão se relacionar à fadiga.

## 2. USINAGEM DE MOLDES E MATRIZES

Na fabricação de moldes e matrizes os processos de usinagem por fresamento, retificação, e usinagem por descargas elétricas ou eletroerosão (ou EDM de Electrical Discharge Machining) são os mais utilizados. As ferramentas utilizadas para conformação de chapas metálicas planas tem a usinagem de acabamento executada principalmente por retificação ou a combinação de fresamento e retificação. Já as matrizes para forjamento são usinadas na fase de acabamento, por fresamento ou combinação de fresamento e EDM. Sendo que este último processo é usado quase que somente no polimento. Matrizes de fundição são também usinadas, no acabamento, por fresamento e fresamento-EDM (Ramos, 2004).

As matrizes de aços endurecidos estão sendo amplamente usadas para forjamento, fundição e modelagem por injeção. O material destas matrizes tem sido tradicionalmente usinado na sua condição mole, ou seja, recozido, seguida de tratamento térmico, para alcançar a dureza necessária, e usinagem de acabamento. Este acabamento pode ser realizado pela usinagem por eletroerosão e/ou retificação. Um polimento final manual é utilizado na maioria das superfícies de perfis complexos, aumentando ainda mais o tempo de entrega e onerando os custos de produção (Ramos, 2004).

### 2.1. Caracterização de moldes e matrizes

A maior parte do custo de um molde tange os aspectos de sua manufatura. Por exemplo, são extremamente importantes os valores agregados durante o processo da construção do molde, especialmente nas etapas de usinagem e polimento. A vida útil dos moldes, em geral, é elevada e sua substituição ocorre devido, principalmente, à mudança do projeto e, mais raramente, ao desgaste do molde. Portanto, as propriedades de desempenho do aço empregado devem ser consideradas como apenas suficientes para aplicação. As propriedades de manufatura, ao contrário, devem possuir papel de destaque, de modo a reduzir o custo total do molde produzido. E, principalmente, devem ser consideradas as interações entre o aço e o processo empregado para manufatura. Em muitos casos, o investimento maior no aço empregado pode ser convertido em ganhos futuros, em termos de redução dos custos totais da manufatura ou reparo do molde (Mesquita & Barbosa, 2007).

A superfície do molde é fundamental para o acabamento da peça produzida, sendo o grau de polimento dependente da aplicação. Perfeitamente polidos podem ser necessários para muitas aplicações, como injeção de óculos ou faróis de automóveis. No caso de conformação de plásticos com textura, a superfície do molde necessita igualmente de adequado polimento. A polibilidade mede a facilidade de realização do polimento em um aço para moldes, sendo afetada por diversos fatores metalúrgicos. Inclusões não metálicas como óxidos e sulfetos podem diminuir a polibilidade, dependendo do tamanho e distribuição. A resposta à texturização mede a facilidade de se aplicar uma textura ao aço ferramenta utilizada no molde (Mesquita, 2007).

Segundo Barbosa (2001), a definição do aço a ser utilizado para a fabricação dos moldes é feita priorizando algumas características. O Quadro 1 mostra estas tais características.

**Quadro 1. Características desejadas em aços para fabricação de moldes e matrizes (Barbosa, 2001).**

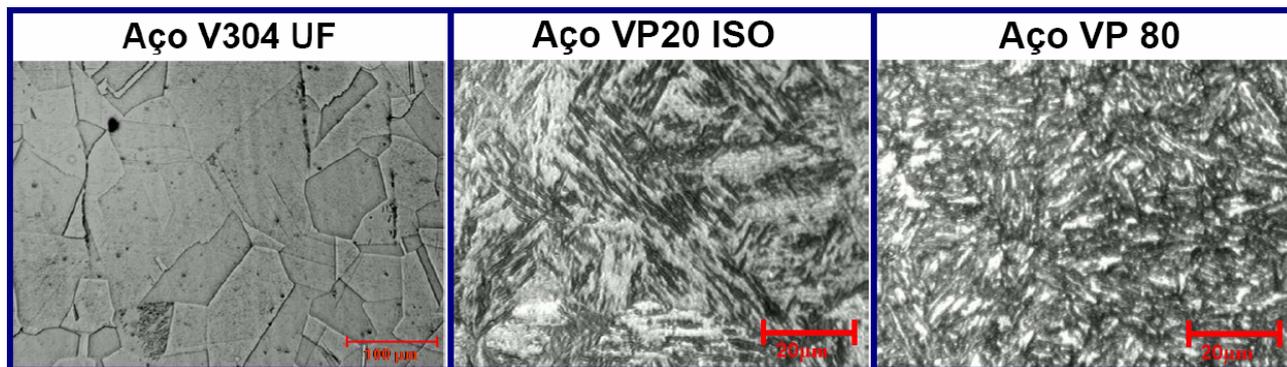
Quanto ao uso	Características desejáveis para fabricação
Propriedades mecânicas (dureza, etc)	Usinabilidade
Respostas a nitretação	Soldabilidade
Facilidade de polimento	Reprodutibilidade
Respostas a texturação	Estabilidade dimensional (se tratar termicamente)
Condutibilidade térmica	Mínimo risco e complexidade (se tratar termicamente)
Resistência à corrosão (Inoxibilidade)	
Reprodutibilidade	
Mínimo custo.	

### 2.2. Métodos de Caracterização de Superfícies polidas

As superfícies polidas são geralmente caracterizadas por medidas de rugosidade, sendo que para moldes de injeção de plástico a rugosidade medida nem sempre traduz a qualidade total do molde. Qualquer deficiência nesta etapa pode ser transmitida ao produto final fabricado. Portanto, atualmente tem-se em estudo, além da medida de rugosidade, uma medida de refletividade da superfície polida. A própria medição de rugosidade deve ser definida pelo parâmetro mais adequado.

### 3. METODOLOGIA

Para a medição de refletividade, foi utilizado três diferentes tipos de aços para moldes de injeção de plásticos, sendo eles: aço ABNT 304 UF, aço VP80 e o aço VP20 ISO. Na Fig. 1 a seguir tem se a micrografia dos aços utilizados.



**Figura 1. Micrografia dos aços utilizados.**

Primeiramente, realizou-se a preparação das amostras, onde se utilizou para o corte das amostras um disco abrasivo e uma cortadeira elétrica. Em seguida utilizou-se resina para o embutimento a frio. Feito os embutimentos realizou-se para todas as amostras o lixamento com as lixas 400, 600 e 1000 e por fim o polimento utilizando abrasivos com três e um micron. Para cada novo lixamento ou polimento sempre permaneceram três amostras para cada material. Sendo assim, a análise foi realizada em um total de 45 amostras para os três aços. Os ensaios de polimento foram realizados no LTM (Laboratório de Tribologia e Materiais) e os ensaios de embutimento e lixamento realizados no laboratório de usinagem não tradicional da Universidade Federal de Uberlândia. A Tab. 1 abaixo mostra como ficaram distribuídas as amostras por tipo de aço e tipo de acabamento.

**Tabela 1. Distribuição das amostras por material e acabamento.**

Acabamento	Aços			Total
	V304 UF	VP 20 ISO	VP 80	
Lixamento 400	3	3	3	9
Lixamento 600	3	3	3	9
Lixamento 1000	3	3	3	9
Polimento 3µm	3	3	3	9
Polimento 1µm	3	3	3	9
<b>Total (amostras)</b>	15	15	15	45

Em cada amostra foram realizados dois tipos de medidas, sendo uma de refletividade, realizada no LNMIS (Laboratório de Novos Materiais Isolantes e Semicondutores) da Universidade Federal de Uberlândia e uma de rugosidade realizada no laboratório LTM. Para os ensaios realizados no LNMIS, utilizou-se um laser (Fig. 2(a)) com um comprimento de onda 504 nm. O laser percorreu um caminho óptico (Figura 2(b)) incidindo sobre a superfície da amostra, onde a refletividade desta luz foi captura por uma câmera (Figura 2(c)).



Figura 1 (a)

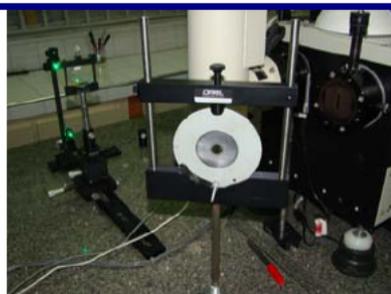


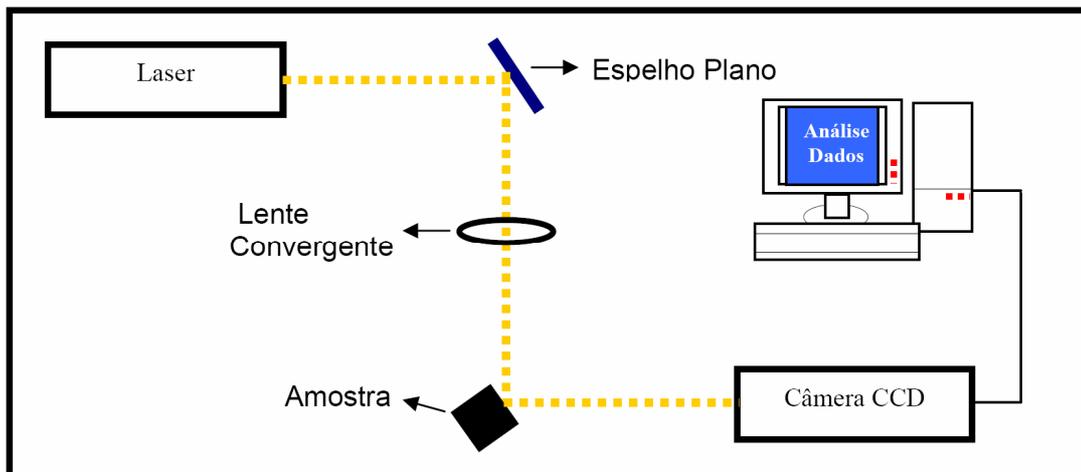
Figura 1 (b)



Figura 1 (c)

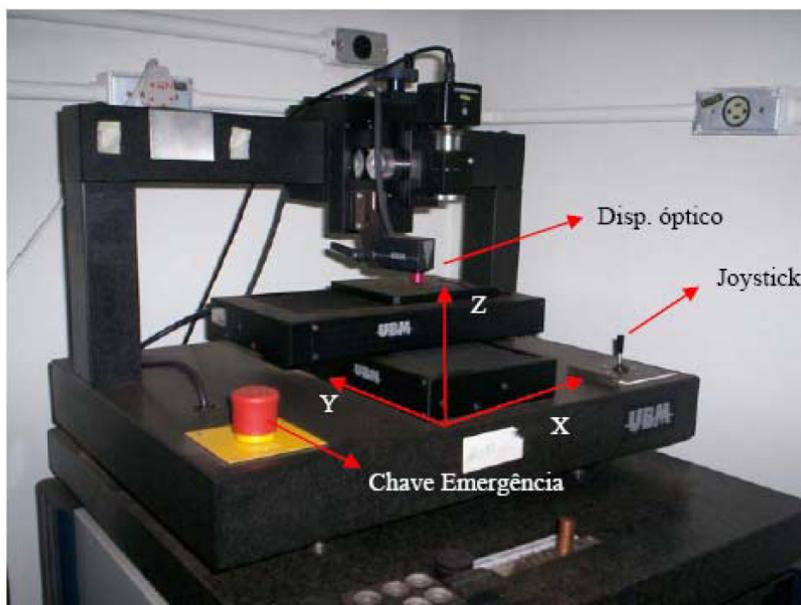
**Figura 2. Distribuição do arranjo dos equipamentos para obtenção da refletividade dos materiais utilizando o método de fotoluminescência.**

A Fig. 3 mostra o esquema do método de fotoluminescência utilizado.



**Figura 3. Esquema de funcionamento do método de fotoluminescência.**

O interferômetro a laser utilizado para fazer a caracterização da superfície é capaz de reconhecer imperfeições na superfície de até 100  $\mu\text{m}$  na direção vertical. O interferômetro em questão consegue captar irregularidades da superfície da ordem de 500  $\mu\text{m}$  de profundidade de vales e 500  $\mu\text{m}$  de altura máxima dos picos. A partir destes valores tornam-se imprecisos os resultados de medição. O interferômetro utilizado pode ser visualizado na Fig. 4 abaixo. Realizaram-se também medidas de rugosidade no rugosímetro *Form Talysurf Intra* da marca Taylor Hobson.



**Figura 4. Interferômetro utilizado nos testes de medição de acabamento superficial.**

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados das medidas realizadas no interferômetro a laser para o aço VP80 mostraram que a rugosidade da superfície diminui com o nível do polimento. A ressalva fica para a amostra que foi lixada com a granulometria de 600, onde ocorreu um aumento na rugosidade em relação ao lixamento de 400. A Fig. 5 (a) mostra os valores de rugosidade ( $R_a$ ) (obtido pelo método de interferometria) em  $\mu\text{m}$  para o lixamento (número 400, 600 e 1000) e polimento (3 $\mu\text{m}$  e 1 $\mu\text{m}$ ).

A Fig. 5 (b) mostra os valores da refletividade (obtido pelo método de fotoluminescência) em função do nível de acabamento das amostras. É possível perceber uma relação com a rugosidade, quando os resultados são comparados com os resultados apresentados na Fig. 5 (a). Na relação com as medidas feitas pelo interferômetro a laser, pode-se verificar que o aumento da rugosidade na amostra com lixa 600 em relação a amostra com acabamento lixa 400 Fig. 5 (a) é verificado também na refletividade, pois nas mesmas amostras tem uma pior refletividade para amostra com acabamento lixa 600.

Com o aumento da rugosidade a refletividade de uma superfície tende a diminuir devido ao maior espalhamento do laser quando refletido por uma amostra com superfície irregular (Shimizu e Fugi, 2003).

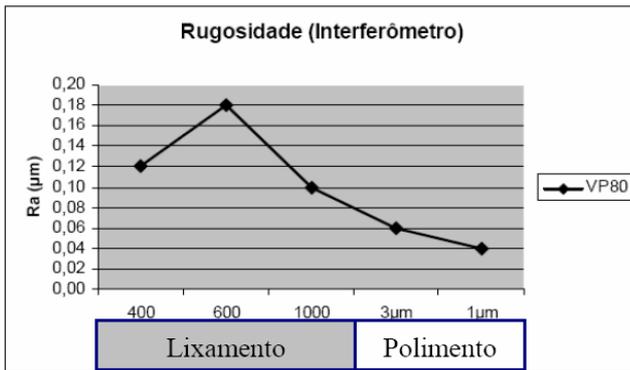


Figura 5 (a)

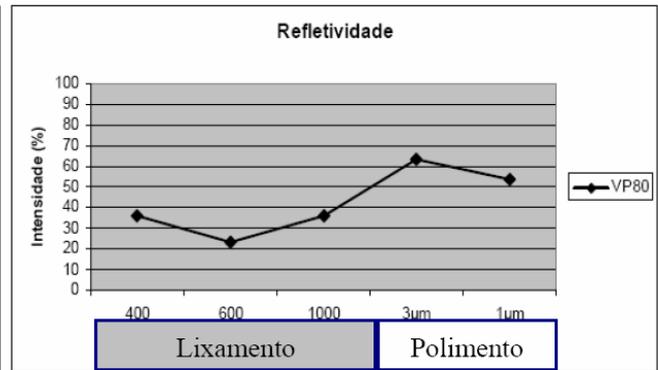


Figura 5 (b)

**Figura 5. Valores de rugosidade (fig. 5(a)) e refletividade (fig. 5(b)) obtido para o aço VP 80 através dos métodos de interferometria e fotoluminescência, respectivamente.**

Para o aço VP 20 ISO observa-se na Fig. 6 (a) um aumento na rugosidade desde a amostra lixada com lixa 400 até a amostra lixada com lixa 1000. As amostras polidas com pasta de diamante têm menores rugosidades, mas não existe diferença significativa entre os polimentos com 3 e 1 µm. A Fig. 6 (b) mostra os resultados obtidos para a refletividade pelo método de fotoluminescência. Neste caso a refletividade aumenta com a preparação da superfície até a amostra correspondente a lixa 1000 para depois ter uma pequena queda.

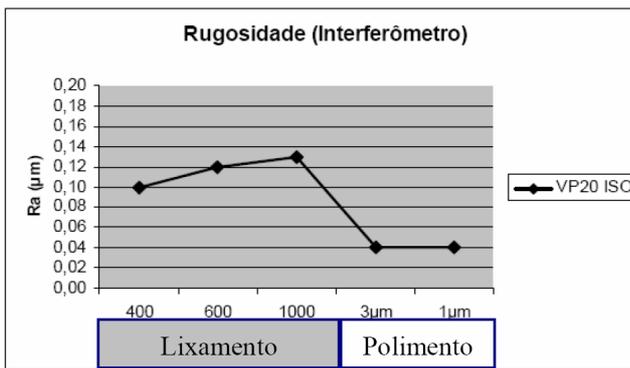


Figura 6 (a)

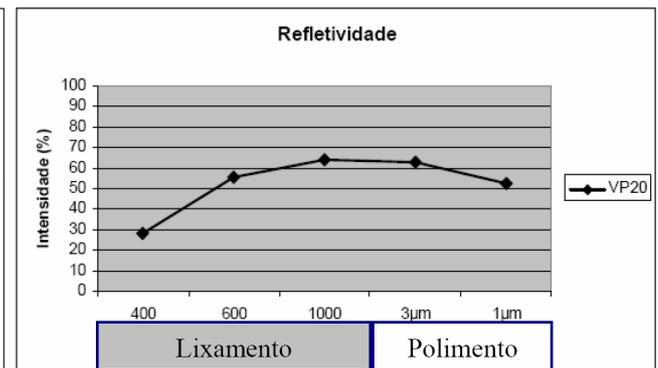


Figura 6 (b)

**Figura 6. Valores de rugosidade (fig. 6(a)) e refletividade (fig. 6(b)) obtido para o aço VP 20 iso através dos métodos de interferometria e fotoluminescência, respectivamente.**

Os resultados obtidos na análise do aço 304 UF na Fig. 7 (a) estão de acordo com o esperado, ou seja, a rugosidade diminuiu de acordo com o tamanho do grão utilizado na preparação das amostras, desta forma quanto menor o tamanho do grão das lixas e pastas de diamantes usadas menor foi a rugosidade. A ressalva fica para as amostras de 3µm e 1µm, que apresentam valores de rugosidade similares. A Fig. 7 (b) mostra os resultados de refletividade obtidos para o aço 304 UF. Neste caso, a melhor refletividade foi obtida pela amostra preparada com lixa 600.

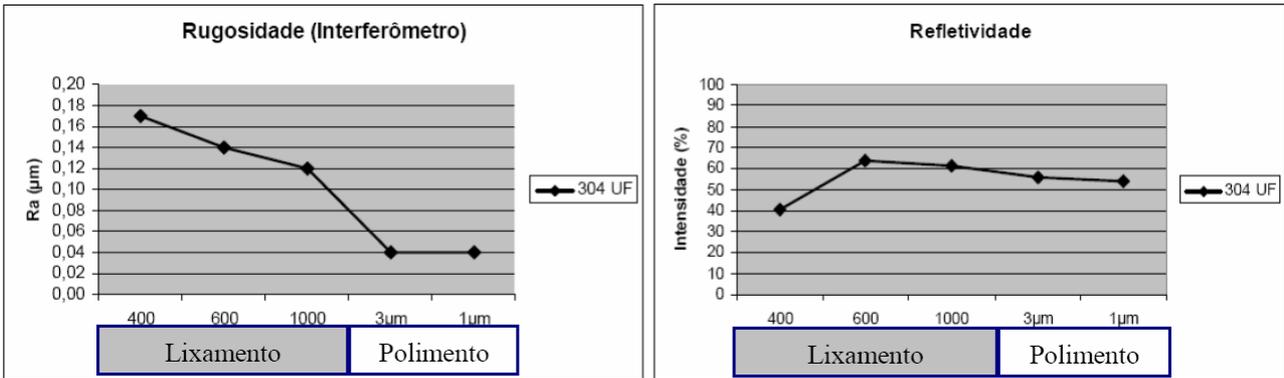


Figura 7 (a)

Figura 7 (b)

**Figura 7. Valores de rugosidade (fig. 7(a)) e refletividade (fig. 7(b)) obtido para o aço V304 UF através dos métodos de interferometria e fotoluminescência, respectivamente.**

Nas figuras 8 (a), 8 (b) e 8 (c) tem – se os aços 304 UF , VP 20 ISO e VP 80. De uma forma geral, as imagens obtidas para o aço VP 80 e VP 20 ISO estão mais próximas de um mesmo padrão o que não ocorre para o aço 304 UF, pois é possível observar nesta imagem uma superfície com um pior acabamento, demonstrando assim a maior dificuldade encontrada no polimento do aço 304 UF.

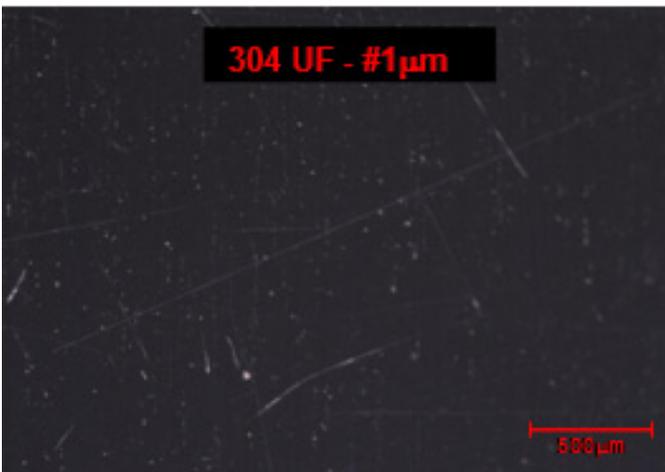


Figura 8 (a)

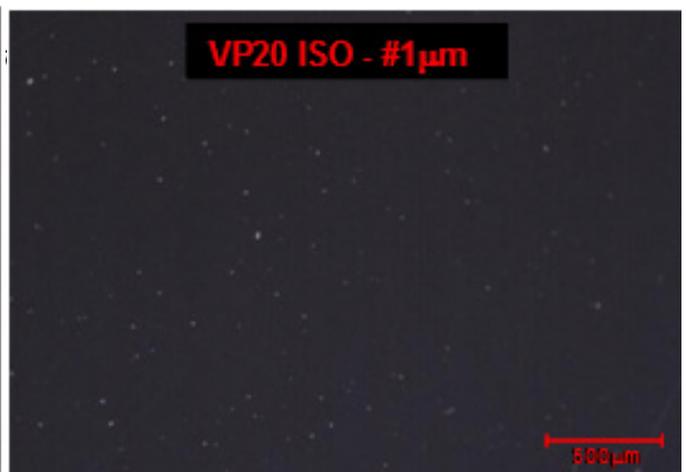


Figura 8 (b)



Figura 8 (c)

**Figura 8. Imagens obtidas para os aços V304 UF, VP 20 ISO, VP 80 através do estéreo microscópico olympus com o software Image Express.**

Na Fig. 9 tem-se a relação entre rugosidade e dureza dos materiais utilizando os resultados das amostras preparadas com polimento com pasta de diamante de 3 e 1µm. Nos processos de polimento tem-se a busca do máximo polimento para cada material. Diante disso, é válido demonstrar os valores de menor rugosidade obtidos pelos materiais em relação à dureza. A Fig. 9 mostra a menor rugosidade (Ra) de cada material pela dureza (HV), sendo possível verificar

uma tendência na diminuição da rugosidade (Ra) para materiais com maior dureza. Esta relação também foi observado por Shimizu e Fugi (2003).

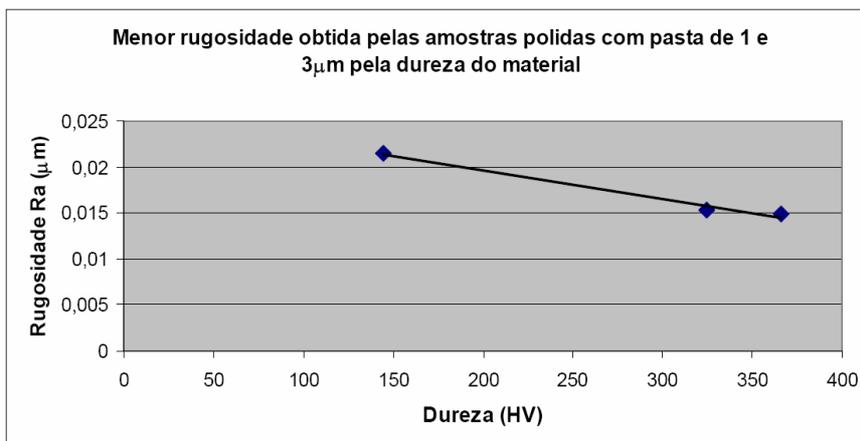


Figura 9. Menor rugosidade (Ra) obtida dos materiais para amostras de 3 μm e 1 μm em relação a dureza de cada material utilizado.

## 5. CONCLUSÕES

Depois de concluídos os testes de rugosidade e refletividade dos materiais e feitas às análises e comparações para os três materiais, foi possível extrair algumas conclusões a respeito dos materiais e dos métodos de caracterização de superfície. São elas:

- O material VP 80 obteve uma boa relação entre o aumento da rugosidade e a diminuição da refletividade;
- A refletividade pelo método de fotoluminescência não demonstrou a mesma relação da rugosidade pela refletividade para os materiais VP20 ISO e 304 UF;
- O material VP20 ISO teve a rugosidade diminuída mais rapidamente em relação aos demais materiais quando comparado o tempo de polimento;
- Observou-se de um modo geral que os materiais com maior dureza apresentaram uma menor rugosidade;
- Na análise visual o material V304 UF demonstrou ter um pior polimento em comparação aos demais aços analisados.
- Observou-se de um modo geral que os materiais com maior dureza apresentaram uma menor rugosidade.

## 6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Capes, ao CNPq e a Villares Metals pelos materiais. Ao Prof. Dr. Noelio Oliveira Dantas do Instituto de Física e o Prof. Dr. Rafael Ariza Gonçalves e José Daniel Biasoli de Mello do laboratório Tribologia e Materiais da Faculdade de Engenharia Mecânica, ambos da Universidade Federal de Uberlândia. À empresa Taylor Hobson pela ajuda nos ensaios.

## 7. REFERÊNCIAS

- Barbosa, C.A., 2001, Desempenho de Aços Para Confeção de Moldes Para Plásticos, Workshop sobre tecnologia de fabricação de moldes São Paulo, S.P. 11-04-2001.
- Fallbohmer P. and Altan, T., Tonshoff, H.K., Nakagawa, T., Survey of The Die and Mold Manufacturing Industry – Practices in Germany, Japan, and the United States-, Journal of Materials Processing Technology 59 (1996) 158-168.
- Ferraresi, D., 1977. “Fundamentos da Usinagem dos Metais”. Editora Edgard Blucher Ltda, São Paulo. 751p.
- Gonçalves, R.A. et al. Variação da Refletividade e Rugosidade de Vidrados Cerâmicos Causados por Ensaios Abrasométricos. UFU – Laboratório de Tribologia e Materiais.
- Hutchings I. M. Tribology: Friction and Wear of Engineering Materials – (Metallurgy & Materials Science Series) 1992.
- Machado, A. R. e Da Silva, M. B., 2004. “Apostila sobre: Usinagem dos Metais”. 8ª edição. Editora UFU, Universidade Federal de Uberlândia. 257 p.
- Machado I.F., Marciacano, L., Driemeier e Dias C.ª N., XVII congresso de Engenharia mecânica, novembro de 2003.
- Ramos, C. A. D.; Machado, A. R. Usinagem de Moldes e Matrizes. Disponível em: <ccet.ucs.br/pesquisa/grupos/gifer/artigos/Matrizes.pdf/download> Acesso em: Fevereiro de 2008.
- Sandvik Coromant 2002, Fabricação de Moldes e Matrizes, Ferramentas e Métodos, C H 02,2, 258p

Shimizu, T. Fujii, T. Mirror Surface Finishing Properties of Plastic Mold Steels. Denki Seiko (Electric Furnace Steel).  
Vol. 74, no. 2, pp. 125 – 130. Apr. 2003.  
Trent, E. M., 1984. "Metal Cutting". 2nd Edition, Butterworths, ISBN 0-408-10856-8. 245 p.

## **8. DIREITOS AUTORAIS**

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.



COMPROMETIDA COM A PROMOÇÃO DO DESENVOLVIMENTO  
DA ENGENHARIA E DAS CIÊNCIAS MECÂNICAS

**VI CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA**  
**VI NATIONAL CONGRESS OF MECHANICAL ENGINEERING**  
**18 a 21 de agosto de 2010 – Campina Grande – Paraíba - Brasil**  
**August 18 – 21, 2010 – Campina Grande – Paraíba – Brazil**

## **POLISHING STEEL FOR PLASTIC MOLDS.**

**Gilberto Domingues Junior, gilberto.domingues.junior@gmail.com<sup>1</sup>**

**Gabriel Miranda Costa, gmc\_eng\_mec@hotmail.com<sup>2</sup>**

**Márcio Bacci da Silva, mbacci@mecanica.ufu.br<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia, Campus Santa Mônica, CEP 38400-089, Uberlândia – MG.

<sup>2</sup>Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia, Campus Santa Mônica, CEP 38400-089, Uberlândia – MG.

<sup>3</sup>Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia, Campus Santa Mônica, CEP 38400-089, Uberlândia – MG.

**Abstract.** *The polishing is a key feature for selection of material for the manufacture of molds and dies for plastics. This feature is associated mainly to the need of the roughness of the finish manufactured part, such as lens glasses or car headlights. This work aims to characterize the polishing materials and compare the result for three different types of steel used in the manufacture of injection molds for plastics. The characterization of polishing was made by evaluating the surface roughness measured by different procedures. The materials were evaluated steels VP20, VP80 and 304 UF, produced by Villares Metals. Were prepared 45 samples for each of the three steels. The samples were subjected to different levels of finishing using grinding and polishing. Measurements of roughness were performed using a laser interferometer, mechanical profilometer to probe reflectivity measurements and the technique of photoluminescence. Considering the results made a comparison and evaluation of three methods of measuring surface finish. In this comparison, we tried to show the relationship between the roughness and reflectivity of the technique of photoluminescence. The results obtained in the comparison of methods showed a good correlation for steel VP80. The higher the roughness measured by profilometer and interferometer, the lower the index of reflectivity achieved. Steels VP20 ISO 304 and UF did not show a good relationship. Was also carried out tests for evaluation of roughness according to the time of polishing. The results show that the steel VP80 again demonstrated its roughness lower than the other steels studied.*

**Keywords:** *Steel for Plastic Molds. Polishing. Reflectivity Measurements. Roughness.*