

## MONITORAMENTO DO DESGATE DE MICROFRESAS

Elvis Fernando Cipriano de Lima, [elvis.fernando05@gmail.com](mailto:elvis.fernando05@gmail.com)  
Erik Gustavo del Conte, [erik.conte@ufabc.edu.br](mailto:erik.conte@ufabc.edu.br)

Universidade Federal do ABC (UFABC), Av. dos Estados, 5001. Santo André – SP - Brasil CEP: 09210-580

**Resumo:** O desgaste das ferramentas de corte têm elevada influência na economia e qualidade do processo de fabricação. No processo de microfresamento, onde diâmetros típicos de fresas menores que 1 mm são utilizadas, torna-se difícil um controle visual do desgaste da ferramenta. Este trabalho tem o objetivo de desenvolver uma proposta para o monitoramento do desgaste de microfresas. Imagens da ferramenta foram obtidas e tratadas por meio de algoritmo para medição do desgaste. A comparação dos dados obtidos com medições realizadas em microscópio foi realizada no desenvolvimento e validação do sistema. Com o sucesso do presente trabalho e aplicação do sistema, momentos ótimos de troca da ferramenta serão determinados, evitando quebra, paradas não programadas e contribuindo para uma melhor qualidade da peça usinada.

**Palavras-chave:** microfresamento, monitoramento, desgaste

### 1. INTRODUÇÃO

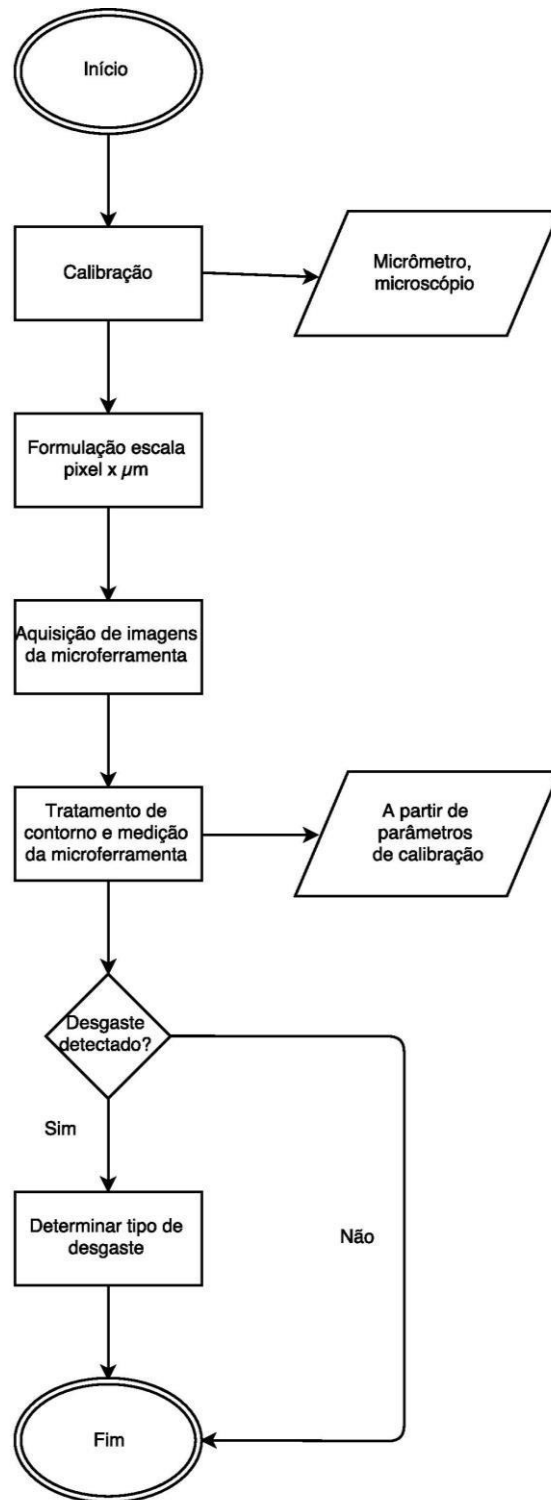
Na otimização do processo de microfresamento é importante determinar o desgaste que ocorre nas ferramentas durante a usinagem. O tempo de vida das fresas é determinado principalmente pelos parâmetros de corte utilizados, estratégias de corte e condições de dureza do material a usinar. Dependendo do estado em que a ferramenta se encontra, as dimensões das peças podem sofrer alterações, ou mesmo o impacto na rugosidade da superfície e na formação de rebarbas podem determinar a viabilidade do processo de fabricação (Aguiar, 2013). Assim, medidas do desgaste devem ser realizadas a fim de supervisionar e determinar as condições nas quais o processo ocorre.

Neste cenário surge a necessidade de um controle preciso de desgaste, buscando formas de monitorá-lo, a fim de estimar condições ótimas de usinagem. A aplicação de diferentes técnicas se faz recorrente mesmo nas ferramentas com dimensões maiores que 1 mm (Klancnik, 2014). O controle das forças de corte influenciando no desgaste mensurados pelo uso de um dinamômetro é material de estudos para que se possa analisar a variação de parâmetros na ferramenta (Wang, 2014). Os softwares para tratamento dos sinais também surgem como uma forma interessante de implementar o monitoramento em processo a fim de se estimar e analisar resultados (Assis, 2015). Estudos anteriores evidenciam que existem diversas formas para monitorar o processo, e por meio de investigações é possível aperfeiçoar resultados práticos. O uso de microscópios de alta precisão para análise de desgastes também foi explorado, mesmo quando o objeto de estudo fosse voltado para a refletância que tais superfícies pudessem emitir (Szydłowski, 2016).

Neste trabalho uma proposta para o monitoramento do desgaste de flanco de microfresas foi realizado por meio do tratamento de imagens da microferramenta (fresas com diâmetro menor que 1 mm). Em suma, esse sistema pode diagnosticar a condição da ferramenta e assim contribuir para a tomada de decisão em relação à troca ou mesmo aprimoramento dos parâmetros de corte no processo de microfresamento.

### 2. DESENVOLVIMENTO

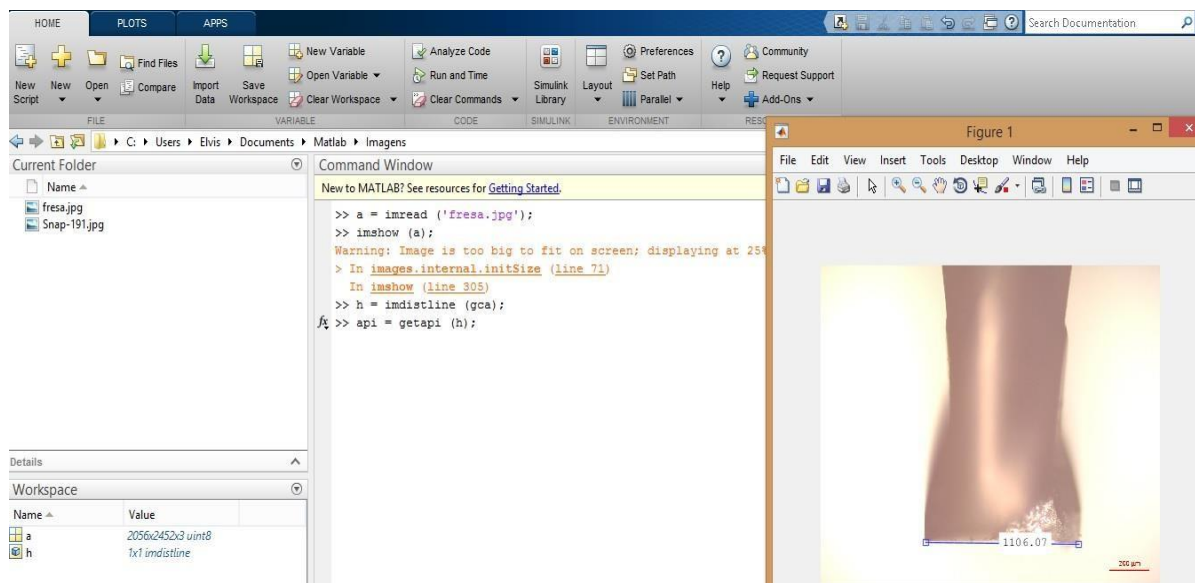
O monitoramento é realizado pela captação de imagens, onde estas são estudadas para que possam nos dar os resultados que procuramos. Então, os diferentes métodos de captação de imagens das microfresas permitem uma análise mais precisa com o algoritmo de medição. Com as imagens em diferentes ampliações e boa qualidade é possível determinar as condições nas quais a ferramenta se encontra, observando se sua vida útil está próxima do fim. Essa aplicação na prática pode evitar diversas paradas não programadas em uma linha de produção.



**Figura 1. Fluxograma desenvolvimento de pesquisa**

A Figura 1 traz um fluxograma descrevendo de forma esquemática quais as etapas necessárias para que se possa ter uma análise do estado que a ferramenta pode se encontrar, e assim, a partir deste, definir parâmetros que otimizem ao máximo a utilização da microfresa que se encontra em uso. Em caso de não haver apresentação de desgaste, significa que aquela ferramenta está nova.

Passo fundamental para a realização de todo o processo se dá na elaboração do programa de tratamento e medição das imagens. Nesse sentido, a computação gráfica auxilia com recursos próprios para esse tipo de operação. Assim, a utilização de softwares e funções específicas permitem esse trabalho que vai abrir precedente para determinação do quanto desgastada está a ferramenta, e direcionar os resultados direto para uma implicância prática da otimização do processo. A Figura 2 demonstra a interface do software Matlab® durante o início de um processo de tratamento e medição da microfresa. Por meio desse algoritmo, com apenas cliques em dois pontos extremos do diâmetro da peça, se evidencia que a ferramenta não está nova. Para se chegar a esse ponto de precisão vale ressaltar a importância da calibração indicada no fluxograma e explicada detalhadamente mais adiante.



**Figura 2. Tratamento e medição de imagem com o software Matlab®**

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

A ferramenta utilizada para análise inicial foi uma fresa de topo de diâmetro 0,8mm com duas arestas de corte, produzida em metal duro e código MSM2MMSD0080. Já as imagens foram obtidas através do microscópio óptico Zeiss AxioCam ICc 5 (ver Figura 3) e o microscópio MEV Jeol JCM 6000 Bench Top (ver Figura 4), obtendo assim imagens com ampliações de até 850 vezes.



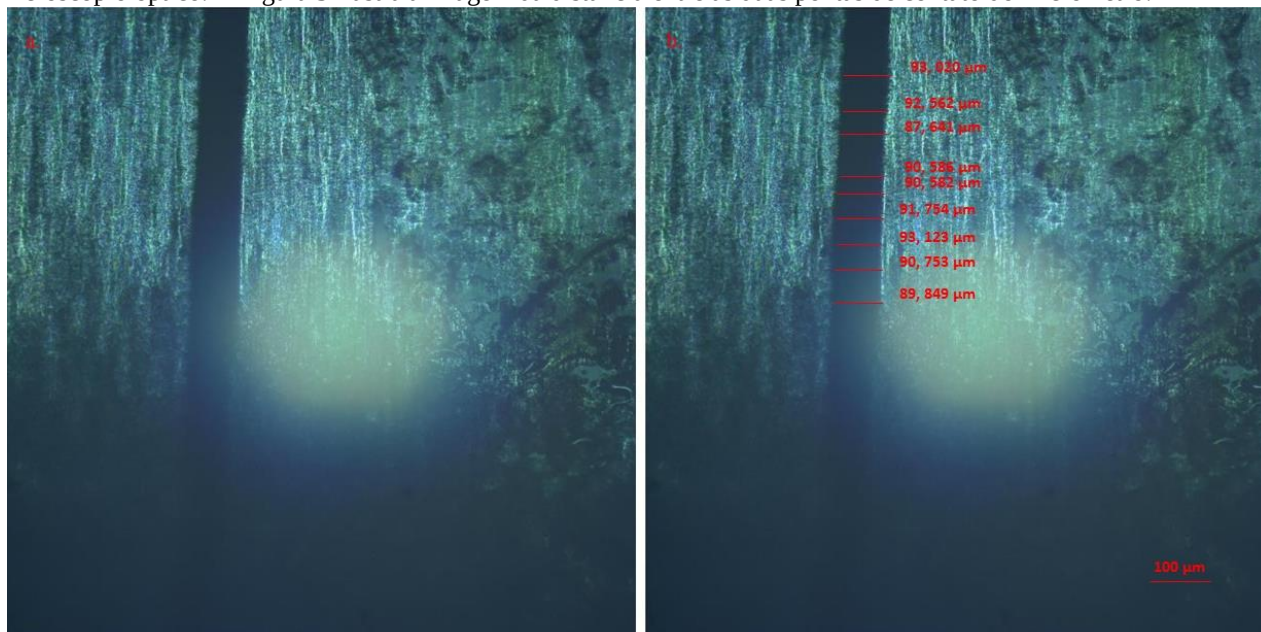
**Figura 3. Microscópio óptico**

A criação do algoritmo para tratamento e medição de imagens foi desenvolvida na plataforma Matlab® disponível para uso no Centro de Engenharia, Modelagem e Ciências Sociais Aplicadas da UFABC.



**Figura 4. Microscópio MEV**

Por se tratar de imagens captadas no microscópio, e ser necessário a leitura destas na plataforma Matlab®, temos um retorno das medidas lineares diretamente em pixel. Assim, para maior comodidade foi realizada a conversão dessa escala diretamente para micrometros. Para realização desse processo de calibração foi determinado o deslocamento de uma unidade no tambor do instrumento micrômetro e analisado o deslocamento linear na imagem com ampliação de 100x no microscópio óptico. A Figura 5 ilustra a imagem da distância entre as duas pontas de contato do micrômetro.



**Figura 5. Processo de calibração com imagem de micrômetro obtida com microscópio Zeiss AxioCam ERc 5s. a – sem escalas / b – com escalas**

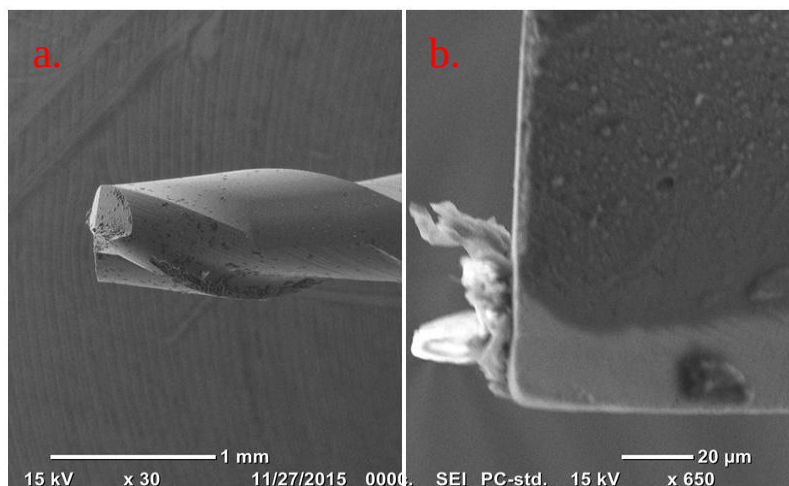
Com a fixação desses parâmetros a conversão foi realizada com medidas realizadas linearmente no software Matlab®.



**Tabela 1. Relação obtida entre os valores de pixels e micrometros**

| Ampliação | Micrometros | Pixels |
|-----------|-------------|--------|
| 650 vezes | 1           | 6,96   |
| 340 vezes | 1           | 3,62   |
| 100 vezes | 1           | 1,42   |
| 50 vezes  | 1           | 0,6    |

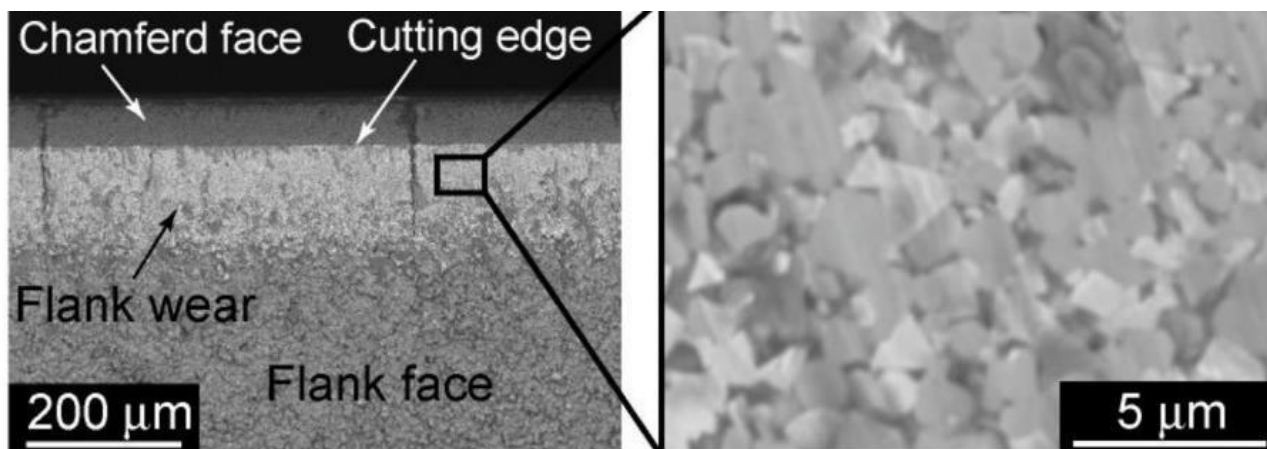
Os resultados encontrados de calibração, indicados na Tabela 1, possibilitaram um passo adiante, onde se partiu para a captação das imagens da ferramenta trabalhada em diferentes graus de ampliação, permitindo então a medição do quanto desgastada está a ferramenta e constatando que tipo de desgaste lhe afetou. A Figura 6 mostra exatamente o detalhe de duas imagens obtidas no MEV com ampliações diferentes que permite analisar detalhadamente a ferramenta trabalhada. Na Figura 6.b pode-se observar o detalhe de um micro cavaco na ponta da ferramenta e o desgaste de flanco de aproximadamente 0,020 mm.



**Figura 6. Imagens obtidas no microscópio MEV. a – ampliada 30x / b – ampliada 650x**

No momento em que se partiu diretamente para o tratamento e medição de imagens no software Matlab<sup>®</sup> foi necessária a segmentação da imagem a fim de isolar a ferramenta e conseguir detectar o pixel mais externo em referência ao fundo. Através do comando 'imdistantline', que possibilita uma medição ponto a ponto, é possível essa medição. A biblioteca de ferramentas atrelada ao comando 'regionprops' e a utilização do 'sobel filter' permitem com o incremento de certos parâmetros que a segmentação de imagem, consequentemente, permite a visualização da área desgastada e obtenção de medidas mais precisas.

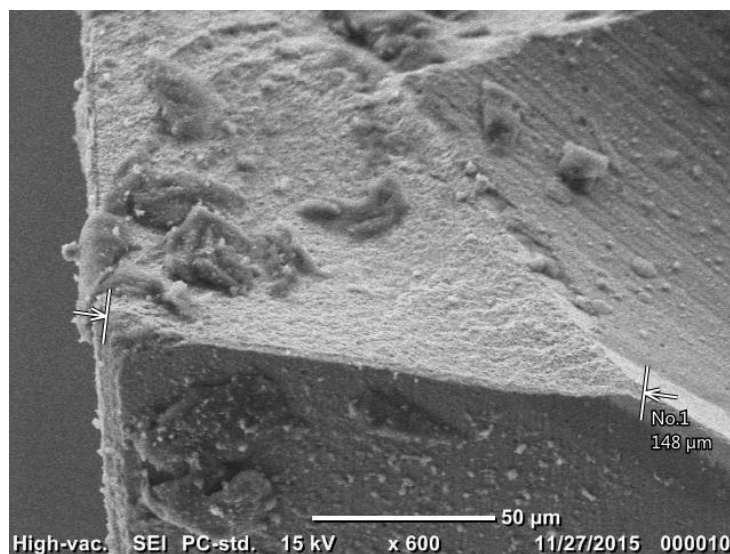
Na Figura 7 é ilustrado o desgaste de flanco em uma aresta de corte de uma ferramenta convencional. No estudo fica evidenciado a alteração na microestrutura da superfície desgastada deixando claro a aparição do desgaste de flanco (Sugihara, 2013), situação similar encontrada na Figura 6.b, ferramenta utilizada em nosso objeto de estudo.



**Figura 7 – Imagem captada via MEV do flanco de uma ferramenta convencional após usinagem (Sugihara, 2013)**

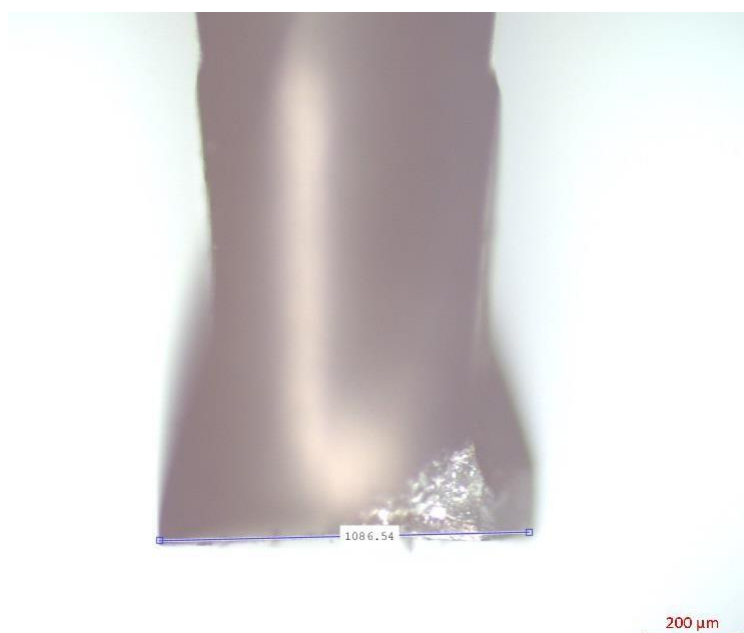
#### 4. RESULTADOS

Posteriormente aos trabalhos de calibração e captação da imagem, torna-se viável finalmente a análise das ferramentas. O uso do próprio software do microscópio MEV, ou do microscópio óptico, permite que possamos realizar medições lineares nos detalhes expostos da ferramenta. A comparação entre as medições obtidas nos instrumentos com os resultados do algoritmo do Matlab<sup>®</sup> foram realizadas. Na Figura 8, observa-se uma imagem de uma microfresa com aresta de corte quebrada e com uma medição no valor de 148 µm na mesma.



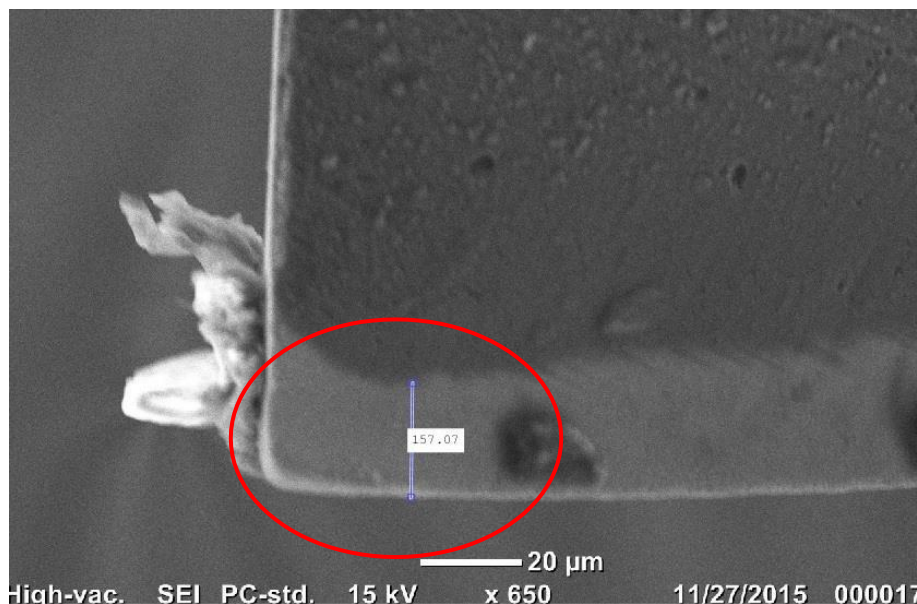
**Figura 8. Imagem MEV com ampliação de 600x e medição evidenciada**

A imagem evidencia uma aresta de corte da fresa de topo trabalhada. Os resíduos que aparecem destoando da ferramenta são cavacos e impureza que se encontram ferramenta e apenas podem ser notados com grandes ampliações. A falha detectada na aresta deixa claro que uma pequena fratura na ferramenta pode causar diversos impactos durante um processo prático de usinagem. Vale ressaltar que essa quebra só pode ser notada a partir das imagens do MEV. Em comparação com o microscópio óptico foi possível notar uma diminuição no diâmetro da ferramenta causado pelo desgaste da mesma (ver Figura 8). O diâmetro foi medido em pixels através do software Matlab<sup>®</sup>. A ampliação na aquisição da imagem é de 100x. Relacionando com o diâmetro nominal da ferramenta (8mm), a medida demonstrada na Figura 8 retornada em pixels deveria estar em torno de 1140 pixels caso não houvesse desgaste. A medição foi realizada considerando os pixels mais extremos em relação ao fundo branco, obtendo um valor de 1086 pixels.



**Figura 9. Imagem microscópio óptico com medição via Matlab<sup>®</sup>**

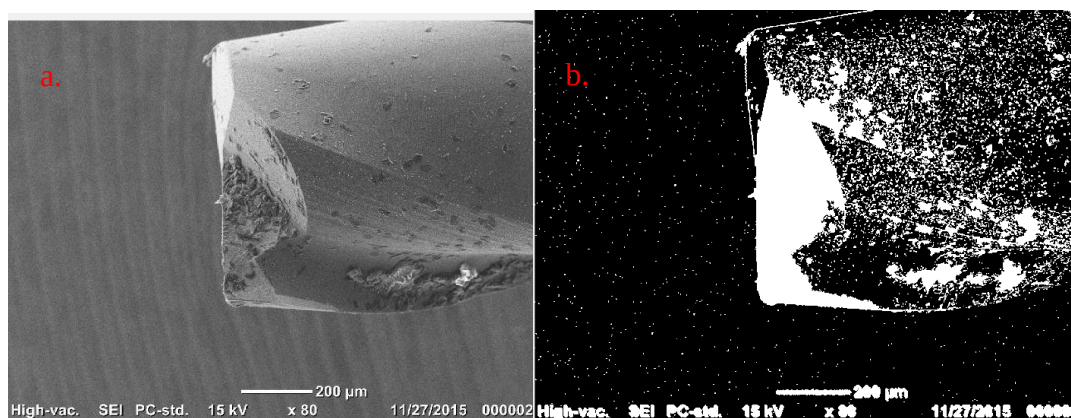
A condição da ferramenta constatada na Figura 9 é resultado do desgaste de flanco, que é considerado o tipo de desgaste mais comum encontrado em ferramentas de corte. Ele ocorre devido à abrasão que ocorre no contato entre a peça e a ferramenta no processo de usinagem. Fica evidente com diferenças na textura do material da ferramenta e pela dimensão diferenciada da nominal (Sugihara, 2013). Sua presença afeta diretamente parâmetros de precisão da peça trabalhada e de rugosidade, por isso pode ser considerado altamente prejudicial ao processo. Notando sua presença durante a captação da imagem com o microscópio óptico, se partiu para uma ampliação maior na região desgastada com o microscópio eletrônico de varredura possibilitando esclarecer e evidenciar que realmente se tratava desse tipo de desgaste.



**Figura 10. Detalhamento desgaste de flanco**

A Figura 10 ilustra o desgaste de flanco na imagem obtida pelo MEV. Com o tratamento desta imagem no sistema proposto é possível analisar a condição da ferramenta e quantificar o desgaste. A aplicação do algoritmo na figura mostra uma área de aproximadamente 157 pixels danificada pelo desgaste de flanco. Usando os dados da tabela 1 convertimos a medida diretamente para micrometros e obtivemos um valor de 22,57µm. Esse valor é completamente plausível com o valor mensurado na Figura 9. Erros possíveis estão atrelados à qualidade da imagem que dificulta a decisão do algoritmo sobre o último pixel associado à ferramenta.

É importante evidenciar que a abordagem de calibração e aplicação do algoritmo desenvolvido abre portas para o tratamento de imagens obtidas por câmeras ou microscópios portáteis que podem ser instalados diretamente na máquina-ferramenta, tornando o monitoramento da condição da ferramenta em processo viável.



**Figura 11. Segmentação da imagem. a – original/ b – após aplicação do algoritmo**

A Figura 11. indica o processo de segmentação da imagem trabalhada, onde na região que se encontra o desgaste de flanco indica a possibilidade da aplicação do filtro ‘sobel’ a fim de destacar a o local de interesse. A partir da segmentação se realiza a medição da área destacada, podendo mensurar assim o desgaste por área da ferramenta.

## 5. CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou uma proposta para o monitoramento do desgaste de flanco de microfresas por meio do tratamento de imagens. Uma proposta de calibração do sistema foi apresentada e testes práticos de aplicação foram realizados.

Na aplicação do sistema o desgaste de flanco e o diâmetro de uma microfresa foram mensurados. Para trabalhos futuros é proposto a utilização do conceito desenvolvido neste trabalho para o monitoramento em processo do desgaste da ferramenta. Para isso torna-se necessária a utilização de uma câmera ou microscópio portátil diretamente na área de trabalho da máquina ferramenta, evitando-se assim paradas não programadas do processo de usinagem. A utilização de câmeras portáteis permitiria a aplicação do algoritmo que destaca as regiões desgastadas, focando somente o local de interesse e facilitando indicar a área mensurada.

## 6. AGRADECIMENTOS

À instituição Universidade Federal do ABC, por permitir e apoiar a realização das pesquisas. Ao Instituto de Pesquisas e Tecnologia da Universidade de São Paulo, pela disponibilização da ferramenta trabalhada. Ao Centro de Engenharia, Modelagem e Ciências Sociais Aplicadas da UFABC, por todo suporte. Ao Prof. Dr. Leonardo Ribeiro Rodrigues pelo auxílio na captação de imagens com o microscópio MEV. Ao Prof. Dr. Harlen Costa Batagelo, por ser solícito e auxiliar com o tratamento de imagens. Ao técnico administrativo da UFABC, Pedro Anastácio da Silva, por permitir a utilização e ajudar no manuseio do microscópio MEV. Ao técnico do IPT, Antônio Militão de Azevedo Lima, por ser solícito e permitir o uso da ferramenta. A todos que mesmo indiretamente contribuíram no desenvolvimento deste trabalho.

## 7. REFERÊNCIAS

- Aguiar, M.M. de, A.E. Diniz and Pederiva, A.E. R., 2013 Correlating surface roughness, tool wear and tool vibration in the milling process of hardened steel using long slender tools, *International Journal of Machine Tools & Manufacture* Vol. 68, 1-10.
- Assis, D.A.A. de, Júnior, J.K.K., Villibor, G.P., Pinto, F.A.C., Souza, B.B. de and Filho, W.C., 2015, Monitoring machining tool wear on platform labview using machine vision, *Associação Brasileira de Engenharia e Ciências Mecânicas* Vol. 23.
- Klancnik, S., Ficko, M., Balic, J. and Pahole, 2014, Computer vision-based approach to end mill tool monitoring, *Int j simul model* Vol. 14.
- Sugihara, T. and Enomoto, T., 2013, Crater and flank wear resistance of cutting tools having micro textured surfaces, *Precision Engineering* Vol. 37, 888-896.
- Szydlowski, M., Powalka, B., Matuszak M. and Kochmanski, P., 2016, Machine vision micro-milling tool wear inspection by image reconstruction and light reflectance, *Precision Engineering* Vol. 44, 236-244.
- Wang, G., Liu, C., Cui, Y. and Feng, X., 2014, Tool wear monitoring based on cointegration modelling of multisensory information, *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, Vol. 27.

## 8. RESPONSABILIDADE AUTORAL

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluso neste trabalho.



## MICRO MILLING TOOL WEAR MONITORING

Elvis Fernando Cipriano de Lima, [elvis.fernando05@gmail.com](mailto:elvis.fernando05@gmail.com)

Erik Gustavo del Conte, [erik.conte@ufabc.edu.br](mailto:erik.conte@ufabc.edu.br)

Universidade Federal do ABC (UFABC), Av. dos Estados, 5001. Santo André – SP - Brasil CEP: 09210-58

**Abstract.** *The wear of the cut tools has high influence in the costs and quality of the fabrication process. In the micro milling process, where typical diameters of mills smaller than 1 millimeter are used, makes it hard a visual control of the tool wear. This project has as goal developing a proposal to monitoring process of the micro mills wear. The tools pictures were obtained by algorithm to wear measurement. Machining experiments and the comparison of the data obtained with measurements done in microscope were done on the system's development and validation. With the success of the present project and system's application, great replacing tools moments will be determined, avoiding breaks, unscheduled stops and contributing to a better quality of the machined piece.*

**Keywords:** *micro milling, monitoring, tool wear*