

MARCIO HAYATO MATSUYAMA

RICARDO KURAUCHI

**ESTUDO DE ATRITO E DESGASTE EM
FERRAMENTAS DE ESTAMPAGEM**

Trabalho de Formatura apresentado à
Escola Politécnica da Universidade de
São Paulo

Professor Orientador:
Amilton Sinatora

SÃO PAULO

2000

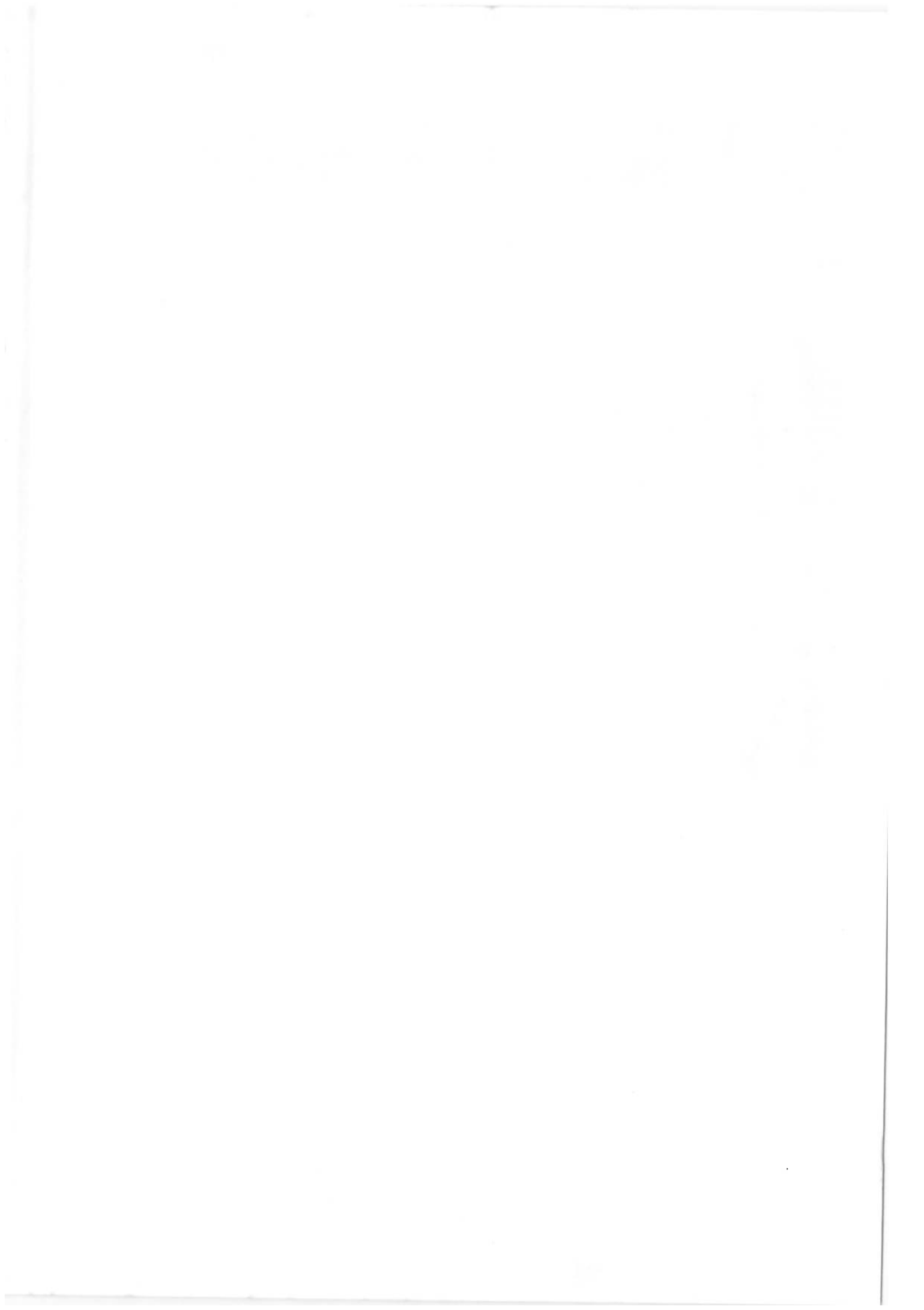
Ricardo Kurauchi
6 fev 01

75
Selo Gino
Amilton
21/12/00

DEDALUS - Acervo - EPMN



31600005959



SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO E OBJETIVOS.....	1
2. ESTUDO DO MECANISMO DE DESGASTE.....	3
2.1. Estudo da Superfície.....	3
2.1.1. Textura Superficial.....	3
2.1.2. Superfície Efetiva ou Medida.....	4
2.1.3. Planos ou Cortes de Amostragem	4
2.2. Estudo de Desgaste	6
2.2.1. Textura Superficial \Leftrightarrow Estudo de Desgaste	8
2.2.2. Avaliação e Medição da Textura Superficial	10
2.2.3. Parâmetros ou Critérios Verticais do Sistema.....	11
2.2.4. Parâmetros ou Critérios Horizontais do Sistema	15
3. METODOLOGIA	17
4. PROCEDIMENTOS PARA A CONSTRUÇÃO DO ATLAS	21
5. ATLAS.....	22
6. CONCLUSÕES	22
5. BIBLIOGRAFIA.....	24
ANEXO A – ATLAS.....	25
ANEXO B – GRÁFICO	27
ANEXO C – TABELA DE RUGOSIDADES.....	28

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Textura Superficial	3
Figura 2 – Planos de Corte X Perfis.....	5
Figura 3 – Possíveis tipos de Perfis	5
Figura 4 – Geometrias utilizadas em testes de desgaste por deslizamento – <i>Hutchings</i>	6
Figura 5 – Detalhes do modelo	6
Figura 6 – Réplicas	7
Figura 7 – Condição de movimento relativo entre duas superfícies.....	8
Figura 8 – Amaciamento das Superfícies de Contato	9
Figura 9 – Desenvolvimento do Desgaste.....	10
Figura 10 – Profundidade de Aplainamento.....	11
Figura 11 – Profundidade de Aplainamento.....	12
Figura 12 – Perfil e Ordenadas	13
Figura 13 – Desvio Médio Aritmético	14
Figura 14 – Contagem da Densidade de Picos	15
Figura 15 – Esquema de Instrumento de Apalpagem	16
Figura 16 – Ferramenta de Estampagem – Matriz e Anel.....	17
Figura 17 – Anel	18
Figura 18 – Croqui do Anel – Localização da Réplica	18
Figura 19 – Diagrama Peças Estampadas x Coeficiente de Atrito	19

1. Introdução e Objetivos

A indústria automobilística encontra no conhecimento dos processos de estampagem um de seus elementos de maior importância. É através da estampagem que são obtidas as mais diversas “armaduras” para as máquinas desenvolvidas. Para cada peça fabricada, utiliza-se um número de etapas de estampo de 4 a 5, sendo elas: repuxo (primeira deformação da chapa, dando a forma principal da peça final), recalque (“complemento” da deformação primária), recorte e flangeamento (dobras de pequenas áreas da peça). Na grande maioria das vezes, a cada etapa da estampagem corresponde uma ferramenta específica.

Atualmente, com o avanço tecnológico, a fabricação destas ferramentas tem se transformado num processo bastante otimizado. Antes, os desenhos de cada ferramenta, feitos a mão, eram enviados para uma área denominada *Modelagem*, onde se monta um modelo da mesma em isopor. Gerado o modelo, este era enviado à *Fundição*, e o produto resultante desta etapa era, então levado para as etapas de *Usinagem* e *Acabamento*. Finalmente, na última etapa antes de se iniciar a produção, o *Tryout*, a ferramenta era testada. Nesta fase, eram, e ainda são, realizados os ajustes finais da ferramenta, para que esta pudesse produzir peças satisfatórias.

Este processo não se alterou, com exceção de um detalhe: hoje é possível, através de *softwares* de simulação, predizer se uma ferramenta irá produzir peças boas ou não. Foi introduzida, então, uma nova etapa no processo, denominada *Formability Analysis*. Essa nova etapa permitiu a diminuição no tempo gasto em *Tryout*, gerando, conseqüentemente, uma redução de despesas (\$/hora trabalho).

Um fenômeno que ainda não pode ser previsto nas simulações é o desgaste das ferramentas. A estampagem de uma chapa metálica é um fenômeno que envolve esforços muito elevados. Sabe-se que no contato entre chapa (usualmente chamada de *blank*) e ferramenta, como ocorre no contato de qualquer outro par de superfícies, existe um Coeficiente de Atrito μ , que, nas simulações, é considerado constante. O atrito, porém, é um fenômeno bastante complexo, e muda para cada ponto da ferramenta, a cada instante.

Este trabalho tem como objetivos a obtenção de valores reais (empíricos) do Coeficiente de Atrito para diferentes ferramentas de estampagem, e um estudo de desgaste de ferramentas, que será utilizado como referência para a simulação e a construção de novas ferramentas. Através dos resultados deste trabalho, acredita-se que será possível

“predizer” o desgaste nas ferramentas, portanto, na etapa de projeto das mesmas ter-se-á elementos para construir ferramentas mais duradouras, que necessitem de menos tempo de manutenção corretiva. Além disso, com novos parâmetros de entrada nas simulações (novos valores de Coeficiente de Atrito), serão obtidos resultados mais reais do que os que são obtidos atualmente.

2. Estudo do Mecanismo de Desgaste

Para se iniciar um estudo de desgaste, o primeiro passo é conhecer a superfície que será observada.

2.1. Estudo da Superfície

2.1.1. Textura Superficial

Uma superfície aparentemente lisa e polida apresenta-se constituída, na realidade, por uma infinidade de picos e vales minúsculos (rugosidade) estreitamente espaçados entre si, superpostos a um complexo de ondulações e comprimento de onda de extensa variação, e onde podem ser distinguidos erros de forma, arranhaduras, trincas, bolhas, incrustações e outros acidentes. Este conjunto de acidentes microtopográficos forma a textura superficial e cada elemento mencionado pode ser associado a uma determinada fase do processo de produção de que resultou a peça.

Cada processamento induz uma microtopografia característica, onde a singularidade presente pode ser analisada, identificada e, se necessário, atribuídos a uma certa fase da fabricação, o que facilita a manipulação, de acordo com os requerimentos e exigências apresentadas pelo usuário.

Toda superfície técnica, quando devidamente ampliada, vai apresentar uma configuração semelhante a de um terreno acidentado mostrado em topografia aérea. A predominância de conformações típicas, a orientação destes acidentes, tanto na estrutura quanto na microestrutura superficial, possibilitam o reconhecimento do tipo de processo de trabalho, conformação e usinagem.

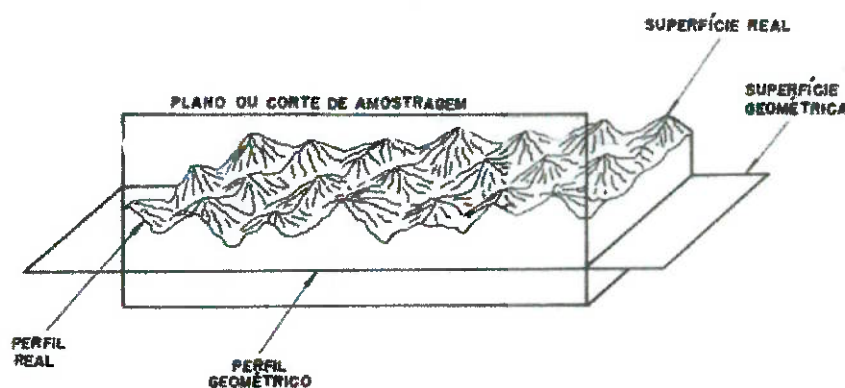


Figura 1 – Textura Superficial

2.1.2. Superfície Efetiva ou Medida

A superfície real medida através de instrumentos de medição ou outros meios é chamada superfície efetiva ou medida. Os elementos de representação, partindo da exploração da superfície real, deverão fornecer uma imagem com a maior aproximação possível daquela. Esta grande aproximação depende exclusivamente da precisão do equipamento de medição ou do meio empregado, das técnicas de medição aplicadas (maneira de exploração da superfície e critério do exame dos dados retirados através da exploração), bem como da própria natureza da Superfície Real.

O emprego de diversos tipos de instrumentos e/ou de diferentes técnicas de medição poderá resultar, a partir de uma mesma superfície, em diferentes medidas.

O procedimento ideal para uma avaliação mais completa da superfície seria através de uma análise de toda peça; porém, esta solução seria impraticável. A textura superficial normalmente é examinada através de Planos de Vista, com auxílio de microscópios ópticos e eletrônicos, ou através de planos de Corte inclinados ou oblíquos, com o auxílio dos métodos interferenciais, ou, mais correntemente, através de Cortes ou Planos de Amostragem com os instrumentos apalpadores.

2.1.3. Planos ou Cortes de Amostragem

Os diferentes planos ou cortes, em função de sua inclinação ou orientação em relação à superfície geométrica, correspondem aos planos de exploração denominados Planos de Amostragem, Planos de Medição, Planos de Medida ou Planos de Apalpagem.

As diversas posições de um Plano de Corte, ou simplesmente, Corte, em função de sua inclinação ou orientação em relação à Superfície Geométrica, determinam diferentes tipos de perfis, denominados Perfil de Superfície ou, simplesmente, Perfil.

Os perfis referentes às superfícies são definidos pela interseção destes planos ou cortes com a superfície da peça considerada.

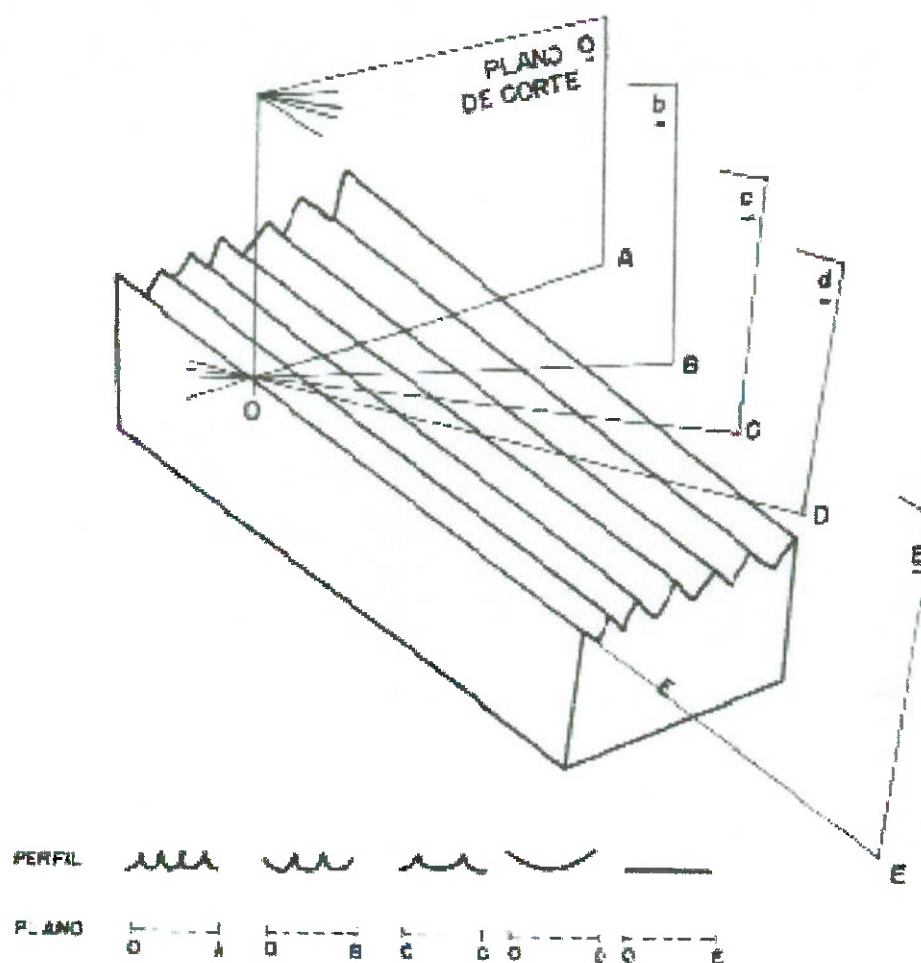


Figura 2 – Planos de Corte X Perfis

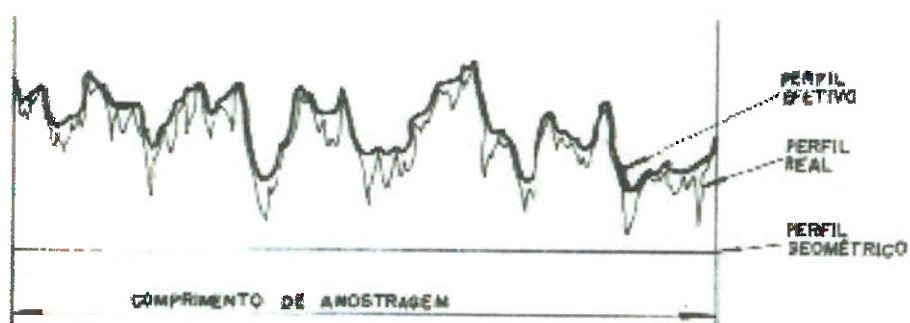


Figura 3 – Possíveis tipos de Perfis

2.2. Estudo de Desgaste

Como foi possível observar na literatura, existem diversas maneiras de se estudar o desgaste por deslizamento, que é o que ocorre nas ferramentas de estampagem. A figura 4 apresenta alguns dispositivos para ensaios de desgaste:

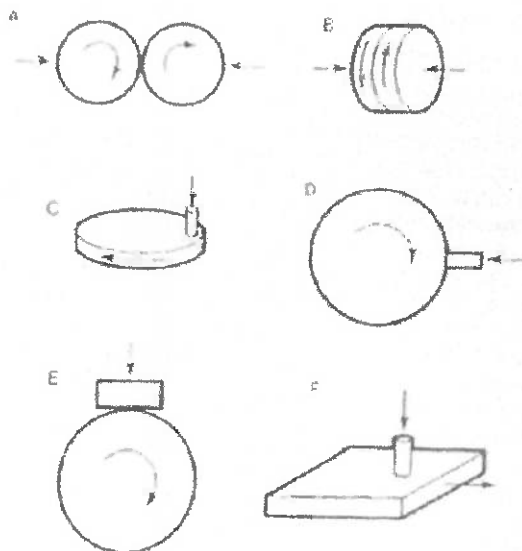


Figura 4 – Geometrias utilizadas em testes de desgaste por deslizamento – *Hutchings*

No caso de ferramentas de estampagem, o modelo que mais se aproxima da situação real é o da figura 4E, um bloco com carga aplicada contra uma superfície curva (no caso, uma esfera). A figura a seguir ilustra um detalhe do contato entre as duas superfícies do modelo.

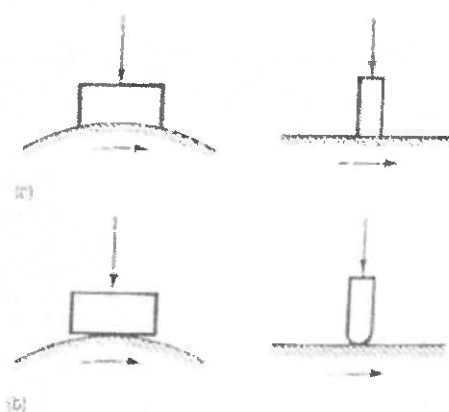


Figura 5 – Detalhes do modelo

Existem diversas maneiras de se avaliar o desgaste dos corpos de prova utilizados nos modelos citados. Um método bastante comum é a medição da massa do mesmo, a cada intervalo de tempo, ou ainda, da variação de suas dimensões, utilizando, para isso, um

transdutor. É de grande importância o conhecimento das condições de trabalho durante o teste. Velocidade de deslizamento, duração do teste, pressão de contato entre as espécies, temperatura (de extrema importância), além da composição atmosférica. Ambientes com grande quantidade de vapor d'água e oxigênio colaboram fortemente para o desgaste, em qualquer tipo de material.

Recomenda-se, durante um teste de desgaste, a medição da força de atrito envolvida no sistema. Isso permite a avaliação não somente do **Coefficiente de Atrito μ** , mas também a monitoração da mudança das condições de escorregamento entre os corpos.

Para o caso em estudo, ferramentas de estampagem, infelizmente, os tipos de ensaios mencionados não podem ser utilizados, devido às condições de trabalho das mesmas. Tratam-se de ferramentas em produção. Isso impede que as prensas sejam paradas e sejam colocados instrumentos de medição no local. Ao invés de tratar o problema como um modelo, está sendo utilizado outro método, chamado de Método das Réplicas. Este método consiste em se extrair réplicas da superfície em estudo, utilizando, para isso, um “kit”, cedido pela Pirelli, com um filme e um líquido solvente. Algumas gotas do solvente são pingadas sobre o filme, e este, depois de “derretido” é pressionado sobre a superfície da qual se deseja obter o “relevo”. O filme, derretido, penetra nas falhas da superfície. Depois de seco, pode-se observá-lo num microscópio e, utilizando-se *softwares* de manipulação de imagem, obter o que seria o “negativo” da imagem, ou seja, a própria superfície em estudo.

As figuras seguir mostram algumas imagens obtidas:

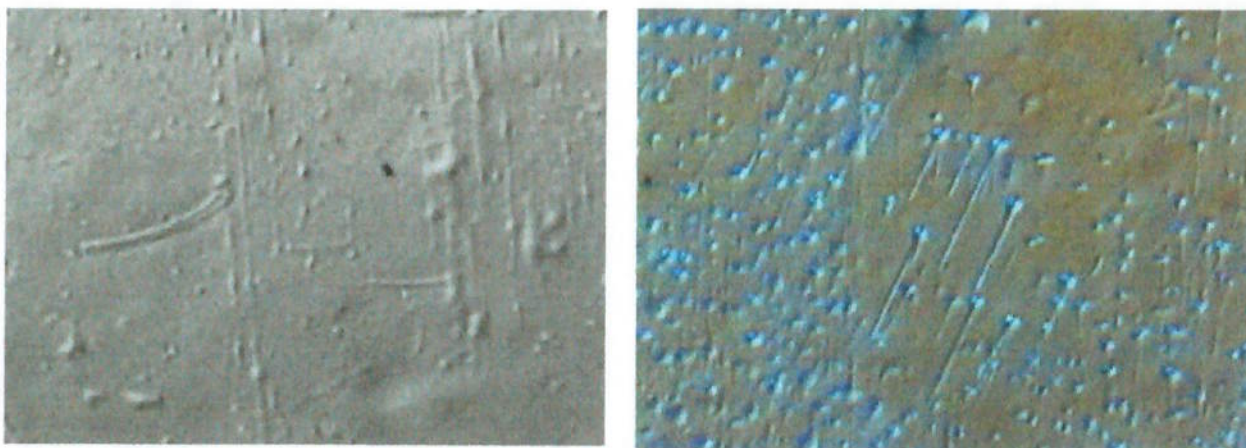


Figura 6 – Réplicas

Pode-se notar a direção das falhas sobre a superfície da ferramenta, devido ao deslizamento do *blank*.

Em conjunto com o Método das Réplicas, estão sendo tomadas medidas da Rugosidade Superficial das ferramentas.

2.2.1. Textura Superficial \leftrightarrow Estudo de Desgaste

A qualidade da textura superficial participa acentuadamente nos casos de peças que se ajustam ou se acoplam, desempenhando relevante papel no contexto das condições de atrito entre superfícies deslizantes ou com movimento relativo entre si, como em guias, prismas de máquinas, patins, rolamentos, mancais de escora, entre muitos, e no desgaste resultante deste atrito.

O atrito constitui um fenômeno natural que ocorre entre todos os corpos animados de movimento relativo entre si e que se tocam. Assim, podem ser distinguidos os seguintes tipos de atrito: sólido-sólido, sólido-líquido, sólido-gás, etc.

Para os corpos sólidos em contato entre si, por mais que se esmere no acabamento de suas superfícies de contato, estas apresentarão uma textura superficial cujas irregularidades tenderão a se entrosar, dificultando o movimento de uma em relação à outra.

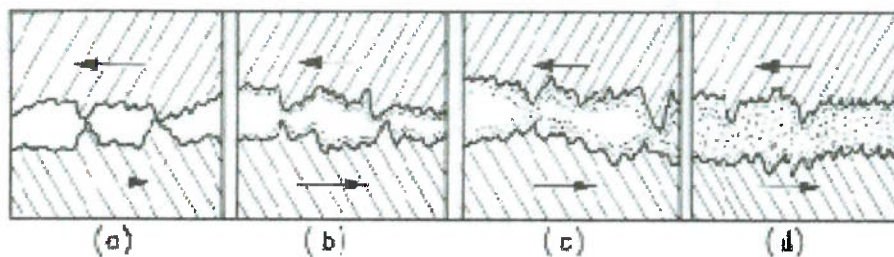


Figura 7 – Condição de movimento relativo entre duas superfícies

Para os casos mais frequentes de atrito entre corpos sólidos, vale lembrar os quatro tipos principais, analisando-os sob o ponto de vista da qualidade das superfícies técnicas envolvidas:

- a) *Atrito seco*: Ocorre entre duas superfícies idealmente limpas, sem a interposição nenhuma espécie de substância entre elas.

- b) *Atrito semi-seco*: Aparece entre duas superfícies limpas nas condições reais de trabalho e apresentam uma película finíssima de substâncias absorvidas do meio ambiente, constituída de poeira, óleo, gases diversos condensados, etc.
- c) *Atrito semi-fluido*: Ocorre quando se tem uma película de lubrificante com espessura de ordem de 1 a 5 microns, introduzida artificialmente entre as superfícies.
- d) *Atrito fluido*: Manifesta-se quando se aumenta a espessura da camada lubrificante entre as duas superfícies em movimento relativo, conduzindo a uma total separação das mesmas, resultando na ocorrência de um atrito que depende exclusivamente da viscosidade do lubrificante, não sendo afetado pela ação direta das texturas superficiais.

Ao crescer a pressão específica entre ambas as superfícies, alguns pontos altos da microtopografia poderão entrar em contato, expulsando o óleo que os separa conduzindo-os a um atrito semi-seco, ou até mesmo, induzindo a uma degenerescência acelerada das peças. Esta degenerescência das peças constitui o que conhecemos por *desgaste*, ou seja, a perda inevitável do material, a modificação da textura superficial original, a alteração das condições de dureza superficial, a transformação da composição química e de outras características iniciais da superfície.

O desgaste provocado pelo atrito entre peças deslizantes, com perda de material, numa fase inicial de funcionamento, pode inclusive melhorar as condições de trabalho através do “amaciamento”, quando são removidos os picos das irregularidades mais salientes.

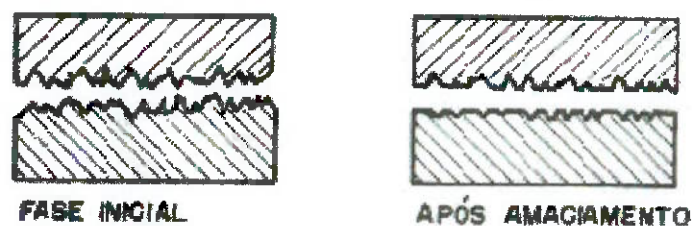


Figura 8 – Amaciamento das Superfícies de Contato

Ultrapassada a fase inicial de amaciamento, o desgaste continua ocorrendo com intensidade crescente, até uma fase final de desgaste acelerado que fatalmente conduz à avaria da peça.

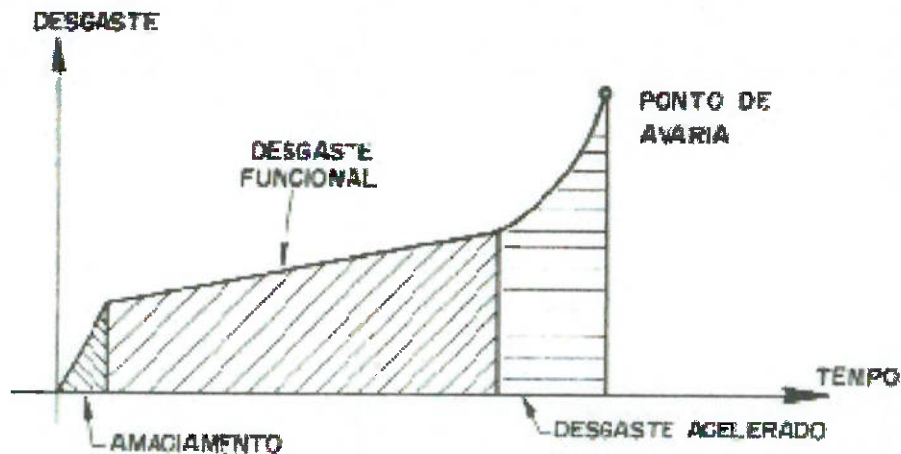


Figura 9 – Desenvolvimento do Desgaste

2.2.2. Avaliação e Medição da Textura Superficial

Nos instrumentos de medição comercialmente disponíveis, com o princípio de funcionamento baseado na integração elétrica, a Linha Média apresenta a forma de linha média das correntes alternadas que fluem através dos mesmos.

Assim, a linha de referência é criada automaticamente como uma função da transmissão elétrica do movimento do apalpador ao medidor.

Como conceito prático, a *Linha Média* fica definida como uma linha de referência retilínea, dentro do Comprimento de Amostragem, de tal maneira locada no perfil, que as somas das áreas em ambos os lados sejam iguais e de valor mínimo. Nesta conformação, recebe a denominação *Linha Central* e coincidirá com a *Linha Média* se o perfil apresentar características repetitivas e uniformes.

O grande problema reside nas dificuldades práticas de se obter uma posição e uma direção precisa desta linha de referência. Isto é feito através de aproximações.

Os instrumentos elétricos de apalpagem podem produzir uma ótima representação do perfil real quando este for medido a partir de um certo referencial real. Na prática, porém, o dado usado pelos instrumentos para referência é o perfil geométrico da superfície e, a partir dele, os sinais elétricos são filtrados para separação dos desvios de acordo com o comprimento de onda, operação que induz erros. Mas, conforme comprova a prática, a natureza destes erros torna-os desprezíveis.

Todos os valores ou parâmetros são estatísticos e não medem diretamente a textura superficial, mas simplesmente caracterizam-na.

2.2.3. Parâmetros ou Critérios Verticais do Sistema

1) Profundidade de Aplainamento (*Levelling Depth, Glättungstiefe, Aplanation*):

Conceituada como a distância entre o ponto mais alto das saliências e a Linha Média ou Central, dentro do comprimento de amostragem.

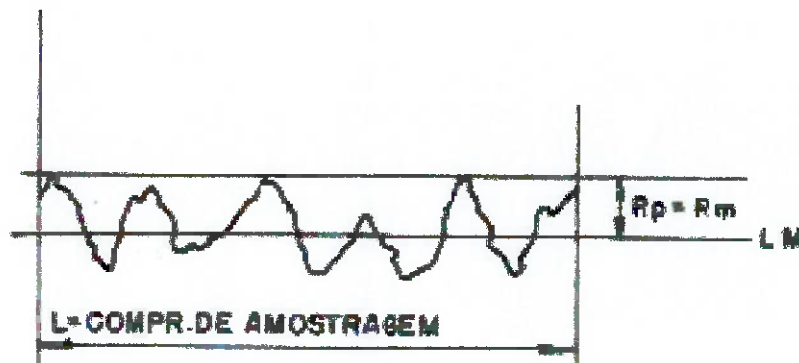


Figura 10 – Profundidade de Aplainamento

Pode ser obtida para os seguintes casos:

- *Perfil Total*: Os gráficos ou as medições são efetuados sem nenhuma filtragem, nem mecânica ou elétrica, resultando na medição global da textura superficial P_p ou P_u .
- *Ondulação*: A partir de um perfil resultante de medição com filtragem passa-baixa, elétrica e/ou mecânica, revela a profundidade de aplainamento que leva em consideração as ondulações da microtopografia fisicamente maiores, W_p ou W_u .
- *Rugosidade*: Partindo-se de um perfil resultante de medição com filtragem passa-alta, elétrica e/ou mecânica, representa R_p ou R_u .

Este parâmetro descreve de forma mais apropriada que qualquer outro a qualidade da superfície com relação a atrito e a fricção.

2) Profundidade Média (*Average Peak-to-Valley Depth, Mean Depth, Mittlere Rauhtiefe*)

Trata-se de parâmetro controvertido e que gera confusão à identificação, sendo definido como a distância entre a Linha Média ou Central e a Linha de Referência Inferior, no Comprimento de Amostragem.

$$R_m = R_t - R_u \quad (\text{Eq. 1})$$

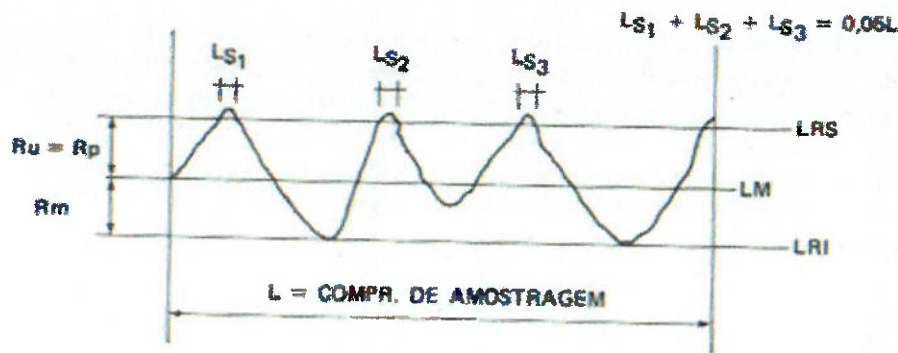


Figura 11 – Profundidade de Aplainamento

A profundidade média pode também ser definida como a diferença entre a média aritmética das ordenadas como origem na linha média e extremos nos picos das saliências, e as ordenadas com a mesma origem e os extremos nos fundos dos vales, dentro do Comprimento de Amostragem:

$$R_m = R_2 = \frac{\left(\sum_{i=1}^n Y_{pi} - \sum_{i=1}^n Y_{vi} \right)}{n} \quad (\text{Eq. 2})$$

Y_{pi} e Y_{vi} são os picos positivos e negativos, respectivamente, a partir da linha média.

3) Profundidade Total Média (*Profondeur Moyene*)

É a média aritmética das alturas pico-a-vale, dentro do Comprimento de Amostragem. Na sua determinação a partir de registros gráficos devem ser desconsiderados aqueles desvios anômalos, decorrentes de defeitos localizados e que não representarão o padrão determinante da textura superficial:

$$R = H = \frac{\sum_{i=1}^n Ri}{n} \quad (\text{Eq. 3})$$

4) Rugosidade Média (*Ten Point Height*)

É a diferença entre o valor médio das ordenadas dos cinco vales mais profundos medidas a partir de uma linha de referência paralela à Linha Média ou Central, sem cruzar o perfil:

$$R_z = \frac{(R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5) - (R_6 + R_7 + R_8 + R_9 + R_{10})}{5} \quad (\text{Eq. 4})$$

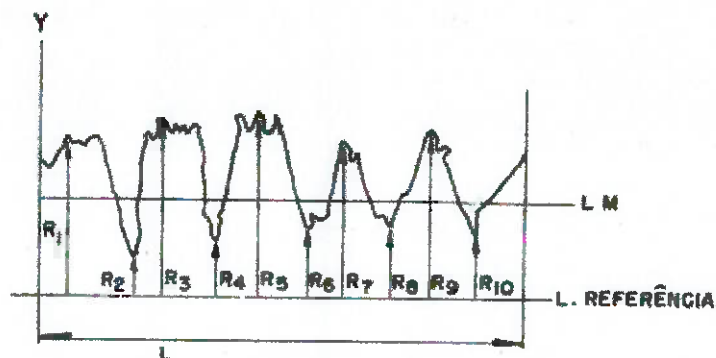


Figura 12 – Perfil e Ordenadas

$$R = \frac{(R_1 + R_3 + R_5 + R_7 + R_9) - (R_2 + R_4 + R_6 + R_8 + R_{10})}{5}$$

(Eq. 5 – Rugosidade Média)

5) Profundidade Máxima (*Maximum Height of Irregularities*)

É a máxima distância pico-a-vale. Da mesma forma que os outros parâmetros, o emprego de filtragem adequada conduz ao valor da Profundidade máxima para as Ondulações, ou a profundidade Máxima para a Rugosidade.

6) Profundidade Total (*Peak-to-Valley Depth, Rahtiefe, Profondeur Totale*)

Definida como sendo a distância entre o ponto mais alto do relevo e o ponto mais inferior do mesmo, dentro do Comprimento de Amostragem. Pode ser conceituado como a distância entre duas linhas de referência paralelas à Linha Média, tocando o perfil no mais alto ponto das saliências e no ponto mais baixo dos vales, dentro do Comprimento de Amostragem. É representado por R_t .

Nota-se facilmente que o valor de R_t é bastante influenciado por picos ou acidentes excepcionais, que podem “mascarar” o valor real da textura.

A Norma Sueca SMS671 apresenta um método para eliminar a possível influência de acidentes anormais no padrão determinante da textura, que constitui o parâmetro H_{SMS} , definido como a distância entre a Linha de Referência Superior e a Linha de Referência Inferior. A Linha de Referência Superior está locada no perfil, de maneira a cortá-lo em vários picos, dentro do Comprimento de Amostragem, de modo que a soma dos comprimentos de corte de pico seja igual a 0,05 do Comprimento de Amostragem. A Linha de Referência Inferior está locada no perfil de maneira que o corte, originando comprimento total de corte igual a 0,90 do Comprimento de Amostragem.

Podemos ter a Profundidade Total do Perfil P_t , se medirmos sem a interferência de filtros de qualquer espécie, ou a Profundidade Total da Ondulação W_t , se empregarmos

filtro passa-baixo, ou a Profundidade da Rugosidade R_t , se introduzirmos o filtro passa-alto.

7) Desvio Médio Aritmético (*Centreline Average, Centre Line Average, Arithmetical Average, Ecart Moyen Arithm*)

É o valor da média aritmética dos desvios do Perfil Efetivo, tanto para cima como para baixo de sua Linha Central, num plano de corte normal à Superfície Geométrica, dentro dos limites do Comprimento de Amostragem. Representado por R_a , AA ou CLA . Se aplicarmos filtro passa-alto, teremos o valor R_a correspondente a rugosidade. Matematicamente o Desvio Aritmético é definido como:

$$R_a = \frac{1}{L} \cdot \int_0^L |y| \cdot dx \quad (\text{Eq. 6})$$

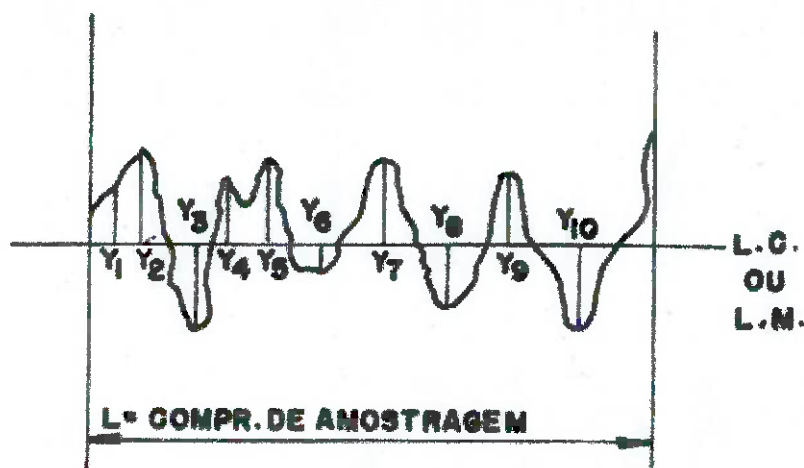


Figura 13 – Desvio Médio Aritmético

8) Desvio Médio Quadrado (*Root-Mean-Square Value*)

É o valor da média quadrática dos desvios do perfil, tanto para cima, como para baixo de sua Linha Central, em um plano perpendicular à Superfície Geométrica dentro do Comprimento de Amostragem.

Numericamente:

$$R_s = RMS = \left(\frac{1}{L} \cdot \int_0^L y^2 \cdot dx \right)^{1/2} \quad (\text{Eq. 7})$$

A correspondência aproximada entre os parâmetros R_a e R_s é a seguinte:

$$R_s \cong 1,11 \cdot R_a \quad (\text{Eq. 8})$$

2.2.4. Parâmetros ou Critérios Horizontais do Sistema

1) Passo Médio (*Wave Distance, Undulations Distance, Pas Moyen*)

É a medida das distância saliência-a-saliência, segundo uma linha paralela à Linha Média ou Central, Dentro do Comprimento de Amostragem.

Pode assumir o valor AW (Wavelength), isto é, Passo Médio das ondulações, quando efetua-se a medida com o emprego de filtro passa-baixo. Caso se empregue o filtro passa-alto, obtém-se o valor A_r (Spacing), isto é, Passo Médio da Rugosidade.

2) Densidade de Picos

Para evitar o tempo adicional de se tirar gráficos, levá-los ao escritório e compará-los com outros, obtidos a partir de padrões, a indústria automobilística norte-americana passou a empregar, em conjunto, a técnica de contagem de picos. Nota-se que as peças diferentes em termos de textura, mas que apresentam o mesmo valor de R_a (Desvio Médio Aritmético), são distinguidas em suas funções caracterizadas através do conhecimento da Densidade de Picos.

Desta forma, a produção de peças pode trabalhar mais rapidamente, e o controle de qualidade obtém um conceito mais completo das características funcionais da superfície.

O sistema de contagem de picos baseia-se em aparelhos acopláveis em normais de acoplagem, ou simplesmente um único instrumento pode medir vários parâmetros, entre eles, a Densidade de Picos.

Existem dois tipos de contagem de picos: *Peak Counting* e *High Spot Counting*.

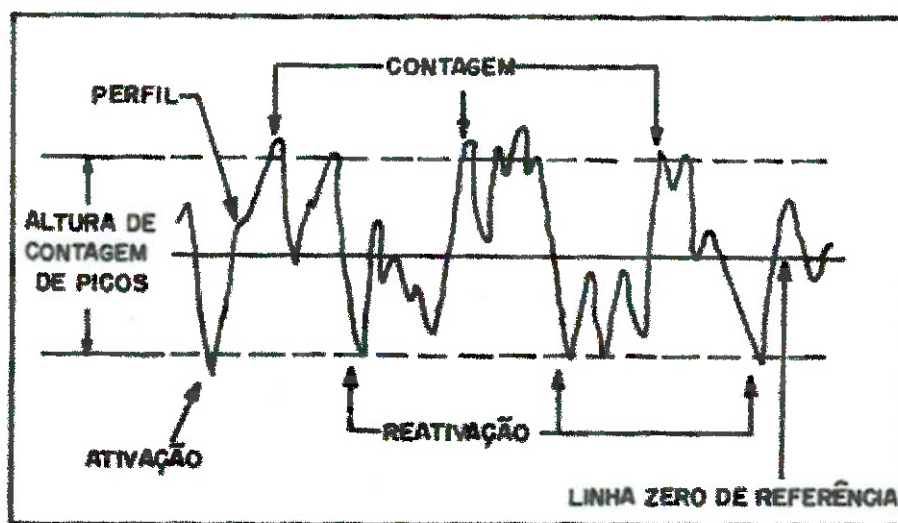


Figura 14 – Contagem da Densidade de Picos

O *Peak Counting* funciona com um apalpador percorrendo a superfície e enviando sinais, produzidos pela agulha, enquanto caminha do fundo para o alto do pico adjacente. Estes sinais são processados por um amplificador, que recebe as mudanças de frequências produzidas pela forma do perfil, de negativa para positiva, sendo contado como pico a irregularidade que produzir um valor igual ou superior a uma determinada e regulada *Altura de Contagem de Picos*.

O instrumento funciona da seguinte forma: uma “linha zero” ou de referência é estabelecida em relação ao traçado da agulha ao longo do perfil. Acima e abaixo da linha zero aparecerão linhas limites, superior e inferior, da *Altura de Contagem* pré-selecionada. O instrumento conta o número de sequência vale-pico por unidade de comprimento de apalpagem.

O emprego da Densidade de Picos vem encontrando grande aceitação nos meios industriais, onde a diferenciação de padrões superficiais torna-se, muitas vezes, fator determinante nas discussões entre fornecedor e cliente.

O outro sistema, chamado de *High Spot Counting*, baseia-se na contagem das interseções do perfil por uma linha de corte com nível preestabelecido e regulado no instrumento.

Os pontos altos são definidos como picos que excedem um nível de corte horizontal selecionado, ajustável acima e abaixo da Linha Média.

O número de picos por unidade de comprimento pode ser plotado em um gráfico no qual fica representada a distribuição da Densidade de Picos, de acordo com o nível adotado, em unidade R_a .

De maneira geral, a Densidade de Picos traduz a característica da textura de uma superfície: alta densidade, textura fechada; baixa densidade, textura aberta.

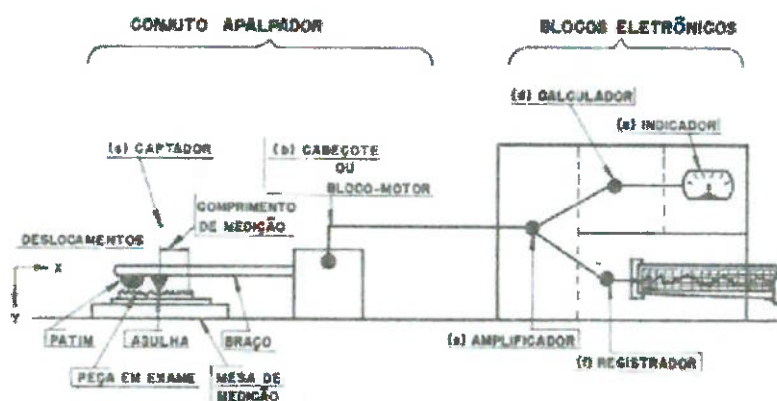


Figura 15 – Esquema de Instrumento de Apalpagem

3. Metodologia

Para o desenvolvimento deste trabalho, a metodologia adotada foi, primeiramente, a obtenção dos valores R_a , R_t e R_p da Rugosidade Superficial de diferentes ferramentas de estampagem, juntamente com o Método das Réplicas, conforme já foi explanado. Estão sendo tomadas medidas de ferramentas de estampo profundo, nas regiões de contato mais intenso.

A fábrica onde se encontram as ferramentas em estudo, como qualquer outro lugar similar, é um ambiente bastante “sujo”, considerando-se os parâmetros a serem medidos. A quantidade de pó (oriundo das “turbinas”, instrumento de trabalho utilizado no acabamento superficial das ferramentas de estampagem) existente no local é grande. Este fator atrapalha muito, tanto na tomada dos valores de rugosidade quanto na tomada das réplicas. A solução encontrada para este problema foi a prévia limpeza da área a ser estudada, utilizando-se álcool.

Para a tomada de dados, foi utilizado um rugosímetro, cedido pela **General Motors do Brasil**, e o “Kit de Réplicas Metalográficas” da Pirelli.

As primeiras ferramentas a serem verificadas são “caixas de roda reserva”. Por se tratarem de ferramentas simétricas, foram tomadas medidas em diversos pontos, mas réplicas somente em uma região para cada medição.

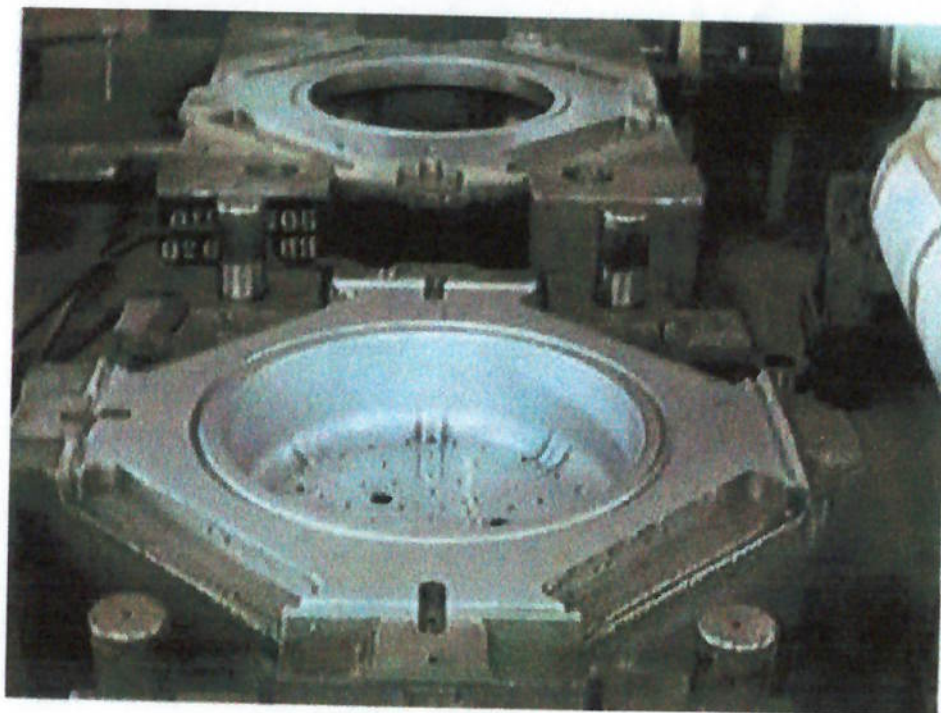


Figura 16 – Ferramenta de Estampagem – Matriz e Anel

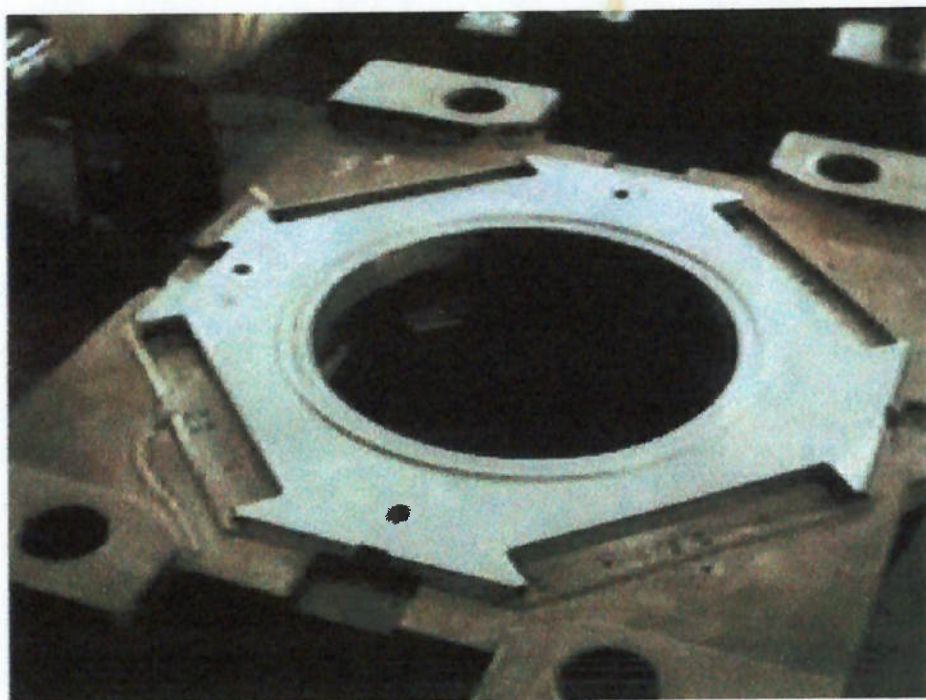


Figura 17 – Anel

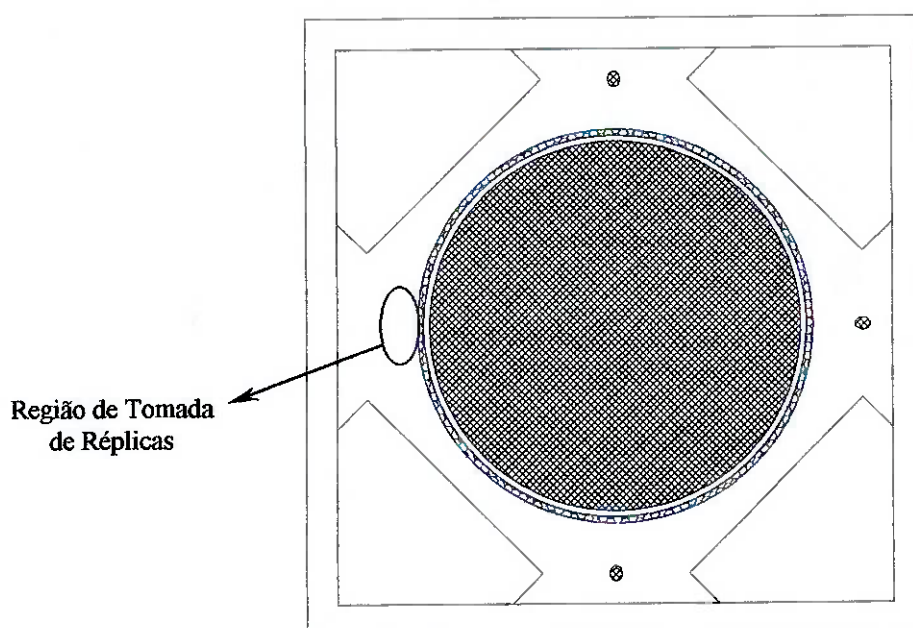


Figura 18 – Croqui do Anel – Localização da Réplica

Conforme esperado, foi possível observar nas réplicas sinais de desgaste na direção radial da ferramenta, que é a mesma de escorregamento do *blank*.

Através de réplicas como estas tomadas, serão feitas verificações em outras ferramentas de repuxo, em diversos momentos, sendo anotados: o número de peças estampadas, parâmetros de trabalho da prensa, material do *blank* utilizado.

Ao final das verificações, será construído um “Atlas”, mostrando a superfície de ferramentas em diversas etapas. Para o estudo de atrito, previa-se a construção de um dispositivo que simulasse os parâmetros de estampagem. Infelizmente, isso não será viável. Os equipamentos para a construção do dispositivo, assim como os técnicos responsáveis pelos mesmos, encontram-se no Campo de Provas de Cruz Alta (CPCA), da **General Motors do Brasil**. O acesso a este local é restrito, além de se considerar a distância até o mesmo. Além destes fatores, concluiu-se que o dispositivo dificilmente iria reproduzir as mesmas condições de trabalho das ferramentas, em termos de comportamento entre *blank* e ferramenta. Mesmo que fossem reproduzidas forças / cargas, condições de lubrificação, para cada ferramenta existe uma forma distinta, o que dá diferentes condições de escorregamento do *blank* sobre a superfície.

Desta forma, será utilizado outro método, empírico, para a obtenção do valor do Coeficiente de Atrito (μ), utilizado nas simulações de estampagem. Atualmente, utiliza-se um valor padrão para μ , que é 0,12. A idéia é tomar ferramentas já construídas, conhecido o número de peças produzidas por elas, e simular a estampagem com outros valores de μ . Observando os resultados, será possível estabelecer uma correlação entre simulação e estampagem.

Teremos, então, para um dado tipo de ferramenta, por exemplo, um “painel interno da porta dianteira” o seguinte gráfico:

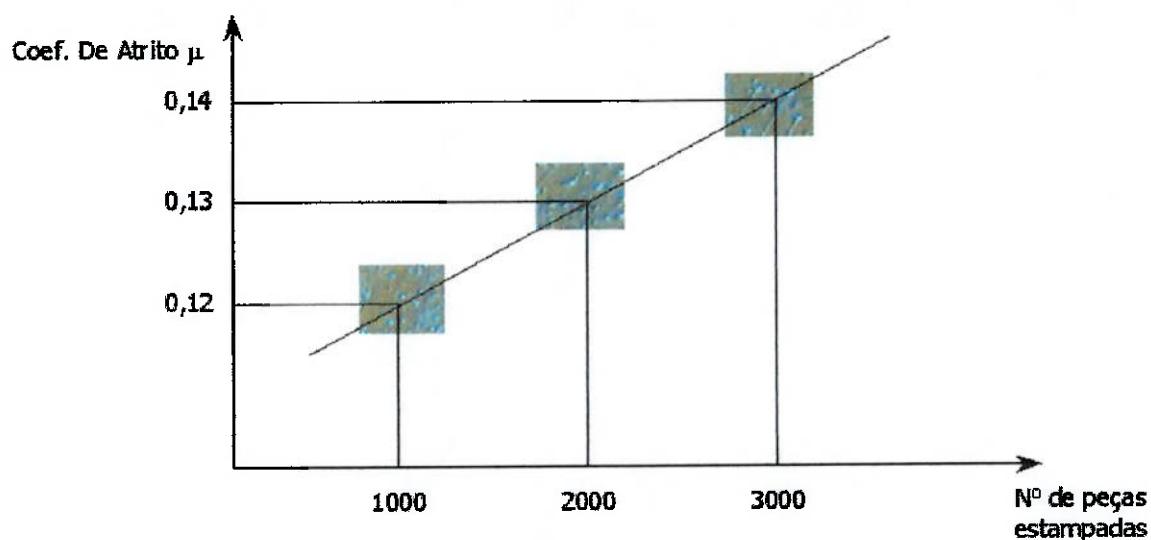


Figura 19 – Diagrama Peças Estampadas x Coeficiente de Atrito

Conhecidos os valores do Coeficiente de Atrito para a dada ferramenta, num “instante” conhecido (número de peças), poderão ser realizadas variações nos parâmetros

de entrada das simulações, até que se atinja condições de estampagem semelhantes à real. Com estes dados, será possível “prever”, para ferramentas semelhantes, as condições necessárias para que se possa estampar um maior número de peças, sem a necessidade de enviar a ferramenta para manutenção corretiva.

4. Procedimentos para a Construção do Atlas

Ao longo do segundo semestre, foi realizada a última etapa do trabalho para a construção do Atlas. Para a coleta de dados, foi feito um planejamento de visitas à ferramentaria da General Motors, que, infelizmente, não foi seguido à risca por inúmeros fatores, relacionados ao cotidiano da fábrica. Por se tratar de uma ferramenta em produção, toda parada é planejada. Aproveitando destes momentos de parada, as tomadas de réplicas e rugosidades eram feitas. Nem sempre, no entanto, a parada da ferramenta implicava na possibilidade de observação da mesma, uma vez que, para isso, era necessária disponibilização de espaço na área de manutenção de ferramentas.

Foi realizado, então o maior número de visitas possível à ferramentaria, o que resultou nas imagens e dados contidos no próprio Atlas.

Devido ao inesperado anúncio de final antecipado do estágio na GM, outras prioridades do departamento foram tomadas, o que impossibilitou a realização das simulações para a obtenção dos valores de Coeficiente de Atrito, conforme estava planejado para o final deste trabalho.

Desta forma, constam no Atlas informações sobre as características da rugosidade da superfície da ferramenta em instantes diferentes, associadas às imagens das réplicas.

As réplicas foram extraídas de duas ferramentas semelhantes, operando nas mesmas condições em todos os instantes como se pode observar nas informações a seguir:

- **Prensa:** *Schuler*
- **Força Total de Prensagem:** *10.000 kN*
- **Força Total de Prensagem do Martelo, 25mm antes do ponto morto inferior:**
6.000kN
- **Força Total de Prensagem do Martelo, 6mm antes do ponto morto inferior:**
4.000kN
- **Curso do Martelo:** *775mm*
- **Curso do Prensa-Chapa:** *595mm*
- **Número de Golpes por minuto:** *14*
- **Dimensões do Martelo:** *2.500mm x 1.600mm*
- **Dimensões do Prensa-Chapa:** *3.100mm x 2.200mm*
- **Dimensões da Mesa:** *3.100mm x 2.200mm*

5. Atlas

Ver Anexo A.

6. Conclusões

Como foi possível observar no Atlas e no gráfico “Número de peças estampadas x Rugosidade” (Anexo B), houve uma variação nos parâmetros de rugosidade, conforme o aumento do número de peças estampadas. Não foi estabelecida, porém, nenhuma correlação matemática entre os dois eventos. Para tal, seria necessário uma maior amostragem, a fim de que os pontos obtidos fossem mais confiáveis.

Mesmo com a pequena amostragem, a curva obtida pode ser considerada coerente com o resultado esperado, ou seja, o aumento da rugosidade, relacionado com o número de peças estampadas pela ferramenta. No entanto, como foi visto no item 2.2.1., esse tipo de curva deve tender à redução da variação, à medida que o número de peças estampadas aumenta acima de um certo valor, caracterizando o “Desgaste Funcional” (Fig. 9).

Apesar de se ter planejado um maior número de amostras para o estudo em questão, o trabalho foi prejudicado por alguns fatores que já foram descritos na primeira parte do trabalho, que persistiram até o final do mesmo.

Outros fatores também prejudicaram o andamento do trabalho, como a greve dos metalúrgicos, e a antecipação do final do estágio na General Motors do Brasil. Este último fato impossibilitou a realização das simulações de estampagem, para posterior comparação com peças reais estampadas, conforme planejado no início da segunda parte do trabalho.

O que foi possível observar durante o desenvolvimento do projeto, ao longo do ano, é que a General Motors do Brasil, como uma das maiores empresas automobilísticas do mundo, tem uma série de restrições, a respeito de segredos industriais. Este fato impossibilitou a presença de um dos estudantes ao local de estudo da ferramenta. Além disso, por se tratar de um estagiário, o trabalho desenvolvido não recebeu o devido valor, pela empresa. Portanto, um trabalho que poderia ser de grande valor, que implicaria em diminuição de gastos (manutenção, tempo improdutivo), foi considerado apenas como “mais uma atividade de estagiário”.

Este trabalho, apesar de tudo, teve um “saldo positivo”. Através dele, foi possível colocar em prática habilidades adquiridas durante o curso, como a capacidade de analisar dados, conhecimentos sobre materiais e ferramentas de estampagem. Também foi possível

adquirir novos conhecimentos, como a utilização do Método das Réplicas para o estudo de superfícies e o manuseio do microscópio óptico, do Laboratório de Fenômenos de Superfície (LFS).

5. Bibliografia

- HUTCHINGS, IAN M. **Tribology – Friction and Wear of Engineering Materials**, United Kingdom, St. Edmundsbury Press Ltd, Bury St. Edmunds, Suffolk and Hartnolls Ltd., Bodmin, Cornwall, 1992.
- SOUZA, SÉRGIO DIAS INGLEZ DE. **Estudo das Superfícies Técnicas**. São Paulo, Nobel, 1980.
- KUAE, LAURA K. N.; BONESIO, MARIA CRISTINA M.; VILLELA, MARIA CRISTINA O. **Diretrizes para Apresentação de Dissertações e Teses**, Editoração de Manuela Gea Cabrea Reis. São Paulo, 1991.
- YAMAGUTI, YUKISABURO. **Tribology of Plastic Materials**, Elsevier. Amsterdam – Oxford – New York – Tokyo, 1990.
- HALLING, J. **Principles of Tribology**, The Macmillan Press Ltd., 1983.
- ALVES, MARCELO A. L.; MASSARANI, MARCELO; KAMINSKI, PAULO CARLOS; RAMOS JR., ROBERTO; SALVAGNI, RONALDO DE BREYNE. **PMC-475 – Metodologia de Projeto**, São Paulo, 1999.
- **Metals Handbook, 8th Edition, Vol. 7 – Atlas of Microstructures of Industrial Alloys**, United States of America, 1972.
- **ASM Handbook, 18th Edition, Vol. 18 – Friction, Lubrication, and Wear Technology**, United States of America, 1992.

Anexo A – Atlas

Atlas de Réplicas Metalográficas

Características da Réplica:

Data:

06.07.2000

Número de Peças Batidas:

2.710

Características da Superfície:

$R_a = 0,38$

$R_q = 9,17$

Aumento:

100 x

Observações:

Nesta imagem é possível notar marcas na direção vertical, indicando aumento do desgaste.

1



Características da Réplica:

Data:

25.07.2000

Número de Peças Batidas:

4.370

Características da Superfície:

$R_a = 0,44$

$R_q = 10,72$

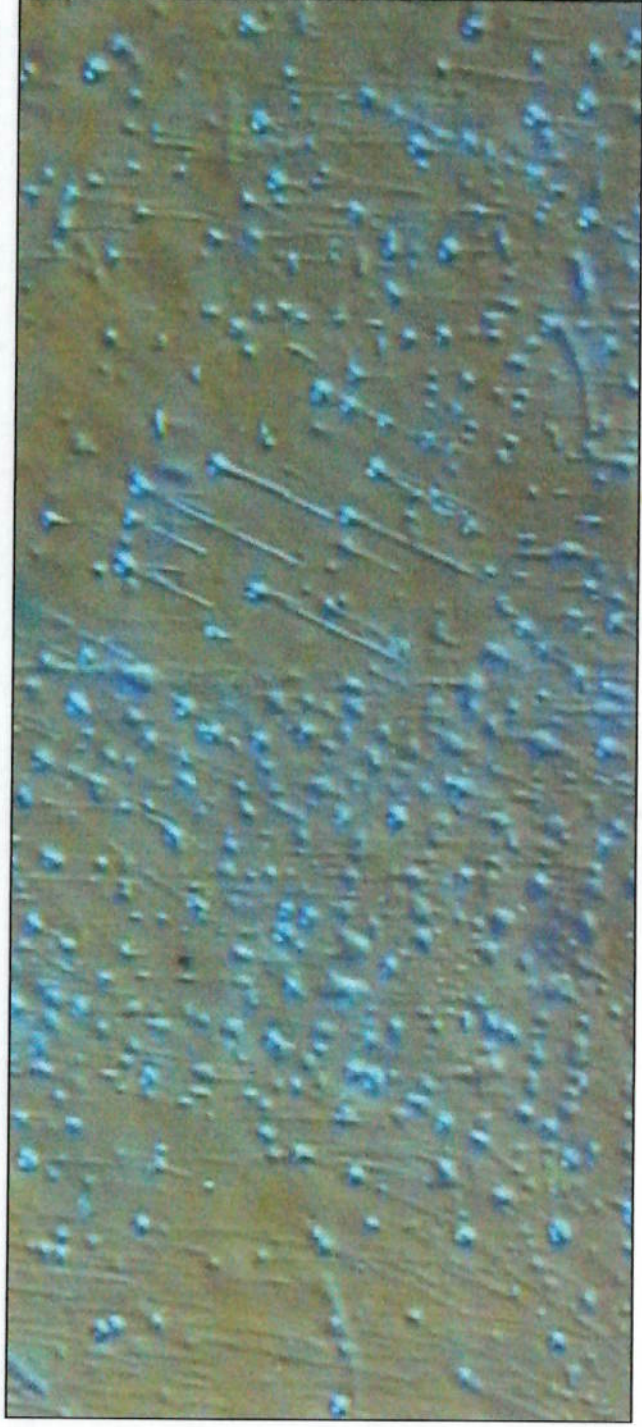
Aumento:

100 x

Observações:

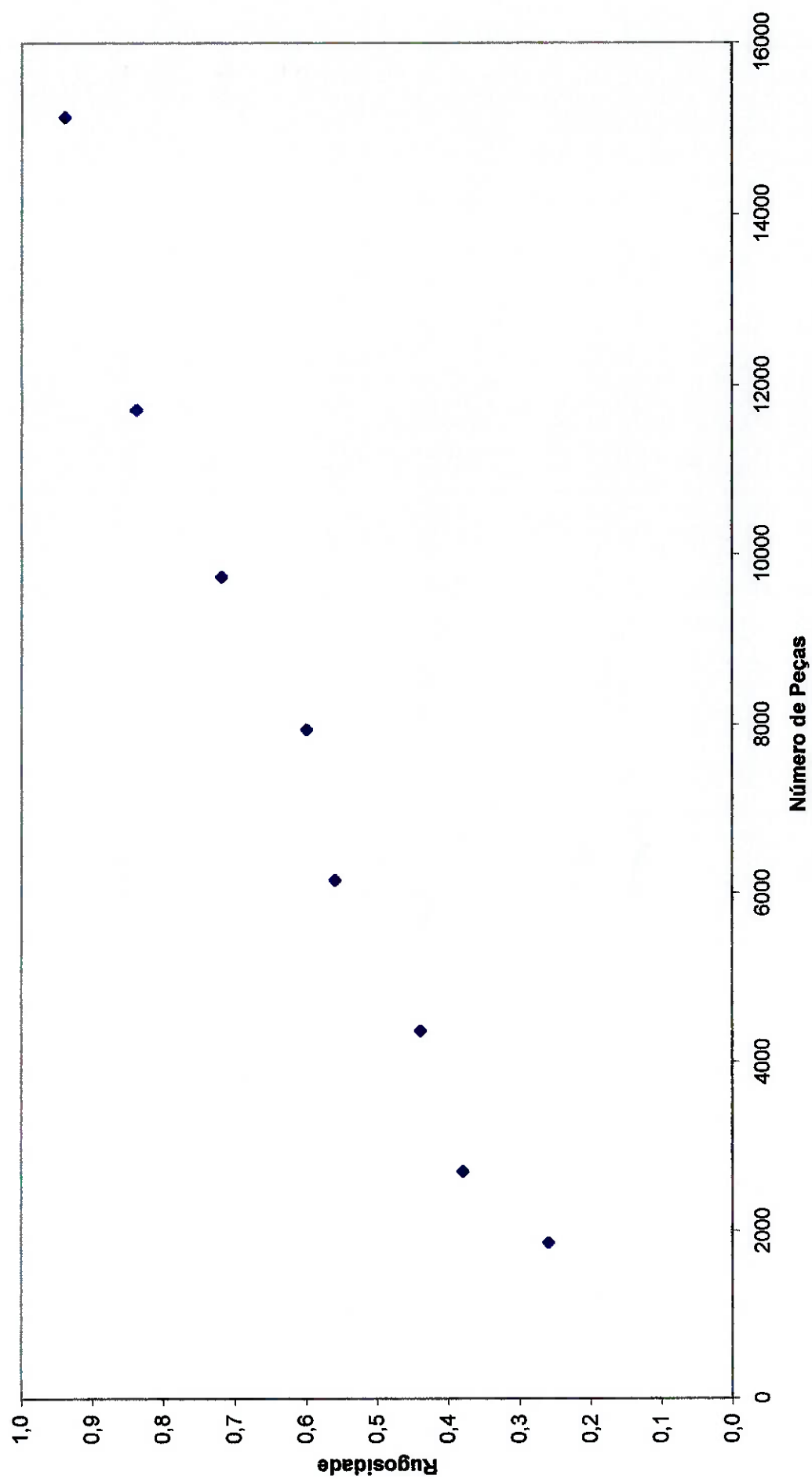
Nesta imagem pode-se observar que marcas circulares contribuem para o desgaste, possivelmente devido ao acúmulo de material abrasivo no interior dos "poros" que dão origem às mesmas.

2



Anexo B – Gráfico

Número de Peças x Rugosidade



Anexo C – Tabela de Rugosidades

Anel				Matriz			
A (Região "Externa")				B (Região "Interna")			
Ra (μm)	Rt (μm)	Rp (μm)	Pc (/cm)	Ra (μm)	Rt (μm)	Rp (μm)	Pc (/cm)
0,62	5,19	1,66	114	0,45	5,77	2,52	46
0,84	12,97	4,30	30	0,52	7,74	2,75	53
0,82	12,90	4,18	53	0,77	12,20	2,89	61
0,77	13,68	3,79	84	0,97	17,03	5,53	30
0,97	18,72	4,79	38	0,21	2,10	0,54	0
0,89	15,40	4,14	61	0,90	14,00	6,60	52
0,82	8,70	3,02	121	0,76	13,58	2,97	67
1,04	17,02	4,67	53	0,68	11,84	2,72	45

Anel				Matriz			
A (Região "Externa")				B (Região "Interna")			
Ra (μm)	Rt (μm)	Rp (μm)	Pc (/cm)	Ra (μm)	Rt (μm)	Rp (μm)	Pc (/cm)
0,43	4,58	1,21	76	0,77	11,27	3,36	38
1,82	3,97	8,37	53	0,96	13,84	5,77	53
0,89	7,80	2,40	144	0,50	9,09	2,69	30
0,76	6,98	1,87	167	0,75	15,73	4,46	61
1,53	19,10	7,09	99	1,26	17,22	5,36	68
0,61	6,88	2,41	91	0,47	8,32	1,99	52
0,97	10,29	3,61	182	0,77	14,93	1,72	37
0,76	15,07	3,70	61	0,79	16,34	3,97	76

Anel				Matriz			
A (Região "Externa")				B (Região "Interna")			
Ra (μm)	Rt (μm)	Rp (μm)	Pc (/cm)	Ra (μm)	Rt (μm)	Rp (μm)	Pc (/cm)
0,36	4,11	0,97	38	1,10	16,80	6,37	45
0,97	11,87	3,88	99	0,62	6,28	1,46	53
1,05	18,30	5,23	46	0,80	17,63	5,05	38
0,99	16,39	3,65	114	0,55	10,32	2,22	53
0,70	8,29	2,06	76	0,71	12,91	4,71	60
0,77	18,46	5,38	45	1,14	13,39	5,54	59
0,97	12,90	2,74	137	0,47	11,27	2,56	30
1,09	17,97	5,09	61	0,40	10,00	2,27	30

Anel				Matriz			
A (Região "Externa")				B (Região "Interna")			
Ra (μm)	Rt (μm)	Rp (μm)	Pc (/cm)	Ra (μm)	Rt (μm)	Rp (μm)	Pc (/cm)
0,53	7,41	1,47	76	1,35	14,34	5,56	68
0,70	10,98	2,37	122	1,08	17,06	4,74	76
0,83	7,82	2,59	144	0,59	8,69	2,39	30
0,91	13,75	6,22	91	0,82	11,91	4,26	61
1,00	18,80	6,26	61	1,13	16,09	5,47	37
0,96	12,93	3,72	46	0,76	12,55	3,01	81
0,62	8,59	2,05	144	0,68	13,42	3,18	76
1,01	15,57	4,55	68	0,41	6,10	1,97	23

Anel				Matriz			
A (Região "Externa")				B (Região "Interna")			
Ra (μm)	Rt (μm)	Rp (μm)	Pc (/cm)	Ra (μm)	Rt (μm)	Rp (μm)	Pc (/cm)
0,39	4,62	1,68	45	0,44	7,41	2,46	8
0,76	17,50	5,94	15	0,45	13,79	1,92	53
0,93	8,63	2,25	167	1,09	17,56	4,36	60
0,78	9,33	2,45	61	0,39	4,99	0,96	30
1,01	13,57	5,00	84	0,78	17,33	5,84	37
0,82	19,25	6,15	76	0,22	2,66	0,84	8
0,52	6,00	2,04	83	0,96	16,00	4,61	53
0,87	13,75	3,88	61	0,35	3,88	1,35	15