

# DESGASTE E CONTAMINAÇÃO NUM CONTACTO EHD LUBRIFICADO COM MASSA

Neves R.<sup>(1)</sup>, Graça B.<sup>(2)</sup>, Seabra J.<sup>(3)</sup>

<sup>(1)</sup> DEM/ISEP, Instituto Superior de Engenharia do Porto

<sup>(2)</sup> INEGI, CETRIB, Leça do Balio, Portugal

<sup>(3)</sup> DEMEGI/FEUP, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto



## RESUMO:

Neste trabalho descrevem-se os resultados de ensaios realizados numa máquina de 4 esferas utilizando como lubrificantes óleo e massa contaminados com pó de ferro e carboneto de silício, em diferentes percentagens de contaminação. São comparados os resultados da análise dos lubrificantes por ferrografia com os diâmetros das crateras de desgaste das esferas.

## 1. INTRODUÇÃO

As técnicas de controlo da condição são cada vez mais utilizadas por forma a conseguir aumentar o tempo de funcionamento dos equipamentos. A análise do lubrificante é, cada vez mais adoptada, por ser reconhecida como uma das técnicas mais eficientes na detecção do início de avarias e no controlo da progressão das mesmas [1, 2, 3].

O estudo do comportamento, em termos de desgaste, de um órgão mecânico lubrificado, quando o lubrificante contém contaminantes, permite prever o efeito da presença desses contaminantes, [4, 5]. A realização de ensaios em condições controladas é uma das formas de avaliar os efeitos da contaminação no lubrificante.

## 2. LUBRIFICANTES

Como lubrificantes foram utilizados uma massa lubrificante com aditivos extrema pressão (EP) e um óleo de

viscosidade semelhante à do óleo base da massa, contaminados ou não.

Os ensaios realizados com lubrificantes não contaminados foram tomados como uma referência de controlo dos ensaios realizados com lubrificantes contaminados. As características dos lubrificantes utilizados estão resumidas na tabela 1.

Tabela 1 – Características dos lubrificantes

Característica	Massa EP	Óleo
Graduação NLGI	2	-
Tipo de sabão	Lítio	-
Ponto de gota (°C)	177	-
Viscosidade Cin. Óleo base (Cst a 40°C)	230	-
Percentagem sabão	10 %	-
Graduação ISO VG	-	220
Viscosidade Cin. (Cst a 40°C)	-	220
Viscosidade Cin. (Cst a 100°C)	-	18.5
Massa específica a 15°C (Kg/m <sup>3</sup> )	-	910
aditivos	EP	-

### 3. CONTAMINAÇÃO DOS LUBRIFICANTES

Como contaminantes foram usadas partículas de pó de ferro (Fe) e de carboneto de Silício (SiC).

Algumas propriedades dos contaminantes utilizados são apresentadas na tabela 2.

Tabela 2 – Características dos contaminantes

Característica	Contaminante	
	Fe	SiC
Densidade mássica (Kg.m <sup>-3</sup> )	7 800	2 900
Granulometria (µm)	5 - 90	2 - 40

Para preparar as misturas de lubrificante e contaminante utilizados nos ensaios foram seguidos os procedimentos indicados na tabela 3 [6].

Tabela 3 – Procedimentos de mistura de lubrificantes com contaminantes.

Tipo de lubrificante	Processo de mistura
Óleo + contaminante	Aquecimento em estufa a 50 °C, durante 30 minutos, seguido de agitação manual.
Massa + contaminante	Circulação entre duas seringas à temperatura ambiente.

### 4. ENSAIOS NA MÁQUINA DE 4 ESFERAS.

Os ensaios foram realizados numa máquina de 4 esferas, em escorregamento puro.

A máquina de 4 esferas utilizada para realização destes ensaios é da marca Plint & Cameron.

Fundamentalmente, uma máquina deste tipo é constituída por uma estrutura de suporte, um elemento motor, uma unidade de suporte e fixação das esferas, um

sistema de aplicação de carga e pela unidade de controlo, como se mostra na figura 1.

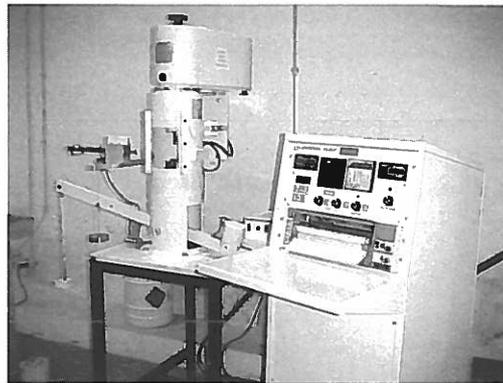


Fig 1 – Fotografia da máquina de 4 esferas e unidade de comando.

Todos os ensaios foram realizados nas mesmas condições:

- carga aplicada 20 Kgf
- velocidade 1500 rpm
- pressão média 1.82 Gpa
- pressão máxima Hertz 2.73 Gpa
- temperatura livre

As contaminações foram estabelecidas em percentagem ponderal.

Para cada nível de contaminação e lubrificante foram realizados ensaios com diferentes número de ciclos.

As tabelas 4 e 5 resumem os níveis de contaminação e a duração dos ensaios realizados com óleo e com massa, respectivamente.

Tabela 4 – Ensaios realizados com óleo

Contaminante	Duração (minutos)				
	1	2	5	10	20
-	1	2	5	10	20
2 % Fe	1	2	5	10	20
2 % SiC	1	2	5	10	20

Tabela 5 – Ensaios realizados com massa

Contaminante	Duração (minutos)				
	1	2	5	10	20
-	1	2	5	10	20
2 % Fe	1	2	5	10	20
5 % Fe	1	2	5	10	20
2 % SiC	1	2	5	10	20
5 % SiC	1	2	5	10	20

Em todos os ensaios foram medidas as crateras de desgaste nas três esferas estacionárias, sendo o resultado apresentado a média dessas medições.

Nos ensaios de maior duração os lubrificantes foram analisados por ferrografia de leitura directa (ferrometria) e ferrografia analítica (ferrogramas).

### 5. RESULTADOS DOS ENSAIOS COM LUBRIFICANTES NÃO CONTAMINADOS.

Na figura 2 podem observar-se os resultados, expressos em termos de diâmetro das crateras de desgaste, dos ensaios realizados com lubrificantes não contaminados.

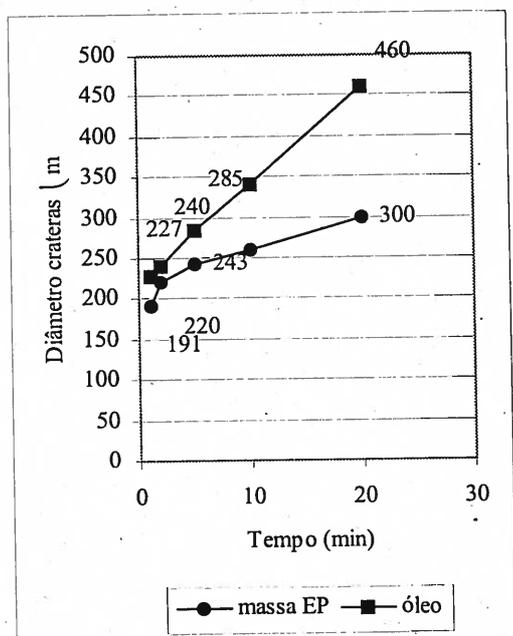


Fig 2 – Diâmetro das crateras ensaios com lubrificantes não contaminados.

A análise da figura 2 mostra que o diâmetro da cratera (e o correspondente volume de desgaste) é menor quando o lubrificante utilizado é a massa, o que traduz o efeito de protecção dos aditivos EP da mesma. A figura mostra ainda que o diâmetro das crateras quando o tempo de ensaio também aumenta, como seria expectável.

Na figura 3 podem observar-se, as superfícies das crateras de desgaste, correspondentes aos ensaios de duração 20 minutos. A imagem da esquerda refere-se

ao ensaio com óleo base e a da direita ao ensaio massa EP.

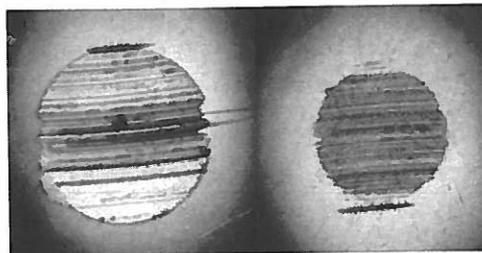


Fig 3 – Aspecto das crateras de desgaste ensaios duração 20 minutos lubrificantes não contaminados.

A análise das superfícies de desgaste mostra que o desgaste ocorrido com o lubrificante óleo origina uma superfície de maior rugosidade do que no caso da massa.

### 6. RESULTADOS DOS ENSAIOS COM LUBRIFICANTES CONTAMINADOS

Na figura 4 estão representados os resultados, expressos em termos de diâmetro das crateras de desgaste, dos ensaios realizados com o contaminante ferro (Fe).

É evidente o efeito da adição do contaminante, o que se traduz no aumento das crateras de desgaste, qualquer que seja o lubrificante, ocorrendo um maior desgaste quando o lubrificante utilizado é o óleo.

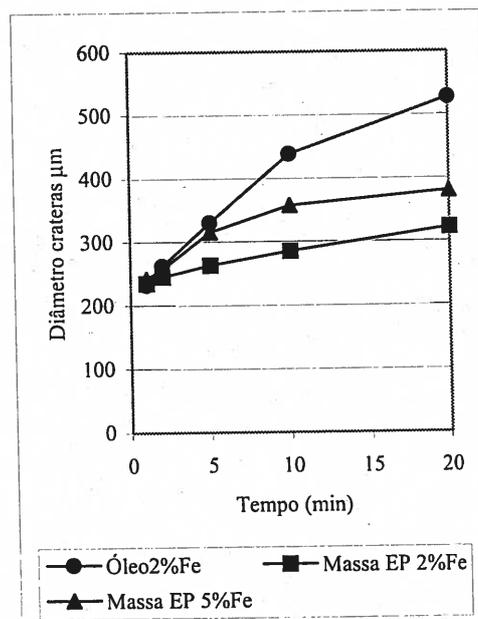


Fig 4 – Evolução do diâmetro das crateras de desgaste ensaios realizados com contaminante Fe

Na figura 5 estão representados os resultados, expressos em termos de diâmetro das crateras de desgaste, dos ensaios realizados com o contaminante carboneto de silício (SiC).

Tal como acontecia com o contaminante Fe a adição de SiC aos lubrificantes provoca um aumento do desgaste.

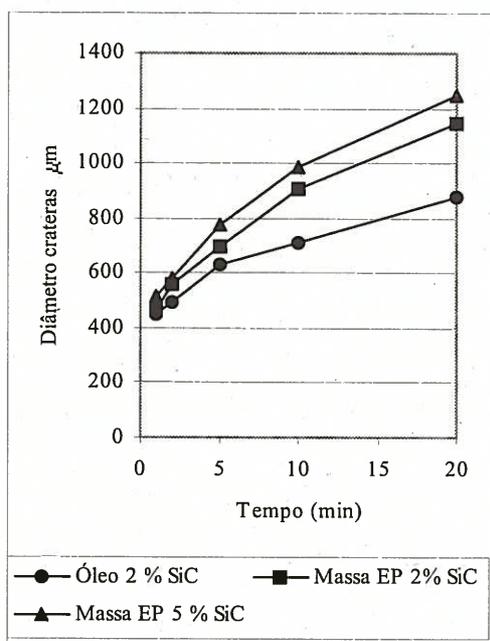


Fig 5 – Evolução do diâmetro das crateras de desgaste ensaios realizados com contaminante SiC

Qualquer que seja o contaminante utilizado o aumento da concentração do mesmo conduz a um maior desgaste.

Pode verificar-se, nas figuras 4 e 5 que, tal como nos ensaios realizados com lubrificantes não contaminados, o tempo acentua o desgaste.

## 7. VALORES DA FERROMETRIA

Para permitir uma comparação realista entre os índices de concentração de partículas, CPUC e de severidade de desgaste, ISUC calculados para os diferentes ensaios realizados, esta deve ser feita para um mesmo lubrificante.

Nas figuras 6 e 7 são apresentados os resultados dos ensaios com duração de 20

minutos, realizados com massa EP e óleo, respectivamente.

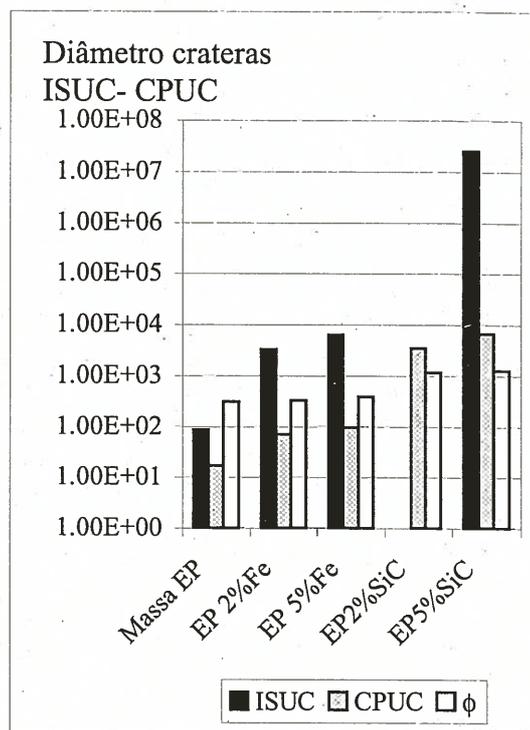


Fig 6 – Resumo resultados dos ensaios de 20 minutos realizados com massa EP

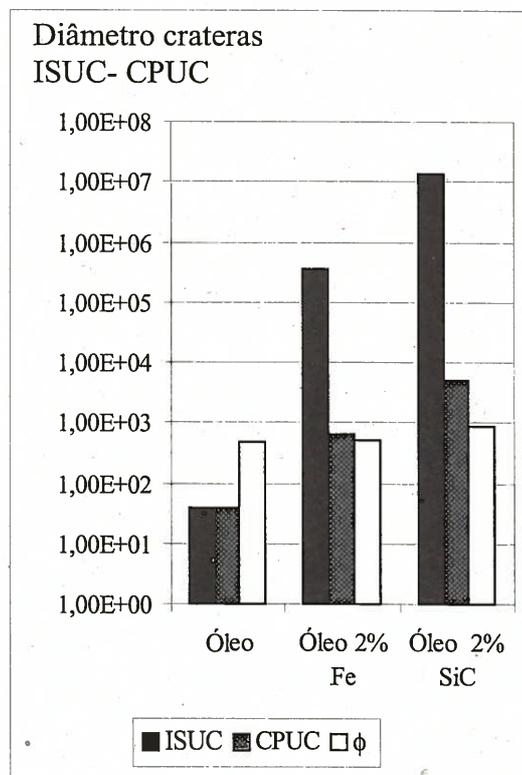


Fig 7 – Resumo resultados dos ensaios de 20 minutos realizados com óleo

Da observação destas figuras pode verificar-se a boa correlação existente entre os diâmetros das crateras de desgaste e dos índices de ferrometria. Pode ainda concluir-se que o contaminante SiC origina maior desgaste qualquer que seja o lubrificante considerado.

## 8. CARACTERIZAÇÃO DO TIPO DE DESGASTE

Como foi referido no ponto 4 realizaram-se ferrogramas dos lubrificantes utilizados nos ensaios com duração de 20 minutos. As figuras 8 e 9 são fotografias do núcleo dos ferrogramas correspondentes aos ensaios realizados para contaminante SiC com óleo e massa, respectivamente.

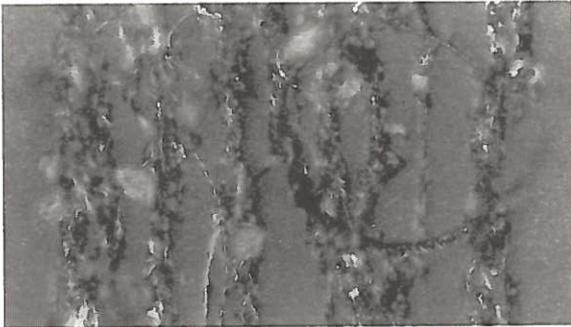


Fig 8 – Núcleo ferrograma do óleo contaminado SiC no ensaio de 20 minutos (100X).

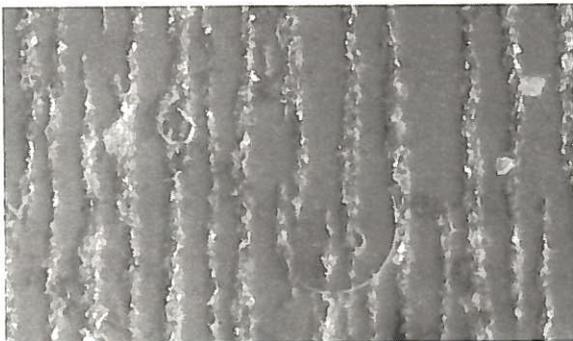


Fig 9 – Núcleo ferrograma da massa EP contaminada SiC no ensaio de 20 minutos (100X).

Na figura 10 pode ver-se o aspecto de uma partícula de desgaste existentes no núcleo do ferrograma realizado com o lubrificante massa EP contaminada com Fe.

O aspecto das partículas observadas nos ferrogramas realizados permite concluir [7] que os mecanismos de desgaste



Fig 10 – Núcleo ferrograma massa EP contaminada Fe no ensaio de 20 minutos (500X).

predominantes são:

- os fenómenos de adesão associados ao escorregamento puro entre as superfícies, no caso da contaminação com Fe.
- a abrasão das superfícies provocada pelas partículas de SiC no interior do contacto, no caso da contaminação com SiC.

## 9. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos permitem concluir:

- A existência de contaminantes no lubrificante aumenta significativamente o desgaste;
- O nível de desgaste aumenta com o aumento da concentração de contaminante presente no lubrificante;
- O nível de desgaste é maior quanto maior for a duzeza do contaminante independentemente do lubrificante utilizado;
- A ferrografia é um processo fiável para avaliar o desgaste que ocorre em mecanismos lubrificados com massa, desde que o processo de preparação da amostra seja

adequado, sobretudo no que respeita à separação entre o sabão e o óleo base..

#### REFERÊNCIAS:

- [1] Raymond J. Dalley "Ferrographic Analysis of Grease Lubricated Systems in a Helicopter Gear Box" NLGI Spokesman, Agosto 1990
- [2] M. Hertzlinger "Analysis of Filled Greases Using Homogeneous Solution" NLGI Spokesman, 1969, Volume 33, 6 pg 205-206
- [3] James K. Maslach "Ferrographic Analysis of Grease Lubricated Systems: An Analysis of Greases In Roller Bearings", ASLE Lubrication Engineering, Setembro 1996, Volume 52, 9 pg 662-666
- [4] Lars Kahlman and Ian M. Hutchings "Effect of Particulate Contamination in Grease-Lubricated Hibrid Rolling Bearings", ASLE Lubrication Engineering, Volume 42, 4 pg 842-850
- [5] C. P. Lonsdale and M. L. Lutz, "Locomotive Traction Motor Armature Bearing Life Study", STLE, Journal Lubrication Engineering, Agosto 1997, Pg 12-19
- [6] Peter Anderson, "Monitoring of Contaminants in Lubricating Greases", Presentation at COST/GRIT Conference, Maio, 1997
- [7] Sohio, "Wear Particle Atlas", Predictive Maintenance Services, Cleveland, Ohio, USA