

Comparação do desgaste de correntes de bicicleta em condições de serviço e em laboratório

Luís Miguel Mendes Figueiredo

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em

Engenharia Mecânica

Júri

Presidente: Prof. Nuno Ferreira Rilo
Orientador: Prof. Amílcar Lopes Ramalho
Co-orientador: Eng. Pedro Miguel Nunes dos Santos
Vogal: Doutor Tomas Polcar

Julho de 2009

Agradecimentos

Este exíguo espaço destina-se a agradecer a todas as pessoas que contribuíram directa ou indirectamente para a realização deste trabalho, pelo que expresso aqui o meu agradecimento em particular:

Ao Senhor Professor Doutor Amílcar Lopes Ramalho, *pela dedicação na orientação, pela paciência, pelo brio e rigor de trabalho que tentou transmitir-me, pelos ensinamentos, pela disponibilidade constante, pelo encorajamento, amizade e boa disposição.*

Ao grupo de Construções Mecânicas, *pela forma como me recebeu no seu laboratório, por ter colocado à disposição todos os equipamentos e instalações.*

À empresa SramPort, Lda., nomeadamente ao Engenheiro Pedro Miguel Nunes dos Santos *pelos apoios fornecidos, pelas correntes disponibilizadas para os ensaios, pelo fornecimento de elementos relativos às correntes, pela preparação de amostras e acompanhamento directo do trabalho.*

A todos os meus amigos e colegas *pelo apoio, pelo equilíbrio que me proporcionaram atingir, pela amizade, ajuda e todos os momentos de alegria e folia.*

Aos meus Pais e aos meus irmãos, *porque sem eles nada disto seria possível, o muito obrigado pelo apoio incondicional e confiança depositada.*

À minha família *pelo apoio e encorajamento.*

Por último, mas não menos importante, à Tânia *por tudo, por todo o apoio e confiança que deposita em mim.*

A Todos um **MUITO OBRIGADO**

Resumo

O presente trabalho teve como objectivo principal desenvolver metodologias laboratoriais que se revelassem adequadas para estudar a resistência ao desgaste de correntes de bicicleta.

Fazer o estudo do desgaste directamente nas correntes em serviço tornar-se-ia demasiado complexo, devido a todas as variáveis inerentes difíceis de quantificar.

Como primeiro objectivo pretendeu então seleccionar-se um tipo de ensaio e estabelecer as variáveis operatórias que permitam, em laboratório, ensaiar ao desgaste placas internas de corrente de bicicleta de forma a replicar os modos de falha que ocorrem em serviço.

Como base do estudo começaram por se avaliar os mecanismos de dano que ocorrem em condições normais de uso. Paralelamente fez-se um estudo das condições de contacto com base nas partículas provenientes da limpeza de várias correntes.

Realizaram-se vários ensaios prévios para definir tempos, cargas e massa abrasiva que replicassem o mecanismo de dano.

Estabeleceram-se metodologias de tratamento de resultados com base em modelos clássicos de desgaste, especialmente o modelo de Archard, e com base em abordagens energéticas.

Aplicou-se esta metodologia em vários aços, nas mesmas condições, de forma a distingui-los pela resistência ao desgaste.

Por fim estabeleceu-se um modelo de previsão que a partir de resultados obtidos em laboratório permite estimar o alongamento que ocorre nas correntes em condições de serviço.

Palavras-chave: Desgaste; Abrasão; Correntes de bicicleta;

Abstract

The present research work aims to develop new test procedures suitable to evaluate the wear resistance of bicycle chains.

Studying the wear by field test is very expensive and complex due to the lack of control of the several variables. Therefore, the first objective was to select a type of test and establish the operative variables which, in laboratory, would test the wear of internal plates of the chain, in order to replicate the failure modes that occur in service.

As a basis for the study, one has started to evaluate the mechanisms of damage that occur under normal conditions of use. Alongside it one has made a study of the conditions of contact based on the particles from the cleaning of various chains.

There were several preliminary tests to determine duration, loads and abrasive with the intention of replicate the mechanism of damage.

Suitable methodologies have been established suitable to the results analysis. Both classic models, especially Archard's model, and energetic models have been considered.

This methodology was applied in various steels in order to set up which one will have greater wear resistance.

Finally a simple forecasting model has been established in order to estimate the elongation of the chain based on test results.

Keywords: Wear; Abrasion; Bicycle chain-drives

Índice

CAPÍTULO um.....	14
1 Motivação e nota histórica.....	14
CAPÍTULO dois	20
2 Revisão bibliográfica.....	20
2.1 Introdução.....	20
2.2 Tipos de transmissões.....	20
2.3 Transmissão de potência em bicicletas	21
2.4 Evolução e constituição de correntes	25
2.5 Mecanismos de dano em correntes.....	28
CAPÍTULO três	29
3 Materiais, equipamentos e procedimentos experimentais	29
3.1 Introdução.....	29
3.2 Especificação do procedimento.....	30
3.3 Protocolo de ensaio	38
3.4 Materiais estudados	40
CAPÍTULO quatro.....	44
4 Apresentação dos resultados e discussão	44
4.1 Procedimento utilizado para comparação dos resultados.....	44
4.2 Definição e justificação dos tempos e cargas de ensaio.....	48
4.3 Comparação dos materiais	49
CAPÍTULO cinco	60
5 Modelo de previsão	60
5.1 Introdução e objectivo do modelo.....	60
5.2 Base de desenvolvimento do modelo	61
5.3 Modelos de previsão.....	64
5.4 Aplicação dos modelos aos resultados obtidos em ensaios de campo	67

CAPÍTULO seis	68
Conclusão	68
Bibliografia	70
ANEXOS	72
Anexo I.....	72
Equipamentos utilizados	72
1 Microscópio óptico	72
2 Microscópio de medição.....	73
3 Microscópio electrónico de varrimento	73
4 Rugosímetro laser 3D.....	74
5 Equipamento de ensaio alternativo.....	75
Anexo II	77
Registos dos ensaios:	77
1 Folhas de registo.....	77

Índice de figuras

Figura 1 – Celerífero	15
Figura 2 – Draisiana	15
Figura 3 – Primeira bicicleta com corrente de transmissão	16
Figura 4 – Transporte de correio militar Suíço (Shop, 2004)	16
Figura 5 – Evolução das correntes de bicicleta.....	17
Figura 6 – Bicicleta sem transmissão nas rodas.....	22
Figura 7 – Bicicleta com transmissão por biela manivela.....	22
Figura 8 – Bicicleta com transmissão directa na roda da frente	23
Figura 9 – Bicicleta com transmissão por corrente.....	23
Figura 10 – Bicicleta com várias relações de transmissão.....	24
Figura 11 – Transmissões de potência alternativas.....	24
Figura 12 – Vista explodida de um elo completo de uma corrente de rolos.....	26
Figura 13 – Representação esquemática de corrente tipo “ <i>sedis</i> ”.....	27
Figura 14 – Pormenor do desgaste nas placas externas e nos pinos	31
Figura 15 – Morfologia das partículas e composição química	32
Figura 16 – Representação esquemática do ângulo de rotação de um elo	33
Figura 17 – Influência da natureza do lubrificante	38
Figura 18 – Vista de cima da cratera provocada num ensaio de “ball-cratering”.....	41
Figura 19 – Esquema da remoção de material por “Ball-cratering”.....	42
Figura 20 – Exemplo de tabela de tratamento de dados.....	46
Figura 21 – Gráfico de obtenção do k associado à esfera	46
Figura 22 – Gráfico de obtenção de k associado às placas	47
Figura 23 – Gráfico de obtenção de k_{at} associado às placas.....	48
Figura 24 – Gráfico da posição relativa dos aços dos diferentes fabricantes.....	51
Figura 25 – Gráfico de barras da posição relativa dos aços dos diferentes fabricantes. ...	51
Figura 26 – Gráfico da posição relativa de aços alternativos (bariados).	53
Figura 27 – Gráfico de barras da posição relativa de aços alternativos (bariados).....	54

Figura 28 - Gráfico da posição relativa de aços alternativos (niquelados).	54
Figura 29 – Gráfico de barras da posição relativa de aços alternativos (niquelados).	55
Figura 30 – Gráfico da evolução da dureza com a profundidade	56
Figura 31 – Gráfico comparativo dos aços alternativos.....	57
Figura 32 – Representação esquemática do efeito da percentagem de carbono e da percentagem de elementos de liga	58
Figura 33 – Esquema da área de secção desgastada e do alongamento	62
Figura 34 – Detalhe dos pontos de engrenamento e desengrenamento	63
Figura 35 – Modelo de previsão segundo o modelo de Archard	64
Figura 36 – Modelo de previsão segundo o modelo de atrito	66
Figura 37 – Gráfico de confrontação de resultados (material (6))......	67
Figura 38 – Microscópio óptico	72
Figura 39 – Microscópio de medição.....	73
Figura 40 – Scanning electron microscope (SEM)	73
Figura 41 – Rugosímetro laser	74
Figura 42 – Pormenor da montagem experimental	75
Figura 43 – Equipamento de ensaio alternativo.....	76

Índice de tabelas

Tabela 1 – Comparação da situação real com a situação experimental	36
Tabela 2 – Cargas e tempos dos ensaios prévios	37
Tabela 3 – Raios do revestimento de níquel	42
Tabela 4 – Materiais estudados	43
Tabela 5 – Cargas e tempos de ensaio	48
Tabela 6 – Valores de k e k_{at} para os diferentes materiais.....	50
Tabela 7 – Posição relativa dos materiais dos diferentes fabricantes	51
Tabela 8 – Comparação da influência do revestimento	52
Tabela 9 – Posição relativa de aços alternativos (bariados).....	53
Tabela 10 – Posição relativa dos aços alternativos (niquelados)	55
Tabela 11 – Posição relativa dos aços alternativos	57
Tabela 12 – Composição química dos aços ligados.....	58
Tabela 13 – Características do rugosímetro	74

NOMENCLATURA

A – Amplitude

a – Raio exterior da cratera formada por Ball-cratering

b – Raio correspondente à espessura de níquel

c – Distância entre o raio da esfera e o aço da placa

d – Distância entre o raio da esfera e a superfície

D_1 – Diâmetro do pino

D_2 – Diâmetro do furo

E_1 – Modulo de young pino (9) / esfera (12)

E_2 – Modulo de young da placa interna

$E_{níquel}$ – Espessura de níquel

F – Força de atrito

H – Dureza do material

K – Constante tribológica do aço

k – Constante tribológica do aço

k_{at} – Constante tribológica do aço no modelo de atrito

$k_{(9)}$ – Constante tribológica do material (9)

L – Largura de contacto

N – Força normal

$n_{oscilações}$ – número de oscilações do ensaio

P_1 – Carga na corrente

P_2 – Carga na esfera

R – Raio

r_{pino} – Raio do pino

t – Tempo

V – Volume removido

$W_{F.at}$ – Trabalho realizado pela força de atrito

x_0 – Alongamento da corrente

γ – Ângulo ao centro correspondente ao passo

μ – Coeficiente de atrito

ν_1 – Coeficiente de Poisson pino (9) / esfera (12)

ν_2 – Coeficiente de Poisson da placa interna

σ_c – Pressão de contacto

χ – Posição ao longo do tempo

ω – Velocidade angular

INTRODUÇÃO

O presente trabalho insere-se no curso de Engenharia Mecânica e tem como objectivo fazer uma avaliação final da aptidão para a obtenção do grau de Mestre. Esta tese de dissertação tem como objecto de estudo, caracterizar o comportamento tribológico de aços aplicados em correntes de transmissão de potência para bicicletas e realiza-se em parceria com a empresa SramPort-Transmissões Mecânicas Lda.

Os objectivos do trabalho consistem em estudar as condições de contacto que ocorrem nas correntes de bicicleta, definir uma estratégia de ensaio em laboratório que reproduza essas condições de contacto, particularmente entre o pino e as meias buchas estampadas nas placas internas e a sua aplicação a vários materiais.

Definido o procedimento de ensaio estudaram-se 12 tipos de placas de forma a distingui-las pela sua resistência ao desgaste quando submetidas a condições semelhantes às que ocorrem numa transmissão de bicicleta.

Por fim pretende ainda estabelecer-se um modelo de previsão que a partir dos resultados de testes laboratoriais permita estimar o alongamento em serviço. Os resultados do modelo serão confrontados com ensaios de campo realizados pela SramPort, Lda.

Esta obra está ordenada em seis capítulos distintos. No primeiro capítulo começa por fazer-se um enquadramento histórico do desenvolvimento das bicicletas em geral e demonstra-se a importância da bicicleta nos dias de hoje e no futuro, no mesmo capítulo é feita uma introdução do objecto de estudo. No capítulo dois é feita uma revisão dos principais tipos de transmissões, das transmissões em bicicletas, da evolução das transmissões por corrente e identificam-se os seus principais modos de dano.

O capítulo três inclui um estudo que foi feito, com base em peritagem de correntes danificadas, com o objectivo de identificar as condições de contacto e os mecanismos de dano,

bem como a especificação do procedimento de ensaio das placas e a identificação das características dos materiais estudados.

No capítulo quatro será feita a apresentação dos resultados obtidos e explicitado o procedimento utilizado para a comparação dos materiais. Serão também comparados os vários materiais estudados e será feita uma discussão dos resultados obtidos.

No capítulo cinco será apresentado um modelo de previsão que foi desenvolvido no âmbito do presente estudo. Serão confrontados dados provenientes de medições de alongamento em serviço com os resultados de alongamento previstos pelo modelo.

No capítulo seis serão resumidas as conclusões globais do estudo.

CAPÍTULO UM

1 Motivação e nota histórica

Actualmente quando se fala em “bicicleta” têm-se como estereótipo um veículo de duas rodas, que se desloca á custa do esforço do ciclista, em que a roda da frente é direccionável por estar acoplada a um guiador onde o ciclista se apoia com as mãos. Estas têm também um par de pedais onde o ciclista apoia os pés, que estão ligados a alavancas solidárias com rodas dentadas que transmitem potência à roda traseira através de uma corrente.

Os primeiros esboços e os primeiros veículos de duas rodas diferiam em muitos aspectos das bicicletas como se conhecem hoje. As primeiras bicicletas começaram a ser desenvolvidas entre o século XV e o século XVI. Estes primeiros veículos eram muito arcaicos na sua concepção, por vezes não eram tomados em consideração princípios básicos da física.

Estes primeiros veículos ofereciam muito pouca estabilidade de condução e muita dificuldade de progressão devido ao seu elevado peso.

Por volta do ano de 1790, o conde Sivrac de França idealiza um veículo primitivo de duas rodas ligadas por uma ponte de madeira denominado de celerífero. Neste veículo o impulso era conseguido à custa dos pés, que actuavam directamente sobre o solo. Apesar do desconforto associado este transporte mostrou-se útil para pequenas distâncias. (Pequini, 2000)



Figura 1 – Celerífero

Em 1816 o Barão Alemão Karl Friedrich adaptou um sistema de direcção que apesar de trazer melhorias era bastante incómodo e desconfortável, o que levou a que não tivesse conseguido comercializar o invento.



Figura 2 – Draisiana

Em 1818 o Barão Drais apresentou um invento bem mais parecido com as bicicletas dos dias de hoje, apesar de muito pesado, pois era construído com uma estrutura maciça de antimónio.

Em 1855 o Francês Ernest Michaux inventou o pedal e adaptou-o ao veículo que é hoje considerado a primeira bicicleta moderna.

Com o crescimento do fabrico de bicicletas houve necessidade de, em 1862, criar vias que se destinavam exclusivamente a este tipo de engenhos, para que não se misturassem com as charretes e carroças, foi em Paris que as primeiras ciclo vias foram criadas.

Ainda em 1862 Ernest Michaux é considerado o primeiro fabricante de bicicletas, conseguindo produzir 143 unidades num ano.

Em 1869 surge a primeira bicicleta com transmissão por corrente inventada por Guilmet-Meyer



Figura 3 – Primeira bicicleta com corrente de transmissão

Em 1877 Rousseau apresenta um dispositivo que por meio de duas correntes alterava a relação de transmissão dando assim mais versatilidade à bicicleta. (wikipedia, 2009)

Em 1887 John Bloyd Dunlop descobriu o pneu a ar, no fundo era um tubo muito rudimentar que quando furava ou rebentava eram necessárias várias horas para o concertar. Mais tarde com a invenção do pneu desmontável por parte dos irmãos Michelin a bicicleta tornou-se muito popular. Em 1890, só na França, contavam-se cinco mil ciclistas.

As qualidades como meio de transporte económico e prático começaram a evidenciar-se e começaram também a fazer-se os primeiros desportos com bicicleta.

Foram utilizadas como meio de transporte para a infantaria durante a segunda guerra mundial por muitos países, como Itália França Holanda Bélgica Espanha e Suíça. (Pequini, 2000)



Figura 4 – Transporte de correio militar Suíço (Shop, 2004)

Em 1903 Ernest Sachs criou o cubo torpedo que permitia parar de pedalar e a bicicleta andar em roda livre e além disso permitia bloquear a roda quando se pedalava no sentido oposto.

Ao longo do desenvolvimento da bicicleta houve várias soluções de correntes de transmissão, podendo afirmar-se que a evolução das bicicletas foi acompanhada pela evolução das correntes.

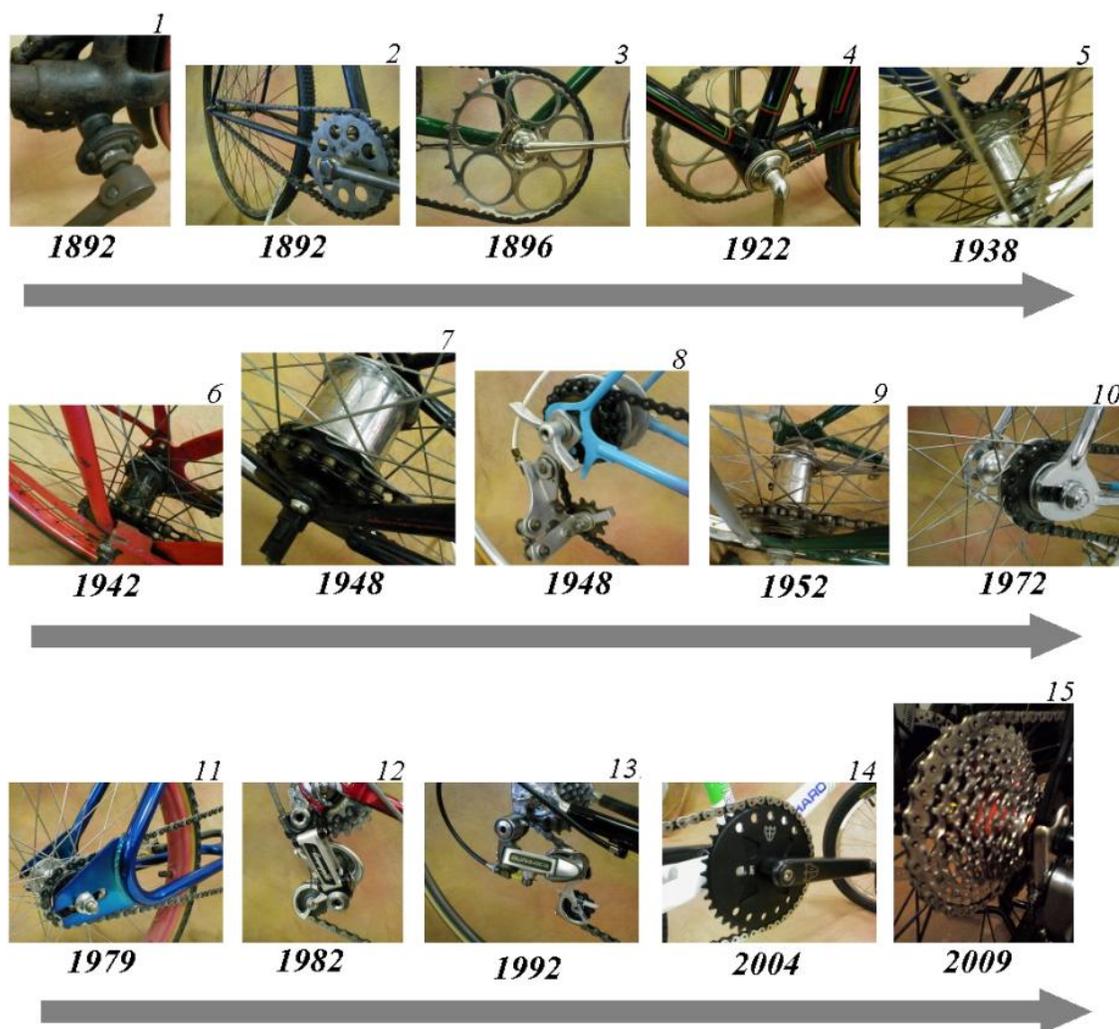


Figura 5 – Evolução das correntes de bicicleta

Como se pode constatar na figura anterior até sensivelmente 1942 os dentes de engrenamento estavam dispostos nas rodas dentadas com espaçamento de duas vezes o passo da corrente, pois as correntes tinham apenas uma placa interna.

Contudo tecnologicamente a grande evolução nas correntes surgiu com a expansão das correntes “*sedis*” aproximadamente em 1980, pois estas apresentam imensas vantagens

relativamente às correntes de rolos convencionais. Estas permitem maior flexibilidade transversal, menor largura, menor peso e maior simplicidade de fabrico.

A evolução da bicicleta deu-se a ritmos diferentes de desenvolvimento ao longo do tempo e, com a evolução, a diversidade de modelos de bicicleta que hoje existe é enorme. Os tipos de bicicletas podem dividir-se em quatro grandes grupos: as bicicletas BMX, as bicicletas de montanha, as bicicletas de estrada e as bicicletas urbanas. Estes grupos por sua vez estão subdivididos consoante o fim específico a que se destinam.

No caso das bicicletas BMX estas dividem-se em “*race*” e “*freestyle*” dentro do “*Freestyle*” dividem-se em “*dirt jumping*”, “*vert*”, “*street*”, “*park*” e “*flatland*”. Apesar da grande variedade de modalidades, no fundo as variações que se verificam nas bicicletas BMX são ao nível da geometria do quadro.

Nas bicicletas de montanha há três subdivisões as bicicletas de “*cross country*” “*maratona*” e “*downhill*”.

As bicicletas de estrada são na generalidade muito semelhantes independentemente das modalidades que se praticam com elas, estas dividem-se em três categorias: as bicicletas de estrada, as de contra-relógio e as de pista. É de salientar que as bicicletas de pista têm uma relação de transmissão fixa.

As bicicletas urbanas não se subdividem em categorias definidas e têm particularidades muito distintas, são tipicamente bicicletas de lazer, têm uma postura de condução muito agradável, algumas são dobráveis, outras têm compartimentos para colocar objectos.

Há ainda outros tipos de bicicletas que não se inserem em nenhum destes grupos como é o caso das bicicletas de trial, as bicicletas reclinadas e as bicicletas de dois ou mais lugares.

A utilização da bicicleta como meio de transporte diário tem sido alvo de estudo em toda a Europa. Está continuamente a ser feito um esforço por parte Comissão Europeia, por muitos dos governantes, de autarcas e por parte da população para que a bicicleta passe a ter um papel preponderante como meio de transporte diário para a população das cidades.

Segundo um estudo realizado pela união europeia em 2000 (J. Dekoster, 2000), 73% dos europeus consideram que a bicicleta deveria beneficiar de um tratamento preferencial em relação ao automóvel, pois 30% dos trajectos realizados em automóvel têm uma distância inferior a 3 km.

Este estudo evidencia que o uso da bicicleta como meio de transporte diário para distâncias pequenas terá, com o correcto ordenamento das cidades para esse efeito, um crescimento acentuado num futuro próximo em muitas das cidades da união europeia. Este facto já se verifica actualmente em várias cidades como é o caso de Amesterdão, Copenhaga, Ferrara, Bilbao, Dublin, Friburgo, Estrasburgo, Genebra, entre outras.

Com o aumento da utilização da bicicleta como meio de transporte há inevitavelmente um crescimento do mercado associado.

A interface de utilização da bicicleta com outros meios de transporte, como o comboio, o metro, o autocarro ou o automóvel, são uma mais-valia para os ciclistas e para os gestores das redes de transportes. Admitindo que uma pessoa está disposta a deslocar-se dez minutos para apanhar um transporte publico se esta se deslocar a pé percorre 800 metros e então a área de influência de uma paragem é 2 quilómetros quadrados. Se a mesma pessoa se deslocar de bicicleta percorre 3,2 quilómetros e neste caso a área de influência da paragem já será 32 quilómetros quadrados. (J. Dekoster, 2000)

Com o mercado de bicicletas tão abrangente, quer como meio de transporte ou como elemento desportivo, há necessidade de assegurar uma vida útil elevada em boas condições de funcionamento. Numa bicicleta os principais consumíveis são: os pneus, as pastilhas de travão, a corrente de transmissão e as rodas dentadas.

Além de ser um dos principais elementos consumíveis, a corrente e a transmissão no global é também o principal sistema objecto de manutenção. Como as correntes são na bicicleta um consumível e o principal órgão de manutenção, é essencial conhecer os modos de ruína e os elementos que levam a que essa ruína ocorra para que depois de identificados sejam feitas alterações o sentido de melhorar a sua vida útil.

CAPÍTULO DOIS

2 Revisão bibliográfica

2.1 Introdução

No presente capítulo vai fazer-se uma abordagem global dos principais tipos de transmissões que existem, evidenciando as vantagens e inconvenientes de cada um. Vai analisar-se em detalhe o funcionamento das correntes aplicadas nas bicicletas, distinguindo os diferentes componentes que as compõem. No final serão analisados quais os fenómenos que levam ao fim de vida de uma corrente, aprofundando a análise dos mecanismos de dano por desgaste.

2.2 Tipos de transmissões

Na transmissão de potência entre veios há várias soluções, contudo apenas serão abordados os principais tipos de transmissões que têm significado em aplicações industriais e que permitem alterar as características do movimento. Quando os veios não podem ser directamente acoplados podem usar-se transmissões por correia, transmissões por engrenagem, ou transmissões por corrente.

2.2.1 Transmissão por correia

As correias são elementos flexíveis e há tipicamente três tipos: correias planas, correias trapezoidais e correias dentadas.

Nas correias planas e trapezoidais o princípio físico para a transmissão do movimento é o atrito gerado entre a correia e as polias. Nas correias dentadas o princípio físico é o contacto geométrico.

Este tipo de transmissão é muito usado, principalmente quando se pretendem transmitir potências baixas.

As correias têm um funcionamento bastante silencioso e não necessitam lubrificação.

2.2.2 Transmissão por engrenagem

A transmissão por engrenagens constitui um dos tipos de transmissão mecânica de maior aplicação prática, principalmente na indústria automóvel. Permitem soluções compactas, e quando se pretende transmitir elevadas potências e velocidades são a melhor solução.

2.2.3 Transmissão por corrente

A transmissão por corrente, particularmente corrente de rolos é um tipo de transmissão muito utilizado na indústria. Embora se destinem exclusivamente a transmitir potência entre veios paralelos as correntes podem ver-se aplicadas por exemplo em tapetes transportadores, em maquinaria agrícola, em bicicletas e motociclos.

2.3 **Transmissão de potência em bicicletas**

Nas bicicletas a transmissão da potência tem vindo a evoluir com a evolução da própria bicicleta.

Nas primeiras bicicletas o impulso era gerado à custa do impulso dado pelos pés directamente no solo. Com este tipo de transmissão e principalmente por se tratar de bicicletas muito pesadas e sem travões, não se conseguia vantagem nenhuma relativamente à deslocação

a pé. Todavia hoje esta solução está bem adaptada a vários tipos de veículos, como é o caso dos skates e das trotinetas, por exemplo.

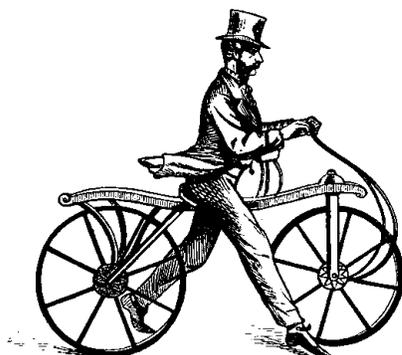


Figura 6 – Bicicleta sem transmissão nas rodas

Posteriormente a transmissão passou a fazer-se na roda traseira através de um sistema biela manivela idealizado por Kirkpatrick Macmillan. Este sistema apesar de acrescentar melhorias relativamente ao anterior não era muito cómodo e reduzia a amplitude de viragem.

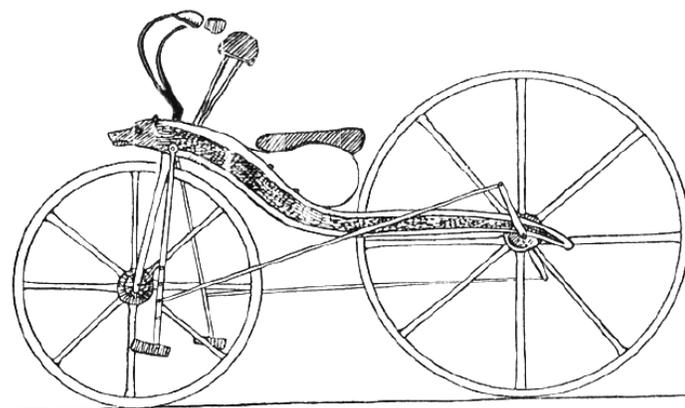


Figura 7 – Bicicleta com transmissão por biela manivela

Houve também sistemas de transmissão em que as alavancas dos pedais accionavam directamente a roda, normalmente a roda da frente. Este tipo de sistema apresentava muitas desvantagens, uma vez que a desmultiplicação era feita à custa de rodas de grande diâmetro.

Esse facto levava a que as bicicletas fossem muito pesadas e com o centro de gravidade muito alto. Com um centro de gravidade alto tornavam-se instáveis e muito inseguras de conduzir. Além disso pelo facto da transmissão ser feita na roda da frente e as pernas terem de acompanhar a roda, as manobras de mudança de direcção eram muito difíceis.



Figura 8 – Bicicleta com transmissão directa na roda da frente

Com a invenção da corrente conseguiu-se gerir a relação de transmissão em função dos dentes das rodas motora e movida o que originou que as rodas da bicicleta pudessem ser muito mais pequenas, baixando o centro de gravidade do conjunto ciclista/bicicleta e também diminuindo o peso da bicicleta.



Figura 9 – Bicicleta com transmissão por corrente

A utilização de transmissão por corrente em bicicletas apresenta imensas vantagens associadas, onde se destaca o facto de a transmissão apresentar um rendimento superior a 95%.

Como a transmissão por corrente não é muito rígida e a própria corrente tem alguma flexibilidade transversal permite que haja transmissão de potência mesmo que haja desalinhamento entre as rodas dentadas. Esse facto leva a que se possam acoplar rodas dentadas paralelas, quer na roda de trás quer na roda pedaleira para que se possa alterar a razão de transmissão. Cria-se assim um sistema de transmissão de potência que é simultaneamente caixa de câmbio de velocidades e que apesar dos desalinhamentos inerentes apresenta um rendimento elevado.



Figura 10 – Bicicleta com várias relações de transmissão

Há ainda outras soluções de transmissão, mas estas têm desvantagens consideráveis relativamente à solução apresentada em cima, pois na generalidade das soluções o conjunto torna-se mais pesado, tecnologicamente mais complexo de obter, mais caro, com menor rendimento de transmissão, e pode exigir mais manutenção.

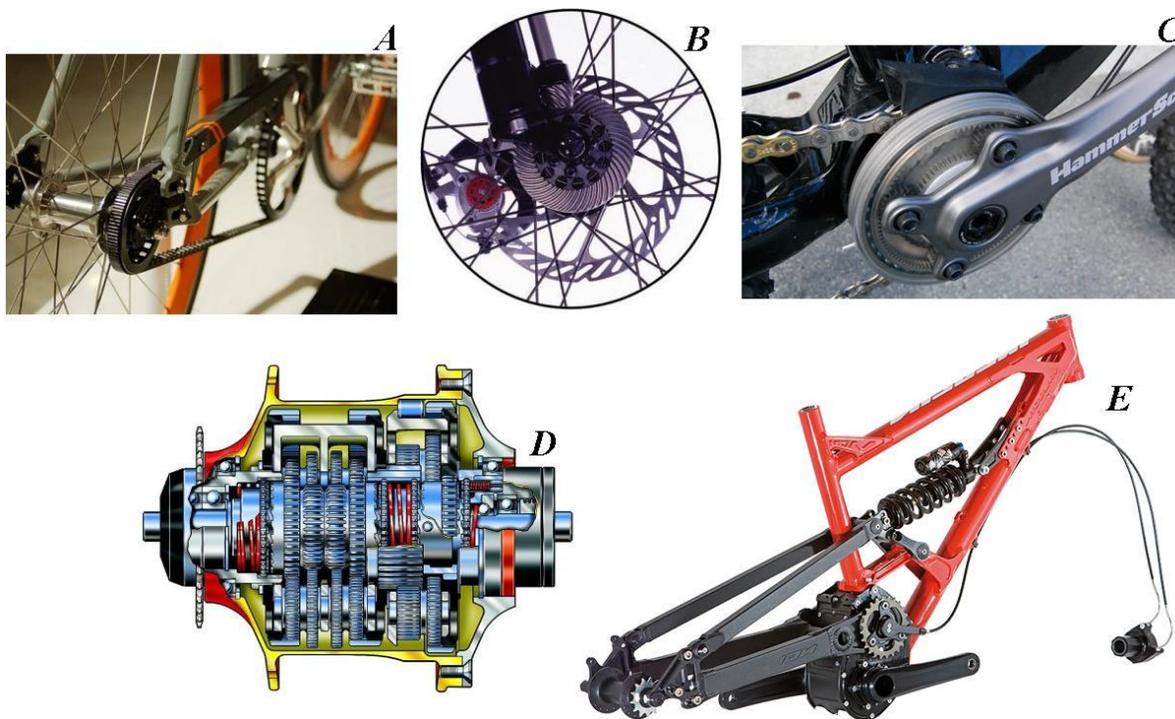


Figura 11 – Transmissões de potência alternativas

Como se pode verificar na figura 11, existem outras formas de transmissão de potência como é o caso da transmissão por correia (A), esta apresenta desvantagens, como o facto de não permitir várias relações de transmissão, tem rendimento menor, necessita de pré-tensão e tem vida mais curta.

No caso da figura 11 (B) trata-se de uma transmissão por veio, que permite, neste caso em concreto que haja tracção na roda dianteira, este sistema tem como principal inconveniente o excessivo peso.

Na figura 11 (C) está representado um sistema que tem como objectivo substituir o desviador dianteiro e simultaneamente servir de guia de corrente, este sistema tem também como principal desvantagem o peso superior, relativamente à solução clássica.

Na figura 11 (D) está representado um cubo de roda, traseiro que serve simultaneamente de caixa de velocidades, este tipo de solução é muito usada principalmente em bicicletas de lazer, requer menor manutenção, não há o inconveniente da corrente desengrenar com tanta facilidade, mas é um sistema mais pesado e que não oferece tantas relações de transmissão como o referido na figura 10.

Na figura 11 (E) mostra-se um sistema de caixa de velocidades, este sistema apresenta como principal vantagem o facto de o funcionamento não ser afectado pelas condições do meio ambiente, mas o excessivo peso faz com que apenas seja utilizado em algumas competições onde o peso não é um factor preponderante como é o caso do downhill.

2.4 Evolução e constituição de correntes

Apesar da evolução das correntes já ter sido brevemente abordada no capítulo anterior em complemento dos traços gerais da evolução das bicicletas, vão nesta parte evidenciar-se as vantagens e inconvenientes das correntes convencionais de rolos e das correntes “*sedis*”.

As correntes convencionais de rolos são constituídas por cinco tipos de elementos como se apresenta na figura 12.

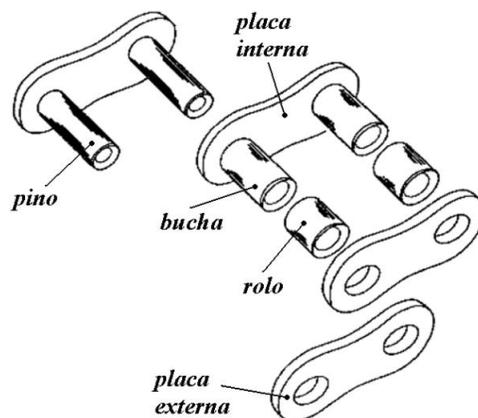


Figura 12 – Vista explodida de um elo completo de uma corrente de rolos

Neste tipo de correntes as principais zonas sujeitas a movimento relativo e por conseguinte sujeitas a desgaste são as articulações cilíndricas de interação entre o pino e a bucha e entre a bucha e o rolo. O desgaste destas peças influencia directamente no passo da corrente e quando se atingem alongamentos excessivos do passo o engrenamento torna-se deficiente e danifica os dentes das rodas.

Uma transmissão por corrente, com correntes deste tipo tem um rendimento típico de 98%, não tem escorregamento de transmissão, tem relativa precisão na transmissão do movimento, tem uma compacidade razoável e podem transmitir-se potência e binário elevados.

Esta configuração de correntes, pelo facto de ter buchas, traz desvantagens para a aplicação em bicicletas. Estas correntes têm pouca flexibilidade transversal e não é possível obter correntes com uma largura tão pequena como as correntes “*sedis*”. Estes condicionamentos associados às buchas reduzem o número de rodas dentadas que é possível colocar na roda traseira.

As correntes do tipo “*sedis*” diferem das correntes convencionais porque não têm buchas enquanto elemento independente. Nas correntes “*sedis*” as buchas são fabricadas directamente nas placas internas por processos de deformação plástica. Assim conseguem obter-se correntes mais leves, mais flexíveis lateralmente, mais estreitas, com maior simplicidade de fabrico e com menor custo.

As correntes do tipo “*sedis*” são fabricadas por montagem de quatro tipos de componentes: as placas internas, as placas externas, os pinos e os rolos.

As placas internas e externas são fabricadas a partir de chapa de aço laminada, que é deformada a frio para que estas fiquem com a configuração pretendida, posteriormente são

temperadas e em muitos casos niqueladas. Os pinos são fabricados em varão de aço, que é cortado e rectificando e posteriormente cementado e temperado. Alguns fabricantes usam eixos revestidos nas correntes de gamas superiores. Os rolos são fabricados a partir de varão de aço, onde são cortados por arrombamento.

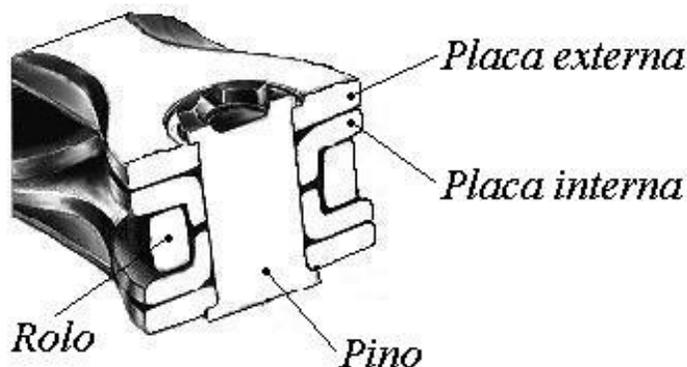


Figura 13 – Representação esquemática de corrente tipo “sedis”

Como se pode ver na figura 13 as buchas são fabricadas por deformação das placas internas, sendo que, fica meia bucha estampada em cada uma delas.

Actualmente as bicicletas de estrada têm até 10 rodas dentadas sobre o eixo traseiro. Esta quantidade de rodas dentadas só é possível obter devido à utilização de correntes “sedis”.

A redução da largura da corrente para permitir um maior número de rodas dentadas é quase impossível com as limitações tecnológicas actuais. Assim, as soluções possíveis para o aumento do número de rodas dentadas na roda traseira são:

Aumento da largura da cassette (carreto de rodas dentadas) à custa da diminuição da distância entre os raios da direita e da esquerda.

Aumento da cassette à custa do aumento do eixo traseiro.

Estas soluções mencionadas já estão exploradas quase até ao limite. Diminuir mais a distância entre os raios da direita e da esquerda acarreta problemas de estabilidade de construção das rodas uma vez que os raios do lado da cassette estão quase na vertical.

Aumentar o eixo traseiro também acarreta muitos problemas uma vez que implica alterações nas normas de fabrico dos quadros e além disso, quanto mais largo o eixo traseiro, maior será o desalinhamento da engrenagem. Poderia propor-se, para melhorar o engrenamento aumentar o comprimento do eixo que suporta os pedais mas essa solução é anatomicamente inviável.

Diminuir a distância entre as rodas dentadas e conseqüentemente diminuição da espessura das correntes já está extremamente aproveitado. Essa diminuição tem implicações directas no rendimento da transmissão e na vida útil das correntes, uma vez que o contacto pino – bucha estará solicitado a pressões muito mais elevadas.

Essas desvantagens associadas ao aumento do número de relações de transmissão e conseqüente diminuição da espessura das correntes motivam a necessidade de investigação e desenvolvimento no sentido de minimizar estes aspectos negativos.

2.5 Mecanismos de dano em correntes

Nas correntes de transmissão de potência os principais mecanismos de dano que podem ocorrer são: fadiga da placa de ligação; fadiga por impacto rolo – bucha; abrasão da bucha, pino e rolo. (Julião, 1998)

A ruptura por fadiga de uma placa de ligação põe em causa a segurança de utilização enquanto a fadiga por impacto rolo – bucha, abrasão da bucha pino e rolo têm como consequência a redução do rendimento da transmissão.

Na prática, a generalidade das correntes e em particular as correntes de bicicleta deixam de estar operacionais por desgaste dos componentes, o que origina um alongamento excessivo, que por sua vez originará problemas de engrenamento.

O desgaste classifica-se consoante os mecanismos de remoção de material. Os principais mecanismos são: desgaste por adesão, por abrasão e por erosão.

A análise das superfícies dos componentes das correntes, como será apresentado no capítulo seguinte, permitem verificar que o principal mecanismo de remoção de material dos componentes é o desgaste por abrasão.

Este facto justifica-se na análise das partículas provenientes de correntes usadas, onde foram identificadas partículas com propriedades mecânicas e geometria favorável à ocorrência de abrasão.

A análise das superfícies de contacto a uma escala adequada permitiu identificar o mecanismo de abrasão a dois corpos (Trezona, et al., 1999) (Hornbogen, et al., 1979), caracterizado por superfícies com deformação plástica superficial e sulcos paralelos com a direcção do movimento.

CAPÍTULO TRÊS

3 Materiais, equipamentos e procedimentos experimentais

3.1 Introdução

Como foi referido no capítulo um, entre os principais objectivos deste trabalho assume relevância o estudo de ensaios de desgaste de correntes para a definição de um procedimento que se revele eficaz para replicar os modos de dano que ocorrem em serviço.

Estudar o desgaste das placas internas de uma corrente de bicicleta de estrada a partir de ensaios da própria corrente em serviço torna-se relativamente complexo, pois há muitos parâmetros difíceis de controlar, como o número de oscilações que um elo tem, o volume de material desgastado, a velocidade das oscilações e as acções do meio ambiente. Assim, pretende-se reproduzir em laboratório as condições a que está submetida uma corrente em serviço.

As vantagens associadas aos testes em laboratório são o maior controlo das variáveis e a possibilidade de tornar os testes mais severos de forma a obter resultados em tempo mais reduzido.

Pelas razões expostas definiu-se como estratégia para abordagem do problema:

- 1 – Identificar os tipos de contactos que ocorrem na transmissão e a sua relevância para o alongamento;
- 2 – Identificar as variáveis operatórias em condições de serviço;
- 3 – Identificar os principais modos de dano;
- 4 – Formular hipóteses para realizar as experiências;
- 5 – Verificação das hipóteses;

3.2 Especificação do procedimento

Para que os ensaios a efectuar em laboratório conduzam a resultados transponíveis para a aplicação prática é necessário que estes reproduzam o mesmo tipo de dano e que as condições de contacto sejam semelhantes aquelas a que as correntes estão sujeitas em serviço. Para isso fez-se uma análise do funcionamento das correntes em serviço.

3.2.1 Identificação dos mecanismos de dano

Para a identificação dos mecanismos de dano e das zonas dos componentes onde ocorrem os danos foram observadas 3 correntes: uma “PC 1090 protótipo”, uma “PC 1070” e uma “PC 1090R”. Estas correntes foram utilizadas em bicicletas de estrada e deixaram de estar operacionais por terem alongamento excessivo, respectivamente 0,69%; 1,34%; e 2,12%. Foram observados diferentes tipos de corrente e com alongamentos distintos para se verificar se os mecanismos e as zonas de dano se mantêm constantes de material para material e ao longo de toda a vida útil.

As correntes foram disponibilizadas pela SramPort, Lda., provenientes de equipas de competição que colaboram com a empresa, e foram entregues já desmontadas e limpas.

Numa corrente, os vários componentes têm superfícies de contacto definidas, que se degradam com a utilização. As placas externas têm contacto com as placas internas como se pode ver na figura 14, com o desgaste destas superfícies a corrente fica com mais flexibilidade transversal e com mais flexibilidade torsional.

As placas internas, além do contacto com as placas externas têm também contacto com o pino e com o rolo. O desgaste associado ao contacto entre as placas internas e os pinos origina alongamento do passo da corrente.

Para avaliar os mecanismos de dano que ocorrem nas superfícies de contacto dos vários componentes as correntes analisadas foram observadas recorrendo a um microscópio óptico (ver anexo I (1)).

Da observação das imagens identificaram-se sulcos de relevo na direcção do movimento e paralelos entre si. Estes indicadores são característicos do desgaste por abrasão, pelo que se

conclui que o principal mecanismo de dano que ocorre nas interfaces de contacto é abrasão. (Ramalho, 1994)

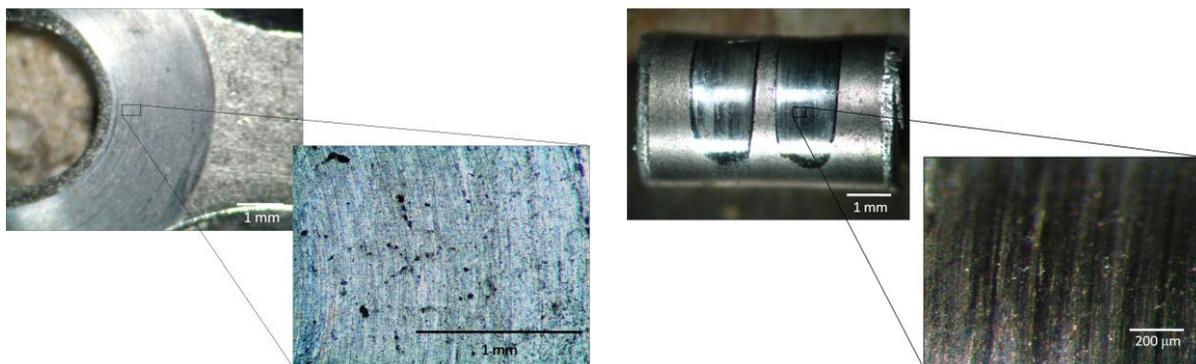


Figura 14 – Pormenor do desgaste nas placas externas e nos pinos

Nas observações pode ainda reter-se que na interacção dos pinos com as placas internas, quer na superfície do pino quer na das placas internas, a abrasão é consideravelmente mais “fina” do que nas restantes superfícies de contacto. Este fenómeno deve-se ao facto de só as partículas abrasivas de menor tamanho acederem a esta zona de contacto.

3.2.2 Estudo das condições de contacto

Como o mecanismo de desgaste que ocorre na corrente é por abrasão, como há deterioração de ambas as superfícies e como os componentes são de níveis de dureza bastante próximos, tudo indica que haja um agente externo com capacidades abrasivas que provoque esse dano.

Com base nesse pressuposto foram analisados resíduos provenientes de várias correntes usadas. Estas em serviço estão sujeitas aos mais diversos ambientes, as superfícies de contacto podem ser contaminadas com poeiras, água e lama, juntamente com o óleo de lubrificação e partículas provenientes do desgaste.

Para o estudo das condições a que as correntes estão sujeitas em serviço foram analisadas as partículas contidas em várias correntes, cerca de 10, usadas em ciclismo de competição. As correntes foram seleccionadas de forma a que se englobassem todos os tipos de ambiente.

Para fazer a análise das partículas as correntes foram limpas por ultra-sons, em banho de isopropanol. A solução obtida foi filtrada em vácuo em sucessivas filtrações,

progressivamente com peneiros mais finos, de forma a poderem analisar-se as diferentes dimensões de partículas.

Os peneiros foram observados no microscópio óptico (ver anexo I (1)) e no microscópio electrónico de varrimento (ver anexo I (3)).

Da observação concluiu-se que as partículas têm geometria angular relativamente uniforme, com dimensão típica inferior a 150 µm.

Da análise da composição química das partículas distinguem-se partículas provenientes do desgaste dando origem aos picos de difracção do ferro níquel zinco molibdénio e alumínio e partículas provenientes do meio ambiente, com especial incidência para o carbonato de cálcio e a sílica.

O deslizamento das partículas externas aliado à sua elevada dureza, relativamente aos aços que compõem os componentes provoca abrasão por micro-corte nas superfícies de contacto.

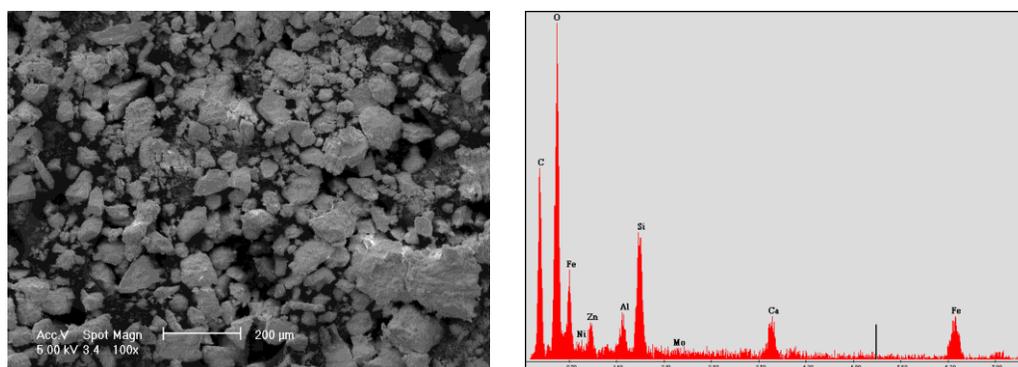


Figura 15 – Morfologia das partículas e composição química

3.2.3 Proposta de tipo de ensaio com base na análise das condições de contacto

Para simular em laboratório o dano que ocorre em serviço nas correntes é essencial estudar o movimento relativo dos elos durante o engrenamento.

A posição relativa das placas internas e dos pinos ao longo do percurso que fazem é nominalmente estacionária no percurso entre as rodas, contudo no instante de engrenamento com as diferentes rodas dentadas, as placas têm de rodar sobre os pinos para se ajustarem ao raio de curvatura da roda dentada e uma rotação inversa acontece no instante de desengrenamento.

Assim o movimento relativo das placas internas sobre os pinos pode considerar-se de oscilação angular alternativa.

Para efectuar os ensaios em laboratório vai-se considerar que o movimento relativo entre a placa e o pino é um movimento alternativo sinusoidal, equação (1).

$$\chi = A \times \sin(\omega \times t) \quad (1)$$

A amplitude (A) do movimento relativo das placas interiores é directamente relacionável com o número de dentes onde a corrente está a engrenar.

Na transmissão de uma bicicleta em cada volta uma placa engrena na roda dentada dianteira na roda dentada traseira e nas rodas dentadas do desviador.

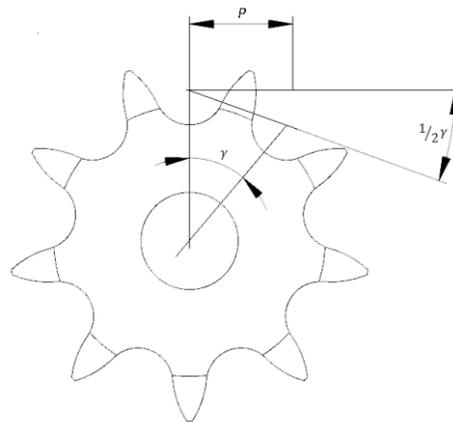


Figura 16 – Representação esquemática do ângulo de rotação de um elo

Da análise da figura 16, verifica-se que quanto menor for o número de dentes maior será a amplitude de rotação das placas internas relativamente aos pinos. (Branco, et al., 2005)

$$\gamma = \frac{2 \times \pi}{\text{número de dentes}} \quad (2)$$

$$A = \frac{1}{2} \times \gamma \times r_{\text{pino}} \quad (3)$$

Como se pretende simular o desgaste em condições o mais desfavoráveis possível, escolheu-se a roda dentada com menor número de dentes para servir como base ao cálculo da amplitude de rotação, que no caso das bicicletas de estrada tem 11 dentes.

Com 11 dentes a amplitude de rotação das placas internas em relação ao pino é de aproximadamente 0,52 milímetros.

É necessário definir também a que velocidade se dá a rotação das placas em relação ao pino, para isso é necessário estimar uma velocidade típica da progressão do atleta. Como as correntes em estudo são correntes de estrada, destinadas a alta competição escolheu-se uma velocidade média de progressão, de 40 km/h.

Como as bicicletas de estrada têm rodas com 28 polegadas de diâmetro quando a bicicleta se desloca com uma velocidade de 40 km/h, as rodas rodam 4,97 voltas por segundo, tal como as rodas dentadas, que estão solidárias à roda traseira, se o atleta for a pedalar.

O módulo da velocidade é dado pela derivação da equação do movimento relativo sinusoidal, equação (4).

$$|\dot{\chi}| = |A \times \omega| \quad (4)$$

Contudo o valor eficaz da velocidade é que determina o parâmetro de velocidade no ensaio e este é dado pela expressão (5)

$$\dot{\chi}_{rms} = 0,707 \times A \times \omega \quad (5)$$

Calculando com base nas suposições impostas anteriormente a velocidade eficaz é de 0,006 metros por segundo. No ensaio o valor eficaz da velocidade deverá ser também 0,006 metros por segundo para replicar o funcionamento real.

Na corrente o contacto entre as placas internas e o pino é um contacto do tipo cilindro contido num furo cilíndrico, contudo, usar essa geometria exige que haja um tolerânciamento geométrico mais apertado para garantir que o contacto ocorre em toda a superfície cilíndrica. Além disso, como a superfície de contacto é relativamente elevada, não há possibilidade de executar os ensaios usando como provetes as próprias placas. Assim escolheu-se para geometria de contacto a usar nos ensaios esfera sobre plano, em que se utiliza a parte plana das placas interiores contra uma esfera de aço com 10 milímetros de diâmetro. Com esta geometria de contacto conseguem atingir-se os valores de pressão máxima requeridos com cargas menores e não é exigido um tolerânciamento geométrico tão apertado.

Surge então a necessidade de se calcular a carga a aplicar na esfera para igualar as pressões máximas atingidas na corrente em serviço.

No caso de o contacto ser cilindro contido num furo cilíndrico o valor máximo de pressão é dado pela expressão (6).

$$\text{Max } \sigma_c = 0,798 \sqrt{\frac{p}{K_D \times C_E}} \quad (6)$$

Em que:

$$p = \frac{P_1}{L} \quad (7)$$

$$K_D = \frac{D_1 D_2}{D_1 - D_2} \quad (8)$$

$$C_E = \frac{1 - \nu_1^2}{E_1} + \frac{1 - \nu_2^2}{E_2} \quad (9)$$

No caso de o contacto ser esfera sobre plano o valor máximo de pressão é dado pela expressão (10).

$$\text{Max } \sigma_c = 0,918 \sqrt[3]{\frac{P_2}{K_D^2 \times C_E^2}} \quad (10)$$

Em que:

$$K_D = D_2 \quad (11)$$

$$C_E = \frac{1 - \nu_1^2}{E_1} + \frac{1 - \nu_2^2}{E_2} \quad (12)$$

Para que se obtenha o mesmo dano os valores de pressão máximos têm de ser iguados, assim na expressão seguinte determina-se o valor da carga a aplicar na esfera para produzir dano semelhante ao das correntes em serviço.

A esfera utilizada para a realização dos ensaios é uma esfera de têmpera total com valores de dureza média de 890 HV-0,5. Optou-se por esferas desta dureza para que as tivesse características semelhantes às dos pinos.

$$0,798 \sqrt{\frac{p}{K_D \times C_E}} = 0,918 \sqrt[3]{\frac{P_2}{K_D^2 \times C_E^2}} \quad (13)$$

$$\left(\frac{0,798 \sqrt{\frac{p}{K_D \times C_E}}}{0,918} \right)^3 \times K_D^2 \times C_E^2 = P_2 \quad (14)$$

Fazendo os cálculos para as dimensões e características mecânicas das correntes em causa, nos ensaios tem de aplicar-se uma carga de 0,235 N para que se gerem pressões máximas semelhantes às produzidas nas correntes.

Tabela 1 – Comparação da situação real com a situação experimental

	Real	Laboratório
Tipo de contacto	Cilindro contido num furo cilíndrico	Esfera sobre plano
Tipo de movimento	Oscilação angular	Movimento alternativo sinusoidal
Pressão de contacto	[0; 1053[MPa	1669, 1779, 1870 MPa
Amplitude	[0,108;0,518] mm	1 mm
Velocidade (rms)	6 mm/s	6 mm/s
Agentes externos	Óleo, água, ferro, níquel zinco, molibdénio, alumínio, Carbonato de cálcio, sílica	Óleo, sílica
Dimensão das partículas	< 150 µm	≈ 43µm
Efeito	Abrasão	Abrasão

Em suma, o principal objectivo dos ensaios em laboratório é simular o mecanismo de dano que ocorre em serviço. A tabela (1) refere as diferenças e semelhanças entre a situação real e os ensaios experimentais realizados.

Apesar do tipo de contacto ser diferente, numa perspectiva global essa diferença não influencia o efeito pretendido, uma vez que foi feita a conversão das pressões máximas de contacto.

As pressões máximas de contacto foram obtidas através das equações (6) a (12) (Roark, 1975) e correspondem às pressões máximas, no início do ensaio, em que o contacto é do tipo

esfera sobre superfície plana. Com o decorrer do ensaio, com o desgaste, quer da esfera, quer da placa, as pressões diminuem substancialmente, daí a utilização de pressões iniciais consideravelmente mais elevadas do que as que podem conseguir-se na corrente.

A amplitude do ensaio é muito superior à amplitude máxima que pode obter-se numa transmissão. Contudo esta discrepância de amplitude não induz alterações nos mecanismos de dano. O valor eficaz da velocidade foi mantido igual.

Como agente externo usou-se sílica pelo facto de ter propriedades abrasivas capazes de provocar dano semelhante ao que ocorre em serviço e de ser o abrasivo predominante que foi identificado na peritagem das correntes.

As placas internas têm um rácio volume área de superfície muito baixo o que lhe confere especificações de tratamento térmico muito singulares e além disso pretende-se incluir no estudo placas internas provenientes de outras marcas concorrentes existentes no mercado. Estas duas razões levaram a que se procurasse que o ensaio fosse feito directamente nas placas produzidas e não em provetes como é convencional.

3.2.4 Estudo preliminar

Para a validação da técnica de simulação fizeram-se vários ensaios com diferentes valores de carga normal e com diferentes tempos de ensaio para estudar a influência destes na análise do desgaste. Foram para esse efeito feitos cinco diferentes tipos de ensaios conforme está resumido na tabela (2).

Tabela 2 – Cargas e tempos dos ensaios prévios

Carga (N)	Tempo (min.)	Severidade (m.N)
2,0	30	36
1,5	60	54
2,0	60	72
2,5	60	90
2,0	120	144

Repetiram-se todos os ensaios com três misturas abrasivas diferentes, de forma a quantificar a influência do lubrificante no desgaste. Usou-se para composição da mistura abrasiva 4 gramas de sílica “*Ref. SS 160*”, com um diâmetro médio de 43 micrómetros e 3 mililitros de óleo, em que se usou óleo *SAE 80w-90*, óleo “*FINISH LINETM*” um óleo

tipicamente usado na manutenção de correntes de bicicleta e lubrificante de corrente denominado “*Gleitmo*” da marca “*FUCHS*”.

Os resultados dos ensaios preliminares foram tratados utilizando uma metodologia que será convenientemente descrita no capítulo quatro. Verificou-se que o volume removido varia linearmente com o produto da distância pela carga e que é consideravelmente afectado pela natureza do lubrificante.

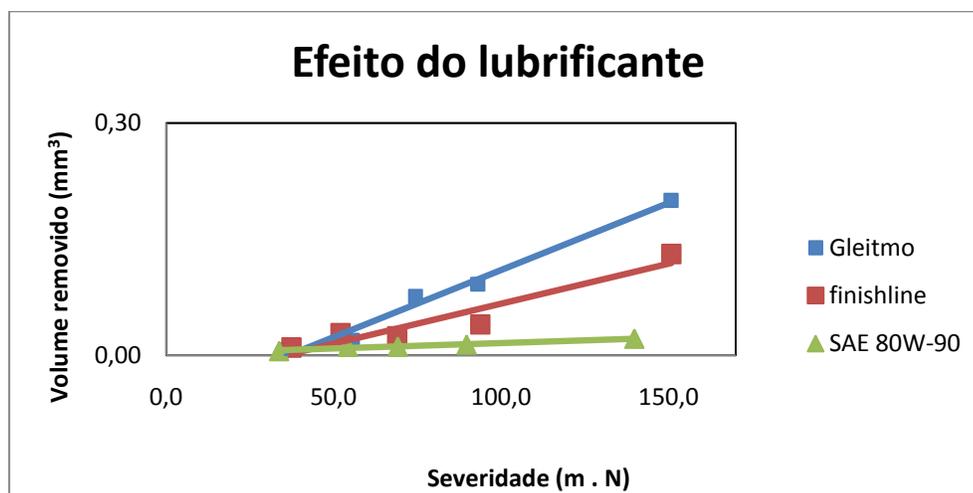


Figura 17 – Influência da natureza do lubrificante

Analisaram-se as superfícies dos ensaios e compararam-se com as superfícies dos componentes das correntes testadas em condições de serviço e constatou-se que o mecanismo de falha é em ambos os casos abrasão fina.

Foram feitas análises com 3 óleos distintos de modo a ter-se percepção da influência destes no desgaste, contudo optou-se por utilizar para os ensaios de comparação de materiais um óleo que está actualmente disponível no mercado das bicicletas e que é bastante utilizado por ciclistas.

3.3 Protocolo de ensaio

A execução dos ensaios com rigor e precisão é muito importante, para permitir minimizar os erros aleatórios e sistemáticos inerentes a este tipo de ensaio.

- 1 - Antes de fazer o ensaio a amostra e a esfera devem estar limpas e isentas de óxidos.

2 - Definir os parâmetros para o ensaio, que neste caso serão uma amplitude de um milímetro, uma frequência de 15,7 radianos por segundo (que corresponde a aproximadamente 150 rotações por minuto). A força normal e o tempo de ensaio variam consoante o ensaio que está a realizar-se.

3 - Fazer a montagem da esfera e da placa no equipamento de ensaio alternativo (ver anexo I (5)). Assegurar que a superfície da placa de teste está a altura que garanta que o movimento da esfera é horizontal. Verificar se na área de contacto existem defeitos locais que comprometam o teste. Assegurar-se sempre que a esfera e a placa a testar estão bem fixados.

4 - Limpar a esfera e a amostra no final de estarem bem montadas e alinhadas e colocar o agente abrasivo no contacto, garantindo que este foi agitado de forma a ficar uma mistura homogénea.

5 - Ligar o transdutor que mede a força de atrito. Assegurar que a esfera e a placa não estão em contacto e colocar o transdutor em zero (no equipamento utilizado este procedimento é feito automaticamente pelo programa de aquisição de dados e controlo).

6 - Com cuidado, colocar a esfera em contacto com a amostra. Ligar o transdutor que mede a força normal e colocá-lo em zero assegurando que nesse momento não está a exercer qualquer força. Ajustar a deformação da mola de forma a aplicar a força normal pretendida.

7 - Permitir que a esfera e a amostra fiquem em equilíbrio térmico com o equipamento.

8 - Anotar a hora de início do teste, a humidade e a temperatura. Ao longo do teste verificar se não há variações bruscas de humidade e temperatura.

9 - No final do teste anotar o número total de ciclos. Limpar os resíduos das superfícies com papel de limpeza. Com cuidado retirar as amostras sem tocar na área de contacto

10 - Na esfera, a superfície desgastada terá forma nominalmente circular, medir dois diâmetros perpendiculares entre si e anotar (ver anexo I (2)).

11 - Inspeccionar a esfera e a amostra com uma ampliação mínima de 10 vezes e anotar todas as observações, principalmente, se o mecanismo de desgaste é o esperado.

12 - Quantificação do desgaste.

12.1 - Volume de material removido da placa.

Limpar a amostra, fixá-la bem no equipamento de micro topografia (ver anexo I (4)) e fazer as medições segundo os procedimentos requeridos para o equipamento. Anotar o volume.

12.2 - Volume de material removido da esfera.

Como a superfície de desgaste da esfera não é um círculo perfeito a fórmula para o cálculo aproximado do volume é a seguinte:

$$V = \frac{\pi \times a^3 \times b}{4 \times R} \quad (15)$$

Em que, $2a$ representa o diâmetro mínimo, $2b$ o diâmetro na perpendicular e R o raio da esfera.

3.4 Materiais estudados

O estudo do desgaste das placas internas de correntes de bicicleta de estrada foi feito em parceria com uma empresa fabricante de correntes da marca “SRAM®” que disponibilizou os elementos necessários à realização do estudo.

Os aços utilizados para o fabrico das placas internas têm limitações tecnológicas pelo facto de terem de ser utilizados aços com um alongamento à ruptura considerável para permitir deformações que permitam conformar as meias buchas. Por outro lado os aços empregues têm de ser aços temperáveis para garantir resistência mecânica que suporte o fim a que se destinam.

Os factos anteriores associados à ordem de grandeza da espessura requerida para o fabrico restringem muito as ofertas que se encontram no mercado.

As placas internas que são utilizadas no fabrico de correntes podem apresentar-se com dois tipos de acabamento superficial: podem ser polidas ou podem ter um revestimento de níquel.

Estes acabamentos que lhe são conferidos têm como principal objectivo alterar as correntes do ponto de vista estético, e no caso das peças niqueladas, melhorar as propriedades de resistência à corrosão.

O processo de polimento das placas ocorre após o tratamento térmico, por processos de polimento por vibração das placas conjuntamente com elementos abrasivos. Este processo que é denominado em ambiente industrial “bariagem”, termo que será adoptado daqui em diante no texto, confere às placas uma diminuição ligeira da rugosidade, um aspecto polido e remove-lhe arestas e rebarbas que possam ter sido geradas no processo de fabrico.

As placas que têm um acabamento com um revestimento de níquel ficam com um aspecto brilhante, característico do níquel. O revestimento de níquel é depositado nas placas electroliticamente.

Pelo facto de existirem placas niqueladas e bariadas houve necessidade de conhecer a espessura de níquel que as placas têm de forma a analisar a influência do revestimento no volume de material removido.

Para determinar a espessura de niquelagem foram feitos ensaios de “*ball-cratering*” em 5 placas.

O ensaio consiste em ter uma esfera de aço, com 1 polegada de diâmetro a rodar a 80 rotações por minuto, e a placa encosta à esfera com uma carga de 20 gramas. Foi utilizado como abrasivo pasta de diamante. A duração do ensaio depende da espessura do revestimento. No presente estudo efectuaram-se ensaios correspondentes a 40 rotações da esfera.

Esta metodologia de ensaio provoca na placa uma cratera em forma de calote esférica. A superfície ensaiada foi atacada quimicamente de forma a aumentar o contraste entre o substrato e o níquel.

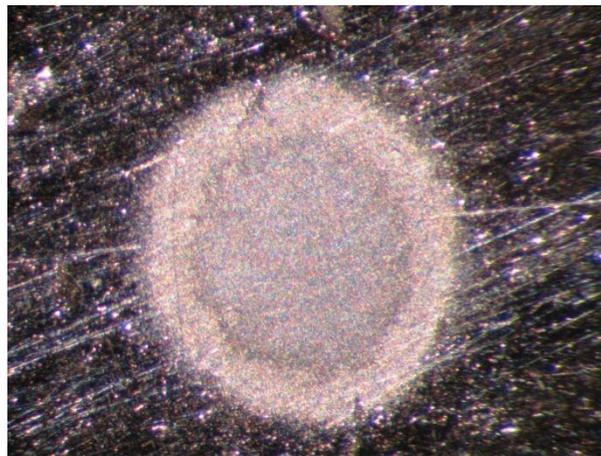


Figura 18 – Vista de cima da cratera provocada num ensaio de “ball-cratering”

Como se pode verificar na figura 18, é facilmente detectável a zona da calote correspondente à espessura de níquel. Por esse facto, foram feitas medições no microscópio de medição, mais especificamente, duas medições perpendiculares entre si do diâmetro exterior e do diâmetro interior da camada de níquel.

Construiu-se uma tabela de forma a organizar os dados medidos.

Tabela 3 – Raios do revestimento de níquel

Teste	Exterior (<i>a</i>)	Interior (<i>b</i>)	Espessura (mm)
1	0,503	0,320	0,0059
2	0,492	0,307	0,0058
3	0,504	0,285	0,068
4	0,501	0,320	0,0058
5	0,494	0,318	0,0057

Para o cálculo da espessura de níquel que cada placa tem depositado foi calculado o valor médio das medições perpendiculares de cada material e dividido por 2 de forma a obter o raio, como é apresentado na tabela 3.

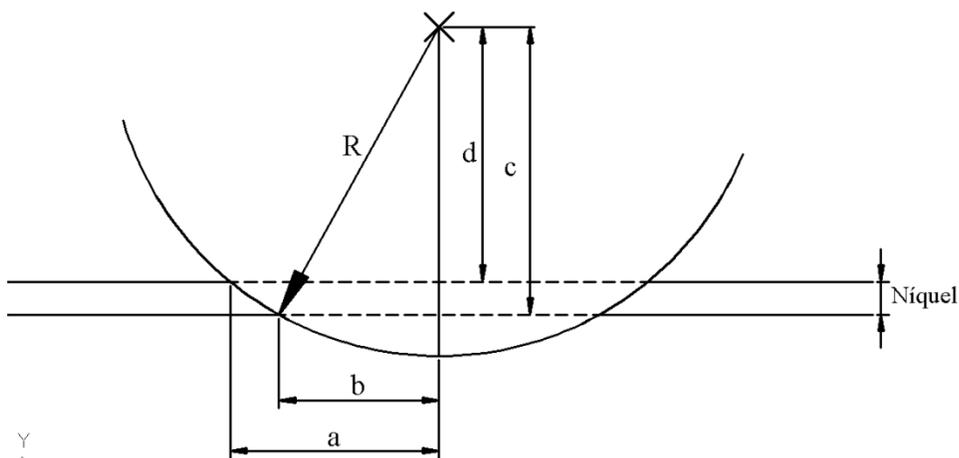


Figura 19 – Esquema da remoção de material por “Ball-cratering”

$$c^2 + b^2 = R^2 \Leftrightarrow c = \sqrt{R^2 - b^2}$$

$$d^2 + a^2 = R^2 \Leftrightarrow d = \sqrt{R^2 - a^2}$$

$$E_{\text{níquel}} = c - d \tag{16}$$

Com a aplicação das fórmulas anteriores obtiveram-se valores de espessura média de níquel de 6,0 micrómetros.

Por questões de simplicidade e por questões de filosofia de trabalho optou-se por numerar os aços estudados de 1 a 12.

Tabela 4 – Materiais estudados

Numeração	Aço	Superfície	Dureza média (HV)
1	C22	Bariada	489
2	C22	Niquelada	477
3	<i>SHIMANO</i> [®]	Niquelada	560
4	<i>CAMPAGNOLO</i> [®]	Bariada	541
5	22 Mn B5	Bariada	512
6	22 Mn B5	Niquelada	502
7	C35	Niquelada	525
8	C35	Bariada	519
9	C22	Niquelada	477
10	27 Mn Cr B5-2	Niquelada	492
11	51 Cr V4	Niquelada	524
12	51 Cr V4	Bariada	534

O material (9) corresponde ao material de série da marca *SRAM*[®], niquelado e será utilizado como material de referência no estudo de comparação das propriedades tribológicas.

Os materiais (3) e (4) correspondem a soluções utilizadas por fabricantes concorrentes e foram introduzidas com o objectivo de fazer um estudo de benchmarking.

Os materiais (5), (6), (7), (8), (10), (11) e (12) constituem 4 alternativas possíveis à situação actual.

CAPÍTULO QUATRO

4 Apresentação dos resultados e discussão

4.1 Procedimento utilizado para comparação dos resultados

Pelo facto de terem sido realizados cerca de 160 ensaios, que correspondem a aproximadamente 227 horas de ensaio, e porque cada ensaio dá origem a uma quantidade de informação significativa, foram realizadas folhas de registo para anotar os elementos relevantes de cada ensaio (Ver anexo II (1)). Nessas folhas de registo associado à informação de cada ensaio fica armazenada a amostra ensaiada, para que se necessário no futuro, possa ser novamente analisada.

Para quantificar a resistência ao desgaste por abrasão dos diferentes materiais foram feitas duas abordagens distintas, uma abordagem segundo o modelo proposto por Archard e uma abordagem energética.

Archard propôs em 1950 que o volume removido por desgaste num sistema tribológico é proporcional ao rácio entre o produto da carga normal aplicada pelo deslocamento e a dureza do material em causa, equação (17). (Archard, 1953)

$$V \propto \frac{N \times \chi}{H} \quad (17)$$

$$V = K \times \frac{N \times \chi}{H} \quad (18)$$

De facto K é um parâmetro constante para cada material num dado sistema tribológico que depende das propriedades do material e das características do sistema tribológico.

Posteriormente, H Czichos, propôs que, se K é uma constante do material e H também, estas constantes fossem agrupadas e definiu um novo parâmetro (k), habitualmente designado por taxa específica de desgaste. (Czichos, et al., 1992)

$$V = k \times (N \times \chi) \quad (19)$$

O produto da carga normal pela distância percorrida não é mais do que a severidade de desgaste já definida anteriormente.

A abordagem energética é uma abordagem fisicamente mais realista do que o modelo de Archard e que relaciona o volume removido por desgaste num sistema tribológico com o trabalho realizado pela força de atrito.

Considerando o modelo de atrito de Amontons – Coulomb, equação (20), a força de atrito pode ser substituída pela força normal. (Ramalho, et al., 2005)

$$F = \mu \times N \quad (20)$$

$$V = k \times \frac{F}{\mu} \times \chi \quad (21)$$

Mais uma vez, como μ é um parâmetro que está directamente relacionado com os materiais e com o sistema tribológico pode ser também englobado no parâmetro K que ficará deste modo definido como K_{at} .

$$V = k_{at} \times W_{F.at} \quad (22)$$

Das equações anteriores, verifica-se que o volume V é uma função do produto de uma constante por uma variável de ordem 1, esta definição representa a descrição matemática da equação da recta no plano.

$$y = m \times x \quad (23)$$

Com base no facto anterior foram realizados ensaios com varias severidades, para que o cálculo dos parâmetros k e k_{at} se baseasse no declive das rectas obtidas por regressão linear a partir dos pontos obtidos experimentalmente.

Para o tratamento dos dados obtidos nos ensaios em paralelo às folhas de registo, foi elaborado um ficheiro Excel™ para cada material onde foram calculados os parâmetros essenciais, como se apresenta a seguir particularmente para o material (9).

Material 9				Esferas			Amostras				
	Ensaio	Normal (N)	Ciclos	Medidas		Volume (mm ³)	VL (mm ³)	χ (m)	N . χ	coef. A.	E. max.
				xx	yy						
				1	2,0						
2	1,5	9331	1,268	1,291	0,0536	0,0198	37,3	56,0	0,19	10447,9	
3	2,0	9302	1,271	1,316	0,0569	0,0142	37,2	74,4	0,19	14041,2	
4	2,5	9467	1,389	1,387	0,0728	0,0148	37,9	94,7	0,18	16381,6	
5	1,5	18229	1,623	1,594	0,1291	0,0390	72,9	109,4	0,19	21247,8	
6	2,0	16226	1,69	1,636	0,1453	0,0440	64,9	129,8	0,19	24398,6	
7	2,0	18674	1,748	1,673	0,1607	0,0540	74,7	149,4	0,21	30185,8	

Figura 20 – Exemplo de tabela de tratamento de dados

Para o estudo dos materiais há necessidade de calcular a distância do movimento relativo de oscilação, para esse efeito, como se conhece o número de oscilações efectuadas em cada ensaio, para conhecer a distância percorrida basta fazer o produto da distância por oscilação pelo número de oscilações.

$$\chi = n_{oscilações} \times 4 \times A \quad (24)$$

A severidade imposta em cada ensaio calcula-se através do produto da distância pela carga aplicada.

O volume removido na esfera é calculado de forma aproximada com base na equação (15) e o volume removido na amostra plana é medido recorrendo a um rugosímetro laser 3D (ver anexo I (4)).

Assim, confrontando os valores de severidade com o volume removido na esfera num gráfico obtém-se a evolução do desgaste em função da severidade.

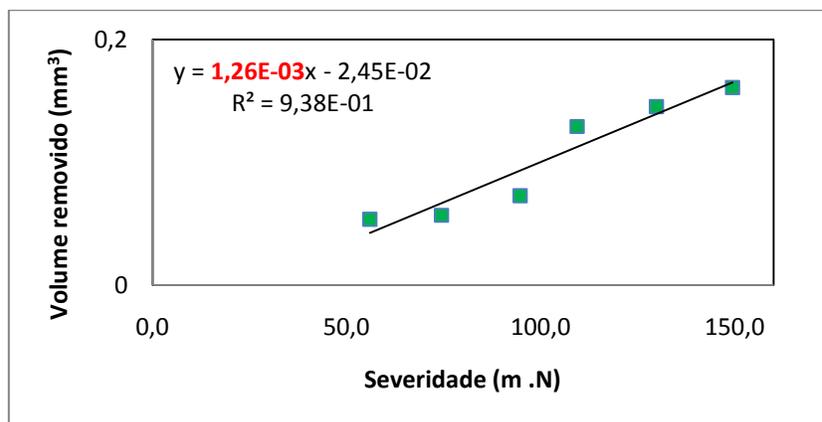


Figura 21 – Gráfico de obtenção do k associado à esfera

Obtém-se o valor de k [mm³/N.m] que é representado pela inclinação da recta de regressão linear associada aos pontos obtidos nos ensaios.

De forma semelhante faz-se o estudo do volume removido nas placas em função da severidade e de facto, é este parâmetro de k que será utilizado para a comparação do comportamento das placas em análise

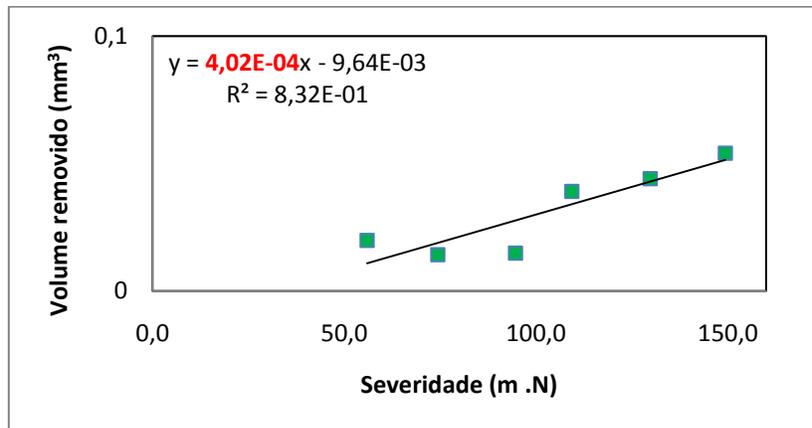


Figura 22 – Gráfico de obtenção de k associado às placas

Associado ao parâmetro k que relaciona a severidade com o volume removido na placa foi calculado o desvio padrão para um intervalo de confiança de 90% utilizando métodos convenientemente discutidos por A. Ramalho. (Ramalho, 2009)

Na realidade dos factos o valor de k não se pode definir só pela recta de regressão linear, associado a essa recta está um intervalo de confiança pelo facto de os pontos obtidos nos ensaios não corresponderem a uma correlação perfeita inerente à natureza aleatória dos resultados dos ensaios.

Além disso, era de esperar que a recta de regressão interceptasse a origem do referencial, tal facto não acontece essencialmente devido a fenómenos de rodagem inicial nos ensaios. (Ramalho, 2009)

Foi ainda feita uma análise que relaciona o volume removido com a energia dissipada por atrito obtendo-se uma taxa de específica de desgaste baseada na energia, k_{at} . (Ramalho, 2009) (Ramalho, et al., 2005)

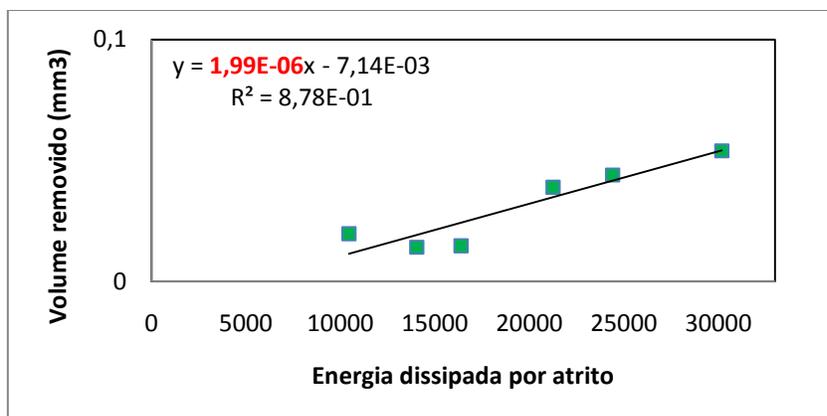


Figura 23 – Gráfico de obtenção de k_{at} associado às placas

4.2 Definição e justificação dos tempos e cargas de ensaio

Para a determinação da resistência ao desgaste dos diferentes aços optou-se por alterar alguns tempos de ensaio relativamente aos ensaios realizados para a validação do processo para que as rectas de regressão linear associadas a cada aço tivessem melhor definição.

Optou-se pelos seguintes tempos e cargas para os ensaios a realizar para os diferentes aços:

Tabela 5 – Cargas e tempos de ensaio

Carga (N)	Tempo (min.)	Severidade (m.N)
2,0	30	36
1,5	60	54
2,0	60	72
2,5	60	90
1,5	120	108
2,0	105	126
2,0	120	144

Na tabela anterior, a severidade está directamente relacionada com o desgaste a que as superfícies de contacto irão estar sujeitas. A severidade é um parâmetro que quantifica a “insistência” com que se promove o desgaste, isto é, quanto maior for a carga normal aplicada e a distância relativa de movimento maior será a quantidade de material removido.

O facto que levou à escolha de várias cargas e vários tempos de ensaio foi melhorar a precisão de cálculo das constantes k e k_{at} . Como aqueles parâmetros são definidos como sendo

o declive das rectas associadas aos materiais, se tivessem sido utilizadas cargas que conduzissem a severidades muito próximas obtinha-se uma nuvem de pontos, mais ou menos dispersa dando origem a elevados valores de desvio padrão.

O objectivo de fazer variar as cargas e os tempos de ensaio foi principalmente, obter pontos em zonas distintas para ter uma regressão linear associada bem definida, mas, por um lado tentar que não se fizesse variar a carga demasiado para não comprometer a simulação e por outro lado, não utilizar tempos de ensaio demasiado longos que comprometessem o tempo disponível para a realização de todos os ensaios pretendidos em tempo útil.

4.3 Comparação dos materiais

O estudo de comparação que pretende fazer-se aos materiais tem 4 objectivos definidos, o primeiro consiste em comparar os aços (3), (4) e (9) de forma a quantificar a posição da *SRAM*[®] relativamente aos concorrentes directos.

O segundo consiste em verificar se o efeito de niquelagem influencia a performance tribológica dos diferentes aços.

O terceiro objectivo consiste em comparar os aços de série bariados e niquelados, com aços novos, em fase de teste de forma a estudar alternativas mais eficientes.

Tabela 6 – Valores de k e k_{at} para os diferentes materiais

Material	k esfera	k placa	k_{at} placa
1	$1,61 \times 10^{-3}$	$5,79 \times 10^{-4} \pm 7,68 \times 10^{-5}$	$2,80 \times 10^{-6}$
2	$1,36 \times 10^{-3}$	$3,81 \times 10^{-4} \pm 1,51 \times 10^{-5}$	$1,97 \times 10^{-6}$
3	$1,07 \times 10^{-3}$	$4,37 \times 10^{-4} \pm 1,62 \times 10^{-5}$	$2,27 \times 10^{-6}$
4	$1,11 \times 10^{-3}$	$3,20 \times 10^{-4} \pm 1,35 \times 10^{-5}$	$1,77 \times 10^{-6}$
5	$1,65 \times 10^{-3}$	$4,80 \times 10^{-4} \pm 1,75 \times 10^{-5}$	$2,15 \times 10^{-6}$
6	$1,46 \times 10^{-3}$	$4,12 \times 10^{-4} \pm 9,34 \times 10^{-6}$	$1,89 \times 10^{-6}$
7	$1,61 \times 10^{-3}$	$6,29 \times 10^{-4} \pm 1,97 \times 10^{-5}$	$2,89 \times 10^{-6}$
8	$1,64 \times 10^{-3}$	$5,60 \times 10^{-4} \pm 3,15 \times 10^{-5}$	$2,71 \times 10^{-6}$
9	$1,26 \times 10^{-3}$	$4,02 \times 10^{-4} \pm 1,20 \times 10^{-5}$	$1,99 \times 10^{-6}$
10	$9,91 \times 10^{-4}$	$3,01 \times 10^{-4} \pm 5,04 \times 10^{-6}$	$1,65 \times 10^{-6}$
11	$1,61 \times 10^{-3}$	$1,30 \times 10^{-4} \pm 5,77 \times 10^{-8}$	$8,82 \times 10^{-7}$
12	$1,61 \times 10^{-3}$	$2,38 \times 10^{-4} \pm 3,97 \times 10^{-6}$	$1,50 \times 10^{-6}$

4.3.1 Comparação de benchmarking

Um dos objectivos do estudo é comparar as capacidades tribológicas de um aço de série com o qual são fabricadas placas internas pela *SRAM*[®] com aços com os quais são fabricadas placas internas de outras marcas concorrentes directas.

Como se pode verificar no gráfico seguinte as placas internas provenientes de correntes fabricadas pela *SHIMANO*[®] (material 3) têm capacidades tribológicas da mesma ordem de grandeza das placas fabricadas pela *SRAM*[®], (material 9) contudo as placas internas fabricadas pela *CAMPAGNOLO*[®] (material 4) revelam-se com melhores propriedades tribológicas do que ambas as anteriores.

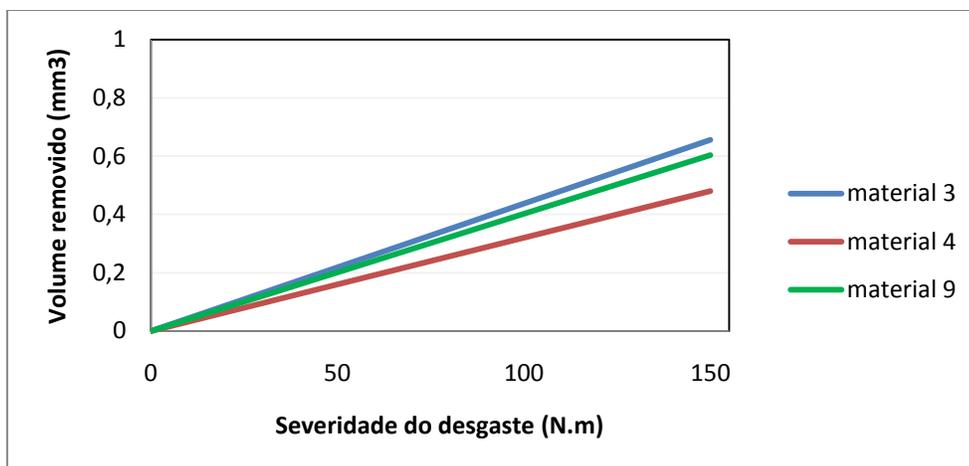


Figura 24 – Gráfico da posição relativa dos aços dos diferentes fabricantes.

Como pode verificar-se na tabela 7 as placas da *SHIMANO*[®] e *SRAM*[®] têm uma diferença inferior a 10% em desgaste, enquanto as placas da *CAMPAGNOLO*[®] têm menos 20% de desgaste relativamente às da *SRAM*[®] e menos 29% de desgaste relativamente às da *SHIMANO*[®].

Tabela 7 – Posição relativa dos materiais dos diferentes fabricantes

Material	k	$k/k_{(9)}$
3	$4,37 \times 10^{-4}$	109%
4	$3,20 \times 10^{-4}$	80%
9	$4,02 \times 10^{-4}$	100%

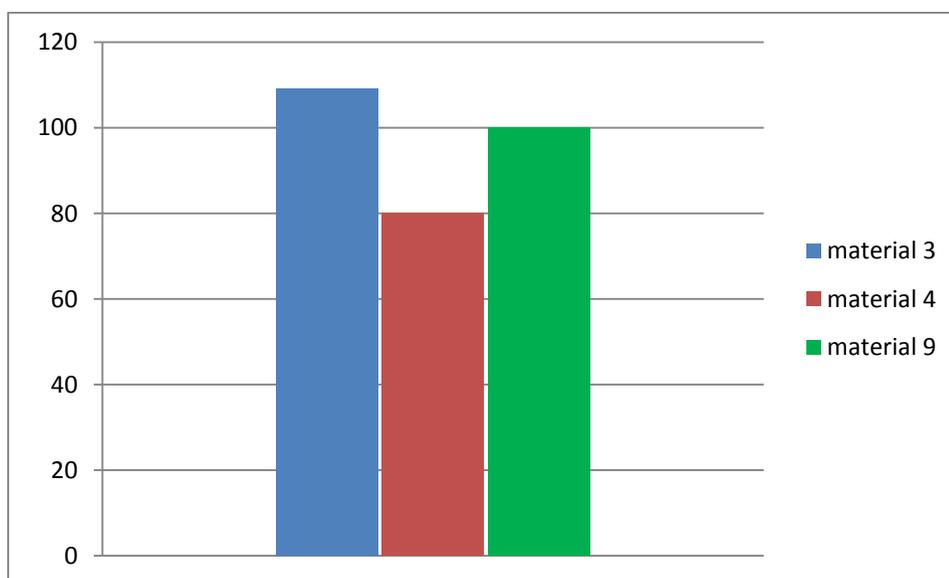


Figura 25 – Gráfico de barras da posição relativa dos aços dos diferentes fabricantes.

4.3.2 Estudo da influência do revestimento nas capacidades tribológicas

Na análise dos diferentes materiais, estes foram analisados, sempre que possível, com acabamento bariado e niquelado, para que pudesse caracterizar-se a influência do acabamento superficial nas capacidades tribológicas.

Tabela 8 – Comparação da influência do revestimento

Material	Aço	Superfície	Dureza média (HV 0,5)	K
5	22 Mn B5	Bariada	512	$4,80 \times 10^{-4} \pm 1,75 \times 10^{-5}$
6		Niquelada	502	$4,12 \times 10^{-4} \pm 9,34 \times 10^{-6}$
7	C35	Niquelada	525	$6,29 \times 10^{-4} \pm 1,97 \times 10^{-5}$
8		Bariada	519	$5,60 \times 10^{-4} \pm 3,15 \times 10^{-5}$
11	51 Cr V4	Niquelada	524	$1,30 \times 10^{-4} \pm 5,77 \times 10^{-8}$
12		Bariada	534	$2,38 \times 10^{-4} \pm 3,97 \times 10^{-6}$

Da análise da tabela 8r verifica-se que quanto à resistência ao desgaste nada pode concluir-se relativamente ao revestimento superficial, pelo facto de no aço 22 Mn B5 e no aço 51 Cr V4, as peças niqueladas apresentarem melhores propriedades tribológicas enquanto no material C35 suceder o contrário. A tabela 8 permite ainda verificar que para a carga utilizada (4,905 N) não se detectou variação de dureza significativa entre as placas polidas e niqueladas.

4.3.3 Comparação de aços alternativos ao de série (Bariados)

Na comparação dos materiais que se constituem como alternativas ao actual, apesar de não se ter concluído nada relativamente ao efeito do revestimento nas propriedades tribológicas das placas, optou-se por subdividir os materiais candidatos a alternativa ao material de série em dois grupos, aços alternativos em que o acabamento superficial é bariado e aços alternativos em que o acabamento superficial é niquelado.

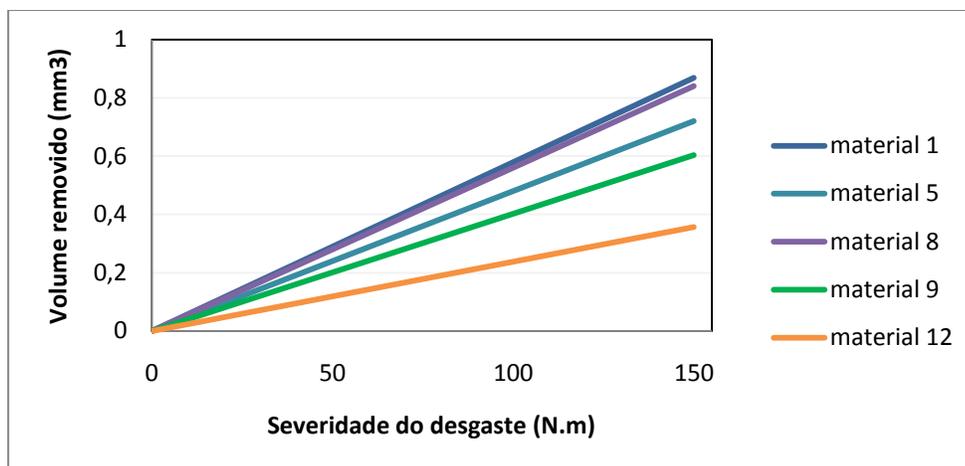


Figura 26 – Gráfico da posição relativa de aços alternativos (bariados).

Tabela 9 – Posição relativa de aços alternativos (bariados).

Material	k	$k/k_{(9)}$
1	$5,79 \times 10^{-4}$	144%
5	$4,80 \times 10^{-4}$	119%
8	$5,60 \times 10^{-4}$	139%
9	$4,02 \times 10^{-4}$	100%
12	$2,38 \times 10^{-4}$	59%

Como pode verificar-se, quer da análise dos gráficos quer da análise da tabela 9, a única alternativa, relativamente a propriedades tribológicas, ao material de série, é o material (12), que representa uma diminuição de 41% no desgaste.

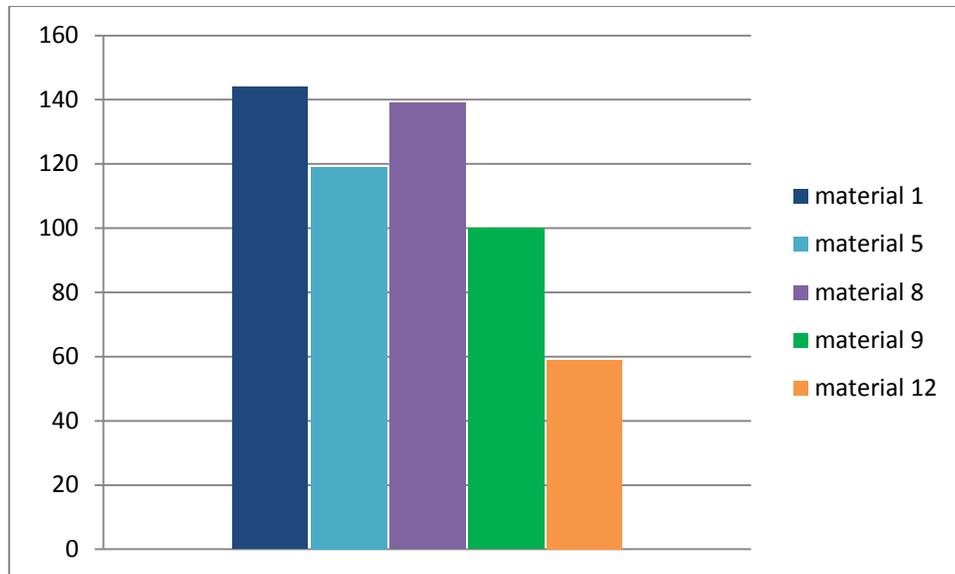


Figura 27 – Gráfico de barras da posição relativa de aços alternativos (bariados).

4.3.4 Comparação de aços alternativos ao de série (Niquelados)

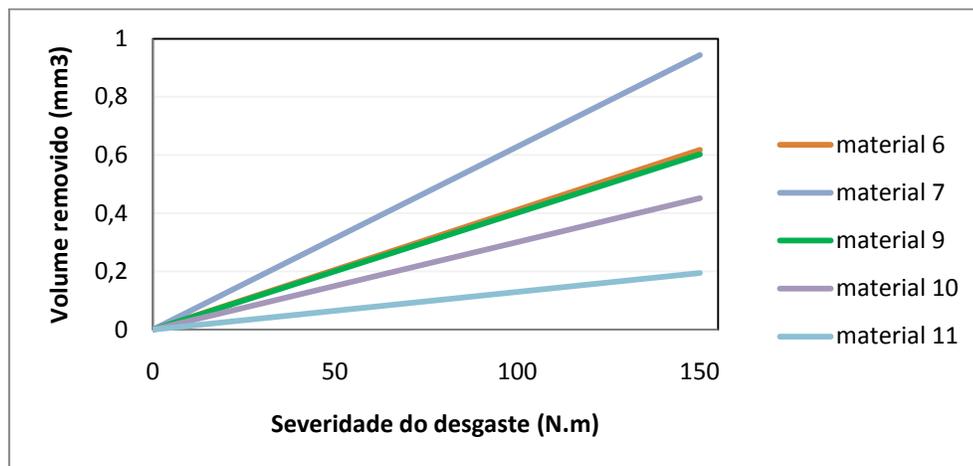


Figura 28 - Gráfico da posição relativa de aços alternativos (niquelados).

Como pode verificar-se o material (10) e (11) constituem alternativas ao material de série, sendo que com o material (10) consegue-se uma melhoria na ordem de 25% menos de desgaste enquanto com o material (11) consegue-se uma melhoria na ordem de 68% menos de desgaste.

Tabela 10 – Posição relativa dos aços alternativos (niquelados)

Material	k	$k/k_{(9)}$
6	$4,12 \times 10^{-4}$	102%
7	$6,29 \times 10^{-4}$	156%
9	$4,02 \times 10^{-4}$	100%
10	$3,01 \times 10^{-4}$	75%
11	$1,30 \times 10^{-4}$	32%

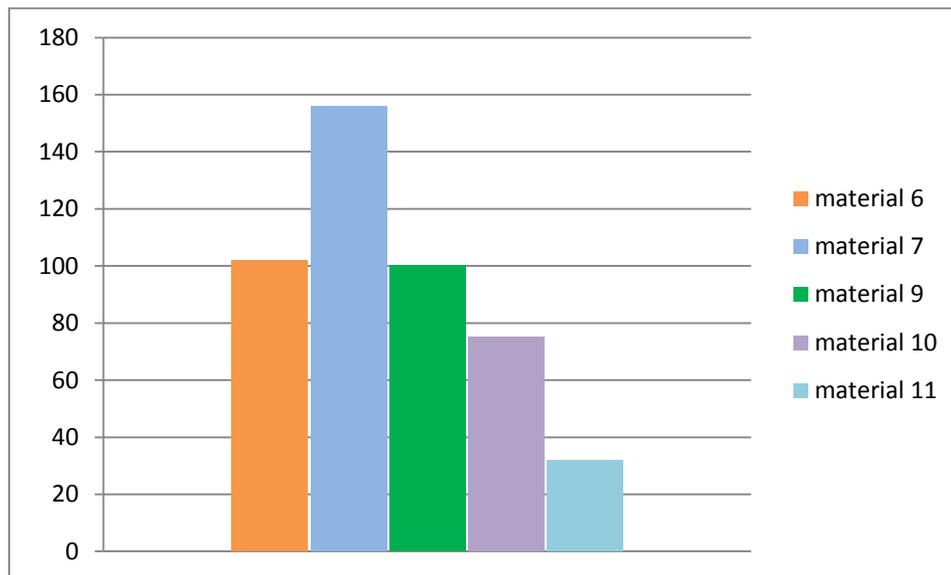


Figura 29 – Gráfico de barras da posição relativa de aços alternativos (niquelados).

Concluindo, com base nos ensaios realizados, os materiais que constituem melhorias significativas das propriedades tribológicas são o aço 51 Cr V4 (material (11) e (12))

4.3.5 Estudo pormenorizado do material (10)

Pelo facto do material (10) ser um dos principais candidatos a possível alternativa ao aço de série e pelo facto dos processos de têmpera associados ao fabrico destas placas estarem em fase de estudo vai fazer-se uma análise mais exaustiva às suas propriedades tribológicas.

O estudo que vai fazer-se procura responder se de facto com a optimização dos processos de têmpera há melhorias generalizadas.

Como este aço é um aço que tem crómio como elemento de liga as especificações de têmpera são muito singulares e diferentes das utilizadas no processo normal de fabrico. Como

o processo adoptado é diferente do aplicado no processo produtivo, estas placas não puderam ser temperadas no forno contínuo utilizado na produção em série. Por esse facto as peças temperadas sofreram uma descarbonização superficial que lhe induziu uma diminuição superficial da dureza. Com a diminuição superficial da dureza as propriedades tribológicas ficam comprometidas.

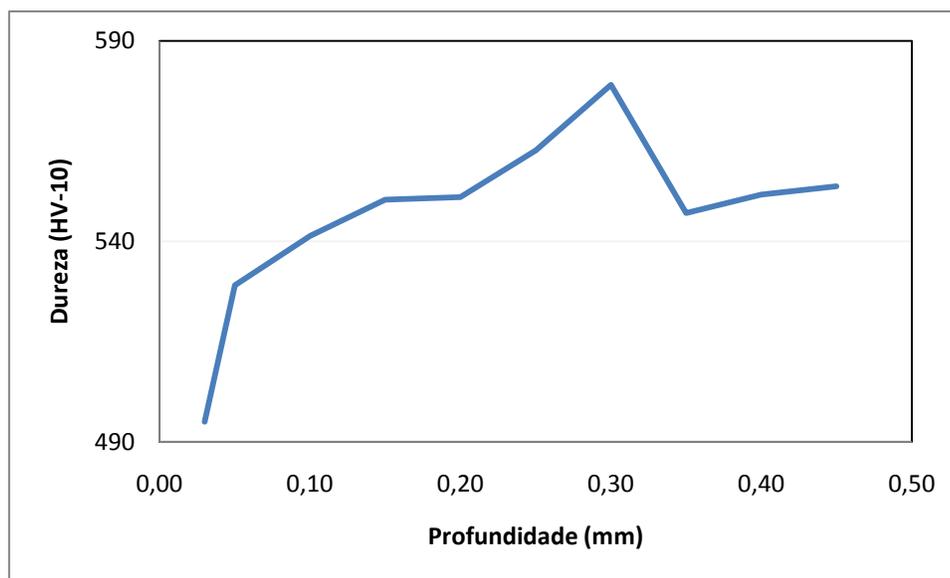


Figura 30 – Gráfico da evolução da dureza com a profundidade

Para verificar a evolução da dureza nas placas foi realizado um perfil de dureza ao longo da espessura das placas, que como pode constatar-se no gráfico da figura 30 aumenta consideravelmente no interior da secção das placas.

Assim, efectuaram-se ensaios em zonas mais interiores das placas. Para a realização dos ensaios foram desbastadas placas para que os ensaios fossem realizados numa superfície mais dura.

As placas ensaiadas foram desbastadas de forma a remover aproximadamente 0,15 milímetros de espessura, que como se pode verificar no gráfico da evolução da dureza já corresponde a valores de dureza consideravelmente superiores e da ordem de grandeza que era esperado que se obtivessem em toda a placa.

Tabela 11 – Posição relativa dos aços alternativos

Material	k	$k/k_{(9)}$
4	$3,20 \times 10^{-4}$	80%
9	$4,02 \times 10^{-4}$	100%
10	$3,01 \times 10^{-4}$	75%
10 (desbastadas)	$1,30 \times 10^{-4}$	32%

Como pode verificar-se o material (10) é o material que induz melhorias mais significativas no que respeita a propriedades tribológicas, correspondendo a um ganho de 68% na redução do desgaste, relativamente ao material (9) e um ganho de 48% na redução do desgaste, relativamente ao material (4).

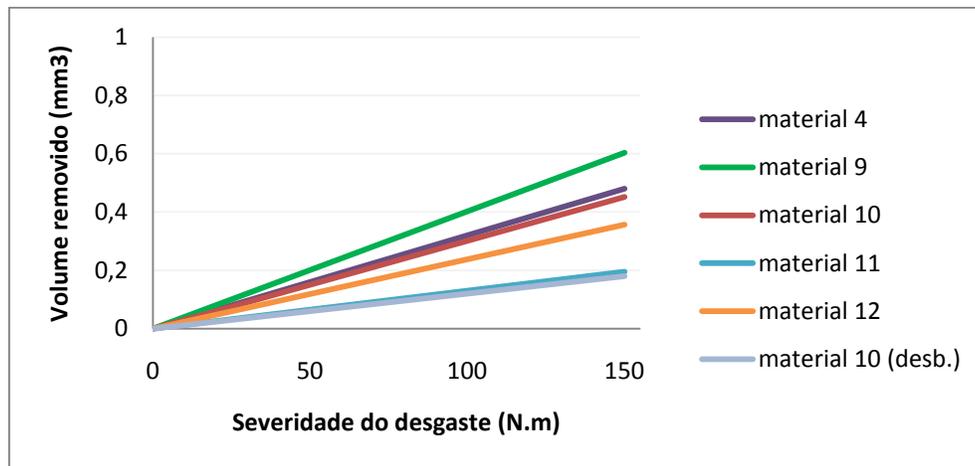


Figura 31 – Gráfico comparativo dos aços alternativos

Em suma, o material (10), (11) e (12) constituem alternativas viáveis ao material de série, conferindo performances tribológicas muito superiores aos concorrentes directos.

A distinção da escolha entre os materiais (10), (11) e (12) prender-se-á com questões inerentes à tecnologia de produção, e questões de custos da matéria-prima.

Os resultados obtidos permitiram verificar que quer a percentagem de carbono quer a incorporação de elementos de liga se traduzem beneficemente no incremento da resistência ao desgaste. A figura 32 apresenta um esquema onde se realça a importância cruzada da percentagem de elementos de liga com o efeito positivo na resistência ao desgaste (Zum-Ghar, 1987) e da percentagem de carbono.

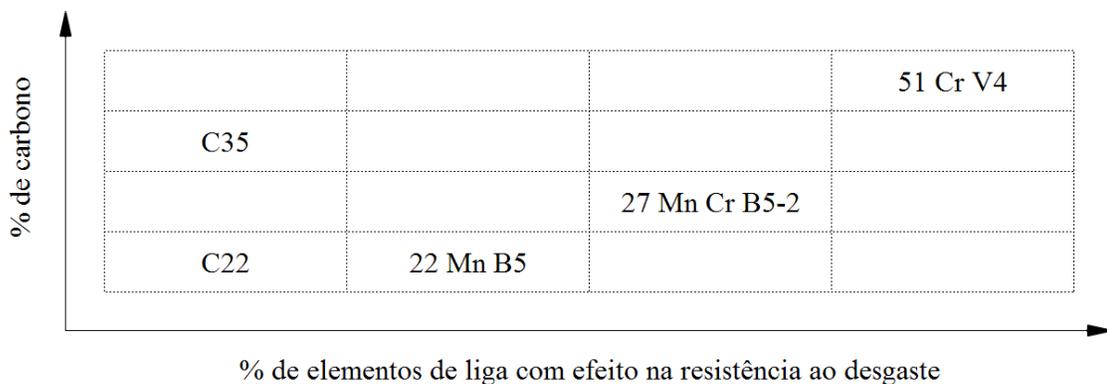


Figura 32 – Representação esquemática do efeito da percentagem de carbono e da percentagem de elementos de liga

De facto a microestrutura dos diferentes aços não é muito diferente pois em todos os casos as placas foram temperadas e revenidas apresentando microestruturas de martensite revenida.

A comparação dos resultados obtidos com o aço C22 (materiais 1, 2 e 9) e o aço C35 (materiais 7 e 8) permite concluir que a adição de carbono não foi eficiente na melhoria das propriedades. De facto o tratamento térmico foi feito em forno contínuo com atmosfera enriquecida em carbono, à custa da adição de propano, o que indicia que o teor de carbono superficial não deve ser muito distinto em ambas as situações.

Este efeito resulta ainda mais acentuado quando verificamos que os aumentos mais significativos de resistência só foram obtidos à custa d adição de elementos de liga, especialmente o crómio e o vanádio, tabela 12.

Tabela 12 – Composição química dos aços ligados

	C	Mn	Cr	V	B
22 Mn B5	0,22	1,1	---	---	0,002
27 Mn Cr B5-2	0,27	1,2	0,3	---	0,002
51 Cr V4	0,51	---	1,1	0,12	---

O efeito da adição de boro é difícil de avaliar. Contudo os resultados parecem indicar que o enriquecimento em carbono parece só por si ser suficiente para garantir um endurecimento eficiente, esta conclusão resulta da comparação dos resultados obtidos com o material 9, com aqueles que se verificaram para os materiais 5 e 6. Todavia foram obtidos resultados excelentes com o material 10, e atendendo a que o tratamento térmico não foi feito com atmosfera rica em carbono (como é revelado no perfil de durezas da figura 30) parece que

a acção conjunta da adição de crómio e boro se revelou eficaz quando a percentagem de carbono de partida era de 0,27%.

CAPÍTULO CINCO

5 Modelo de previsão

5.1 Introdução e objectivo do modelo

O objectivo do modelo de previsão é estabelecer um modelo matemático de fácil utilização que estabeleça a relação entre os resultados obtidos em laboratório com os resultados de alongamento obtidos no terreno, de forma a poder evidenciar-se qual a relação entre a resistência ao desgaste em serviço de um material e os valores de k ou k_{at} obtidos em laboratório.

Este modelo relaciona o volume de material removido com o alongamento da corrente, permitindo estimar a evolução do alongamento.

A ideia base é muito simples, em laboratório, como foi explicitado atrás, calcula-se a resistência ao desgaste exprimida pela taxa específica de desgaste. Com essa propriedade do material, conhecendo a carga a que a corrente está sujeita e relacionando o volume que possa ser removido com o alongamento pode estimar-se o número de voltas que a corrente terá de dar nessas condições para atingir um determinado alongamento.

Pode ainda obter-se o contrário, isto é, sabendo a carga que o atleta imprime na corrente e sabendo os quilómetros percorridos pode estimar-se o volume de material removido na corrente e por sua vez, calcular o alongamento que esta adquiriu.

5.2 Base de desenvolvimento do modelo

5.2.1 Assumpções de partida

1. O alongamento da corrente resulta do desgaste das articulações pino – placa interna; esta assumpção baseia-se na análise do funcionamento dos elos e na análise da influência das diferentes superfícies desgastadas no alongamento. Com base em informações recolhidas nas peritagens feitas em correntes usadas.

2. O desgaste das articulações pino – placa interna ocorre nos instantes de engrenamento e desengrenamento com as diferentes rodas dentadas; esta assumpção baseia-se no facto da posição relativa das placas internas e dos pinos ser nominalmente estacionária no percurso entre as rodas dentadas só havendo movimento relativo nos instantes de engrenamento e desengrenamento.

3. O desgaste do pino foi considerado nulo; esta assumpção está de acordo com informações recolhidas por peritagens a correntes desgastadas e deve-se ao facto de que a generalidade dos modelos de corrente da *SRAM*[®] terem pinos cromizados, logo têm um revestimento de superfície muito duro.

4. Considerou-se que os diâmetros do pino e dos furos das placas internas podem, para efeitos de cálculo da área de secção considerar-se nominalmente iguais.

5. Admitiu-se que a força exercida por um atleta nos pedais impunha à corrente uma tensão de 300N, através da relação da força média que o atleta faz com a relação de alavancas entre os pedais e as rodas dentadas.

6. Admitiu-se que a força média exercida pelo desviador é de 30N.

7. Admitiu-se, para a aplicação do modelo de atrito, que o coeficiente de atrito na corrente é o medido nos ensaios laboratoriais, na parte estável do ensaio para os respectivos materiais; esta assumpção baseia-se no facto do coeficiente de atrito só depender da natureza dos materiais envolvidos.

5.2.2 Relações geométricas e cálculo do volume

O tipo de contacto entre o pino e a placa interna é um contacto cilíndrico, e com o aumento do desgaste e do alongamento a largura de contacto mantém-se aproximadamente

constante. Como a largura se mantém constante a relação entre o volume removido e o alongamento está directamente relacionada com a área da secção desgastada que é representada na figura 33.

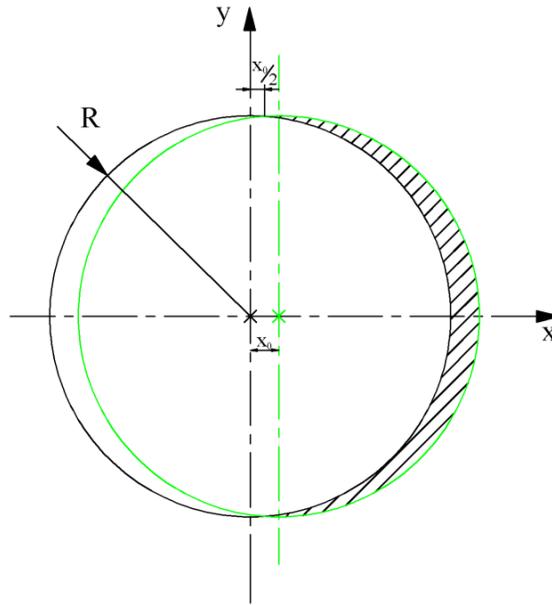


Figura 33 – Esquema da área de secção desgastada e do alongamento

$$(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 = R^2 \quad (25)$$

$$A = 2 \times \left(\int_{x_0/2}^R \sqrt{R^2 - (x - x_0)^2} - \sqrt{R^2 - x^2} dx + \int_R^{R+x_0} \sqrt{R^2 - (x - x_0)^2} dx \right) \quad (26)$$

Da substituição do valor de R por 1,84 milímetros, correspondente ao valor médio entre o raio do pino e o raio do furo da placa externa foi calculado o integral por processos numéricos para sucessivos valores para o alongamento (x_0). O tratamento dos resultados permitiu obter a expressão (27).

$$A = 2 \times R \times x_0 \quad (27)$$

$$V = 2 \times R \times x_0 \times L \quad (28)$$

$$x_0 = \frac{V}{2 \times R \times L} \quad (29)$$

Com a obtenção do alongamento de um elo em função do volume removido, pode assim estimar-se a vida útil de uma corrente fabricada num determinado aço.

5.2.3 Base do modelo

1. Os testes experimentais dão origem a:

a) Abordagem de Archard

$$k = \frac{V}{N \times \chi} \quad (30)$$

b) Abordagem energética

$$k_{at.} = \frac{V}{\sum F \times \chi} \quad (31)$$

2. As suposições de carga e de geometria consideradas à partida permitem calcular $N \cdot \chi$ do seguinte modo: a carga é conhecida e as distâncias de deslocamento relativo do pino e da bucha calculam-se com base na equação (3) para as diferentes zonas de rotação, como se pode verificar na figura (34).



Figura 34 – Detalhe dos pontos de engrenamento e desengrenamento

5.3 Modelos de previsão

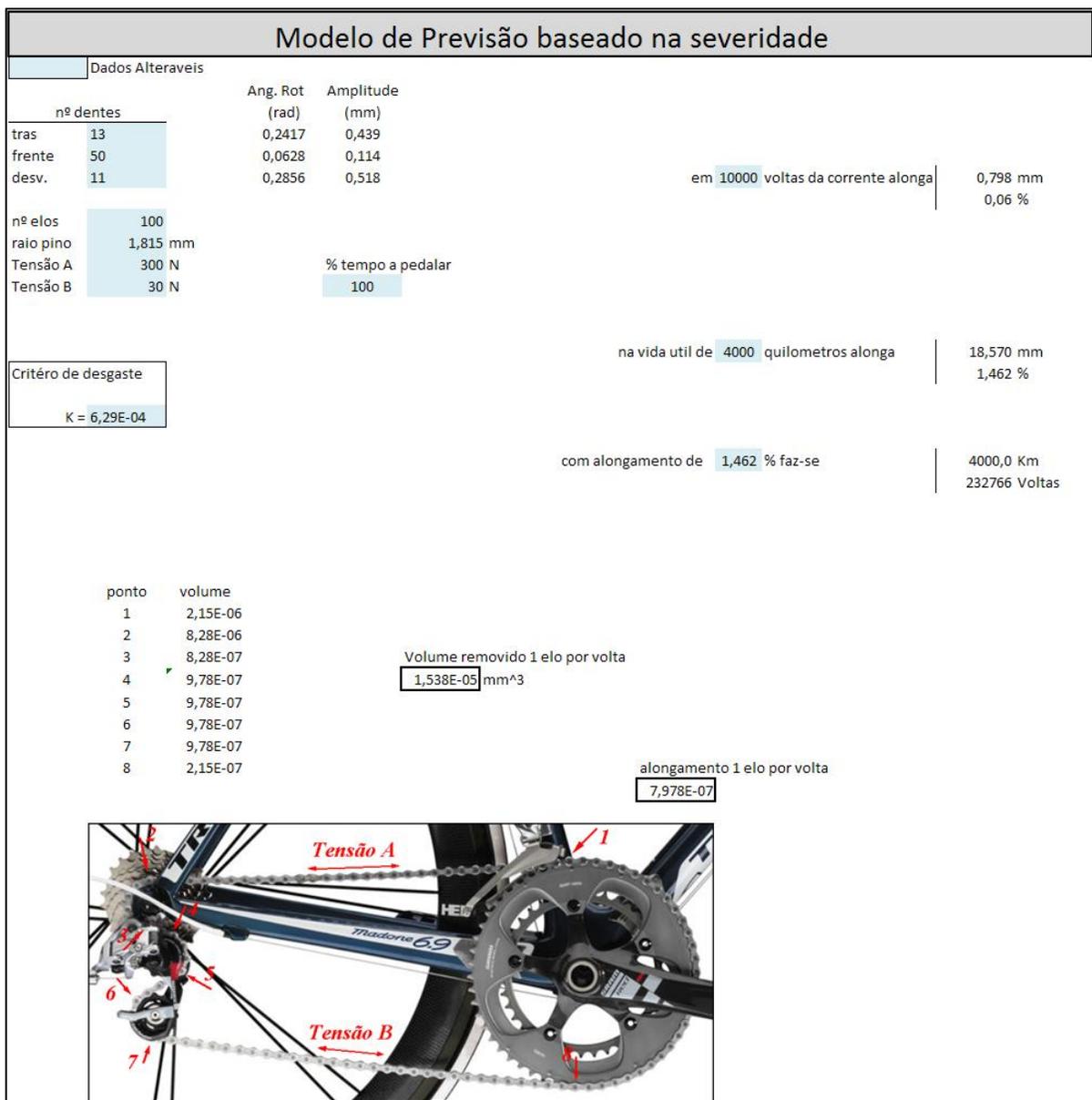


Figura 35 – Modelo de previsão segundo o modelo de Archard

Os modelos foram implementados no Microsoft® Office Excel™ para que possam alterar-se com facilidade os dados para poderem confrontar-se com resultados obtidos em serviço.

Em cada percurso completo um elo engrena e desengrena nas sucessivas rodas dentadas conforme está numerado. Assim sendo, num dado ponto como é conhecida a amplitude de rotação e como é assumida a carga que o atleta imprime, através dos critérios de desgaste pode

fazer-se uma estimativa da quantidade de material que é removido nesse ponto. Com o volume de material removido, como se conhece a geometria do contacto calcula-se o alongamento. O alongamento total da corrente numa volta será então a soma do alongamento de todos os elos que a compõem, sendo que o alongamento que um elo sofre por volta é a soma dos alongamentos elementares que este sofre em cada engrenamento e desengrenamento.

Os pontos de contacto designados na figura 34 pontos 1 e 2 estão sujeitos à carga que o atleta imprime na roda traseira enquanto os pontos 3 a 8 estão sujeitos à carga que o desviador imprime na corrente.

Definidos todos os parâmetros relativos à transmissão e aplicando o modelo de Archard (equação (19)), tem-se o volume removido num ponto de engrenamento por volta. Somando os volumes de desgaste dos 8 pontos tem-se o volume removido por elo por volta da corrente.

Com o volume de material removido, com a aplicação da equação (29) obtém-se o alongamento por elo, por volta da corrente.

Com o valor do alongamento por volta por elo basta multiplicar pelo número de voltas e pelo número de elos para ter o alongamento na vida pretendida. O modelo prevê também ajuste do perfil de condução do atleta, esse parâmetro é expresso em percentagem e denomina-se percentagem de tempo a pedalar.

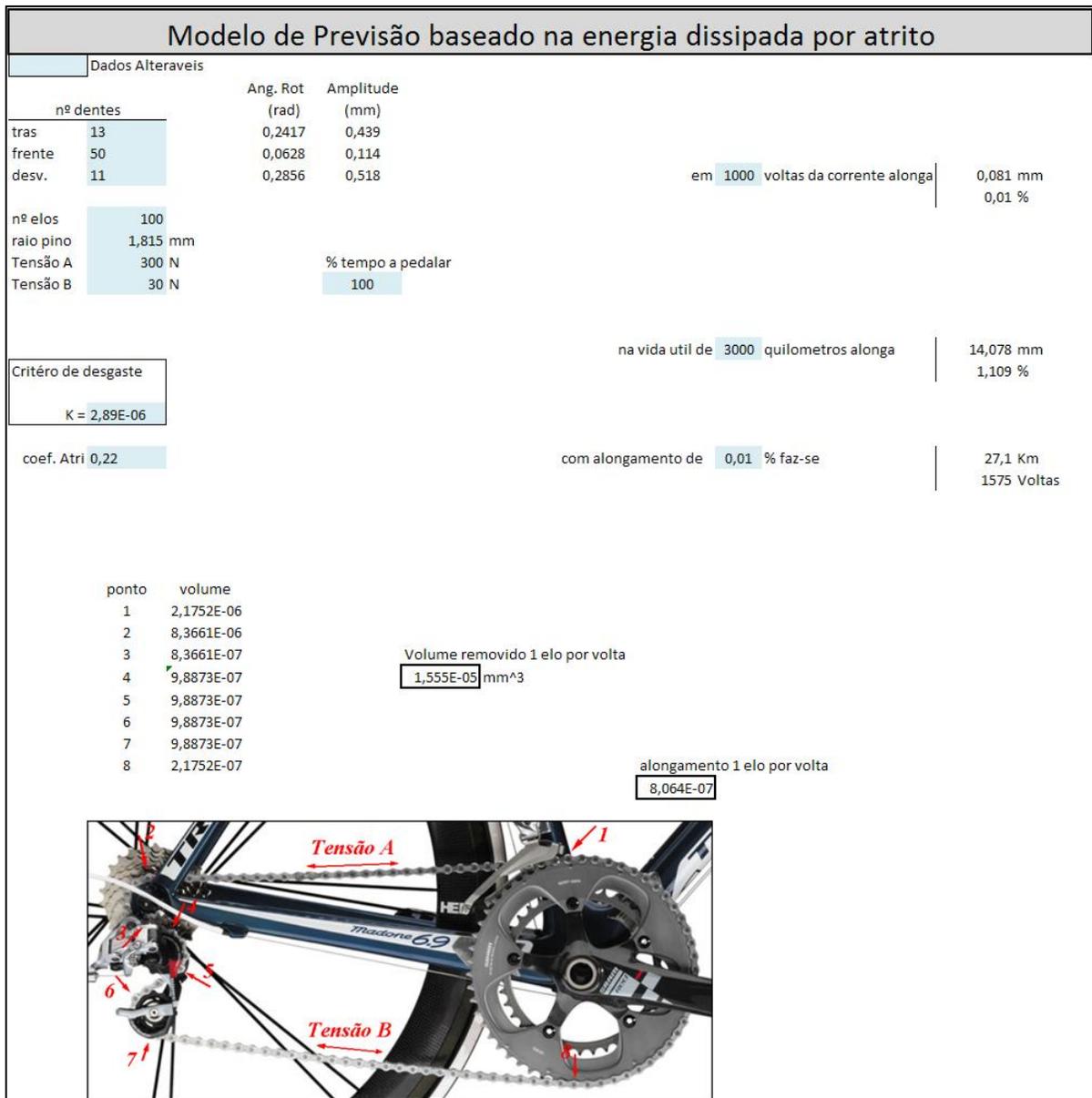


Figura 36 – Modelo de previsão segundo o modelo de atrito

O modelo de previsão baseado na energia dissipada por atrito é em tudo igual ao modelo baseado no modelo de Archard, mas neste caso a estimativa do volume removido baseia-se na equação (22) em que o coeficiente de atrito utilizado foi o medido nos ensaios. Este foi obtido como sendo a média da parte estável dos ensaios.

5.4 Aplicação dos modelos aos resultados obtidos em ensaios de campo

Na análise dos dados recolhidos no terreno verificou-se que a generalidade das correntes, independentemente dos aços de fabrico das placas, apresentava fenómenos de rodagem traduzidos num alongamento mais pronunciado nos 1000 quilómetros iniciais.

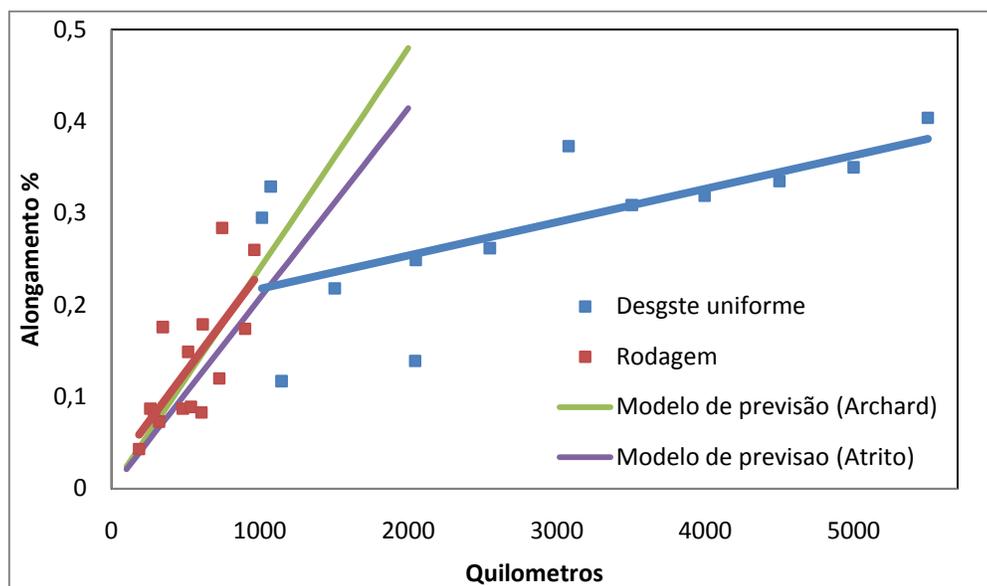


Figura 37 – Gráfico de confrontação de resultados (material (6)).

Como pode verificar-se, o gráfico da figura 36 confronta os dados obtidos no terreno com os resultados estimados a partir dos ensaios laboratoriais. Dos dados disponíveis obtidos no terreno, os que correspondiam a um maior número de atletas e a uma gama de quilómetros maior eram dados referentes ao material (6).

Da análise do gráfico verifica-se que os dados obtidos através do modelo de previsão baseado no modelo de Archard são semelhantes aos obtidos no modelo de previsão baseado no modelo de atrito, que por sua vez coincidem com os valores de desgaste das correntes durante a rodagem.

Conclui-se com isto, que os ensaios realizados representam o desgaste em serviço das correntes durante a rodagem.

Os testes laboratoriais parecem ser mais severos do que os ensaios de campo. Assim, este estudo carece de ser complementado para verificar a possibilidade de realizar ensaios melhor adaptados à descrição da fase de desgaste uniforme. Provavelmente a alteração da mistura abrasiva e/ou a pressão de contacto serão parâmetros a ter em conta nesse estudo.

CAPÍTULO SEIS

Conclusão

A transmissão de potência por corrente constitui a solução mais utilizada como transmissão e caixa de câmbio em bicicletas. No âmbito do presente trabalho foi realizada uma investigação com o objectivo de avaliar a resistência ao desgaste de correntes de bicicleta.

Nas correntes o principal factor que determina a vida útil é o alongamento provocado pela deterioração das superfícies de contacto dos componentes. Por peritagem de correntes tipo “*sedis*”, após terem atingido o limite de vida, identificou-se que o principal mecanismo de deterioração das superfícies é a abrasão, e que o alongamento das correntes é determinado essencialmente pelo desgaste abrasivo da articulação pino-placa interna

Nesta tese descreve-se um procedimento experimental que permitiu replicar em laboratório os mecanismos de dano que ocorrem em serviço nas correntes de transmissão de potência das bicicletas.

Com a metodologia de ensaio proposta podem obter-se performances tribológicas das placas internas constituintes da corrente. Os ensaios mostraram-se razoavelmente reprodutíveis.

- 1- A aplicação do procedimento de ensaio a vários materiais permitiu concluir que as correntes actualmente produzidas pela SramPort, Lda. estão ao nível dos principais concorrentes de mercado.
- 2- Verificou-se que existem aços laminados ligados que permitem aumentar significativamente as actuais performances.

3- Os resultados obtidos permitiram verificar que o aumento de performances consegue-se com o aumento concomitante do teor de carbono do aço e com a incorporação de elementos de liga que favorecem a formação de carbonetos, particularmente o crómio.

No âmbito do presente trabalho foi ainda desenvolvido um modelo de previsão que permite estimar o alongamento em serviço a partir dos resultados dos ensaios de laboratório. As estimativas do modelo revelaram uma óptima concordância com os resultados obtidos na fase de rodagem. Contudo os resultados do modelo revelam estimativas excessivas para a fase de desgaste uniforme. No futuro a metodologia experimental deverá ser reajustada com o objectivo de permitir informação relevante para descrever a fase de desgaste uniforme.

Bibliografia

- Archard, J. F. 1953.** *Contact and Rubbing of Flat Surface*. 1953.
- Branco, C. Moura, et al. 2005.** *Projecto de Órgãos de Máquinas*. Lisboa : Fundação Calouste Gulbenkian, 2005.
- Czichos, H. and Habig, K. 1992.** *Tribology Handbook Friction and Wear*. German : s.n., 1992.
- Hornbogen, E. and Gahr, K.-H. Zum. 1979.** *Metallurgical Aspects of wear*. Germany : s.n., 1979.
- J. Dekoster, U. Schollaert. 2000.** União Europeia. *União Europeia*. [Online] 2000. [Cited: Junho 1, 2009.] http://ec.europa.eu/environment/archives/cycling/cycling_pt.pdf.
- Julião, Jorge Manuel Soares. 1998.** *Projecto de transmissões por correntes de rolos com base nas curvas de alongamento*. Coimbra : s.n., 1998.
- Pequini, Suzi Mariño. 2000.** *A evolução tecnológica da bicicleta e suas implicações ergonómicas para a máquina humana*. Estrada das Barreiras S/N – Narandiba / Cabula : Editora e Laboratório de Impressão UNEB, 2000.
- Ramalho, A. 2009.** A reliability model for friction and wear experimental data. *wear*. 2009, wear.
- Ramalho, A. and Miranda, J. C. 2005.** The relationship between wear and dissipated energy in sliding systems. *Elsevier*. 2005, Vols. 260 (2006) 361–367, wear.
- Ramalho, Amílcar Lopes. 1994.** *Comportamento tribológico de filmes finos de W-Co-C*. Coimbra : s.n., 1994.
- Roark, Young &. 1975.** *Formulas for stress and strain*. s.l. : McGraw-Hill, 1975.
- Shop, Rydjour Bike. 2004.** Rydjour. *Rydjour*. [Online] Dezembro 22, 2004. [Cited: Maio 27, 2009.] <http://collection.rydjour.com/bikecollection/1940swiss.htm>.
- 2002.** Standard Test Method for Linearly Reciprocating Ball-on-Flat Sliding Wear. s.l. : ASTM, 2002. Vols. G 133 – 95 (2002).

Trezona, R.I., Allsopp, D. N. and Hutchings, I. M. 1999. Transitions between two-body and three-body abrasive wear: influence of test conditions in the microscale abrasive wear test. *Elsevier*. 1999, Vols. 225–229 (1999) 205–214, wear.

wikipedia. 2009. wikipedia. *wikipédia*. [Online] Maio 26, 2009. [Cited: Maio 27, 2009.] http://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:Bicycle_evolution-numbers.svg.

Zum-Ghar, K. H. 1987. *Microstructure and wear of materials*. s.l. : Elsevier, 1987.

ANEXOS

Anexo I

Equipamentos utilizados

1 Microscópio óptico

Microscópio óptico “NIKON STEREO PHOTO SMZ - 10” equipado com uma máquina fotográfica “Canon PowerShot A620” acoplada e com um equipamento de iluminação “INTRALUX 5000 - 1. Este conjunto permite observar os componentes com uma ampliação até 975 vezes.



Figura 38 – Microscópio óptico

2 Microscópio de medição

Microscópio óptico “Mitutoyo Toolmaker’s microscope”, de focagem manual, com uma ampliação de 15X com mira na lente. Este equipamento tem uma mesa XY accionada por micrómetros manuais, de medição digital, com uma precisão de 0,001 milímetros. Este sistema tem ainda acoplado um equipamento de iluminação da “Mitutoyo”.



Figura 39 – Microscópio de medição

3 Microscópio electrónico de varrimento

Microscópio da marca Philips[®] XL30 TMP com uma resolução máxima de $3,5 \times 10^{-9}$ metros, com uma tensão de aceleração de feixe de 30 KeV, com detector de electrões secundários e de electrões retrodifundidos e com análise por espectrometria de dispersão de energia (EDS) EDAX – Genesis XM2.



Figura 40 – Scanning electron microscope (SEM)

4 Rugosímetro laser 3D

Rugosímetro “Rodenstock RM600-3D” permite mapear topografias de superfícies tridimensionais com base num sensor óptico com laser infravermelho de focagem dinâmica. O ponto de focagem tem um diâmetro de aproximadamente 2 micrómetros. Este equipamento gera um ficheiro com os dados da topografia que depois são tratados num programa de AFM (Atomic Force Microscopy) “Gwyddion®” que permite melhorar as potencialidades de representação gráfica e obter o volume removido na placa.

Tabela 13 – Características do rugosímetro

Gama de medição vertical	Até $\pm 3 \times 10^{-4}$ metros
Resolução vertical	1×10^{-8} metros
Área de medição horizontal	0,1 x 0,1 m x m
Resolução horizontal	1×10^{-6} metros
Taxa de amostragem	2000 Hz, máxima
Velocidade máxima de medição	260 mm / min.
Velocidade máxima de posicionamento	800 mm / min.
Carga máxima	20 kg.
Área da mesa xy	0,185 x 0,185 m x m

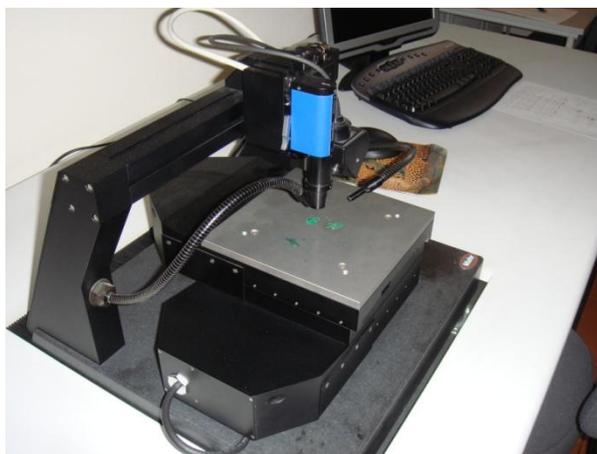


Figura 41 – Rugosímetro laser

5 Equipamento de ensaio alternativo

O equipamento de ensaio foi desenvolvido no Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Coimbra. Este equipamento tem como base de suporte de construção um torno mecânico com uma distância entre pontos de 350 milímetros e um diâmetro máximo de torneamento de 200 milímetros. Esta base tem como objectivo principal oferecer a rigidez necessária e ainda permitir deslocamentos de posicionamento nas direcções essenciais.

A velocidade de rotação e as rampas de aceleração e desaceleração da bucha são controladas por um variador de frequência. Apertado na bucha está um veio excêntrico com excentricidade fixa com um rolamento acoplado, que por sua vez tem acoplado um braço oscilante onde se fixa a esfera por aperto num furo cónico. Este acoplamento permite realizar o movimento oscilatório da esfera.



Figura 42 – Pormenor da montagem experimental

Solidário com o carro porta ferramenta está um rolamento linear que tem um atrito que pode considera-se desprezável. Na parte superior esse rolamento está montada uma base que serve de suporte às placas a testar. Esta base está fixa através de um veio roscado a uma célula de carga que mede os valores da força de atrito, a célula de carga está ligada a uma placa de aquisição de dados que permite que os dados sejam registados num computador.

Uma mola actua perpendicularmente ao braço oscilante na linha de acção da esfera de forma a imprimir a carga desejada no contacto. A carga pode ajustar-se por intermédio de um veio roscado e uma porca, para a medição da carga a mola exerce força apoiando-se numa célula de carga.

O equipamento tem ainda um sensor óptico associado a um contador digital que regista o número de oscilações efectuadas.

No computador, através de um programa desenvolvido para o efeito, realizado em Labview™ controlam-se parâmetros relativos ao ensaio, como o tempo de ensaio, o intervalo de aquisição de dados e o nome do ficheiro de registo. Do ensaio resulta um ficheiro onde ficam registados os tempos de aquisição, a força de atrito e a energia dissipada por ciclo.

A aquisição dos dados é subdividida em blocos de 60 segundos, nesses intervalos de 60 segundos o valor da força de atrito e o valor da energia dissipada corresponde ao seu valor eficaz (rms).



Figura 43 – Equipamento de ensaio alternativo

Com este equipamento os ensaios realizados cumprem as especificações impostas na norma ASTM G133 – 95. (2002)

Anexo II

Registos dos ensaios:

1 Folhas de registo

Durante a realização dos ensaios, por uma questão de organização houve necessidade de desenvolver folhas de registo para anotar todas as particularidades referentes aos diferentes ensaios. Nessas folhas são registados parâmetros relevantes, como a força normal, o número de ciclos executados, o diâmetro da superfície desgastada na esfera quer na direcção do movimento (xx) quer na direcção perpendicular (yy), é também registado o volume removido na placa, e apesar de não muito relevante pelo facto das peças em contacto estarem envolvidas pela mistura abrasiva é registada também a temperatura e a humidade no início de cada ensaio.

Além disso, em cada uma destas folhas, associado aos dados referentes a cada ensaio, fica colada a respectiva placa ensaiada, para que esta possa ser estudada no futuro, caso seja necessário.

Material: 1

Ensaio nº <u>1</u>	Data: <u>25-03-2009</u>	temp. <u>≈23</u>
Nome de ficheiro <u>ENSAIO_72</u>	Hora de início: <u>18:26h</u>	hum. <u>≈32</u>
Força Normal = <u>2,0</u> N	<u>27</u> Iterações	Esfereza
Nº Ciclos: <u>4602</u>	<input type="text" value="placa"/>	xx yy
Topografia		1,072 1,163
VL= <u>4,3</u> x10 ⁻¹²		
Ensaio nº <u>2</u>	Data: <u>26-03-2009</u>	temp. <u>≈22</u>
Nome de ficheiro <u>ENSAIO_75</u>	Hora de início: <u>13:55h</u>	hum. <u>≈33</u>
Força Normal = <u>1,5</u> N	<u>57</u> Iterações	Esfereza
Nº Ciclos: <u>9408</u>	<input type="text" value="placa"/>	xx yy
Topografia		1,320 1,347
VL= <u>13,3</u> x10 ⁻¹²		
Ensaio nº <u>3</u>	Data: <u>25-03-2009</u>	temp. <u>≈23</u>
Nome de ficheiro <u>ENSAIO_71</u>	Hora de início: <u>17:17h</u>	hum. <u>≈30</u>
Força Normal = <u>2,0</u> N	<u>57</u> Iterações	Esfereza
Nº Ciclos: <u>9428</u>	<input type="text" value="placa"/>	xx yy
Topografia		1,421 1,405
VL= <u>12,1</u> x10 ⁻¹²		
Ensaio nº <u>4</u>	Data: <u>24-04-2009</u>	temp. <u>≈</u>
Nome de ficheiro <u>ENSAIO_116</u>	Hora de início: <u>9:28h</u>	hum. <u>≈</u>
Força Normal = <u>2,5</u> N	<u>57</u> Iterações	Esfereza
Nº Ciclos: <u>9341</u>	<input type="text" value="placa"/>	xx yy
Topografia		1,303 1,341
VL= <u>11,9</u> x10 ⁻¹²		
Ensaio nº <u>5</u>	Data: <u>26-03-2009</u>	temp. <u>≈21</u>
Nome de ficheiro <u>ENSAIO_74</u>	Hora de início: <u>11:49h</u>	hum. <u>≈33</u>
Força Normal = <u>1,5</u> N	<u>117</u> Iterações	Esfereza
Nº Ciclos: <u>18897</u>	<input type="text" value="placa"/>	xx yy
Topografia		1,692 1,666
VL= <u>37,0</u> x10 ⁻¹²		
Ensaio nº <u>6</u>	Data: <u>15-04-2009</u>	temp. <u>≈19</u>
Nome de ficheiro <u>ENSAIO_91</u>	Hora de início: <u>13:55h</u>	hum. <u>≈49</u>
Força Normal = <u>2,0</u> N	<u>102</u> Iterações	Esfereza
Nº Ciclos: <u>16615</u>	<input type="text" value="placa"/>	xx yy
Topografia		1,791 1,669
VL= <u>48,0</u> x10 ⁻¹²		
Ensaio nº <u>7</u>	Data: <u>24-04-2009</u>	temp. <u>≈</u>
Nome de ficheiro <u>ENSAIO_117</u>	Hora de início: <u>10:40h</u>	hum. <u>≈</u>
Força Normal = <u>2,0</u> N	<u>117</u> Iterações	Esfereza
Nº Ciclos: <u>18584</u>	<input type="text" value="placa"/>	xx yy
Topografia		1,877 1,810
VL= <u>75,0</u> x10 ⁻¹²		

Material: 2

Ensaio nº <u>1</u>	Data: <u>24-03-2009</u>	temp. <u>≈21</u>
Nome de ficheiro <u>ENSAIO_66</u>	Hora de início: <u>14:19h</u>	hum. <u>≈35</u>
Força Normal = <u>2,0</u> N	<u>27</u> Iterações	Esfera
Nº Ciclos: <u>4728</u>	<input type="text" value="placa"/>	xx yy
Topografia		1,063 1,073
VL= <u>10,4</u> x10 ⁻¹²		
Ensaio nº <u>2</u>	Data: <u>24-03-2009</u>	temp. <u>≈20</u>
Nome de ficheiro <u>ENSAIO_64</u>	Hora de início: <u>11:01h</u>	hum. <u>≈35</u>
Força Normal = <u>1,5</u> N	<u>57</u> Iterações	Esfera
Nº Ciclos: <u>9396</u>	<input type="text" value="placa"/>	xx yy
Topografia		1,251 1,273
VL= <u>9,5</u> x10 ⁻¹²		
Ensaio nº <u>3</u>	Data: <u>24-03-2009</u>	temp. <u>≈20</u>
Nome de ficheiro <u>ENSAIO_63</u>	Hora de início: <u>9:24h</u>	hum. <u>≈34</u>
Força Normal = <u>2,0</u> N	<u>57</u> Iterações	Esfera
Nº Ciclos: <u>9439</u>	<input type="text" value="placa"/>	xx yy
Topografia		1,270 1,294
VL= <u>10,6</u> x10 ⁻¹²		
Ensaio nº <u>4</u>	Data: <u>23-04-2009</u>	temp. <u>≈</u>
Nome de ficheiro <u>ENSAIO_113</u>	Hora de início: <u>13:53h</u>	hum. <u>≈</u>
Força Normal = <u>2,5</u> N	<u>57</u> Iterações	Esfera
Nº Ciclos: <u>9404</u>	<input type="text" value="placa"/>	xx yy
Topografia		1,330 1,344
VL= <u>15,8</u> x10 ⁻¹²		
Ensaio nº <u>5</u>	Data: <u>23-04-2009</u>	temp. <u>≈</u>
Nome de ficheiro <u>ENSAIO_114</u>	Hora de início: <u>15:04h</u>	hum. <u>≈</u>
Força Normal = <u>1,5</u> N	<u>117</u> Iterações	Esfera
Nº Ciclos: <u>18846</u>	<input type="text" value="placa"/>	xx yy
Topografia		1,676 1,627
VL= <u>49,0</u> x10 ⁻¹²		
Ensaio nº <u>6</u>	Data: <u>23-04-2009</u>	temp. <u>≈</u>
Nome de ficheiro <u>ENSAIO_112</u>	Hora de início: <u>11:46h</u>	hum. <u>≈</u>
Força Normal = <u>2,0</u> N	<u>102</u> Iterações	Esfera
Nº Ciclos: <u>16511</u>	<input type="text" value="placa"/>	xx yy
Topografia		1,624 1,573
VL= <u>31,6</u> x10 ⁻¹²		
Ensaio nº <u>7</u>	Data: <u>24-03-2009</u>	temp. <u>≈21</u>
Nome de ficheiro <u>ENSAIO_65</u>	Hora de início: <u>12:08h</u>	hum. <u>≈34</u>
Força Normal = <u>2,0</u> N	<u>117</u> Iterações	Esfera
Nº Ciclos: <u>18867</u>	<input type="text" value="placa"/>	xx yy
Topografia		1,689 1,780
VL= <u>50,0</u> x10 ⁻¹²		

Material: 3

Ensaio nº <u>1</u>	Data: <u>24-03-2009</u>	temp. _____ humi. _____
Nome de ficheiro <u>ENSAIO_69</u>	Hora de início: <u>18:13h</u>	
Força Normal = <u>2,0</u> N	<u>27</u> Iterações	Esfera xx yy <u>0,950</u> <u>0,955</u>
Nº Ciclos: <u>4604</u>	<input type="text" value="placa"/>	
Topografia VL= <u>10,9</u> x10 ⁻¹²		

Ensaio nº <u>2</u>	Data: <u>23-03-2009</u>	temp. _____ humi. _____
Nome de ficheiro <u>ENSAIO_67</u>	Hora de início: <u>14:57h</u>	
Força Normal = <u>1,5</u> N	<u>57</u> Iterações	Esfera xx yy <u>1,190</u> <u>1,173</u>
Nº Ciclos: <u>9473</u>	<input type="text" value="placa"/>	
Topografia VL= <u>15,0</u> x10 ⁻¹²		

Ensaio nº <u>3</u>	Data: <u>25-03-2009</u>	temp. _____ humi. _____
Nome de ficheiro <u>ENSAIO_70</u>	Hora de início: <u>9:38h</u>	
Força Normal = <u>2,0</u> N	<u>57</u> Iterações	Esfera xx yy <u>1,158</u> <u>1,148</u>
Nº Ciclos: <u>9307</u>	<input type="text" value="placa"/>	
Topografia VL= <u>17,2</u> x10 ⁻¹²		

Ensaio nº <u>4</u>	Data: <u>22-04-2009</u>	temp. _____ humi. _____
Nome de ficheiro <u>ENSAIO_108</u>	Hora de início: <u>10:37h</u>	
Força Normal = <u>2,5</u> N	<u>57</u> Iterações	Esfera xx yy <u>1,322</u> <u>1,248</u>
Nº Ciclos: <u>9307</u>	<input type="text" value="placa"/>	
Topografia VL= <u>24,5</u> x10 ⁻¹²		

Ensaio nº <u>5</u>	Data: <u>25-03-2009</u>	temp. _____ humi. _____
Nome de ficheiro <u>ENSAIO_52</u>	Hora de início: <u>14:51h</u>	
Força Normal = <u>1,5</u> N	<u>117</u> Iterações	Esfera xx yy <u>1,374</u> <u>1,367</u>
Nº Ciclos: <u>18095</u>	<input type="text" value="placa"/>	
Topografia VL= <u>31,4</u> x10 ⁻¹²		

Ensaio nº <u>6</u>	Data: <u>23-04-2009</u>	temp. _____ humi. _____
Nome de ficheiro <u>ENSAIO_111</u>	Hora de início: <u>9:42h</u>	
Força Normal = <u>2,0</u> N	<u>102</u> Iterações	Esfera xx yy <u>1,436</u> <u>1,434</u>
Nº Ciclos: <u>16316</u>	<input type="text" value="placa"/>	
Topografia VL= <u>39,0</u> x10 ⁻¹²		

Ensaio nº <u>7</u>	Data: <u>24-03-2009</u>	temp. _____ humi. _____
Nome de ficheiro <u>ENSAIO_68</u>	Hora de início: <u>16:06h</u>	
Força Normal = <u>2,0</u> N	<u>117</u> Iterações	Esfera xx yy <u>1,713</u> <u>1,681</u>
Nº Ciclos: <u>18971</u>	<input type="text" value="placa"/>	
Topografia VL= <u>66,0</u> x10 ⁻¹²		

Material: 4

Ensaio nº <u>1</u>	Data: <u>18-03-2009</u>	temp. _____ humi. _____
Nome de ficheiro <u>ENSAIO_24</u>	Hora de início: <u>14:05h</u>	
Força Normal = <u>2,0</u> N	<u>27</u> Iterações	Esfera xx yy 1,073 1,093
Nº Ciclos: <u>4626</u>	<input type="text" value="placa"/>	
Topografia VL= <u>4,0</u> x10 ⁻¹²		
Ensaio nº <u>2</u>	Data: _____	temp. _____ humi. _____
Nome de ficheiro <u>ENSAIO_25</u>	Hora de início: <u>14:47h</u>	
Força Normal = <u>1,5</u> N	<u>57</u> Iterações	Esfera xx yy 1,202 1,242
Nº Ciclos: <u>9322</u>	<input type="text" value="placa"/>	
Topografia VL= <u>8,9</u> x10 ⁻¹²		
Ensaio nº <u>3</u>	Data: <u>18-03-2009</u>	temp. <u>21</u> humi. <u>33</u>
Nome de ficheiro <u>ENSAIO_21</u>	Hora de início: <u>9:44h</u>	
Força Normal = <u>2,0</u> N	<u>57</u> Iterações	Esfera xx yy 1,316 1,245
Nº Ciclos: <u>9229</u>	<input type="text" value="placa"/>	
Topografia VL= <u>11,7</u> x10 ⁻¹²		
Ensaio nº <u>4</u>	Data: <u>21-04-2009</u>	temp. _____ humi. _____
Nome de ficheiro <u>ENSAIO_106</u>	Hora de início: <u>14:05h</u>	
Força Normal = <u>2,5</u> N	<u>57</u> Iterações	Esfera xx yy 1,268 1,308
Nº Ciclos: <u>9390</u>	<input type="text" value="placa"/>	
Topografia VL= <u>13,4</u> x10 ⁻¹²		
Ensaio nº <u>5</u>	Data: <u>18-03-2009</u>	temp. _____ humi. _____
Nome de ficheiro <u>ENSAIO_26</u>	Hora de início: <u>16:45h</u>	
Força Normal = <u>1,5</u> N	<u>117</u> Iterações	Esfera xx yy 1,486 1,431
Nº Ciclos: <u>18828</u>	<input type="text" value="placa"/>	
Topografia VL= <u>19,9</u> x10 ⁻¹²		
Ensaio nº <u>6</u>	Data: <u>22-04-2009</u>	temp. _____ humi. _____
Nome de ficheiro <u>ENSAIO_107</u>	Hora de início: <u>15:29h</u>	
Força Normal = <u>2,0</u> N	<u>102</u> Iterações	Esfera xx yy 1,643 1,595
Nº Ciclos: <u>16601</u>	<input type="text" value="placa"/>	
Topografia VL= <u>38,0</u> x10 ⁻¹²		
Ensaio nº <u>7</u>	Data: <u>18-03-2009</u>	temp. <u>22</u> humi. <u>32</u>
Nome de ficheiro <u>ENSAIO_23</u>	Hora de início: <u>11:57h</u>	
Força Normal = <u>2,0</u> N	<u>117</u> Iterações	Esfera xx yy 1,768 1,654
Nº Ciclos: <u>18987</u>	<input type="text" value="placa"/>	
Topografia VL= <u>39,0</u> x10 ⁻¹²		

Material: 5

Ensaio nº <u>1</u>	Data: <u>23-03-2009</u>	temp. <u>22</u>
Nome de ficheiro <u>ENSAIO_62</u>	Hora de início: <u>18:41h</u>	hum. <u>45</u>
Força Normal = <u>2,0</u> N	<u>27</u> Iterações	Esfera
Nº Ciclos: <u>4772</u>	<input type="text" value="placa"/>	xx yy
Topografia		1,060 1,126
VL= <u>5,7</u> x10 ⁻¹²		
Ensaio nº <u>2</u>	Data: <u>23-03-2009</u>	temp. <u>21</u>
Nome de ficheiro <u>ENSAIO_61</u>	Hora de início: <u>17:34h</u>	hum. <u>50</u>
Força Normal = <u>1,5</u> N	<u>57</u> Iterações	Esfera
Nº Ciclos: <u>9455</u>	<input type="text" value="placa"/>	xx yy
Topografia		1,390 1,370
VL= <u>18,4</u> x10 ⁻¹²		
Ensaio nº <u>3</u>	Data: <u>19-03-2009</u>	temp. _____
Nome de ficheiro <u>ENSAIO_57</u>	Hora de início: <u>10:40h</u>	hum. _____
Força Normal = <u>2,0</u> N	<u>57</u> Iterações	Esfera
Nº Ciclos: <u>8906</u>	<input type="text" value="placa"/>	xx yy
Topografia		1,398 1,422
VL= <u>17,6</u> x10 ⁻¹²		
Ensaio nº <u>4</u>	Data: <u>21-04-2009</u>	temp. _____
Nome de ficheiro <u>ENSAIO_104</u>	Hora de início: <u>10:40h</u>	hum. _____
Força Normal = <u>2,5</u> N	<u>57</u> Iterações	Esfera
Nº Ciclos: <u>9354</u>	<input type="text" value="placa"/>	xx yy
Topografia		1,512 1,543
VL= <u>25,6</u> x10 ⁻¹²		
Ensaio nº <u>5</u>	Data: <u>19-03-2009</u>	temp. _____
Nome de ficheiro <u>ENSAIO_53</u>	Hora de início: <u>14:04h</u>	hum. _____
Força Normal = <u>1,5</u> N	<u>117</u> Iterações	Esfera
Nº Ciclos: <u>18048</u>	<input type="text" value="placa"/>	xx yy
Topografia		1,716 1,745
VL= <u>48,0</u> x10 ⁻¹²		
Ensaio nº <u>6</u>	Data: <u>21-04-2009</u>	temp. _____
Nome de ficheiro <u>ENSAIO_105</u>	Hora de início: <u>12:02h</u>	hum. _____
Força Normal = <u>2,0</u> N	<u>102</u> Iterações	Esfera
Nº Ciclos: <u>16505</u>	<input type="text" value="placa"/>	xx yy
Topografia		1,818 1,750
VL= <u>62,0</u> x10 ⁻¹²		
Ensaio nº <u>7</u>	Data: <u>23-03-2009</u>	temp. _____
Nome de ficheiro <u>ENSAIO_60</u>	Hora de início: <u>15:28h</u>	hum. _____
Força Normal = <u>2,0</u> N	<u>117</u> Iterações	Esfera
Nº Ciclos: <u>19065</u>	<input type="text" value="placa"/>	xx yy
Topografia		1,822 1,805
VL= <u>52,0</u> x10 ⁻¹²		

Material: 6

Ensaio nº <u>1</u>	Data: <u>23-03-2009</u>	temp. _____ humi. _____
Nome de ficheiro <u>ENSAIO_59</u>	Hora de início: <u>14:51h</u>	
Força Normal = <u>2,0</u> N	<u>27</u> Iterações	Esfera xx yy 1,105 1,098
Nº Ciclos: <u>4639</u>	<input type="text" value="placa"/>	
Topografia VL= <u>9,9</u> x10 ⁻¹²		

Ensaio nº <u>2</u>	Data: <u>19-03-2009</u>	temp. _____ humi. _____
Nome de ficheiro <u>ENSAIO_55</u>	Hora de início: <u>18:23h</u>	
Força Normal = <u>1,5</u> N	<u>57</u> Iterações	Esfera xx yy 1,114 1,142
Nº Ciclos: <u>8788</u>	<input type="text" value="placa"/>	
Topografia VL= <u>11,0</u> x10 ⁻¹²		

Ensaio nº <u>3</u>	Data: <u>23-03-2009</u>	temp. _____ humi. _____
Nome de ficheiro <u>ENSAIO_56</u>	Hora de início: <u>9:33h</u>	
Força Normal = <u>2,0</u> N	<u>57</u> Iterações	Esfera xx yy 1,441 1,395
Nº Ciclos: <u>9208</u>	<input type="text" value="placa"/>	
Topografia VL= <u>21,8</u> x10 ⁻¹²		

Ensaio nº <u>4</u>	Data: <u>20-04-2009</u>	temp. _____ humi. _____
Nome de ficheiro <u>ENSAIO_102</u>	Hora de início: <u>13:18h</u>	
Força Normal = <u>2,5</u> N	<u>57</u> Iterações	Esfera xx yy 1,476 1,438
Nº Ciclos: <u>9373</u>	<input type="text" value="placa"/>	
Topografia VL= <u>23,9</u> x10 ⁻¹²		

Ensaio nº <u>5</u>	Data: <u>20-04-2009</u>	temp. _____ humi. _____
Nome de ficheiro <u>ENSAIO_103</u>	Hora de início: <u>14:52h</u>	
Força Normal = <u>1,5</u> N	<u>117</u> Iterações	Esfera xx yy 1,698 1,630
Nº Ciclos: <u>19024</u>	<input type="text" value="placa"/>	
Topografia VL= <u>42,0</u> x10 ⁻¹²		

Ensaio nº <u>6</u>	Data: <u>20-04-2009</u>	temp. _____ humi. _____
Nome de ficheiro <u>ENSAIO_101</u>	Hora de início: <u>10:36h</u>	
Força Normal = <u>2,0</u> N	<u>102</u> Iterações	Esfera xx yy 1,689 1,638
Nº Ciclos: <u>16441</u>	<input type="text" value="placa"/>	
Topografia VL= <u>43,0</u> x10 ⁻¹²		

Ensaio nº <u>7</u>	Data: <u>20-03-2009</u>	temp. _____ humi. _____
Nome de ficheiro <u>ENSAIO_58</u>	Hora de início: <u>11:48h</u>	
Força Normal = <u>2,0</u> N	<u>117</u> Iterações	Esfera xx yy 1,674 1,758
Nº Ciclos: <u>17622</u>	<input type="text" value="placa"/>	
Topografia VL= <u>52,0</u> x10 ⁻¹²		

Material: 7

Ensaio nº <u>1</u>	Data: <u>03-04-2009</u>	temp. _____
Nome de ficheiro <u>ENSAIO_81</u>	Hora de início: <u>9:16h</u>	hum. _____
Força Normal = <u>2,0</u> N	<u>27</u> Iterações	Esfera
Nº Ciclos: <u>4696</u>	<input type="text" value="placa"/>	xx yy
Topografia		1,177 1,185
VL= <u>15,0</u> x10 ⁻¹²		
Ensaio nº <u>2</u>	Data: <u>02-04-2009</u>	temp. <u>20</u>
Nome de ficheiro <u>ENSAIO_77</u>	Hora de início: <u>15:20h</u>	hum. <u>34</u>
Força Normal = <u>1,5</u> N	<u>57</u> Iterações	Esfera
Nº Ciclos: <u>9457</u>	<input type="text" value="placa"/>	xx yy
Topografia		1,413 1,400
VL= <u>25,4</u> x10 ⁻¹²		
Ensaio nº <u>3</u>	Data: <u>02-04-2009</u>	temp. _____
Nome de ficheiro <u>ENSAIO_79</u>	Hora de início: <u>14:25h</u>	hum. _____
Força Normal = <u>2,0</u> N	<u>57</u> Iterações	Esfera
Nº Ciclos: <u>9362</u>	<input type="text" value="placa"/>	xx yy
Topografia		1,561 1,480
VL= <u>23,7</u> x10 ⁻¹²		
Ensaio nº <u>4</u>	Data: <u>16-04-2009</u>	temp. _____
Nome de ficheiro <u>ENSAIO_95</u>	Hora de início: <u>11:16h</u>	hum. _____
Força Normal = <u>2,5</u> N	<u>57</u> Iterações	Esfera
Nº Ciclos: <u>9339</u>	<input type="text" value="placa"/>	xx yy
Topografia		1,559 1,509
VL= <u>47,0</u> x10 ⁻¹²		
Ensaio nº <u>5</u>	Data: <u>02-04-2009</u>	temp. _____
Nome de ficheiro <u>ENSAIO_80</u>	Hora de início: <u>15:34h</u>	hum. _____
Força Normal = <u>1,5</u> N	<u>117</u> Iterações	Esfera
Nº Ciclos: <u>18937</u>	<input type="text" value="placa"/>	xx yy
Topografia		1,743 1,676
VL= <u>54,0</u> x10 ⁻¹²		
Ensaio nº <u>6</u>	Data: <u>16-04-2009</u>	temp. _____
Nome de ficheiro <u>ENSAIO_94</u>	Hora de início: <u>9:22h</u>	hum. _____
Força Normal = <u>2,0</u> N	<u>102</u> Iterações	Esfera
Nº Ciclos: <u>16532</u>	<input type="text" value="placa"/>	xx yy
Topografia		1,847 1,784
VL= <u>78,0</u> x10 ⁻¹²		
Ensaio nº <u>7</u>	Data: <u>02-04-2009</u>	temp. _____
Nome de ficheiro <u>ENSAIO_78</u>	Hora de início: <u>12:03h</u>	hum. _____
Força Normal = <u>2,0</u> N	<u>117</u> Iterações	Esfera
Nº Ciclos: <u>18909</u>	<input type="text" value="placa"/>	xx yy
Topografia		1,902 1,797
VL= <u>81,0</u> x10 ⁻¹²		

Material: 8

Ensaio nº <u>1</u>	Data: <u>03-04-2009</u>	temp. _____ humi. _____
Nome de ficheiro <u>ENSAIO_85</u>	Hora de início: <u>17:39h</u>	
Força Normal = <u>2,0</u> N	<u>27</u> Iterações	Esfera xx yy 1,133 1,239
Nº Ciclos: <u>4663</u>	<input type="text" value="placa"/>	
Topografia VL= <u>9,1</u> x10 ⁻¹²		

Ensaio nº <u>2</u>	Data: <u>16-04-2009</u>	temp. _____ humi. _____
Nome de ficheiro <u>ENSAIO_99</u>	Hora de início: <u>17:53h</u>	
Força Normal = <u>1,5</u> N	<u>57</u> Iterações	Esfera xx yy 1,246 1,279
Nº Ciclos: <u>9512</u>	<input type="text" value="placa"/>	
Topografia VL= <u>11,4</u> x10 ⁻¹²		

Ensaio nº <u>3</u>	Data: <u>14-04-2009</u>	temp. _____ humi. _____
Nome de ficheiro <u>ENSAIO_86</u>	Hora de início: <u>11:16h</u>	
Força Normal = <u>2,0</u> N	<u>57</u> Iterações	Esfera xx yy 1,417 1,473
Nº Ciclos: <u>9398</u>	<input type="text" value="placa"/>	
Topografia VL= <u>18,7</u> x10 ⁻¹²		

Ensaio nº <u>4</u>	Data: <u>16-04-2009</u>	temp. _____ humi. _____
Nome de ficheiro <u>ENSAIO_98</u>	Hora de início: <u>16:44h</u>	
Força Normal = <u>2,5</u> N	<u>57</u> Iterações	Esfera xx yy 1,537 1,540
Nº Ciclos: <u>9486</u>	<input type="text" value="placa"/>	
Topografia VL= <u>35,8</u> x10 ⁻¹²		

Ensaio nº <u>5</u>	Data: <u>17-04-2009</u>	temp. _____ humi. _____
Nome de ficheiro <u>ENSAIO_100</u>	Hora de início: <u>14:28h</u>	
Força Normal = <u>1,5</u> N	<u>117</u> Iterações	Esfera xx yy 1,767 1,708
Nº Ciclos: <u>18953</u>	<input type="text" value="placa"/>	
Topografia VL= <u>62,0</u> x10 ⁻¹²		

Ensaio nº <u>6</u>	Data: <u>16-04-2009</u>	temp. _____ humi. _____
Nome de ficheiro <u>ENSAIO_97</u>	Hora de início: <u>14:47h</u>	
Força Normal = <u>2,0</u> N	<u>102</u> Iterações	Esfera xx yy 1,750 1,720
Nº Ciclos: <u>16490</u>	<input type="text" value="placa"/>	
Topografia VL= <u>52,0</u> x10 ⁻¹²		

Ensaio nº <u>7</u>	Data: <u>14-04-2009</u>	temp. _____ humi. _____
Nome de ficheiro <u>ENSAIO_82</u>	Hora de início: <u>11:04h</u>	
Força Normal = <u>2,0</u> N	<u>117</u> Iterações	Esfera xx yy 1,883 1,821
Nº Ciclos: <u>19037</u>	<input type="text" value="placa"/>	
Topografia VL= <u>67,0</u> x10 ⁻¹²		

Material: 9

Ensaio nº <u>1</u>	Data: <u>24-04-2009</u>	temp. _____ humi. _____
Nome de ficheiro <u>ENSAIO_119</u>	Hora de início: <u>11:16h</u>	
Força Normal = <u>2,0</u> N	<u>27</u> Iterações	Esfera xx yy 1,025 1,099
Nº Ciclos: <u>4594</u>	<input type="text" value="placa"/>	
Topografia VL= <u>8,1</u> x10 ⁻¹²		

Ensaio nº <u>2</u>	Data: <u>11-05-2009</u>	temp. _____ humi. _____
Nome de ficheiro <u>ENSAIO_126</u>	Hora de início: <u>17:15h</u>	
Força Normal = <u>1,5</u> N	<u>57</u> Iterações	Esfera xx yy 1,268 1,291
Nº Ciclos: <u>9331</u>	<input type="text" value="placa"/>	
Topografia VL= <u>19,8</u> x10 ⁻¹²		

Ensaio nº <u>3</u>	Data: <u>11-05-2009</u>	temp. _____ humi. _____
Nome de ficheiro <u>ENSAIO_121</u>	Hora de início: <u>9:31h</u>	
Força Normal = <u>2,0</u> N	<u>57</u> Iterações	Esfera xx yy 1,271 1,316
Nº Ciclos: <u>9302</u>	<input type="text" value="placa"/>	
Topografia VL= <u>14,2</u> x10 ⁻¹²		

Ensaio nº <u>4</u>	Data: <u>11-05-2009</u>	temp. _____ humi. _____
Nome de ficheiro <u>ENSAIO_124</u>	Hora de início: <u>14:28h</u>	
Força Normal = <u>2,5</u> N	<u>57</u> Iterações	Esfera xx yy 1,389 1,387
Nº Ciclos: <u>9467</u>	<input type="text" value="placa"/>	
Topografia VL= <u>14,8</u> x10 ⁻¹²		

Ensaio nº <u>5</u>	Data: <u>13/5/1009</u>	temp. _____ humi. _____
Nome de ficheiro <u>ENSAIO_130</u>	Hora de início: <u>12:05h</u>	
Força Normal = <u>1,5</u> N	<u>117</u> Iterações	Esfera xx yy 1,623 1,594
Nº Ciclos: <u>18229</u>	<input type="text" value="placa"/>	
Topografia VL= <u>39,0</u> x10 ⁻¹²		

Ensaio nº <u>6</u>	Data: <u>13-05-2009</u>	temp. _____ humi. _____
Nome de ficheiro <u>ENSAIO_129</u>	Hora de início: <u>9:58h</u>	
Força Normal = <u>2,0</u> N	<u>102</u> Iterações	Esfera xx yy 1,690 1,636
Nº Ciclos: <u>16226</u>	<input type="text" value="placa"/>	
Topografia VL= <u>44,0</u> x10 ⁻¹²		

Ensaio nº <u>7</u>	Data: <u>30-04-2009</u>	temp. _____ humi. _____
Nome de ficheiro <u>ENSAIO_120</u>	Hora de início: <u>12:30h</u>	
Força Normal = <u>2,0</u> N	<u>117</u> Iterações	Esfera xx yy 1,748 1,673
Nº Ciclos: <u>18674</u>	<input type="text" value="placa"/>	
Topografia VL= <u>54,0</u> x10 ⁻¹²		

Material: 10

Ensaio nº <u>1</u>	Data: 19-06-2009	temp. _____ hum. _____
Nome de ficheiro <u>ENSAIO_136</u>	Hora de início: <u>17:07h</u>	
Força Normal = <u>2,0</u> N	<u>27</u> Iterações	Esfera xx yy 0,983 1,019
Nº Ciclos: <u>4627</u>	<input type="text" value="placa"/>	
Topografia VL= <u>7,4</u> x10 ⁻¹²		

Ensaio nº <u>2</u>	Data: 22-06-2009	temp. <u>26</u> hum. <u>50</u>
Nome de ficheiro <u>ENSAIO_137</u>	Hora de início: <u>10:34h</u>	
Força Normal = <u>1,5</u> N	<u>57</u> Iterações	Esfera xx yy 1,095 1,139
Nº Ciclos: <u>9300</u>	<input type="text" value="placa"/>	
Topografia VL= <u>8,1</u> x10 ⁻¹²		

Ensaio nº <u>3</u>	Data: 19-06-2009	temp. <u>23</u> hum. <u>50</u>
Nome de ficheiro <u>ENSAIO_135</u>	Hora de início: <u>15:50h</u>	
Força Normal = <u>2,0</u> N	<u>57</u> Iterações	Esfera xx yy 1,329 1,328
Nº Ciclos: <u>9405</u>	<input type="text" value="placa"/>	
Topografia VL= <u>16,3</u> x10 ⁻¹²		

Ensaio nº <u>4</u>	Data: 22-06-2009	temp. <u>24</u> hum. <u>44</u>
Nome de ficheiro <u>ENSAIO_140</u>	Hora de início: <u>15:27h</u>	
Força Normal = <u>2,5</u> N	<u>57</u> Iterações	Esfera xx yy 1,338 1,342
Nº Ciclos: <u>9196</u>	<input type="text" value="placa"/>	
Topografia VL= <u>17,4</u> x10 ⁻¹²		

Ensaio nº <u>5</u>	Data: 22-06-2009	temp. <u>26</u> hum. <u>50</u>
Nome de ficheiro <u>ENSAIO_138</u>	Hora de início: <u>11:51h</u>	
Força Normal = <u>1,5</u> N	<u>117</u> Iterações	Esfera xx yy 1,566 1,551
Nº Ciclos: <u>18731</u>	<input type="text" value="placa"/>	
Topografia VL= <u>32,7</u> x10 ⁻¹²		

Ensaio nº <u>6</u>	Data: 22-06-2009	temp. <u>24</u> hum. <u>41</u>
Nome de ficheiro <u>ENSAIO_141</u>	Hora de início: <u>16:42h</u>	
Força Normal = <u>2,0</u> N	<u>102</u> Iterações	Esfera xx yy 1,524 1,488
Nº Ciclos: <u>16041</u>	<input type="text" value="placa"/>	
Topografia VL= <u>28,9</u> x10 ⁻¹²		

Ensaio nº <u>7</u>	Data: 19-06-2009	temp. <u>25</u> hum. <u>55</u>
Nome de ficheiro <u>ENSAIO_133</u>	Hora de início: <u>10:31h</u>	
Força Normal = <u>2,0</u> N	<u>117</u> Iterações	Esfera xx yy 1,607 1,598
Nº Ciclos: <u>18682</u>	<input type="text" value="placa"/>	
Topografia VL= <u>40,0</u> x10 ⁻¹²		

Material: 11

Ensaio nº <u>1</u>	Data: <u>29-06-2009</u>	temp. <u>25</u>
Nome de ficheiro <u>ENSAIO_143</u>	Hora de início: <u>13:18h</u>	humi. <u>66</u>
Força Normal = <u>2,0</u> N	<u>27</u> Iterações	Esfera
Nº Ciclos: <u>4630</u>	<input type="text" value="placa"/>	xx yy
Topografia		1,023 0,964
VL= <u>5,4</u> x10 ⁻¹²		
Ensaio nº <u>2</u>	Data: <u>30-06-2009</u>	temp. <u>25</u>
Nome de ficheiro <u>ENSAIO_146</u>	Hora de início: <u>9:35h</u>	humi. <u>68</u>
Força Normal = <u>1,5</u> N	<u>57</u> Iterações	Esfera
Nº Ciclos: <u>9317</u>	<input type="text" value="placa"/>	xx yy
Topografia		1,164 1,185
VL= <u>8,9</u> x10 ⁻¹²		
Ensaio nº <u>3</u>	Data: <u>29-06-2009</u>	temp. <u>25</u>
Nome de ficheiro <u>ENSAIO_142</u>	Hora de início: <u>12:09h</u>	humi. <u>67</u>
Força Normal = <u>2,0</u> N	<u>57</u> Iterações	Esfera
Nº Ciclos: <u>9088</u>	<input type="text" value="placa"/>	xx yy
Topografia		1,226 1,246
VL= <u>11,0</u> x10 ⁻¹²		
Ensaio nº <u>4</u>	Data: <u>30-06-2009</u>	temp. <u>26</u>
Nome de ficheiro <u>ENSAIO_148</u>	Hora de início: <u>15:40h</u>	humi. <u>63</u>
Força Normal = <u>2,5</u> N	<u>57</u> Iterações	Esfera
Nº Ciclos: <u>9428</u>	<input type="text" value="placa"/>	xx yy
Topografia		1,230 1,286
VL= <u>11,8</u> x10 ⁻¹²		
Ensaio nº <u>5</u>	Data: <u>30-06-2009</u>	temp. <u>25</u>
Nome de ficheiro <u>ENSAIO_147</u>	Hora de início: <u>13:15h</u>	humi. <u>66</u>
Força Normal = <u>1,5</u> N	<u>117</u> Iterações	Esfera
Nº Ciclos: <u>18764</u>	<input type="text" value="placa"/>	xx yy
Topografia		1,402 1,426
VL= <u>18,7</u> x10 ⁻¹²		
Ensaio nº <u>6</u>	Data: <u>29-06-2009</u>	temp. <u>25</u>
Nome de ficheiro <u>ENSAIO_144</u>	Hora de início: <u>14:01h</u>	humi. <u>67</u>
Força Normal = <u>2,0</u> N	<u>102</u> Iterações	Esfera
Nº Ciclos: <u>16094</u>	<input type="text" value="placa"/>	xx yy
Topografia		1,411 1,429
VL= <u>18,4</u> x10 ⁻¹²		
Ensaio nº <u>7</u>	Data: <u>29-06-2009</u>	temp. <u>26</u>
Nome de ficheiro <u>ENSAIO_145</u>	Hora de início: <u>16:51</u>	humi. <u>67</u>
Força Normal = <u>2,0</u> N	<u>117</u> Iterações	Esfera
Nº Ciclos: <u>18553</u>	<input type="text" value="placa"/>	xx yy
Topografia		1,454 1,456
VL= <u>19,0</u> x10 ⁻¹²		

Material: 12

Ensaio nº <u>1</u>	Data: <u>01-07-2009</u>	temp. <u>27</u>
Nome de ficheiro <u>ENSAIO_154</u>	Hora de início: <u>15:51h</u>	humi. <u>61</u>
Força Normal = <u>2,0</u> N	<u>27</u> Iterações	Esfera
Nº Ciclos: <u>4649</u>	<input type="text" value="placa"/>	xx yy
Topografia		1,055 1,124
VL= <u>4,2</u> x10 ⁻¹²		
Ensaio nº <u>2</u>	Data: <u>02-07-2009</u>	temp. <u>26</u>
Nome de ficheiro <u>ENSAIO_156</u>	Hora de início: <u>14:31h</u>	humi. <u>55</u>
Força Normal = <u>1,5</u> N	<u>57</u> Iterações	Esfera
Nº Ciclos: <u>9299</u>	<input type="text" value="placa"/>	xx yy
Topografia		1,211 1,299
VL= <u>10,3</u> x10 ⁻¹²		
Ensaio nº <u>3</u>	Data: <u>01-07-2009</u>	temp. <u>25</u>
Nome de ficheiro <u>ENSAIO_151</u>	Hora de início: <u>10:38h</u>	humi. <u>64</u>
Força Normal = <u>2,0</u> N	<u>57</u> Iterações	Esfera
Nº Ciclos: <u>9351</u>	<input type="text" value="placa"/>	xx yy
Topografia		1,245 1,292
VL= <u>11,6</u> x10 ⁻¹²		
Ensaio nº <u>4</u>	Data: <u>03-07-2009</u>	temp. <u>26</u>
Nome de ficheiro <u>ENSAIO_158</u>	Hora de início: <u>11:56h</u>	humi. <u>53</u>
Força Normal = <u>2,5</u> N	<u>57</u> Iterações	Esfera
Nº Ciclos: <u>9430</u>	<input type="text" value="placa"/>	xx yy
Topografia		1,248 1,338
VL= <u>11,6</u> x10 ⁻¹²		
Ensaio nº <u>5</u>	Data: <u>03-07-2009</u>	temp. <u>25</u>
Nome de ficheiro <u>ENSAIO_157</u>	Hora de início: <u>9:42h</u>	humi. <u>52</u>
Força Normal = <u>1,5</u> N	<u>117</u> Iterações	Esfera
Nº Ciclos: <u>18799</u>	<input type="text" value="placa"/>	xx yy
Topografia		1,485 1,46
VL= <u>18,9</u> x10 ⁻¹²		
Ensaio nº <u>6</u>	Data: <u>01-07-2009</u>	temp. <u>26</u>
Nome de ficheiro <u>ENSAIO_153</u>	Hora de início: <u>13:56h</u>	humi. <u>60</u>
Força Normal = <u>2,0</u> N	<u>102</u> Iterações	Esfera
Nº Ciclos: <u>16388</u>	<input type="text" value="placa"/>	xx yy
Topografia		1,555 1,553
VL= <u>26,3</u> x10 ⁻¹²		
Ensaio nº <u>7</u>	Data: <u>01-07-2009</u>	temp. <u>26</u>
Nome de ficheiro <u>ENSAIO_155</u>	Hora de início: <u>16:31h</u>	humi. <u>62</u>
Força Normal = <u>2,0</u> N	<u>117</u> Iterações	Esfera
Nº Ciclos: <u>18776</u>	<input type="text" value="placa"/>	xx yy
Topografia		1,675 1,622
VL= <u>33,0</u> x10 ⁻¹²		