



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA MECÂNICA



ESTUDO DO DESGASTE POR DESLIZAMENTO DE LIGAS DE COBALTO EMPREGADAS NA ELABORAÇÃO DE GUIAS DE LAMINAÇÃO DE TUBOS SEM COSTURA

Leandro Entringer Falqueto

Orientador: Prof. Dr. Cherlio Scandian

Coorientador: Prof. Dr. Antônio César Bozzi



Apresentação



1. Introdução
2. Revisão bibliográfica
3. Materiais e métodos
4. Resultados e discussões
5. Conclusões
6. Sugestões para trabalhos futuros
7. Referências bibliográficas
8. Agradecimentos

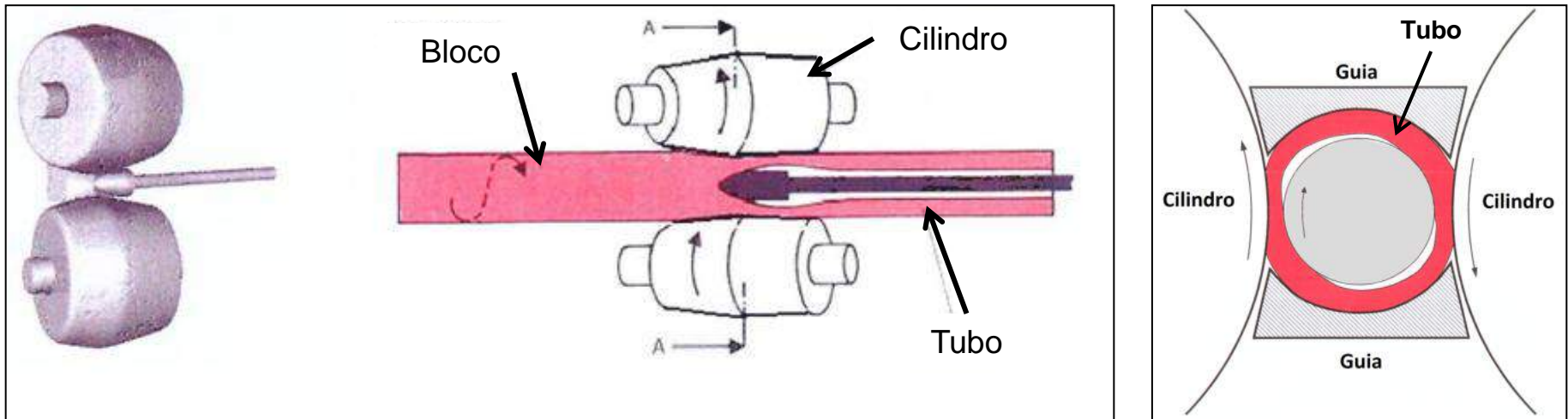


1. Introdução



- Estatísticas mostram que cerca de 1 a 6 % do produto interno bruto são perdidos com desgaste em países desenvolvidos. Estima-se que 20% destas perdas podem ser evitadas com a aplicação dos conhecimentos já existentes em tribologia (ASSUNÇÃO, 2010).
- No processo de conformação mecânica, em especial na laminação a quente, o desgaste excessivo dos componentes, como as guias de laminação, implica em um grande número de paradas de produção e baixa qualidade do produto final.

- Esses problemas se agravam durante a fabricação de tubos sem costura de aços com alto teor de cromo, como os inoxidáveis supermartensíticos 13%Cr, que são empregados como *pipelines* na indústria do petróleo.



Esquema de laminação de tubos sem costura pelo processo Mannesmann, com vista superior em (a). E, em (b), detalhe da aplicação de guias neste processo, na vista frontal.



1. Introdução

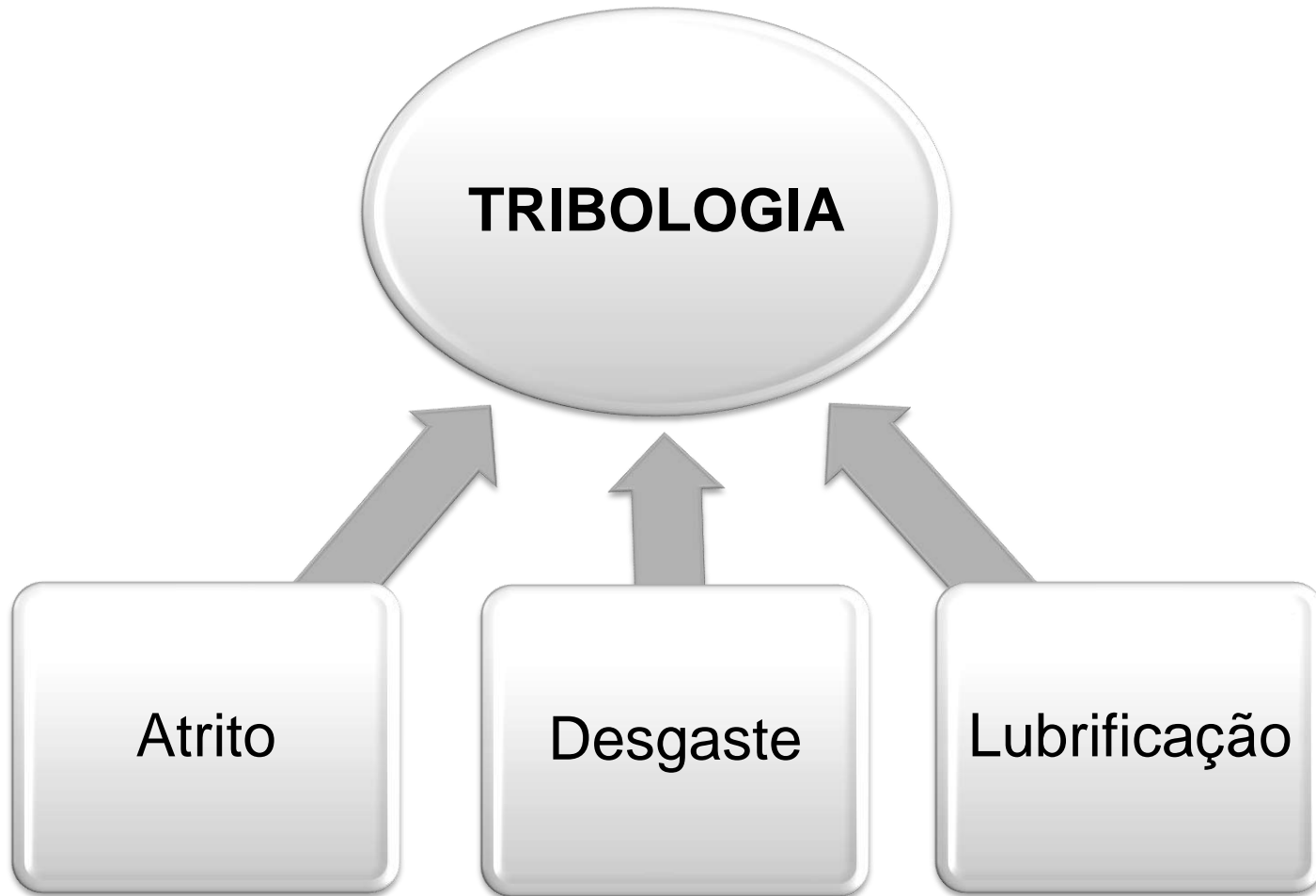


- Sabe-se que as superligas de cobalto, em especial os *Stellites*, são largamente utilizadas em situações de desgaste em elevada temperatura (DAVIS, 2000). E, por isso, podem ser uma opção para amenizar o desgaste das guias de laminação a quente.
- Com isso, objetivando aumentar o desempenho das guias utilizadas atualmente na empresa Vallourec Tubos do Brasil, foram selecionados três ligas de cobalto para serem utilizadas como revestimento duro.
- A fim de avaliar a resistência ao desgaste por deslizamento, estes revestimentos e a liga utilizada atualmente foram ensaiados na configuração pino-disco, sem lubrificação, na temperatura ambiente e a 500 °C, variando-se a carga normal.



2. Revisão bibliográfica

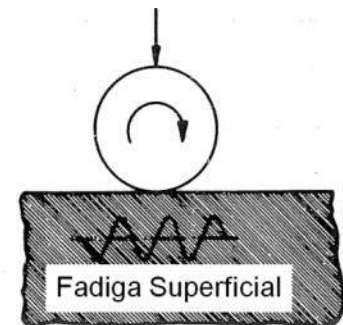
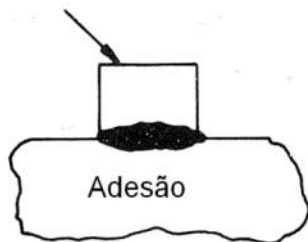
2.1 Tribologia



2. Revisão bibliográfica

2.2. Desgaste

- Desgaste é o fenômeno de remoção de material de uma superfície devido à interações com outra (BHUSHAN, 2001).
- Ele pode ocorrer devido a processos como a erosão, a abrasão, a cavitação e o desgaste por deslizamento.
- Segundo a norma DIN 50320 (1979), quatro mecanismos, apresentados abaixo, ou qualquer combinação deles estão envolvidos no processo de remoção de material.



Descrição esquemática dos quatro mecanismos de desgaste.

Fonte: adaptado de (ZUM GAHR, 1987).



2. Revisão bibliográfica

2.2. Desgaste



- Desgaste por deslizamento:
 - Ocorre quando dois corpos sólidos em contato estão em movimento relativo entre si no plano tangencial.
 - Pode apresentar como mecanismos de desgaste: adesão, fadiga superficial, reações triboquímicas e/ou abrasão (ZUM GAHR, 1987).
- Um fator importante no desgaste por deslizamento é a oxidação.
 - Ela pode contribuir tanto para o aumento, quanto para a redução do desgaste do tribossistema. Isso depende das propriedades do filme óxido formado (STOOT, 1998).



2. Revisão bibliográfica

2.3. Superligas



- A necessidade do desenvolvimento de materiais mais resistentes à corrosão e a aplicações em elevadas temperaturas levou a criação das superligas (DONACHIE e DONACHIE, 2002).
- Estas são ligas a base de níquel, ferro-níquel ou cobalto e, geralmente, são utilizadas em temperaturas maiores que 540 °C (DAVIS, 1997).
- Elas exibem uma combinação de alta resistência mecânica em elevada temperatura, resistência à oxidação e à corrosão, resistência à fadiga, tenacidade e estabilidade metalúrgica (DONACHIE e DONACHIE, 2002).



2. Revisão bibliográfica

2.4. Ligas de cobalto



- As ligas de cobalto podem ser divididas em dois grandes grupos, os *Stellites* e os *Tribaloys*.
- Dentre as principais diferenças entre eles estão a composição química e as fases endurecedoras.
 - *Stellites*: em geral, são formados pelos grupos de Co-Cr-C-W ou Co-Cr-C-Mo. Não possuem precipitados intermetálicos, apresentando endurecimento por solução sólida e por precipitação de carbonetos (CAMPBELL, 2006).
 - *Tribaloys*: Compostos por molibdênio, cromo, silício e pouquíssimo carbono. Apresentam a fase conhecida como *Laves*, que é dura e frágil, propiciando a esses materiais uma ótima resistência ao desgaste abrasivo (DAVIS, 2000).



2. Revisão bibliográfica

2.4.1. Aplicações das ligas de cobalto



Área da indústria	Aplicação	Ligas utilizadas
Automotiva	Superfície da base da válvula do motor.	<i>Stellite 6</i>
Energética	Superfície da base da válvula de controle	<i>Stellite 6 e 21</i>
Marítima	Rolamentos do leme	<i>Stellite 306</i>
Siderúrgica	Tesouras de corte a quente	<i>Stellite 6</i>
	Rolos/guia de laminação	<i>Stellite 12</i>
Processamento químico	Superfície da base da válvula de controle	<i>Stellite 6</i>
	Correia transportadora para extrusão de plástico	<i>Stellite 1, 6 e 12</i>
Petroquímica	Rolamentos de perfuratriz rotatória	<i>Stellite 190</i>

Fonte: Adaptado de (DAVIS, 2000).

2. Revisão bibliográfica

2.4.2. Composição química das ligas de *Stellite*

Liga	Processo	Cr	W	Mo	C	Fe	Ni	Si	Mn	Outros
Stellite 1	Fundição	30	13	0,5	2,5	3	1,5	1,3	0,5	-
Stellite 3	P/M	30,5	12,5	-	2,4	5	3,5	2	1	-
Stellite 6	Fundição	29	4,5	1,5	1,2	3	3	1,5	1	-
Stellite 6	P/M	28,5	4,5	1,5	1	5	3	2	2	1B
Stellite 12	Fundição	30	8,3	-	1,4	3	1,5	0,7	2,5	-
Stellite 21	Fundição	27	-	5,5	0,25	3	2,75	1	1	-
Stellite 712	Fundição	29	-	8,5	2	3	3	1,5	1,5	-
Stellite 720	Fundição	33	-	18	2,5	3	3	1,5	1,5	0,3B
Stellite 706	Fundição	29	-	5	1,2	3	3	1,5	1,5	-
Stellite 706K	Forjamento	29	-	6	1,4	3	3	1,5	1,5	-
Stellite 6B	Forjamento	30	4	1,5	1	3	2,5	0,7	1,4	-
Stellite 6K	Forjamento	30	4,5	1,5	1,6	3	3	2	2	-

Fonte: Adaptado de (ZHANG e ZHAO, 2013).



2. Revisão bibliográfica

2.4.2. Composição química das ligas de *Stellite*



- Cobalto
 - É o elemento base destas ligas e boa parte das características delas vem dele. Ele possui duas formas alotrópicas: hexagonal compacta (até 417 °C) e cúbica de face centrada (acima de 417 °C).
 - A associação da estrutura cristalográfica metaestável e do baixo valor de energia de falha de empilhamento (EFE) do Co resulta em:
 - Alta tensão de escoamento;
 - Alta taxa de encruamento;
 - Alta resistência à fadiga;
 - Alta tenacidade.

Ni, C e Fe

- Tendem a aumentar a EFE;
- Estabilizam a estrutura CFC.

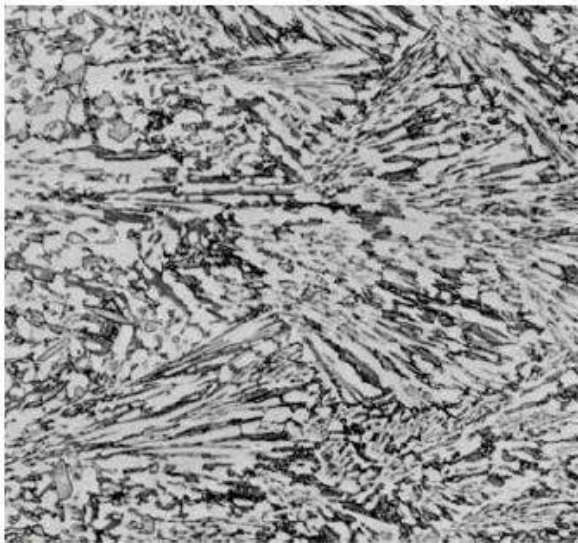
Cr, Mo e W

- Tendem a diminuir a EFE;
- Estabilizam a estrutura HC.

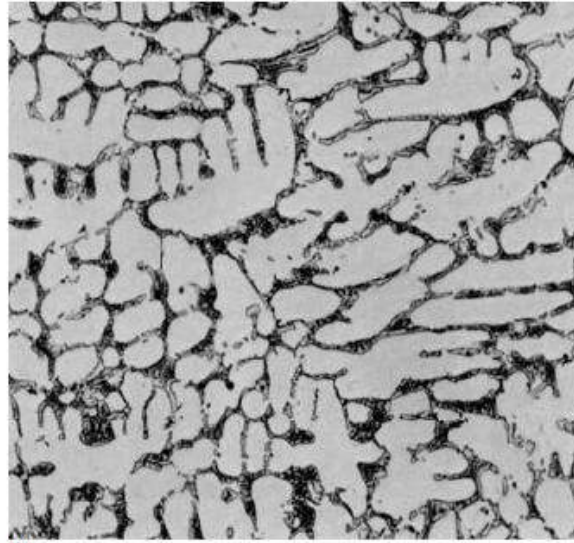
2. Revisão bibliográfica

2.4.3. Microestrutura das ligas de *Stellite*

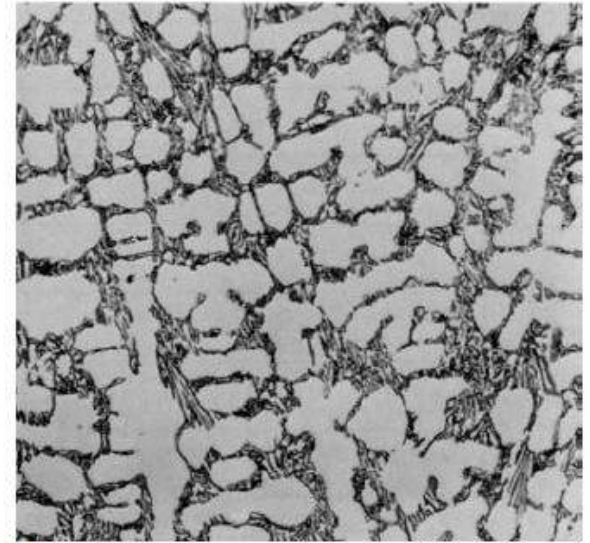
- De um modo geral, a microestrutura dos *Stellites* é constituída por carbonetos dispersos numa matriz dúctil e tenaz de cobalto contendo ou cromo e tungstênio, ou cromo e molibdênio, como átomos substitucionais (ZHANG E ZHAO, 2013).



(a)



(b)



(c)

40 μm

Microestrutura de várias ligas a base de cobalto resistente ao desgaste. (a) Stellite 1; (b) Stellite 6; (c) Stellite 12, todas com duas camadas de depósito por GTA. Fonte: Adaptado de (DAVIS, 2000)¹⁴

2. Revisão bibliográfica

2.4.4. Propriedades mecânicas das ligas de *Stellite*

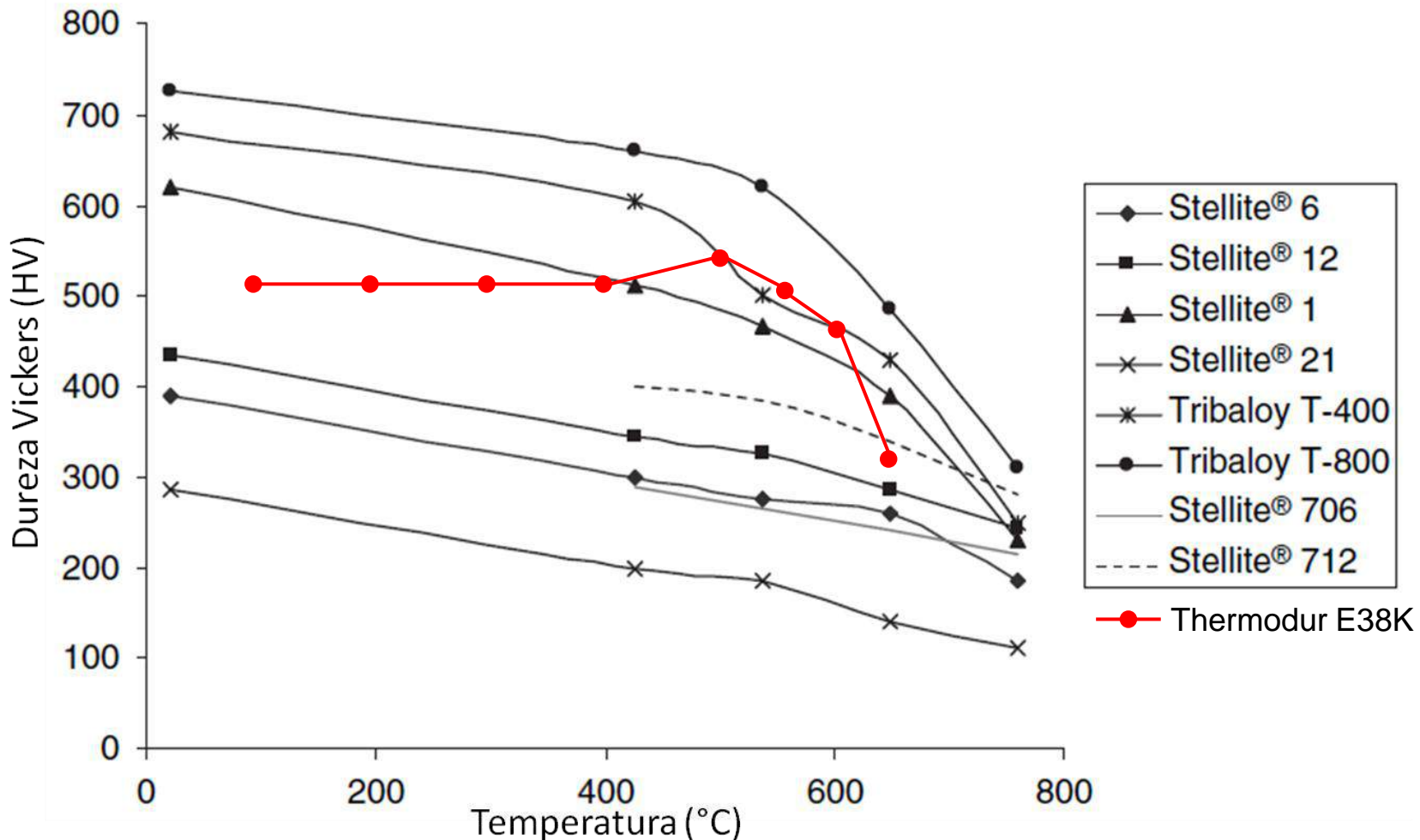
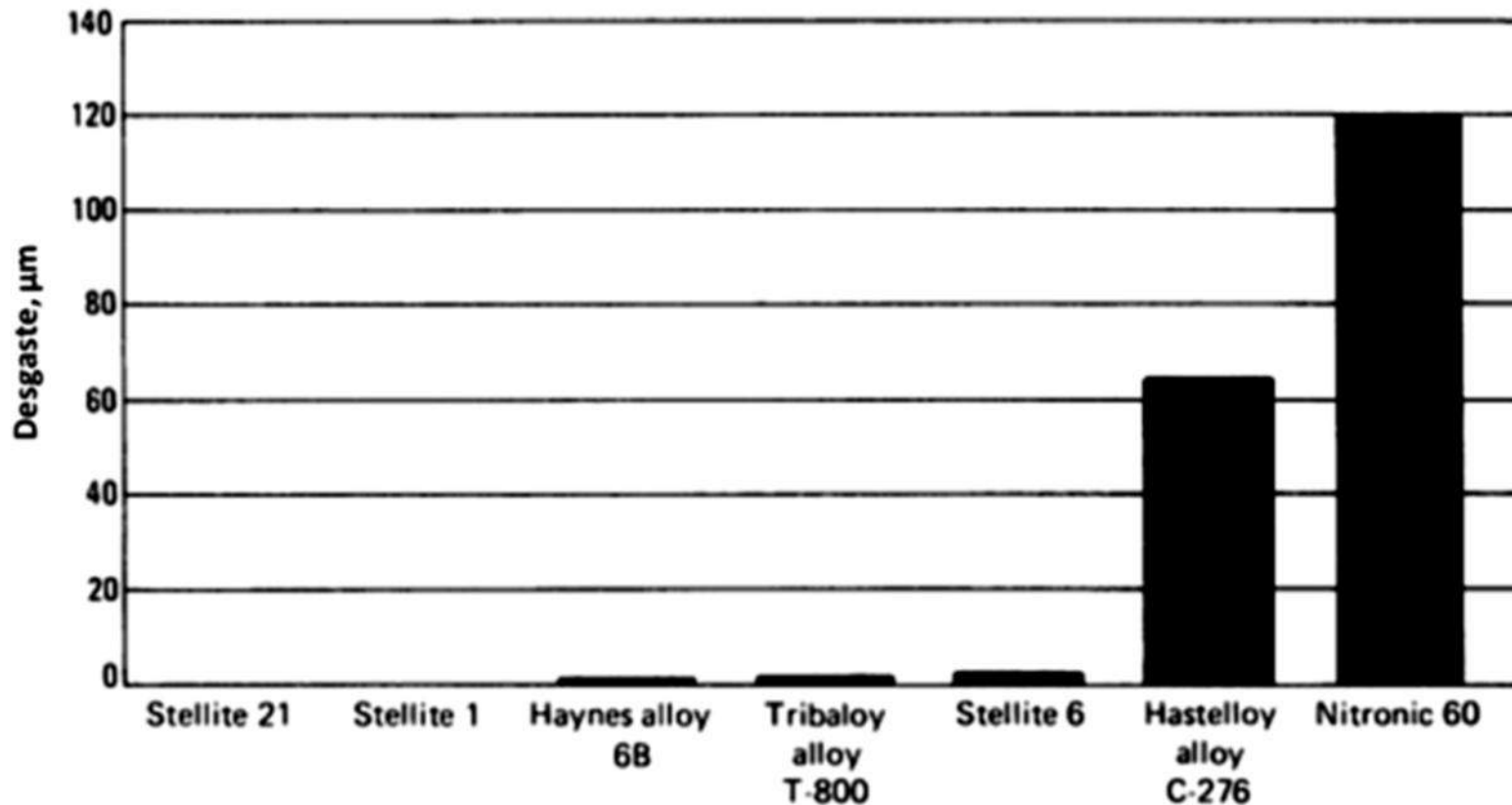


Gráfico de dureza Vickers em função da temperatura para várias ligas de cobalto. Fonte: Adaptado de (MELLOR, 2006).

2. Revisão bibliográfica

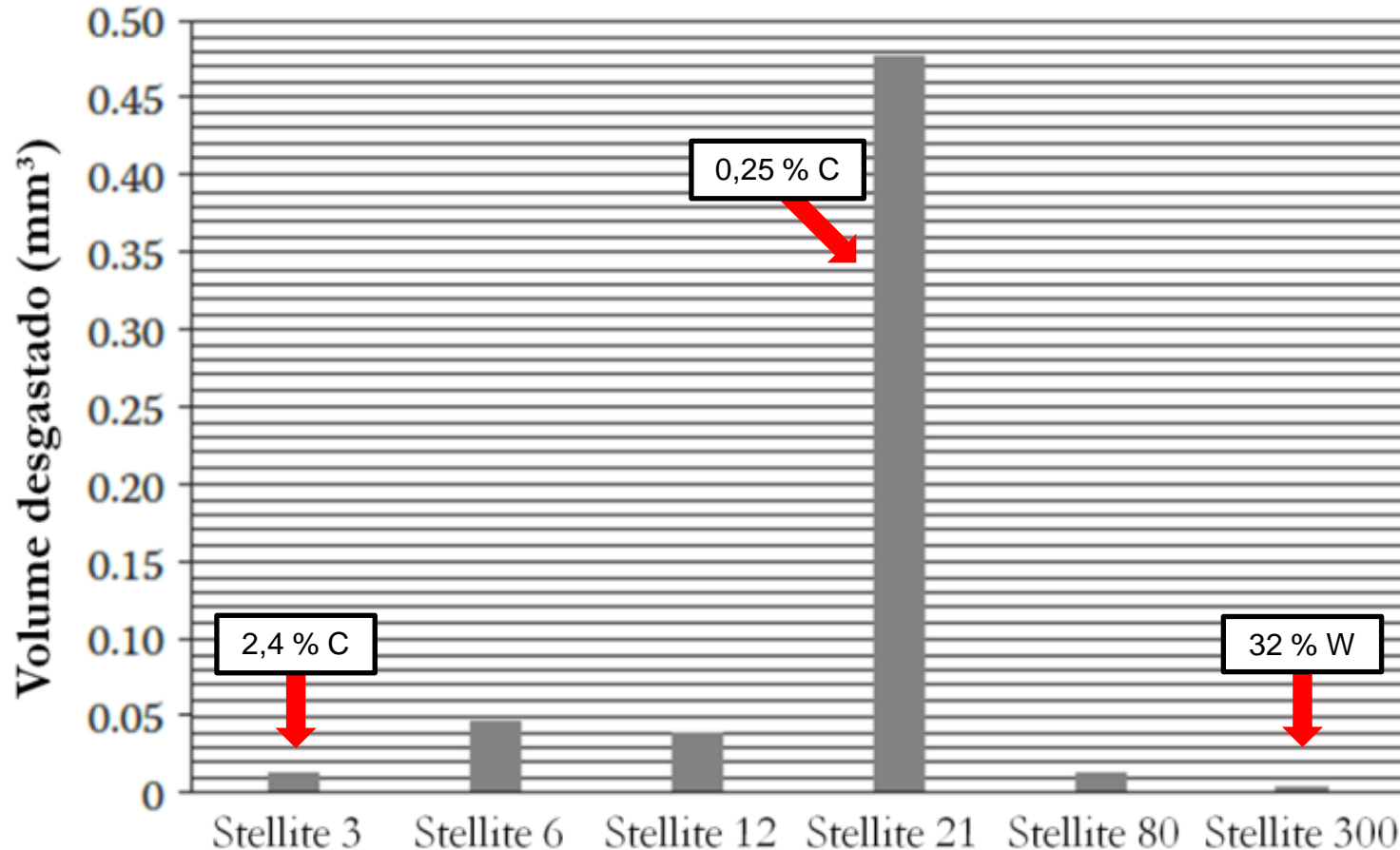
2.4.5. Desgaste por deslizamento das ligas de *Stellite*: temperatura ambiente



Resultados de ensaios na configuração de cilindros cruzados de várias ligas de cobalto, do Hastelloy C-276 e do aço inoxidável Nitronic 60 contra eles mesmos. Fonte: Adaptado de (METALS HANDBOOK, 1990).

2. Revisão bibliográfica

2.4.5. Desgaste por deslizamento das ligas de *Stellite*: temperatura ambiente



Volume desgastado de ligas de *Stellite* submetidas ao ensaio de desgaste por deslizamento na configuração pino-disco em temperatura ambiente. Fonte: Adaptado de (KAPOOR *apud* ZHANG e ZHAO, 2013).



2. Revisão bibliográfica

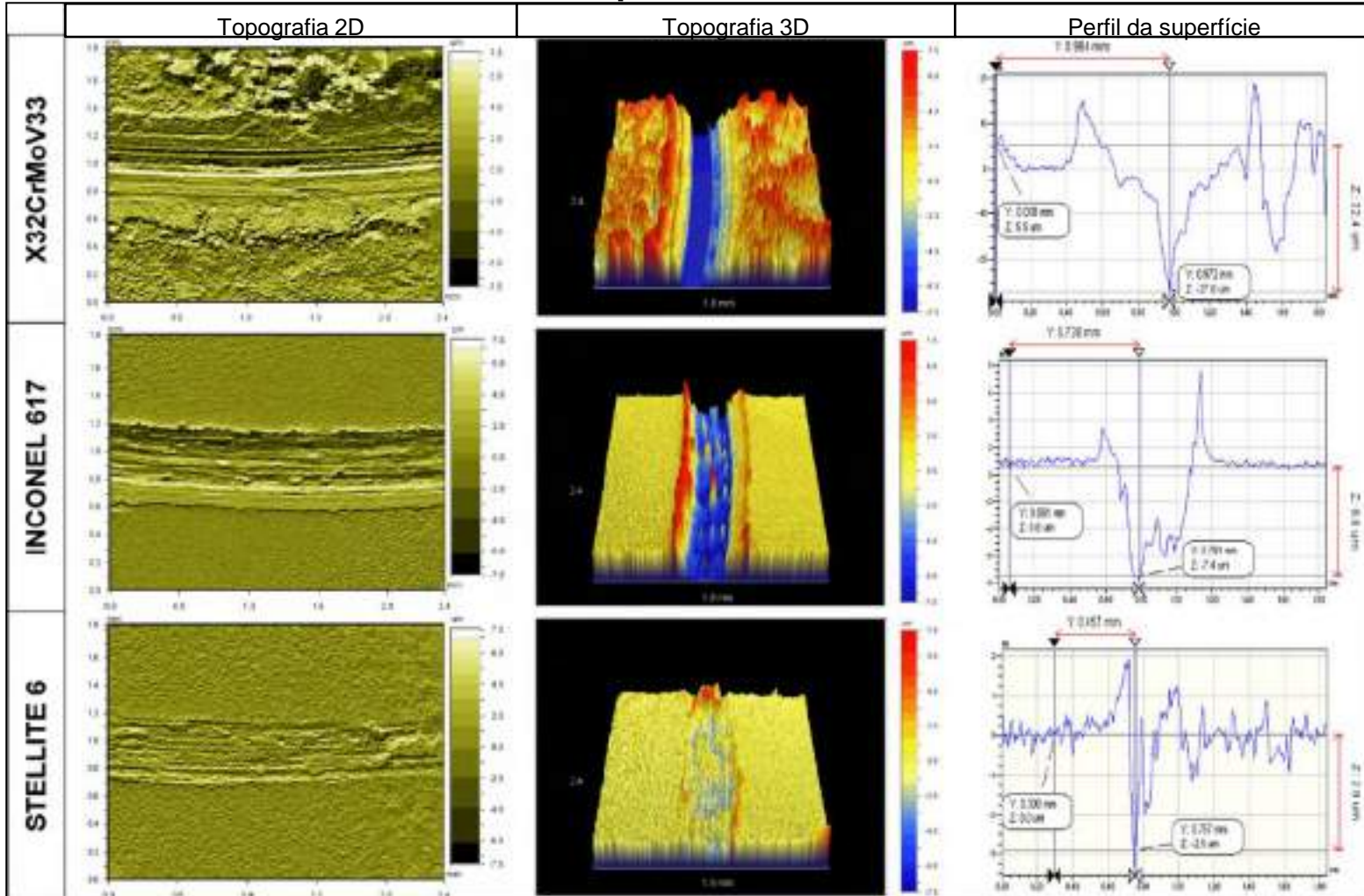
2.4.6. Desgaste por deslizamento das ligas de *Stellite*: altas temperaturas



- A complexidade e limitações da realização de estudos em elevadas temperaturas faz com que esses resultados raramente sejam reportados na literatura (ZHANG e ZHAO, 2013).
- Grande parte dos autores relaciona a resistência ao desgaste por deslizamento em elevada temperatura dos *Stellites* com a formação da camada de *glaze* (WHANG e LI, 2003; BIROL, 2010; WOOD, EVANS e PONTON, 2011). Mas, para algumas condições (Inman *et al.* 2006A; 2006B) essa formação não ocorre.

2. Revisão bibliográfica

2.4.6. Desgaste por deslizamento das ligas de *Stellite*: altas temperaturas



Imagens 2D e 3D das trilhas de desgaste e um perfil da superfície desgastadas das amostras submetidas ao ensaio de desgaste por deslizamento, na configuração esfera-disco e a 750 °C (BIROL, 2010).



2. Revisão bibliográfica

2.4.7. Liga de Co-Cr-Fe



- Segundo Deal *et al.* (2007), a liga composta por Co-28Cr-23Fe é conhecida como *Stellite alloy 250*, e a liga composta por Co-28Cr-20Fe-3Ni-1,5Mo é chamada de UMCo 50. Apesar das duas ligas serem composta pelo ternário Co-Cr-Fe, a primeira é fabricada pelo processo de fundição e a segunda pelo forjamento.
- Segundo Davis (2000), a liga UMCo 50, que também é chamada de Haynes 150, apresenta a seguinte composição química:

	Co	Cr	Fe	Mn	Si	C	P	S
UMCo 50	48-52	27-29	Bal.	0,5-1,0	0,5-1,0	0,05-0,12	<0,02	<0,02



2. Revisão bibliográfica

2.4.7. Liga de Co-Cr-Fe



- Esta é uma liga dúctil e tenaz, com uma energia de impacto Charpy de 95 J a 20 °C e com dureza de 250 HV (forma fundida) e de 300 HV (forma forjada).
- E, devido à sua resistência ao choque térmico, à oxidação e à corrosão, ela é utilizada em fornos de tratamento térmico, da indústria metalúrgica e de reaquecimento, em anéis de orifício de escória e em partes em contato com material fundido (DAVIS, 2000).

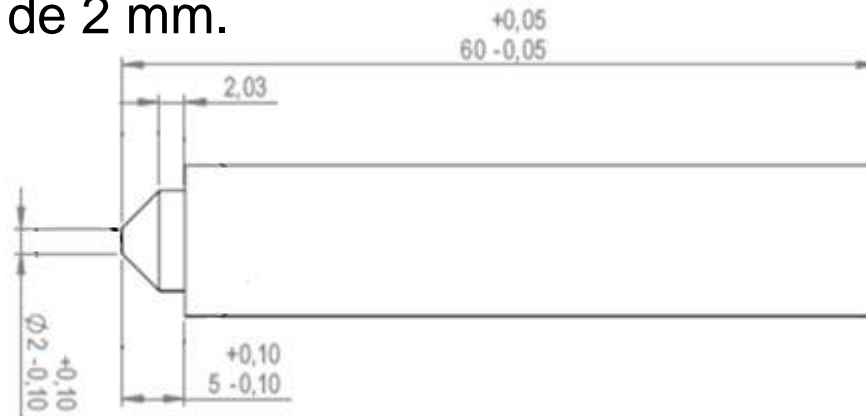
3. Materiais e métodos

3.1. Pinos

- O material do pino utilizado em todos os ensaios foi o aço inoxidável supermartensítico 13%Cr.

Elemento	Fe	C	Cr	Ni	Mo
Composição (%)	Bal.	<0,02	13,0	8,0	2,0

- A geometria utilizada foi a de ponta em formato de tronco de cone, com diâmetro de 2 mm.

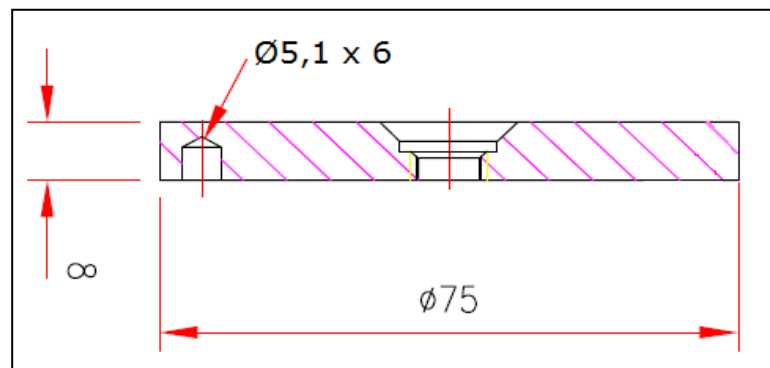


3. Materiais e métodos

3.2. Disco

- Foram utilizados quatro materiais diferentes na obtenção dos discos, sendo um deles por fundição e os outros três como revestimento duro pelo processo de *laser clad*.

	Processo	Co	Cr	W	Mo	C	Fe	Ni	Si	Outros
Liga de Co-Cr-Fe	Fundição	Bal.	28	0,2	0,3	<0,15	22	-	<1,2	-
Stellite 1	Revestimento	Bal.	30	13	<1	2,5	<2	<2	<2	<1
Stellite 6	Revestimento	Bal.	28,5	4,6	<1	1,2	<2	<2	<2	<1
Stellite 12	Revestimento	Bal.	30	8,5	<1	1,45	<2	<2	<2	<1



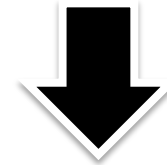
3. Materiais e métodos

3.3. Procedimentos para ensaios

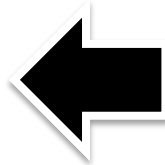
1. Caracterização inicial das amostras
 - a. Composição química
 - b. Microestrutura
 - c. Dureza
 - d. Topografia



2. Preparação das amostras
 - a) Lixamento dos pinos
 - b) Limpeza por equipamento ultrassônico



4. Avaliação do desgaste
 - a) Volume desgastado
 - b) Mecanismos de desgaste



3. Ensaio tribológico
 - a) Temperatura ambiente
 - b) 500 °C

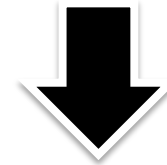
3. Materiais e métodos

3.3.1. Caracterização inicial das amostras

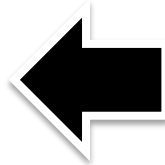
1. Caracterização inicial das amostras
 - a. Composição química
 - b. Microestrutura
 - c. Dureza
 - d. Topografia



2. Preparação das amostras
 - a) Lixamento dos pinos
 - b) Limpeza por equipamento ultrassônico



4. Avaliação do desgaste
 - a) Volume desgastado
 - b) Mecanismos de desgaste



3. Ensaio tribológico
 - a) Temperatura ambiente
 - b) 500 °C



3. Materiais e métodos

3.3.1.a. Composição química



- A análise da composição química dos materiais dos discos foram realizadas por meio das seguintes técnicas:
 - Liga de Co-Cr-Fe (análise realizada no Centro Tecnológico de Controle de Qualidade Falcão Bauer):
 - Espectrofotometria de absorção atômica (Agilent 240FS);
 - Espectrometria de emissão em plasma (Varian ICP/OES VISTA MPX);
 - Análise de carbono e enxofre (Leco CS 200).
 - Revestimentos de *Stellite*:
 - Espectrometria de energia dispersiva (EDS). Com análises realizadas no laboratório de microscopia eletrônica e microanálise do Instituto Federal do Espírito Santo (Ifes), campus de Vitória.



3. Materiais e métodos

3.3.1.b. Microestrutura



- Caracterização microestrutural
 - As amostras foram cortadas, embutidas, lixadas (com a sequência de lixas de #320, #600, #800 e #1200) e polidas (com solução de diamante de 3 μm em suspensão).
 - Posteriormente, foram utilizados os seguintes ataques químicos:

Material	Ataque utilizado	Método de aplicação
Liga de Co-Cr-Fe	100 mL de HCl + 5 mL H_2O_2	Imersão
Stellite 1	100 mL de HCl + 5 mL H_2O_2	Imersão
Stellite 6	5 mL de HCl + 10g de FeCl_3 + 100 mL de H_2O	Eletrolítico (5 s; 4 V)
Stellite 12	100 mL de HCl + 5 mL H_2O_2	Imersão
Pinos	Reagente de Vilella	Imersão

3. Materiais e métodos

3.3.1.c. Dureza

- A dureza dos materiais e o perfil de dureza de cada material utilizado como revestimento duro foram mensurados.
- Os parâmetros de dureza Vickers utilizados seguem tabela abaixo:

	Carga	Tempo	Número de endentações
Dureza do pino	1,0 kgf	15 s	10
Dureza dos discos	0,1 kgf	15 s	10
Perfil de dureza dos discos revestidos	0,1 kgf	15 s	15 (espaçamento de 100 µm)



3. Materiais e métodos

3.3.1.d. Topografia



- A análise dos parâmetros de rugosidade foi realizada no analisador tridimensional de superfície Talysurf CLI 1000 (Taylor Hobson Precision), do Laboratório de Caracterização de Superfícies e Materiais (LCSM) da UFES.
- Os parâmetros utilizados são apresentados na tabela abaixo:

Área	1x1 mm
Espaçamento entre pontos	0,5 μm
Espaçamento entre linhas	15 μm
Velocidade de leitura	500 $\mu\text{m/s}$
Parâmetros extraídos	Sa e Sq

- Os discos foram entregues com as superfícies já retificadas, por isso foram analisados como recebidos.
- Os pinos passaram por um processo de lixamento antes da caracterização topográfica.

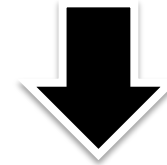
3. Materiais e métodos

3.3.2. Preparação das amostras

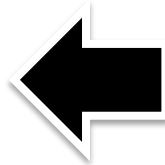
1. Caracterização inicial das amostras
 - a. Composição química
 - b. Microestrutura
 - c. Dureza
 - d. Topografia



2. Preparação das amostras
 - a) Lixamento dos pinos
 - b) Limpeza por equipamento ultrassônico



4. Avaliação do desgaste
 - a) Volume desgastado
 - b) Mecanismos de desgaste



3. Ensaio tribológico
 - a) Temperatura ambiente
 - b) 500 °C

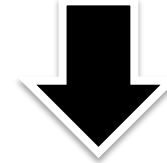
3. Materiais e métodos

3.3.3. Ensaaios tribológicos

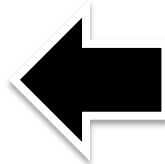
1. Caracterização inicial das amostras
 - a. Composição química
 - b. Microestrutura
 - c. Dureza
 - d. Topografia



2. Preparação das amostras
 - a) Lixamento dos pinos
 - b) Limpeza por equipamento ultrassônico



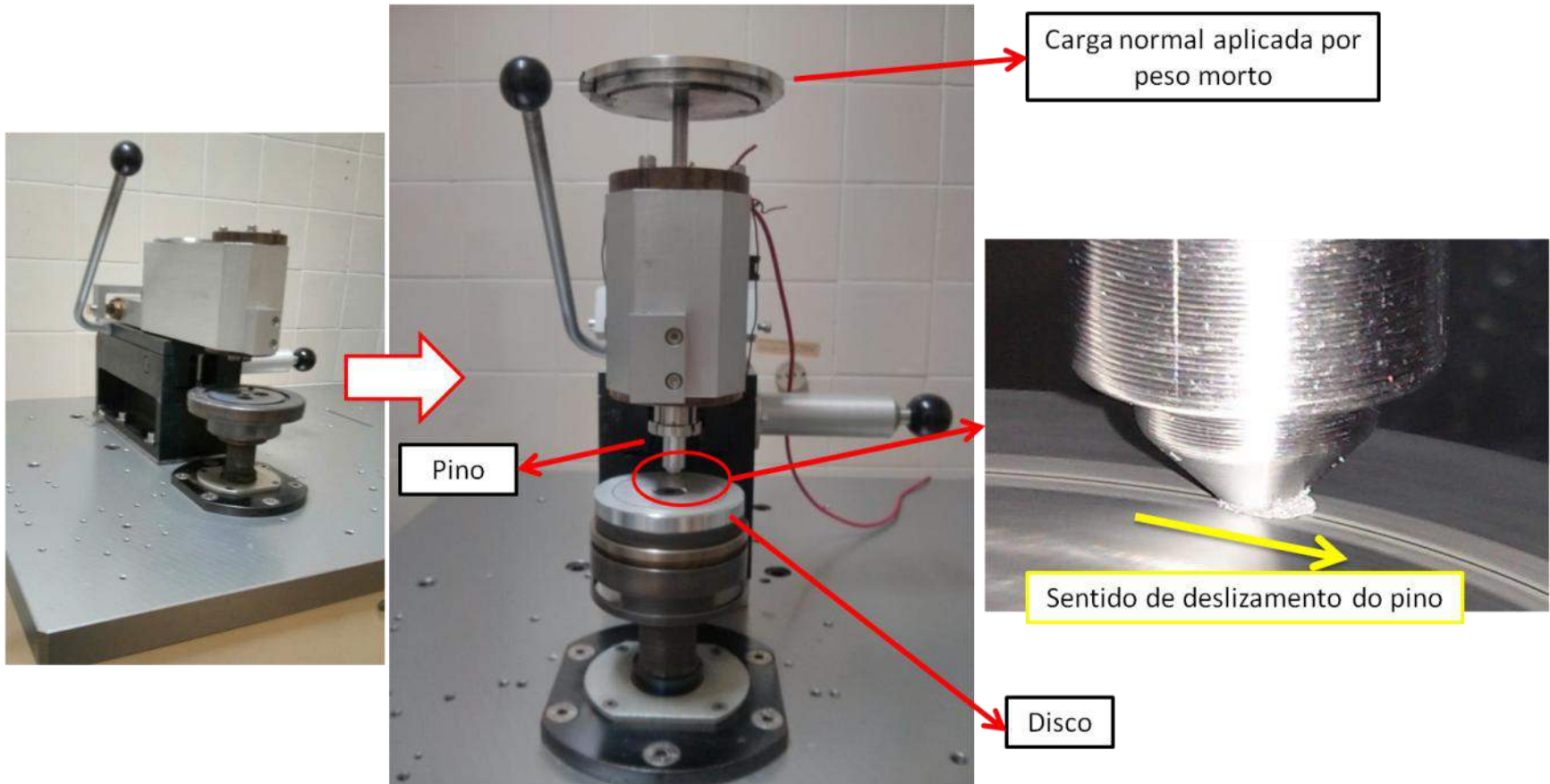
4. Avaliação do desgaste
 - a) Volume desgastado
 - b) Mecanismos de desgaste



3. Ensaaios tribológicos
 - a) Temperatura ambiente
 - b) 500 °C

3. Materiais e métodos

3.3.3. Ensaios tribológicos



Tribômetro Phoenix PLINT TE67, do laboratório de Tribologia, Corrosão e Materiais (TRICORRMAT), utilizado nos ensaios tribológicos.



3. Materiais e métodos

3.3.3. Ensaios tribológicos



Parâmetros utilizados nos ensaios tribológicos

Carga normal (N)	7,3; 15,2; 23,0; 29,9.
Tempo de ensaio	1 hora
Raio da trilha de desgaste	28 mm
Velocidade de deslizamento	0,2 m/s
Temperatura	Temperatura ambiente (25 ± 5 °C); 500 °C.
Umidade relativa do ar	70 ± 20 %
Número de ensaios por condição	1 réplica (temperatura ambiente) 2 réplicas (500 °C)
Frequência de aquisição da força de atrito	1 Hz

3. Materiais e métodos

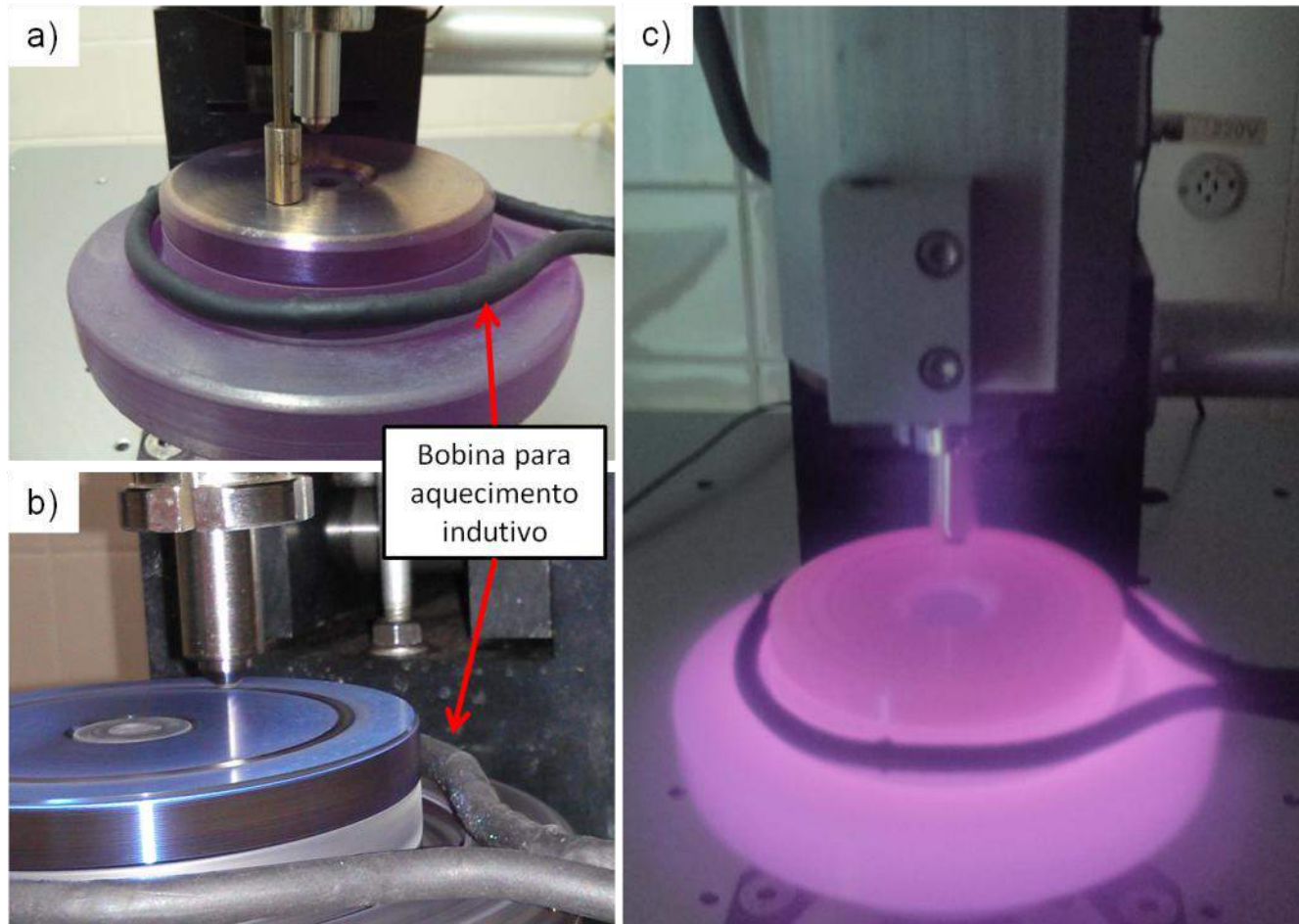
3.3.3. Ensaio tribológico – Aquecimento



Aquecedor indutivo *Easy Heat 0112*, da *Ambrell*, utilizado no aquecimento dos discos para os ensaios realizados a 500 °C.

3. Materiais e métodos

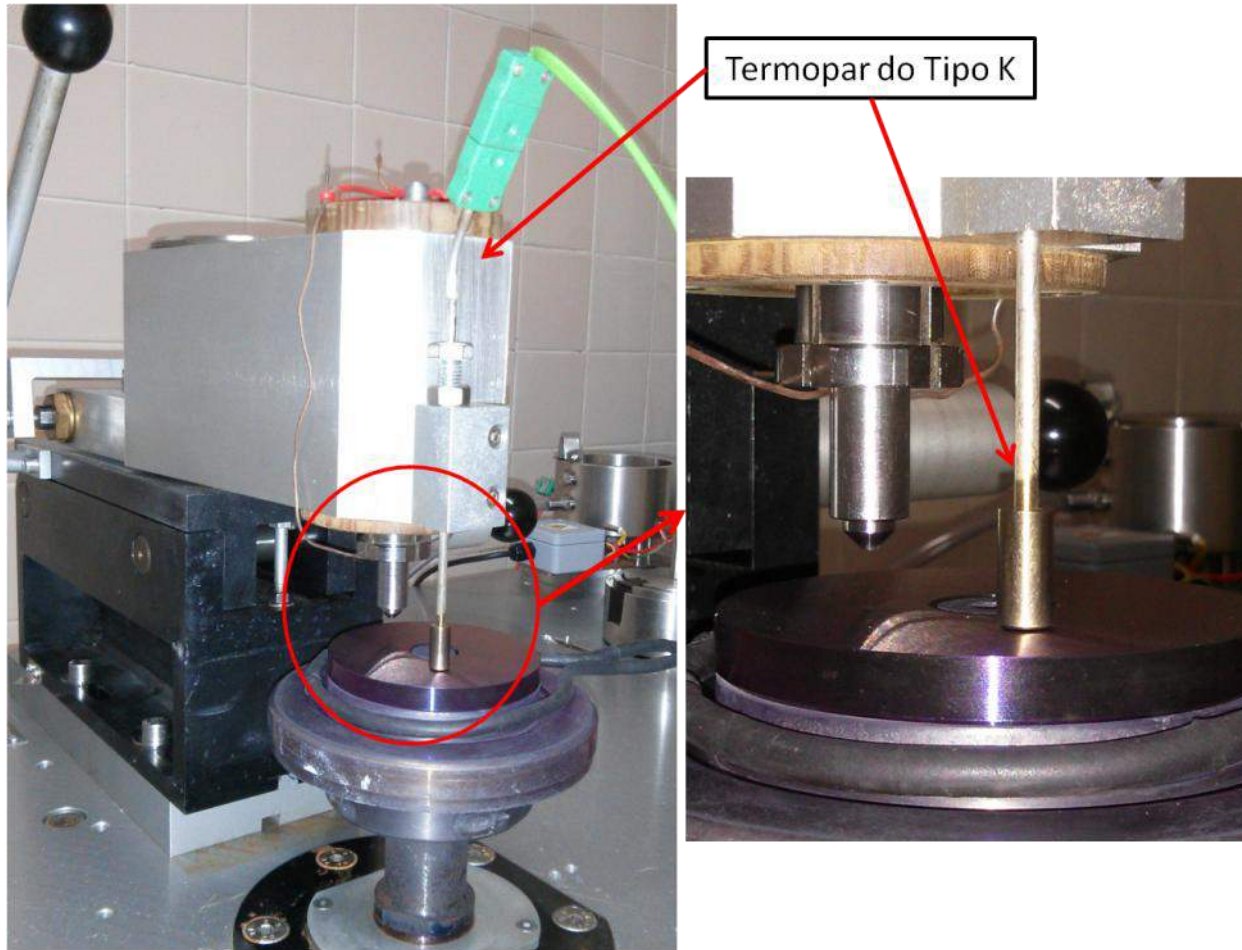
3.3.3. Ensaios tribológicos – Aquecimento



Em (a), esquema de aquecimento utilizado para realização dos ensaios; Em (b), o posicionamento do da bobina próximo ao disco; Em (c), uma foto mostrando a irradiação de luz emitida pelo conjunto aquecido.

3. Materiais e métodos

3.3.3. Ensaio tribológico – Aquecimento

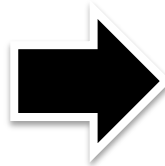


Medição da temperatura realizada através do termopar tipo K.

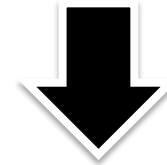
3. Materiais e métodos

3.3.4. Avaliação do desgaste

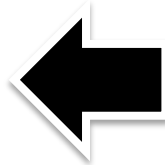
1. Caracterização inicial das amostras
 - a. Composição química
 - b. Microestrutura
 - c. Dureza
 - d. Topografia



2. Preparação das amostras
 - a) Lixamento dos pinos
 - b) Limpeza por equipamento ultrassônico



4. Avaliação do desgaste
 - a) Volume desgastado
 - b) Mecanismos de desgaste

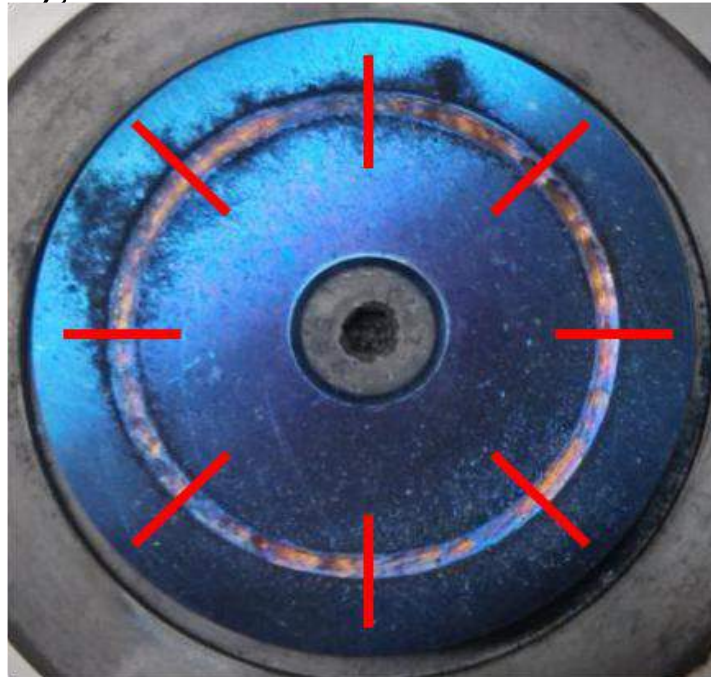


3. Ensaio tribológico
 - a) Temperatura ambiente
 - b) 500 °C

3. Materiais e métodos

3.3.4.a. Volume desgastado

- Para a mediação do volume desgastado dos discos, foi utilizado o analisador tridimensional de superfície Talysurf CLI 1000 (Taylor Hobson Precision), do LCSM/UFES.

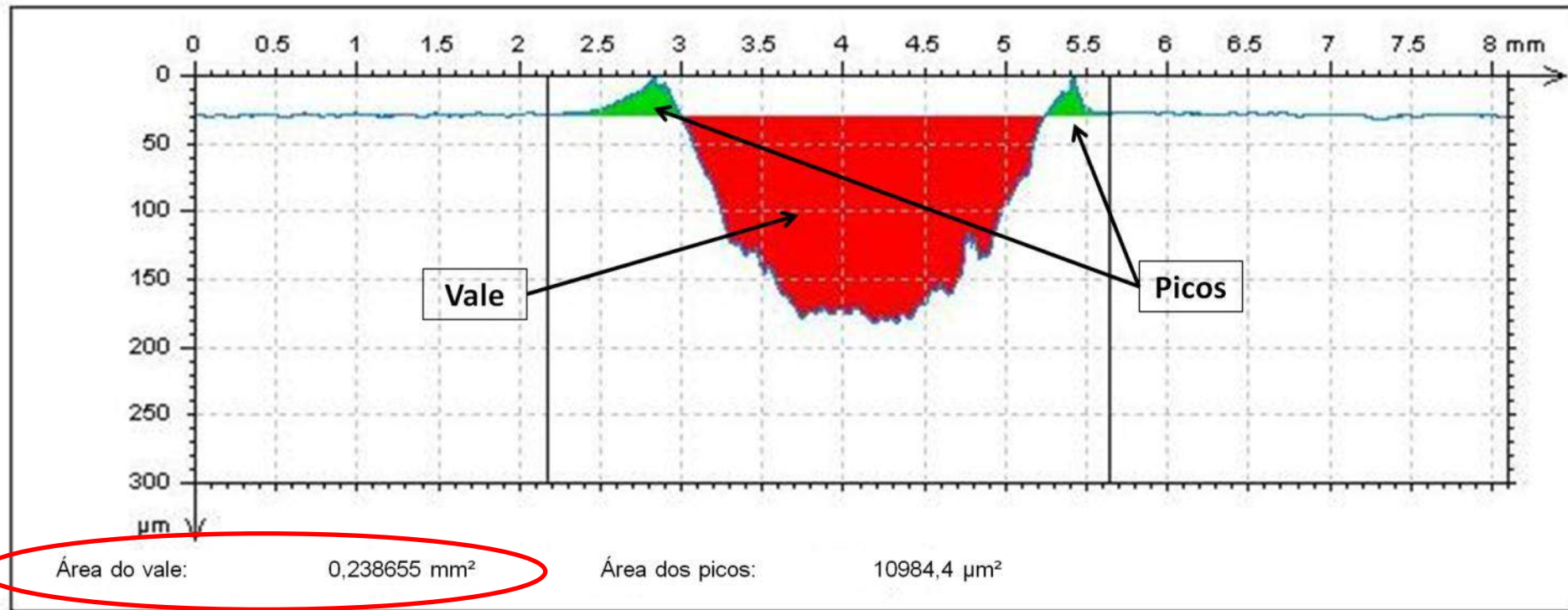


Posicionamento dos perfis utilizados para medir o volume desgastado ao longo da trilha de desgaste.

3. Materiais e métodos

3.3.4.a. Volume desgastado

- O volume desgastado foi calculado pela multiplicação da área do vale pelo comprimento da circunferência.



Exemplo do perfil transversal extraído para o cálculo do volume desgastado.

3. Materiais e métodos

3.3.4.a. Volume desgastado

- Para a mediação do volume desgastado dos pinos, foi utilizada a equação abaixo:

$$V = \frac{\pi}{3} \cdot (R^3 - r^3)$$



Exemplo da medição do raio na lupa estereoscópica após os ensaios.



3. Materiais e métodos

3.3.4.b. Mecanismos de desgaste



- Os mecanismos de desgaste foram investigados utilizando:
 - Analisador tridimensional de superfície Talysurf CLI 1000 (Taylor Hobson Precision), do LCSM/UFES, que possibilitou identificar a morfologia da trilha de desgaste.
 - Lupa estereoscópica e microscópio eletrônico de varredura EVO 40, ambos da Zeiss e do LCSM/UFES, que permitiram observar os mecanismos de desgaste em detalhe.
 - Análises por EDS utilizando o detector Aztec 2.1A, da Oxford, acoplado ao MEV EVO MA10, da Zeiss, o que permitiu a identificação da composição elementar da trilha de desgaste.

4. Resultados e Discussões

4.1. Caracterização dos materiais

4.1.1. Microestrutura e composição química

Pino de aço inoxidável supermartensítico



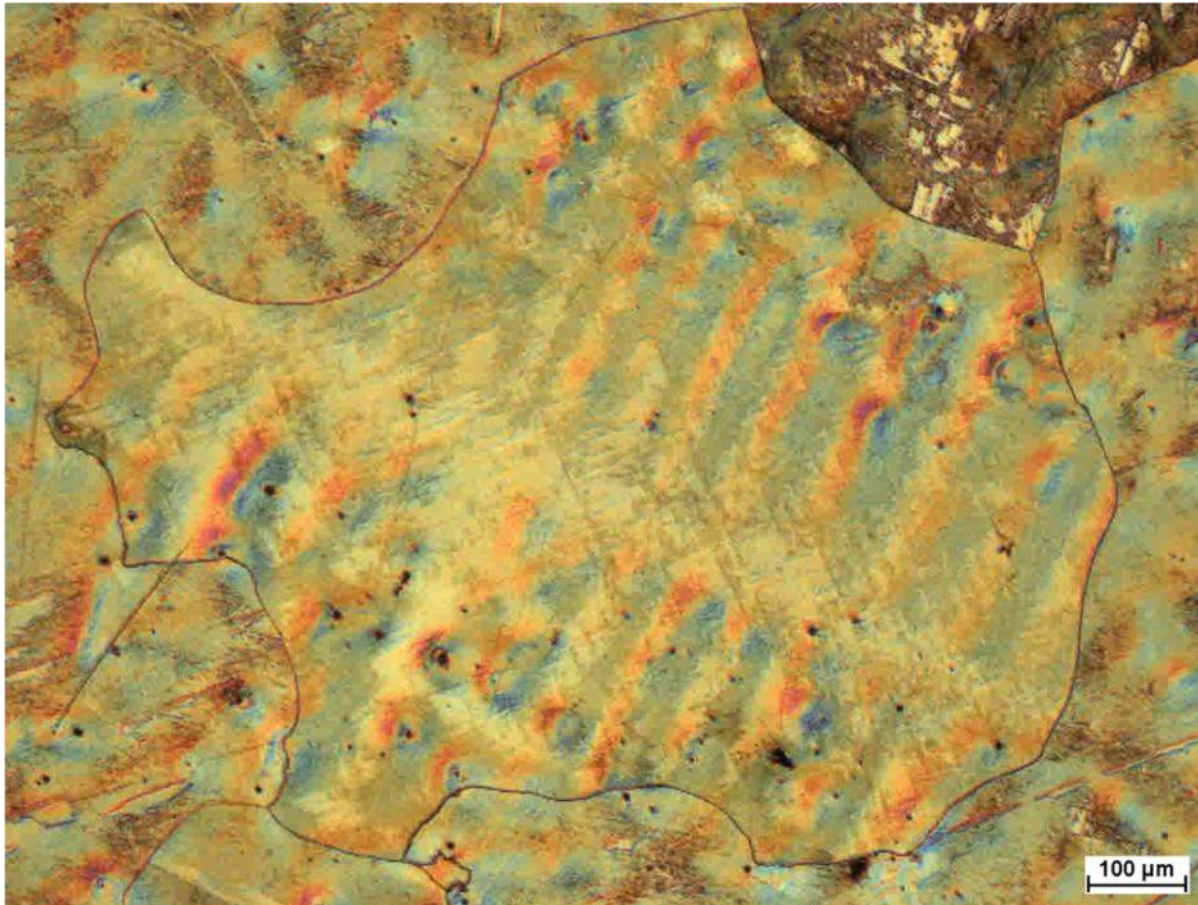
Microestrutura do material utilizado para fabricação do pino revelada através do ataque com solução de Vilella (magnitude original: 500x) – MO.

4. Resultados e Discussões

4.1. Caracterização dos materiais

4.1.1. Microestrutura e composição química

Liga Co-Cr-Fe



Elemento	%, em peso
Co	47,72
Cr	29,83
Fe	19,09
C	0,22
W	0,18
Mo	0,33
Si	0,96

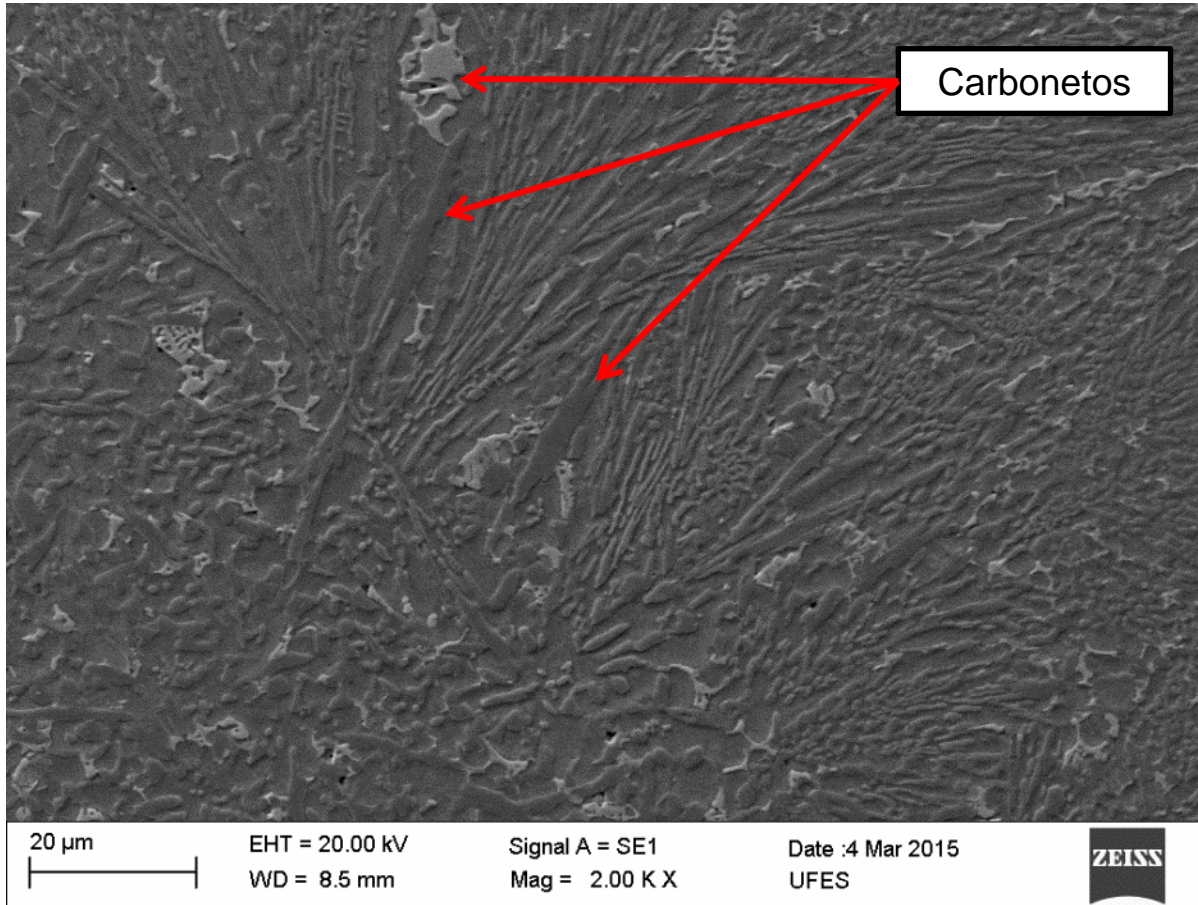
Micrografia da microestrutura da liga de Co-Cr-Fe após ataque químico com solução de HCL + H₂O₂ (magnitude original: 100x) – MO – e sua respectiva composição química.

4. Resultados e Discussões

4.1. Caracterização dos materiais

4.1.1. Microestrutura e composição química

Liga *Stellite 1*



Elemento	%, em peso
Co	47,8
Cr	31,9
W	13,7
Fe	3,7
Ni	1,4
Si	0,8
Mn	0,5
Mo	0,2

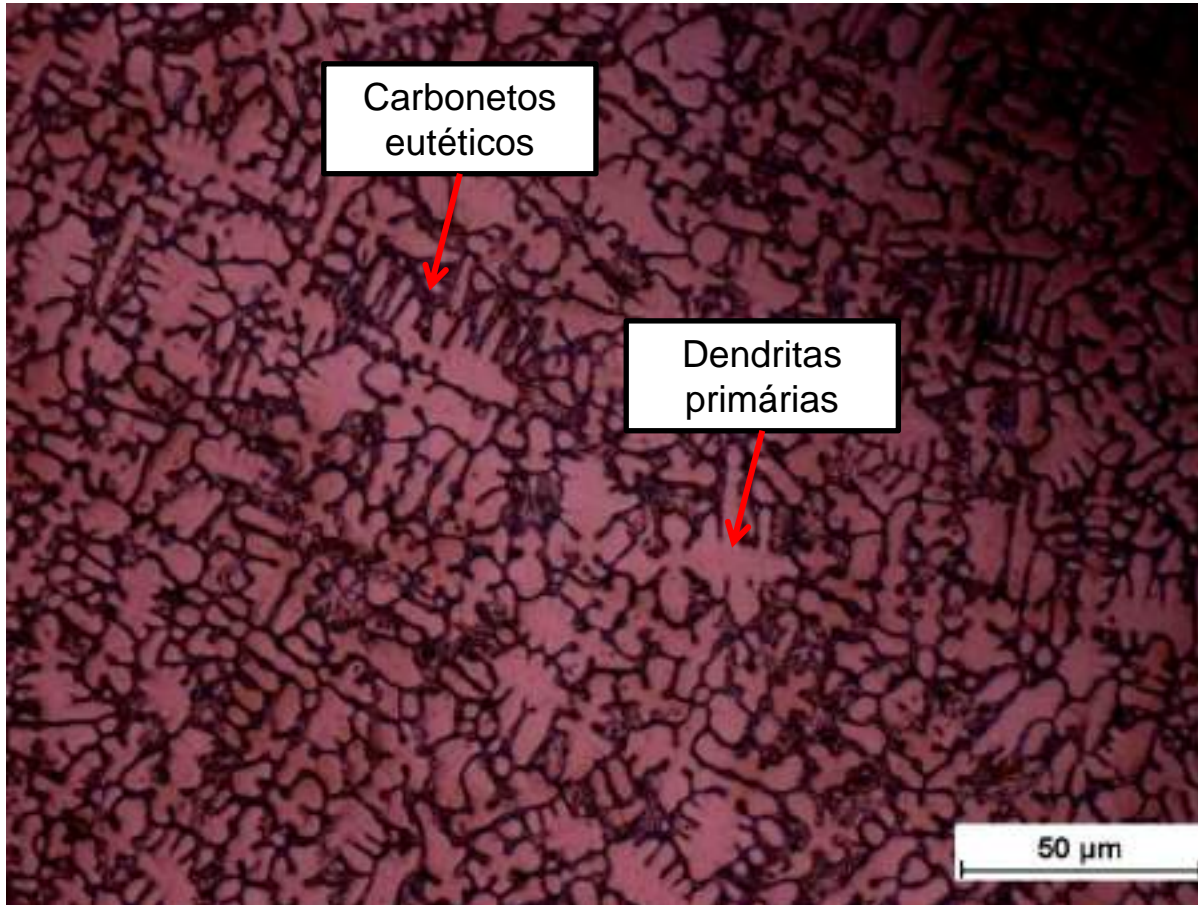
Micrografia da microestrutura da liga de *Stellite 1* após o ataque químico utilizando a solução de HCL + H₂O₂ e sua respectiva composição química – MEV/EDS.

4. Resultados e Discussões

4.1. Caracterização dos materiais

4.1.1. Microestrutura e composição química

Liga *Stellite 6*



Elemento	%, em peso
Co	57,4
Cr	29,7
W	4,5
Fe	4,4
Ni	2,1
Si	1,2
Mn	0,6
Mo	0,2

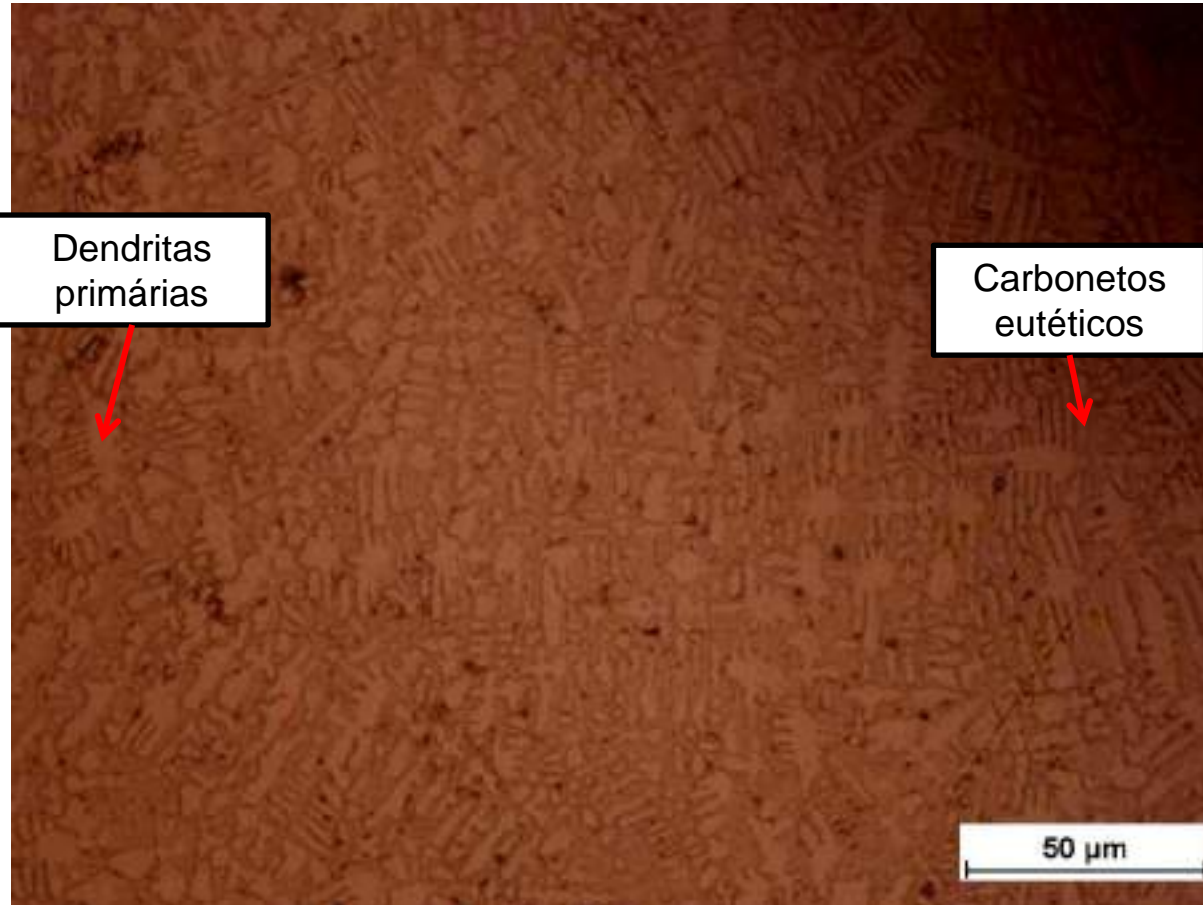
Micrografia da microestrutura da liga *Stellite 6* – MO – após ataque químico utilizando a solução de HCl + FeCl₃ + H₂O (magnitude original: 500x) e sua respectiva composição química – EDS. 45

4. Resultados e Discussões

4.1. Caracterização dos materiais

4.1.1. Microestrutura e composição química

Liga *Stellite 12*



Elemento	%, em peso
Co	53,3
Cr	30,5
W	8,6
Fe	3,5
Ni	1,8
Si	1,2
Mn	0,6
Mo	0,4

Micrografia da microestrutura da liga *Stellite 12* – MO – após ataque químico utilizando a solução de HCL + H₂O₂ (magnitude original: 500x) e sua respectiva composição química – EDS.

4. Resultados e Discussões

4.1. Caracterização dos materiais

4.1.2. Dureza

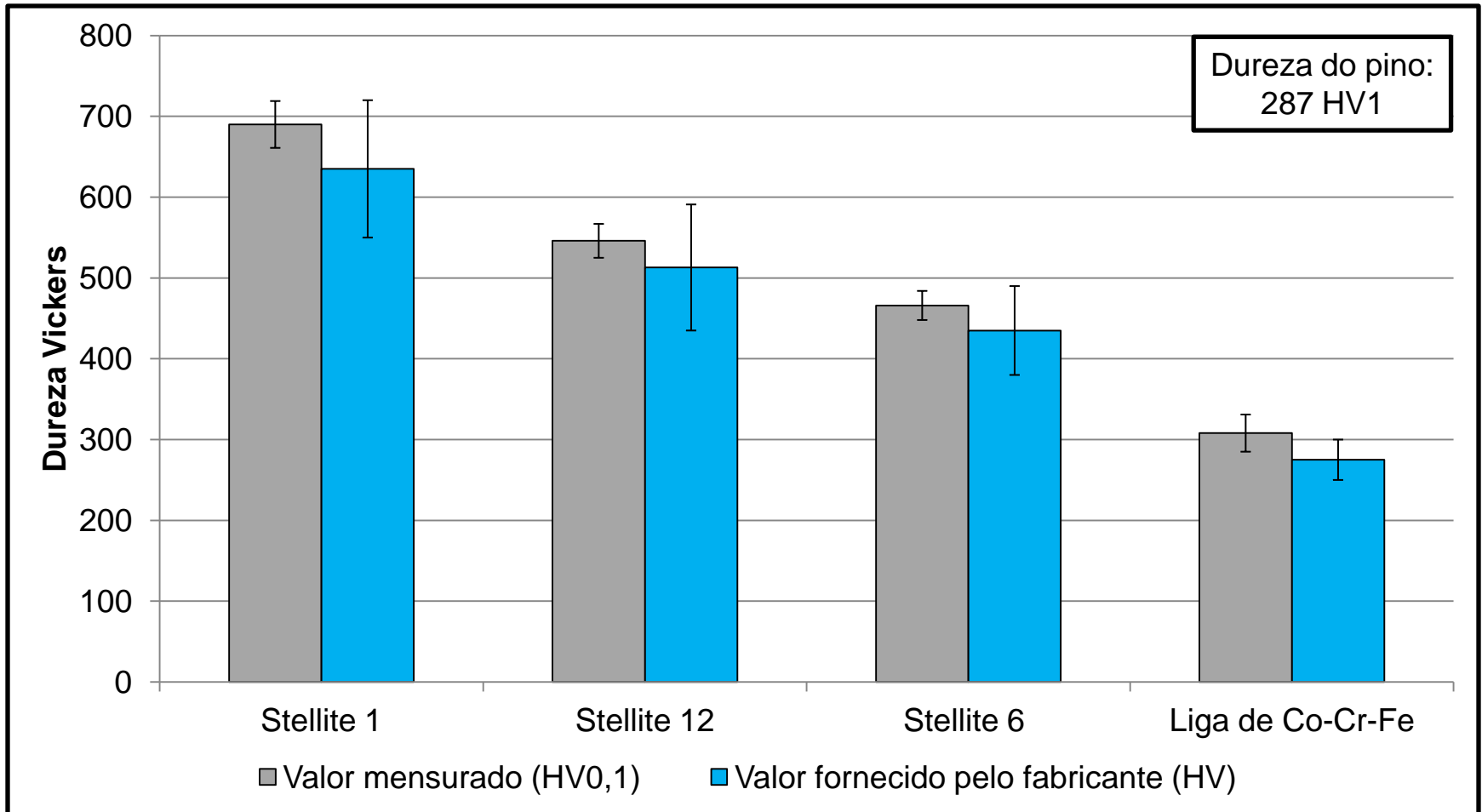


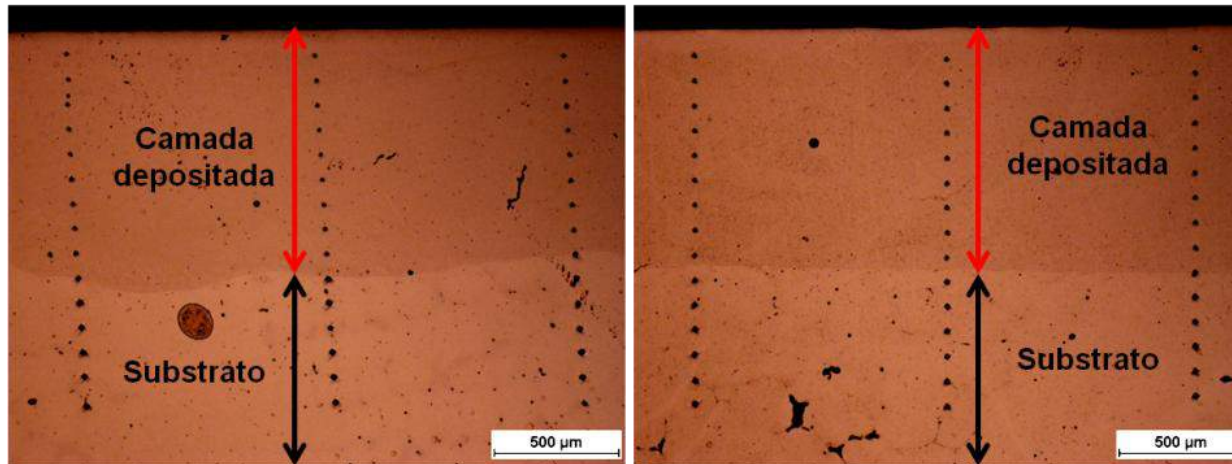
Gráfico dos valores mensurados de dureza Vickers (HV 0,1) dos materiais utilizados para fabricação dos discos neste trabalho . Em azul, os valores fornecidos pelo fabricante (HV).

4. Resultados e Discussões

4.1. Caracterização dos materiais

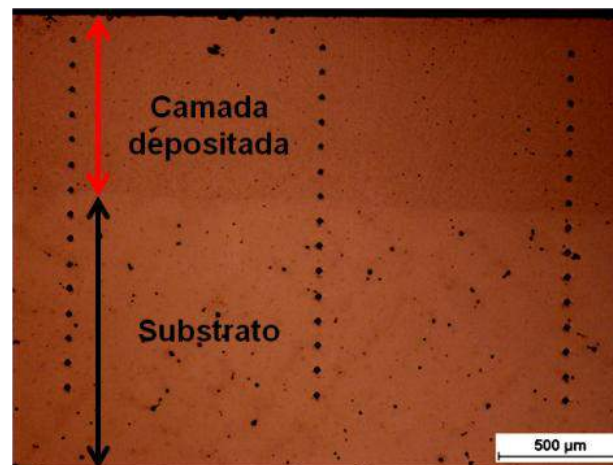
4.1.2. Dureza

Perfis de dureza



Stellite 1

Stellite 12



Stellite 6

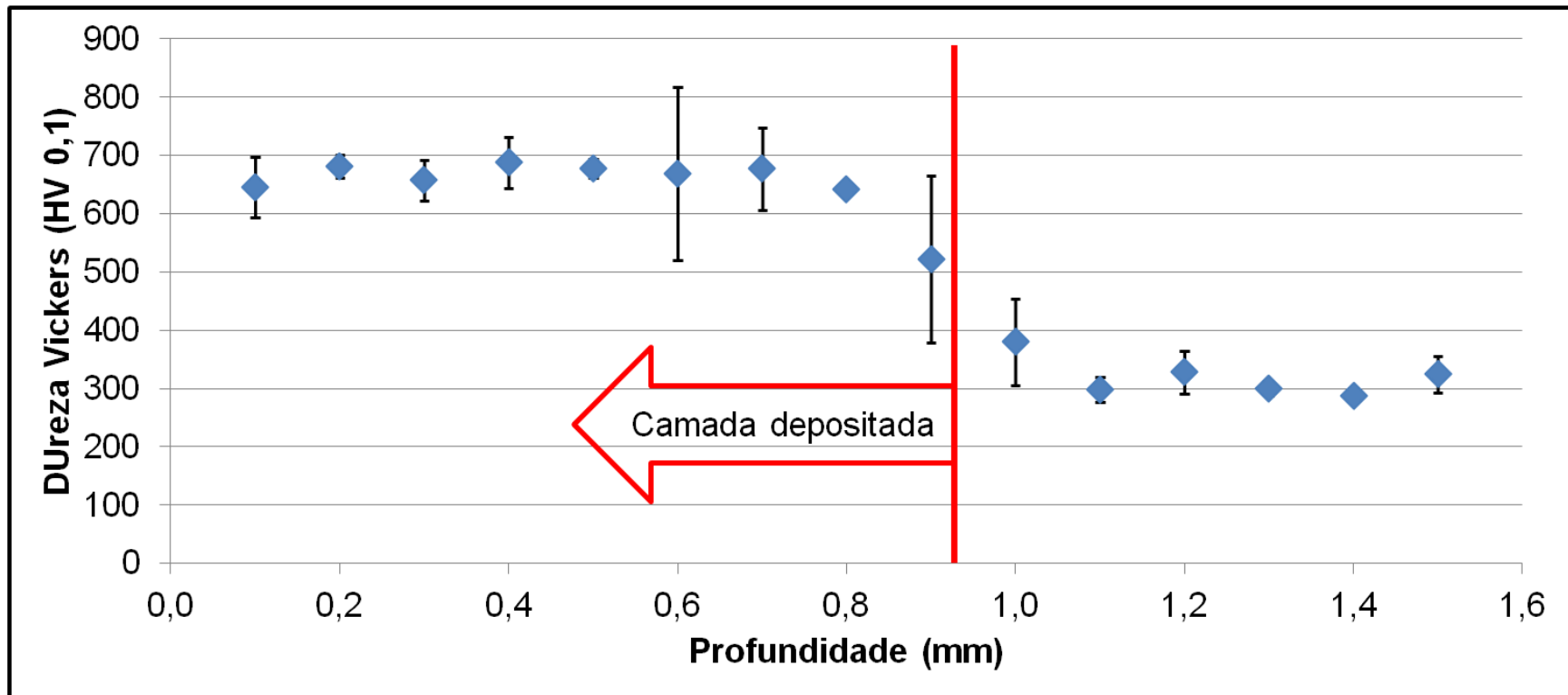
Micrografias ópticas, sem ataque, dos perfis de durezas das amostras revestidas (magnitude original: 50x).

4. Resultados e Discussões

4.1. Caracterização dos materiais

4.1.2. Dureza

Perfil de dureza – *Stellite 1*



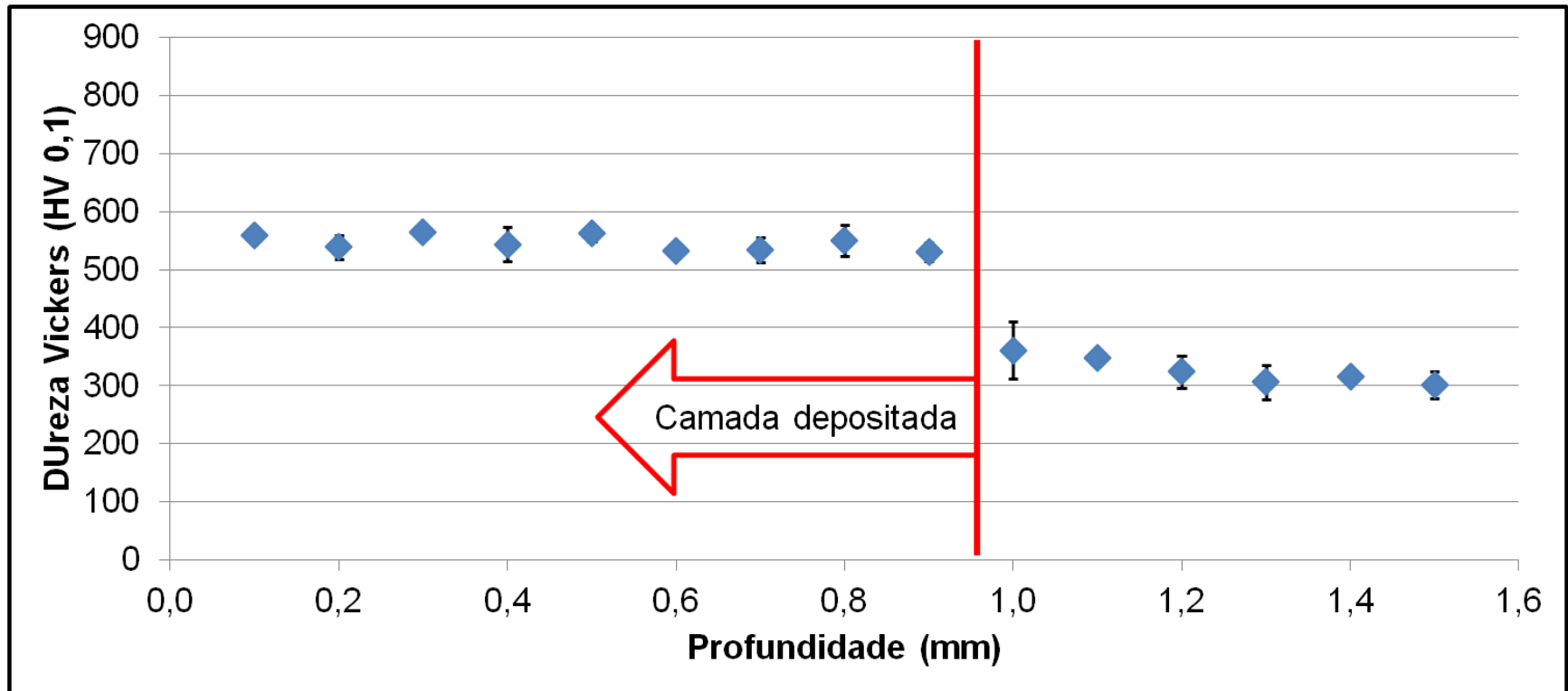
Perfil de dureza Vickers em função da profundidade para um corte transversal do disco recoberto por *Stellite 1*.

4. Resultados e Discussões

4.1. Caracterização dos materiais

4.1.2. Dureza

Perfil de dureza – *Stellite 12*



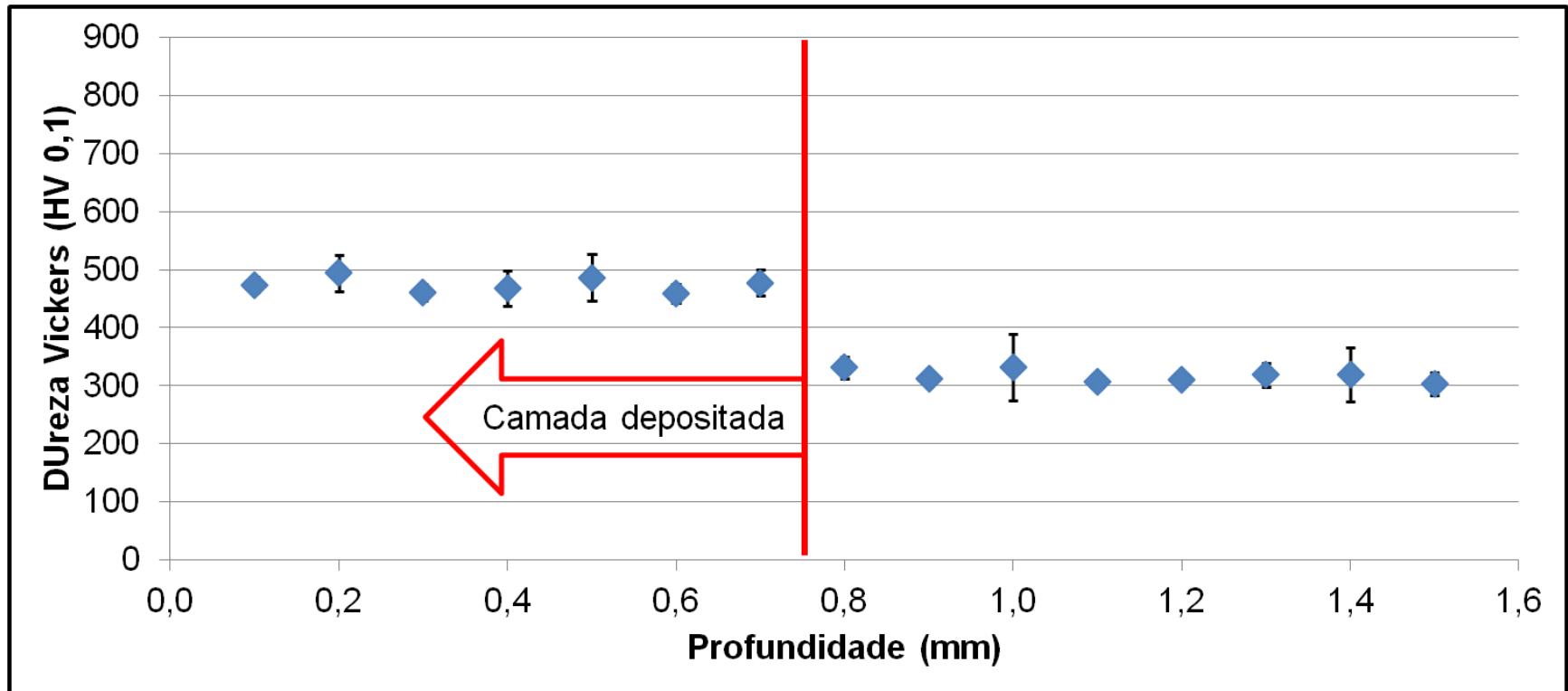
Perfil de dureza Vickers em função da profundidade para um corte transversal do disco recoberto por *Stellite 12*.

4. Resultados e Discussões

4.1. Caracterização dos materiais

4.1.2. Dureza

Perfil de dureza – *Stellite 6*



Perfil de dureza Vickers em função da profundidade para um corte transversal do disco recoberto por *Stellite 6*.



4. Resultados e Discussões

4.1. Caracterização dos materiais

4.1.3. Caracterização superficial



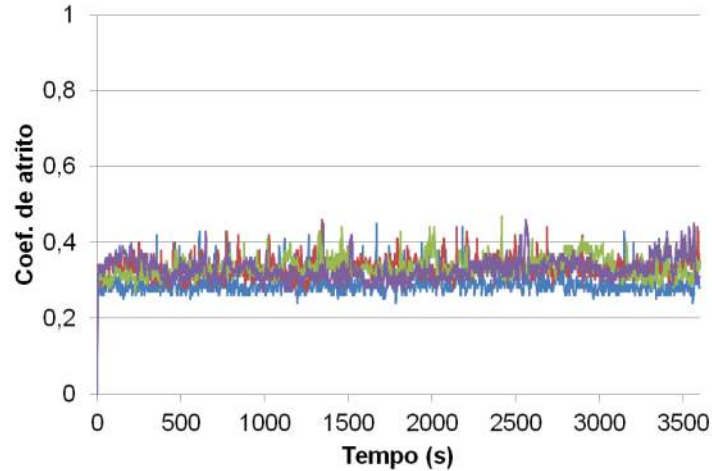
- Os parâmetros de rugosidade dos discos e pinos antes dos ensaios são apresentados na tabela abaixo:

Material	Sa (μm)	Sq (μm)
Disco – Liga de Co-Cr-Fe	$0,42 \pm 0,26$	$0,53 \pm 0,33$
Disco - Stellite 1	$0,43 \pm 0,08$	$0,59 \pm 0,13$
Disco - Stellite 6	$0,50 \pm 0,13$	$0,64 \pm 0,18$
Disco - Stellite 12	$0,32 \pm 0,12$	$0,47 \pm 0,20$
Pino	$0,39 \pm 0,11$	$0,56 \pm 0,14$

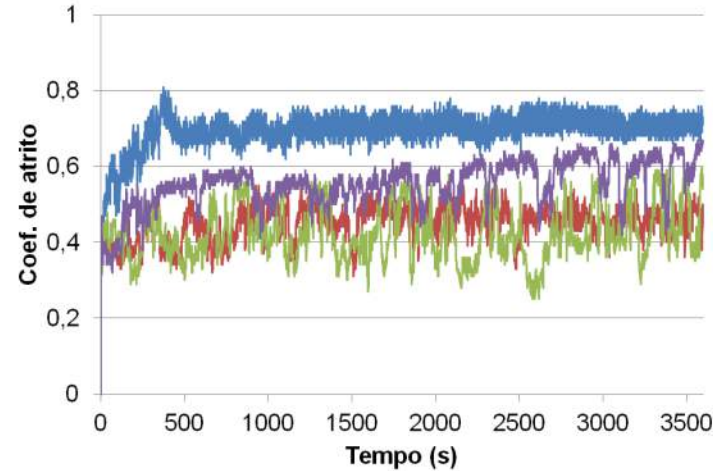
4. Resultados e Discussões

4.2.1. Atrito – Temperatura ambiente

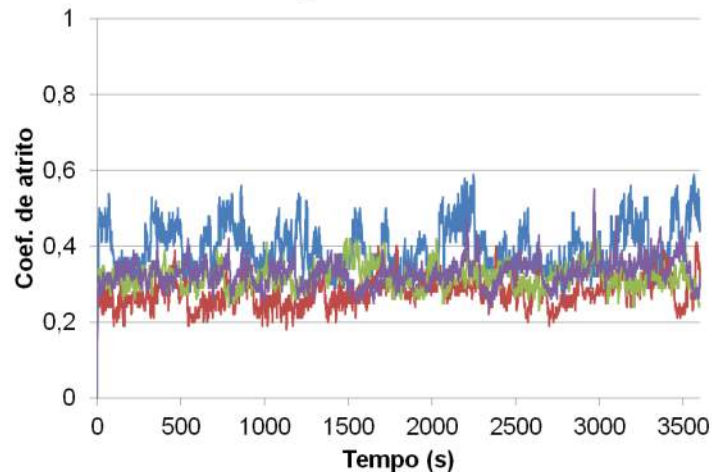
Liga Co-Cr-Fe



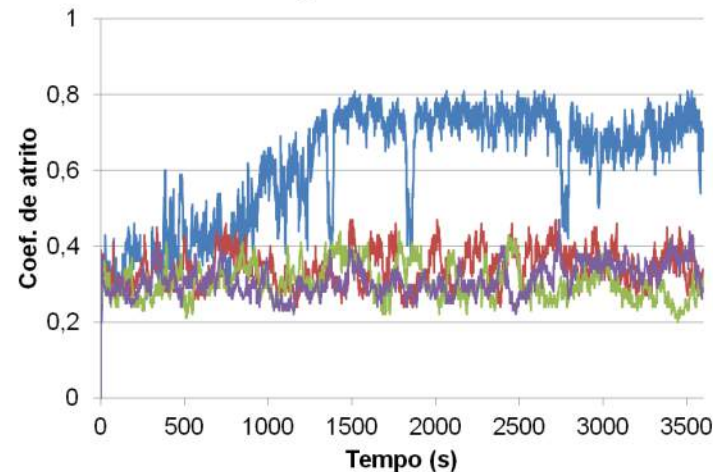
Liga Stellite 1



Liga Stellite 6



Liga Stellite 12

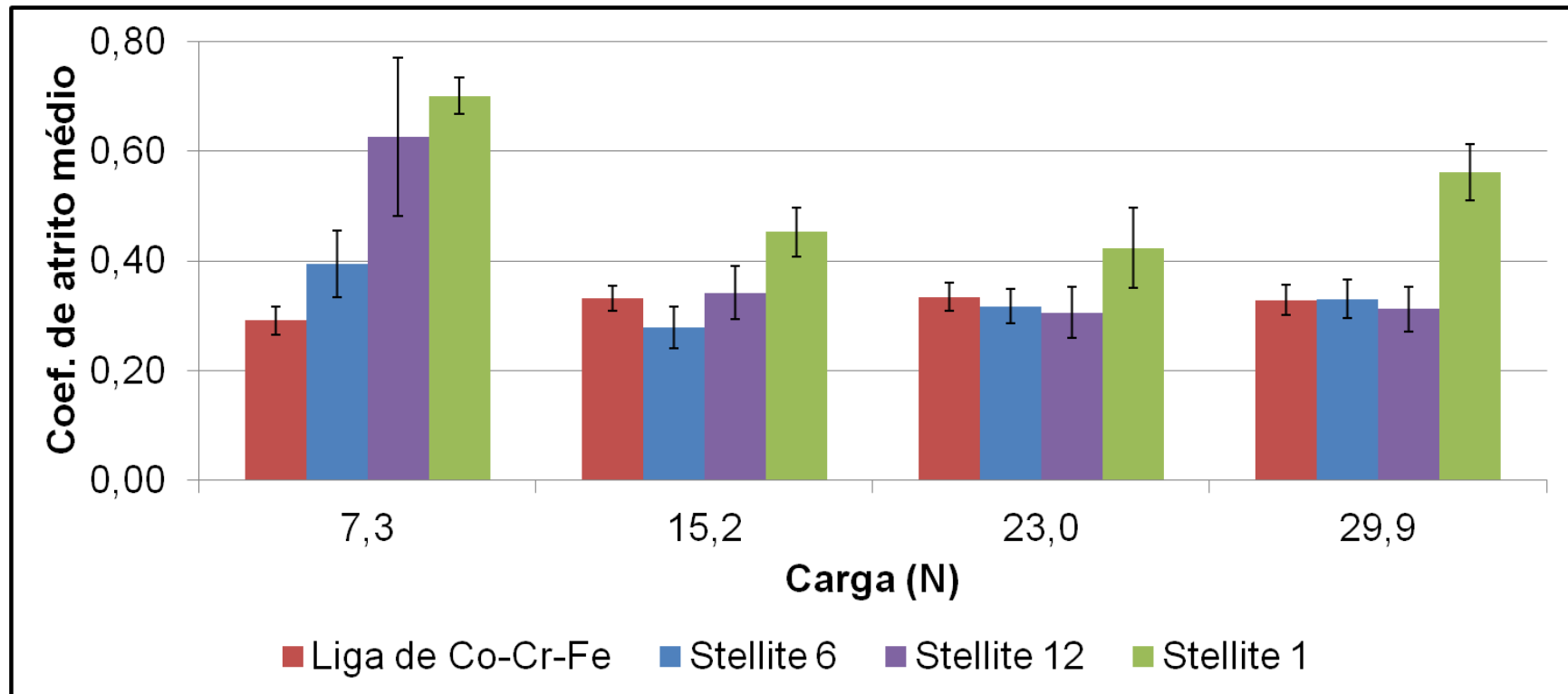


Coeficiente de atrito em função do tempo para os ensaios realizados em temperatura ambiente.

4. Resultados e Discussões

4.2.1. Atrito – Temperatura ambiente

Coeficiente de atrito médio



Coeficiente de atrito médio em função da carga normal aplicada para os ensaios realizados em temperatura ambiente

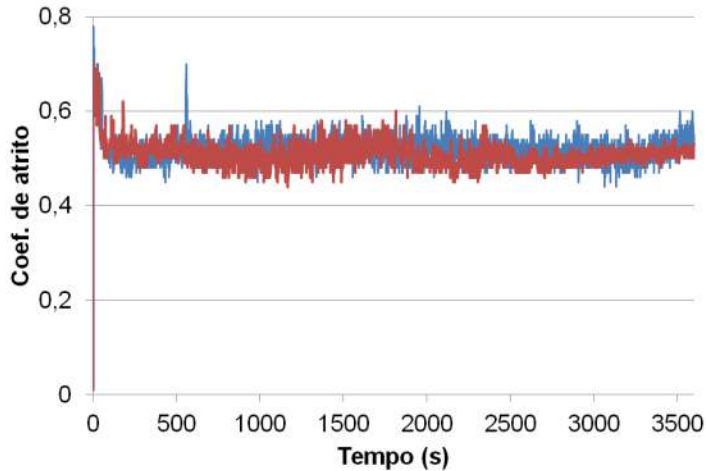


4. Resultados e Discussões

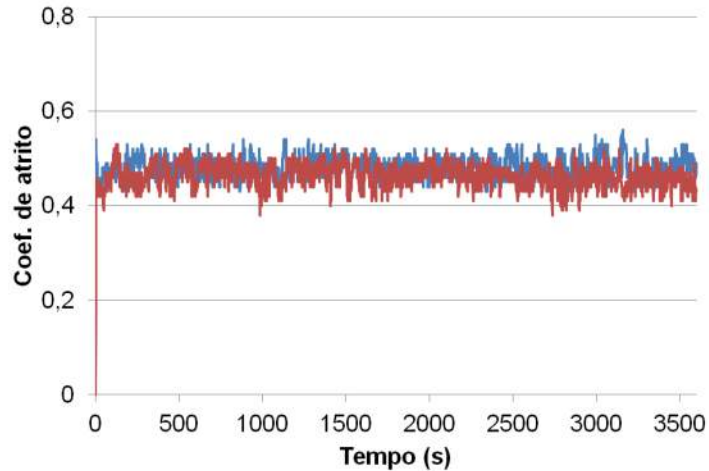
4.2.2. Atrito – Temperatura de 500 °C



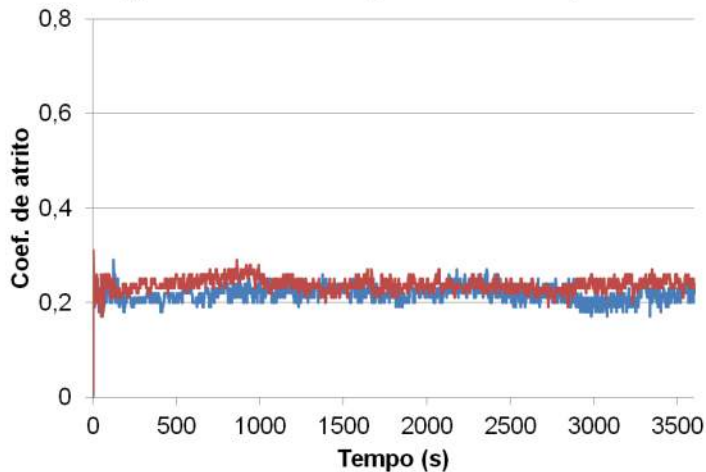
Liga Co-Cr-Fe – Carga normal de 15,2 N



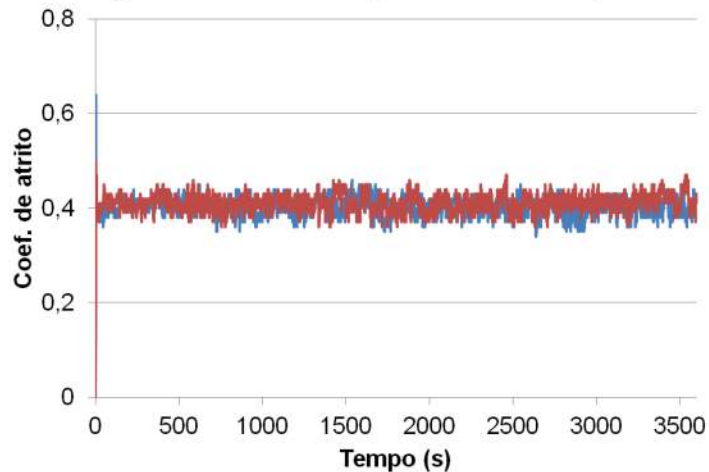
Liga Stellite 6 – Carga normal de 23,0 N



Liga Stellite 1 – Carga normal de 7,3 N



Liga Stellite 12 – Carga normal de 29,9 N

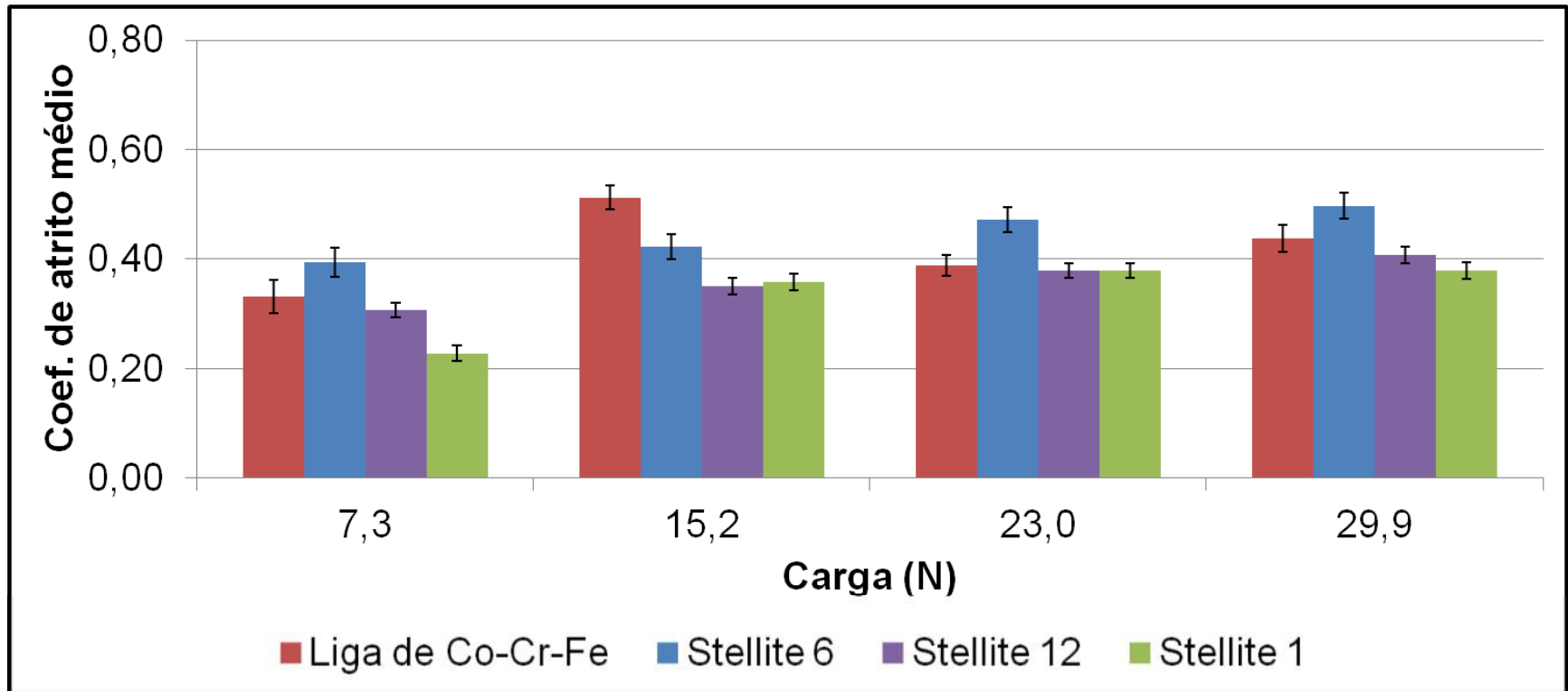


Coeficiente de atrito em função do tempo para os ensaios realizados a 500 °C.

4. Resultados e Discussões

4.2.2. Atrito – Temperatura de 500 °C

Coeficiente de atrito médio

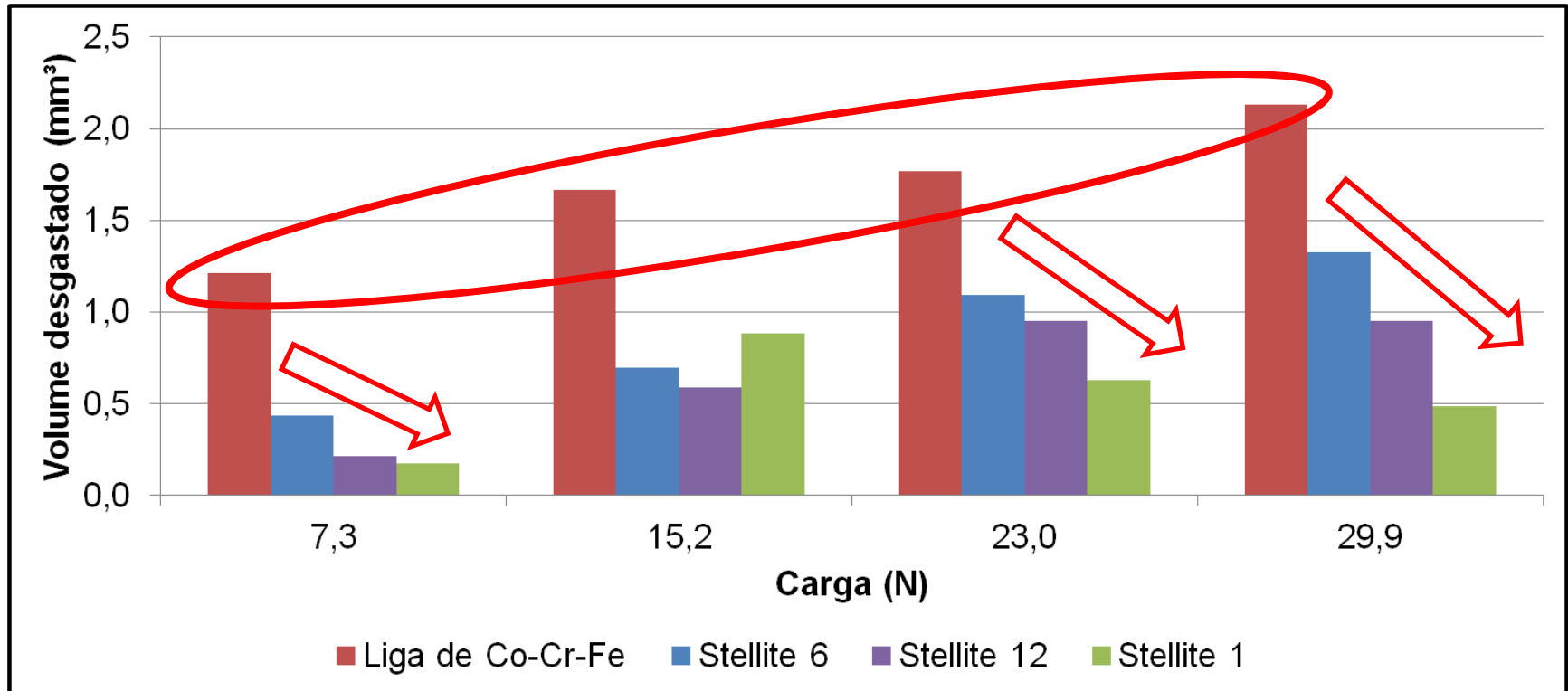


Coeficiente de atrito médio em função da carga normal aplicada para os ensaios realizados a 500 °C.

4. Resultados e Discussões

4.3.1. Desgaste – Temperatura ambiente

Volume desgastado médio (mm^3)

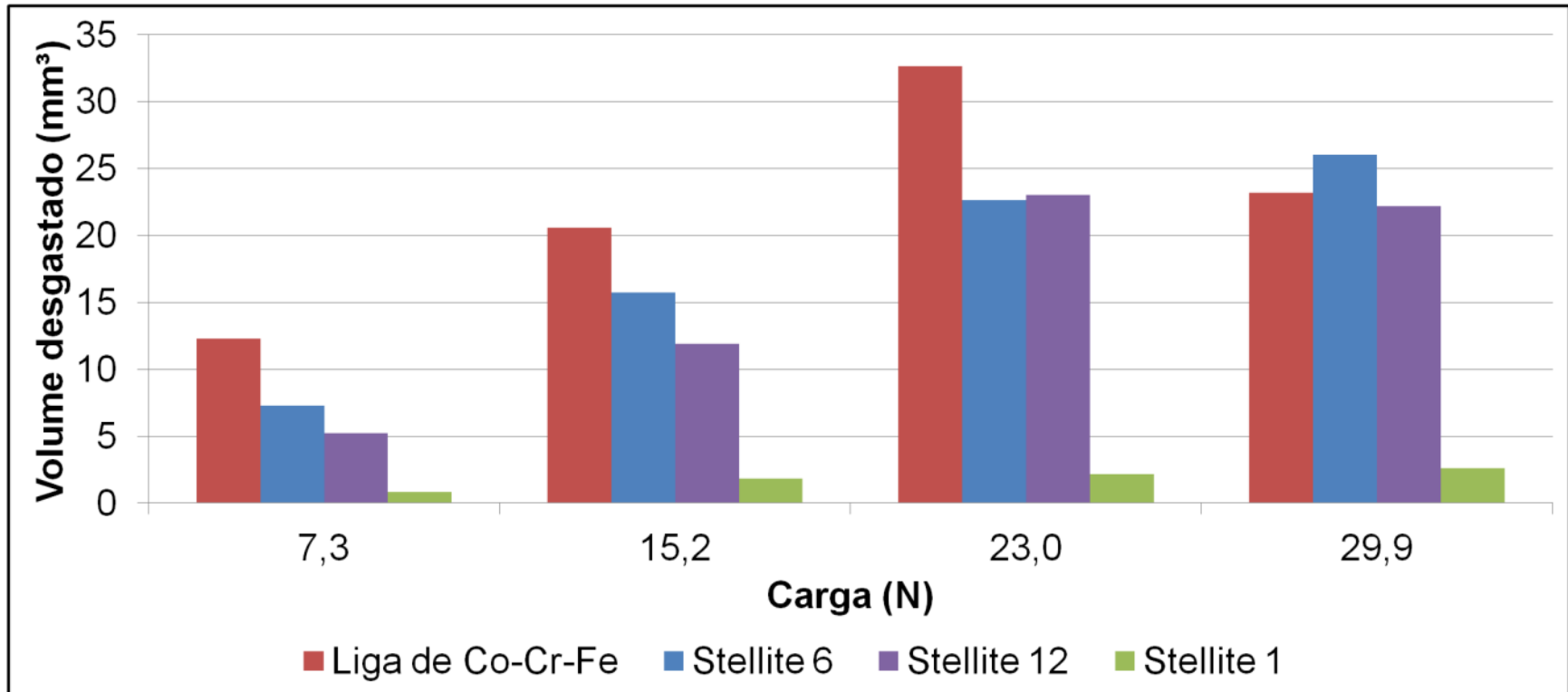


Volume desgastado médio (mm^3) dos discos em função da carga normal (N) aplicada para os ensaios em temperatura ambiente.

4. Resultados e Discussões

4.3.2. Desgaste – Temperatura de 500 °C

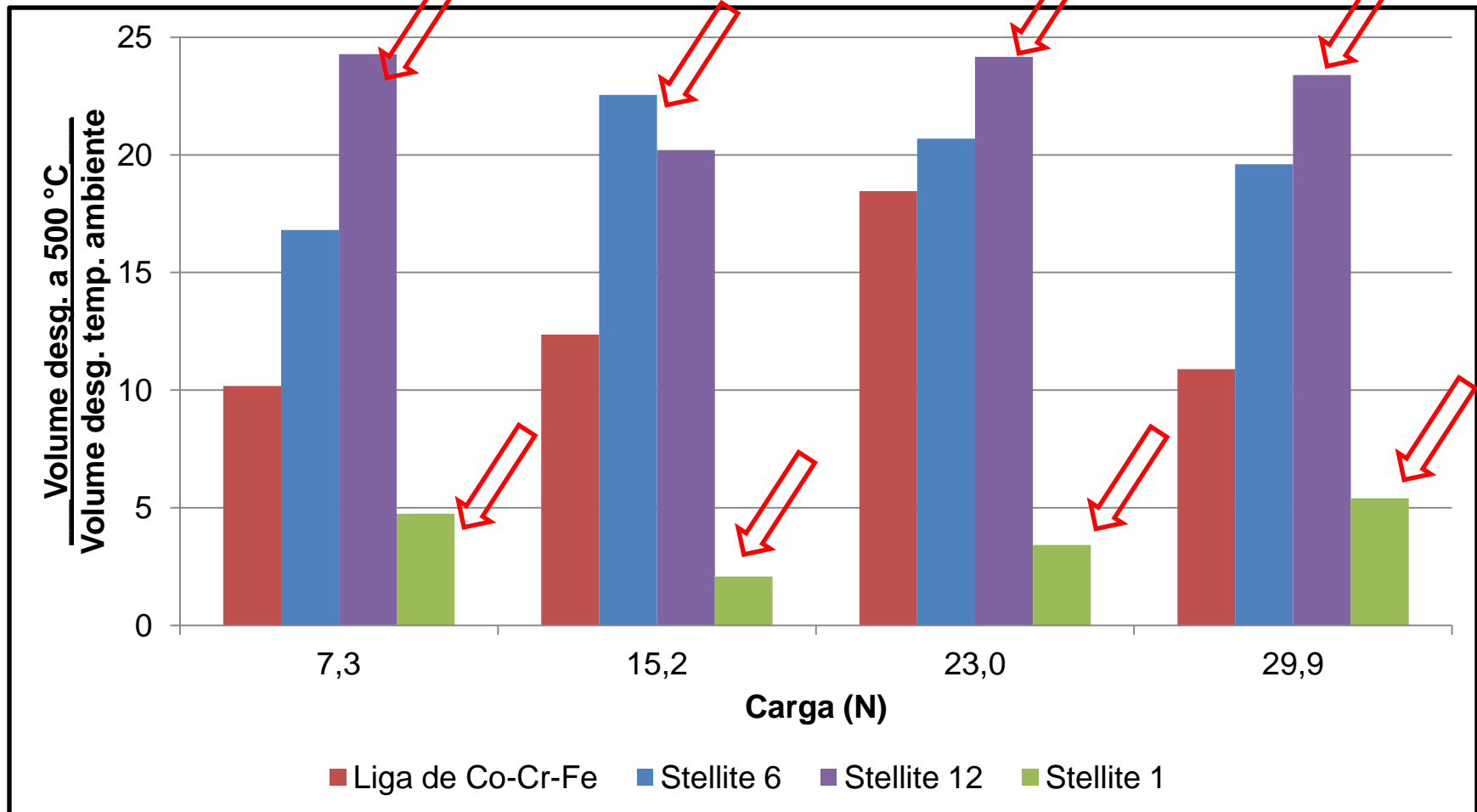
Volume desgastado médio (mm³)



Volume desgastado médio (mm³) em função da carga normal (N) aplicada para os ensaios realizados a 500 °C.

4. Resultados e Discussões

4.3.3. Desgaste – Severidade em função da temperatura

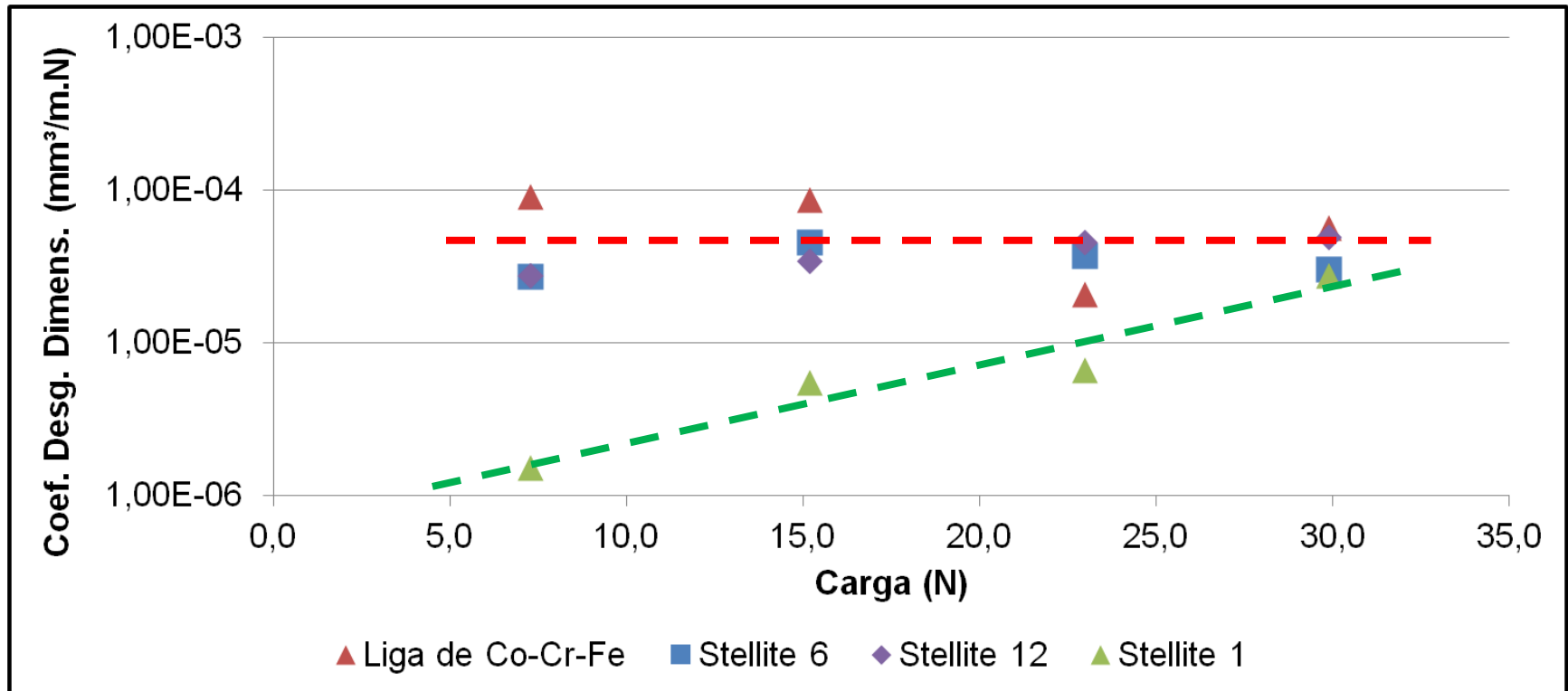


Razão entre o volume desgastado dos ensaios realizados a 500 °C e os ensaiados a temperatura ambiente.

4. Resultados e Discussões

4.3.4. Desgaste – Pinos – Ensaios a 500 °C

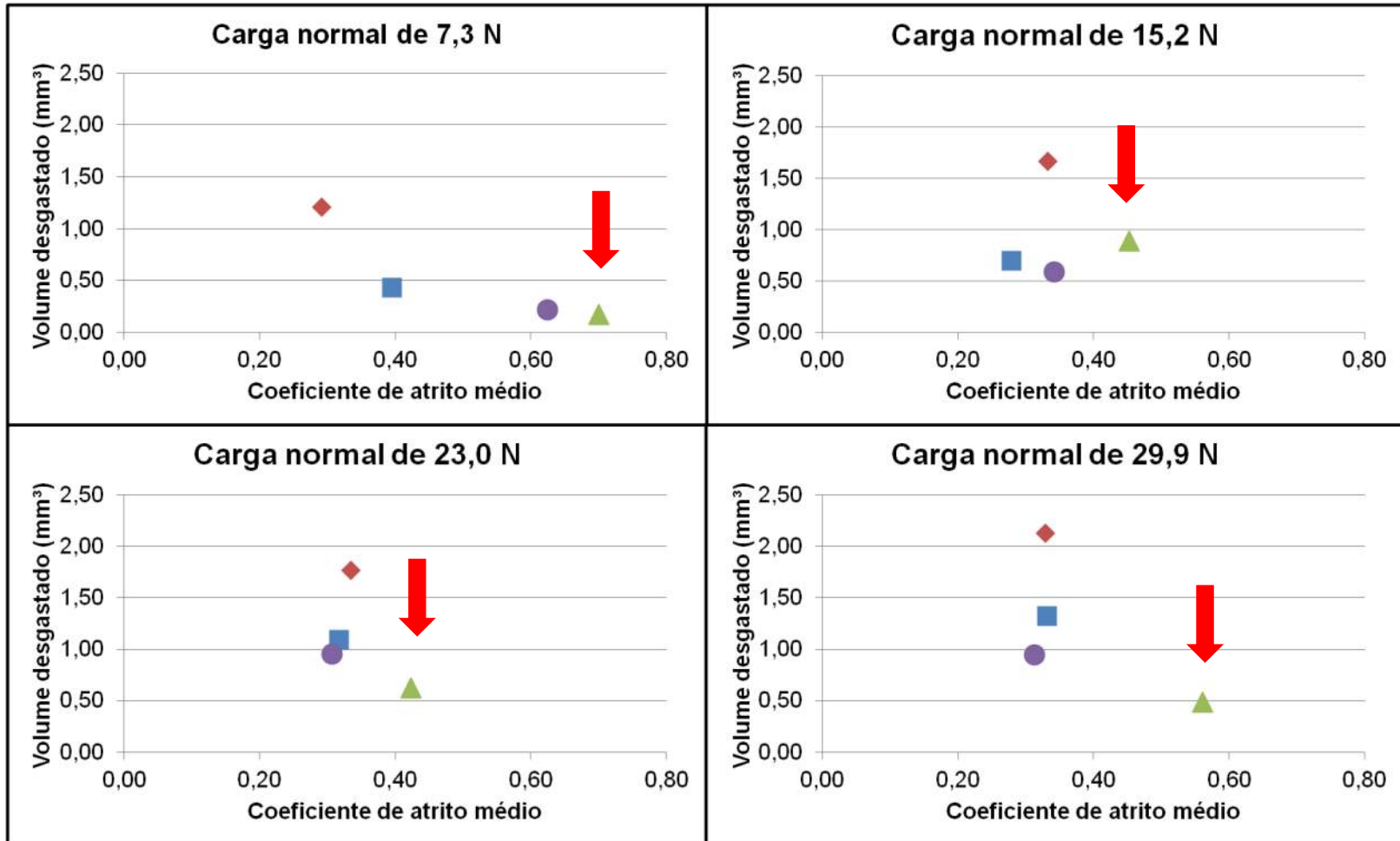
Coeficiente de desgaste dimensional ($\text{mm}^3/\text{N.m}$)



Coeficiente de desgaste dimensional ($\text{mm}^3/\text{N.m}$), na escala logarítmica, em função da carga normal (N) aplicada para os pinos dos ensaios realizados a 500 °C separados por material do disco.

4. Resultados e Discussões

4.3.5. Atrito *versus* desgaste Temperatura ambiente



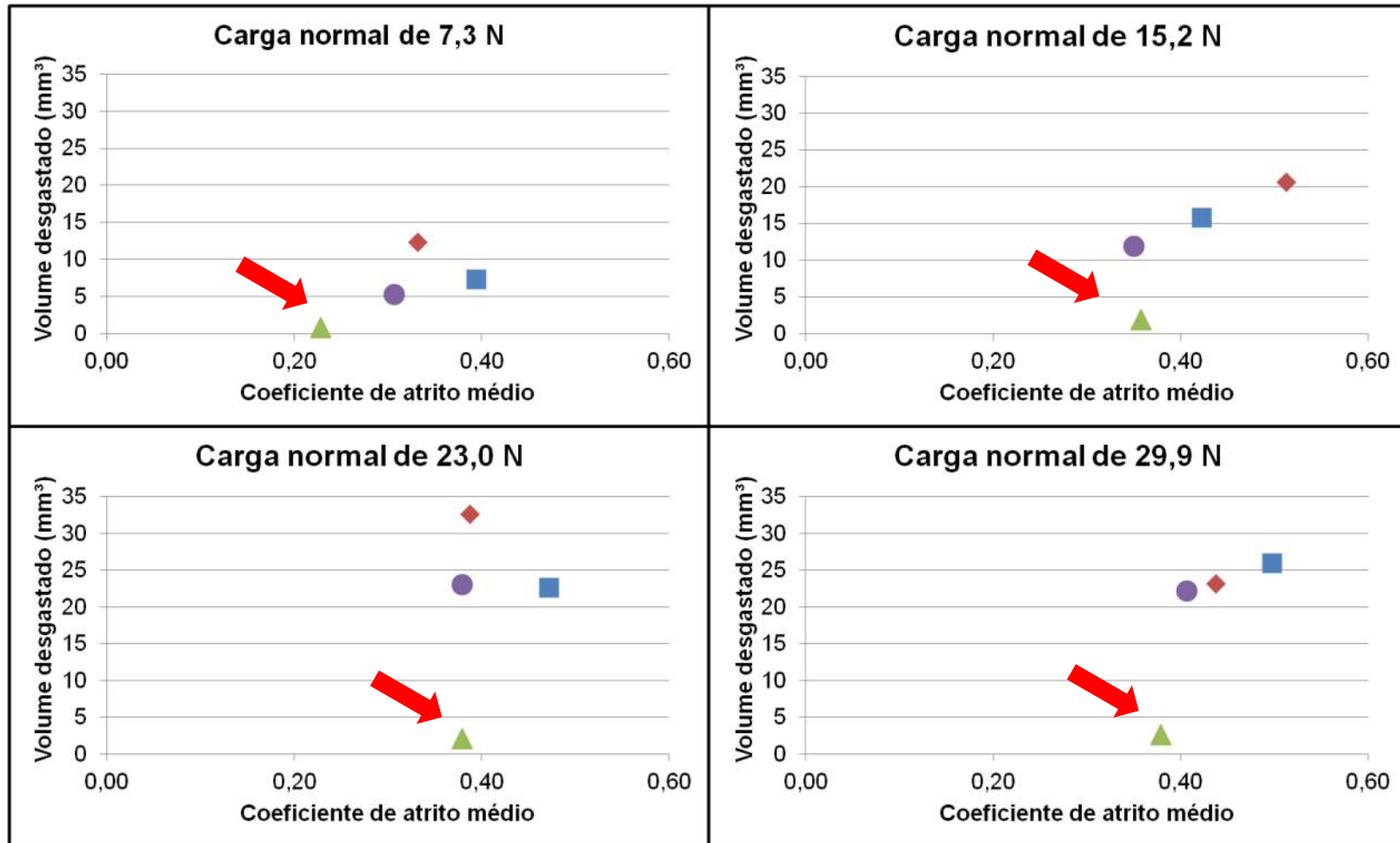
◆ Liga de Co-Cr-Fe
 ■ Stellite 6
 ● Stellite 12
 ▲ Stellite 1

Volume desgastado (mm³) em função do coeficiente de atrito médio dos ensaios realizados em temperatura ambiente. 61

4. Resultados e Discussões

4.3.5. Atrito *versus* desgaste

Temperatura de 500 °C



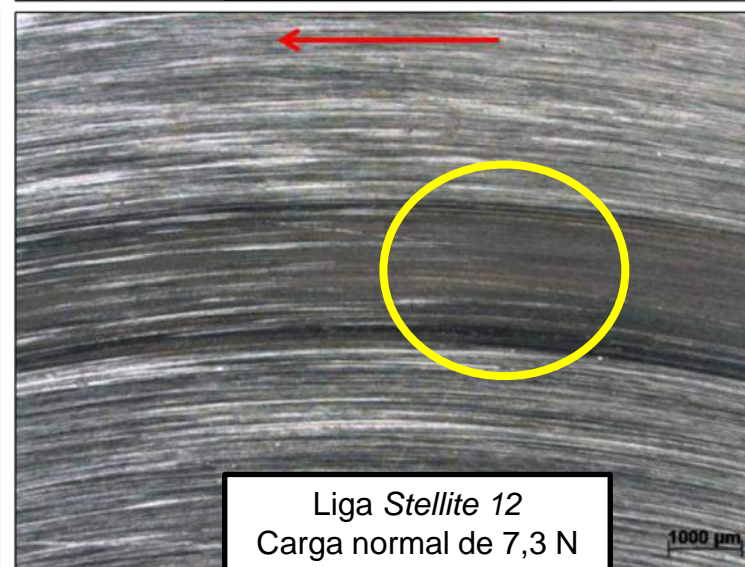
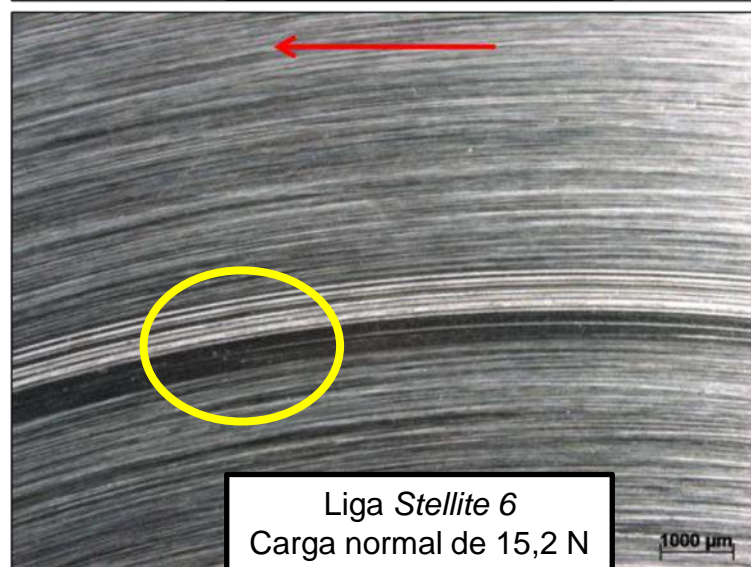
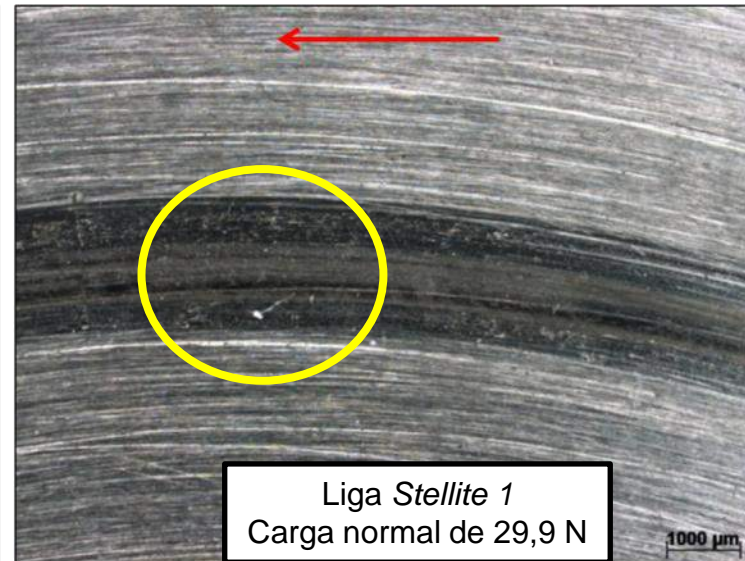
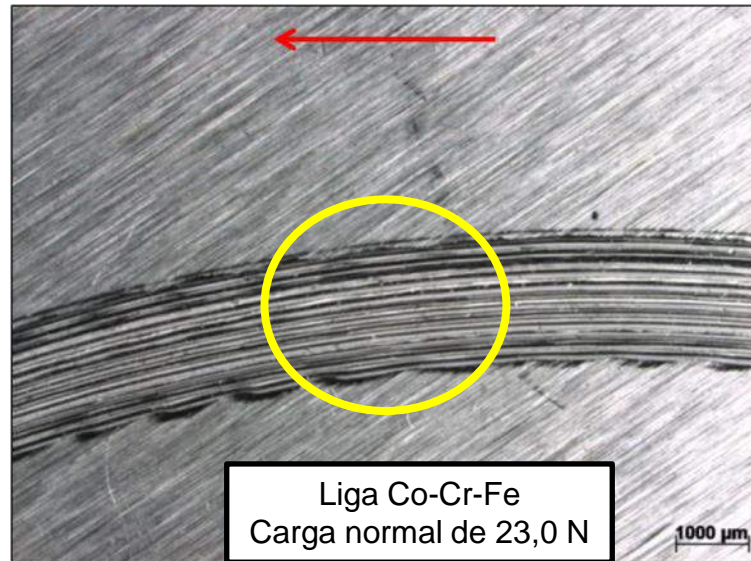
◆ Liga de Co-Cr-Fe
 ■ Stellite 6
 ● Stellite 12
 ▲ Stellite 1

Volume desgastado (mm³) em função do coeficiente de atrito médio dos ensaios realizados a 500 °C. 62

4. Resultados e Discussões

4.4. Mecanismos de desgaste

4.4.1. Discos – Temperatura ambiente



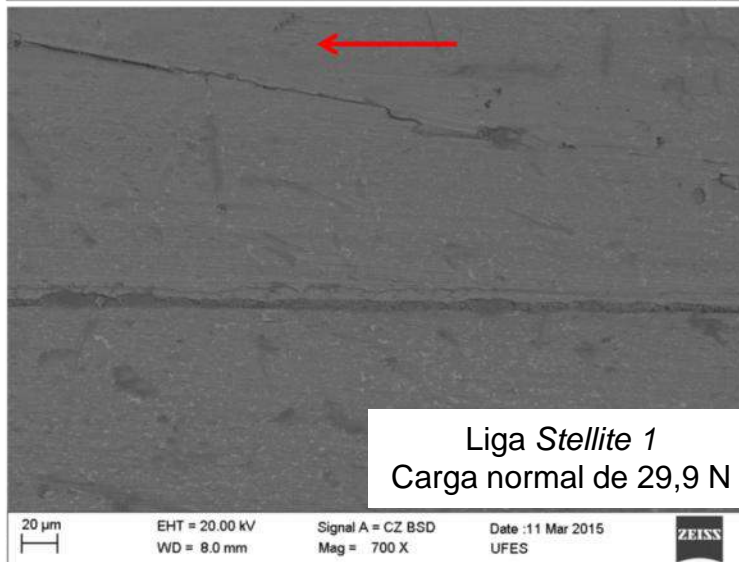
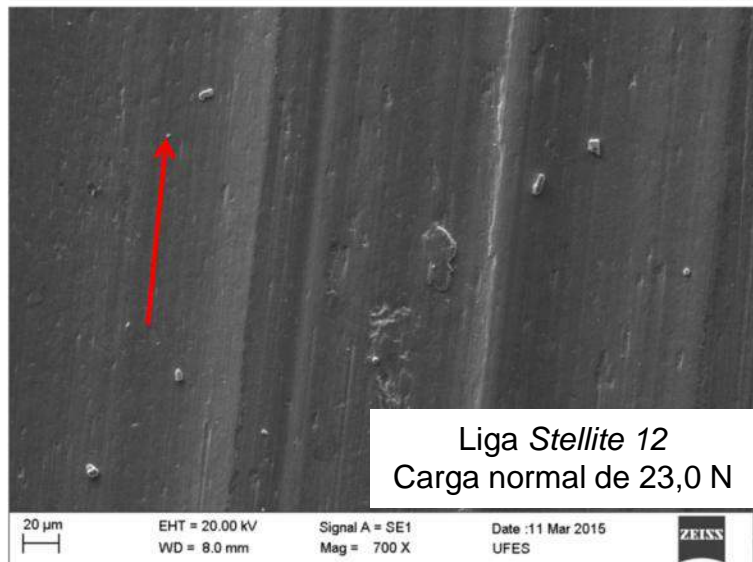
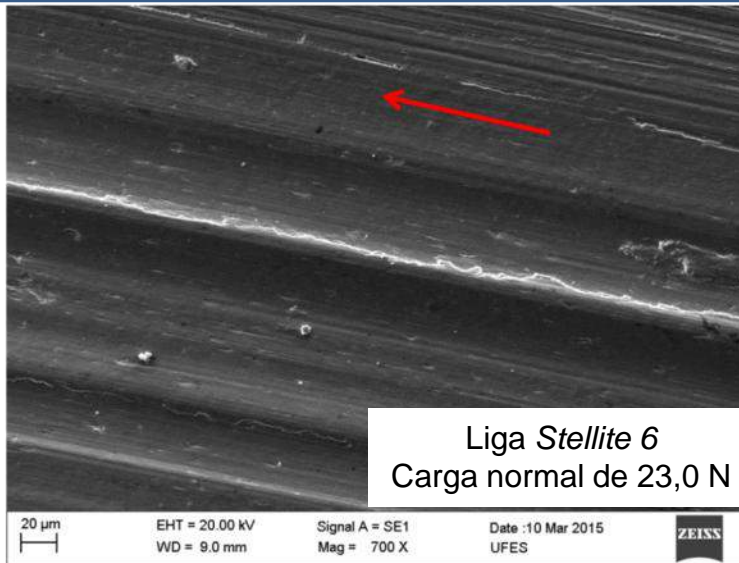
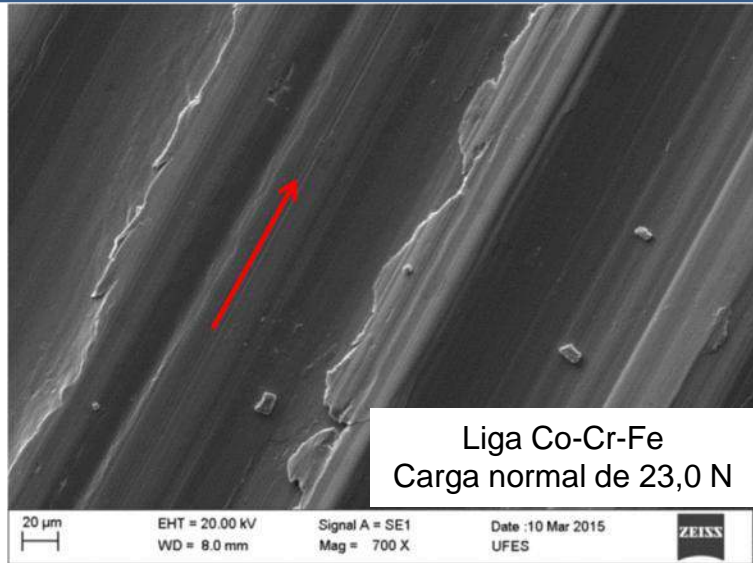
Micrografias ópticas das trilhas de desgaste de ensaios realizados em temperatura ambiente.

As setas indicam o sentido de giro dos discos.

4. Resultados e Discussões

4.4. Mecanismos de desgaste

4.4.1. Discos – Temperatura ambiente



Micrografias de ensaios em temperatura ambiente realizados. As setas indicam o sentido de giro dos discos.

4. Resultados e Discussões

4.4. Mecanismos de desgaste

4.4.2. Pinos – Temperatura ambiente

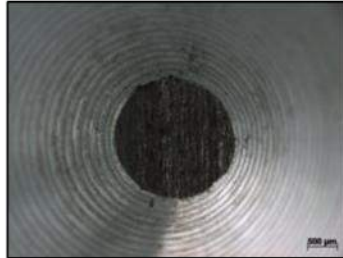
7,3 N

15,2 N

23,0 N

29,9 N

*Liga de
Co-Cr-Fe*



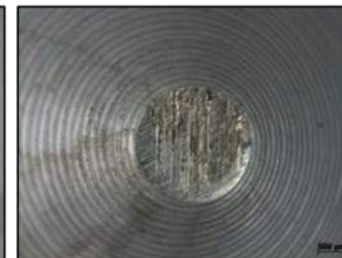
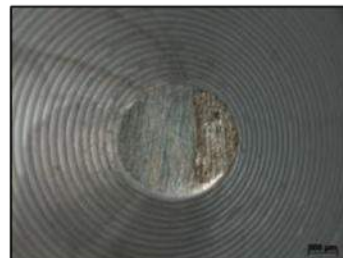
Stellite 1



Stellite 6



Stellite 12

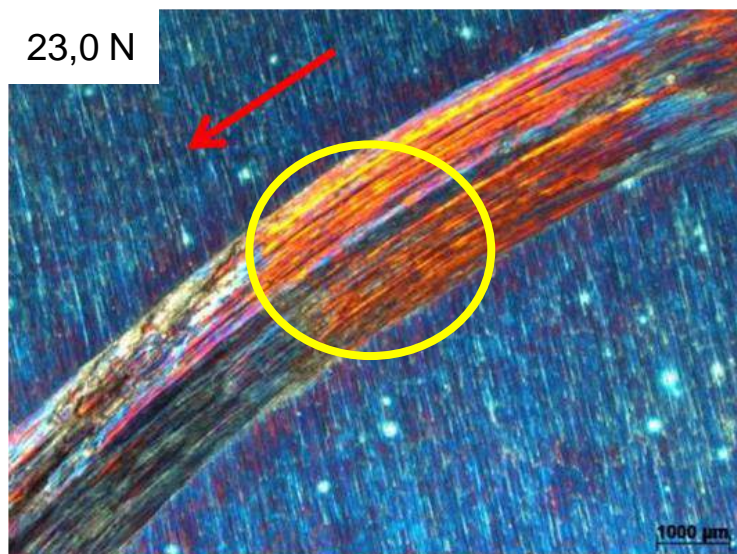
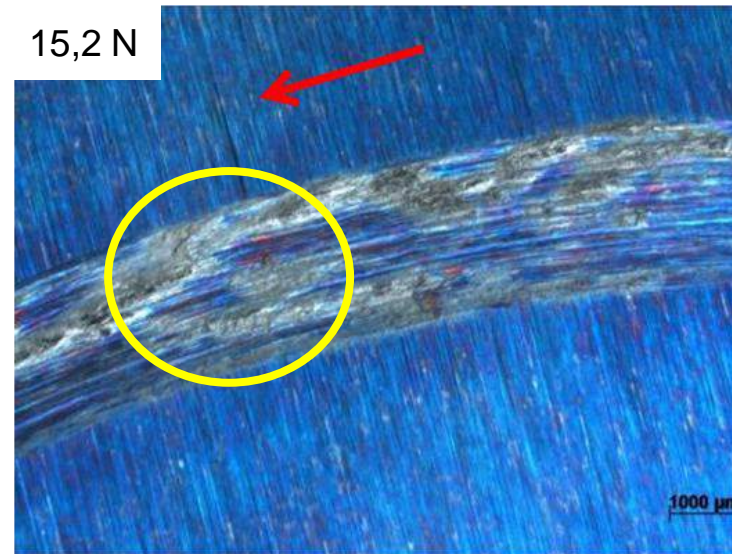
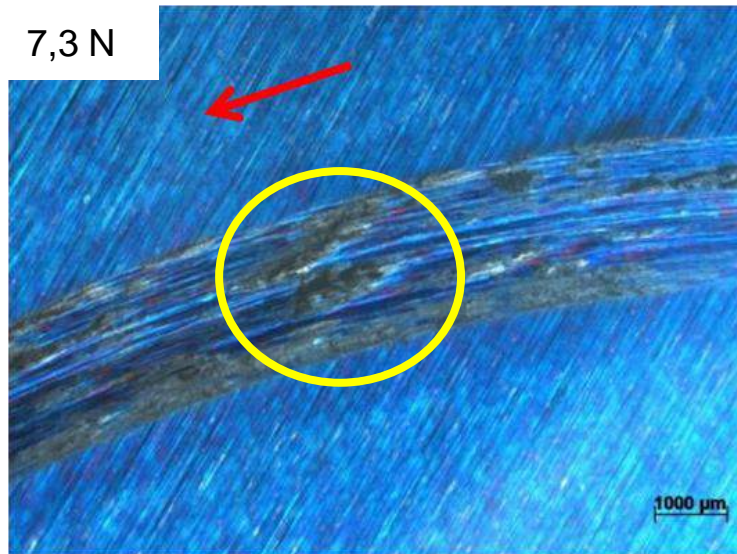


Micrografias das superfícies dos pinos após os ensaios, obtidas através de microscópio estereoscópico.

4. Resultados e Discussões

4.4. Mecanismos de desgaste

4.4.3. Liga Co-Cr-Fe – Temperatura de 500 °C

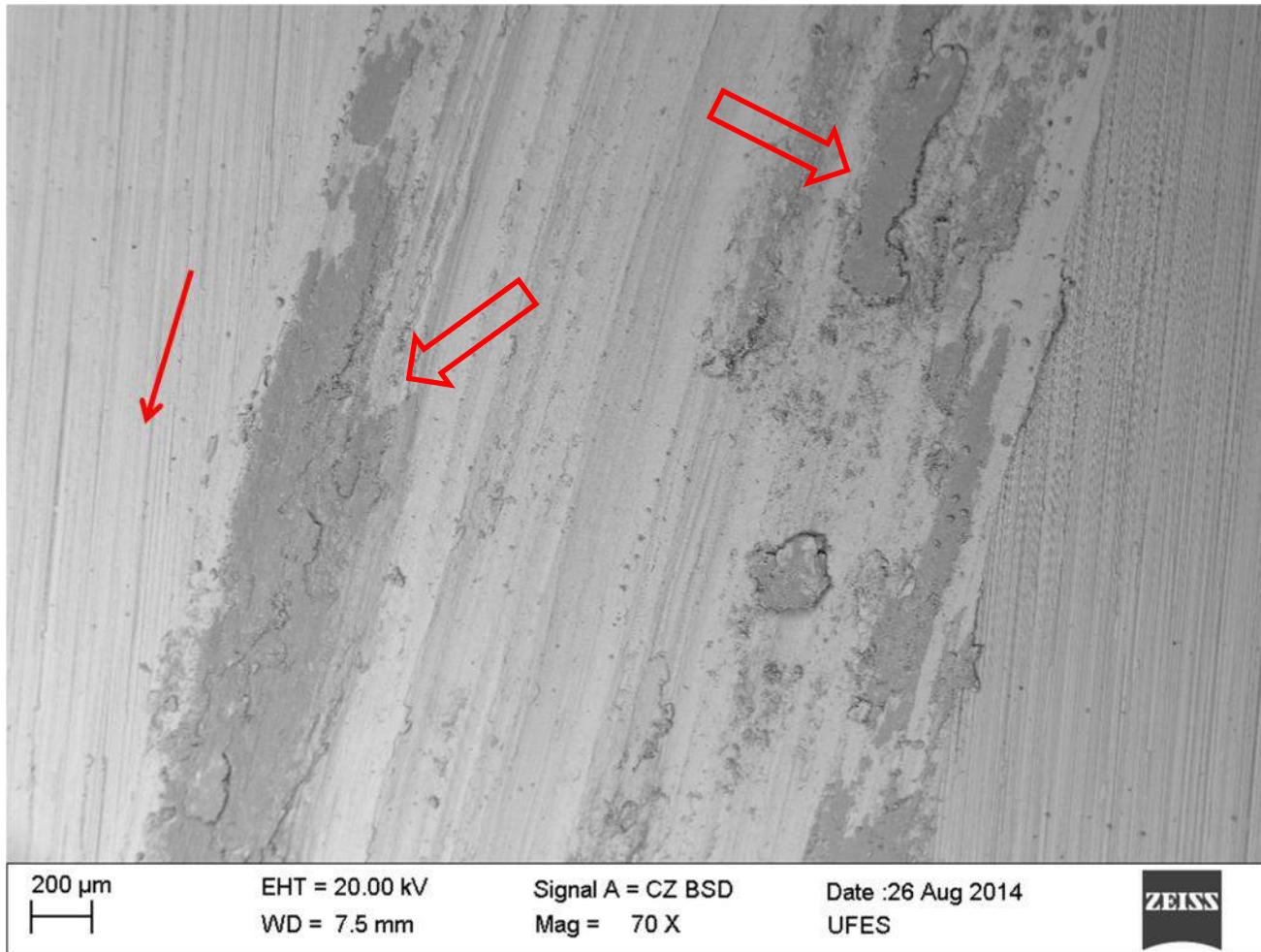


Micrografias obtidas em microscópio estereoscópico das trilhas de desgaste para ensaios com liga de Co-Cr-Fe na temperatura de 500 °C. As setas indicam o sentido de giro dos discos.

4. Resultados e Discussões

4.4. Mecanismos de desgaste

4.7.3. Liga Co-Cr-Fe – Temperatura de 500 °C

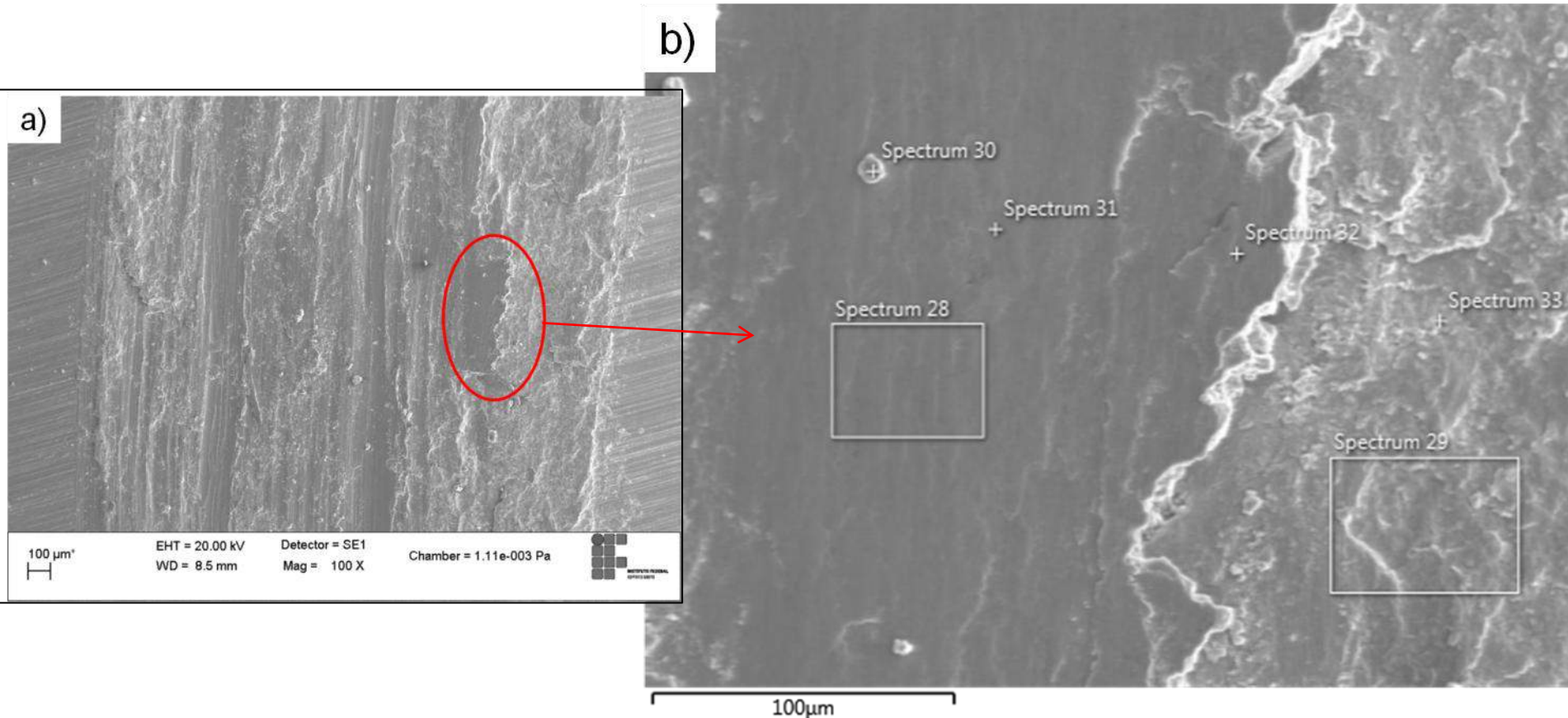


Micrografia obtida em MEV por elétrons retroespalhados. Ensaio com a liga de Co-Cr-Fe, carga normal de 29,9 N e temperatura de 500 °C. A seta indica o sentido de rotação do disco.

4. Resultados e Discussões

4.4. Mecanismos de desgaste

4.4.3. Liga Co-Cr-Fe – Temperatura de 500 °C

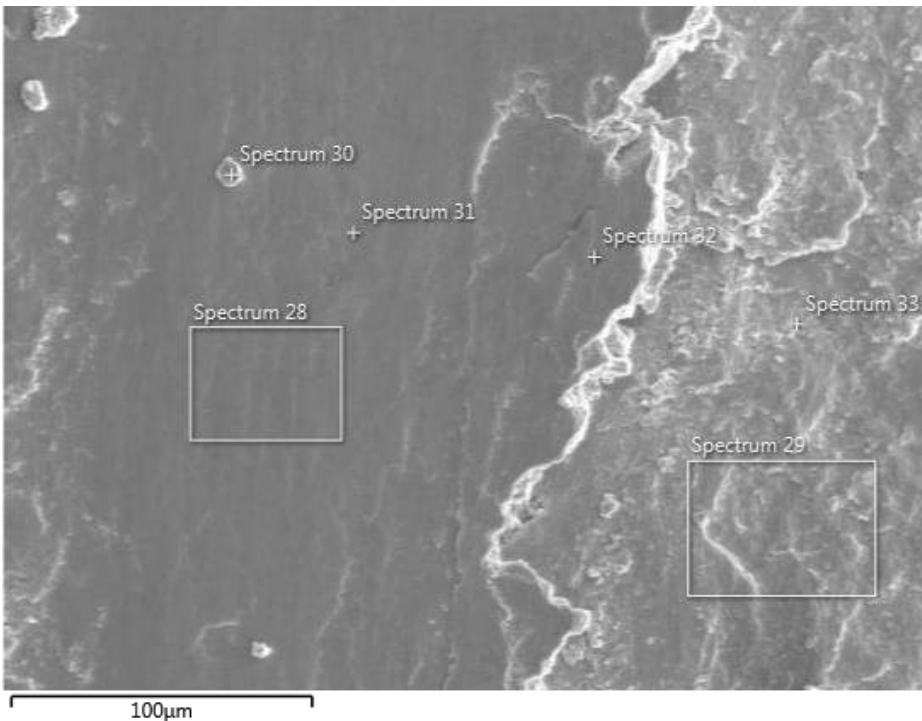


Em (a), micrografia obtida em MEV da amostra de Co-Cr-Fe ensaiada com carga normal de 29,9 N em elevada temperatura. Em (b), os pontos e áreas nos quais foram realizadas análises por EDS da área em destaque de (a).

4. Resultados e Discussões

4.4. Mecanismos de desgaste

4.4.3. Liga Co-Cr-Fe – Temperatura de 500 °C



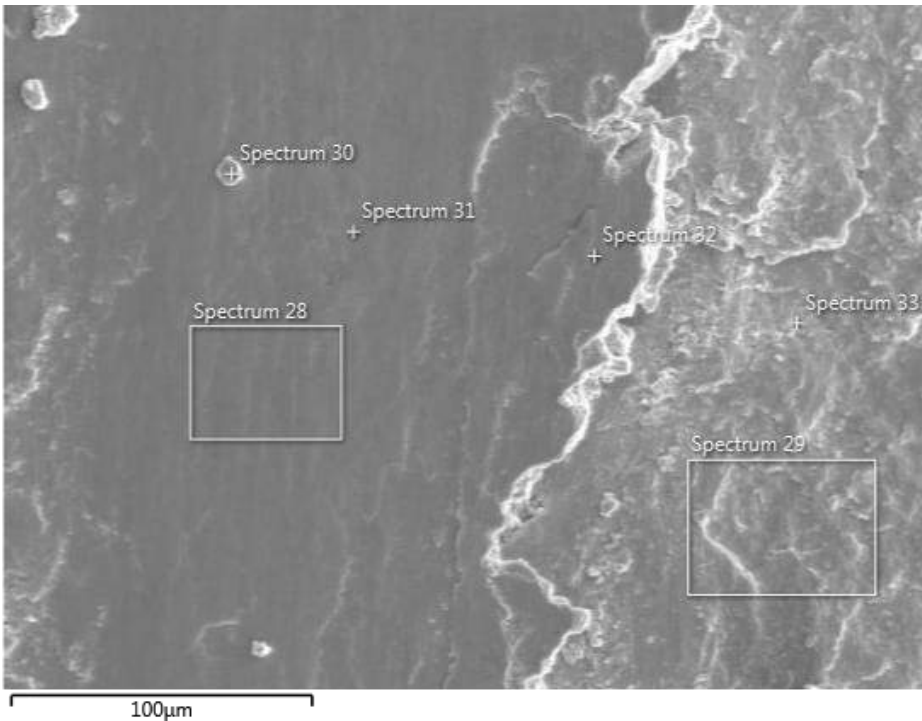
	28	29	30	31	32	33
Co	29,77	34,96	34,68	32,09	30,32	33,13
Cr	26,56	23,52	23,26	26,29	26,17	24,49
O	20,44	22,06	21,29	21,12	22,53	21,40
Fe	20,33	17,27	18,17	17,29	18,07	18,62
Si	1,24	1,25	1,35	1,24	1,35	1,03
Mn	0,73	0,62	0,73	0,62	0,52	0,82
Ni	0,52	0,31	0,31	0,62	0,52	0,31
W	0,21	0,00	0,10	0,41	0,42	0,21
Mo	0,21	0,00	0,10	0,21	0,21	0,00

A tabela apresenta a porcentagem dos elementos em cada ponto/área analisado na figura ao lado.

4. Resultados e Discussões

4.4. Mecanismos de desgaste

4.4.3. Liga Co-Cr-Fe – Temperatura de 500 °C



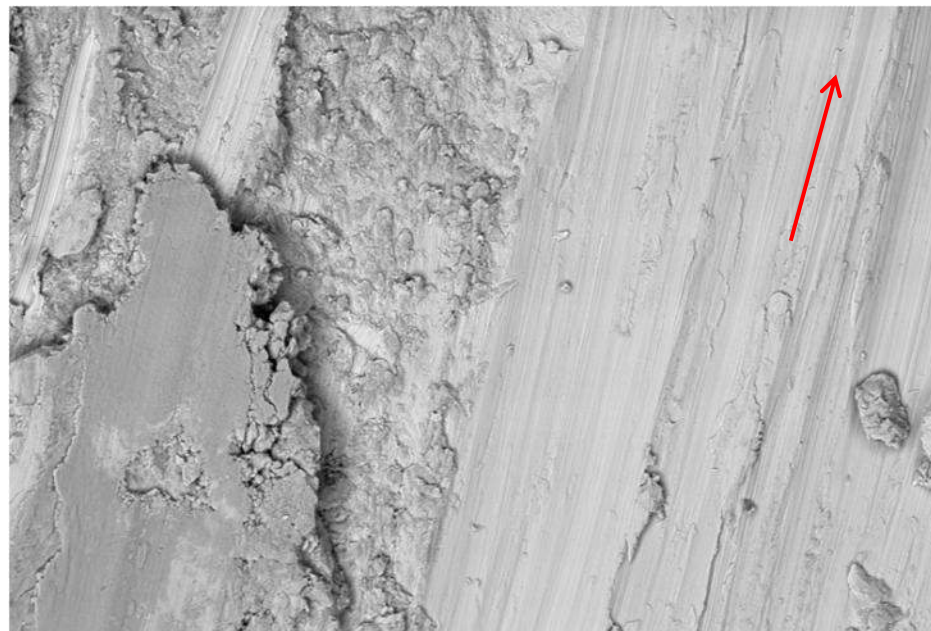
	28	29	30	31	32	33
Co	29,77	34,96	34,68	32,09	30,32	33,13
Cr	26,56	23,52	23,26	26,29	26,17	24,49
O	20,44	22,06	21,29	21,12	22,53	21,40
Fe	20,33	17,27	18,17	17,29	18,07	18,62
Si	1,24	1,25	1,35	1,24	1,35	1,03
Mn	0,73	0,62	0,73	0,62	0,52	0,82
Ni	0,52	0,31	0,31	0,62	0,52	0,31
W	0,21	0,00	0,10	0,41	0,42	0,21
Mo	0,21	0,00	0,10	0,21	0,21	0,00

A tabela apresenta a porcentagem dos elementos em cada ponto/área analisado na figura ao lado.

4. Resultados e Discussões

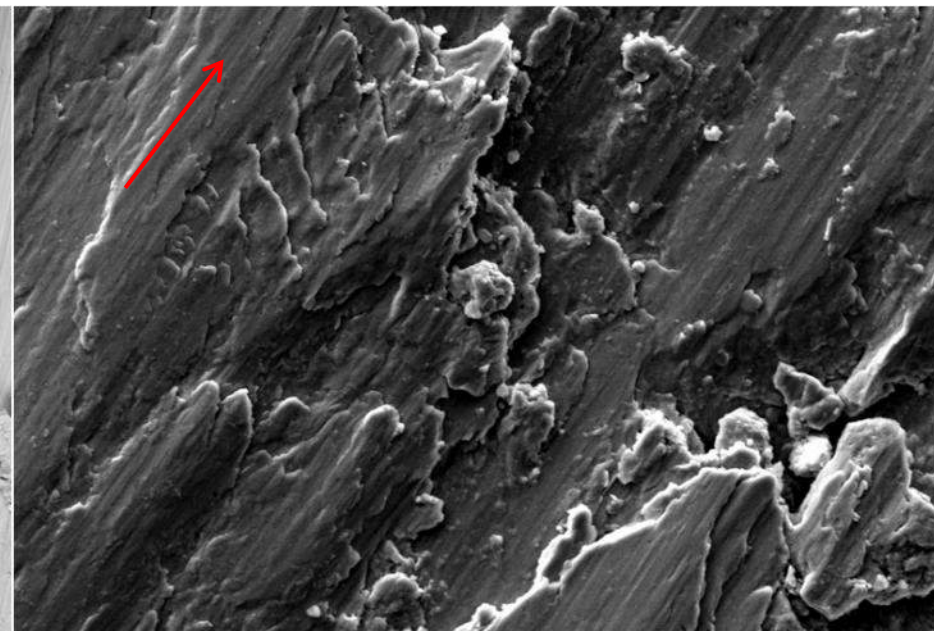
4.4. Mecanismos de desgaste

4.4.3. Liga Co-Cr-Fe – Temperatura de 500 °C



20 μ m EHT = 20.00 kV Signal A = CZ BSD Date :25 Aug 2014
WD = 8.0 mm Mag = 700 X UFES ZEISS

7,3 N



20 μ m EHT = 20.00 kV Signal A = SE1 Date :5 Mar 2015
WD = 8.0 mm Mag = 2.00 K X UFES ZEISS

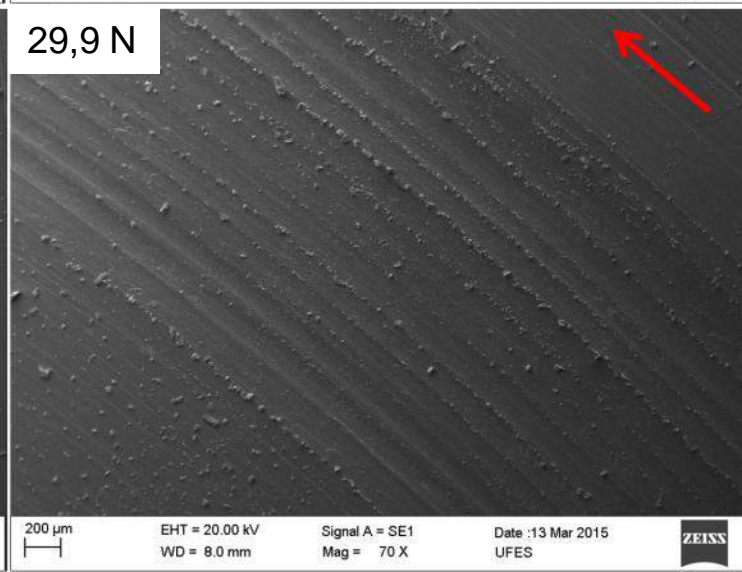
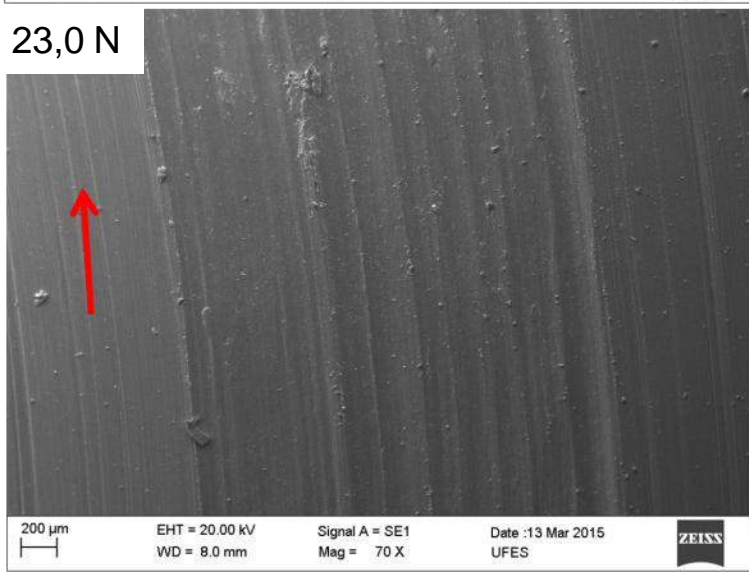
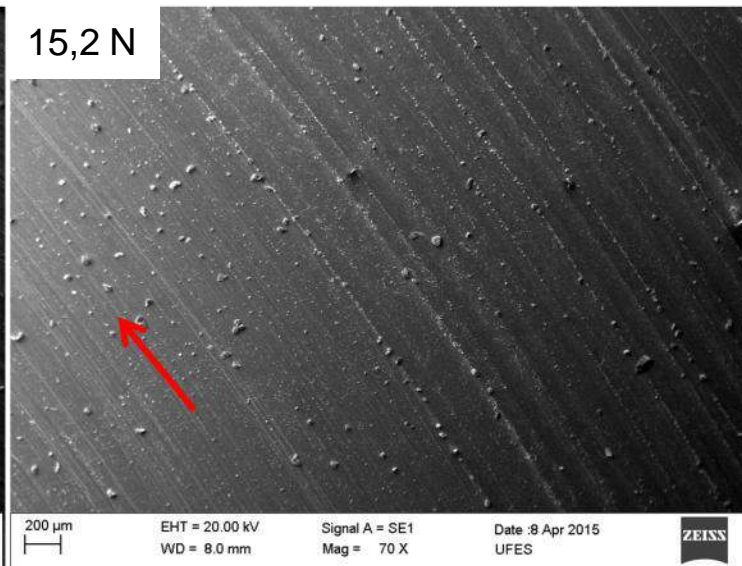
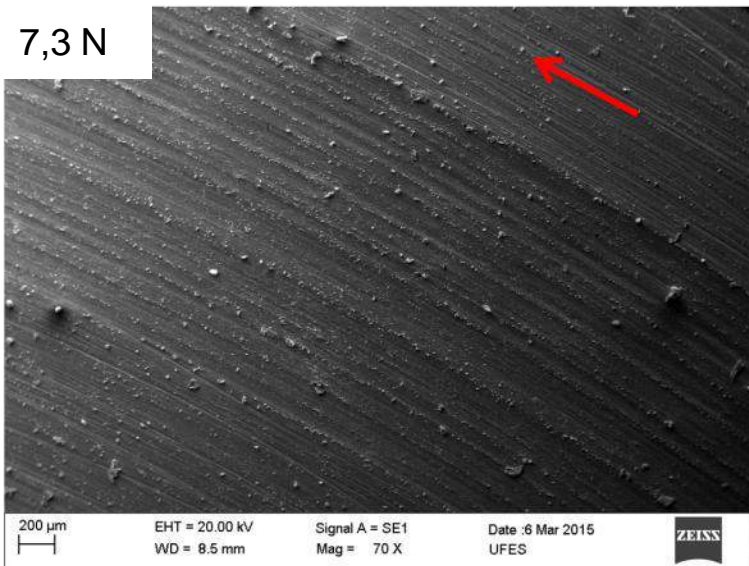
23,0 N

Micrografias de ensaios em elevada temperatura com a liga Co-Cr-Fe, obtidas em MEV. As setas indicam o sentido de rotação dos discos.

4. Resultados e Discussões

4.4. Mecanismos de desgaste

4.4.4. Liga *Stellite 12* – Temperatura de 500 °C

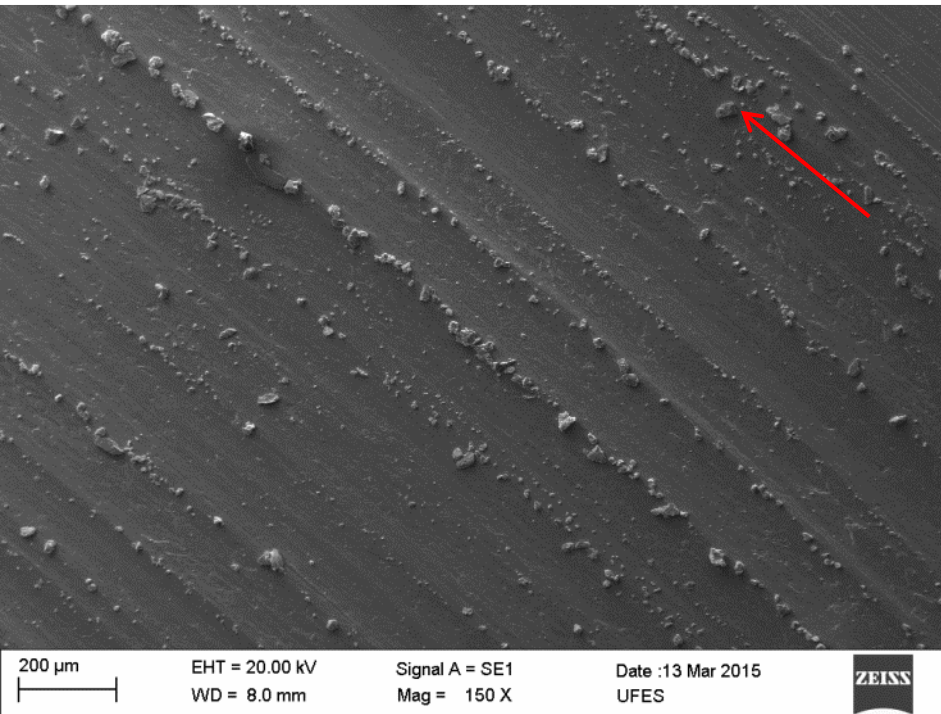


Micrografias obtidas em MEV das trilhas de desgaste para ensaios com *Stellite 12* na temperatura de 500 °C. As setas indicam o sentido de rotação dos discos.

4. Resultados e Discussões

4.4. Mecanismos de desgaste

4.4.4. Liga *Stellite 12* – Temperatura de 500 °C

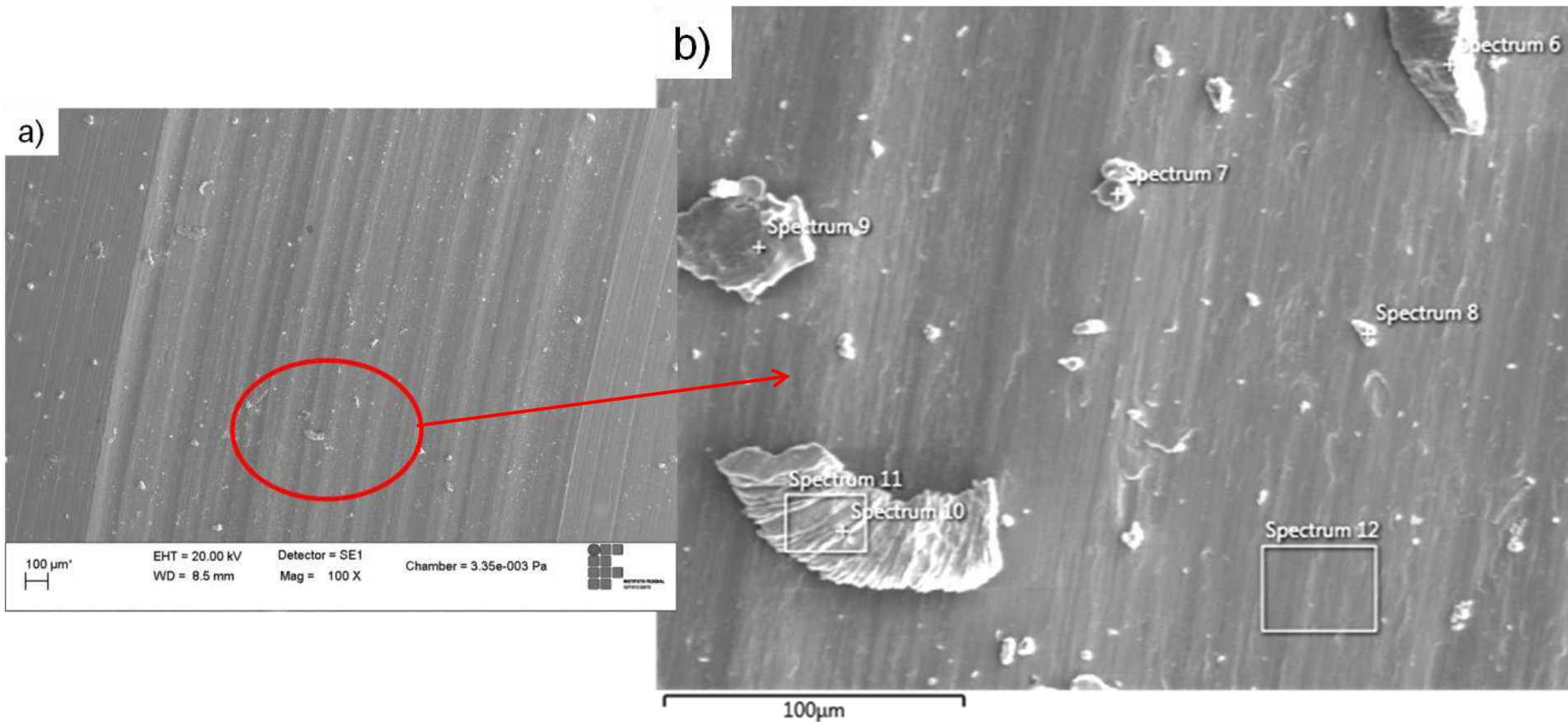


Micrografias, em diferentes magnitudes, do disco de *Stellite 12* após ensaio com carga normal de 29,9 N em elevada temperatura obtida em MEV. As setas indicam o sentido de rotação do disco.

4. Resultados e Discussões

4.4. Mecanismos de desgaste

4.4.4. Liga *Stellite 12* – Temperatura de 500 °C

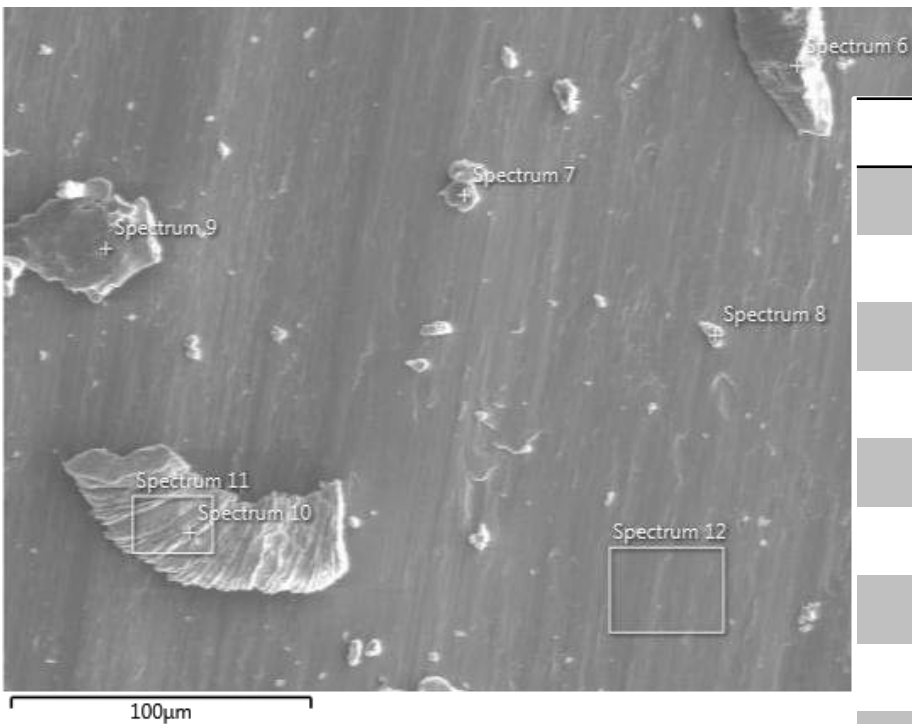


Em (a), micrografia da amostra de *Stellite 12* ensaiada com carga normal de 15,2 N a 500 °C. Em (b), os pontos e áreas nos quais foram realizadas análises por EDS da região indicada em (a).

4. Resultados e Discussões

4.4. Mecanismos de desgaste

4.4.4. Liga *Stellite 12* – Temperatura de 500 °C



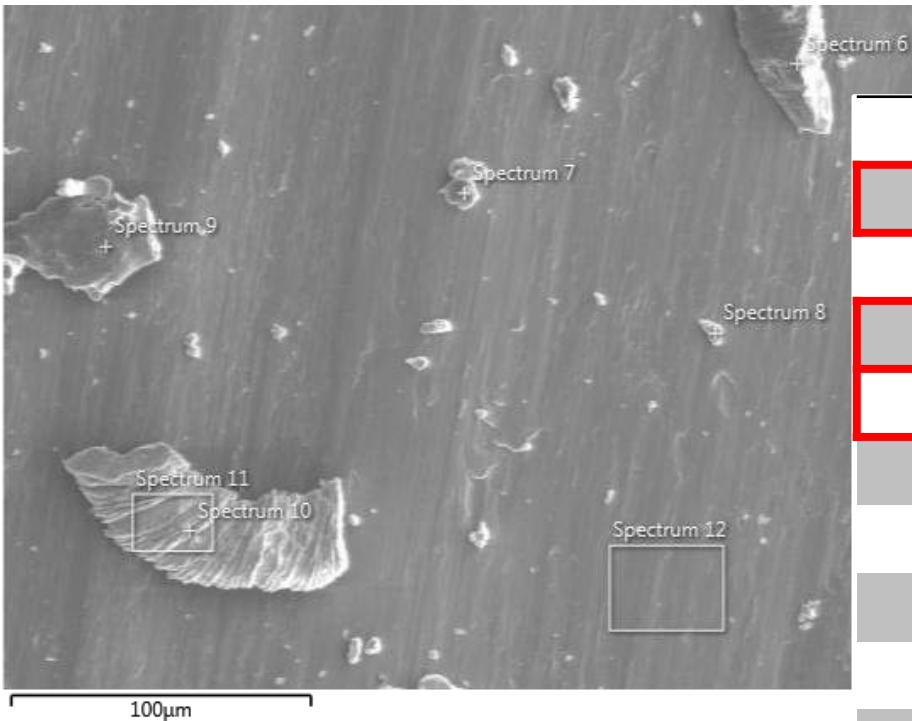
	6	7	8	9	10	11	12
Co	54,59	49,54	51,62	49,58	52,68	53,22	51,85
Cr	29,80	30,11	32,96	25,05	24,59	28,83	29,78
O	5,51	8,32	5,38	11,64	6,34	3,91	2,43
Fe	3,78	3,19	4,16	3,14	3,61	3,38	3,38
Si	0,51	1,13	0,41	1,26	1,64	1,06	1,16
Mn	0,61	0,62	0,81	0,42	0,44	0,63	0,42
Ni	1,94	1,64	1,93	1,47	2,08	2,01	1,69
W	3,06	5,24	2,54	7,02	8,42	6,76	8,98
Mo	0,10	0,31	0,20	0,21	0,22	0,21	0,42

A tabela apresenta a porcentagem dos elementos em cada ponto/área analisado na figura ao lado.

4. Resultados e Discussões

4.4. Mecanismos de desgaste

4.4.4. Liga *Stellite 12* – Temperatura de 500 °C



	6	7	8	9	10	11	12
Co	54,59	49,54	51,62	49,58	52,68	53,22	51,85
Cr	29,80	30,11	32,96	25,05	24,59	28,83	29,78
O	5,51	8,32	5,38	11,64	6,34	3,91	2,43
Fe	3,78	3,19	4,16	3,14	3,61	3,38	3,38
Si	0,51	1,13	0,41	1,26	1,64	1,06	1,16
Mn	0,61	0,62	0,81	0,42	0,44	0,63	0,42
Ni	1,94	1,64	1,93	1,47	2,08	2,01	1,69
W	3,06	5,24	2,54	7,02	8,42	6,76	8,98
Mo	0,10	0,31	0,20	0,21	0,22	0,21	0,42

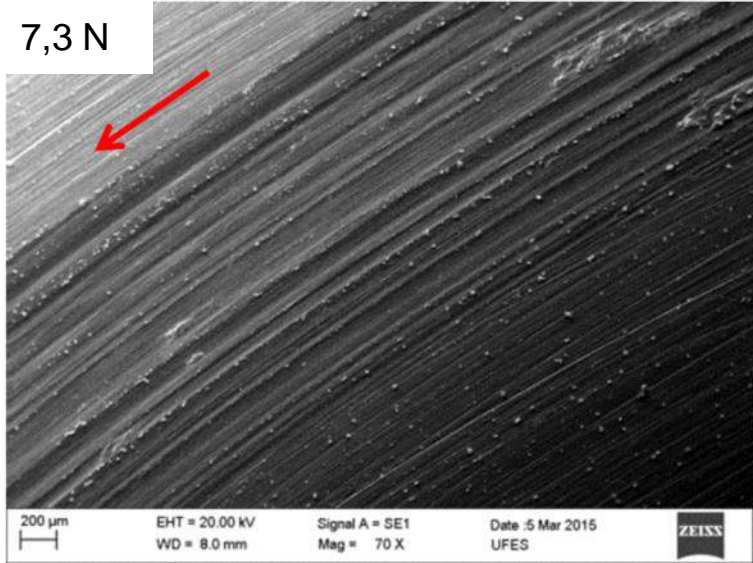
A tabela apresenta a porcentagem dos elementos em cada ponto/área analisado na figura ao lado.

4. Resultados e Discussões

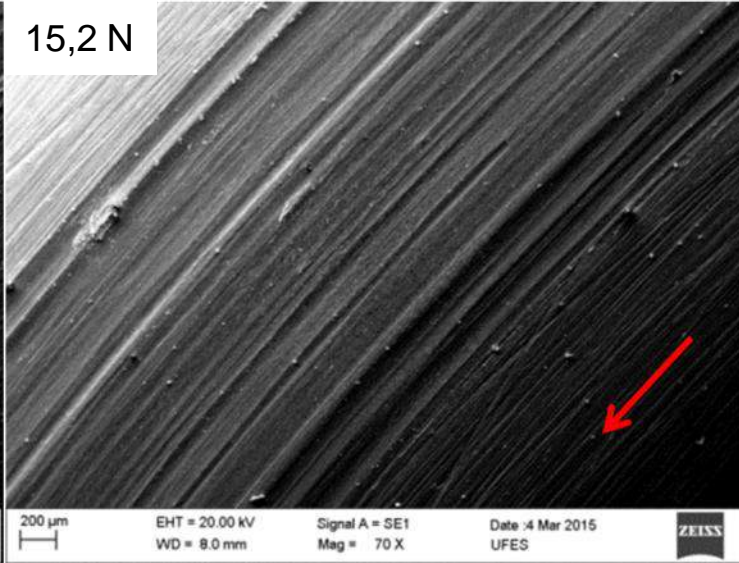
4.4. Mecanismos de desgaste

4.4.5. Liga *Stellite 6* – Temperatura de 500 °C

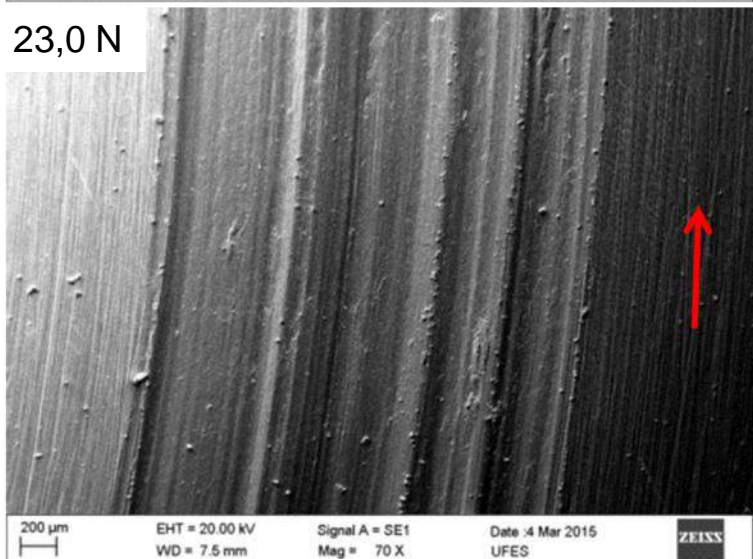
7,3 N



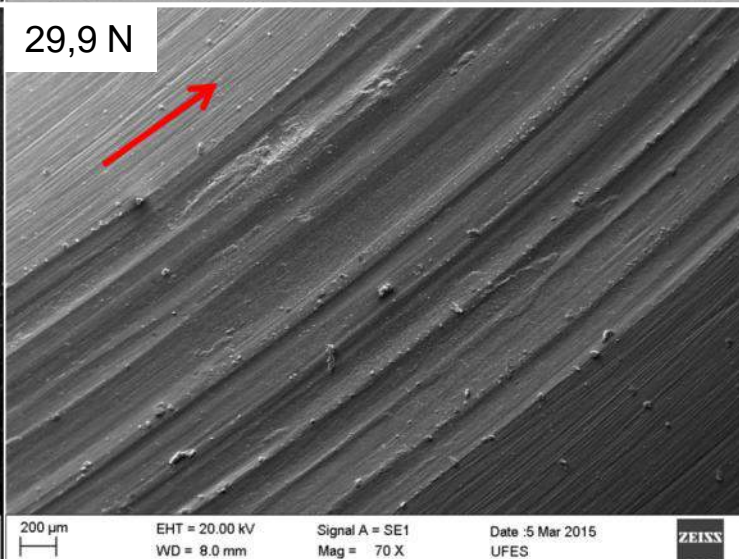
15,2 N



23,0 N



29,9 N



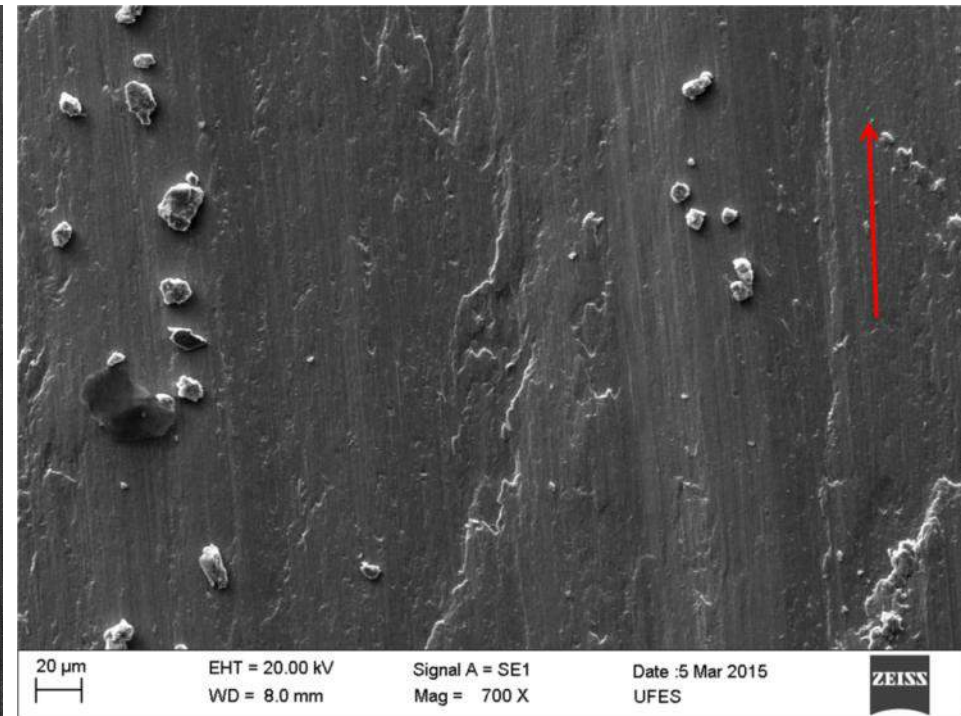
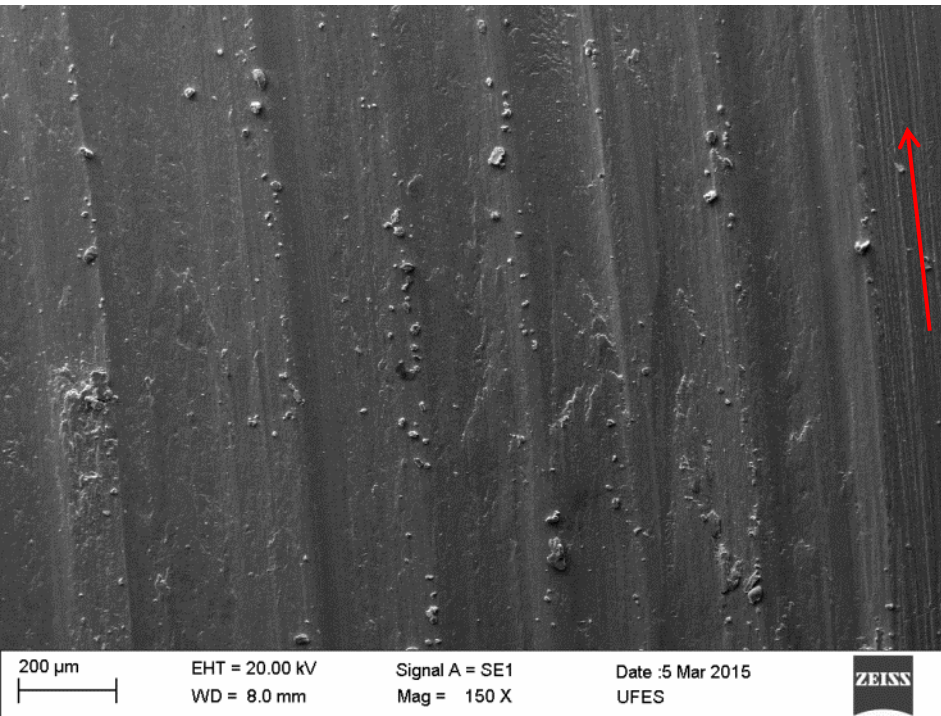
Micrografias, obtidas em MEV, das trilhas de desgaste para ensaios com *Stellite 6* na temperatura de 500 °C.

As setas indicam o sentido de rotação dos discos. 77

4. Resultados e Discussões

4.4. Mecanismos de desgaste

4.4.5. Liga *Stellite 6* – Temperatura de 500 °C

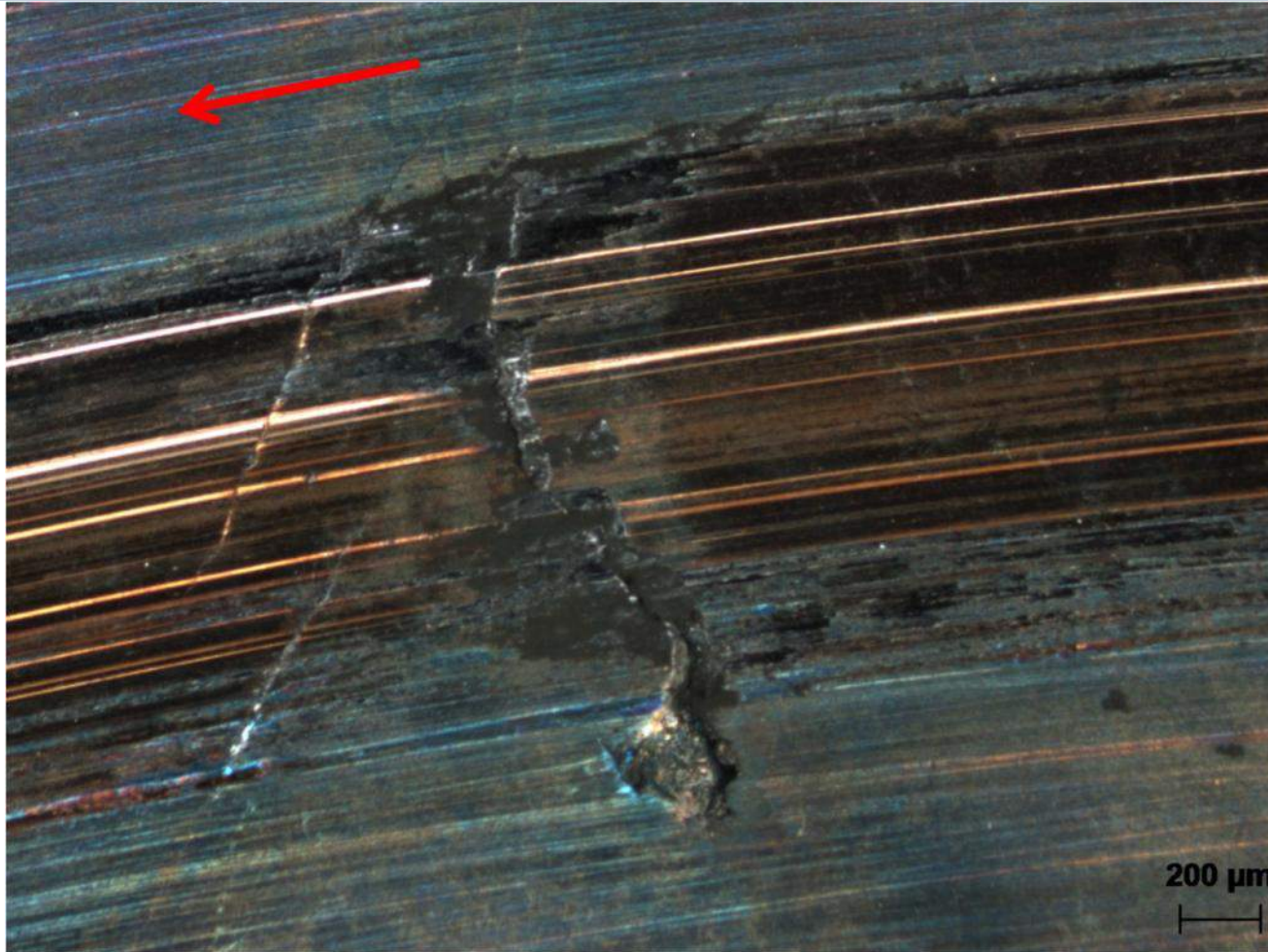


Micrografia, em diferentes magnitudes, do disco de *Stellite 6* após ensaio com carga normal de 29,9 N em elevada temperatura obtidas em MEV. As setas indicam o sentido de rotação do disco.

4. Resultados e Discussões

4.4. Mecanismos de desgaste

4.4.6. Liga *Stellite 1* – Temperatura de 500 °C



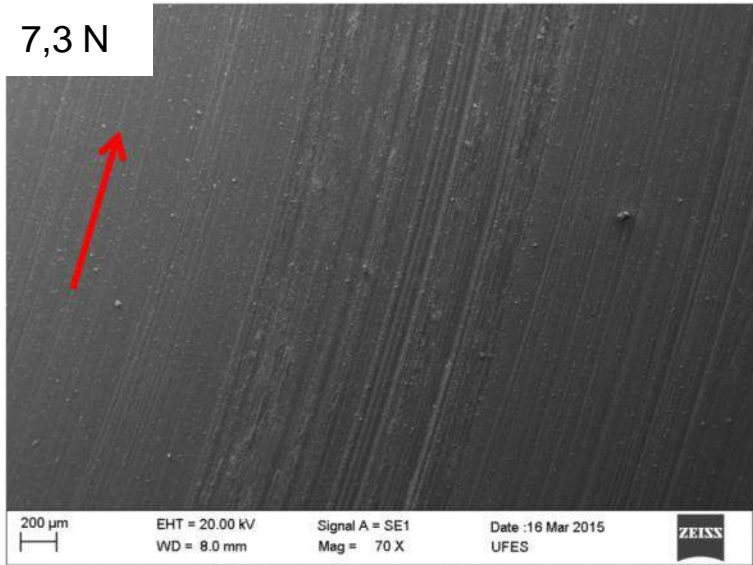
Micrografia, obtida em microscópio estereoscópico, da trilha de desgaste do ensaio em elevada temperatura com a liga *Stellite 1* e carga normal de 7,3 N. A seta indica o sentido de giro do disco.

4. Resultados e Discussões

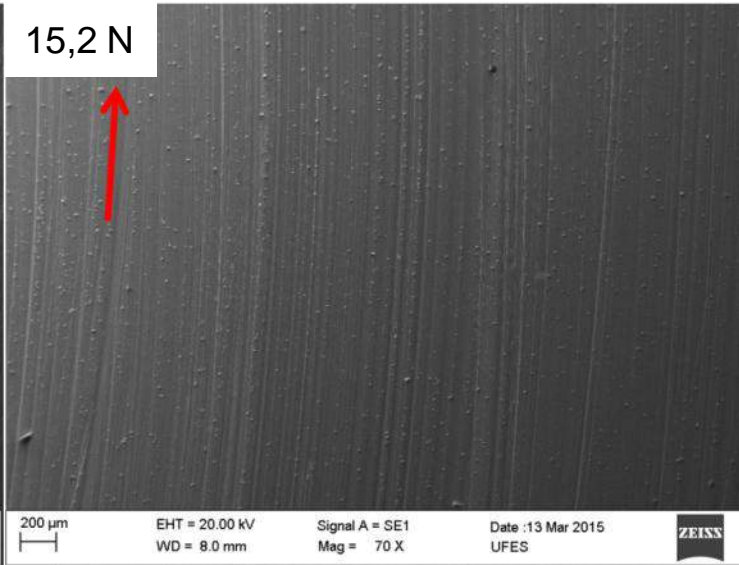
4.4. Mecanismos de desgaste

4.4.6. Liga *Stellite 1* – Temperatura de 500 °C

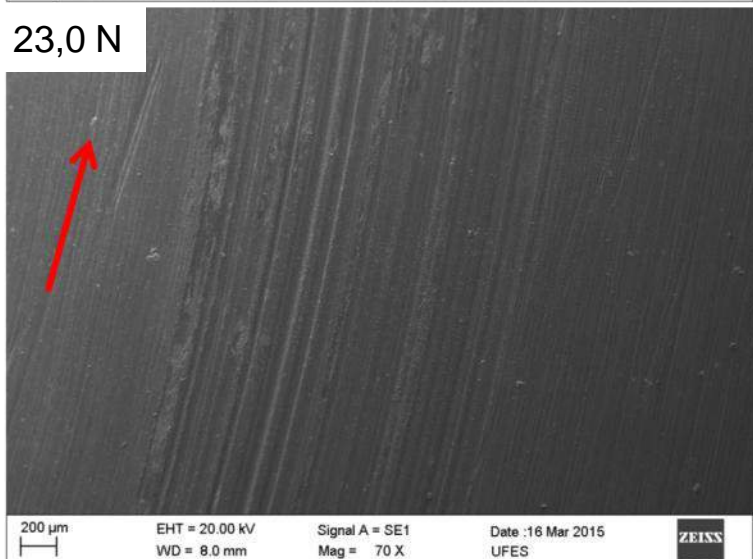
7,3 N



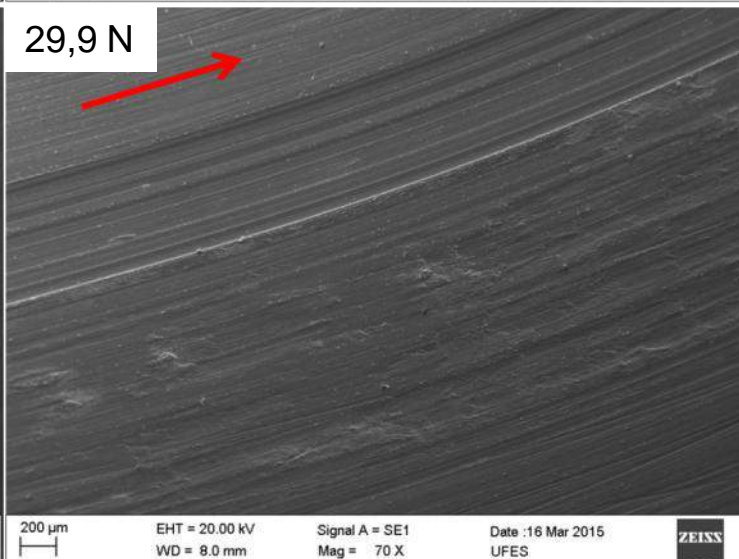
15,2 N



23,0 N



29,9 N



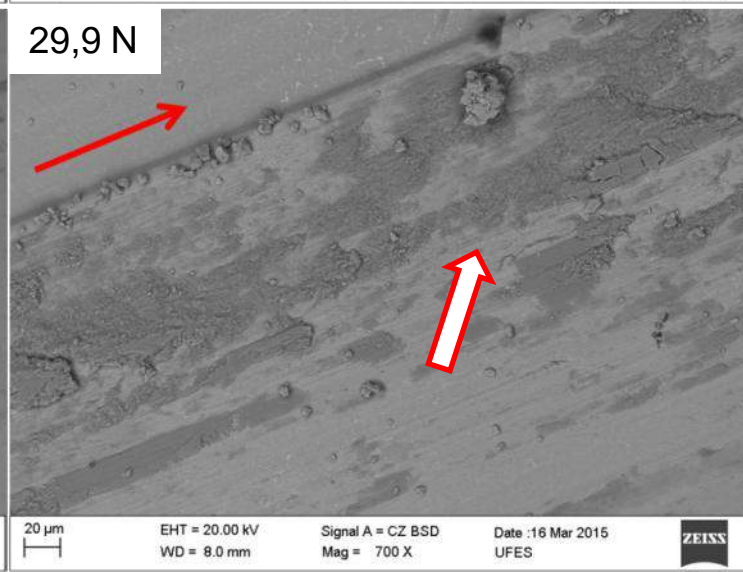
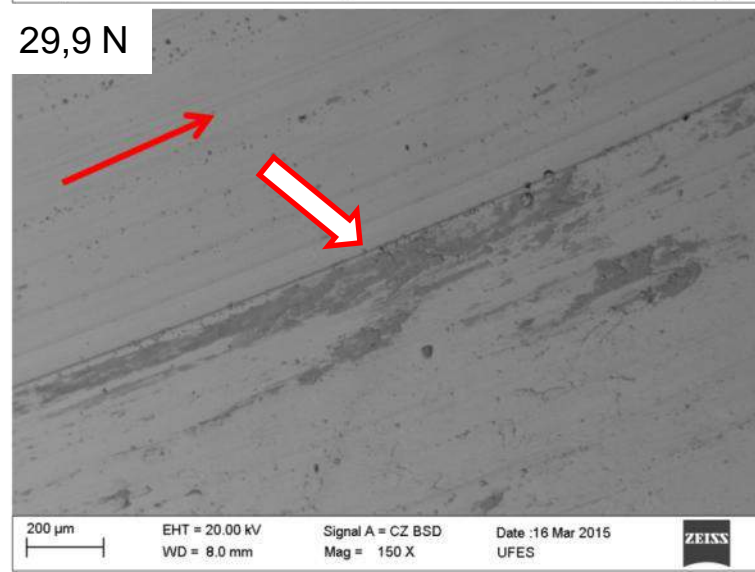
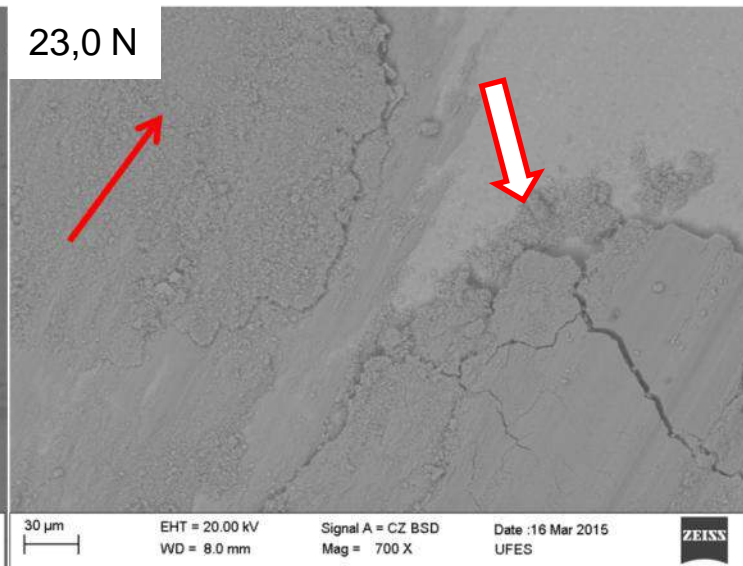
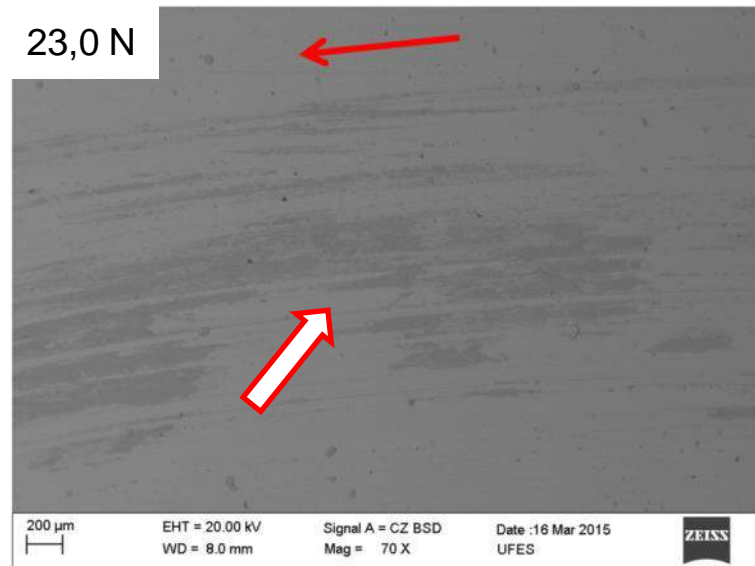
Micrografias obtidas em MEV das trilhas de desgaste para ensaios com *Stellite 1* na temperatura de 500 °C.

As setas indicam o sentido de rotação dos discos.

4. Resultados e Discussões

4.4. Mecanismos de desgaste

4.4.6. Liga *Stellite 1* – Temperatura de 500 °C

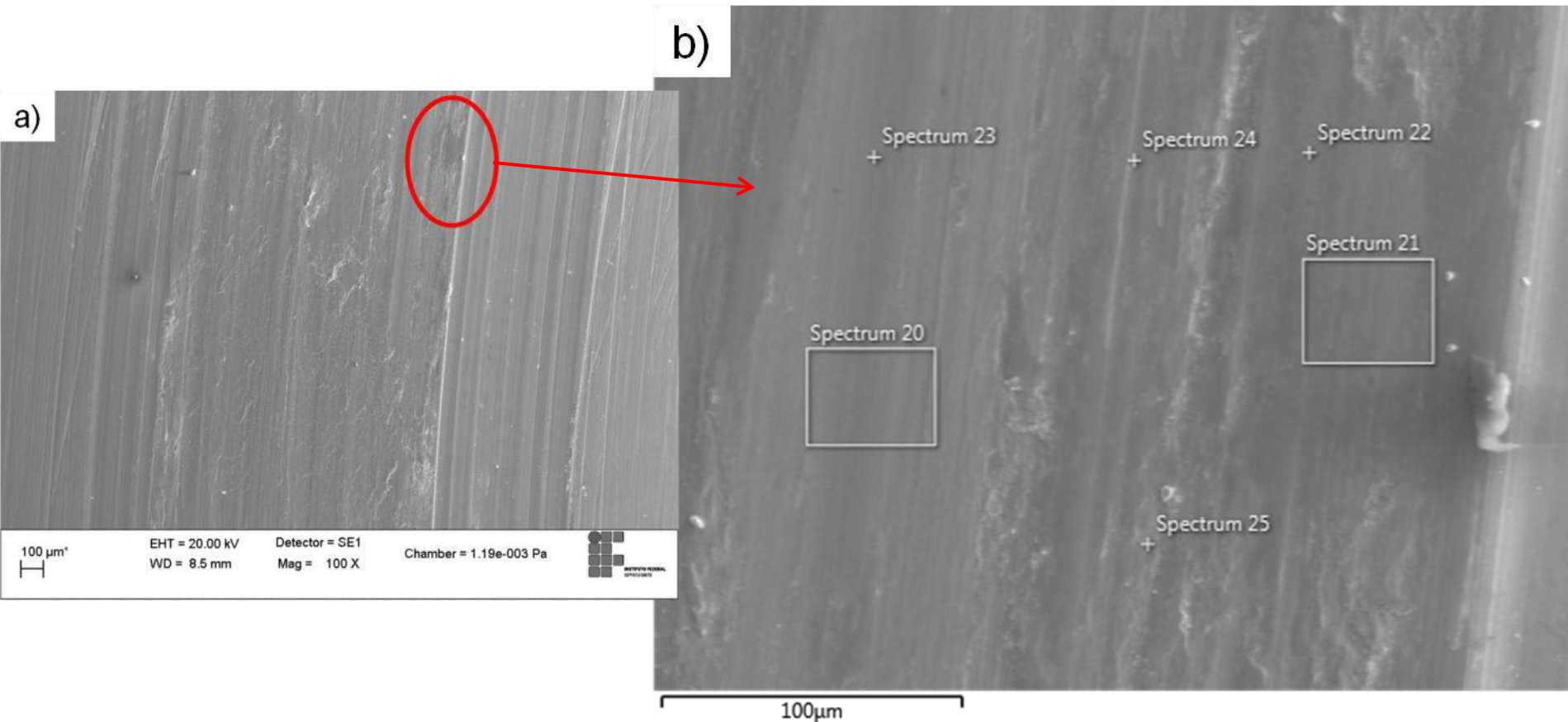


Micrografias, obtidas em MEV com elétrons retroespalhados, das trilhas de desgaste para ensaios com *Stellite 1* na temperatura de 500 °C. As setas indicam o sentido de rotação dos discos.

4. Resultados e Discussões

4.4. Mecanismos de desgaste

4.4.6. Liga *Stellite 1* – Temperatura de 500 °C

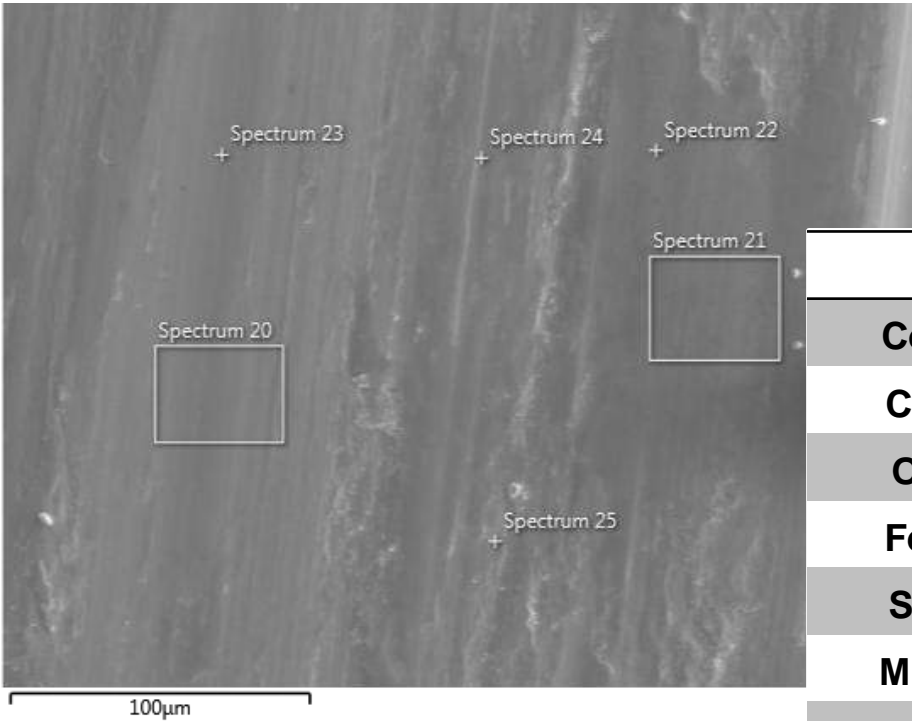


Em (a), micrografia da amostra de *Stellite 1* ensaiada com carga normal de 29,9 N a 500 °C. Em (b), os pontos e áreas nos quais foram realizadas análises por EDS da região indicada em (a).

4. Resultados e Discussões

4.4. Mecanismos de desgaste

4.4.6. Liga *Stellite 1* – Temperatura de 500 °C



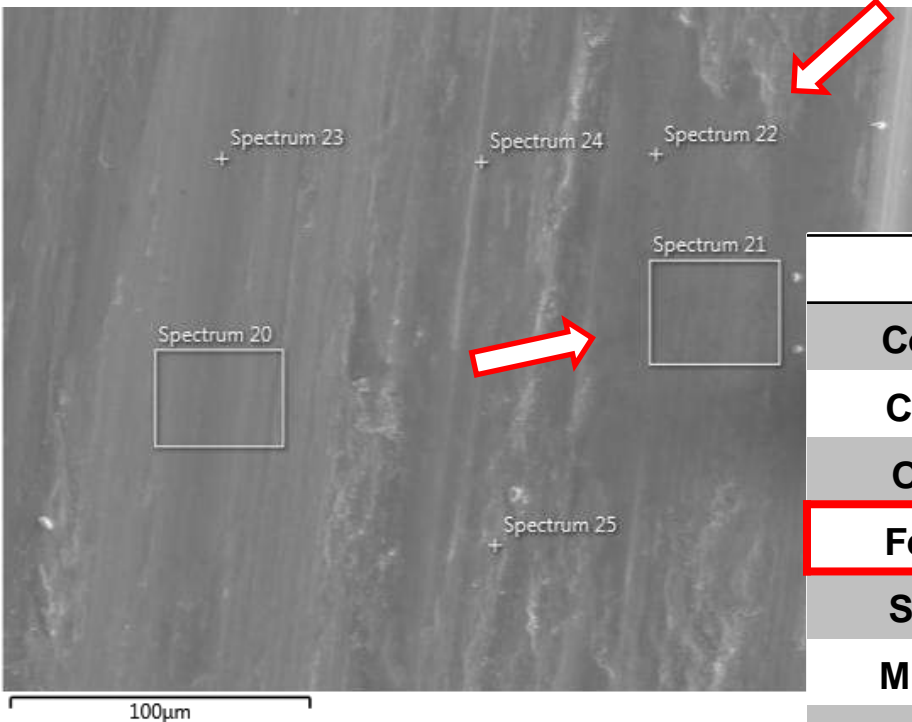
	20	21	22	23	24	25
Co	46,49	23,76	27,78	47,41	36,33	43,38
Cr	31,03	22,93	22,27	30,02	27,66	30,78
O	3,35	21,99	17,90	4,64	18,68	7,67
Fe	3,89	20,12	19,88	4,00	3,65	4,10
Si	0,65	0,52	0,52	0,65	0,42	0,63
Mn	0,43	0,31	0,31	0,43	0,52	0,53
Ni	1,30	2,39	2,91	1,40	1,15	1,26
W	12,76	7,47	8,01	11,34	11,48	11,45
Mo	0,11	0,52	0,52	0,22	0,21	0,21

A tabela apresenta a porcentagem dos elementos em cada ponto/área analisado na figura ao lado.

4. Resultados e Discussões

4.4. Mecanismos de desgaste

4.4.6. Liga *Stellite 1* – Temperatura de 500 °C



	20	21	22	23	24	25
Co	46,49	23,76	27,78	47,41	36,33	43,38
Cr	31,03	22,93	22,27	30,02	27,66	30,78
O	3,35	21,99	17,90	4,64	18,68	7,67
Fe	3,89	20,12	19,88	4,00	3,65	4,10
Si	0,65	0,52	0,52	0,65	0,42	0,63
Mn	0,43	0,31	0,31	0,43	0,52	0,53
Ni	1,30	2,39	2,91	1,40	1,15	1,26
W	12,76	7,47	8,01	11,34	11,48	11,45
Mo	0,11	0,52	0,52	0,22	0,21	0,21

A tabela apresenta a porcentagem dos elementos em cada ponto/área analisado na figura ao lado.

4. Resultados e Discussões

4.4. Mecanismos de desgaste

4.4.7. Pinos – Temperatura de 500 °C

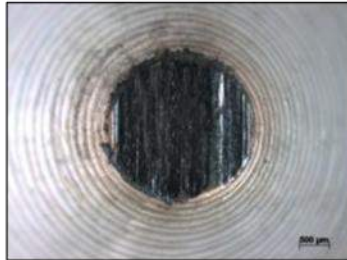
7,3 N

15,2 N

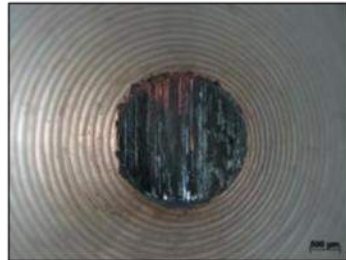
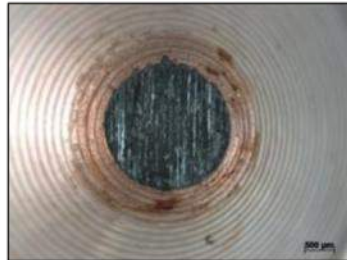
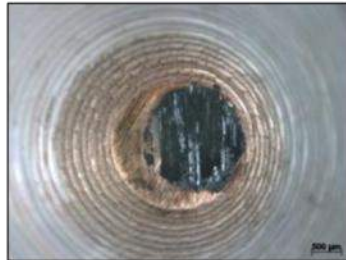
23,0 N

29,9 N

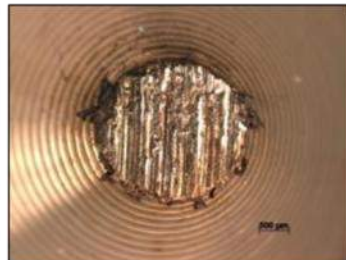
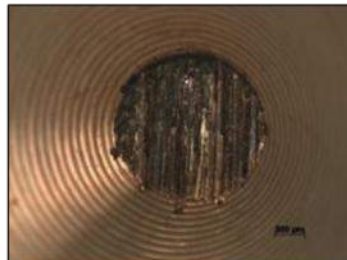
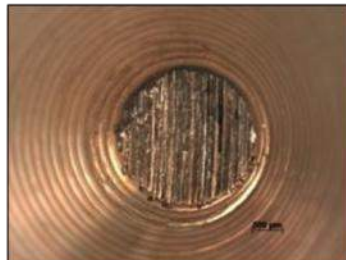
*Liga de
Co-Cr-Fe*



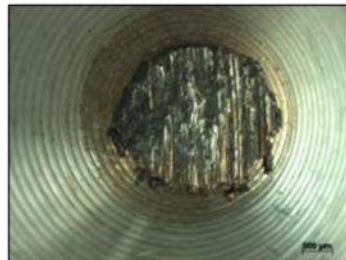
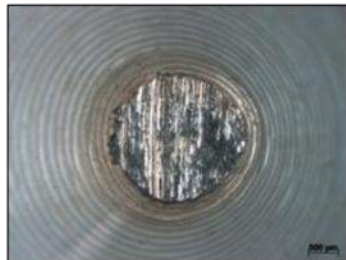
Stellite 1



Stellite 6



Stellite 12



Micrografias das superfícies dos pinos após os ensaios a 500 °C, obtidas através de microscópio estereoscópico.



5. Conclusões



- Nos ensaios realizados em temperatura ambiente, com exceção da menor carga normal, as ligas de Co-Cr-Fe, *Stellite 6* e *Stellite 12* apresentaram um coeficiente de atrito médio próximo a 0,3, independente da carga. E a liga *Stellite 1* apresentou, para todas as cargas, o maior valor de μ .
- De um modo geral, o valor do coeficiente de atrito médio apresentou uma tendência de crescimento com o aumento da carga normal para os ensaios realizados a 500 °C.



5. Conclusões



- Para os ensaios realizados a 500 °C, os discos de *Stellite 1* apresentaram uma resistência ao desgaste muito maior que as demais ligas estudadas. E, de um modo geral, aqueles de liga de CO-Cr-Fe apresentaram a menor.
- O aumento da temperatura implicou no aumento de desgaste para todos os materiais ensaiados, independente da carga normal. Sendo que, os discos recobertos com *Stellite 1* apresentaram a menor sensibilidade à essa variação de temperatura. E, aqueles recobertos com *Stellite 6* e *12* foram os que apresentaram as maiores diferenças entre as duas condições.



5. Conclusões



- Comparando o coeficiente de atrito médio com o volume desgastado das ligas estudadas neste trabalho, não foi observada a existência de relação entre esses dois resultados.
- Para os ensaios realizados em temperatura ambiente com os discos de liga de Co-Cr-Fe, *Stellite 6* e *12*, o mecanismo de desgaste dominante foi o de natureza plástica. Já os discos recobertos com a liga de *Stellite 1*, apresentaram indícios de oxidação na trilha de desgaste.



5. Conclusões



- Nos ensaios realizados a 500 °C, a liga de Co-Cr-Fe apresentou riscos e deformação plástica generalizada, decorrente do deslizamento, como mecanismo de desgaste dominante.
- Os discos de *Stellite 12* apresentaram riscos como o principal mecanismo de desgaste nos ensaios em elevada temperatura. E não foi observada adesão de material na pista de desgaste.
- Os discos de *Stellite 6* apresentaram mecanismos de desgaste semelhantes aqueles encontrados na liga de *Stellite 12*.



5. Conclusões



- A liga de *Stellite 1* apresentou, como mecanismo de desgaste, um misto de riscos e acúmulo de material ao longo da trilha de desgaste. Esse material depositado foi proveniente do pino (contracorpo).
- Os pinos ensaiados a 500 °C contra as ligas de Co-Cr-Fe, *Stellite 6* e *12* apresentaram riscos na sua superfície, indicando que os mecanismos plásticos foram dominantes.
- Os pinos ensaiados a 500 °C contra a liga de *Stellite 1* podem ter apresentado a formação de uma camada de óxido protetora para as cargas abaixo de 29,9 N.



6. Sugestões para trabalhos futuros



- Variar a velocidade de deslizamento e temperatura, buscando a formação da camada de *glaze*.
- Variar o processo de deposição dos recobrimentos com ligas de cobalto.
- Inverter os materiais, utilizando o disco de aço inoxidável e pinos de ligas de cobalto.



7. Referências bibliográficas



- ARCHARD, J. F. Contact and Rubbing of Flat Surfaces. **Journal of Applied Physics**, England, v. 24, n. 8, p. 981-8, Agosto 1953.
- ASSUNÇÃO, F. C. R. (Ed.). **Materiais avançados no Brasil 2010-2022**. CGEE, 2010.
- ASTM. **ASTM E407**: Standard Practice for Microetching Metals and Alloys. ASTM International, 2011.
- ASTM. **ASTM G40-13**: Standard Terminology Relating to Wear and Erosion. West Conshohocken: ASTM International, 2013.
- BHUSHAN, B. **Modern Tribology Handbook**. CRC Press, 2001.
- BIROL, Y. High temperature sliding wear behaviour of Inconel 617 and Stellite 6 alloys. **Wear**, v. 269, p. 664-671, 2010.



7. Referências bibliográficas



- BLAU, P. J. Embedding wear models into friction models. **Tribology Letters**, v. 34, p. 75-79, Abril 2009.
- CALLISTER, W. D. **Fundamentals of Materials Science And Engineering**. 5^a. ed. John Wiley & Sons, Inc., 2001.
- CAMPBELL, F. C. **Manufacturing Technology for Aerospace Structural Materials**. 1^a. ed. St. Louis, Missouri: Elsevier, 2006.
- CAROL, E. et al. Plastic strain of cobalt-based hardfacings under friction loading. **Wear**, v. 330-331, p. 354-363, 2015.
- DAVIS, J. R. (Ed.). **ASM Specialty Handbook - Heat-Resistance Materials**. ASM International, 1997.



7. Referências bibliográficas



- DAVIS, J. R. (Ed.). **ASM Specialty Handbook - Nickel, Cobalt, and their alloys**. ASM International, 2000.
- DEAL, A. et al. Tensile Property Investigation of Cast and Wrought Co-Cr-Fe. **Microscopy and Microanalysis**, v. 13, p. 942-943, August 2007.
- DIN. **DIN 50320: Wear - Terms - Systems Analysis Of Wear Processes - Classification Of The Field Of Wear**. 1979.
- DONACHIE, M. J.; DONACHIE, S. J. **Superalloys: A Technical guide**. 2^a Edição. ed. ASM International, 2002.
- FRENK, A.; KURZ, W. Microstructural effects on the sliding wear resistance of a cobalt-based alloy. **Wear**, v. 174, p. 81-91, January 1994.



7. Referências bibliográficas



- HUTCHINGS, I. M. **Tribology**: Friction and Wear of Engineering Materials. London: Butterworth-Heinemann, 1992.
- INMAN, I. A. et al. Microscopy of glazed layers formed during high temperature sliding wear at 750 °C. **Wear**, v. 254, p. 461-467, 2003.
- INMAN, I. A.; ROSE, S. R.; DATTA, P. K. Studies of high temperature sliding wear of metallic dissimilar interfaces II: Incoloy MA956 versus Stellite 6. **Tribology International**, v. 39, p. 1361-1375, 2006A.
- INMAN, I. A.; ROSE, S. R.; DATTA, P. K. Development of a simple 'temperature versus sliding speed' wear map for the sliding wear behaviour of dissimilar metallic interfaces. **Wear**, v. 260, p. 919-932, 2006B.



7. Referências bibliográficas



- **KAPOOR, S. High-Temperature Hardness and Wear Resistance of Stellite Alloys.** Ottawa, Ontario: Heritage Branch, 2012. Thesis of Master Degree. Carleton University.
- **KENNAMETAL.** Sobre a Empresa: Kennametal Stellite. **Site da Kennametal Stellite**, 2013. Disponível em: <<http://stellite.com/>>. Acesso em: 02 jun. 2015.
- **MA, X. P. et al.** Microstructure and properties of 13Cr5Ni1Mo0.025Nb0.09V0.06N super martensitic stainless steel. **Materials Science and Engineering A**, v. 539, p. 271-279, 2012.
- **MELLOR, B. G. (Ed.). Surface coatings for protection against wear.** 1ª. ed. CRC Press, 2006.



7. Referências bibliográficas



- METALS HANDBOOK. **Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Special-Purpose Materials.** ASM International, v. 2, 1990.
- PARDAL, J. M. et al. Uma revisão da resistência à corrosão em aços inoxidáveis duplex e superduplex. **Revista Virtual de Química**, v. 5, p. 658-677, Agosto 2013.
- PAUSHITZ, A.; ROY, M.; FRANEK, F. Mechanisms of sliding wear of metals and alloys at elevated temperatures. **Tribology International**, v. 41, p. 584-602, November 2008.
- SIKORSKI, M. E. The Adhesion of Metals and Factors That Influence It. **Wear**, N. J., USA, v. 7, p. 144-162, 1964.



7. Referências bibliográficas



- **SILVA, G. F. D. A influência do tratamento térmico nas propriedades de um aço supermartensítico ligado ao titânio.** Niterói, 2009. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Fluminense.
- **STOOT, F. H. The role of oxidation in the wear of alloys. Tribology International**, v. 31, p. 61-71, 1998.
- **TAUFFER, R. L. O efeito da carga normal no comportamento tribológico de uma superliga de cobalto no ensaio pino-disco.** Vitória, 2014. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Espírito Santo.



7. Referências bibliográficas



- WANG, L.; LI, D. Y. Effects of yttrium on microstructure, mechanical properties and high-temperature wear behavior of cast Stellite 6 alloy. **Wear**, v. 255, p. 535-544, 2003.
- WOOD, P. D.; EVANS, H. E.; PONTON, C. B. Investigation into the wear behaviour of Stellite 6 during rotation as an unlubricated bearing at 600 °C. **Tribology International**, v. 44, p. 1589-1597, 2011.
- ZHANG, S.; ZHAO, D. (Eds.). **Aerospace Materials Handbook**. CRC Press, 2013.
- ZUM GAHR, K. H. **Microstructure and Wear of Materials**. Elsevier, 1987.



8. Agradecimentos



Agradeço a todos os familiares, amigos e aqueles que, de alguma forma, contribuíram para a conclusão deste trabalho.

