

OS ESTUDOS TRIBOLÓGICOS NO ENSINO DE ENGENHARIA MECÂNICA

DOI: 10.15552/2236-0158/abenge.v34n2p3-10

Cláudio Gonçalves de Oliveira,¹ Ivete Peixoto Pinheiro Silva²

RESUMO

Considerando que as perdas operacionais e financeiras causadas pelo desgaste são uma das maiores preocupações das indústrias em todo o mundo, e, partindo-se do pressuposto de que, para os engenheiros mecânicos, o atrito, o desgaste e a lubrificação são o trinômio com o qual sempre irão se deparar em todas as fases de desenvolvimento de um projeto, a compreensão de seus mecanismos e o desafio de propor soluções para tais problemas tornam-se imprescindíveis para sua completa formação profissional. O artigo problematiza a tênue abordagem da “Tribologia” – entendida como a ciência que estuda os mecanismos do atrito, do desgaste e da lubrificação – nos cursos de Engenharia Mecânica, apresenta um levantamento teórico-conceitual acerca do desgaste abrasivo e ilustra, com um exemplo prático, a análise crítica de uma técnica utilizada para se avaliar a resistência ao desgaste de peças de ferro fundido branco alto cromo com adição de nióbio, usadas em equipamentos de mineração.

Palavras-chave: Tribologia; Ciência do desgaste; Engenharia Mecânica.

ABSTRACT

TRIBOLOGICAL STUDIES IN MECHANICAL ENGINEERING EDUCATION

Considering that the operational and financial losses caused by wear is a major concern of industries around the world, starting from the assumption that for mechanical engineers, friction, wear and lubrication is the triad with which always will come across in all development phases of a project, understanding its mechanisms and the challenge of proposing solutions to such problems become important for your complete training. The article discusses the tenuous approach to “Tribology” – understood as the science that studies the mechanisms of friction, wear and lubrication – in Mechanical Engineering courses, presents a theoretical and conceptual survey about the abrasive wear and illustrates with a practical example and critical analysis of a technique used to evaluate the wear resistance of high chromium white cast iron parts with the addition of niobium used in mining equipment.

Keywords: Tribology; Science wear; Mechanical Engineering.

1 Doutorando em Engenharia Metalúrgica, Materiais e de Minas (UFMG); Mestre em Engenharia de Materiais; Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – CEFET-MG; claudiogon@bol.com.br

2 Professora; Doutora em Engenharia Metalúrgica, Materiais e de Minas (UFMG); Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais; Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – CEFET-MG; ivetepinheiro@deii.cefetmg.br

INTRODUÇÃO

Os cursos de Engenharia Mecânica, de maneira geral, dão inexpressiva importância aos estudos tribológicos em seus currículos, constando de apenas uma ou duas disciplinas introdutórias,¹ nas quais se abordam conceitos básicos de Tribologia. Tais disciplinas apresentam superficialmente os tipos e mecanismos de desgaste de materiais, sem o devido aprofundamento teórico, e tampouco dão espaço a estudos práticos e a exemplos empíricos. É privilegiada uma abordagem hermenêutica, visando levar os futuros engenheiros à compreensão da natureza física dos atritos e suas consequências, por meio de uma visão geral dos conceitos básicos e dos princípios tribológicos.

Considerando que as perdas operacionais e financeiras causadas pelo desgaste constituem uma das maiores preocupações das indústrias em todo o mundo, e, partindo-se do pressuposto de que, para os engenheiros mecânicos, o atrito, o desgaste e a lubrificação são o trinômio com o qual sempre irão se deparar em todas as fases de desenvolvimento de um projeto, muito além da compreensão de seus mecanismos, o desafio de propor soluções para tais problemas torna-se ainda mais vital para sua atuação profissional. Portanto, urge uma reflexão acerca de uma abordagem mais completa e crítica dessa ciência no ensino da Engenharia Mecânica, e, assim, o reconhecimento de sua importância como parte imprescindível e privilegiada nos currículos dos cursos.

Nesse sentido, o presente artigo visa contribuir para o ensino da Tribologia nos cursos de Engenharia Mecânica apresentando os conceitos e mecanismos do desgaste abrasivo, ilustrando com um exemplo prático de uma análise crítica de uma técnica utilizada para se avaliar a resistência ao desgaste de peças de ferro fundido branco alto cromo com adição de nióbio, utilizadas em equipamentos de mineração.

Discutir os conceitos teóricos e apresentar exemplos de experimentos de ordem prática pode elevar a formação dos futuros engenheiros mecâni-

cos a patamares mais altos e torná-los aptos a exercerem sua profissão com competência e produtividade.

TRIBOLOGIA: CONCEITO E BREVE HISTÓRICO

“Tribologia” vem do grego “*Τριβο*” e “*Λογος*”, respectivamente, “tribos”, que significa roçar-esfregar, e “logos”, estudo. Em uma tradução literal, Tribologia significa “estudo do atrito”, ou a “ciência que estuda o atrito”. Segundo Hutchings (1992), Tribologia é o estudo do atrito, desgaste e lubrificação.

Em 1966, o termo “Tribologia” foi utilizado oficialmente, pela primeira vez, em um relatório feito por H. Peter Jost para o comitê do departamento inglês de educação, para definir “A ciência e tecnologia da interação entre superfícies em movimento relativo e das práticas com elas relacionadas”.² Por meio de um estudo que quantificou as perdas econômicas provenientes dos desgastes, na Inglaterra, Jost evidenciou o quanto poderia ser economizado anualmente se os princípios da Tribologia fossem corretamente aplicados (cf.: DOWSON, 1979, p. 1).

Conforme Sinatora (2005), a Tribologia se dedica ao estudo do desgaste, do atrito e, por conseguinte, da lubrificação, como forma tradicional de minimizar seus efeitos negativos. Apoiando-se na mecânica, física, química e ainda nas ciências dos materiais, não traz, portando, nenhum conhecimento novo.

Embora a palavra “tribologia”, em sua atual conotação, seja relativamente nova, datada no século XX, o assunto a que se refere não o é, incluindo os tópicos relativos ao atrito, ao desgaste e à lubrificação. Desde a invenção da roda, que é anterior a qualquer registro histórico existente, há uma preocupação do homem em reduzir o atrito nos movimentos de rotação e de translação (STOETERAU, 2004).

Para Winer (1990), o que se fez em 1966 foi apenas conferir um foco, um fator unificador, que é a aplicação dos conhecimentos básicos para prever o comportamento de sistemas físicos, ou seja, de

¹ Por exemplo, evidenciam-se os cursos de Engenharia Mecânica da PUC-MINAS, com a disciplina “Tribologia”, de 32 h/a; do CEFET-MG: “Fundamentos de Tribologia”, 60 h/a; da Universidade Federal de Uberlândia: “Introdução à Tribologia”, 30 h/a, entre outros.

² Nossa tradução para: “the science and technology of interacting surfaces in relative motion and the practices related thereto”.

triboelementos que são utilizados em sistemas mecânicos.

Segundo Stoeterau (2004), as pesquisas sobre os problemas tribológicos de atrito e os desgastes resultantes são perfeitamente justificáveis, na medida em que esses fenômenos afetam quase todos os aspectos da vida humana, não sendo restritos apenas a problemas mecânicos de máquinas e seus mancais:

Segundo Dowson (1979), em seu livro intitulado *History of tribology*, os pioneiros da Tribologia foram Guillaume Amontons (1663-1705), John Theophilus Desaguliers (1683-1744), Leonard Euler (1707-1783), Charles-Augustin Coulomb (1736-1806) e Charles Hatchett (1760-1820), Osborne Reynolds (1842-1919), Heirich Rudolph Hertz (1869-1851), George Vogelpohl (1900-1975), e Frank Philip Boluden (1903-1968). Esses cientistas e muitos outros deram importantes contribuições para o desenvolvimento da Tribologia.

Para Stoeterau (2004, p. 12), desde o início do século XX,

impulsionados pela demanda industrial, o conhecimento em todas as áreas da Tribologia expandiu-se enormemente e apresenta diferentes interesses nas diversas áreas do conhecimento tecnológico, com uma série de disciplinas científicas se ocupando de problemas tribológicos, tais como: a ciência dos materiais, com o desenvolvimento de materiais tribológicos especiais; a química, com o estudo de lubrificantes, aditivos e problemas de camada limite; a física, com estudos de novos materiais e processos de revestimentos, e estudo do atrito no nível atômico/quântico; a fabricação, com o estudo da qualidade superficial proveniente da fabricação e suas relações com a Tribologia; a metrologia, com a qualificação das superfícies tribológicas e a automação de sistemas; o projeto, com a aplicação de superfícies tribológicas; a automação, com o estudo da influência do atrito em sistemas de controle; entre outras.

Princípios básicos da Tribologia

De acordo com Blau (1997), os estudos tribológicos têm sido realizados para: (i) compreender o comportamento do desgaste em uma família particular de materiais; (ii) auxiliar na seleção de materiais para uma determinada aplicação; (iii) compreender os efeitos de certas variáveis num modo

particular de desgaste; (iv) desenvolver modelos para prever ou descrever o desgaste em tribosistemas específicos.

Para Zum Gahr (1987), a falha de um componente ou de uma estrutura pode estar associada aos danos causados por quatro mecanismos fundamentais: a deformação plástica, a formação e propagação de trincas, a corrosão ou o desgaste.

Definições de desgaste e seus impactos econômicos

Para a American Society for Testing and Materials (ASTM), o desgaste é definido como a degradação da superfície de um sólido, e geralmente envolve perda progressiva de material, devido ao movimento relativo dessa superfície com uma ou mais substâncias em contato.

Para Castro (2010, p. 16), “normalmente o termo desgaste refere-se a dano ao equipamento, geralmente envolvendo perda de material, devido ao movimento relativo entre superfícies em contato direto ou entre superfície e substâncias existentes entre as mesmas”.

Rigney (1990) define desgaste como o deslocamento ou a remoção de material resultante de processos tribológicos. E, segundo a Norma Brasileira NBR 12042, “desgaste é a desagregação superficial e remoção de partículas de um determinado material submetida à força de atrito” (ABNT, 2012).

Acerca dos impactos econômicos do desgaste, Sinatora (2005), em seu estudo da arte sobre Tribologia, faz um detalhado estudo em diversos países do mundo. Estimativas recentes para a Alemanha mostram perdas de 5% do PIB, ou 35 bilhões de Euros por ano. O mesmo estudo dá exemplos da eficácia do investimento na redução dos desgastes realizados na China. Os retornos sobre os investimentos foram de 1:40 na mineração de carvão contra 1:64 nos Estados Unidos. Na indústria siderúrgica, os retornos calculados para a China foram de 1:76.

Com base nessas informações, e considerando-se o Produto Interno Bruto (PIB) do Brasil, de 1,7 trilhões de reais, em 2004, obtêm-se estimativas de perdas por desgaste entre 17 (1%) a 104 (6%) bilhões de reais por ano. As economias nacionais possíveis (reduções de custos produtivos), apenas

com a aplicação do conhecimento existente sobre desgaste, seriam de 3,4 a 20 bilhões de Reais anuais (SINATORA, 2005). Também os estudos realizados pela ASME, nos Estados Unidos, apontam uma perda econômica de 1% a 2,5% do PIB devido ao desgaste.

Segundo Zum Gahr (1987), na Alemanha, uma pesquisa da década de 1980 revela que desgaste e corrosão, juntos, contribuem com a perda de 4,5% do PIB. E, conforme afirma Leite (2008, p. 6), “com a crescente produção industrial nas últimas décadas, estima-se que o potencial de perdas econômicas devido ao desgaste tenha aumentado proporcionalmente nas indústrias.”

Para Zum Gahr (1987), os custos devido à fricção e ao desgaste podem ser reduzidos através do controle das condições de trabalho e vibração, limpeza do ambiente, manutenção e reparos.

Desgaste abrasivo

O desgaste se desenvolve de acordo com vários mecanismos, que podem ser classificados de diversas maneiras, dependendo do ponto de vista de cada pesquisador, sendo mais frequentes os desgastes: abrasivo (3 corpos), erosivo, por deslizamento (2 corpos) e por fadiga de contato.

Por se tratar do tipo de desgaste a ser abordado no estudo de caso do presente artigo, será dada ênfase na discussão teórica do “desgaste abrasivo”.

Ainda conforme Zum Gahr (1987, p.145),

desgaste abrasivo é o deslocamento de material causado pela presença de partículas duras entre duas superfícies que possuem movimento relativo. Essas partículas podem estar entre as superfícies ou incrustadas em uma delas. O desgaste abrasivo pode ainda ser ocasionado pela presença de protuberâncias duras em uma, ou nas duas superfícies móveis.

O desgaste abrasivo é um dos principais tipos de desgaste, sendo um dos mais intensos e dos mais encontrados na prática, e responsável por 50% das causas de falhas das máquinas ou componentes (cf.: EYRE, 1991). Além disso, o desgaste abrasivo tem especial importância nas atividades agrícolas, de transporte e de mineração, atividades de importância estratégica para países como o Brasil (SINATORA, 2004).

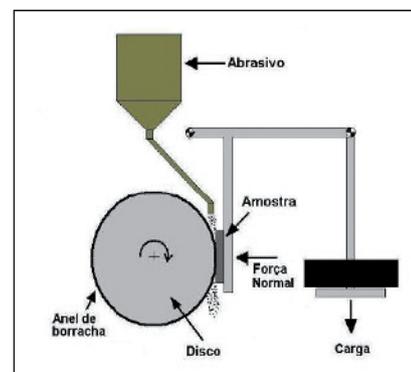
De acordo com Zum Gahr (1987), os processos de desgaste abrasivo podem ser classificados pelos modos de desgaste, variando entre deslizamento, rolamento, oscilação, impacto e escoamento, dependendo da cinemática do sistema.

Os processos de desgaste podem ser simulados em laboratório; para isso, diversos equipamentos são construídos com essa finalidade. Entre os equipamentos mais conhecidos para esse tipo de estudo pode-se citar o tribômetro tipo pino-contra-disco (*pin-on-disc*) e o abrasômetro tipo roda de borracha.

Segundo Lima (2008), o abrasômetro tipo roda de borracha foi apresentado pela primeira vez por Haworth, em 1948, e constitui-se de um disco de aço, envolvido com um anel de borracha, que gira em contato com a superfície do corpo de prova, com abrasivo na interface. Permite realizar ensaios a seco ou a úmido, com alta confiabilidade de resultados, sendo empregado tradicionalmente na indústria de mineração; usa-se para classificar materiais quanto à sua resistência ao desgaste.

O seu princípio de funcionamento consiste em esmerilhar um corpo de prova padronizado com uma areia de granulometria controlada. O abrasivo é introduzido entre o corpo de prova e um anel de borracha de dureza especificada, provocando o riscamento, conforme a American Society for Testing and Materials (ASTM G 65-00, 2001) (Figura 1).

Figura 1: Representação esquemática de Abrasômetro Roda de Borracha



Fonte: Norma ASTM G 65 (2001).

Nesse ensaio, a amostra plana é colocada na vertical, tangenciando a roda revestida de borracha, e sobre o corpo de prova é aplicada a carga normal, com o uso de um peso morto sobre o braço de ala-

vanca. Para a quantificação do desgaste é medida a massa da amostra, antes e depois de cada ensaio, em uma balança analítica.

ESTUDO DE CASO

Como forma de ilustração prática da aplicação dos estudos tribológicos na Engenharia Mecânica, será apresentado, a seguir, um estudo de caso com vistas à análise crítica de uma técnica utilizada para se avaliar a resistência ao desgaste de peças de ferro fundido branco alto cromo com adição de nióbio que são empregadas em equipamentos de mineração.

Materiais e métodos

A escolha da liga de ferro fundido branco alto cromo com adição de nióbio para servir de base do experimento se deve ao fato de ser essa liga que apresenta maior resistência à abrasão em equipamentos submetidos a intensos desgastes na mineração. Também, segundo os estudos de Filipovic *et al* (2013), a adição de Nb no ferro fundido branco alto cromo produz uma maior liberação de concentração de carbonetos NbC e apresenta melhor resultado na resistência ao desgaste.

Após definição das ligas 1 e 2, conforme composição química descrita na Tabela 1, foram fabricados os moldes dos corpos de prova, nas medidas 76,2 x 25,4 x 12,7mm, consideradas ideais para a realização de ensaios de abrasão roda de borracha, conforme a Norma ASTM G65 (2001), para avaliar a sua resistência ao desgaste abrasivo.

Tabela 1: Composição Química das Ligas

Liga	C	Cr	Mn	Cu	Ni	Mo	Si	Nb
1	4,04	27,16	0,89	0,14	0,45	0,67	2,57	0,92
2	3,82	27,10	0,88	0,14	0,42	0,62	2,47	1,66

Fonte: Elaborada pelos autores, 2014.

Para a fabricação dos moldes, foi utilizada areia silicosa aglomerada com resina furânica. Esse processo de fabricação de moldes é de uso corrente nas indústrias em geral.

Em seguida, foi realizada a fusão das ligas e o vazamento nos moldes de corpos de prova (Figura 2):

Figura 2: Preenchimento do molde do corpo de prova



Fonte: Produzida pelos autores (2014).

Ensaio de Abrasão Roda de Borracha

Para o ensaio, foram escolhidos três corpos de prova de cada liga, nas medidas de 76,2 x 25,4 x 12,7mm (Figura 3).

Figura 3: Corpos de prova



Fonte: Produzida pelos autores (2014).

A resistência ao desgaste abrasivo foi avaliada de acordo com a norma ASTM G65-91, procedimento "A", no Abrasômetro tipo Roda de Borracha (figuras 4 e 5).

Figura 4: Ensaio de Abrasão Roda de Borracha



Fonte: UNESC (2007)

Figura 5: Fluxo abrasivo durante o ensaio

Fonte: UNESC (2007)

As peças foram lavadas por 15 minutos em banho ultrassônico, com uso de equipamento da marca UltraCleaner 1400A, com aquecimento e uso de líquido álcool etílico. Após limpeza, as peças foram secas e pesadas até massa constante, com uso de balança analítica da marca Denver Instrument APX-200 e levadas para a máquina de abrasão.

De acordo com o procedimento "A", foi aplicada uma força de compressão de 130N entre a amos-

tra e a roda de borracha, aplicado um fluxo de areia abrasiva com granulometria de 32mesh e vazão de 350,4813g/min. A roda abrasiva, com diâmetro de 231,24mm e número de revoluções ajustado em 214,9rpm, após tempo de 28 minutos de ensaio, percorreu uma distância de 4309,0m. Após esse tempo, as peças foram novamente lavadas em banho ultrassônico com álcool etílico e pesadas até massa constante, sendo determinada a perda de massa.

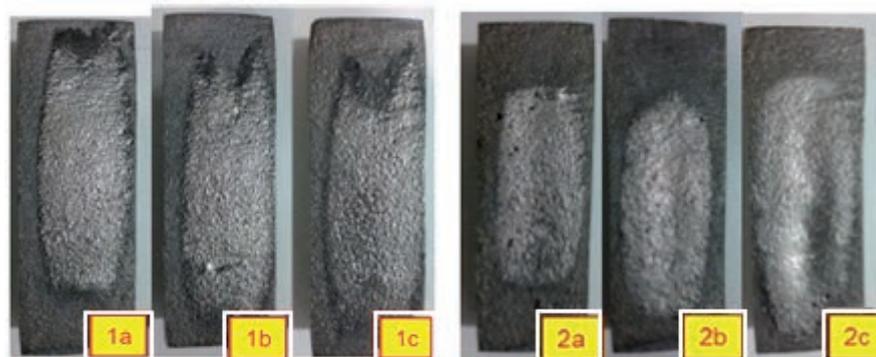
RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste trabalho, pretendeu-se verificar o desgaste abrasivo das ligas 1 e 2, através da perda de massa em ensaios de laboratório. O ensaio foi o de abrasão tipo roda de borracha, conforme norma ASTM G-65, procedimento "A", realizado no Laboratório do Instituto de Engenharia e Tecnologia (IDT), do Parque Científico e Tecnológico da Universidade do Extremo Sul Catarinense (UNESC). Os valores de perda de massa das amostras estão na Tabela 2, e, na Figura 6, são ilustrados os desgastes apresentados após o ensaio de abrasão.

Tabela 2: Resultados obtidos nos ensaios de abrasão

Liga	Amostra	Massa inicial (g)	Massa final (g)	Massa perdida (g)	Perda Volume (mm ³)	Média (mm ³)
1	1a	193,9928	193,9169	0,0759	10,120	
1	1b	192,1798	192,0876	0,0922	12,293	11,079
1	1c	188,1539	188,0727	0,0812	10,826	
2	2a	188,3042	188,2441	0,0601	8,013	
2	2b	186,6018	186,5402	0,0616	8,213	7,488
2	2c	188,0097	187,9629	0,0468	6,240	

Fonte: Produzida pelos autores (2015).

Figura 6: Superfícies dos corpos de prova após o ensaio de abrasão

Fonte: Produzida pelos autores (2014).

A perda de volume média (mm^3) foi calculada dividindo-se a perda de massa pela densidade da liga em ferro fundido branco alto cromo de $7,5 \text{ g/cm}^3$.

Infere-se que o aumento da resistência ao desgaste da Liga 2 (1,6% de Nb) em 47,95% em relação à Liga 1 (0,9% Nb), nos testes de abrasão tipo roda de borracha, em parte, se deve ao aumento do teor de Nb e, conseqüentemente, ao aumento do número de precipitados de carboneto de nióbio. Verificou-se, também, que a Liga 2 apresentou menor teor de carbono na matriz austenítica e, conseqüentemente, maior teor de cromo, favorecendo a resistência ao desgaste da matriz.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo de caso apresentado trata da avaliação da resistência ao desgaste abrasivo em ligas de ferro fundido branco alto cromo com adição de nióbio. Reitera-se que o ensaio realizado em laboratório leva em consideração apenas uma tensão superficial de desgaste, enquanto, em condições reais de trabalho, em revestimento de equipamentos de mineração, além da dureza superficial, a microestrutura desempenha papel preponderante.

Observe-se, ainda, que, ao enfrentarem as condições reais de trabalho, outras condições adversas interferem no desgaste final da peça, tais como, variação granulométrica e dureza da partícula abrasiva, velocidade de incidência da partícula sobre a superfície, energia potencial de queda da partícula sobre a superfície, taxa de alimentação do equipamento, entre outras.

Infere-se, portanto, que os resultados obtidos nos testes de laboratório são utilizados apenas para determinar qual a sua relação com os aspectos microestruturais e de dureza, não sendo adequados para prever os comportamentos dos materiais quando em serviço. Para tal análise, são necessários outros testes específicos dos materiais aplicados em condições reais de trabalho.

Diante do exposto, reitera-se aqui a importância dos estudos tribológicos na formação do engenheiro mecânico. O estudo teórico e a apresentação de exemplos reais de experimentos são partes importantes do ensino de Tribologia nos cursos de graduação e pós-graduação. Uma vez que conduzem os futuros engenheiros não apenas à compreensão

do fenômeno, mas também a uma crítica do real e à apreensão dos conhecimentos advindos da Tribologia, podem contribuir para sanar problemas técnicos referentes aos desgastes dos equipamentos.

REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM G65**: test method for measuring abrasion using dry/sand rubber wheel apparatus. West Conshohocken, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 12042:2012**. materiais inorgânicos — determinação do desgaste por abrasão, 2012.

BLAU, J. Peter. Fifty years of research on the wear of metals. **Tribology International**, v. 12, n. 5, 1997.

CASTRO, Cristóvão Américo Ferreira. **Resistência ao desgaste abrasivo das sapatas de trator de esteira após processo de recuperação**. 2010. Dissertação (Mestrado) - Engenharia Mecânica e de Materiais, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2010.

DOWSON, D. **History of tribology**. London: Longman, 1979.

EYRE, T. S. Wear characteristic of metals. In: _____. **Source book on wear control technology**. ASM. Ohio: Metals Park, 1978.

FILIPOVIC, Mirjana *et al.* Microstructure and mechanical properties of Fe–Cr–C–Nb white cast irons. **Materials and Design**, v. 4., p. 41-48, 2013. Disponível em: <<http://homepage:www.elsevier.com/locate/matdes>>. Acesso em 17 maio 2014.

HUTCHINGS, I. M. Tribology: friction and wear of engineering materials. **Wear**, v. 140, 1992.

LEITE, Ricardo Vinício de Melo. **Estudo comparativo entre ligas resistentes ao desgaste abrasivo, aplicadas por soldagem, em placas metálicas para fabricação de placas anti-desgaste**. 2008. Dissertação (Mestrado) - Engenharia Mecânica, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

LIMA, Aldemi C. **Estudo da aplicação de revestimento duro por soldagem com arames tubulares quanto à resistência ao desgaste de facas picadoras de cana de açúcar**. 2008. Tese (Doutorado) - Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2008.

RIGNEY, D. View point set on materials aspects of wear: introduction. **Scripta Metallurgica et Materialia**, v. 24, 1990.

SINATORA, Amilton. **Tribologia**: um resgate histórico e o estado da arte. São Paulo: Departamento de Engenharia Mecânica da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 2 jun. 2005. Disponível em: <<http://pt.scribd.com/doc/66537526/tribologiaITA>>. Acesso em 19 ago. 2013.

STOETERAU, Rodrigo Lima. **Tribologia**: EMC 5315. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina.

Centro Tecnológico. Departamento de Engenharia Mecânica. 2004. (Apostila do Curso de Engenharia Mecânica).

ZUM GAHR, Karl-Heinz. **Microstructure and wear of materials**. Tribology series. Amsterdam: Elsevier, 1987, v. 10.

WINER, W. O. Future trends in tribology. **Wear**, v. 136, p. 19-27, 1990.

DADOS DOS AUTORES



Cláudio Gonçalves de Oliveira – Engenheiro Mecânico (PUC-MINAS); graduado em Tecnologia em Normalização e Qualidade Industrial; Técnico em Eletromecânica (CEFET-MG); Técnico em Automobilística (SENAI-MG); possui MBA em Gestão de Projetos (IBMEC) e Especialização em Engenharia de Manutenção (IEC-PUCMINAS); mestre em Engenharia de Materiais (CEFET-MG); doutorando em Engenharia Metalúrgica, Materiais e de Minas (UFMG). Diretor de Desenvolvimento de Produtos da *Technium* Tecnologia em Desgaste Ltda. Professor do curso de Engenharia Mecânica da Faculdade Pitágoras.



Ivete Peixoto Pinheiro – Graduada em Engenharia Química e Engenharia Metalúrgica pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG); Especialização, Mestrado e Doutorado em Engenharia Metalúrgica e de Minas pela Universidade Federal de Minas Gerais (1983). Atualmente, é Professora Titular do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG). Tem experiência na área de Engenharia de Materiais e Metalúrgica, com ênfase em conformação mecânica e metalurgia física.