

RESISTÊNCIA AO DESGASTE ABRASIVO DAS SAPATAS DE TRATOR DE ESTEIRA APÓS PROCESSOS DE RECUPERAÇÃO

Cristóvão Américo Ferreira de Castro, cristovao@ifam.edu.br¹
Ossimar Maranhão, maranhao@utfpr.edu.br²
Carlos Henrique da Silva, carloschs@utfpr.edu.br²

1 Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas - IFAM, Av. Sete de Setembro, 1975-Centro, Manaus-AM, Cep:69.020-120,

2 Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Av. Sete de Setembro, 3165-Rebouças, Curitiba - PR. Cep:80.230-901.

Resumo. Considerando as dificuldades de pequenos e médios proprietários como: distância dos grandes centros, custo de manutenção, preço de peças de reposição; este estudo propõe uma busca de alternativa para recuperação de sapatas de trator de esteira desgastada pelo efeito abrasivo do solo. Este trabalho aborda uma análise comparativa entre a resistência ao desgaste de uma sapata de trator de esteira original nova com duas sapatas semelhantes, recuperadas por dois processos distintos. O primeiro processo de recuperação utiliza a aplicação de um postigo na região de desgaste e o segundo consiste da recuperação da região afetada mediante a deposição por soldagem de revestimento duro. As sapatas originais são laminadas e temperadas apresentando uma composição química semelhante ao aço SAE/AISI 1060. O postigo, também laminado, é fabricado em aço ABNT 1045 e o revestimento foi aplicado pelo processo de soldagem com eletrodo revestido (SMAW - Shielded Metal Arc Welding), com eletrodo E-83.58(ESAB), apresentando uma dureza de 510 HV na quarta camada depositada. Corpos de prova padronizados com dimensões: 76,2 x 25,4 x 12,7 mm, foram submetidos, dentre outros, ao ensaio de desgaste tipo roda de borracha (ASTM G65) para verificação de seu desempenho. Além disto, análises microestruturais via microscopia óptica e eletrônica de varredura também foram realizadas para identificar os mecanismos de desgaste presentes. Foi possível observar que o revestimento com eletrodo E-83.58 mostrou ser uma alternativa para este tipo de recuperação. O ensaio de desgaste escolhido foi capaz de reproduzir os mecanismos de desgaste que ocorrem em sapatas durante seu uso em campo.

Palavras chave: revestimento duro, desgaste abrasivo, soldagem, eletrodo revestido

1. INTRODUÇÃO

Na indústria mundial, uma das maiores preocupações é o desgaste de equipamentos, porque é a mais freqüente causa de falha do maquinário ou parte dele, ocasionando perdas por paradas inesperadas, manutenção e reposição Villabón e Sinatora(2006).

A soldagem de revestimento tem assumido uma importância cada vez maior, por realizar reconstituições de peças avariadas e deposições de camadas protetoras com baixo custo operacional, e por propiciar a redução do tempo de parada não programada. Logo se apresenta como uma solução prática e viável, devido às grandes vantagens e flexibilidade desta técnica (BRAMDIM *et al.*, 2003).

Segundo Buchely *et al.*(2004), aplicar um material de elevada dureza é uma das maneiras mais úteis e econômica de melhorar o desempenho dos componentes submetidos às condições severas de desgaste.

Fernandes *et al.* (2001), relata que os componentes de máquinas da indústria mineradora são freqüentemente envolvidos em processo de desgaste severo. Este é o caso do apoio das rodas do trator de esteiras de escavação em mina a céu aberto. Portanto, as tecnologias de desenvolvimento e deposição de são essenciais para melhorar o desempenho da superfície de tais componentes.

Os tratores de esteiras, motivo deste estudo, são máquinas utilizadas em terraplenagem, que em geral trabalham em qualquer terreno e a baixa velocidade.

Os tratores de esteiras, motivo deste estudo, Fig. (1.a), se diferenciam dos demais tipos de tratores pelo tipo de trem de rolagem; como o próprio nome diz, é composto de duas esteiras formadas pela união de várias sapatas. As sapatas Fig. (1.b) das esteiras têm dupla finalidade: Primeiro elas devem suportar o peso da máquina, isto é, dar sustentação e segundo elas devem proporcionar tração através do seu atrito com o solo para permitir que o trator execute sua função de remover material. Para Ricardo e Catalani (1990), os tratores de esteiras apresentam elevado esforço trator, conjugado com boa aderência sobre o terreno, o que lhes permite rebocar ou empurrar grandes cargas sem haver o perigo de patinamento, mesmo com rampas com alta declividade.

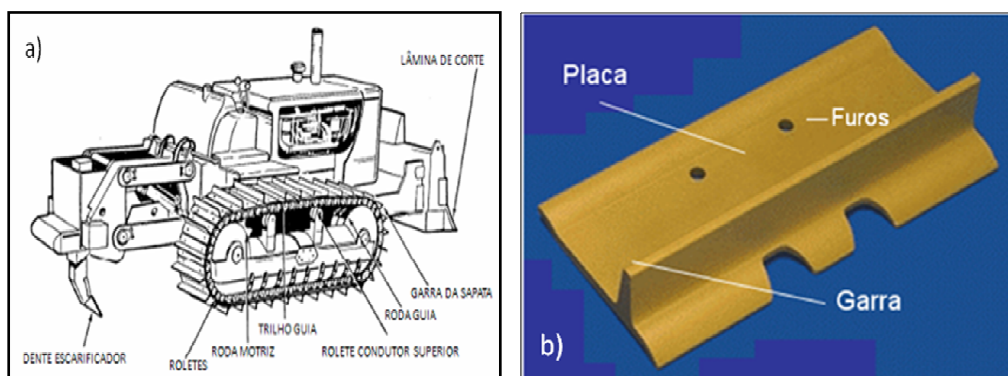


Figura 1. Trator de esteiras esquematizado (a) e uma sapata de trator e suas partes em detalhe.

Basicamente, três métodos são utilizados na recuperação das sapatas, como: Simples troca por outra sapata semelhante à original, adição de um postigo fixado por solda na região desgastada ou aplicação de um revestimento duro utilizando o processo de soldagem a arco elétrico, Fig.(2).

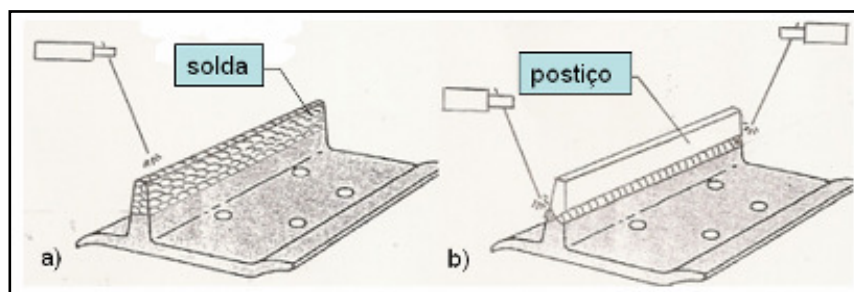


Figura 2. Exemplos de recuperação de sapatas: a) soldagem de enchimento; b) adição de postigo (adaptado de SOTREQ,2007)

Neste estudo, os ensaios foram todos do tipo abrasivo, pois o mecanismo de desgaste por abrasão é o preponderante nestas aplicações.

O objetivo deste trabalho é avaliar o comportamento de um revestimento duro, utilizando eletrodo revestido, em uma sapata desgastada de um trator de esteiras. O desgaste na garra ocorre com frequência por estarem em contato direto com o solo; e são os primeiros componentes a sofrerem o processo de desgaste.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Para o ensaio de desgaste foram confeccionados nove corpos de provas prismáticos, com dimensões 76,2 x 25,4 x 12,7 mm, sendo três de cada material, apresentados a seguir:

a) Sapata original

A sapata original de um trator de esteiras, doação de uma construtora de estradas e segundo os técnicos de manutenção, a mesma é fabricada em aço ABNT 5140, laminada e temperada. Os corpos de provas, foram confeccionados por fresagem.

b) Postiço

O postiço foi adquirido, no comércio de peças de reposição, em barras de 500 mm. Os cdp_s foram fabricados seguindo os mesmos processos da fabricação dos cdp da sapata.

c) Cordão de solda

Os corpo de provas confeccionados pelo processo de soldagem com eletrodo revestido SMAW (shielded metal arc welding) foram fabricados utilizando parte de uma sapata nova como substrato e com a adição de um consumível para revestimento duro E-83.58, que segundo o fabricante (ESAB), é indicado para revestimento de peças desgastadas como: caçambas e dentes de escavadeiras, recuperação de peças de britadores, moinhos, misturadores, rosca sem-fim de alimentadores, partes de máquinas expostas ao desgaste por minério, pedra, areia, coque, entre outros.

Primeiramente foi aplicada uma camada (amanteigamento), em seis passes longitudinais, com eletrodo E-308-L, diâmetro (\varnothing) 3,25 mm, cuja composição química é: 0,03% C; 0,80% Si; 0,80% Mn; 19,60% Cr; 9,90% Ni. Em seguida foi feito um desbaste utilizando uma lixadeira rotativa, até a camada ficar com a espessura aproximada de 1,0 a 1,5 mm. O revestimento duro consiste em quatro camadas, de seis passes paralelos longitudinais com o eletrodo E-83.58, ficando as barras com aproximadamente 18 mm de espessura. A Fig. (3) mostra esquematicamente a aplicação destas camadas de cordão de solda.

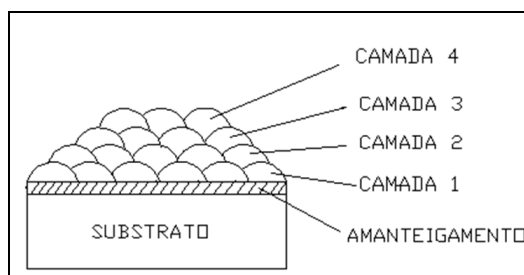


Figura 3. Esquema da aplicação das camadas e amanteigamento.

O excesso foi retirado pelo processo de usinagem por fresa seguida de retificação na camada de enchimento e fresamento para redução da espessura até 12,7 mm, no substrato. A temperatura entre passes foi controlada com termômetro digital infravermelho, evitando que a mesma ultrapassasse 180° C.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Dureza

Os resultados das medições de dureza de topo de cada material estão apresentados na Tab.(1). Ressalta-se que os cdp_s para o ensaio de dureza, da superfície, seguiram os mesmos procedimentos de fabricação aos quais foram submetidos os cdp_s do ensaio de desgaste. Nestas tabelas estão apresentadas 9 das 11 medições realizadas, pois foram descartadas o maior e o menor valor de dureza.

Observando a Tab.(1) nota-se que o maior valor de desvio padrão é encontrado nas medidas do cdp soldado, o que não é estranho, pois é natural que a solda apresente uma estrutura heterogênea, fato este que é inerente aos processos de soldagem de multipasses.

Tabela 1. Quadro de dureza Vickers dos corpos de provas.

Medições	Postiço	Sapata	Solda
1	268	431	507
2	266	469	437
3	263	459	448
4	266	404	428
5	269	451	517
6	268	467	547
7	283	427	510
8	266	469	498
9	273	445	497
Média	270 ± 6	447 ± 22	490 ± 40

A Figura (4.a) mostra as indentações de dureza na seção transversal de uma amostra com enchimento de solda, da qual foram confeccionados os cdp_s para ensaios de desgaste. Nesta figura fica evidente a presença de 3 regiões distintas de material (camada de enchimento, região do amanteigamento e sapata usada), conforme esquematizado na Fig. (4b).

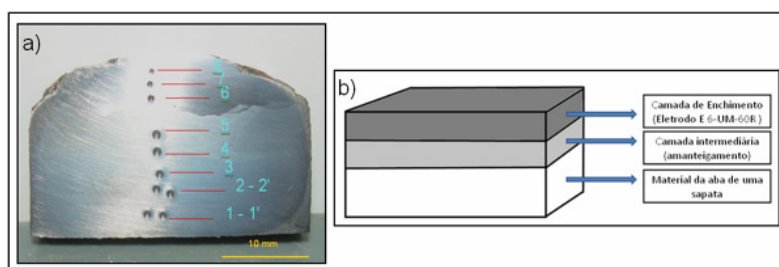


Figura 4. – Macrografia da seção transversal do cdp com solda após ensaios de determinação de perfil de dureza. a) indicação das medidas b) identificação das camadas.

Na Fig. (5), como era esperado pela análise do tamanho as impressões de dureza, observa-se claramente 3 regiões distintas de dureza. Nota-se também que na região dos cordões de enchimento (solda), a dureza se eleva gradualmente. Isto era esperado devido a ocorrência de diluição dos materiais do eletrodo de alta dureza e do eletrodo usado para o amanteigamento.

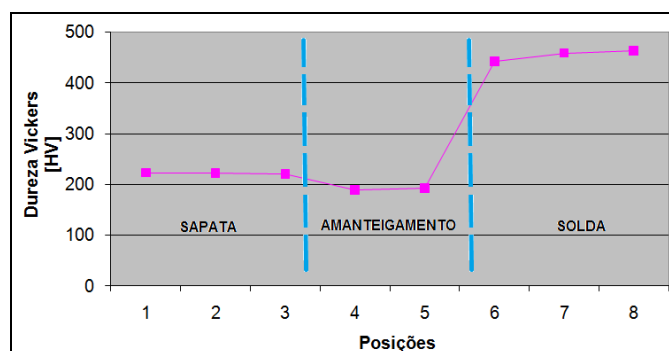


Figura 5. Perfil de dureza Vickers da amostra com deposição de cordões de amanteigamento e de solda.

Tendo em vista que a utilizou-se o eletrodo de amanteigamento para suportar esforços provenientes do processo de soldagem e evitar trincas na solda, é de se esperar que a dureza nesta região fosse menor

3.2 Composição química

A análise química dos três corpos de provas, apresentada na Tab. (2), foram realizadas com auxílio de um espectrômetro de emissão ótica e segundo laudo técnico a sapata é compatível com um aço SAE/AISI 1040 e o postiço com um aço SAE/AISI 1060.

Tabela 2. Composição química dos materiais dos corpos de provas

MATERIAL	Composição química (%)						
	C	Mn	Cr	Ni	Si	Mo	S
Sapata	0,36	0,98	0,17	-	0,22	0,13	0,02
Postiço	0,67	0,66	0,23	-	0,10	0,15	0,02
Solda	0,79	0,79	10,68	0,15	0,78	0,49	0,02

Nota-se que a solda, após o processo, apresentou uma composição química diferente da composição original do eletrodo apresentada no catálogo do fabricante (0,5%C; 6,0%Cr; 0,7% Si; 0,7%Mn e 0,5%Mo). Essa diferença pode ser explicada por motivos metalúrgicos a que os cordões estão sujeitos durante a soldagem.

3.3 Metalografia

• Trincas superficiais

Analisando o comportamento do revestimento utilizado neste trabalho, com teor de ligas abaixo de 20%, mais notadamente 0,79% C; 0,78% Si; 0,79% Mn; 10,68% Cr; 0,5% Mo e 0,15%Ni, nota-se que este apresentou valores de dureza próximos a 490 HV, portanto com dureza superior à da sapata (447 HV). As condições de soldagem e este acréscimo de dureza não provocaram o surgimento de trincas significativas quando comparado com resultados de ligas alto cromo.

A imagem da Fig. (6a) é uma fotografia de um cdp soldado antes do ensaio de desgaste, portanto apresentando boa aparência na superfície soldada e a Fig.(6b) uma micrografia da superfície de desgaste após o ensaio tipo roda-deborracha. Nota-se nesta figura a presença de uma microtrinca com comprimento de aproximadamente 60~70 μm .

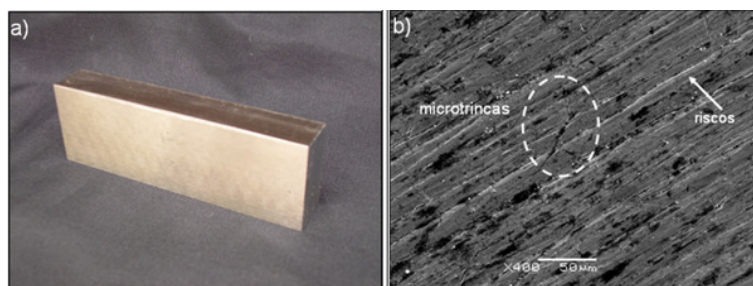


Figura 6. Corpo de solda soldado. (a) fotografia de um cdp com solda, (b) micrografia com microtrinca e riscos na região do ensaio de desgaste (MEV).

• Solda

A Figura (7a) mostra a seção transversal do cdp soldado, que, assim como, nas medidas de durezas (Figura.4) fica evidente a presença de 3 regiões distintas.

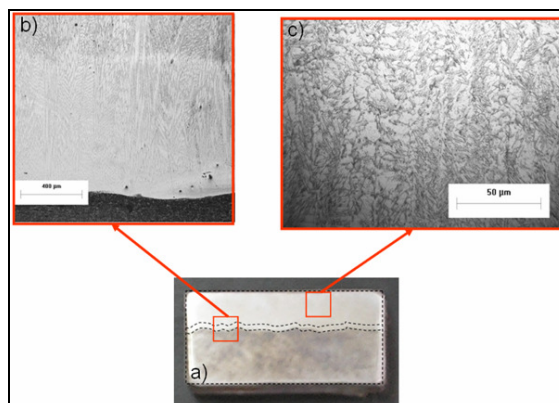


Figura 7. Grafias do cdp soldado: a) macrografia com identificação das três regiões; b) micrografia do substrato apresentando a interface do amanteigamento e solda e c) micrografia da região da solda.

3.4 Desgaste

Os ensaios de desgaste foram realizados em um abrasômetro tipo roda de borracha (areia seca), ilustrado pela Fig. (8), seguindo o método B padronizado pela norma ASTM G 65-00 (AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, 2001). Esse método recomenda 200 rpm, carga normal de 130 N, tempo de ensaio de 10 minutos. O abrasivo utilizado foi areia com granulometria 100 (tamanho médio igual a 0,15 mm) segundo a norma NBR 7214 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1982).

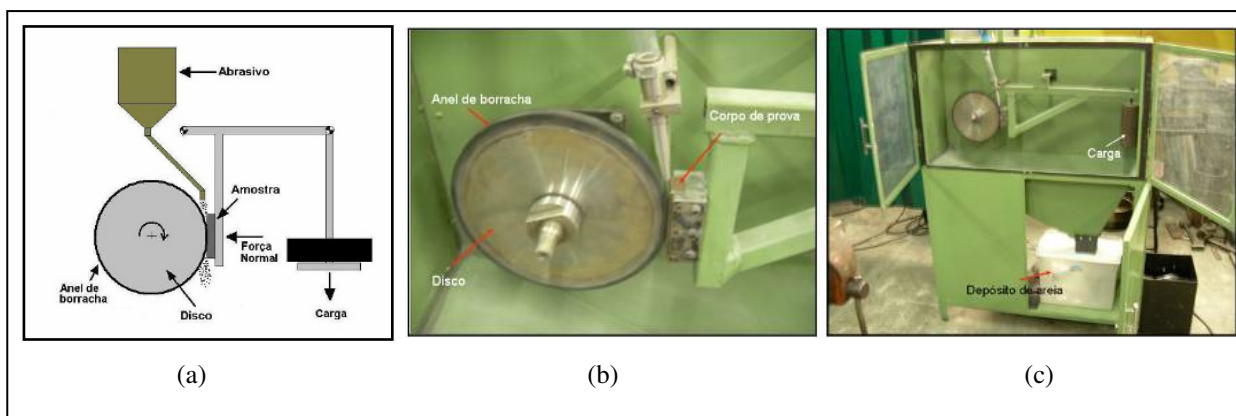


Figura 8 – Equipamento de ensaio de desgaste. (a) desenho esquemático, (b) detalhe da roda de borracha, (c) vista frontal.

Apesar da presença de trincas no cdp soldado, a sua perda de massa foi a menor, conforme mostra a Tab.(3), ou seja, se for feito no futuro um aprimoramento das condições de soldagem – pré-aquecimento, pós-aquecimento, etc...- o processo de recuperação com enchimento por cordão de solda pode ser considerado bem adequado.

Tabela 3. Resultado geral dos ensaios tipo Roda de Borracha nas amostras.

	Sapata	Postiço	Solda	Eletrodo Revestido *	Eletrodo Tubular **
Perda de massa corrigida - pmc (g)	0,49 ± 0,02	0,399 ± 0,012	0,363 ± 0,004	-	-
Perda de volume - pv (mm ³)	59 ± 2	48 ± 1	43,7 ± 0,5	-	-
Resistência ao desgaste – Q' (mg.m ⁻¹ ·s ⁻¹)	3,1 ± 0,1	3,8 ± 0,1	4,18 ± 0,05	27,03 ± 7,43	7,69 ± 2,59

*- Resultado com amostras preparadas com eletrodo revestido (Lima e Ferraresi, 2009)

** - Resultado com amostras preparadas com eletrodo tubular (Lima e Ferraresi, 2009)

A Tabela (3) apresenta os resultados gerais dos materiais quanto à perda de massa e volume, como também, resistência ao desgaste considerando tanto a massa como o volume perdido. Observa-se na Tab.(3) que o método de recuperação com processo de solda mostrou-se adequado, apresentando uma maior resistência ao desgaste que os demais materiais analisados.

A apresentação dos resultados em forma de resistência ao desgaste, ao invés de somente perda de massa, nos possibilita comparar com resultados de outros pesquisadores. Portanto, a Tabela (3) possibilita a comparação com parte dos resultados obtidos por Lima e Ferraresi (2009), por sua vez, utilizando Eletrodo Revestido e Eletrodo Tubular, ambos alto cromo, conforme a Tabela (4). Além destas duas ligas, Lima e Ferraresi (2009) estudaram também as ligas

(Fe-22Cr-4,5C-6,5Nb) e (Fe-7,5Cr-1,8C-1,5Mo-5,2Ti) aplicadas utilizando o processo eletrodo tubular, porém a resistência ao desgaste não foram citadas neste trabalho.

Tabela 4. Composição química dos revestimentos utilizados por Lima e Ferraresi (2009)

MATERIAL	Composição química (%)						
	C	Mn	Cr	P	Si	Mo	S
Eletrodo Revestido	5,10	0,75	44,00	0,03	1,25	-	0,20
Eletrodo Tubular	4,11	0,52	23,10	-	0,20	-	-

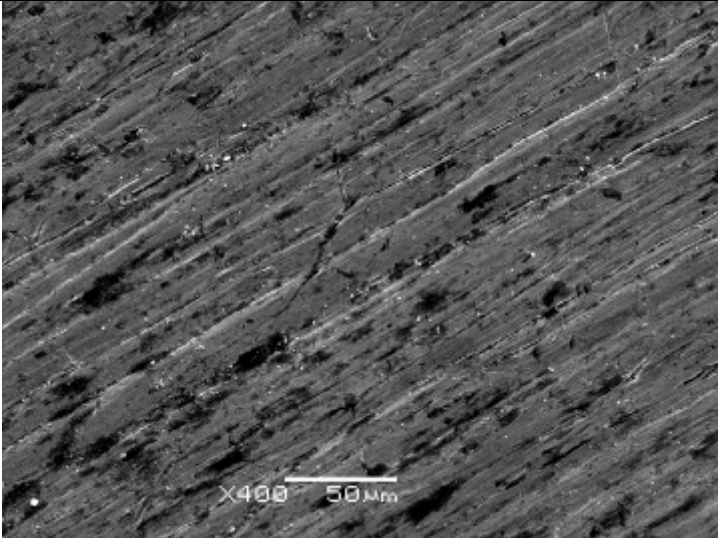
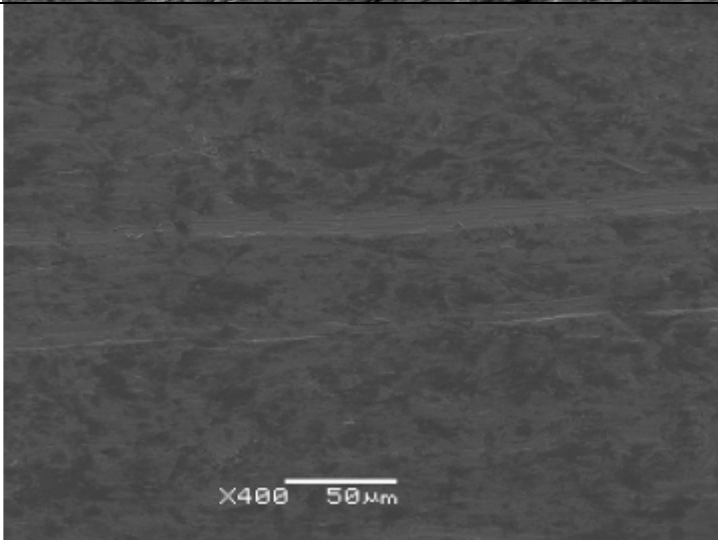
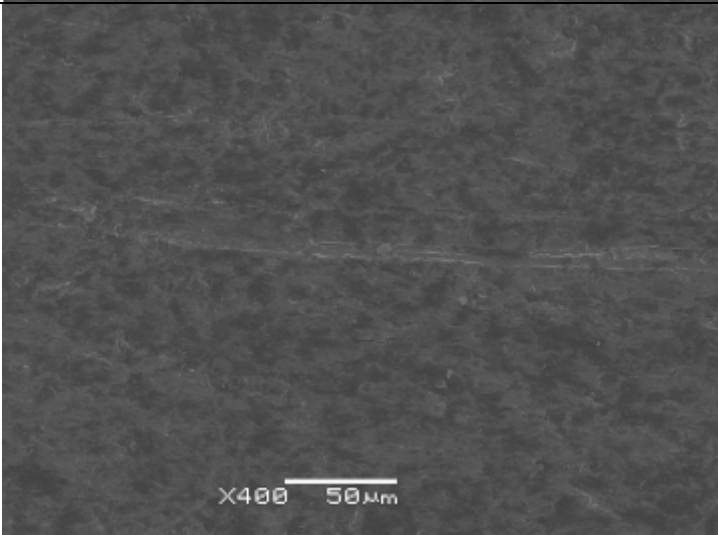
3.5 Mecanismos de Desgaste

Analisando as imagens das superfícies de desgaste dos materiais ensaiados, apresentadas na Tabela 5, pode-se dizer que os mecanismos de desgastes presentes são o corte (ou micro-corte) e o sulcamento (deformação plástica), mostrando assim que os ensaios de desgaste em laboratório utilizados são adequados, pois simulam os mecanismos apresentados em uma sapata usada .

Da Tabela 5 é possível identificar os seguintes pontos:

- na sapata e no postiço, observa-se a presença de um pouco de mecanismo de riscamento (corte ou micro-corte) com predominância de sulcamento (deformações plásticas intensa). Aparentemente não há diferença significativa nos mecanismos de desgaste destes dois materiais;
- a resistência ao desgaste do postiço é superior á da sapata, porém, do ponto de vista da resistência mecânica, a dureza da sapata é superior á do postiço;
- nota-se claramente que na amostra de solda, que é aquela que apresenta a maior dureza e resistência ao desgaste, somente o mecanismo de riscamento é observado;

Tabela 5. Resumo dos resultados de desgaste em relação aos micro-mecanismos apresentados.

<p>solda</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Dureza: <ul style="list-style-type: none"> ➤ 490 HV - Relação de dureza: <ul style="list-style-type: none"> ➤ $H_a/H_s = 2,24$ - Resistência ao desgaste: <ul style="list-style-type: none"> ➤ $Q' = 4,18 \text{ [mg/m]}^{-1}$ - Mecanismo de desgaste preponderante: <ul style="list-style-type: none"> ➤ micro-corte 	
<p>postiço</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Dureza: <ul style="list-style-type: none"> ➤ 270 HV - Relação de dureza: <ul style="list-style-type: none"> ➤ $H_a/H_s = 4,07$ - Resistência ao desgaste: <ul style="list-style-type: none"> ➤ $Q' = 3,8 \text{ [mg/m]}^{-1}$ - Mecanismo de desgaste preponderante: <ul style="list-style-type: none"> ➤ Sulcamento 	
<p>sapata</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Dureza: <ul style="list-style-type: none"> ➤ 447 HV - Relação de dureza: <ul style="list-style-type: none"> ➤ $H_a/H_s = 2,46$ - Resistência ao desgaste: <ul style="list-style-type: none"> ➤ $Q' = 3,1 \text{ [mg/m]}^{-1}$ - Mecanismo de desgaste preponderante: <ul style="list-style-type: none"> ➤ Sulcamento 	

4. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos neste trabalho permitiram que fosse possível concluir que:

- A solda com liga abaixo de 20%, apresentou dureza compatível com o material a ser recuperado;
- A solda apresentou boa resistência ao desgaste, principalmente quando comparada com posição e sapata;
- O fato da resistência ao desgaste da solda deste trabalho apresentar números menores que outros trabalhos que utilizaram materiais de maior dureza, não inviabiliza esta proposta;
- A superfície da solda apresentou boa aparência quando comparada com superfícies de materiais mais duros.

5. REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM G 65**: Test method for measuring abrasion using dry sand/rubber wheel apparatus. West Conshohocken, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7214 .198** – “ Areia normal para ensaio de cimento”. São Paulo.

BUCHELY, M.F.; GUTIERREZ, J.C.; LEON, L.M.; TORO, A. 2005 – “The effect of microstructure on abrasive wear hardfacing alloys”, Tribology and surfaces Group, National University of Colômbia, Medellín, Colômbia. Science Direct. Wear 259. p. 52-61. Disponível em: < <http://www.elsevier.com/wear> > Acesso em 15 nov 2008.

FERNANDEZ, J.E.; VIJANDE, R.; TUCHO, R.; RODRIGUEZ, J.; MARTIN, A. 2001- “ Effect of cold deformation on the abrasive resistance of coatings with applications in mining industry”, Science Direct. Wear 250. p 28-31 Disponível em: <<http://www.elsevier.com/wear>> Acesso em 16 de Nov 2008.

LIMA, A.C.; FERRARESI, V.A. 2009- “Análise da Microestrutura e da Resistência ao Desgaste de Revestimento Duro Utilizado pela Indústria Sucroalcooleira” -Soldagem & Inspeção, Vol 14, Pg 140-150. Disponível em < <http://www.scielo.br/pdf/si/v14n2/v14n2a06.pdf> >. Acesso em 17 de maio de 2010.

RICARDO, H. S.; CATALANI, G. 1990- “ Manual prático de escavação - Terraplenagem e escavação de rocha”. São Paulo.

VILLABÓN. L.R.; SINATORA, A. 2006- “Construção e instrumentação de abrasômetro do tipo roda-de-borracha para o estudo do comportamento tribológico de aços”. APAET -Mecânica Experimental., 2006, Vol 13, Pg 1-11. Disponível em <<http://search.msn.com/results.aspx?q=apaet+mecanica+experimental++villabon&form=QBNO>>. Acesso em 02 dez 2008.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio das seguintes instituições: IFAM- Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia; UTFPR- Laboratório Integrado de Materiais (LIM-DAMEC); UTFPR - Programa de Pós-Graduação de Engenharia Mecânica- PPGEM; UTFPR – Centro de Microscopia Eletrônica – Ciências Biológicas; SPECTROSCAN- Tecnologia de Materiais Ltda.; SUFRAMA- Superintendência da Zona Franca de Manaus; FAPEAM- Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado do Amazonas.

7. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.

ABRASIVE WEAR RESISTANCE OF SHOES FOR TRACTOR BELT AFTER THE RECOVERY PROCESS

Cristóvão Américo Ferreira de Castro, crystovao@ifam.edu.br¹
Ossimar Maranhão, maranhao@utfpr.edu.br²
Carlos Henrique da Silva, carloshs@utfpr.edu.br²

1 IFAM, Av. Sete de Setembro, 1975, Centro, Manaus –AM , Cep: 69.020-120,
2 Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Av. Sete de Setembro, 3165, Rebouças, Curitiba-PR.

Abstract. *Considering the difficulties of small and medium landowners as: distance from the major centers, maintenance fees, price of spare parts, this study proposes an alternative to seeking recovery of shoes tractor belt worn by the abrasive effect of the soil. This study addresses a comparison between the wear resistance of a shoe track-type tractor with two new original shoes similar retrieved by two separate processes. The first recovery process uses the application of a prosthetic wear in the region and the second is the regeneration of the area affected by deposition welding hardfacing. The original shoes are laminated and quenched, that present a chemical composition of 0.36% C; 0.98% Mn; 0.17% Cr; 0.22% Si e 0.13% Mo. The prosthetic also laminate is made of ABNT steel 1045 and the coating was applied by the welding process with shielded electrodes (SMAW - Shielded Metal Arc Welding), electrode OK 83.58 up 0.60% C, 0.60% Si, 0.70% Mn, 6.80% Cr e 0.50% Mo, with a hardness 510 HV in the fourth layer deposited. Standard specimens with dimensions: 76.2 x 25.4 x 12.7 mm, were submitted, among others, the type of wear test rubber wheel (ASTM G65) for verification of their performance. Moreover, microstructural analysis via optical microscopy and scanning electron microscopy were also performed to identify the wear mechanisms present. It was observed that the shielded electrode E- 83.58 was shown to be an alternative for this type of recovery.*

Key-words: *hardfacing, wear resistance, welding, electrode coated.*