

FAACZ - FACULDADES INTEGRADAS DE ARACRUZ
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

**GUSTAVO ROCHA GOMES
LÁZARO AMORIM VIMERCATI
LUIZ HENRIQUE MARTINS SOARES**

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO APORTE TÉRMICO NA RESISTENCIA AO
DESGASTE MICROABRASIVO DE REVESTIMENTO DURO XHD 6710
SOLDADOS PELO PROCESSO ELETRODO REVESTIDO**

ARACRUZ

2017

GUSTAVO ROCHA GOMES
LÁZARO AMORIM VIMERCATI
LUIZ HENRIQUE MARTINS SOARES

**ANÁLISE DA INFLUENCIA DO APORTE TÉRMICO NA RESISTENCIA AO
DESGASTE MICROABRASIVO DE REVESTIMENTO DURO XHD 6710
SOLDADOS PELO PROCESSO ELETRODO REVESTIDO**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado a Coordenadoria do Curso
de Engenharia Mecânica das Faculdades
Integradas de Aracruz como requisito
parcial para a obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. João Paulo Calixto

ARACRUZ
2017

GUSTAVO ROCHA GOMES
LÁZARO AMORIM VIMERCATI
LUIZ HENRIQUE MARTINS SOARES

**ANÁLISE DA INFLUENCIA DO APORTE TÉRMICO NA RESISTENCIA AO
DESGASTE MICROABRASIVO DE REVESTIMENTO DURO XHD 6710
SOLDADOS PELO PROCESSO ELETRODO REVESTIDO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a
Coordenadoria do Curso de Engenharia Mecânica
das Faculdades Integradas de Aracruz como
requisito parcial para a obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Mecânica.

Aprovado em ----- de ----- de ----

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof. Me João Paulo Calixto
FAACZ- Faculdades Integradas de Aracruz
Orientador

Prof. Me. Arthur Guimarães Maioli
FAACZ- Faculdades Integradas de Aracruz

Prof. Me. Warlen Alves Monfardini
Instituto Federal do Espírito Santo

AGRADECIMENTOS

A Deus;

Ao professor João Paulo Calixto, nosso orientador;

As nossas famílias, por todas as orações e motivação dada a nós;

Aos nossos amigos, pelo apoio e pela amizade;

Aos nossos professores pelo conhecimento e pela paciência conosco;

Ao Pitágoras unidade Linhares, pela ajuda em nosso trabalho de conclusão de curso.

Resumo

O presente trabalho analisou a influência do aporte térmico em revestimentos soldados pelo processo eletrodo revestido, que visam aumentar a resistência ao desgaste de componentes mecânicos.

Como metal de base, foi utilizado o aço ASTM A-36 e, como metal de revestimento, um eletrodo revestido da liga Fe-Cr-C. Estudou-se a como a corrente de soldagem atua nos parâmetros de dureza e na perda de volume do revestimento, visando mensurar essa condição em situações de desgaste abrasivo a baixa tensão.

Empregou-se o uso de um abrasômetro do tipo roda de borracha, definido pela norma ASTM G-65-91. Para isso, foram revestidos com o eletrodo revestido XHD 6710, 18 corpos de prova de aço ASTM A-36 sendo que 6 corpos de prova foram soldados utilizando 180 A como corrente de soldagem, outros 6 corpos de prova soldados com corrente de 220 A e, por fim, 6 corpos de prova foram soldados com corrente de 240 A. Os corpos de prova foram submetidos a ensaio de dureza Rockwell C e ensaio de desgaste abrasivo utilizando como elemento abrasivo, areia de sílica 50/70, conforme procedimento da norma ASTM G-65-91.

Quanto aos resultados obtidos, observou-se que o aporte térmico aplicado no corpo de prova possui uma influência na resistência ao desgaste do revestimento, de modo que, quando maior seja o aporte térmico aplicado no corpo de prova, menor será a resistência ao desgaste abrasivo do revestimento, assim como a dureza superficial do revestimento não é um indicador de resistência ao desgaste abrasivo do revestimento. Constatou-se que, conforme é aumentando o aporte térmico do corpo de prova, a dureza do revestimento atinge um determinado valor e passa a não aumentar mais.

Palavras chaves: Revestimento Duro, Desgaste Abrasivo, ASTM G-65-91, Aporte térmico.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Mecanismos de desgaste segundo norma DIN 50320.....	12
Figura 2- Representação esquemática de abrasão por goivagem.	14
Figura 3- Representação esquemática de abrasão por alta tensão.	15
Figura 4- Representação esquemática da abrasão por baixa tensão.	15
Figura 5- Ilustração do processo de soldagem eletrodo revestido.	16
Figura 6- Esquematização da deposição da camada de revestimento duro.	18
Figura 7- Esquema de desgaste por roda de borracha.	25
Figura 8- Agitador de peneiras SOLOTEST.	25
Figura 9- Abrasômetro do tipo Roda de Borracha.	25

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1- Porcentagem dos diferentes tipos de desgaste, encontrados nas indústrias.....	13
Gráfico 2 - Relação do aporte térmico pela perda volumétrica.....	33
Gráfico 3 - Relação entre aporte térmico e dureza do revestimento.	35

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Perda de massa e volumétrica RIBEIRO 2004.	28
Tabela 2- Dureza dos copos de prova com uma camada RIBEIRO 2004.	28
Tabela 3- Taxa de diluição OLIVEIRA 2015.....	32
Tabela 4- Ensaio desgaste abrasivo OLIVEIRA 2015.....	23
Tabela 5- Composição química do aço ASTM A-36.....	28
Tabela 6- Composição química do metal de adição XHD 6710.	28
Tabela 7- Variáveis do processo de soldagem.....	28
Tabela 8 - Perda mássica e perda volumétrica.	31
Tabela 9 - Dureza do revestimento.	33
Tabela 10 - Perda volumétrica e dureza.	35

LISTA DE SIGLAS

ASME – American Society of Mechanical Engineers

ASTM – American Society for Testing and Materials

DIN – Deustches Institut für Normung

rpm – Rotações por minuto

MIG - Metal Inert Gas

LISTA DE SÍMBOLOS

A – Ampere

B – Boro

C – Carbono

cm – Centímetro

Co – Cobalto

Cr – Cromo

Fe- Ferro

Fe-Cr-C – Ferro-cromo-carbono

mm – Milímetro

Mo – Molibdênio

N - Newton

Nb – Nióbio

Ni - Níquel

HRC – Rockwell C

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
1.1 OBJETIVOS	11
1.1.1 Objetivo Geral	11
1.1.2 Objetivos específicos.....	11
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	12
2.1 DESGASTE	12
2.1.1 Desgaste Abrasivo	13
2.1.1.1 Abrasão por Goivagem.....	14
2.1.1.2 Abrasão por Alta Tensão.....	14
2.1.1.3 Abrasão por Baixa Tensão	15
2.2 PROCESSO DE SOLDAGEM	16
2.2.1 Processo de soldagem a Arco Elétrico com Eletrodo Revestido (SMAW)	16
2.2.2 Revestimento Duro.....	17
2.2.3 Aporte Térmico e Variáveis Elétricas e Operacionais	18
2.2.3.2 Corrente de Soldagem	19
2.2.3.3 Velocidade de Avanço.....	19
2.2.3.4 Oscilação do Eletrodo	19
2.2.4 Seleção de uma Liga de Revestimento.....	20
2.3 ENSAIO DE DESGASTE A BAIXA TENSÃO	25
2.3.1 Ensaio utilizando a máquina ASTM G65-91	26
2.3.1.1 Ensaio I	26
2.3.1.2 Ensaio II	27
3 METODOLOGIA	28
3.1 METAL DE BASE	28
3.2 METAL DE ADIÇÃO	28
3.3 AREIA.....	29
3.4 FABRICAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA	29
3.5 ENSAIO DE DESGASTE.....	30
3.6 ENSAIO DE DUREZA.....	31
4 RESULTADOS E DISCURSSÕES	32

4.1 RESISTÊNCIA AO DESGASTE	32
4.2 DUREZA.....	34
5 CONCLUSÕES	36
6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	38
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	39

1 INTRODUÇÃO

O desgaste abrasivo dos componentes mecânicos, ou até mesmo dos equipamentos, é um fenômeno que ocorre em todos os setores da indústria sendo também responsável por uma das maiores preocupações dos engenheiros, uma vez que é um dos maiores fatores de depreciação de capital e fonte de despesas com manutenções. Estudos estatísticos mostram que cerca de 1 a 5% do Produto Interno Bruto dos países desenvolvidos é gasto, direta ou indiretamente, pela ação devastadora do desgaste. (ASSIS e BRITO, 2009).

Segundo OLIVEIRA et al (2014), dentre todos os diferentes tipos de desgaste conhecidos, o desgaste abrasivo é o que ocorre com maior frequência, sendo responsável por mais de 50% dos casos, o que o torna o mais severo caso e o mais comumente encontrado nas indústrias; Zmitrowicz (2006) diz que esse percentual pode chegar a 90%, quando se falar de elementos de máquinas.

Como o desgaste é um fenômeno muito complexo e a resistência ao desgaste não é uma propriedade intrínseca dos materiais, sendo que ela depende das condições tribológicas que são muito diversificadas, as pesquisas nessa área são importantes porque possibilitam desvendar este campo da ciência (DIAS, 2003).

Com isso, um dos maiores problemas que os engenheiros buscam solucionar é como prolongar a vida útil dos componentes mecânicos, ou minimizar o desgaste destes componentes. Segundo COLAÇO e MARANHO (2014) “alguns métodos foram desenvolvidos e incorporados ao processo de fabricação visando prolongar a durabilidade de componentes”. Sendo o desgaste um fenômeno essencialmente superficial, uma das alternativas para a solução deste problema é a aplicação de uma camada de revestimento anti-desgaste, que pode ser depositada por soldagem, metalização ou outros processos que estejam disponíveis, permitindo, em muitos casos, uma maior durabilidade dos componentes mecânicos (MILLER e MARANHO, 2012).

O presente trabalho propõe estudar como as variáveis do processo de soldagem podem influenciar na resistência ao desgaste abrasivo de um revestimento duro.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

- Analisar a influência do aporte térmico na resistência ao desgaste de revestimento duro XHD 6710 soldados pelo processo de soldagem eletrodo revestido.

1.1.2 Objetivos específicos

- Revestir corpos de prova com eletrodo XHD 6710 utilizando diferentes correntes de soldagem.
- Realizar ensaio de desgaste abrasivo a baixa tensão utilizando o abrasômetro tipo roda de borracha para classificar a resistência ao desgaste dos corpos de prova.
- Realizar um ensaio de dureza superficial dos corpos de prova para verificar se a dureza superficial é um indicador da resistência ao desgaste do revestimento.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 DESGASTE

Segundo Ribeiro (2004) o desgaste pode ser definido como “um dano a uma superfície envolvendo uma perda progressiva de material devido à movimentação relativa entre a superfície e um ou vários tipos de materiais”.

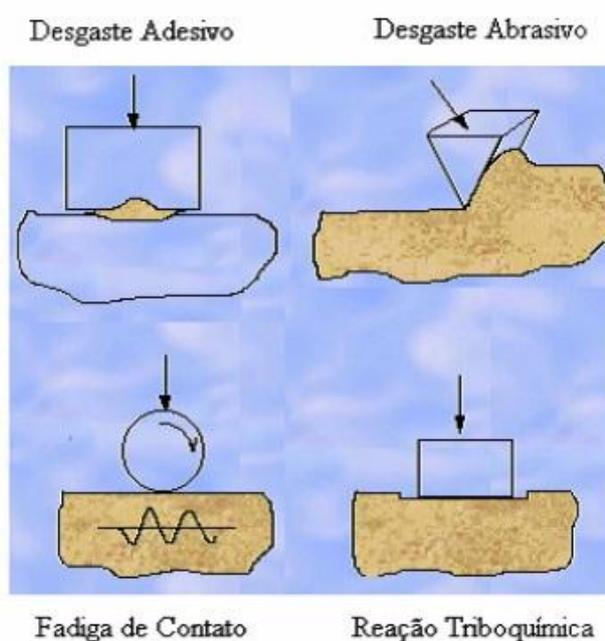
O grande número de expressões usadas para descrever os vários tipos de desgaste dificulta a abordagem do tema.

Vários autores propuseram diferentes classificações, porém a norma DIN 50320 classifica os mecanismos de desgaste em quatro grupos principais que são:

- Desgaste por adesão;
- Desgaste por reação triboquímica;
- Desgaste por fadiga superficial;
- Desgaste por abrasão.

A figura 1 mostra, esquematicamente como ocorre cada um dos quatro mecanismos de desgaste.

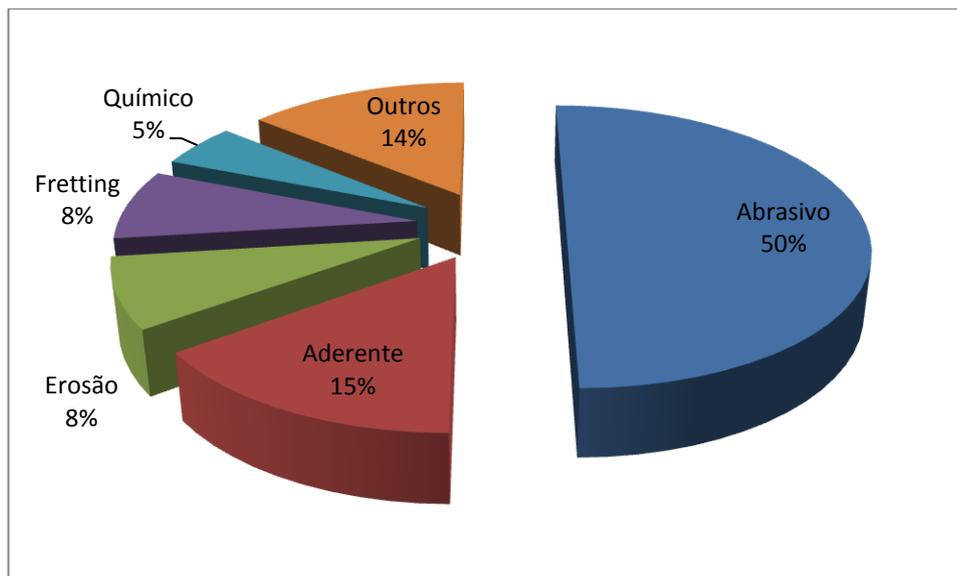
Figura 1- Mecanismos de desgaste segundo norma DIN 50320.



Fonte: DIAS, 2003.

De todos os diferentes tipos de desgaste, o desgaste abrasivo é o que ocorre com maior frequência, representando mais de 50% do número de casos, sendo considerado o mais severo e o mais comumente tipo de desgaste encontrado na indústria (BAPTISTA e NASCIMENTO, 2009), assim como é mostrado no gráfico 1:

Gráfico 1- Porcentagem dos tipos diferentes de desgaste encontrados nas indústrias.



Fonte: Adaptado de EYRE, 1991.

2.1.1 Desgaste Abrasivo

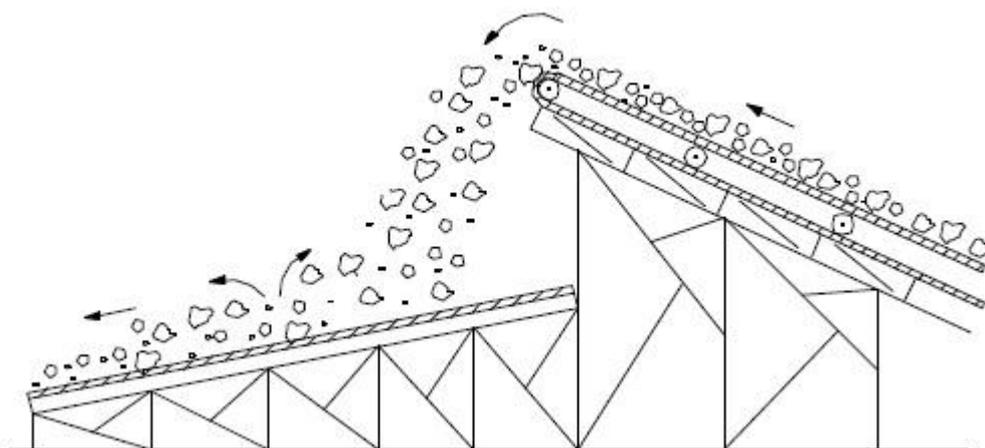
Segundo ZUM GAHR (1987), o desgaste abrasivo pode ser definido como um fenômeno em que partículas duras se deslocam sobre um corpo, sob ação de uma carga, que ocasiona penetração, deslocamento, amassamento e retirada do material a partir da superfície. Outros autores dizem que também pode ocasionar entalhes e goivagem, dependendo da severidade do desgaste. As partículas podem ser de origem vegetal ou mineral.

Com relação ao tipo de abrasão, há vários mecanismos de desgaste por abrasão descritos na literatura, entre eles estão: abrasão por goivagem, abrasão por alta tensão e abrasão por baixa tensão.

2.1.1.1 Abrasão por Goivagem

É o desgaste que ocorre entre partículas abrasivas grosseiras e de grandes dimensões, entre 10 e 20 cm, podendo ser dotada de regiões pontiagudas com dureza maior do que a da parte metálica que está sendo desgastada. Essas partículas são impactadas com pressões ligeiramente altas e repetitivas contra o componente, causando o corte da superfície desgastada pelo abrasivo produzindo sulcos e ranhuras visíveis a olho nú (ASSIS e BRITO, 2009). Ver figura 2.

Figura 2- Representação esquemática de abrasão por goivagem.



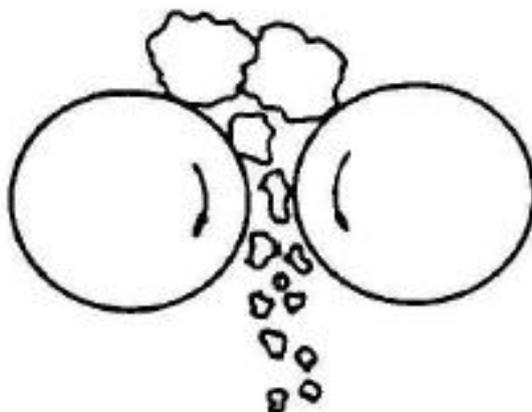
Fonte: RIBEIRO, 2004.

2.1.1.2 Abrasão por Alta Tensão

É o desgaste que ocorre entre partículas abrasivas e o metal desgastado, ocasionando o esmagamento do abrasivo ou não.

A prensagem da partícula contra o metal pode ser exercida por pressões altas ou médias, provocando o surgimento de pequenos fragmentos. A moagem provocada por partículas de médio tamanho exercem sua ação abrasiva superficial arrancando fragmentos de metal, enquanto as partículas de pequeno tamanho provocam o desgaste superficial pelo deslocamento de pequenos pedaços de metal (RIBEIRO, 2004). Ver figura 3:

Figura 3- Representação esquemática de abrasão por alta tensão.

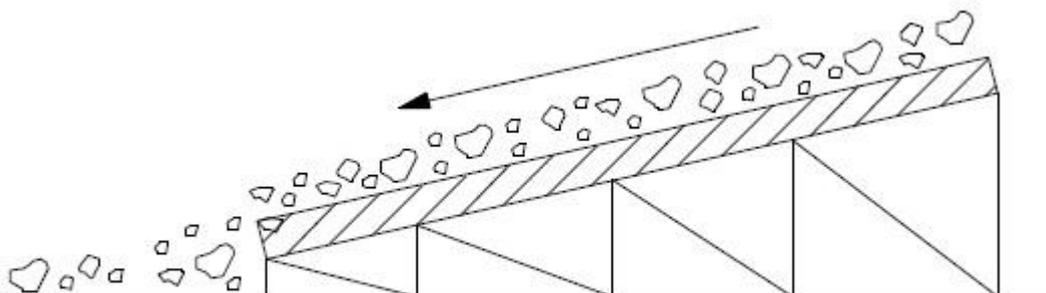


Fonte: RIBEIRO, 2004.

2.1.1.3 Abrasão por Baixa Tensão

Ocorre quando o metal é gradualmente desgastado pela ação de pequenas partículas abrasivas, produzindo em sua superfície um raiado ou polido, levando ao sulcamento da superfície (HUTCHINGS, 1992 e GATES, 1998) apud (LIMA, 2008). O dano é resultado da remoção de material por riscamento ou micro-usinagem. Desta forma, os abrasivos angulares com arestas vivas produzem desgastes mais severos (DAVIES e BOLTON, 1980 e OLSON e MUELLER, 1977) apud (OTONI, 2005). Ver figura 4.

Figura 4- Representação esquemática da abrasão por baixa tensão.



Fonte: RIBEIRO, 2004.

2.2 PROCESSOS DE SOLDAGEM

2.2.1 Processo de soldagem a Arco Elétrico com Eletrodo Revestido (SMAW)

Segundo Okumura e Taniguichi (1982) o processo de soldagem a arco elétrico com eletrodo revestido é o mais empregado modernamente. Neste processo, o eletrodo (que consiste em um arame de material adequado, coberto por um revestimento fundente) é consumido através de um arco elétrico gerado entre a extremidade livre e o metal que se deseja soldar.

Este processo é realizado manualmente. A fonte de energia é comumente de “corrente constante” para prevenir mudanças de tensão durante a soldagem. O calor gerado pelo arco funde o consumível e o metal de base, causando a transferência do metal líquido na forma de gotas da ponta do consumível para a poça de fusão localizada no metal de base (RIBEIRO, 2004). Assim como é mostrado na figura 5:

Figura 5- Ilustração do processo de soldagem eletrodo revestido.



Fonte: WAINER, BRANDI e MELLO, 2004.

2.2.2 Revestimento Duro

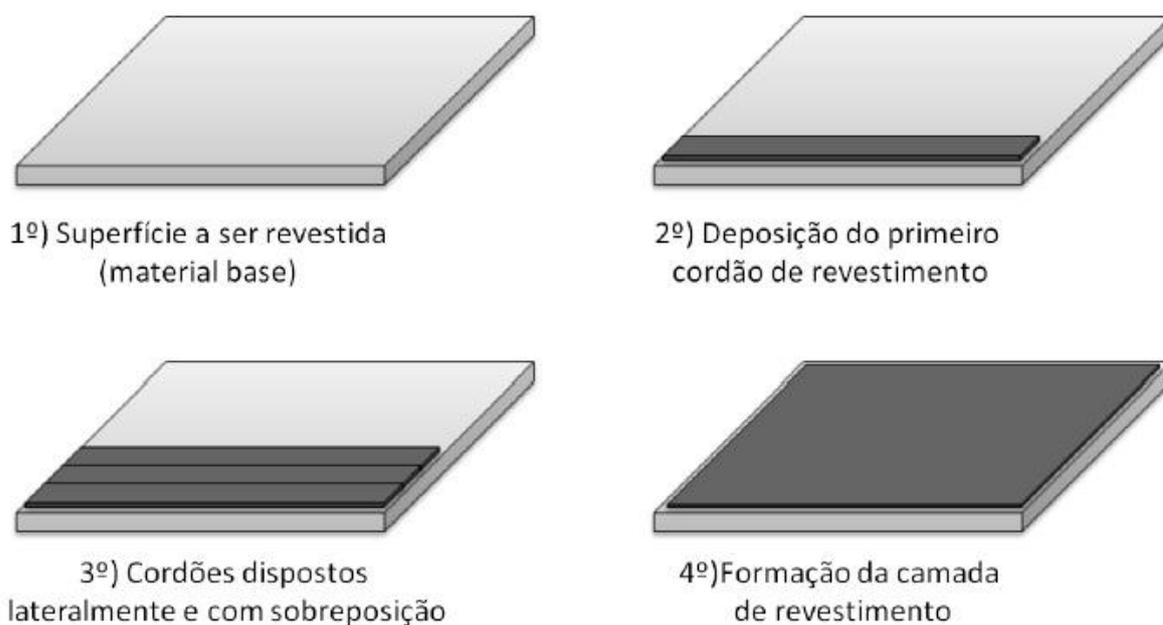
Visando prolongar a durabilidade dos componentes mecânicos dos equipamentos, novos métodos de fabricação foram desenvolvidos. Um desses métodos é chamado de *hardfacing*, também conhecido como revestimento duro (COLAÇO e MARANHO, 2014).

Para Hutchings, (1992) revestimento duro é uma camada homogênea com maior dureza, soldada na superfície de um material (geralmente um aço de médio ou baixo carbono), com o objetivo de aumentar sua dureza e a resistência ao desgaste de sua superfície, porém buscando manter as propriedades do metal de base. Conde (1986) apud LIMA (2008) afirma que a camada de revestimento duro é empregada com o fim de reduzir o desgaste sofrido pelos componentes mecânicos e equipamentos industriais, aumentando sua vida útil e com isso, diminuindo o número de paradas para manutenções nos mesmos.

A taxa de deposição e de diluição são os fatores que mais afetam as propriedades dos revestimentos depositados, sendo esses fatores dependentes das variáveis de processo que controlam o aporte térmico. Para uma alta produtividade é necessário uma alta taxa de deposição e uma baixa taxa de diluição dos revestimentos (OLIVEIRA et al., 2014).

O processo de revestimento ocorre de maneira que os cordões de solda sejam depositados lateralmente e com uma pequena sobreposição, até que toda região de interesse seja recoberta (CANAL, 2014). Assim como é mostrado na figura 6:

Figura 6- Esquemática da deposição da camada de revestimento duro.



Fonte: CANAL, 2004.

O material da camada de revestimento é fundido durante a soldagem e se espalha sobre o metal de base, ligando-se com este e formando uma nova superfície. Somente a parte superficial do metal de base deve sofrer fusão, diminuindo assim a diluição da camada de revestimento, o que poderia alterar as propriedades de resistência ao desgaste da camada depositada. É necessário lembrar que, para que ocorra a deposição da camada de revestimento, o consumível selecionado e o metal de base devem ter soldabilidade entre si (ASSIS e BRITO, 2009).

2.2.3 Aporte Térmico, Variáveis Elétricas e Operacionais

2.2.3.1 Aporte Térmico

Segundo o site Bernardi e Bernardi (2013), o aporte térmico, ou energia de soldagem, é a quantidade de energia aplicada em um material pela unidade de comprimento do mesmo e é calculada levando em consideração a velocidade de soldagem, voltagem e corrente de soldagem. A fórmula usada para o cálculo do aporte térmico é dado pela equação 1, onde H representa o aporte térmico (kJ/mm), I é a corrente de soldagem (A), V é a voltagem (v) e V_s é a velocidade de soldagem (mm/min).

Figura 7- Fórmula para cálculo do aporte térmico.

$$H = \frac{60 \cdot I \cdot V}{v_s}$$

Fonte: BERNARDI e BERNARDI, 2013.

2.2.3.2 Corrente de Soldagem

A intensidade da corrente de soldagem é o mais importante efeito controlador da penetração da solda. As implicações desse efeito na linha de produção variam de acordo com o tipo de soldagem realizada: uma maior penetração é normalmente vantajosa em situações de soldagem de união, porém, na deposição de revestimentos soldados o requisito é inverso, sendo necessário minimizar a penetração da solda.

2.2.3.3 Velocidade de Avanço

A velocidade de avanço, também conhecida como velocidade de soldagem, é a segunda mais importante variável operacional do processo, apesar de seu controle ser consideravelmente impreciso no caso de aplicações manuais. A implicação genérica é que o aporte térmico pode ser reduzido (mesmo com elevadas correntes), através do uso de altas velocidades de avanço.

2.2.3.4 Oscilação do Eletrodo

Uma das maiores implicações relacionadas às oscilações do arco é que a velocidade de avanço é diminuída, causando o aumento do aporte térmico. Nos casos em que o controle do aporte térmico é requerido, se faz necessário minimizar a oscilação do eletrodo (WAINER, BRANDI e MELLO, 2004).

2.2.4 Seleção de uma Liga de Revestimento

Um dos fatores responsáveis pela seleção do tipo de revestimento que será depositado sobre uma determinada peça, refere-se o grau de natureza do processo de desgaste. Ele pode ser encontrado dentro de uma grande faixa de variação, podendo ser desde uma simples condição de desgaste abrasivo a baixa tensão, até uma abrasão combinada com corrosão à alta temperatura. Para a seleção é necessário ter em mente o tipo de desgaste, método de deposição, soldabilidade e o custo (RIBEIRO, 2004).

Vários autores informam que, a classificação utilizada para nomear os consumíveis, está baseada na composição química do metal de adição depositado, sem levar em consideração a diluição no metal de base. Os mesmos citam a classificação criada por Spencer, que se baseou na composição química do metal de adição depositado, considerando a diluição no metal de base, dividindo as ligas ferrosas em 5 classes, que são:

- Ligas a base de CrNi – usadas para aplicações de reconstrução, uniões dissimilares e “cladding”;
- Ligas a base de Fe com NiMo – indicadas para uniões de aços de baixa e média liga;
- Liga do tipo aço ferramenta – usados para proteção anti-desgaste de aços ferramenta que trabalham a frio e a quente;
- Liga do tipo FeCrC – usadas em ocasiões de alta abrasão, choque e pressão;
- Ligas do tipo CCrCo – utilizadas em ocasiões onde ocorrem corrosão, oxidação a quente, altas temperaturas e ciclagem térmica.

2.2.5 Estudos Sobre Revestimentos Duros

RIBEIRO (2004) estudou o efeito do aporte térmico na diluição, dureza e resistência ao desgaste abrasivo de revestimentos soldados com uma, duas e três camadas, utilizando o processo de soldagem eletrodo revestido. Para isso, ele utilizou como corpos de prova um aço ASTM A-36 e os revestiu com uma liga FeCrC. Após o corte, os corpos de prova foram adequadamente preparados para seus respectivos

ensaios.

Os resultados obtidos no ensaio de desgaste de Ribeiro estão descritos na tabela 1. Com o aumento do aporte térmico no processo de soldagem, há um aumento na diluição do revestimento no metal de base, o que causa uma migração do carbono e do cromo presente no revestimento, ocasionado empobrecendo do revestimento e impedindo a formação de carbonetos no revestimento, diminuindo sua resistência ao desgaste..

Tabela 1 - Perda mássica e perda volumétrica RIBEIRO 2004.

Perda Mássica e Perda Volumétrica					
Corrente de Soldagem (A)	100	120	140	160	180
Aporte Térmico (kJ/mm)	0,58	0,70	0,81	0,93	1,04
Perda Mássica (g)	0,0369	0,0831	0,1511	0,6569	0,8707
Perda Volumétrica (mm ³)	4,73	10,65	19,73	84,22	111,63

Fonte: Ribeiro, 2004.

Os resultados obtidos no ensaio de dureza de Ribeiro estão descritos na tabela 2.

Tabela 2 – Dureza dos corpos de prova soldados com uma camada RIBEIRO 2004.

Dureza dos Corpos de Prova Soldados com uma Camada					
Corrente de Soldagem (A)	100	120	140	160	180
Aporte Térmico	0,58	0,70	0,81	0,93	1,04

	(kJ/mm)				
Dureza (HRC)	64,6	64,3	63,6	60,0	59,2
Perda	4,73	10,65	19,73	84,22	111,63
Volumétrica					
(mm ³)					

Fonte: Ribeiro, 2004.

Ao analisar a dureza e a perda de volume dos corpos de prova, verifica-se que, coincidentemente, os corpos soldados com a menor corrente são os que possuem a maior dureza e a maior resistência ao desgaste abrasivo e, os corpos de prova soldados com a maior corrente de soldagem, são os que possuem menor dureza e menor resistência ao desgaste abrasivo. Porém, essa relação não é obedecida quando aumentamos o número de camadas de revestimento, de modo que, com duas camadas de revestimento, verifica-se há um comportamento mais aleatório entre a dureza do revestimento e a perda volumétrica ao variar a corrente de soldagem.

Ribeiro afirma que a dureza não é o indicativo mais adequado para se predizer a resistência ao desgaste abrasivo à baixa tensão.

Para determinar a resistência do revestimento é necessário analisar a microestrutura do material usado como revestimento!

OLIVEIRA (2015) estuda o efeito da diluição na resistência ao desgaste abrasivo dos revestimentos duros soldados pelo processo eletrodo revestidos. Para isso, utilizou corpos de prova feitos de aço ASTM A-36 como metal de base e, como metal de adição, um eletrodo revestido da liga FeCrC; foram revestidos com uma, duas e três camadas de revestimento e, logo após, soldados e cortados nas dimensões necessárias para os ensaios, usinados e devidamente preparados para seus respectivos ensaios.

Para a realização do ensaio de desgaste abrasivo foi utilizado areia de sílica como elemento abrasivo.

Ao analisar os resultados dos ensaios de diluição e o ensaio de desgaste abrasivo, notou-se que, com o aumento do número de camadas de revestimento há uma

diminuição da diluição do revestimento. Isso ocorreu, porque a participação do metal de base diminuía, fazendo com que a composição química e as propriedades do revestimento não se alterassem, assim como é mostrado na tabela 3:

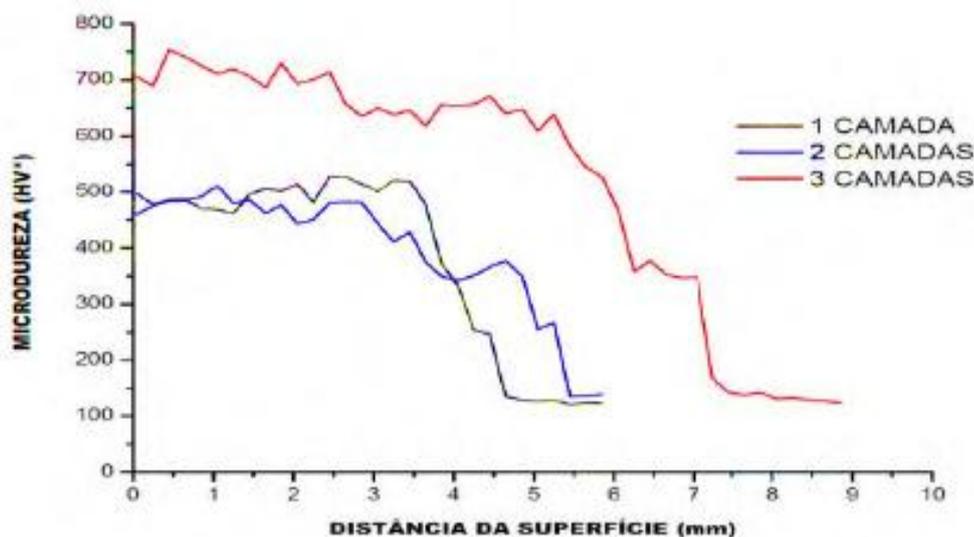
Tabela 3 - Taxa de Diluição OLIVEIRA 2015.

Amostra	1 camada	2 camadas	3 camadas
Taxa de diluição δ (%)	29,25	14,8	10,28

Fonte: Oliveira, 2015.

O gráfico 2 mostra a dureza superficial dos revestimentos soldados com uma, duas e três camadas. Nota-se que, como a diluição é menor na última camada de revestimento, há um aumento considerável na dureza do revestimento, pois a quantidade de cromo presente na terceira camada é maior, o que favorece uma maior formação de carbonetos de cromo.

Gráfico 2 -Gráfico de Dureza x Distância da Superfície



Fonte Oliveira, 2015.

A tabela 4 mostra o resultado dos ensaios de desgaste abrasivo. Nela é possível observar que, os corpos de prova soldados com apenas duas camadas, são os que possuem melhor resistência ao desgaste, mesmo não possuindo a maior dureza. Isso acontece porque, os corpos de prova soldados com apenas uma camada de revestimento, possuem uma alta taxa de diluição, o que faz com que o cromo do

revestimento migre para o metal de base, empobrecendo o revestimento e o deixando com uma baixa fração volumétrica de carbonetos de cromo. Os corpos de prova soldados com três camadas são os que possuem a maior dureza e, assim como observado por Ribeiro, conforme há um aumento na dureza, também há um aumento na fragilidade do revestimento.

Tabela 4 - Ensaio de Desgaste Abrasivo OLIVEIRA 2015.

	1 camada	2 camadas	3 camadas
Volume (mm ³)	0,221	0,113	0,345
Taxa de desgaste (mm ³ /m)	616,52 ⁶	315,32 ⁶	962,72 ⁶

Fonte: Oliveira, 2015.

A conclusão de seu estudo é que a diluição possui uma relação direta com a dureza superficial e a resistência ao desgaste abrasivo do revestimento, influenciando a fração volumétrica de carbonetos no revestimento, onde, no caso das ligas FeCrC, não devem ser soldados mais do que duas camadas.

RIBEIRO, VENTRELLA e GALLEGO (2005) avaliaram a resistência ao desgaste de revestimentos utilizados na indústria sucroalcooleira. Para sua avaliação, eles alteraram as variáveis operacionais (neste caso a corrente de soldagem) e concluíram que, com o aumento do aporte térmico, há uma maior diluição do revestimento no metal de base, o que desestabiliza a composição química do revestimento e prejudica na formação de microestruturas mais resistentes ao desgaste.

Para estabilizar e manter as propriedades do revestimento soldados com uma grande aplicação de aporte térmico seria necessário mais de três camadas de revestimento e, desta forma, a composição química seria pouco afetada e a formação de microestruturas mais resistentes seria favorecida. Com relação à dureza é dito que se deve evitar relacionar dureza com resistência ao desgaste, uma vez que, os ensaios convencionais de dureza são quase estáticos, diferente das condições onde a superfície metálica é atingida por partículas abrasivas em velocidades relativamente elevadas.

2.3 ENSAIOS DE DESGASTE A BAIXA TENSÃO

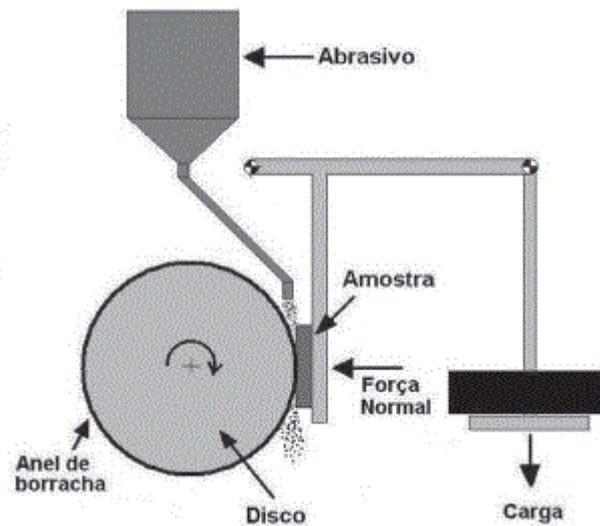
A máquina de ensaio de desgaste por roda de borracha é a máquina mais utilizada para analisar o desgaste abrasivo a baixa tensão e seus procedimentos são estabelecidos pela norma ASTM G65-91. Neste equipamento, um motor elétrico de corrente contínua aciona um contra corpo, que consiste de um disco metálico recoberto por um anel de borracha. A amostra é fixada a um sistema de alavanca, que permite a aplicação de uma força normal à amostra via peso morto, enquanto o fluxo de abrasivo escoar por gravidade através de um tubo até a interface de desgaste, permitindo somente a presença de abrasivo novo durante a realização do ensaio.

Neste ensaio, o desgaste abrasivo ocorre em um tribossistema a três corpos, onde são aplicadas baixas tensões, apresentando boas correlações com situações reais - como movimentação de terra e trabalho do solo, por exemplo, as quais são situações encontradas em discos de arado (SILVA, 2004).

O ensaio consiste em submeter um corpo de prova a contato indireto com uma roda, com bordas de borracha, que gira enquanto um abrasivo é deixado escoar entre ambos (corpo de prova e borracha). O corpo de prova é colocado perpendicular à bancada do equipamento e fixado de forma a tangenciar a roda; através de uma válvula, o fluxo de abrasivo é regulado e passa por um tubo, que é direcionado para a parte superior do contato (ASTM G65-94).

A figura 7 mostra esquematicamente como é realizado o ensaio de desgaste por roda de borracha:

Figura 8- Esquema de desgaste por roda de borracha.



Fonte: LIMA e FERRARESI, 2009.

2.3.1 Ensaio utilizando a máquina ASTM G65-91

2.3.1.1 Ensaio I

Marques e Leite (2009) realizam um ensaio comparativo entre três diferentes ligas usadas como revestimentos: uma liga de FeCrNbBC, uma liga de FeCrC e por fim uma liga de FeCrNbC.

Os parâmetros do ensaio adotados foram os seguintes:

- Carga de 130 N;
- Velocidade da roda abrasiva de 215 rpm;
- Granulometria da areia: 32 mesh;
- Dureza da borracha: 13,4 shore.

Após o ensaio foi constatado que, a liga de FeCrNbBC é a que possui a maior resistência ao desgaste abrasivo à baixa tensão, quando comparados às outras ligas.

2.3.1.2 Ensaio II

Machado (2008) compara consumíveis de soldagem, utilizados em três diferentes usinas, com um consumível de soldagem da liga FeCrC (selecionado pelo próprio autor), para a soldagem dos consumíveis utilizada uma norma ASME.

Para o ensaio de desgaste, ele utiliza o procedimento A da norma ASTM G65-94 onde os parâmetros de ensaio são:

- Carga de 130 N;
- Revoluções da roda abrasiva: 6000 revoluções;
- Granulometria da areia de 32 mesh;
- Dureza da roda abravisa de 13,4 shore.

Após o ensaio foi constatado que o revestimento com maior resistência ao desgaste foi o consumível de soldagem da liga FeCrC selecionado pelo autor.

3 METODOLOGIA

3.1 METAIS DE BASE

O metal de base, utilizado para a soldagem dos revestimentos, foi um aço ASTM A-36, onde sua composição química é mostrada na tabela 5, fornecida pela empresa ArcelorMittal:

Tabela 5- Composição química do aço ASTM A-36.

Composição Química (% em peso)					
C	Mn	P	S	Si	Cu
0,25	0,80 – 1,20	0,040	0,050	0,40	0,20

Fonte: ArcelorMittal, 2015.

3.2 METAIS DE ADIÇÃO

O consumível de soldagem, utilizado como revestimento, foi o eletrodo revestido do tipo Fe-Cr-C. Seu nome comercial é XHD 6710 da Eutetic&Castolin, com 4 mm de diâmetro. De acordo com o fabricante, este eletrodo possui uma alta taxa de deposição e elevada resistência ao desgaste abrasivo e suporta choques moderados.

A composição química do metal de adição é dada pela tabela 6:

Tabela 6- Composição química do metal de adição XHD 6710.

Análise Química (%)				
C	Si	Mn	Cr	Fe
5,300	1,250	0,850	42,00	Restante

Fonte: Eutetic&Castolin , 2017.

3.3 AREIA

O material abrasivo utilizado no ensaio de desgaste é uma areia de sílica 50/70, submetida ao peneiramento de modo a adequar sua granulometria segundo as especificadas pela norma ASTM G 65-91, onde uma porcentagem máxima de 5% de retenção na peneira 50 e mínima de 95% de retenção na peneira 70. Para o peneiramento foi utilizado um agitador de peneiras 8 x 2 220V da marca SOLOTEST como é mostrado na figura 9:

Figura 9- Agitador de peneiras SOLOTEST.



Fonte: Autor, 2017.

3.4 FABRICAÇÕES DOS CORPOS DE PROVA

Antes do procedimento de soldagem, foram cortadas 18 corpos de prova com as seguintes dimensões: 9 corpos de prova com 30 mm de comprimento x 30 mm de largura x 12,7 mm de espessura para o ensaio de dureza e 9 corpos de prova nas medidas de 25,4 de largura x 76,2 de comprimento x 12,7 mm de espessura para o ensaio de desgaste, de uma chapa de aço ASTM A-36. Posteriormente, os corpos de prova foram lixados para eliminar a carepa e fixadas pelas extremidades em uma mesa para minimizar distorções durante o processo de soldagem dos revestimentos.

Para cada corrente de soldagem foram revestidos 6 corpos de prova. Os parâmetros

de corrente foram variados no próprio equipamento de soldagem e a velocidade de soldagem foi verificada com auxílio de um cronometro.

As variáveis de soldagem adotadas para o revestimento de soldagem foram as mesmas usadas por RIBEIRO (2004), a fim de estudar um comportamento diferente dos valores de dureza. Os valores das correntes de soldagem, utilizados para a deposição, são diferentes dos usados por RIBEIRO (2004). “As correntes adotadas para o eletrodo XHD 6710 com diâmetro de 1/8” (3,175 mm), foram 180, 220 e 240 A.

A tabela 7 informa as variáveis usadas no processo de soldagem:

Tabela 7 - Variáveis do Processo de Soldagem.

Variáveis do Processo de Soldagem			
Corrente de Soldagem (A)	180	220	240
Voltagem (V)	29	29	29
Velocidade de Soldagem (mm/min)	300	300	300

Fonte: Autor, 2017.

3.5 ENSAIOS DE DESGASTE

Os corpos de prova foram usinados, lixados e polidos para a realização do ensaio de desgaste micro abrasivo segundo os critérios mencionados na norma ASTM G65-91. A máquina utilizada para a realização do ensaio é um abrasômetro do tipo roda de borracha, descrito na norma ASTM G65-91. O procedimento usado é o procedimento B, onde a carga aplicada nos corpos de prova é de 130 N e o número de ciclos é de 2000 ciclos; o fluxo de areia para o ensaio foi mantido em 380 gramas por minuto.

O ensaio de desgaste foi realizado no equipamento disponibilizado pela Faculdades Integradas de Aracruz (FAACZ).

Figura 10- Abrasômetro do tipo Roda de Borracha.



Fonte: Autor, 2017.

3.6 ENSAIOS DE DUREZA

Para determinar a dureza do revestimento utilizou-se um durômetro da marca INSIZE modelo ISH-R150, escala Rockwell C, utilizando carga de 45 Kgf.

Para que os corpos de prova fossem submetidos ao ensaio de dureza, todas sofreram um lixamento sequencial na superfície revestida, para isso foi utilizado lixas de numeração 240, 320, 400 e 600 mesh. Após o lixamento, eles foram submetidos a um polimento com abrasivo de alumina, com granulação de 0,5 μm e 0,1 μm , na superfície revestida.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Através da utilização da metodologia descrita anteriormente, foram obtidos os resultados a seguir:

4.1 RESISTÊNCIA AO DESGASTE

A tabela 8 apresenta os valores do aporte térmico, da perda de massa e de volume dos corpos de prova em função das correntes de soldagem utilizadas para a soldagem dos revestimentos. Os valores descritos na tabela referentes à perda de massa são a média dos ensaios realizados em três amostras para cada aporte térmico.

Para calcular os dados da perda volumétrica foi necessário utilizar a densidade do material usado para revestir a peça.

Tabela 8 - Perda mássica e perda volumétrica.

Perda Mássica e Perda Volumétrica			
Corrente de Soldagem (A)	180	220	240
Aporte Térmico (kJ/mm)	0,8255	1,0081	1,1033
Perda Mássica (g)	0,036 ($\pm 0,0021$)	0,043 ($\pm 0,0011$)	0,057 ($\pm 0,0023$)
Perda Volumétrica (mm ³)	4,615	5,513	7,308

Fonte: Autor, 2017.

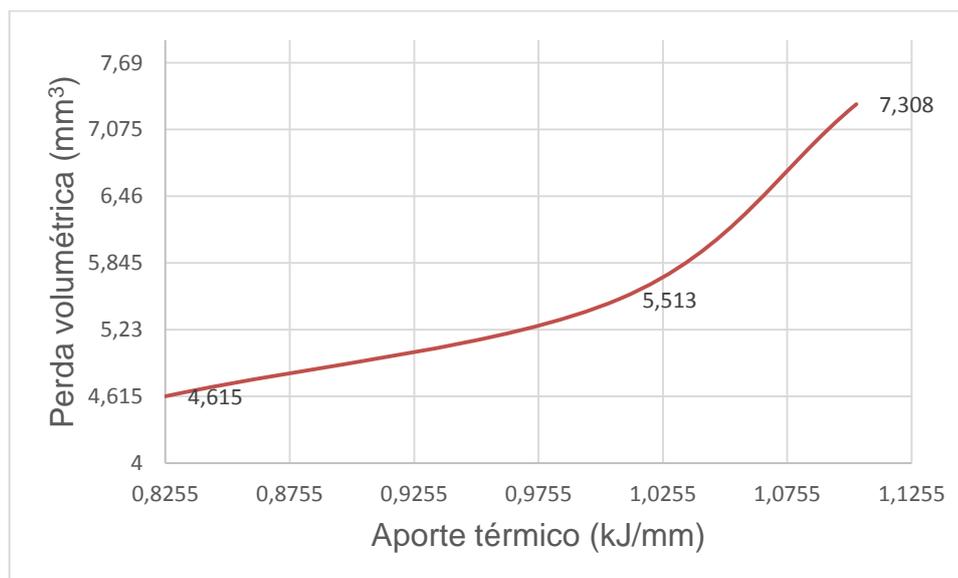
Através da tabela pode-se observar que, os corpos de prova soldados com a menor corrente de soldagem, apresentam a menor perda volumétrica. Com o aumento do aporte térmico, as amostras soldadas com corrente de 220 A apresentaram um aumento na perda volumétrica, o que também ocorre com os corpos de prova soldados com corrente de 240 A.

Conforme ocorre o aumento do aporte térmico, também ocorre o aumento na perda volumétrica do revestimento.

Como dito por OLIVEIRA (2015), ao aumentar a corrente de soldagem, há um aumento da diluição do revestimento no metal de base. A diluição faz com que o cromo presente no revestimento, migre para o metal de base, empobrecendo o revestimento, acabando por prejudicar a formação de microestruturas que possuem uma maior resistência ao desgaste abrasivo.

O gráfico 3 mostra a relação entre o aporte térmico e a perda de volume do revestimento; nota-se que o aumento do aporte térmico resulta no aumento da perda volumétrica do revestimento:

Gráfico 3 - Relação do aporte térmico pela perda volumétrica.



Fonte: Autor, 2017.

Pelo gráfico, observa-se que, com o aumento do aporte térmico, também ocorre o aumento da taxa de desgaste do revestimento.

Segundo Ribeiro (2004), isso ocorre devido ao aumento do aporte térmico, que causa uma maior penetração do cordão de solda no metal de base. Com esse aumento da penetração, há um aumento na diluição, sendo que o metal do

revestimento mistura-se mais com o metal de base, prejudicando a formação de microestruturas com alta fração volumétrica de carbonetos de cromo.

No caso dos revestimentos da liga FeCrC, há uma preferência pela formação dos carbonetos primários de cromo: quanto maior for a diluição do revestimento, maior será a formação de microestruturas com baixa fração volumétrica de carbonetos primários de cromo.

4.2 DUREZA

Os resultados apresentados na tabela 9 são referentes às medidas médias das durezas dos três corpos de prova soldados para cada corrente de soldagem.

Ao calcular a média das durezas para cada corrente de soldagem é possível notar que, o entre os corpos de prova soldados com as correntes de 180 A e 220 A, há um aumento na dureza do revestimento; logo, conforme se aumenta a corrente de soldagem, nota-se uma pequena faixa de oscilação da dureza do revestimento.

Tabela 9 - Dureza do revestimento.

Dureza do Revestimento			
Corrente de Soldagem (A)	180	220	240
Aporte Térmico (kJ/mm)	0,8255	1,0081	1,1033
Dureza (HRC)	60,17 ($\pm 0,31$)	62,92 ($\pm 0,12$)	62,75 ($\pm 0,14$)

Fonte: Autor, 2017.

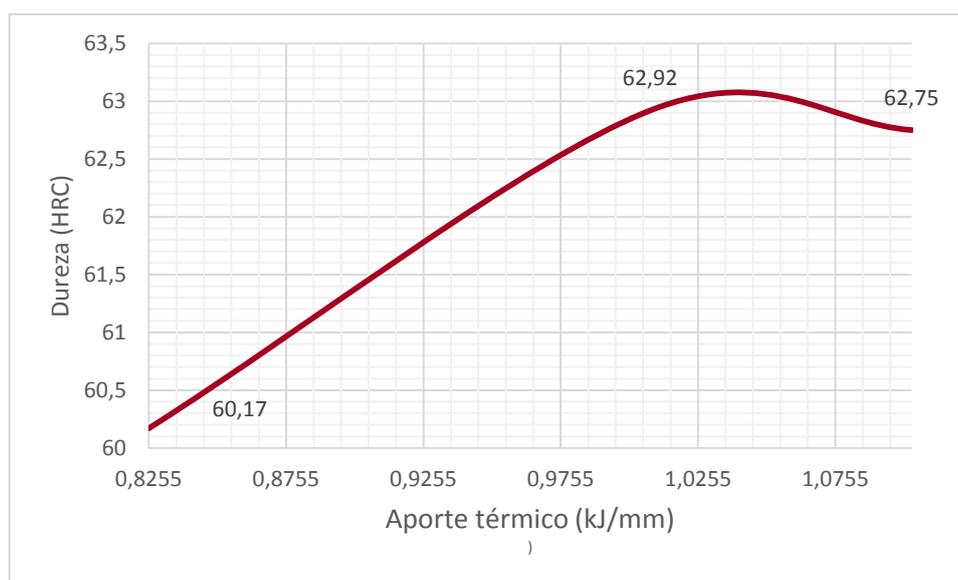
Analisando a tabela acima, verifica-se que, com o aumento da corrente de soldagem, não há um crescimento constante da dureza do revestimento. Os corpos de prova soldados a 180 A são os que possuem a menor dureza, seguidos pelos corpos de prova soldados com a corrente de 240 A e, por fim, o corpo de prova que possui a maior dureza é o soldado a 220 A, segundo os valores médios de dureza. Mas, ao observar o desvio padrão, pode-se observar que ao atingir um determinado valor de dureza, o revestimento passa a adquirir um valor “constante”.

Ribeiro (2004) informa que a dureza do revestimento não é um bom indicador do aumento da resistência ao desgaste abrasivo, pois a partir de um determinado valor

de dureza (que pode variar dependendo da composição química do revestimento), não há uma diminuição na perda volumétrica do revestimento; portanto é difícil avaliar a resistência ao desgaste abrasivo tendo apenas a dureza como dado. Para ter-se uma maior certeza é necessário levar em consideração a microestrutura do revestimento.

O gráfico 4, mostra uma relação entre a dureza e o aporte térmico dos corpos de prova:

Gráfico 4 - Relação entre aporte térmico e dureza do revestimento.



Fonte: Autor, 2017.

Ao analisar as durezas médias dos corpos de prova, com suas respectivas perdas de volume, nota-se que, no corpo de prova soldados com a corrente de 220 A e 240 A, obtiveram os maiores valores de dureza. Porém, esses corpos de prova não são os que possuem a maior resistência ao desgaste. O corpo de prova soldado com a corrente de 180 A é o que possui a menor dureza e também possui a menor perda volumétrica, ou seja, o corpo de prova soldado com a menor corrente é o que possui a maior resistência ao desgaste abrasivo, como é mostrado na tabela 8.

Segundo RIBEIRO (2004), o aumento na dureza da microestrutura do revestimento acaba tornando a microestrutura mais frágil, mais suscetível a trincas, o que enfraquece o revestimento e facilita as partículas abrasivas retirarem material do corpo de prova. O mesmo aconteceu com Oliveira (2015) que, ao analisar a dureza em um corpo de prova soldado com três camadas, constatou que, mesmo com uma elevada dureza, esses corpos de prova eram os que sofriam maior desgaste abrasivo. Esse fato ocorre porque, ao sofrer impactos um pouco mais severos, há uma ocorrência de trincas superficiais, fragilizando mais o revestimento e permitindo o desgaste abrasivo retirar ainda mais material do corpo de prova, causando um aumento na perda volumétrica.

Segundo Ribeiro et al (2005), com relação a dureza do revestimento é melhor evitar relacionar a dureza do revestimento com sua resistência ao desgaste, pois os ensaios convencionais de dureza são quase-estáticos e totalmente diferentes das condições de operação onde a superfície metálica está exposta, pois um bom número partículas abrasivas atingem a superfícies metálicas com velocidades relativamente altas.

Tabela 10 - Perda volumétrica e dureza.

Perda Volumétrica e Dureza			
Corrente de Soldagem (A)	180	220	240
Aporte Térmico (kJ/mm)	0,8255	1,0081	1,1033
Perda Volumétrica (mm ³)	4,615	5,513	7,308
Dureza (HRC)	60,17	62,92	62,75

Fonte: Autor, 2017.

Como foi descrito por Ribeiro (2004) ao atingir um determinado valor de dureza, o revestimento não apresenta uma diminuição em sua perda volumétrica.

5 CONCLUSÕES

Após revestir os corpos de prova com o revestimento duro XHD 6710 utilizando diferentes correntes de soldagem, os corpos de prova foram submetidos a um ensaio de desgaste no abrasômetro tipo roda de borracha segundo norma, cujos resultados apontaram que: conforme há um aumento no aporte térmico, há um aumento na taxa de desgaste do revestimento. Os corpos de prova soldados com a corrente de 180 A foram os que obtiveram a melhor resistência ao desgaste, seguidos pelos corpos de prova soldados com corrente de 220 A, e os que possuem a pior resistência ao desgaste são os corpos de prova soldados com corrente de 240.

Os corpos de prova também foram submetidos a um ensaio de dureza superficial, a fim de verificar se a dureza do revestimento é um indicador de resistência ao desgaste. Os resultados indicam que o aporte térmico altera a dureza do revestimento, mas conforme há um aumento na dureza também há um aumento na taxa de desgaste. Com isso, pode-se concluir que a dureza superficial do revestimento não é um indicador de resistência ao desgaste.

6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Sugere-se para novas pesquisas:

- Estudar a influência do aporte térmico na resistência ao desgaste de revestimentos da liga Fe-Cr-C com duas ou três camadas de revestimento.
- Estudar a influência da diluição na resistência ao desgaste de revestimentos duros da liga Fe-Cr-C com uma ou duas camadas de revestimento.
- Estudar a influência da microestrutura na resistência ao desgaste do revestimento.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARCELORMITTAL, **Catálogo de Produtos Laminados**, 2015.

ASTM – Standard Test Method for Measuring Abrasion Using the Dry Sand/Rubber Wheel Apparatus. ASTM G 65-91 – p. 231-243, 1991.

BAPTISTA, A. L. B.; NASCIMENTO, I. A. Revestimentos Duros Resistentes ao Desgaste Depositados por Soldagem Utilizados na Recuperação de Elementos de Máquinas. **Spectru Instrumental Científico**, 2009.

BERNARDI, D. B.; BERNARDI, V. B. **Determinação da Taxa de Desgaste Abrasivo de Revestimentos Duros Aplicados pelo Processo TIG Alimentado**. 2013, 69F. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Departamento de Engenharia Mecânica, Curitiba, 2013.

CANAL, A. **Estudo dos parâmetros do processo de deposição a plasma por arco transferido (PTA-P) em revestimento de aço carbono com INCONEL 625**. 2014, 82F. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação). Universidade Federal do Espírito Santo, Departamento de Engenharia Mecânica, Vitória, 2014.

CASTRO, C. A. F. **Resistência ao desgaste abrasivo das sapatas de trator de esteiras após o processo de recuperação**. 2010, 92f. Dissertação (Mestrado). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Programa de Pós Graduação, Curitiba, 2010.

CORRÊA, E. O. **Avaliação da resistência ao desgaste das ligas desenvolvidas para solda de revestimento duro para uso sob condições altamente abrasivas**. 171f. Tese (Doutorado). Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, 2005.

DIAS, M. F. M., **Avaliação dos Parâmetros de Soldagem na Resistência ao Desgaste Abrasivo de Revestimentos Duros**. 89f. Tese (Doutorado). Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, 2003.

GRUBER, F. H.; MARANHO, O. Avaliação da perda de massa de revestimento de massa de revestimento duro depositado por soldagem com arame tubular de liga FeCrC-Ti. **Soldagem e Inspeção**. V. 19, n. 1, p. 58-68. São Paulo, 2014

HUTCHINGS, I. M. **Tribology: friction and wear of engineering materials**, London: Edward Arnol, 1992. 273 p.

INFOSOLDAS, **Energia de Soldagem**. Disponível em <<http://www.infosolda.com.br/biblioteca-digital/livros-senai/metalurgia/119-energia-de-soldagem.html/>> Acesso em: 29 de junho de 2017.

LEITE, R. V. M.; MARQUES, P. V. Estudo Comparativo da Resistencia ao desgaste abrasivo do revestimento de três ligas metálicas utilizadas na indústria, aplicadas por soldagem com arames tubulares. **Soldagem e Inspeção**. V. 14, n. 4, p. 329-335. São Paulo, 2009.

LIMA, A. C. **Estudo da Aplicação de Revestimento Duro por Soldagem com Arames Tubulares Quanto à Resistencia ao Desgaste de Facas Picadoras de Cana-de-Açúcar**. 184f. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, 2008.

MACHADO, J. M. O. **Análise de falhas em martelos oscilantes dos desfibradores da indústria sucroalcooleira da região norte-nordeste**. Universidade federal do Rio grande do Norte. 2008. 136f. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2008.

MARQUES, P. V.; MODENESI P. J.; BRACARENSE, A. Q. **Soldagem Fundamentos e Tecnologia**. 3ª edição. CIDADE: Editora UFMG, 2014.

MILLER, L. & MARANHO, O. – Avaliação da Resistência ao Desgaste de Revestimento Duro Depositado Pelo Processo TIG Alimentado Modalidade Arame Frio com Arame Tubular Autoprottegido. **IV Amostra de Pesquisa e Pós-Graduação**. Curitiba, 2012.

OKUMURA, T.; TANIGUCHI, C. **Engenharia de Soldagem e Aplicações**. Rio de Janeiro: Editora LTC, 1982.

OLIVEIRA, D. L.; GALLEGOS, J.; VENTRELLA, V. A. – Análise da Resistencia ao Desgaste em Revestimento Duro Aplicado por Soldagem Através de Esfera Fixa Rotativa. **21º Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais**. Cuiabá, 2014.

OLIVEIRA, D. L. **Construção de um equipamento de ensaio de desgaste micro abrasivo por esfera rotativa fixa para análise do revestimento duro aplicado por soldagem.** 2015, 85f. Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”, Programa de Pós Graduação, Ilha Solteira, 2015.

RIBEIRO, R. **Avaliação da resistência ao desgaste abrasivo de revestimentos soldados do tipo Fe-Cr-C utilizados na indústria sucroalcooleira.** 2004, 118f. Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual Paulista, Programa de Pós Graduação, Ilha Solteira, 2004.

RIBEIRO, R.; VENTRELLA, V. A.; GALLEGO J. - Avaliação da resistência ao desgaste abrasivo de revestimentos soldados do tipo Fe-Cr-C utilizados na indústria sucroalcooleira. **60º Congresso Anual da Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais.** Belo Horizonte, 2005.

SILVA, G.N. **Efeito da substituição do molibdênio pelo nióbio-boro em aços hadfield no desempenho ao desgaste abrasivo.** 122f. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, 2004.

WAINER, E.; BRANDI, S. D.; MELLO F. D. H. **Soldagem Processo e Metalurgia.** 4ª reimpressão. São Paulo: Editora Edgard Blücher LTDA, 2004.

ZMITROWICZ, A., **Wear Patterns and Laws of Wear.** Journal of Theoretical and Applied Mechanics, Varsóvia, v.44, n.2, p. 219-253, 2006.

ZUM GAHR, K. H. **Microstructure and Wear of Materials.** Tribology Series, v. 10, Elsevier Science Publishers, Amsterdam. 560 p. 1987.